

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

NGUYỄN THANH THUẬN

**TÁI CẤU HÌNH LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI SỬ DỤNG
CÁC GIẢI THUẬT TÌM KIẾM TỐI ƯU
NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN – 62140101**


Hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Trương Việt Anh
2. TS. Phùng Anh Tuấn

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:



QUYẾT ĐỊNH

VỀ VIỆC ĐỔI TÊN LUẬN ÁN VÀ NGƯỜI HƯỚNG DẪN NGHIÊN CỨU SINH KHÓA 2013 HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH

Căn cứ Quyết định số 118/2000/QĐ-TTg ngày 10 tháng 10 năm 2000 của Thủ tướng Chính phủ về việc thay đổi tổ chức của Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, tách Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh trực thuộc Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Căn cứ Quyết định số 70/2014/QĐ-TTg ngày 10/12/2014 của Thủ tướng Chính phủ về ban hành Điều lệ trường Đại học;

Căn cứ Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc Ban hành Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ;

Căn cứ Thông tư số 05/2012/TT-BGDĐT ngày 15/02/2012 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc sửa đổi, bổ sung một số điều của Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ ban hành kèm theo Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ trưởng Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Xét nhu cầu công tác và khả năng cán bộ;

Xét đề nghị của Trưởng phòng Đào tạo,

QUYẾT ĐỊNH

Điều 1: Đổi tên đề tài luận án tiến sĩ và người hướng dẫn cho:

Nghiên cứu sinh : **Nguyễn Thanh Thuận**

Ngành : Kỹ thuật Điện

Khoá: 2014 - 2017

Tên luận án mới : **Tái cấu hình lưới điện phân phối sử dụng các giải thuật tìm kiếm tối ưu**

Người HD thứ nhất (HD chính): **TS. Trương Việt Anh**

Người HD thứ hai : **TS. Phùng Anh Tuấn**

Thời gian thực hiện : **06/10/2014 đến 06/10/2017**

Điều 2: Giao cho Phòng Đào tạo quản lý, thực hiện theo đúng Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ của Bộ Giáo dục & Đào tạo đã ban hành.

Điều 3: Trưởng các đơn vị: phòng Đào tạo, khoa quản ngành, phòng KHTC và các Ông (Bà) có tên ở Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành quyết định này. Quyết định có hiệu lực kể từ ngày ký.

Nơi nhận:

- BGH (để chỉ đạo);
- Như điều 3;
- Lưu: VT, SDH.


PGS.TS. Lê Hiếu Giang

LÝ LỊCH CÁ NHÂN

I. THÔNG TIN CÁ NHÂN

Họ và tên: **Nguyễn Thanh Thuận**

Ngày sinh: 05/11/1983

Nơi sinh: Hà Nội

Nam/Nữ: Nam

Địa chỉ: 62/2 Khu phố Trung Thắng, Phường Bình Thắng, Thị xã Dĩ An, Tỉnh Bình Dương

Điện thoại: 0916.664.414

E-mail: thuan.dap@gmail.com

Cơ quan - nơi làm việc: Trường Cao đẳng Công nghệ cao Đồng An.

Địa chỉ cơ quan: Phường Bình Thắng, Thị xã Dĩ An, Tỉnh Bình Dương; Điện thoại: 02743.774.647; Website: dongan.edu.vn

II. QUÁ TRÌNH ĐÀO TẠO

- Từ 2002 – 2006: Sinh viên ngành Kỹ thuật điện, Trường Cao đẳng Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long.

- Từ 2006 – 2008: Sinh viên ngành Điện công nghiệp, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM.

- Từ 2010 – 2012: Học viên cao học ngành Kỹ thuật điện, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM.

- Từ 2014 – nay: Nghiên cứu sinh ngành Kỹ thuật điện, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM.

III. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC

Từ 2008 - nay: Giáo viên Trường Cao đẳng Công nghệ cao Đồng An

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 15 tháng 6 năm 2017

Nguyễn Thanh Thuận

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của tôi.

Các số liệu, kết quả nêu trong Luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 15 tháng 6 năm 2017

(Ký tên và ghi rõ họ tên)

Nguyễn Thanh Thuận

CẢM TẠ

Em xin chân thành cảm ơn

PGS.TS Trương Việt Anh, người thầy đã đề ra phương hướng, hết lòng chỉ bảo em trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện luận án.

TS. Phùng Anh Tuấn, người thầy đã luôn động viên và đóng góp những ý kiến hết sức quý báu trong quá trình nghiên cứu và thực hiện luận án.

PGS.TS Quyền Huy Ánh, người thầy đã luôn chỉ bảo, giúp đỡ và đóng góp cho em những ý kiến hết sức quý báu trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện luận án.

TS. Nguyễn Minh Tâm, người thầy đã luôn động viên, và tạo những điều kiện tốt nhất cho em trong suốt quá trình học tập tại trường.

TS. Võ Viết Cường, người thầy đã hướng dẫn em đề án tốt nghiệp đại học.

Ban Giám Hiệu, phòng Đào Tạo đã luôn tận tình giúp đỡ, hướng dẫn cho em trong quá trình học tập tại trường.

Ban chủ nhiệm và các thầy/cô giáo trong Khoa Điện-Điện Tử đã luôn tận tình giúp đỡ và tạo điều kiện tốt nhất về vật chất và tinh thần để em có thể hoàn thành luận án.

Thầy Trần Hữu Lịch, người thầy đã luôn giúp đỡ, động viên và tạo mọi điều kiện tốt nhất cho em được theo học và hoàn thành luận án.

Thầy Bùi Huy Quỳnh, người thầy đã luôn động viên, giúp đỡ em trong suốt quá trình công tác và học tập.

Xin cảm ơn bạn bè, đồng nghiệp những người đã luôn động viên, khuyến khích tôi trong suốt quá trình thực hiện luận án.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 15 tháng 6 năm 2017

Nguyễn Thanh Thuận

TÓM TẮT

Luận án trình bày các phương pháp giải bài toán tái cấu hình lưới điện phân phối (LĐPP) dựa trên các giải thuật heuristic tổng quát. Trong đó, bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất tác dụng được thực hiện dựa trên thuật toán cuckoo search (Cuckoo Search Algorithm - CSA). Ý tưởng của CSA dựa trên tập tính ký sinh nuôi dưỡng của một số loài chim tu hú duy trì nôi giống bằng cách đẻ trứng vào tổ của các loài chim khác. Kết quả so sánh với thuật toán di truyền (Genetic Algorithm - GA) và bày đàn trên các LĐPP 33, 69 và 119 nút cho thấy, CSA là phương pháp hiệu quả để giải bài toán tái cấu hình LĐPP, đặc biệt là trên các LĐPP có quy mô lớn. Trong khi đó, bài toán tái cấu hình đa mục tiêu giảm tổn thất công suất, chỉ số cân bằng tải, chỉ số cân bằng giữa các xuất tuyến, độ lệch điện áp nút và số lần chuyển khóa đã được giải dựa trên thuật toán Runner-Root (Runner-Root Algorithm - RRA). Ý tưởng của RRA dựa trên sự nhân giống của một số loài thực vật có thân bò lan. Kết quả kiểm tra trên hai hệ thống 33 và 70 nút cho thấy RRA nhiều ưu điểm so với GA và CSA.

Ngoài ra, ảnh hưởng của vị trí và công suất của nguồn điện phân tán (Distributed Generation - DG) đến bài toán tái cấu hình trong các trường hợp khác nhau như chỉ thực hiện tái cấu hình, chỉ thực hiện tối ưu vị trí và công suất DG, tái cấu hình sau khi lắp đặt DG, lắp đặt DG sau khi tái cấu hình, tái cấu hình kết hợp với tối ưu công suất DG đồng thời và tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG đã được xem xét. Kết quả cho thấy bài toán tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG cho phép thu được cấu hình lưới có tổn thất công suất bé nhất và chất lượng điện áp tốt nhất. Luận án cũng đã trình bày phương pháp tái cấu hình LĐPP có xét đến DG giảm tổn thất năng lượng trong khoảng thời gian khảo sát áp dụng cho các LĐPP có chi phí chuyển tải cao và các LĐPP gặp khó khăn trong quá trình thu thập đồ thị phụ tải. Phương pháp đề xuất dựa trên công suất trung bình của phụ tải và công suất phát trung bình của DG trong thời gian khảo sát. Ưu điểm của phương pháp là không yêu cầu đồ thị phụ tải cũng như công suất phát của DG tại mỗi thời điểm trong thời gian

khảo sát. Kết quả tính toán cho thấy, có thể sử dụng công suất trung bình của phụ tải và DG để xác định cấu hình vận hành LĐPP giảm tổn thất năng lượng và phương pháp đề xuất có ưu điểm vượt trội về thời gian tính toán so với phương pháp sử dụng đồ thị phụ tải và đồ thị công suất phát của DG.

Bên cạnh đánh giá trên các LĐPP mẫu, phương pháp và bài toán đề nghị đã được áp dụng thành công trên LĐPP trung áp thực tế của huyện Chư Prông, tỉnh Gia Lai. Kết quả tính toán cho thấy, có thể sử dụng các phương pháp đã nghiên cứu làm tài liệu tham khảo khi vận hành LĐPP Chư Prông.

ABSTRACT

The thesis presents methods for solving the distribution network reconfiguration (DNR) problem based on metaheuristic algorithms. In particular, the DNR problem for active power losses reduction is solved based on the cuckoo search algorithm (CSA). The CSA is inspired from the obligate brood parasitism of some cuckoo species which lay their eggs in the nests of other host birds of other species. The results of comparison with genetic algorithm (GA) and particle swarm optimization in the 33, 69 and 119 nodes show that CSA is an effective method to solve DNR problem, especially apply for large scale systems. Meanwhile, the multi-objective DNR problem for minimizing real power loss, load balancing among the branches, load balancing among the feeders as well as number of switching operations and node voltage deviation is solved based on the Runner- Root algorithm (RRA). The idea of the RRA is inspired from the plants propagated through runners. The test results on both 33 and 70 nodes system indicate that RRA are more advantageous than GA and CSA.

In addition, the influence of location and capacity of distributed generations (DG) to the DNR problem in different cases such as reconfiguration only, optimization of location and size of DG only, reconfiguration after installing placement of DG, placement of DG after reconfiguration, simultaneous reconfiguration with optimization size of DG and simultaneous reconfiguration with optimization location and size of DG are considered. The results show that DNR problem combined with optimization location and size of DG is the most efficient solution for minimizing power loss and enhancing voltage profile.

The thesis also proposes an effective method to optimize distribution network topology in the presence of DG for energy loss over a given time period applied for the networks which have high cost when changing the status of switches and the practical networks that are difficult for obtaining load curves. The proposed method based on

average power of each load node and average generation power of each DG in the surveyed period. The advantages of the method are without requiring load curves and generation curves of DG. The calculated results show that the average power of load and DG can be used to determine the operating configuration which has minimum energy loss and the proposed method has the advantage of computational time compared with the method using load curves and generation curves of DG.

The proposed methods and problems have been also successfully applied in the practical medium voltage system in Chu Prong district, Gia Lai province. The calculated results show that the studied methods can be used as reference materials when operating the Chu Prong network.

MỤC LỤC

LÝ LỊCH CÁ NHÂN	i
LỜI CAM ĐOAN	ii
CẢM TẠ	iii
TÓM TẮT	iv
MỤC LỤC.....	viii
DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT.....	xi
DANH SÁCH CÁC HÌNH	xiii
DANH SÁCH CÁC BẢNG	xvii
Chương 1 GIỚI THIỆU	1
1.1. Đặt vấn đề.....	1
1.2. Mục tiêu và nhiệm vụ của đề tài.....	1
1.3. Giới hạn của đề tài.....	2
1.4. Phương pháp nghiên cứu.....	2
1.5. Đóng góp của luận án.....	2
1.6. Bố cục của luận án.....	4
Chương 2 TỔNG QUAN VỀ TÁI CẤU HÌNH LDPP.....	5
2.1. Giới thiệu.....	5
2.2. Mô hình bài toán tái cấu hình LDPP cổ điển	13
2.3. Một số phương pháp tái cấu hình LDPP	14
2.3.1. Phương pháp kỹ thuật vòng kín	15
2.3.2. Phương pháp trao đổi nhánh	15
2.3.3. Phương pháp dòng công suất tối ưu.....	16
2.3.4. Phương pháp dòng công suất tối ưu cải tiến.....	17
2.3.5. Giải thuật di truyền	19
2.3.6. Giải thuật tối ưu bầy đàn.....	20
2.3.7. Giải thuật tối ưu trọng trường	22
2.3.8. Giải thuật tìm kiếm lùi	24
2.4. Kết luận	26

Chương 3 TÁI CẤU HÌNH LĐPP SỬ DỤNG CÁC GIẢI THUẬT TÌM KIẾM TỐI ƯU.....	28
3.1. Giới thiệu.....	28
3.2. Tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất.....	29
3.2.1. Mô hình bài toán	29
3.2.2. Phương pháp giải bài toán.....	30
3.2.3. Ví dụ kiểm tra	38
3.3. Tái cấu hình LĐPP đa mục tiêu.....	48
3.3.1. Mô hình bài toán	48
3.3.2. Phương pháp giải bài toán.....	52
3.3.3. Kết quả tính toán	60
3.4. Nhận xét và kết luận.....	81
Chương 4 TÁI CẤU HÌNH LĐPP CÓ XÉT ĐẾN MÁY PHÁT ĐIỆN PHÂN TÁN	84
4.1. Giới thiệu.....	84
4.2. Ảnh hưởng của DG đến bài toán tái cấu hình LĐPP	85
4.2.1. Mô hình toán	85
4.2.2. Tái cấu hình LĐPP có xét đến DG sử dụng thuật toán CSA	88
4.2.3. Kết quả tính toán	89
4.3. Tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất năng lượng có xét đến máy phát điện phân tán	100
4.3.1. Mô hình toán	100
4.3.2. Kết quả kiểm tra.....	108
4.4. Nhận xét và kết luận.....	119
Chương 5 ỨNG DỤNG TÁI CẤU HÌNH LĐPP CHƯ PRÔNG - ĐIỆN LỰC GIA LẠI	120
5.1. Đặc điểm LĐPP Chư Prông	120
5.2. Kết quả áp dụng phương pháp đề xuất.....	122
5.2.1. Tái cấu hình giảm tổn thất công suất	122

5.2.2. Tái cấu hình sử dụng hàm đa mục tiêu	125
5.2.3. Tái cấu hình LĐPP có xét đến DG giảm tổn thất công suất	128
5.3. Kết luận	132
Chương 6 KẾT LUẬN	133
6.1. Kết quả đạt được.....	133
6.2. Hướng phát triển của luận án	136
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	137
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ.....	151
PHỤ LỤC.....	152
Phụ lục 1. Kết quả tái cấu hình LĐPP 33 nút, 69 nút, 119 nút và LĐPP Chư Prông sử dụng phần mềm PSS/ADEPT	152
Phụ lục 2. Thông số phụ tải LĐPP 33 nút.....	155
Phụ lục 3. Thông số đường dây LĐPP 33 nút.....	155
Phụ lục 4. Thông số phụ tải LĐPP 69 nút.....	156
Phụ lục 5. Thông số đường dây LĐPP 69 nút.....	156
Phụ lục 6. Thông số phụ tải LĐPP 119 nút.....	158
Phụ lục 7. Thông số đường dây LĐPP 119 nút.....	159
Phụ lục 8. Thông số phụ tải LĐPP 70 nút.....	161
Phụ lục 9. Thông số đường dây LĐPP 70 nút.....	161
Phụ lục 10. Thông số phụ tải LĐPP 18 nút.....	163
Phụ lục 11. Thông số đường dây LĐPP 18 nút.....	163
Phụ lục 12. Thông số phụ tải LĐPP Chư Prông.....	164
Phụ lục 13. Thông số đường dây LĐPP Chư Prông.....	165
Phụ lục 14. Giao diện chương trình tái cấu hình LĐPP Chư Prông, Điện lực Gia Lai.....	169

DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT

ABC:	Artificial Bee Colony (Bầy ong nhân tạo)
ACO:	Ant Colony Optimization (Tối ưu đàn kiến)
AIS:	Artificial Immune Systems (Hệ thống miễn dịch nhân tạo)
ANN:	Artificial Neural Network (Mạng nơ-ron nhân tạo)
BFOA:	Bacterial Foraging Optimization Algorithm (Giải thuật tối ưu hóa tìm kiếm vi khuẩn)
BPSO:	Binary Particle Swarm Optimization (Tối ưu bầy đàn nhị phân)
BSA:	Backtracking Search Algorithm (Giải thuật tìm kiếm lùi)
CGA:	Continous Genetic Algorithm (Giải thuật di truyền sử dụng biến liên tục)
CSA:	Cuckoo Search Algorithm (Giải thuật tìm kiếm Cuckoo Search)
DE:	Differential Evolution (Giải thuật tiến hóa vi phân)
DG:	Distributed Generation (Nguồn điện phân tán)
DPSO:	Discrete Particle Swarm Optimization (Tối ưu bầy đàn rời rạc)
FCS:	Final Compromise Solution (Giải pháp thỏa hiệp)
FLs:	Fundamental Loops (Các vòng cơ sở)
FMA:	Fuzzy Multiobjective Approach (Phương pháp mờ hóa đa mục tiêu)
FWA:	Fireworks Algorithm (Giải thuật pháo hoa)
GA:	Genetic Algorithm (Giải thuật di truyền)
GSA:	Gravitational Search Algorithm (Giải thuật tìm kiếm trọng trường)
HBB-BC:	Hybrid Big Bang–Big Crunch Algorithm (Giải thuật lai Big Bang-Big Crunch)
HBMO:	Honey Bee Mating Optimization (Tối ưu giao phối của ong mật)
HPSO:	Hybrid Particle Swarm Optimization (Tối ưu hóa bầy đàn lai)
HSA:	Harmony Search Algorithm (Giải thuật tìm kiếm hài hòa)
IAICA:	Improved Adaptive Imperialist Competitive Algorithm (Giải thuật cạnh tranh đế quốc thích nghi cải tiến)

ITS:	Improved Tabu Search (Giải thuật tìm kiếm Tabu cải tiến)
LBF:	Load balancing among the feeders (Cân bằng giữa các xuất tuyến)
LBI:	Load Balancing Index (Chỉ số cân bằng tải)
LĐPP:	Lưới điện phân phối
LSF:	Loss Sensitivity Factors (Hệ số nhạy tổn thất)
MF:	Membership Function (Hàm thành viên)
MOIWO:	Multi-Objective Invasive Weed Optimization (Tối ưu hóa cỏ dại xâm lấn đa mục tiêu)
MSFLA:	Modified Shuffled Frog Leaping Algorithm (Giải thuật bước nhảy ếch cải tiến)
MST:	Minimum Spanning Tree (Cây khung nhỏ nhất)
MTS:	Modified Tabu Search algorithm (Giải thuật tìm kiếm Tabu cải tiến)
NBPSO:	Niche Binary Particle Swarm Optimization (Tối ưu bầy đàn Niche)
NST:	Nhiễm sắc thể
NSW:	Number of switching operations (Số lần vận hành khóa)
PSI:	Power Stability Index (Chỉ số ổn định công suất)
PSO:	Particle Swarm Optimization (Tối ưu bầy đàn)
RGA:	Refined Genetic Algorithm (Giải thuật di truyền cải tiến)
RRA:	Runner-Root Algorithm (Giải thuật Runner-Root)
SA:	Simulated Annealing (Giải thuật Luyện kim)
SAPSO:	Self-Adaptive Particle Swarm Optimization (Tối ưu bầy đàn tự thích nghi)
SFL:	Shuffled Frog-Leaping algorithm (Giải thuật bước nhảy ếch)
SPSO:	Selective Particle Swarm Optimization (Tối ưu bầy đàn chọn lọc)
STD:	Standard Deviation (Độ lệch chuẩn)
TH:	Trường hợp
VSF:	Voltage Stability Factor (Hệ số ổn định điện áp)
VSI:	Voltage Stability Index (Chỉ số ổn định điện áp)
XT:	Xuất tuyến

DANH SÁCH CÁC HÌNH

HÌNH	TRANG
Hình 2. 1. LĐPP đơn giản.	6
Hình 2. 2. Tái cấu hình LĐPP.	7
Hình 2. 3. LĐPP đơn giản 1 nguồn, 8 nút, 10 nhánh và 3 vòng.	11
Hình 2. 3. Phương pháp dòng công suất tối ưu.	17
Hình 2. 4. Phương pháp dòng công suất tối ưu cải tiến.	18
Hình 2. 5. Giải thuật GA.	20
Hình 2. 6. Giải thuật PSO.	21
Hình 2. 7. Các vật thể tương tác với nhau.	23
Hình 2. 8. Giải thuật GSA.	24
Hình 2. 9. Giải thuật BSA.	25
Hình 3. 1. Phương pháp xác định các nhánh trong các vòng cơ sở.	32
Hình 3. 2. Phương pháp kiểm tra cấu hình lưới hình tia.	33
Hình 3. 3. Lưu đồ phương pháp tái cấu hình dựa trên thuật toán CSA.	37
Hình 3. 4. LĐPP IEEE 33 nút.	40
Hình 3. 5. Điện áp các nút trước và sau tái cấu hình trên lưới điện 33 nút.	41
Hình 3. 6. Hệ số mang tải trên các nhánh trước và sau khi tái cấu hình trên lưới điện 33 nút.	41
Hình 3. 7. Đặc tính hội tụ của CSA, PSO và CGA trên lưới điện 33 nút.	42
Hình 3. 8. Lưới điện IEEE 69 nút.	43
Hình 3. 9. Điện áp các nút trên lưới điện 69 nút trước và sau tái cấu hình.	44
Hình 3. 10. Đặc tính hội tụ của CSA, PSO và CGA trên lưới điện 69 nút.	44
Hình 3. 11. Sơ đồ đơn tuyến lưới điện IEEE 119 nút.	45
Hình 3. 12. Điện áp các nút trên lưới 119 nút trước và sau tái cấu hình sử dụng CSA, PSO và CGA.	47
Hình 3. 13. Đặc tính hội tụ của CSA, PSO và CGA trên hệ thống 119 nút.	48
Hình 3. 14. Các hàm thành viên.	50
Hình 3. 15. Độ tốt của một cấu hình LĐPP.	51

Hình 3. 16. Cấu hình tối ưu nhất	51
Hình 3. 17. Cơ chế sinh sản và tìm nguồn nước và khoáng của cây dâu tây.	53
Hình 3. 18. Sơ đồ các bước tái cấu hình LĐPP sử dụng RRA.....	58
Hình 3. 19. Các bước tính toán giá trị hàm thích nghi bằng phương pháp max-min.	59
Hình 3. 20. Biên độ điện áp trong các TH khác nhau trên LĐPP 33 nút.	65
Hình 3. 21. Hệ số mang tải trên các nhánh trong các TH khác nhau trên LĐPP 33 nút.	65
Hình 3. 22. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LĐPP 33 nút trong TH 1 sau 50 lần chạy.	66
Hình 3. 23. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LĐPP 33 nút trong TH 5 sau 50 lần chạy.	66
Hình 3. 24. LĐPP 70 nút.	68
Hình 3. 25. Biên độ điện áp trong các TH khác nhau trên LĐPP 70 nút.	72
Hình 3. 26. Hệ số mang tải trên các nhánh trong các TH khác nhau trên LĐPP 70 nút.	73
Hình 3. 27. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LĐPP 70 nút trong TH 1 sau 50 lần chạy trong 200 vòng lặp.....	74
Hình 3. 28. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LĐPP 70 nút trong TH 5 sau 50 lần chạy trong 200 vòng lặp.....	74
Hình 3. 29. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LĐPP 70 nút trong TH 1 sau 50 lần chạy trong 1000 vòng lặp.....	76
Hình 3. 30. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LĐPP 70 nút trong TH 5 sau 50 lần chạy trong 1000 vòng lặp.....	76
Hình 3. 31. Đặc tính hội tụ trung bình khi điều chỉnh d_{runner} và d_{root}	78
Hình 4. 1. Sơ đồ tương đương của LĐPP.....	86
Hình 4. 2. So sánh điện áp các nút trong các TH trên LĐPP 33 nút.	90
Hình 4. 3. So sánh chỉ số VSI các nút trong các TH trên LĐPP 33 nút.	92
Hình 4. 4. Đặc tính hội tụ của CSA trong các TH trên LĐPP 33 nút.	93

Hình 4. 5. So sánh điện áp các nút trong các TH trên LĐPP 69 nút.	94
Hình 4. 6. So sánh chỉ số <i>VSI</i> các nút trong các TH trên LĐPP 69 nút.	94
Hình 4. 7. Đặc tính hội tụ của CSA trong các TH trên LĐPP 69 nút.	95
Hình 4. 8. So sánh điện áp các nút trong các TH trên LĐPP 119 nút.	99
Hình 4. 9. So sánh chỉ số <i>VSI</i> các nút trong các TH trên LĐPP 119 nút.	99
Hình 4. 10. Đặc tính hội tụ của CSA trong các TH trên LĐPP 119 nút.	100
Hình 4. 11. Mô tả quá trình tái cấu hình LĐPP.	101
Hình 4. 12. Công suất chuyển tải tối ưu trong thời gian khảo sát <i>T</i>	104
Hình 4. 13. LĐPPP 18 nút.	110
Hình 4. 14. Đặc tính công suất phát của DG pin mặt trời trong một ngày điển hình.	113
Hình 4. 15. LĐPP 33 nút có hai DG.	113
Hình 4. 16. Đặc tính công suất phát của DG turbin gió trong một ngày điển hình.	114
Hình 4. 17. Điện áp các nút trước khi tái cấu hình trong một ngày điển hình.	116
Hình 4. 18. Hệ số mang tải trên các nhánh trước khi tái cấu hình trong một ngày điển hình.	116
Hình 4. 19. Điện áp các nút sau khi tái cấu hình không xét đến DG trong một ngày điển hình.	117
Hình 4. 20. Điện áp các nút sau khi tái cấu hình có xét đến DG trong một ngày điển hình.	117
Hình 4. 21. Hệ số mang tải trên các nhánh sau khi tái cấu hình không xét DG trong một ngày điển hình.	118
Hình 4. 22. Hệ số mang tải trên các nhánh sau khi tái cấu hình có xét DG trong một ngày điển hình.	118
Hình 5. 1. Sơ đồ đơn tuyến bốn XT trên LĐPP Chư Prông – Điện lực Gia Lai. ...	121
Hình 5. 2. Biên độ điện áp trước và sau khi tái cấu hình giảm tổn thất công suất.	123
Hình 5. 3. Hệ số mang tải trên các nhánh trước và sau khi tái cấu hình giảm tổn thất công suất.	123

Hình 5. 4. Đặc tuyến hội tụ của RRA với hàm mục tiêu giảm tổn thất công suất. 124
Hình 5. 5. Hệ số mang tải trên các nhánh khi tái cấu hình đa mục tiêu.127
Hình 5. 6. Biên độ điện áp khi tái cấu hình đa mục tiêu.128
Hình 5. 7. Biên độ điện áp khi có DG.130
Hình 5. 8. Hệ số mang tải trên các nhánh khi có DG.....130
Hình 5. 9. Đặc tuyến hội tụ của RRA khi tái cấu hình có xét DG.131

DANH SÁCH CÁC BẢNG

BẢNG	TRANG
Bảng 2. 1. Kỹ thuật mã hóa biến điều khiển khi sử dụng các giải thuật heuristic tổng quát giải bài toán tái cấu hình LDPP.....	11
Bảng 3. 1. Thông số của các giải thuật áp dụng.	38
Bảng 3. 2. Kết quả thực hiện trên lưới điện 33 nút.	40
Bảng 3. 3. Kết quả so sánh CSA, PSO và CGA trên lưới 33 nút trong 50 lần chạy.	41
Bảng 3. 4. Kết quả thực hiện trên lưới phân phối 69 nút.....	43
Bảng 3. 5. Kết quả so sánh CSA, PSO và CGA trên lưới 69 nút trong 50 lần chạy.	44
Bảng 3. 6. Kết quả thực hiện trên lưới phân phối 119 nút.	46
Bảng 3. 7. Kết quả thực hiện trên lưới phân phối 119 nút trong 20 lần chạy.....	47
Bảng 3. 8. Các vòng cơ sở của LDPP 33 nút.....	61
Bảng 3. 9. Kết quả tính toán trên LDPP 33 nút trong các TH.....	62
Bảng 3. 10. Giới hạn của các hàm thành viên trên LDPP 33 nút.	63
Bảng 3. 11. Kết quả so sánh RRA với các phương pháp khác trên LDPP 33 nút.	63
Bảng 3. 12. So sánh sự cân bằng giữa các hàm thành viên ở TH 5 trên LDPP 33 nút.	64
Bảng 3. 13. Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 33 nút.....	67
Bảng 3. 14. Các vòng cơ sở trên LDPP 70 nút.	69
Bảng 3. 15. Kết quả thực hiện các TH khác nhau trên LDPP 70 nút.	70
Bảng 3. 16. Kết quả so sánh RRA với các phương pháp khác trên LDPP 70 nút.	71
Bảng 3. 17. Giới hạn của các hàm thành viên trên LDPP 70 nút.	73
Bảng 3. 18. So sánh sự cân bằng giữa các hàm thành viên ở TH 5 trên LDPP 70 nút.	73
Bảng 3. 19. Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 70 nút với 200 vòng lặp.	75
Bảng 3. 20. Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 70 nút với 1000 vòng lặp.....	77

Bảng 3. 21. Ảnh hưởng của d_{runner} và d_{root} đến kết quả tính toán.	79
Bảng 3. 22. Ảnh hưởng của tol đến kết quả tính toán.	80
Bảng 3. 23. Ảnh hưởng của $Stall_{max}$ đến kết quả tính toán.	80
Bảng 4. 1. Kết quả tính toán trên LĐPP 33 nút.	91
Bảng 4. 2. Kết quả tính toán trên LĐPP 69 nút.	95
Bảng 4. 3. Kết quả tính toán trên LĐPP 119 nút.	97
Bảng 4. 4. Tỷ lệ ba loại phụ tải tại mỗi nút trong LĐPP 18 nút.	110
Bảng 4. 5. Tỷ lệ phân phối theo giờ của ba loại phụ tải trong LĐPP 18 nút.	110
Bảng 4. 6. Công suất phát của DG pin mặt trời trong một ngày điển hình.	112
Bảng 4. 7. Kết quả tính toán trên LĐPP 18 nút trong các TH khác nhau.	112
Bảng 4. 8. Tỷ lệ ba loại phụ tải tại mỗi nút trong LĐPP 33 nút.	114
Bảng 4. 9. Tỷ lệ phân phối theo giờ của ba loại phụ tải trong LĐPP 33 nút.	115
Bảng 4. 10. Công suất phát của DG turbin gió trong một ngày điển hình.	115
Bảng 4. 11. Kết quả tính toán trên LĐPP 33 nút trong các TH khác nhau.	117
Bảng 5. 1. Thông số ba DG trên LĐPP Chư Prông.	121
Bảng 5. 2. Kết quả tái cấu hình giảm tổn thất công suất.	124
Bảng 5. 3. Kết quả tính toán sử dụng hàm đơn mục tiêu trên lưới điện Chư Prông.	126
Bảng 5. 4. Giới hạn của các hàm thành viên trên lưới điện Chư Prông.	126
Bảng 5. 5. Kết quả tái cấu hình đa mục tiêu.	127
Bảng 5. 6. Vùng kết nối của các DG.	129
Bảng 5. 7. Kết quả tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất phát của các nguồn thủy điện nhỏ giảm tổn thất công suất.	131

Chương 1

GIỚI THIỆU

1.1. Đặt vấn đề

Lưới điện phân phối (LĐPP) truyền tải điện năng từ các trạm biến áp trung gian đến khách hàng dùng điện. Trong khi lưới truyền tải thường được vận hành kín, LĐPP luôn được vận hành hở. Việc vận hành hở LĐPP có nhiều ưu điểm so với vận hành kín như là dễ dàng bảo vệ lưới, dòng sự cố nhỏ, dễ dàng điều chỉnh điện áp và phân bố công suất. Tuy nhiên, do vận hành ở mức điện áp thấp và dòng điện lớn, LĐPP thường có tổn thất điện năng và độ sụt áp lớn. Do đó, rất nhiều biện pháp đã được sử dụng để giảm tổn thất điện năng trên LĐPP như nâng cao tiết diện dây dẫn, bù công suất phản kháng, vận hành ở cấp điện áp cao hơn và tái cấu hình LĐPP. Trong đó, tái cấu hình thông qua thay đổi trạng thái các khóa điện là biện pháp ít tốn kém nhất.

Tuy nhiên, bài toán tái cấu hình LĐPP là bài toán phi tuyến với nhiều cực trị địa phương, kích thước bài toán lớn do có nhiều khóa điện trên LĐPP và là bài toán có ràng buộc cao. Vì vậy, tìm kiếm phương pháp giải tối ưu cho bài toán tái cấu hình là một thách thức và cũng là nhu cầu thiết yếu trong nghiên cứu hệ thống điện phân phối.

Ngoài ra, sự xuất hiện ngày càng nhiều của các nguồn điện phân tán (DG) vốn được kết nối trực tiếp đến LĐPP cũng góp phần nâng cao hiệu quả của LĐPP. Do khả năng cung cấp điện năng trực tiếp đến các phụ tải xung quanh vị trí đặt DG nên lắp đặt DG trên LĐPP cũng gián tiếp làm giảm tổn thất điện năng trên LĐPP. Tuy nhiên, nếu lắp đặt ở những vị trí không tối ưu và công suất không phù hợp có thể làm tăng tổn thất điện năng trên LĐPP. Do đó, nghiên cứu bài toán tái cấu hình LĐPP, không thể không xét đến ảnh hưởng của DG.

1.2. Mục tiêu và nhiệm vụ của đề tài

Mục tiêu của luận án là nghiên cứu các phương pháp tái cấu hình LĐPP sử dụng các giải thuật tìm kiếm tối ưu. Cụ thể luận án cần thực hiện các nhiệm vụ sau:

Tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất, đa mục tiêu sử dụng các giải thuật

tìm kiếm tối ưu và đề xuất được phương pháp hiệu quả, phù hợp với bài toán tái cấu hình;

Tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất, giảm tổn thất năng lượng có xét đến ảnh hưởng của vị trí và công suất DG.

1.3. Giới hạn của đề tài

Nghiên cứu được thực hiện tập trung vào hai nội dung sau:

- Bài toán tái cấu hình LĐPP trung áp giảm tổn thất công suất, đa mục tiêu;
- Bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất, giảm tổn thất năng lượng có xét đến DG.

1.4. Phương pháp nghiên cứu

Sử dụng các giải thuật heuristic tổng quát để tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất, đa mục tiêu, giảm tổn thất năng lượng và có xét đến ảnh hưởng của DG đến bài toán tái cấu hình;

Phân tích, tổng hợp và thử nghiệm các phương pháp trên các LĐPP mẫu và so sánh kết quả đạt được với một số nghiên cứu đã công bố;

Áp dụng phương pháp tái cấu hình nghiên cứu trên LĐPP thực tế.

1.5. Đóng góp của luận án

Luận án đã phân tích các phương pháp heuristic và heuristic tổng quát, từ đó lựa chọn và áp dụng thành công thuật toán heuristic tổng quát Cuckoo Search (CSA) và Runner-Root (RRA) giải bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất và bài toán tái cấu hình đa mục tiêu. Để giải bài toán tái cấu hình LĐPP, các thuật toán cần được điều chỉnh để phù hợp với bài toán. Trong đó, về phương pháp mã hóa biến điều khiển, mỗi biến điều khiển được mã hóa dưới dạng số nguyên để chỉ vị trí khóa điện trong mỗi vòng kín. Dù mỗi vòng kín trên LĐPP được tạo thành từ các khóa điện khác nhau nhưng rõ ràng luôn tồn tại thứ tự hay vị trí của các khóa điện trong mỗi vòng kín. Vì vậy, việc mã hóa biến điều khiển bằng thứ tự khóa điện trong mỗi vòng kín sẽ giúp các thuật toán tạo ra nhiều cấu trúc lưới hợp lệ trong quá trình tính toán để tạo ra các cấu trúc lưới mới. Ngoài ra, để nâng cao hiệu quả của các thuật toán khi giải bài toán tái cấu hình LĐPP, giới hạn không gian tìm kiếm của mỗi biến điều

khiến có vai trò quan trọng. Do đó, một kỹ thuật giới hạn không gian tìm kiếm của biến điều khiển được đề xuất để xác định các khóa điện trong mỗi vòng kín, giúp cho thuật toán không bị bỏ sót nghiệm khả thi trong quá trình tính toán.

Đánh giá ảnh hưởng của DG đến bài toán tái cấu hình LĐPP thông qua việc giải bài toán tái cấu hình kết hợp với bài toán tối ưu vị trí và công suất DG trên LĐPP. Thông qua việc sử dụng thuật toán CSA giải bài toán tái cấu hình, bài toán tối ưu vị trí công suất DG và các bài toán tái cấu hình kết hợp với bài toán tối ưu vị trí và công suất DG cho thấy phương pháp tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG đồng thời thu được cấu hình có tổn thất công suất đạt cực tiểu và chất lượng điện áp được cải thiện hơn so với các kỹ thuật giải bài toán tái cấu hình và tối ưu vị trí DG riêng rẽ hay kết hợp hai bài toán một cách không đầy đủ.

Đề xuất phương pháp tái cấu hình LĐPP có lắp đặt DG sử dụng thuật toán tìm kiếm tối ưu để giảm tổn thất năng lượng. Ưu điểm của phương pháp đề xuất là sử dụng công suất trung bình của phụ tải và công suất phát trung bình của DG trong thời đoạn khảo sát để tìm cấu hình vận hành không đổi trong thời đoạn khảo sát có tổn thất năng lượng bé nhất. Phương pháp này có thể áp dụng cho các LĐPP có chi phí chuyển tải cao và các LĐPP gặp khó khăn trong quá trình thu thập đồ thị phụ tải và công suất phát của DG.

Về mặt thực tiễn, các phương pháp nghiên cứu có khả năng áp dụng vào các LĐPP thực tế thông qua các kết quả kiểm tra trên LĐPP huyện Chư Prông, tỉnh Gia Lai. Cụ thể, sau khi thực hiện tái cấu hình giảm tổn thất công suất, đã xác định được cấu hình vận hành tối ưu giúp giảm 9.4% tổn thất công suất so với cấu hình lưới hiện hữu. Ngoài ra, luận án đã đề xuất giải pháp tái cấu hình đa mục tiêu nhằm giảm số vị trí phải lắp thêm khóa điện cũng như đảm bảo sự cân bằng của các xuất tuyến. Qua đó, đã xác định được cấu hình vận hành giảm được 8.9% tổn thất công suất so với cấu hình lưới hiện hữu bằng việc lắp đặt thêm một khóa điện trong hệ thống. Bên cạnh đó, luận án đã đề xuất giải pháp xác định được vị trí kết nối tối ưu và công suất phát tối ưu vào LĐPP Chư Prông cho các DG trên địa bàn vốn đang kết nối đến các trạm biến áp 35 kV để nâng cao hiệu quả của LĐPP Chư Prông. Phương pháp và kết

quả thực hiện có thể được dùng tham khảo khi quy hoạch các điểm kết nối một số DG hiện hữu vào LĐPP Chư Prông 22 kV.

1.6. Bộ cục của luận án

Chương 1. Giới thiệu

Chương 2. Tổng quan về tái cấu hình LĐPP

Chương 3. Tái cấu hình LĐPP sử dụng các giải thuật tìm kiếm tối ưu

Chương 4. Tái cấu hình LĐPP có xét đến máy phát điện phân tán

Chương 5. Ứng dụng tái cấu hình LĐPP Chư Prông - Điện lực Gia Lai

Chương 6. Kết luận

Chương 2

TỔNG QUAN VỀ TÁI CẤU HÌNH LĐPP

2.1. Giới thiệu

Hệ thống điện gồm có bốn thành phần chính là nhà máy điện, lưới điện truyền tải, LĐPP và phụ tải. Trong bốn thành phần đó, hệ thống phân phối có vai trò đặc biệt quan trọng, có ảnh hưởng trực tiếp đến độ tin cậy, chất lượng và giá thành điện năng cung cấp [1].

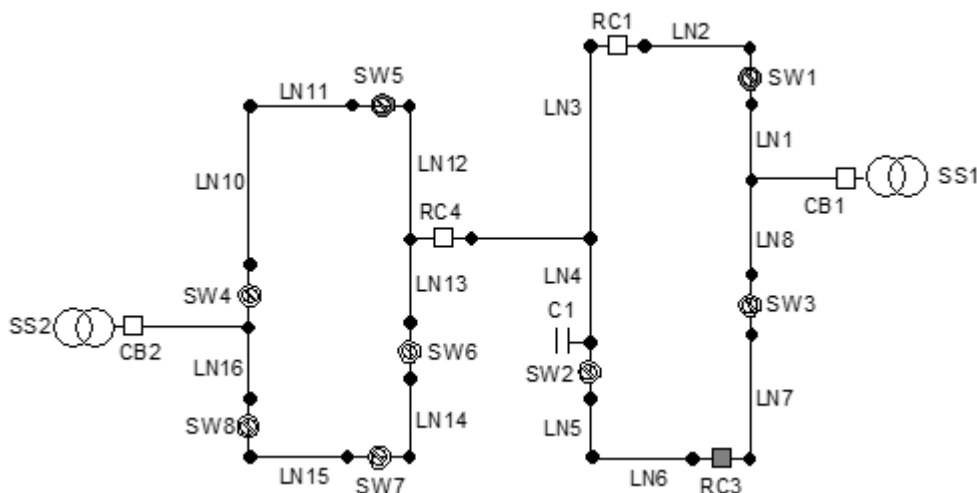
LĐPP thường được vận hành hở hay còn gọi là hình tia nghĩa là không có bất kỳ vòng kín nào trong sơ đồ đơn tuyến. Việc vận hành hở LĐPP có nhiều ưu điểm so với vận hành kín như là dễ dàng bảo vệ lưới, dòng sự cố nhỏ, dễ dàng điều chỉnh điện áp và phân bố công suất. Tuy nhiên, do vận hành ở mức điện áp thấp và dòng điện lớn, LĐPP thường có tổn thất công suất và độ sụt áp lớn [2].

Mặc dù được vận hành hở nhưng để nâng cao độ tin cậy của hệ thống phân phối, trên các mạch hình tia thường có các khóa điện thường mở có khả năng kết nối đến các mạch khác. Nếu có sự cố xảy ra trên một nhánh, các khóa điện thường mở cho phép khôi phục một phần phụ tải trong vùng có sự cố. Ngoài ra, trên các mạch hình tia cũng có các khóa điện thường đóng. Các khóa điện này có thể thay đổi trạng thái khi có yêu cầu.

Hình 2.1 mô tả một LĐPP đơn giản gồm có hai nguồn và nhiều khoá điện [3]. Khoá SW1, SW5 và RC3 ở trạng thái mở để đảm bảo lưới điện vận hành hở. Các đoạn tải LN2 và LN6 nằm ở cuối lưới của nguồn điện SS2. Để cải thiện chất lượng điện năng ở cuối lưới, bộ tụ bù được lắp giữa LN4. Tất nhiên, các thiết bị này đều có thể được vận hành ở chế độ thông số không đổi trong thời gian vận hành hay thông số thay đổi bằng cách điều khiển từ xa hay tại chỗ.

Khi vận hành hệ thống điện phân phối như Hình 2.1, có thể giảm tổn thất công suất bằng cách chuyển một số tải từ nguồn SS2 sang nguồn SS1, chẳng hạn như đóng RC3 và mở SW2 để chuyển các đoạn tải LN5 và LN6 từ nguồn SS2 sang SS1. Hơn nữa, trên LĐPP thực tế có rất nhiều khóa điện, việc tìm ra cách chuyển tải tốt nhất

trong tổ hợp các khoá điện khi chuyển tải đáp ứng các điều kiện ràng buộc kỹ thuật sẽ trở nên phức tạp hơn. Việc phân tích lựa chọn các cách chuyển tải này là nội dung của bài toán tái cấu hình LĐPP.



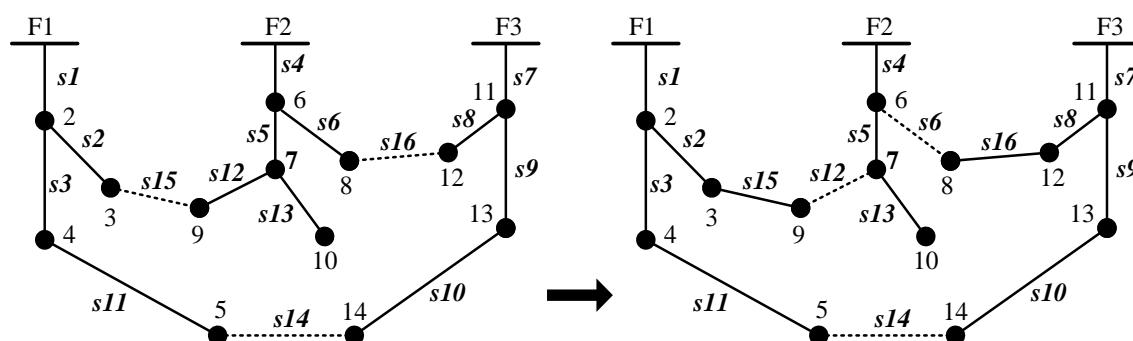
Hình 2. 1. LĐPP đơn giản.

Tái cấu hình LĐPP là quá trình thay đổi cấu trúc hình học của LĐPP bằng việc thay đổi trạng thái của các khóa điện thường đóng và thường mở trong khi vẫn đảm bảo thỏa mãn các ràng buộc tùy theo mục đích của nhà vận hành (Hình 2.2), trong đó có các ràng buộc kỹ thuật như [1]:

- Kết nối của hệ thống phải luôn luôn được duy trì hay nói cách khác tất cả các nút tải phải luôn được cung cấp điện.
- Cấu hình hình tia của LĐPP luôn luôn được đảm bảo trong mọi điều kiện.
- Điện áp các nút phải nằm trong giới hạn cho phép.
- Dòng điện trên các nhánh nằm trong giới hạn định mức cho phép.

Bài toán tái cấu hình LĐPP được đề xuất lần đầu vào năm 1975 bởi Merlin và Back [4]. Trong nghiên cứu này, kỹ thuật tối ưu nhánh và biên được sử dụng để xác định cấu hình lưới có tổn thất bé nhất. Ban đầu tất cả các khóa điện được đóng lại để tạo thành lưới điện kín, sau đó các khóa điện lần lượt được mở để khôi phục lại cấu hình hình tia. Civanlar và cộng sự [5] sử dụng phương pháp trao đổi nhánh để giảm tổn thất công suất dựa trên việc chọn lựa các cặp khóa điện. Ý tưởng của phương pháp là trong một vòng kín, một khóa điện đang mở sẽ được thay thế bằng một khóa

đóng để giảm tổn thất công suất. Khóa được chọn là khóa có mức giảm tổn thất công suất lớn nhất. Shirmohammadi và Hong [6] đề xuất phương pháp tái cấu hình giảm tổn thất công suất dựa trên phương pháp của Merlin và Back. Trong phương pháp này, trên mô hình mạng thuần trở, ban đầu tất cả các khóa điện được đóng lại sau đó lần lượt các khóa điện có dòng điện bé nhất được mở cho đến khi lưới điện trở thành hình tia.



Hình 2. 2. Tái cấu hình LDPP.

Những phương pháp trên có đặc điểm chung là dựa trên các tiêu chuẩn kỹ thuật và không sử dụng bất kỳ thuật toán tối ưu nào nhưng cố gắng tìm ra một giải pháp tốt bằng các quy trình kỹ thuật. Sau hơn ba thập niên thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu cùng với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật máy tính, cho đến nay nhiều phương pháp heuristic tổng quát (metaheuristic) đã được áp dụng để giải bài toán tái cấu hình LDPP và đã đạt được nhiều kết quả. Đây là những phương pháp thường tiếp cận ngẫu nhiên dựa vào quần thể mà không có các yêu cầu đặc biệt như tính liên tục của hàm mục tiêu và hiệu quả trong việc xử lý các bài toán tối ưu có ràng buộc [1]. Tuy nhiên, đối với các thuật toán heuristic tổng quát thì vấn đề cần quan tâm là chúng có thể rơi vào cực trị địa phương thay vì toàn cục và một số thuật toán lại yêu cầu một số lượng lớn các thông số cần điều chỉnh trong quá trình thực hiện. Vì vậy, trong lĩnh vực này, bài toán ngăn ngừa sự hội tụ sớm vào cực trị địa phương của các thuật toán heuristic tổng quát thu hút được nhiều sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu [1].

Trong [7-9], giải thuật di truyền (genetic algorithm - GA) đã được áp dụng giải

bài toán tái cấu hình LĐPP để giảm tổn thất công suất. Trong [10], giải thuật GA đã được sử dụng để giải bài toán tái cấu hình LĐPP có nguồn điện phân tán (Distributed Generation - DG) để giảm tổn thất công suất và độ lệch điện áp. Trong [11], giải thuật GA đã được sử dụng để giải bài toán tái cấu hình LĐPP nhằm giảm tổn thất công suất và nâng cao độ tin cậy cung cấp điện của hệ thống.

Trong [12-14], thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization - PSO) được áp dụng vào bài toán tái cấu hình LĐPP để giảm tổn thất công suất. Trong [15], PSO được sử dụng để tối ưu cấu hình lưới điện với hàm mục tiêu là giảm tổn thất công suất và chỉ số cân bằng tải (Load Balancing Index - LBI). Trong [16], [17], thuật toán PSO nhị phân được sử dụng để tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất.

Trong [18], mạng nơron nhân tạo đã được sử dụng để tìm ra cấu hình lưới có tổn thất công suất bé nhất. Trong [19], thuật toán tối ưu trọng trường được áp dụng giải bài toán tái cấu hình LĐPP với hàm đa mục tiêu giảm tổn thất công suất, chi phí vận hành và độ tin cậy của LĐPP có DG. Trong [20], lý thuyết đồ thị cây khung nhỏ nhất đã được áp dụng vào bài toán tái cấu hình lưới để giảm tổn thất công suất.

Quá trình tái cấu hình không chỉ ảnh hưởng đến tổn thất công suất mà còn ảnh hưởng đến nhiều yếu tố khác của LĐPP. Vì vậy, bài toán tái cấu hình đa mục tiêu đã thu hút được nhiều sự chú ý của các nhà nghiên cứu. Trong [21], phương pháp heuristic cải tiến dựa trên phương pháp trao đổi nhánh [22] đã được sử dụng để giải bài toán với mục tiêu giảm chi phí tổn thất, chi phí chuyển khóa và cải thiện điện áp nút trong hệ thống. Trong nghiên cứu này, phương pháp trao đổi nhánh đã được cải tiến để chúng luôn tạo ra các cấu hình lưới hợp lệ tránh phải giải bài toán phân bố công suất trên lưới điện kín. Trong [23], phương pháp heuristic đa mục tiêu (Fuzzy Multiobjective Approach - FMA) được đề xuất để giải bài toán với hàm mục tiêu giảm tổn thất, độ lệch điện áp, cân bằng tải giữa các nhánh và giữa các xuất tuyến. Ngoài ra, một số nghiên cứu sử dụng các giải thuật heuristic tổng quát cũng đã được áp dụng thành công vào bài toán tái cấu hình đa mục tiêu chẳng hạn như GA [24], giải thuật lai giữa giải thuật đàn kiến (Ant Colony Optimization - ACO) và PSO (hybrid PSO - HPSO) [25], giải thuật lai giữa đàn ong (Honey Bee Mating

Optimization - HBMO) và PSO rời rạc (DPSO-HBMO) [26], giải thuật bước nhảy ếch (Shuffled Frog-Leaping - SFL) [27], đàn ong [28].

Ngoài ra, với sự phát triển của các nguồn năng lượng tái tạo, cấu hình của LĐPP cũng đang dần được thay đổi. Một trong những thay đổi mạnh mẽ đó là sự xuất hiện của DG trên LĐPP. DG là nguồn phát điện được kết nối với LĐPP hoặc từ phía khách hàng sử dụng điện [29]. Một số công nghệ DG hiện nay bao gồm hệ thống pin mặt trời, hệ thống turbin gió, hệ thống pin nhiên liệu, turbin công suất nhỏ, hệ thống năng lượng sóng biển, thủy triều, hệ thống bio-gas, hệ thống máy phát dầu, hệ thống máy phát khí, hệ thống năng lượng địa nhiệt, máy phát điện động cơ đốt trong [30]. Do bởi các yếu tố an ninh năng lượng và lợi ích kinh tế, sự xuất hiện của DG trên LĐPP ngày càng được tăng lên nhanh chóng [31], [32]. Ảnh hưởng của DG đã thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu trong thời gian gần đây. Trong [33], các phương pháp độ nhạy tổn thất công suất, chỉ số ổn định công suất (Power Stability Index - PSI), chỉ số ổn định điện áp (Voltage Stability Index - VSI) được so sánh trong việc tối ưu vị trí và công suất DG trên LĐPP. Trong [34], thuật toán tối ưu hóa tìm kiếm thức ăn của vi khuẩn (Bacterial Foraging Optimization Algorithm - BFOA) được đề xuất để tìm vị trí và công suất tối ưu của DG với hàm mục tiêu giảm tổn thất công suất, chi phí vận hành và ổn định điện áp. Trong [35], phương pháp dựa trên mạng thần kinh nhân tạo được sử dụng để tối ưu vị trí và công suất của các loại DG khác nhau. Kayal và cộng sự [36] đề xuất phương pháp dựa trên thuật toán PSO để tối ưu công suất turbin gió và pin mặt trời để giảm tổn thất công suất và cải thiện độ ổn định điện áp của LĐPP. Trong [37], thuật toán PSO được sử dụng để tối ưu vị trí và công suất DG và đơn giá hợp đồng phát điện của DG.

Gần đây, một số nghiên cứu đã xem xét giải quyết bài toán tái cấu hình và đặt DG đồng thời để nâng cao hiệu quả của LĐPP [38], [39], [40]. Trong [39], tái cấu hình LĐPP với tối ưu công suất DG với hàm mục tiêu giảm tổn thất công suất và cải thiện điện áp các nút sử dụng thuật toán tìm kiếm hài hòa (Harmony Search Algorithm - HSA). Trong [40], giải thuật pháo hoa (Fireworks Algorithm - FWA) được sử dụng để giải bài toán tái cấu hình và đặt DG trên LĐPP giảm tổn thất công suất và nâng

cao ổn định điện áp.

Ở Việt Nam, bài toán tái cấu hình LĐPP cũng đã thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu. Trong [41], thuật toán GA đã được sử dụng trong bài toán tái cấu hình LĐPP để giảm tổn thất công suất. Trong [42], phương pháp tái cấu hình LĐPP sử dụng giải thuật đàn kiến ACO để giảm tổn thất công suất. Trong nghiên cứu này, thông qua kết quả mô phỏng, tác giả đã chứng minh được những ưu điểm của thuật toán ACO so với GA và giải thuật luyện kim (Simulated Annealing – SA). Trong [43], thuật toán ACO kết hợp với kỹ thuật logic mờ được sử dụng để giải bài toán tái cấu hình LĐPP.

Dựa trên mục đích của bài toán tái cấu hình LĐPP có thể được chia thành các bài toán nhỏ hơn như sau:

Bài toán 1: Xác định cấu hình lưới điện tại một thời điểm để tổn thất công suất bé nhất [4-5], [7], [20], [44-45].

Bài toán 2: Xác định cấu hình lưới điện thay đổi trong từng thời điểm của thời gian khảo sát để cực tiểu chi phí vận hành [46-48].

Bài toán 3: Xác định cấu hình lưới điện không đổi trong thời gian khảo sát để cực tiểu chi phí vận hành [49-52].

Bài toán 4: Xác định cấu hình lưới điện để khôi phục sự cố [53-58].

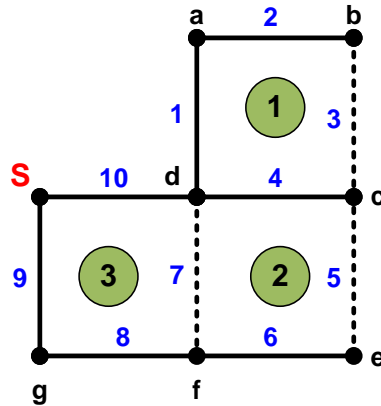
Bài toán 5: Xác định cấu hình lưới điện có xét đến ảnh hưởng của nguồn điện phân tán với các hàm mục tiêu như giảm tổn thất công suất, chi phí vận hành... [10], [38], [46], [59-61].

Bài toán 6: Xác định cấu hình lưới điện đáp ứng nhiều mục tiêu vận hành [22-23], [62-65].

Bài toán 7: Xác định cấu hình lưới điện để nâng cao độ tin cậy cung cấp điện [11], [63], [66-70].

Trong các bài toán liên quan đến tái cấu hình LĐPP, bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất được xem như mô đun chính của các bài toán. Điều này được chứng minh qua các giải thuật được nghiên cứu kể từ khi lần đầu tiên bài toán được đề xuất cho đến nay. Tuy nhiên, trong thực tế vận hành LĐPP, bài toán giảm tổn thất năng

lượng mới là bài toán cần quan tâm do bởi sự thay đổi của phụ tải.



Hình 2. 3. LĐPP đơn giản 1 nguồn, 8 nút, 10 nhánh và 3 vòng.

Bảng 2. 1. Kỹ thuật mã hóa biến điều khiển khi sử dụng các giải thuật heuristic tổng quát giải bài toán tái cấu hình LĐPP.

Tài liệu	Mã hóa biến điều khiển	Giới hạn biến điều khiển	Chú thích	Nhận xét
[41], [71]	[1101010111]	Không	Trạng thái khóa điện: 0: khóa đóng, 1: khóa mở	- Nhiều cấu trúc không hợp lệ khi tạo nghiệm mới - Kích thước biến lớn, tính toán phức tạp
[72]	[001, 01, 0101, 01, 0111, 01]	Không	Nhánh và khóa: Nhánh 1, khóa 1, nhánh 3, khóa 1, nhánh 7, khóa 1	- Kích thước biến lớn, tính toán phức tạp
[7]	[0011, 0101, 0111]	Không	Khóa mở bằng số nhị phân: Khóa 3, 5, 7	- Kích thước biến lớn
[73], [74]	[3,1,1]	Vòng 1: [1,2,3,4] Vòng 2: [5,6] Vòng 3: [7,8,9,10]	Thứ tự của khóa trong vòng	- Không kiểm tra hình tia, sót nghiệm do giới hạn vòng kín - Dùng số thứ tự, nhiều cấu trúc hợp lệ khi tạo nghiệm mới

Tài liệu	Mã hóa biến điều khiển	Giới hạn biến điều khiển	Chú thích	Nhận xét
[75]	[100000, 0100000, 100000, 0010 1000000, 0001, 0100]	Nút a có 6 đường cấp nguồn: $\pi_1^a = [1,10]$, $\pi_2^a = [2,3,4,10]$, $\pi_3^a = [1,7,8,9]$, $\pi_4^a = [2,3,5,6,8,9]$, $\pi_5^a = [2,3,5,6,7,10]$, $\pi_6^a = [2,3,4,6,7,8,9]$	Đường kết nối về nút nguồn của mỗi nút: Nút a đi theo đường π_1^a	- Giới hạn biến điều khiển phức tạp, khó thực hiện
[76-79]	[3, 5, 7]	Vòng 1: [1,2,3,4] Vòng 2: [5,6] Vòng 3: [7,8,9,10]	Khóa điện: Khóa 3, 5, 7	- Không kiểm tra hình tia, sót nghiệm do giới hạn vòng kín - Dùng khóa, nhiều cấu trúc không hợp lệ khi tạo nghiệm mới
[80]	[110, 01, 01]	Giới hạn nhánh	Trạng thái khóa điện trong các nhánh: Khóa 1, 2, 3, khóa 5, 6 khóa 7, 8	- Bỏ sót nghiệm - Nhiều cấu trúc không hợp lệ khi tạo nghiệm mới

Về phương pháp giải bài toán, bài toán tái cấu hình LĐPP đã được giải bằng nhiều phương pháp khác nhau bao gồm các phương pháp heuristic đến các phương pháp heuristic tổng quát. Trong đó, có thể thấy rằng các phương pháp heuristic tổng quát ngày càng được ứng dụng nhiều trong việc giải bài toán tái cấu hình. Tuy nhiên, do các thuật toán heuristic tổng quát dựa trên dựa trên các tri thức tổng quát và có thể được áp dụng cho nhiều loại bài toán khác nhau. Vì vậy, khi áp dụng vào bài toán tái cấu hình LĐPP cần sử dụng các kỹ thuật mã hóa các biến điều khiển sao cho phù hợp với bài toán. Một số kỹ thuật mã hóa biến điều khiển cho LĐPP đơn giản ở Hình 2. 3 được trình bày ở Bảng 2. 1 của một số phương pháp tái cấu hình LĐPP sử dụng các giải thuật tìm kiếm tối ưu cho thấy kỹ thuật mã hóa biến điều khiển có ý nghĩa quan trọng khi sử dụng các giải thuật heuristic tổng quát để giải bài toán tái cấu hình LĐPP.

Ngoài ra, cấu hình LĐPP cũng đang dần thay đổi do có sự xuất hiện của các loại DG. Điều này được chứng minh thông qua một số nghiên cứu đã đề cập đến ảnh hưởng của DG trong bài toán tái cấu hình LĐPP.

2.2. Mô hình bài toán tái cấu hình LĐPP cổ điển

Do LĐPP có tổn thất công suất lớn [2] nên bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu. Mô hình toán học của tái cấu hình LĐPP có thể được thể hiện bởi dòng điện nhánh hoặc công suất nhánh [81].

(1) Sử dụng biến dòng điện

$$\text{Min } f = \sum_{i=1}^{Nbr} k_i R_i I_i^2 \quad (2.1)$$

Với

$$k_i |I_i| \leq I_{imax} \quad i = 1, 2, \dots, Nbr \quad (2.2)$$

$$V_{jmin} \leq V_j \leq V_{jmax} \quad j = 1, 2, \dots, Nbus \quad (2.3)$$

$$g(I, k) = 0 \quad (2.4)$$

$$g(V, k) = 0 \quad (2.5)$$

$$\varphi(k) = 0 \quad (2.6)$$

Trong đó, I_i , R_i , lần lượt là dòng điện, điện trở của nhánh i^{th} ; V_j : Điện áp tại nút j^{th} ; k_i : Đại diện cho trạng thái của các nhánh, $k_i = 1$ nếu nhánh i^{th} đóng, và $k_i = 0$ nếu nhánh i^{th} mở; $Nbus$ và Nbr lần lượt là tổng số nút và tổng số nhánh trong LĐPP.

Trong mô hình ở trên, biểu thức (2.2) đại diện cho ràng buộc dòng điện nhánh. Biểu thức (2.3) đại diện cho ràng buộc điện áp nút. biểu thức (2.4) đại diện cho định luật Kirchhoff 1, và biểu thức (2.5) đại diện cho định luật Kirchhoff 2, biểu thức (2.6) đại diện cho ràng buộc về cấu hình hình tia của mỗi cấu hình xem xét. Nó bao gồm hai ràng buộc:

(a) Tính khả thi: Tất cả các nút trong mạng phải được kết nối bởi các nhánh, tức là ở đó không có nút nào bị tách biệt.

(b) Hình tia: Số lượng các nhánh trong mạng phải nhỏ hơn so với số lượng các nút một đơn vị.

Do đó, cấu hình mạng cuối cùng phải được bố trí hình tia và tất cả các tải vẫn phải được kết nối.

(2) Sử dụng biến công suất

$$\text{Min } f = \sum_{i=1}^{Nbr} k_i R_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (2.7)$$

Với

$$k_i |S_i| \leq S_{imax} \quad i = 1, 2, \dots, Nbr \quad (2.8)$$

$$V_{jmin} \leq V_j \leq V_{jmax} \quad j = 1, 2, \dots, Nbus \quad (2.3)$$

$$g(P, k) = 0 \quad (2.9)$$

$$g(Q, k) = 0 \quad (2.10)$$

$$g(V, k) = 0 \quad (2.5)$$

$$\varphi(k) = 0 \quad (2.6)$$

Trong đó, P_i , Q_i lần lượt là công suất tác dụng và phản kháng của nhánh i^{th} ; V_i là điện áp cuối nhánh i^{th} .

Hàm mục tiêu trong biểu thức (2.7) là tổn thất công suất. Nếu biên độ điện áp được giả định là 1.0 p.u. và tổn thất công suất phản kháng được bỏ qua trong hàm mục tiêu, biểu thức (2.7) có thể được đơn giản hóa như sau:

$$\text{Min } f = \sum_{i=1}^{Nbr} k_i R_i P_i^2 \quad (2.11)$$

Trong mô hình trên, biểu thức (2.8) đại diện cho ràng buộc công suất trên nhánh. Biểu thức (2.9) và (2.10) đại diện cho định luật của Kirchhoff 1.

Rõ ràng, cả hai mô hình tái cấu hình LĐPP, cho dù biểu diễn bằng dòng điện nhánh hoặc công suất đều có chức năng như nhau.

2.3. Một số phương pháp tái cấu hình LĐPP

2.3.1. Phương pháp kỹ thuật vòng kín

Phương pháp do Merlin và Back [4] đề xuất dựa trên ý tưởng khá đơn giản đó là đóng tất cả các khoá điện lại tạo thành một lưới điện kín, sau đó giải bài toán phân bố công suất và tiến hành mở lần lượt các khoá có dòng chạy qua bé nhất cho đến khi lưới điện có cấu hình hình tia. Do lưới điện có cấu hình mạch vòng luôn có mức tổn thất công suất bé nhất. Vì vậy để có LDPP vận hành hình tia, những nhánh có tổn thất công suất nhỏ nhất lần lượt được loại bỏ, quá trình sẽ kết thúc khi lưới điện đạt được trạng thái vận hành hở. Phương pháp dựa trên luật heuristic này mất rất nhiều thời gian do có khả năng xảy ra đến 2^n cấu hình nếu có n đường dây được trang bị khoá điện [3].

2.3.2. Phương pháp trao đổi nhánh

Ý tưởng cơ bản của phương pháp đổi nhánh heuristic là tính toán sự thay đổi của tổn thất công suất bằng cách vận hành một cặp các khoá điện (đóng một và mở một khoá điện khác vào cùng một thời điểm) [5]. Mục đích là để giảm tổn thất công suất.

Phương pháp trao đổi nhánh dựa trên heuristic để tái cấu hình LDPP được đánh giá cao nhờ vào việc xác định được hai qui luật để giảm số lượng khoá điện cần xem xét, bao gồm:

Nguyên tắc chọn khoá đóng: Việc giảm tổn thất chỉ có thể đạt được nếu như có sự chênh lệch đáng kể về điện áp tại khoá đang mở.

Nguyên tắc chọn khoá mở: Việc giảm tổn thất chỉ đạt được khi thực hiện chuyển tải ở phía có độ sụt áp lớn sang phía có sụt áp bé hơn.

Xây dựng được hàm số mô tả mức giảm tổn thất công suất tác dụng khi có sự thay đổi trạng thái của một cặp khoá điện trong quá trình tái cấu hình.

Kỹ thuật đổi nhánh thể hiện ở quá trình thay thế một khoá mở bằng và một khoá đóng trong cùng một vòng để giảm tổn thất công suất. Vòng được chọn để đổi nhánh là vòng có cặp khoá đóng/mở có mức giảm tổn thất công suất lớn nhất. Quá trình được lặp lại cho đến khi không thể giảm được tổn thất nữa.

Phương pháp trao đổi nhánh có những ưu điểm sau [3], [81-82]:

(1) Đơn giản dễ hiểu.

(2) Nhanh chóng xác định phương án tái cấu hình có mức tổn thất nhỏ hơn bằng cách giảm số liên kết đóng cắt nhờ qui tắc heuristic và sử dụng công thức thực nghiệm để xác định mức độ giảm tổn thất tương đối.

(3) Việc xác định dòng tải tương đối chính xác.

Tuy nhiên, phương pháp cũng còn có những nhược điểm sau:

(1) Mỗi bước tính toán chỉ xem xét một cặp khóa điện trong một vòng.

(2) Chỉ đáp ứng được nhu cầu giảm tổn thất, chứ chưa giải quyết được bài toán cực tiểu hóa hàm mục tiêu.

(3) Các cấu hình cuối cùng phụ thuộc vào cấu hình mạng ban đầu.

2.3.3. Phương pháp dòng công suất tối ưu

Nếu trở kháng của tất cả các nhánh trong mạng được thay thế bởi các điện trở của nhánh tương ứng, phân bố dòng công suất đáp ứng các định luật Kirchhoff 1 và Kirchhoff 2 được gọi là mô hình dòng công suất tối ưu. Khi phân bố công suất trong một vòng kín là dòng công suất tối ưu, tổn thất công suất trong mạng tương ứng sẽ là nhỏ nhất. Do đó, ý tưởng cơ bản của mô hình dòng công suất tối ưu là mở khóa điện của nhánh có dòng điện thấp nhất trong vòng kín [6], Các bước của thuật toán được mô tả ở Hình 2.3 bao gồm:

(1) Đóng tất cả các khóa điện thường mở để tạo thành các mạch vòng.

(2) Giải bài toán phân bố công suất xoay chiều và chuyển các tải thành dòng điện bơm vào nút.

(3) Thay thế lưới trở kháng thành lưới thuần trở và tính toán dòng công suất tối ưu.

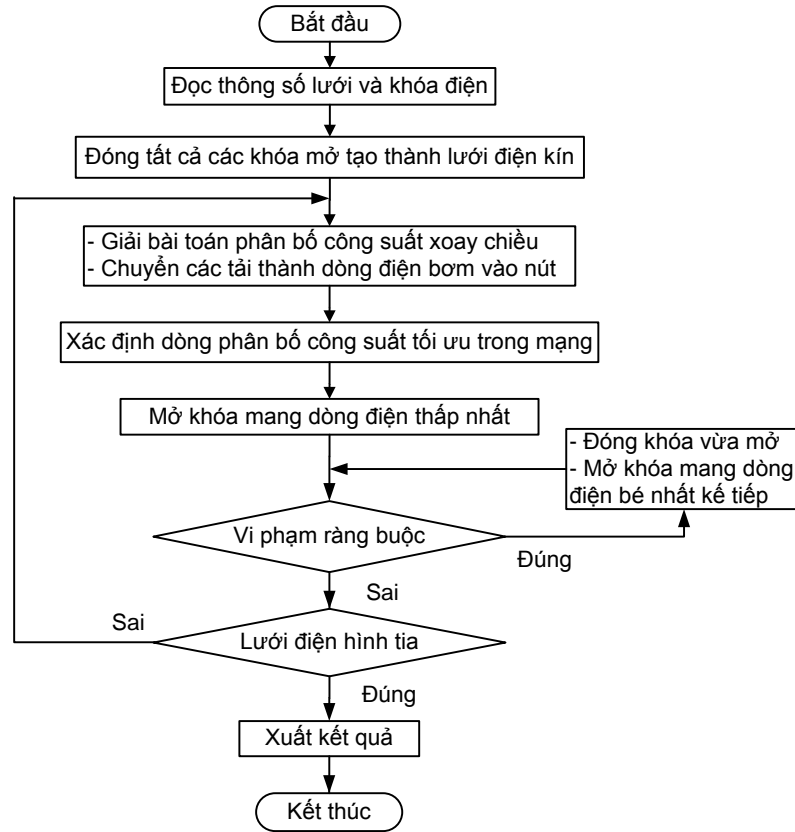
(4) Mở khóa điện trên nhánh có dòng điện thấp nhất trong vòng kín và không vi phạm các điều kiện ràng buộc.

(5) Lặp lại bước (2) – (4) để xác định các khóa điện mở tiếp theo cho đến khi mạng trở thành một mạng hình tia.

Phương pháp dòng công suất tối ưu có những ưu nhược điểm như sau [81]:

Những ưu điểm của phương pháp này là cấu hình mạng cuối cùng sẽ không phụ

thuộc vào cấu hình mạng ban đầu và tốc độ tính toán nhanh hơn nhiều so với các phương pháp đôi nhánh đơn giản. Ngoài ra, bài toán vận hành khóa điện tổ hợp phức tạp trở thành một bài toán heuristic bằng cách mở một khóa điện mỗi lần.



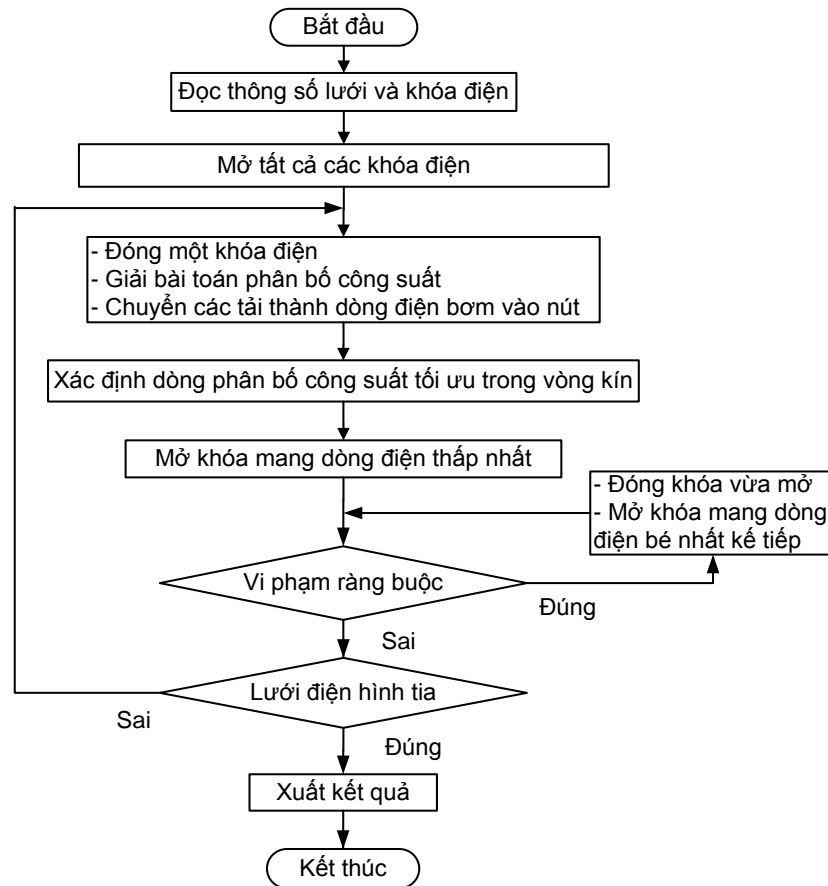
Hình 2. 4. Phương pháp dòng công suất tối ưu.

Tuy nhiên, có một số nhược điểm do bởi tất cả các khóa điện thường mở được đóng trong cấu hình mạng ban đầu. Chẳng hạn như nếu có nhiều khóa điện thường mở trong một mạng, việc tính toán dòng công suất tối ưu sẽ bao gồm rất nhiều vòng. Giải pháp cuối cùng có thể không được tối ưu do những tác động lẫn nhau giữa các vòng.

2.3.4. Phương pháp dòng công suất tối ưu cải tiến

Phương pháp dòng công suất tối ưu cải tiến tiếp cận dựa trên phương pháp dòng công suất tối ưu nhưng không đóng tất cả các khóa điện thường mở (chỉ đóng một khóa điện và mở một khóa điện khác mỗi lần). Ngoài ra, phương pháp này không quan tâm đến tính chính xác tổn thất của lưới điện. Nó chỉ tập trung vào sự thay đổi của tổn thất xảy ra do hoạt động chuyển đổi khóa điện. Các bước tính toán của phương

pháp dòng công suất tối ưu cải tiến (Hình 2.4) được mô tả chi tiết như sau [81], [83]:



Hình 2. 5. Phương pháp dòng công suất tối ưu cải tiến.

(1) Mở tất cả các khóa điện thường mở trong hệ thống để lưới ban đầu có cấu hình là một dạng cây (hình tia).

(2) Đóng bất kỳ một khóa điện. Bằng cách này, chỉ có một vòng kín trong mạng.

(3) Tính toán phân bố công suất cho lưới có một vòng và tính toán dòng điện tương đương cho tất cả các nút trong vòng kín.

(4) Thay đổi lưới có một vòng kín bằng một lưới thuần trở, và tính toán dòng công suất tối ưu để tìm nhánh có giá trị dòng điện thấp nhất. Mở khóa điện trên nhánh này.

(5) Lặp lại bước (2) – (4) để xác định các khóa điện mở tiếp theo.

(6) Thuật toán sẽ được dừng lại sau khi tất cả các khóa mở được xem xét.

Phương pháp dòng công suất tối ưu cải tiến đã loại bỏ sự ảnh hưởng giữa các vòng kín. Mặc dù quá trình hội tụ có liên quan đến lưới điện ban đầu, kết quả cuối

cùng ổn định và không liên quan đến thứ tự của các khóa điện mở. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là Quá trình hội tụ và tốc độ tính toán bị ảnh hưởng bởi thứ tự vận hành các khóa điện [81].

2.3.5. Giải thuật di truyền

Giải thuật di truyền (GA) là kỹ thuật tìm kiếm và tối ưu dựa trên nguyên lý tiến hóa và chọn lọc tự nhiên. Thuật toán GA lần đầu tiên được phát triển bởi John Holland vào năm 1975 [84]. Các bước cơ bản của thuật toán GA được thực hiện như sau [81]:

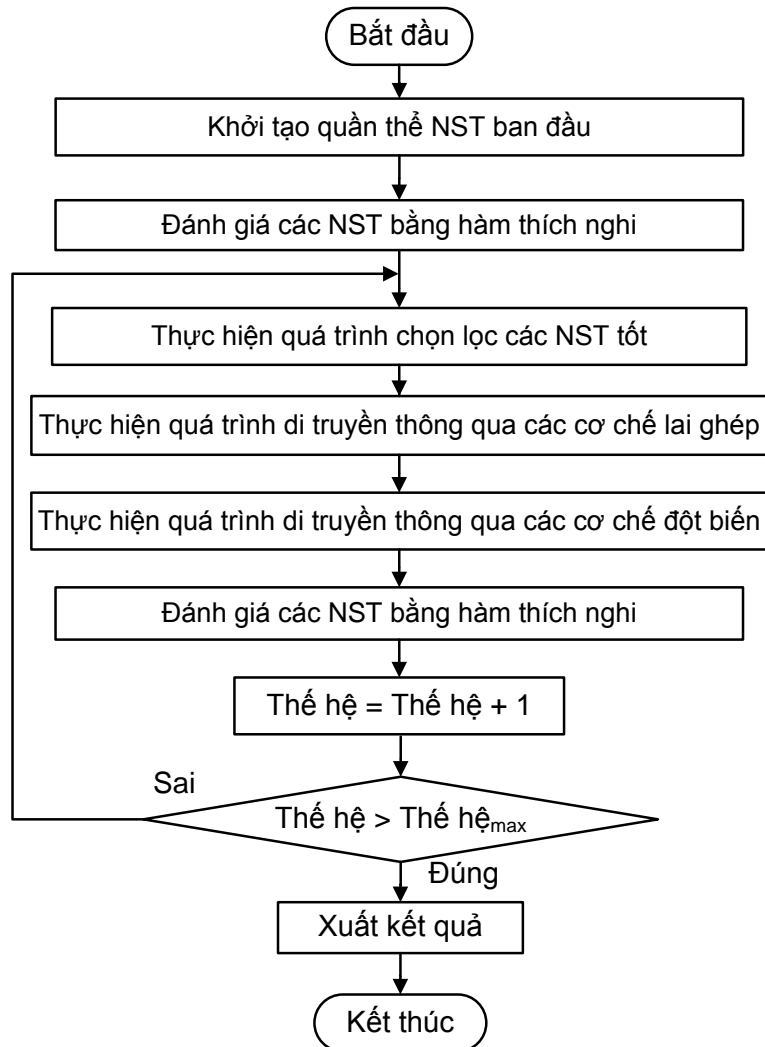
(1) Khởi tạo quần thể: Với các biến điều khiển cho trước X , chọn ngẫu nhiên một quần thể có N nhiễm sắc thể (NST) $\{X_0^1, X_0^2, \dots, X_0^N\}$ trong đó mỗi NST X_0^i có thể được thể hiện bởi một chuỗi mã nhị phân hay các số liên tục. Khi đó, mỗi NST tương ứng với một giá trị hàm mục tiêu $f(X_0^i)$, và quần thể tương ứng với tập giá trị hàm mục tiêu $\{f(X_0^1), f(X_0^2), \dots, f(X_0^N)\}$. Đặt thế hệ $k = 0$, di chuyển đến bước tiếp theo.

(2) Lựa chọn: Chọn một cặp NST từ quần thể như là một cha mẹ. Thông thường, NST với độ thích nghi lớn hơn có một xác suất được lựa chọn lớn hơn.

(3) Ghép chéo: Ghép chéo là một hoạt động quan trọng trong thuật toán GA. Mục đích của ghép chéo, là để trao đổi thông tin đầy đủ giữa các NST. Có rất nhiều phương pháp ghép chéo, như ghép chéo một điểm và ghép chéo đa điểm.

(4) Đột biến: Đột biến là một hoạt động quan trọng khác trong thuật toán di truyền. Các đột biến tốt sẽ được giữ lại, và đột biến xấu sẽ được loại bỏ. Thông thường, các NST với độ thích nghi kém có xác suất được lựa chọn lớn hơn. Tương tự như ghép chéo, có đột biến một điểm và đa điểm.

(5) Thực hiện xong bước (2)-(4), một quần thể mới được sinh ra thay thế cho thế hệ cha mẹ với một số NST mới và loại bỏ một số NST xấu. Quần thể mới được đánh giá bằng hàm thích nghi. Nếu các điều kiện hội tụ được thỏa mãn, thuật toán sẽ được dừng lại ngược lại thuật toán sẽ quay lại bước (2) và tiếp tục thực hiện các bước tiếp theo. Lưu đồ thuật toán được mô tả ở Hình 2.5.



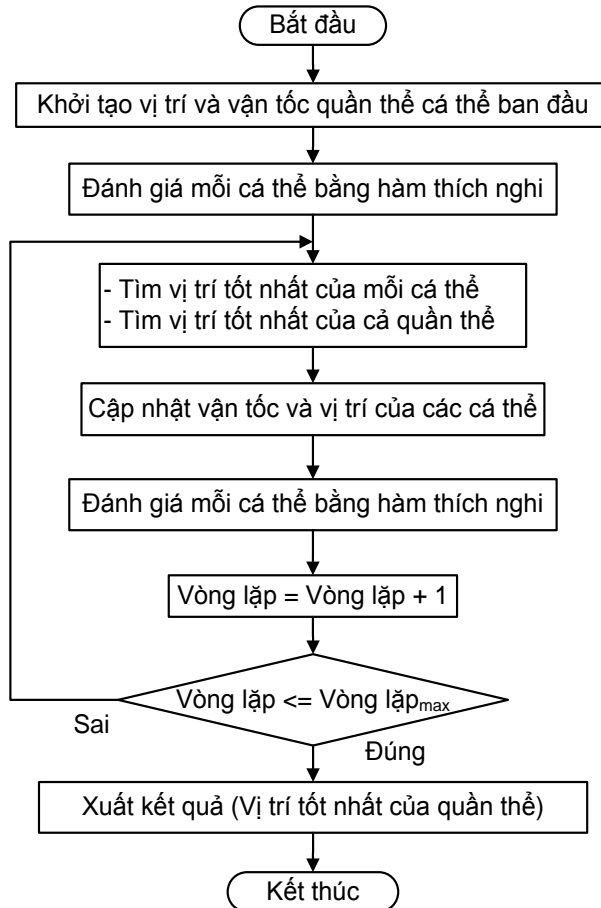
Hình 2. 6. Giải thuật GA.

Giải thuật GA có nhiều ưu điểm trong việc tìm giải pháp tối ưu. Trong đó, cơ chế chọn lọc giúp lựa chọn các giải pháp tốt đảm bảo cho GA hội tụ, cơ chế ghép chéo và đột biến giúp tạo ra các giải pháp lân cận các giải pháp tốt và các giải pháp mới trong không gian tìm kiếm giúp cho GA tránh bị mắc vào các cực trị địa phương và tăng sự đa dạng của các giải pháp. Tuy nhiên, việc lựa chọn các thông số quan trọng của GA như tỉ lệ chọn lọc, phương pháp ghép chéo, tỉ lệ đột biến có ảnh hưởng đáng kể đến giải pháp thu được.

2.3.6. Giải thuật tối ưu bầy đàn

Thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) lần đầu tiên được đề xuất bởi Eberhart và Kennedy vào năm 1995 [85]. PSO là một dạng của thuật toán tiến hóa được lấy ý

tương tự từ phương pháp tìm kiếm thức ăn của đàn chim. So với GA, PSO không có các cơ chế ghép chéo hay đột biến mà thiên về sử dụng sự tương tác giữa các cá thể trong một quần thể để khám phá không gian tìm kiếm. Các bước cơ bản của thuật toán PSO (Hình 2.6) được thực hiện như sau:



Hình 2. 7. Giải thuật PSO.

(1) Khởi tạo quần thể: Chọn ngẫu nhiên một quần thể có N cá thể có các vị trí và vận tốc ban đầu là $\{X_0^1, X_0^2, \dots, X_0^N\}$, $\{V_0^1, V_0^2, \dots, V_0^N\}$. Khi đó, mỗi cá thể tương ứng với một giá trị hàm mục tiêu $f(X_0^i)$, và quần thể tương ứng với tập giá trị hàm mục tiêu $\{f(X_0^1), f(X_0^2), \dots, f(X_0^N)\}$. Đặt vòng lặp $k = 0$, di chuyển đến bước tiếp theo.

(2) Tìm vị trí tốt nhất của mỗi cá thể và của cả quần thể: Trong quá trình khám phá không gian tìm kiếm, mỗi cá thể chịu sự tác động của hai thông tin đó là vị trí tốt nhất của chính cá thể đó trong quá khứ (P_{best}) và vị trí tốt nhất của cả bầy đàn đã đạt được trong quá khứ (G_{best}).

(3) Cập nhật vận tốc và vị trí của các cá thể: Mỗi cá thể sẽ điều chỉnh vận tốc và vị trí của mình theo các cá thể có giá trị thích nghi tốt nhất như sau:

$$V_i^{k+1} = C_1 \times rand \times (P_{best,i} - X_i) + C_2 \times rand \times (G_{best,i} - X_i) \quad (2.12)$$

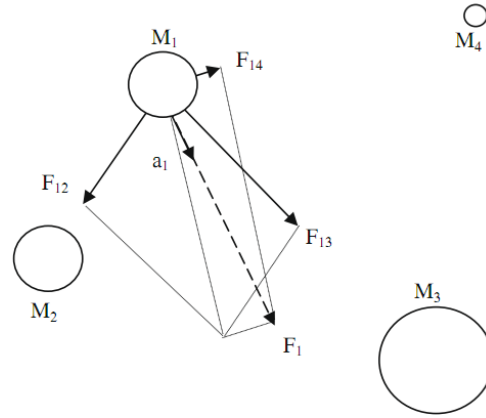
$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (2.13)$$

(4) Thực hiện xong bước (2) và (3), quần thể với vận tốc di chuyển và vị trí mới được cập nhật. Vị trí mới của các cá thể được đánh giá bằng hàm thích nghi. Nếu các điều kiện hội tụ được thỏa mãn, thuật toán sẽ được dừng lại ngược lại thuật toán sẽ quay lại bước (2) và tiếp tục thực hiện các bước tiếp theo.

Giải thuật PSO có ưu điểm là đơn giản, dễ dàng thực hiện và PSO có thể dễ dàng hoạt động với các giải pháp là số thực. Ngoài ra, do không có cơ chế ghép chéo và đột biến nên PSO tính toán nhanh hơn và sử dụng ít bộ nhớ máy tính hơn do bởi trong quá trình tính toán, PSO không lưu trữ đường chuyển động của mỗi cá thể mà chỉ dựa vào vận tốc của mỗi cá thể. Tuy nhiên, do các cá thể trong quần thể di chuyển dựa trên cá thể tốt nhất trong quần thể và có xu hướng tập trung về vị trí cá thể tốt nhất nên làm cho PSO có khuynh hướng hội tụ sớm và có thể làm cho giải pháp thu được không tối ưu.

2.3.7. Giải thuật tối ưu trọng trường

Thuật toán tối ưu trọng trường (Gravitational Search Algorithm – GSA) là một trong những thuật toán tối ưu mới được phát triển bởi Rashedi vào năm 2009 [86]. Giải thuật này dựa trên các định luật của Newton về trọng lực và khối lượng. Trong GSA, mỗi phần tử được xem như là một vật thể (Hình 2.7) và các đặc điểm của nó được đo lường bằng chính khối lượng của vật thể. Mỗi vật thể đại diện cho mỗi giải pháp để giải quyết bài toán. Tất cả các vật hút nhau bởi trọng lực và lực này được sinh ra do sự chuyển động của tất cả các vật về phía các vật thể có khối lượng nặng hơn. Do bởi các vật nặng hơn có giá trị hàm mục tiêu tốt hơn. Chúng mô tả giải pháp tốt hơn để giải quyết bài toán và chúng di chuyển chậm hơn các vật thể có khối lượng nhẹ, vốn thể hiện cho các giải pháp xấu hơn. Các bước cơ bản của thuật toán GSA được thực hiện như sau:



Hình 2. 8. Các vật thể tương tác với nhau.

(1) Khởi tạo: Chọn ngẫu nhiên hệ thống có N vật thể là $\{X_0^1, X_0^2, \dots, X_0^N\}$. Khi đó, mỗi vật thể tương ứng với một giá trị hàm mục tiêu $f(X_0^i)$, và hệ thống tương ứng với tập giá trị hàm mục tiêu $\{f(X_0^1), f(X_0^2), \dots, f(X_0^N)\}$. Đặt vòng lặp $t = 0$, di chuyển đến bước tiếp theo.

(2) Tính toán khối lượng của các vật thể

$$m_i(t) = \frac{f_i(t) + worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (2.14)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (2.15)$$

Trong đó, *worst* và *best* lần lượt là giá trị hàm thích nghi xấu và tốt nhất của các vật thể.

(3) Tính toán gia tốc của các vật thể

- Lực tác động lên vật thể i được gây ra bởi vật thể j

$$F_{ij}(t) = G(t) \frac{M_j(t) \times M_i(t)}{R_{ij} + \varepsilon} (X_j(t) - X_i(t)) \quad (2.16)$$

Trong đó, R_{ij} là khoảng cách Euclidian giữa hai vật thể, ε là hằng số nhỏ và $G(t)$ là hằng số hấp dẫn tại thời điểm t .

- Tính gia tốc của các vật thể:

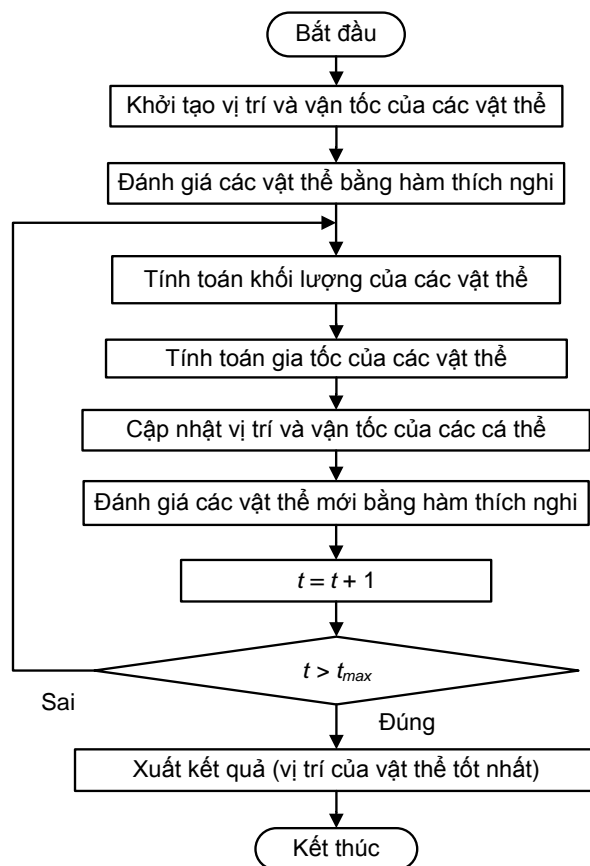
$$a_i(t) = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}(t)}{M_i(t)} \quad (2.17)$$

(4) Cập nhật vị trí và vận tốc của các vật thể

$$V_i(t + 1) = rand_i \times V_i(t) + a_i(t) \quad (2.18)$$

$$X_i(t + 1) = X_i(t) + V_i(t + 1) \quad (2.19)$$

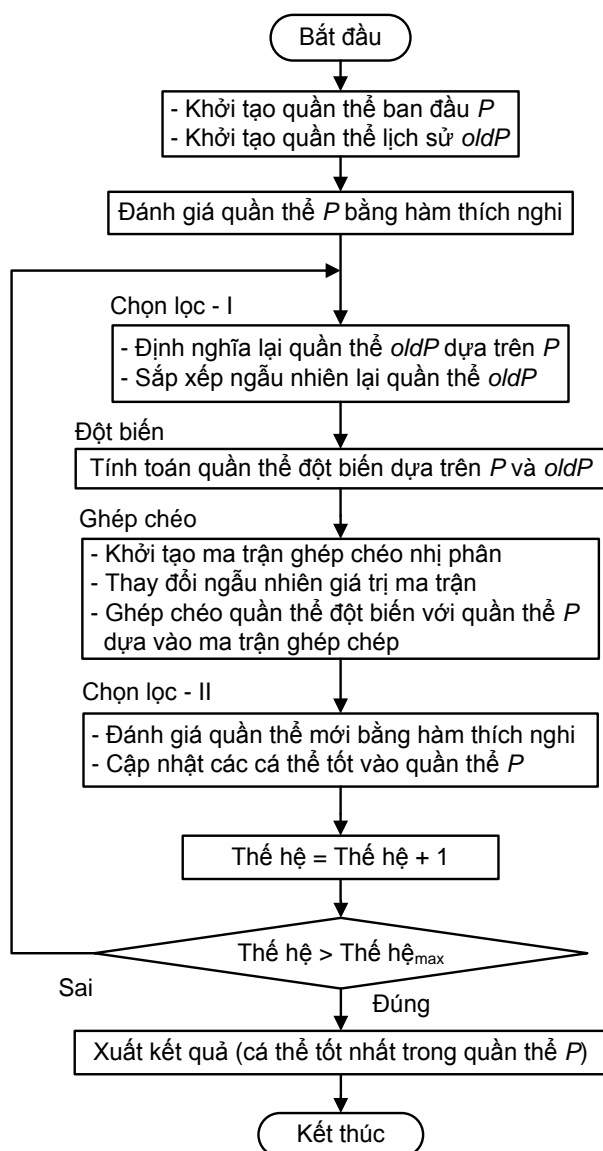
(5) Vị trí mới của các vật thể được đánh giá bằng hàm thích nghi. Nếu các điều kiện hội tụ được thỏa mãn, thuật toán sẽ được dừng lại ngược lại thuật toán sẽ quay lại bước (2) và tiếp tục thực hiện các bước tiếp theo. Lưu đồ tóm tắt các bước thực hiện được trình bày ở Hình 2.8.



Hình 2. 9. Giải thuật GSA.

2.3.8. Giải thuật tìm kiếm lùi

Giải thuật tìm kiếm lùi (Backtracking Search Algorithm - BSA) là thuật toán được phát triển dựa trên trên thuật toán tiến hóa bởi Civicioglu vào năm 2013 [87]. Các bước thực hiện của BSA bao gồm khởi tạo, chọn lọc – I, đột biến, ghép chéo và chọn lọc – II (Hình 2.9).



Hình 2. 10. Giải thuật BSA.

(1) Khởi tạo quần thể: Chọn ngẫu nhiên một quần thể cá thể ban đầu P là $\{X_0^1, X_0^2, \dots, X_0^N\}$. Khi đó, mỗi cá thể tương ứng với một giá trị hàm mục tiêu $f(X_0^i)$, và quần thể tương ứng với tập giá trị hàm mục tiêu $\{f(X_0^1), f(X_0^2), \dots, f(X_0^N)\}$. Bên cạnh khởi tạo quần thể ban đầu, BSA cũng khởi tạo một quần thể lịch sử ($oldP$) tương tự như quần thể P để định hướng tìm kiếm. Đặt vòng lặp $k = 0$, di chuyển đến bước tiếp theo.

(2) Chọn lọc - I: Quần thể $oldP$ được định nghĩa lại bằng cách thay thế bằng một vài cá thể được lấy ngẫu nhiên từ quần thể P . Sau đó các cá thể của quần thể $oldP$

được sắp xếp lại thứ tự một cách ngẫu nhiên.

(3) Đột biến: Không giống như GA, Quá trình đột biến của BSA tạo ra dạng quần thể *Mutant* dựa trên một phần của kinh nghiệm từ các thể hệ trước.

$$Mutant = P + F(oldP - P) \quad (2.20)$$

Trong biểu thức (2.20), F là một hàm phân phối chuẩn ($F = 3.rand$) điều khiển biên độ của ma trận hướng tìm kiếm.

(4) Ghép chéo: Quá trình chéo của BSA tạo ra dạng quần thể cuối cùng. Quá trình ghép chéo của BSA có hai bước. Bước đầu tiên tính toán một ma trận nhị phân (*map*) có kích thước bằng kích thước quần thể. Dựa trên giá trị của *map*, hai quần thể *Mutant* và P sẽ được ghép chéo với nhau và tạo ra quần thể mới.

(5) Chọn lọc - II: Quần thể mới tạo ra được tính toán giá trị hàm thích nghi và nếu cá thể nào tốt hơn sẽ được sử dụng thay thế cá thể tương ứng trong quần thể P .

(6) Nếu các điều kiện hội tụ được thỏa mãn, thuật toán sẽ được dừng lại ngược lại thuật toán sẽ quay lại bước (2) và tiếp tục thực hiện các bước tiếp theo.

Tương tự như GA, BSA cũng được xây dựng dựa trên các cơ chế tiến hóa. Tuy nhiên, so với GA, BSA sử dụng ít thông số điều khiển hơn. Trong khi quá trình hoạt động của GA bị ảnh hưởng bởi các thông số như tỉ lệ chọn lọc, đột biến, ghép chéo, thì BSA chỉ phụ thuộc vào thông số điều chỉnh giá trị của ma trận ghép chéo của hai quần thể.

2.4. Kết luận

Bài toán tái cấu hình LDPP giảm tổn thất công suất đã được giải bằng hai nhóm phương pháp chính heuristic và heuristic tổng quát. Trong đó, phương pháp heuristic là phương pháp tìm kiếm dựa trên các tri thức kinh nghiệm, các phương pháp thử sai để tìm các giải pháp có thể chấp nhận được trong khoảng thời gian hợp lý. Nhưng rõ ràng đối với các phương pháp này, không có sự đảm bảo cho một giải pháp tốt nhất được tìm thấy. Ngoài ra, do được xây dựng dựa trên từng tri thức kinh nghiệm cụ thể, nên hầu hết các phương pháp này thường được thiết kế cho từng bài toán cụ thể. Đối với bài toán tái cấu hình LDPP, chủ yếu các phương pháp heuristic được xây dựng để giải bài toán giảm tổn thất công suất. Trong trường hợp, thay đổi hàm mục tiêu,

các phương pháp trên không còn phù hợp. Phương pháp heuristic tổng quát là phương pháp tìm kiếm dựa trên các tri thức tổng quát và có thể được áp dụng cho nhiều loại bài toán khác nhau. Hầu hết các phương pháp này được xây dựng dựa trên các ý tưởng từ tự nhiên. GA dựa trên thuyết tiến hóa của Darwin, PSO dựa trên tập tính bầy đàn của một số loài chim, GSA dựa trên hai định luật của Newton, Mặc dù các nhà nghiên cứu luôn cố gắng tìm ra các giải thuật tốt hơn, nhưng rõ ràng phải thừa nhận rằng không có một giải thuật nào là hoàn thiện, có những giải thuật cho kết quả tốt hơn giải thuật khác ở bài toán này nhưng lại cho kết quả xấu hơn giải thuật khác ở bài toán khác. Vì vậy, việc tìm ra các giải thuật phù hợp nhất cho một bài toán cụ thể vẫn cần được quan tâm. Hơn nữa, do các biến điều khiển của bài toán là trạng thái của các khóa điện trên LDPP, do đó việc nghiên cứu phương pháp mã hóa các biến điều khiển này khi sử dụng các thuật toán heuristic tổng quát có ý nghĩa quan trọng trong việc phát huy hiệu quả của các thuật toán. Ngoài ra, bên cạnh bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất, bài toán tái cấu hình có thể ảnh hưởng đến các thông số kỹ thuật khác của lưới điện. Vì vậy, luận án sẽ tập trung xây dựng phương pháp giải hai bài toán trên.

Sự xuất hiện của DG trên LDPP có ảnh hưởng đến kết quả bài toán tái cấu hình. Vì vậy, luận án cũng tập trung xây dựng phương pháp tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất của DG. Thông qua đó đánh giá được ảnh hưởng của DG đến bài toán tái cấu hình.

Từ bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất vốn là mô đun chính của bài toán tái cấu hình, luận án xây dựng phương pháp tái cấu hình LDPP có lắp đặt DG giảm tổn thất năng lượng vì đây là bài toán thực tế trong quá trình vận hành LDPP.

Chương 3

TÁI CẤU HÌNH LĐPP SỬ DỤNG CÁC GIẢI THUẬT TÌM KIẾM TỐI ƯU

3.1. Giới thiệu

Như đã trình bày ở chương một, kể từ khi được đề xuất lần đầu tiên vào năm 1975, bài toán tái cấu hình LĐPP đã được tiếp cận bằng nhiều phương pháp khác nhau. Trạng thái đóng/mở của các khóa điện trên LĐPP là biến điều khiển chính của bài toán tái cấu hình LĐPP. Ngoài ra, vị trí và dung lượng các trạm biến áp ở đầu xuất tuyến, số lượng, vị trí, công suất của tụ bù, máy phát phân tán cũng được xem xét như các biến điều khiển trong một số bài toán tái cấu hình lưới phân phối. Các mục tiêu có thể có trong bài toán tái cấu hình lưới phân phối bao gồm cực tiểu chi phí vận hành, chi phí đầu tư, tổn hao đồng, nâng cao độ tin cậy và ảnh hưởng đến môi trường. Ở góc độ tối ưu hóa, bài toán tái cấu hình LĐPP có ràng buộc cao, kích thước bài toán lớn, phi tuyến... với nhiều cực trị địa phương. Vì vậy, tìm kiếm các lời giải gần tối ưu cho bài toán tái cấu hình là một thách thức và cũng là nhu cầu thiết yếu trong nghiên cứu hệ thống điện phân phối. Cho đến nay, có rất nhiều phương pháp được sử dụng để giải bài toán, chúng có thể được phân thành hai nhóm chính: Phương pháp heuristic và phương pháp heuristic tổng quát.

Phương pháp heuristic dựa trên các tiêu chí kỹ thuật, ở đó không sử dụng bất kỳ thuật toán tối ưu hóa, nhưng cố gắng để tìm một giải pháp tốt bởi một chiến lược kỹ thuật. Phương pháp trao đổi nhánh là chiến lược kỹ thuật phổ biến nhất đã được áp dụng cho bài toán tối ưu hệ thống điện phân phối. Nhóm thứ hai là sử dụng các phương pháp heuristic tổng quát. Cho đến nay, đây là nhóm phương pháp hiệu quả và phổ biến nhất trong việc giải bài toán tái cấu hình nói riêng và các bài toán liên quan đến tối ưu hóa hệ thống điện phân phối nói chung. Các phương pháp này không có yêu cầu đặc biệt nào về sự khác nhau, tính liên tục, lồi lõm của hàm mục tiêu và hiệu quả trong việc xử lý các ràng buộc, tối ưu rời rạc và nhiều hướng. Tuy nhiên, những hạn chế của các phương pháp này là có thể hội tụ vào cực trị địa phương thay

vì cực trị toàn cục. Do đó, mối quan tâm chính của các nhà nghiên cứu trong nhóm phương pháp này là khắc phục vấn đề hội tụ sớm của các phương pháp heuristic tổng quát.

Vì vậy, trong chương này một số phương pháp giải bài toán tái cấu hình LĐPP dựa trên các thuật toán heuristic tổng quát bao gồm thuật toán CSA lấy ý tưởng từ tập tính ký sinh nuôi dưỡng của một số loài chim tu hú, thuật toán heuristic tổng quát RRA lấy ý tưởng từ việc nhân giống qua thân của một số loại thực vật có thân bò lan, thuật toán PSO lấy ý tưởng từ tập tính tìm kiếm thức ăn theo bầy đàn của các loài chim và thuật toán GA dựa trên các cơ chế tiến hóa được sử dụng để giải bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất tác dụng và bài toán tái cấu hình LĐPP đa mục tiêu.

3.2. Tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất

3.2.1. Mô hình bài toán

Trên LĐPP được trang bị hai loại khóa điện thường đóng và thường mở. Khi điều kiện vận hành được yêu cầu thay đổi, tái cấu hình lưới được thực hiện thông qua việc thay đổi trạng thái đóng/mở của hai loại khóa điện trên để đáp ứng các mục tiêu cụ thể. Thông thường, các biến điều khiển của bài toán tái cấu hình là trạng thái đóng/mở của hai loại khóa trên. Tuy nhiên, có thể coi vị trí của các khóa mở như là các biến điều khiển bởi vì số lượng khóa mở để giữ cho cấu hình lưới hình tia luôn luôn là hằng số. Hơn nữa, để tìm cấu hình lưới điện tốt nhất, bài toán phân bố công suất cần được giải để tìm dòng điện trên các nhánh, điện áp tại các nút,... Vì vậy, các thông số như điện trở và điện kháng của đường dây, khả năng mang tải của đường dây, công suất tác dụng và phản kháng tại mỗi nút tải được xem như là dữ liệu đầu vào của bài toán tái cấu hình.

3.2.1.1. Hàm mục tiêu

LĐPP thường được vận hành ở cấp điện áp thấp so với lưới truyền tải nên tổn thất công suất trên LĐPP lớn vào khoảng 13% tổng công suất phát [2]. Vì vậy giảm tổn thất công suất trên LĐPP là một vấn đề quan trọng trong quá trình vận hành LĐPP. Một trong những ưu điểm lớn nhất của biện pháp tái cấu hình LĐPP là giảm

tổn thất công suất. Tổn thất công suất (ΔP) của cấu hình lưới X^{th} được xác định bằng tổng tổn thất công suất trên các nhánh:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{Nbr} R_i \times \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right) \quad (3.1)$$

Trong đó, Nbr là tổng số nhánh trên lưới phân phối. R_i là tổng trở của nhánh thứ i^{th} . P_i và Q_i lần lượt là công suất tác dụng và phản kháng trên nhánh i^{th} . V_i là điện áp cuối nhánh i^{th} .

3.2.1.2. Điều kiện ràng buộc

Phân bố công suất: Trong bài toán tái cấu hình, phương trình phân bố công suất phi tuyến được xem như một ràng buộc đẳng thức của bài toán:

$$\begin{cases} P_j = \sum_k^{Nbus} V_j V_k Y_{jk} \cos(\delta_j - \delta_k - \theta_{jk}) \\ Q_j = \sum_k^{Nbus} V_j V_k Y_{jk} \sin(\delta_j - \delta_k - \theta_{jk}) \end{cases} \quad (3.2)$$

Trong đó, P_j và Q_j lần lượt là công suất tác dụng và phản kháng bơm vào nút j . V_j , δ_j và V_k , δ_k lần lượt là biên độ áp trong đơn vị tương đối và góc pha trong đơn vị radian của điện áp tại nút j và k . Y_{jk} và θ_{jk} lần lượt là biên độ và góc pha tổng dẫn giữa j và k . $Nbus$ là tổng số nút trong hệ thống.

Giới hạn điện áp các nút và dòng điện trên các nhánh: Trong suốt quá trình thực hiện tái cấu hình, các ràng buộc về vận hành phải được đảm bảo:

$$V_{min,cp} \leq V_j \leq V_{max,cp} \text{ với } j = 1, 2, \dots, Nbus \quad (3.3)$$

$$0 \leq I_i \leq I_{max,cp,i} \text{ với } i = 1, 2, \dots, Nbr \quad (3.4)$$

Cấu hình lưới hình tia của LĐPP: Do LĐPP luôn được vận hành hình tia, nên đây được xem như một trong những ràng buộc đẳng thức của bài toán. Trong ràng buộc này, tất cả các nút tải phải được cấp điện và cấu hình vận hành hình tia phải được duy trì.

3.2.2. Phương pháp giải bài toán

3.2.2.1. Thuật toán Cuckoo Search

Thuật toán CSA được phát triển bởi Yang and Deb [88], ý tưởng của thuật toán

dựa trên tập tính ký sinh nuôi dưỡng của một số loài chim tu hú. Đây là loài chim không có khả năng nuôi con mà chúng duy trì nòi giống bằng cách đẻ trứng nhờ trong tổ của các loài chim khác có trứng tương tự về màu sắc và kích thước. Sau khi được ấp, chim non tu hú nhanh chóng loại bỏ chim non hoặc trứng của chim khác để độc chiếm nguồn thức ăn từ chim bố mẹ nuôi. Tuy nhiên, khi đẻ nhờ trứng vào tổ của các loài chim khác, chim tu hú cũng có nguy cơ bị chim khác phát hiện ra trứng lạ và loại bỏ. Để xây dựng thuật toán tìm kiếm tối ưu dựa trên tập tính của loài chim này, Yang và Deb sử dụng ba nguyên tắc sau [88], [89]:

(1) Mỗi chim tu hú đẻ một trứng tại một thời điểm vào một tổ ngẫu nhiên của loài chim khác. Số tổ của loài chim khác được giữ cố định. Trong đó, mỗi trứng của chim tu hú được xem như một giải pháp cho bài toán cần tối ưu.

(2) Tổ chim có trứng tốt nhất sẽ được sẽ được duy trì qua thế hệ tiếp theo.

(3) Số lượng tổ chim là cố định và chim bố mẹ có thể phát hiện ra trứng lạ trong tổ của mình với xác suất $P_a \in [0, 1]$. Trong trường hợp này, nó có thể loại bỏ trứng lạ ra khỏi tổ hoặc bỏ tổ và xây một tổ mới ở một vị trí mới.

3.2.2.2. Áp dụng thuật toán CSA giải bài toán tái cấu hình LDPP

Dựa trên ba nguyên tắc trên, phương pháp tái cấu hình LDPP giảm tổn thất công suất sử dụng CSA được thực hiện như sau:

Bước 1: Xác định các vòng cơ sở chứa các khóa điện

Để duy trì cấu hình lưới hình tia, số lượng khóa mở trong quá trình thực hiện tái cấu hình phải luôn được giữ cố định và được xác định như sau:

$$N_{ts} = N_{br} - (N_{bus} - N_{ss}) \quad (3.5)$$

Trong đó, N_{ts} , N_{br} , N_{bus} và N_{ss} lần lượt là số lượng khóa mở, số nhánh, số nút và số nút nguồn trong hệ thống phân phối.

Đối với các giải thuật heuristic tổng quát dựa trên quần thể, quần thể các cá thể ban đầu được khởi tạo ngẫu nhiên. Trong đó, mỗi cá thể là một cấu hình lưới, điều này dẫn đến sẽ có rất nhiều cấu hình lưới không thỏa mãn cấu hình hình tia nhất là đối với các hệ thống trung bình và lớn vốn có rất nhiều khóa điện. Vì vậy, việc giới hạn không gian tìm kiếm các khóa điện có ý nghĩa quan trọng nhằm nâng cao hiệu

quả của các phương pháp heuristic tổng quát.

Sự kết nối của LDPP bao gồm B nhánh và N nút có thể được thể hiện bằng một ma trận A có kích thước $(B \times N)$. Trong đó, mỗi hàng của ma trận đại diện cho một nhánh và mỗi cột của ma trận đại diện cho một nút. Trong ma trận này, giá trị của mỗi phần tử được xác định bằng sự kết nối giữa các nhánh và nút như sau [90]:

$$\begin{cases} A_{i,j} = 1, \text{ nếu nhánh } i \text{ được nối từ nút } j \\ A_{i,j} = -1, \text{ nếu nhánh } i \text{ nối đến nút } j \\ A_{i,j} = 0, \text{ nếu nhánh } i \text{ không kết nối với nút } j \end{cases} \quad (3.6)$$

Ngõ vào: Ma trận kết nối A cho cấu hình lưới điện ban đầu, các khóa mở ban đầu.

Ngõ ra: Các vòng cơ sở

For ($k: =1$ to Số lượng các khóa điện mở) **do**

 Thêm khóa mở k vào ma trận A

 Sum_column := tổng trị tuyệt đối mỗi phần tử trong mỗi cột trong ma trận A .

While (Sum_column j th = 1, $j=1 \dots N$) **do**

For ($i=1$ to Số lượng các nhánh) **do**

If $A(i, j) = 1$ or -1 **then**

 Xóa nhánh khỏi ma trận A

End if

End for i

 Cập nhật tổng trị tuyệt đối mỗi phần tử trong mỗi cột trong ma trận A .

End while

 Lưu các nhánh còn lại của A vào vòng cơ sở FL thứ k

End for k

Hình 3. 1. Phương pháp xác định các nhánh trong các vòng cơ sở.

Các vòng cơ sở (Fundamental Loops - FLs) được xác định dựa trên cấu hình kín của lưới điện thông qua việc đóng tất cả các khóa điện mở trên hệ thống. Có thể thấy rằng, số lượng khóa mở bằng với số lượng vòng kín [79], [91]. Để tìm các khóa điện trong mỗi vòng cơ sở, từ ma trận A một khóa điện thường mở được đóng lại để tạo thành một vòng kín. Dựa trên ý tưởng của phương pháp được đề xuất trong [91], [92], các nhánh kết nối với các nút có tổng giá trị tuyệt đối các cột tương ứng trong ma trận được loại ra khỏi ma trận A . Quá trình này được lặp lại cho đến khi không còn tồn tại loại nút này trong ma trận và các nhánh còn lại trong ma trận sẽ thuộc vòng kín đang

xét. Phương pháp xác định các vòng cơ sở của LDPP được mô tả dưới dạng mã giả như Hình 3.1.

Mỗi cấu hình lưới điện sẽ bao gồm một tập các khóa điện mở được chọn ngẫu nhiên từ các vòng cơ sở tương ứng. Điều này giúp các giải thuật tối ưu hóa tạo ra nhiều cấu hình hợp lệ (thỏa mãn cấu hình vận hành hình tia) trong các giai đoạn của giải thuật. Tuy nhiên, vẫn còn có nhiều nhánh tồn tại chung trong các vòng độc lập [91]. Vì vậy, giải thuật kiểm tra cấu hình lưới hình tia vẫn phải được sử dụng. Khi đó, đối với mỗi cấu hình lưới, ma trận kết nối A được xác định và cột đầu tiên của ma trận tương ứng với nút tham chiếu (nút nguồn) trong hệ thống được xóa khỏi ma trận để ma trận A trở thành một ma trận vuông. Thực nghiệm cho thấy, nếu định thức của ma trận vuông bằng 1 hoặc -1 thì cấu hình lưới đang xét là hình tia [90], [93]. Phương pháp kiểm tra ràng buộc cấu hình hình tia của lưới điện được mô tả dưới dạng mã giả như Hình 3.2.

Input: Mỗi cấu hình lưới với một tập các khóa điện mở
Output: Cấu hình lưới là hình tia hay không
Xác định ma trận kết nối A bao gồm cả các khóa mở ban đầu.
Xóa cột thứ nhất của ma trận A .
Xóa hàng của ma trận A tương ứng với các khóa mở trong cấu hình đang xét
If (*ma trận A là một ma trận vuông*)
 Tính định thức của ma trận A
 If (*Định thức của ma trận $A = 1$ or -1*)
 Output: = *Cấu hình lưới thỏa mãn ràng buộc hình tia*
 Else
 Output: = *Cấu hình lưới không thỏa mãn ràng buộc hình tia*
 End if
Else
 Output: = *Cấu hình lưới không thỏa mãn ràng buộc hình tia*
End if

Hình 3. 2. Phương pháp kiểm tra cấu hình lưới hình tia.

Bước 2: Xác định giới hạn lớn nhất và nhỏ nhất của mỗi biến cần tìm.

Sau khi các vòng cơ sở được xác định, giới hạn các biến được xác định dựa trên số lượng các khóa điện trong mỗi vòng cơ sở tương ứng.

Bước 3: Khởi tạo

Có thể thấy rằng số lượng khóa điện mở sau tái cấu hình là xác định và phải được sử dụng như là các biến điều khiển của giải thuật tìm kiếm tối ưu. Mỗi thành viên trong quần thể khởi tạo ban đầu là một cấu hình lưới điện và được xem như một tổ chim. Quần thể N tổ chim được thể hiện bằng:

$$X_i = [SW_1^i, SW_2^i \dots, SW_d^i, \dots, SW_{dim}^i], \text{ với } i = 1, 2, \dots, N \quad (3.7)$$

Trong đó, dim là kích thước của bài toán và bằng với số lượng khóa điện mở (N_{ts}), SW là khóa mở.

Trong CSA, mỗi trứng của chim tu hú trong một tổ của chim khác loài được xem như một giải pháp và được tạo ngẫu nhiên trong giai đoạn khởi tạo. Tuy nhiên, nghiệm của bài toán tái cấu hình LDPP là các giá trị rời rạc nên các giá trị của các giải pháp trong miền liên tục cần được điều chỉnh về các giá trị rời rạc bằng cách sử dụng phép làm tròn số (hàm *round*) như sau:

$$X_i = \text{round}[SW_{min,d}^i + \text{rand} \times (SW_{max,d}^i - SW_{min,d}^i)] \quad (3.8)$$

Trong đó, $SW_{min,d}^i$ và $SW_{max,d}^i$ lần lượt là số thứ tự nhỏ nhất và lớn nhất của các khóa điện trong vòng cơ sở d^{th} của LDPP.

Dựa trên quần thể ban đầu, giải thuật kiểm tra cấu hình hình tia được sử dụng để kiểm tra mỗi cấu hình lưới. Nếu cấu hình hình tia được thỏa mãn, phân bố công suất bằng phương pháp Newton-Raphson được sử dụng để tìm tổn thất công suất, dòng điện trên các nhánh và điện áp các nút. Lưu ý rằng, nếu phân bố công suất được giải thành công nghĩa là ràng buộc cân bằng công suất theo biểu thức (3.2) được thỏa mãn. Khi đó giá trị hàm thích nghi (*Fit*) được tính toán dựa trên hàm mục tiêu của cấu hình theo biểu thức (3.1) và các ràng buộc về điện áp các nút và dòng điện nhánh theo biểu thức (3.3) và (3.4) như sau:

$$\text{Fit} = \sum_{i=1}^{Nbr} R_i \times \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right) + K_1 \times \max(V_{min,cp} - V_{min}, 0) + K_2 \times \max(V_{max} - V_{max,cp}, 0) + K_3 \times \max(k_{I,max} - K_{I,cp}, 0) \quad (3.9)$$

Trong đó, K_1 , K_2 và K_3 lần lượt là các hệ số phạt khi cấu hình lưới vi phạm các ràng buộc về thấp áp, quá áp và quá tải. V_{min} , V_{max} lần lượt là biên độ điện áp nhỏ

nhất và lớn nhất trong cấu hình lưới đang xét. $k_{I,max} = \max(S_i/S_{i,dm})$ là hệ số quá tải lớn nhất trong hệ thống, $k_{I,cp}$ là hệ số quá tải cho phép trên đường dây.

Ngược lại, nếu cấu hình đang xét là một cấu hình không hợp lệ do vi phạm một trong ràng buộc cấu hình hình tia và cân bằng công suất, giá trị hàm mục tiêu sẽ được gán một giá trị vô cùng lớn.

Dựa trên giá trị hàm mục tiêu, tổ chim với hàm thích nghi tốt nhất được xem như tổ chim tốt nhất trong quần thể $Gbest$.

Bước 4: Tạo ra giải pháp mới thông qua phép di chuyển Lévy

Tất cả các tổ trừ tổ tốt nhất được thay thế dựa trên chất lượng của trứng chim tu hú mới được sinh ra bằng phép di chuyển Lévy từ vị trí ban đầu của các tổ như sau:

$$X_i^{new} = \text{round}[Xbest_i + \alpha \times \text{rand} \times \Delta X_i^{new}] \quad (3.10)$$

Trong đó, $\alpha > 0$ là thông số bước di chuyển, rand là giá trị ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 1]$ và gia số ΔX_i^{new} được xác định bởi biểu thức:

$$\Delta X_i^{new} = \frac{\text{rand}_x}{|\text{rand}_y|^{1/\beta}} \times \frac{\sigma_x(\beta)}{\sigma_y(\beta)} \times (Xbest_i - Gbest) \quad (3.11)$$

Trong đó rand_x và rand_y là hai biến phân phối ngẫu nhiên với độ lệch chuẩn $\sigma_x(\beta)$ và $\sigma_y(\beta)$ được cho bởi:

$$\sigma_x(\beta) = \left[\frac{\Gamma(1 + \beta) \times \sin\left(\frac{\pi\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1 + \beta}{2}\right) \times \beta \times 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right]^{1/\beta} \quad (3.12)$$

$$\sigma_y(\beta) = 1 \quad (3.13)$$

Trong đó, β là hệ số phân phối trong khoảng $(0 \leq \beta \leq 2)$ và Γ là hàm phân phối *gamma*.

Với quần thể các tổ chim vừa mới được tạo ra bằng phép di chuyển Lévy, giải thuật kiểm tra cấu hình hình tia được sử dụng để kiểm mỗi cấu hình lưới. Nếu cấu hình hình tia được thỏa mãn, phân bố công suất bằng phương pháp Newton-Raphson

được sử dụng để tìm tổn thất công suất, dòng điện trên các nhánh và điện áp các nút và giá trị hàm thích nghi được tính toán dựa trên biểu thức (3.9). Ngược lại, nếu cấu hình đang xét là một cấu hình không hợp lệ do vi phạm một trong ràng buộc cấu hình hình tia và cân bằng công suất, giá trị hàm mục tiêu sẽ được gán một giá trị vô cùng lớn.

Dựa trên giá trị hàm thích nghi, các tổ chim với hàm thích nghi tốt hơn được cập nhật và tổ chim với hàm thích nghi tốt nhất được xem như tổ chim tốt nhất trong quần thể $Gbest$.

Bước 5: Phát hiện trứng lạ

Mỗi trứng chim tu hú khi đẻ vào tổ của chim khác loài sẽ bị phát hiện với một xác suất P_a . Quá trình phát hiện trứng lạ của chim khác loài này trong CSA cũng tạo ra giải pháp mới cho bài toán tương tự như phép di chuyển Lévy. Các trứng sẽ được thay thế bằng các trứng khác có chất lượng tốt hơn được sinh ra thông qua phép di chuyển ngẫu nhiên so với vị trí hiện hữu của các trứng như sau:

$$X_i^{new} = round[Xbest_i + K \times \Delta X_i^{new}] \quad (3.13)$$

Trong đó, K là hệ số cập nhật được xác định dựa trên xác suất chim chủ phát hiện ra một trứng lạ trong tổ của nó:

$$K = \begin{cases} 1 & \text{if } rand < P_a \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.14)$$

Và gia số ΔX_i^{new} được xác định bởi:

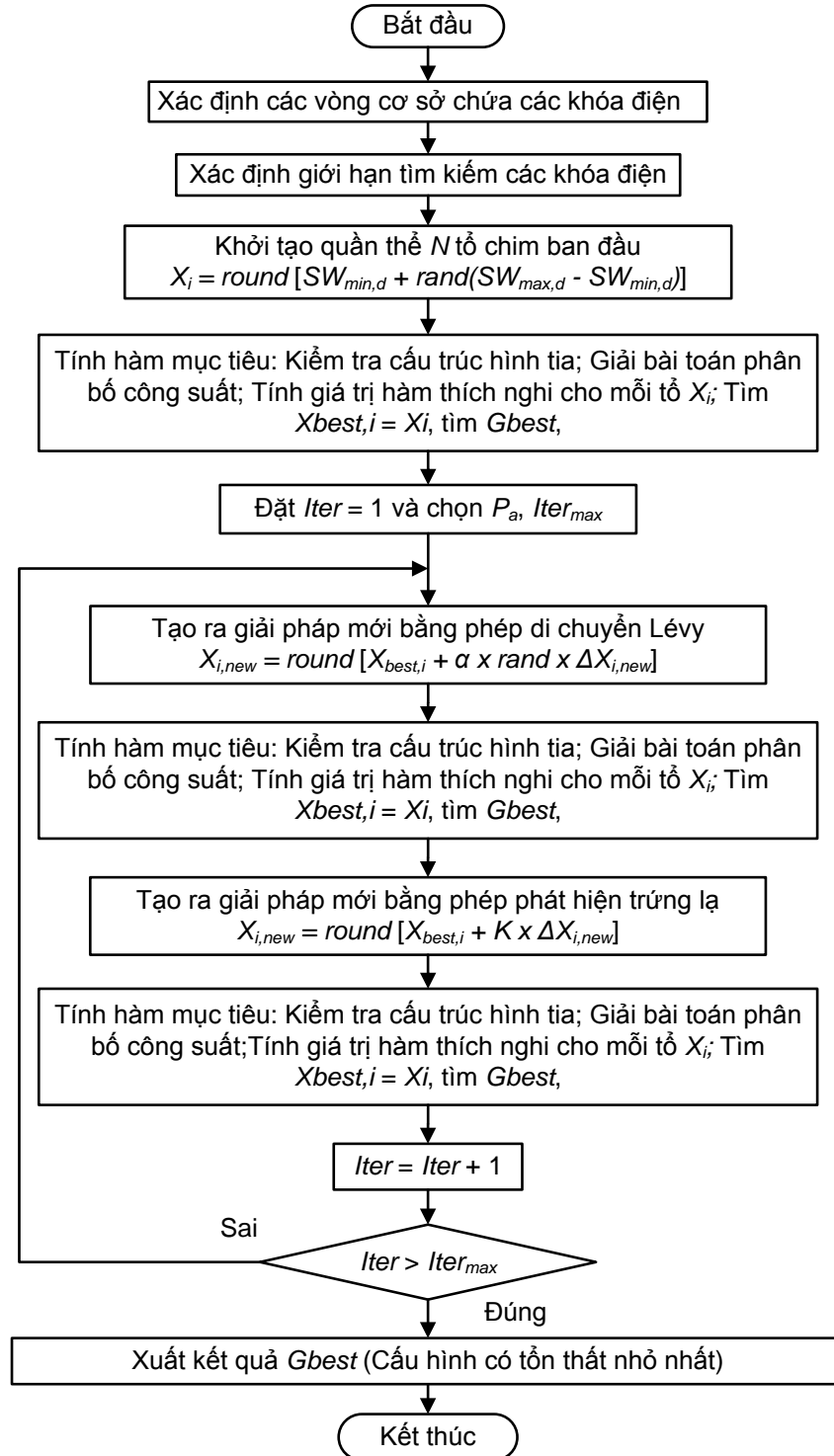
$$\Delta X_i^{new} = rand \times [randp_1(Xbest_i) - randp_2(Xbest_i)] \quad (3.15)$$

Trong đó, $rand$ là số ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 1]$, $randp_1(Xbest_i)$ và $randp_2(Xbest_i)$ là nhiễu loạn ngẫu nhiên của vị trí các tổ trong $Xbest_i$. Tương tự như quá trình tạo ra tổ mới bằng phép di chuyển Lévy, các tổ mới được đánh giá hàm thích nghi và các ràng buộc. Sau đó, dựa trên giá trị hàm thích nghi các tổ chim với hàm thích nghi tốt hơn được cập nhật và tổ chim với hàm thích nghi tốt nhất được xem như tổ chim tốt nhất trong quần thể $Gbest$.

Bước 6: Điều kiện dừng giải thuật

Các bước tạo ra trứng mới và phát hiện trứng lạ lần lượt được thực hiện cho đến

khi số vòng lặp ($Iter$) đạt đến giá trị lớn nhất cho trước ($Iter_{max}$). Lưu đồ các bước thực hiện của phương pháp tái cấu hình LDPP sử dụng thuật toán CSA được trình bày trong Hình 3.3.



Hình 3. 3. Lưu đồ phương pháp tái cấu hình dựa trên thuật toán CSA.

3.2.3. Ví dụ kiểm tra

Để chứng minh hiệu quả của phương pháp tái cấu hình LĐPP dựa trên CSA, phương pháp đề nghị được áp dụng để tối ưu cấu hình lưới trên ba hệ thống điện phân phối IEEE chuẩn bao gồm 33, 69 và 119 nút. Trong đó, trên các LĐPP mẫu được giả thiết bỏ qua tổn thất công suất máy biến áp và các khí cụ điện trên lưới. Chương trình tái cấu hình LĐPP sử dụng thuật toán CSA được xây dựng trên nền Matlab dưới dạng “file.m” và chạy từ “Command Window” của Matlab. Để chứng minh hiệu quả của phương pháp dựa trên CSA, chương trình tái cấu hình LĐPP sử dụng giải thuật di truyền sử dụng các biến liên tục (continuous genetic algorithm - CGA) và sử dụng giải thuật tối ưu bầy đàn (PSO) [94] cũng được xây dựng trên nền Matlab dưới dạng “file.m” và chạy trên cùng một máy tính để so sánh kết quả tái cấu hình trên các lưới điện khác nhau.

Bảng 3. 1. Thông số của các giải thuật áp dụng.

Hệ thống	33 và 69 nút			119 nút		
	CSA	PSO	CGA	CSA	PSO	CGA
Phương pháp	CSA	PSO	CGA	CSA	PSO	CGA
Kích thước quần thể (N)	20	20	20	30	30	30
Số biến cần tối ưu (dim)	5	5	5	15	15	15
Số vòng lặp lớn nhất ($Iter_{max}$)	200	200	200	2000	2000	2000
Tỉ lệ phát hiện trùng lặp (P_a)	0.2	-	-	0.2	-	-
Hệ số C_1, C_2	-	2	-	-	2	-
Tỉ lệ chọn lọc (X_{keep})	-	-	0.5	-	-	0.5
Tỉ lệ đột biến (X_{mutate})	-	-	0.2	-	-	0.2
Hệ số phạt K_1	100	100	100	1000	1000	1000
Hệ số phạt K_2	100	100	100	1000	1000	1000
Hệ số phạt K_3	100	100	100	1000	1000	1000

Các thông số tối ưu của ba phương pháp được lựa chọn qua quá trình thực nghiệm được trình bày trong Bảng 3.1. Trong đó, kích thước quần thể và số vòng lặp được chọn dựa trên quy mô của LĐPP và số khóa điện mở cần xác định. Trong khi đó, các hệ số phạt được lựa chọn dựa trên giá trị của hàm mục tiêu ban đầu do bởi

các hệ số phạt này sử dụng để phạt khi có vi phạm ràng buộc bất đẳng thức về dòng điện, điện áp và kết quả mong đợi của bài toán là thu được cấu hình lưới cực tiểu được tổn thất và ít vi phạm các điều kiện ràng buộc này nhất. Nếu các hệ số phạt này có giá trị quá lớn so với giá trị hàm mục tiêu cần tối ưu sẽ dẫn đến thuật toán không hội tụ do ảnh hưởng của giá trị hàm mục tiêu lên hàm thích nghi quá bé. Ngược lại, nếu giá trị các hệ số phạt quá nhỏ có thể dẫn đến các ràng buộc này bị bỏ qua. Dựa trên phân tích trên và kết quả thực nghiệm nhiều lần, các hệ số phạt cho ba LĐPP mẫu được chọn như trong Bảng 3. 2. Bên cạnh đó, kết quả thực hiện cũng được so sánh với kết quả tính toán sử dụng phần mềm thương mại tính toán và phân tích lưới điện phân phối (Power System Simulator/Advanced Distribution Engineering Productivity Tool - PSS/ADEPT) được trình bày chi tiết ở Phụ lục 1.

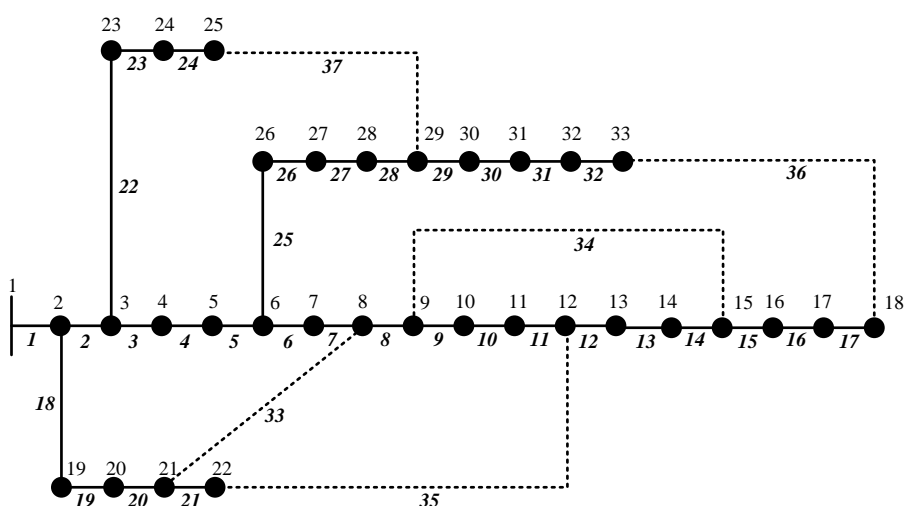
3.2.3.1. Lưới điện 33 nút

LĐPP 33 nút có cấp điện áp 12.66 kV, là một lưới điện quy mô tương đối nhỏ bao gồm 37 nhánh, 32 khóa điện thường đóng và 5 khóa thường mở. Thông số nhánh và nút của lưới được cho ở Phụ lục 2 và Phụ lục 3 [22]. Tổng công suất của hệ thống là $3.72 + j2.3$ MVA. Sơ đồ đơn tuyến của hệ thống được cho ở Hình 3.4. Dòng điện định mức của các nhánh là 255 A.

Kết quả thực hiện ba phương pháp CSA, PSO và CGA trên lưới điện 33 nút được trình bày trong Bảng 3.2. Sau khi thực hiện tái cấu hình, tổn thất công suất giảm từ 202.69 kW xuống 139.55 kW và biên độ điện áp nhỏ nhất trên hệ thống đã tăng từ 0.91081 p.u. đến 0.9378 p.u. với các khóa điện mở {7, 14, 9, 32 và 37}. Kết quả này hoàn toàn tương tự với kết quả thực hiện bằng các phương pháp GA, RGA, IAICA và phần mềm PSS/ADEPT và tốt hơn kết quả thực hiện bằng các phương pháp FWA, ITS và HSA. Hình 3.5 cho thấy hầu hết biên độ điện áp các nút được cải thiện đáng kể so với trước khi thực hiện tái cấu hình. Hình 3.6 cho thấy sau khi thực hiện tái cấu hình, không có nhánh nào bị quá tải.

Bảng 3.3 so sánh giá trị lớn nhất, bé nhất và trung bình, độ lệch chuẩn (Standard Deviation - STD) của hàm thích nghi của ba phương pháp CSA, PSO và CGA trong 50 lần thực hiện độc lập. Bảng 3.2 và Bảng 3.3 cho thấy mặc dù cả ba phương pháp

đều tìm được cấu hình có tổn thất công suất nhỏ nhất. Tuy nhiên giá trị trung bình của CSA và CGA nhỏ hơn so với PSO. Trên lưới điện 33 nút, số vòng lặp trung bình của CSA để tìm ra cấu hình tối ưu và thời gian thực hiện được so sánh tương đối là lớn hơn đáng kể so với PSO và CGA. Hình 3.7 cho thấy đặc tính hội tụ trung bình của CSA tốt hơn hẳn so với PSO.



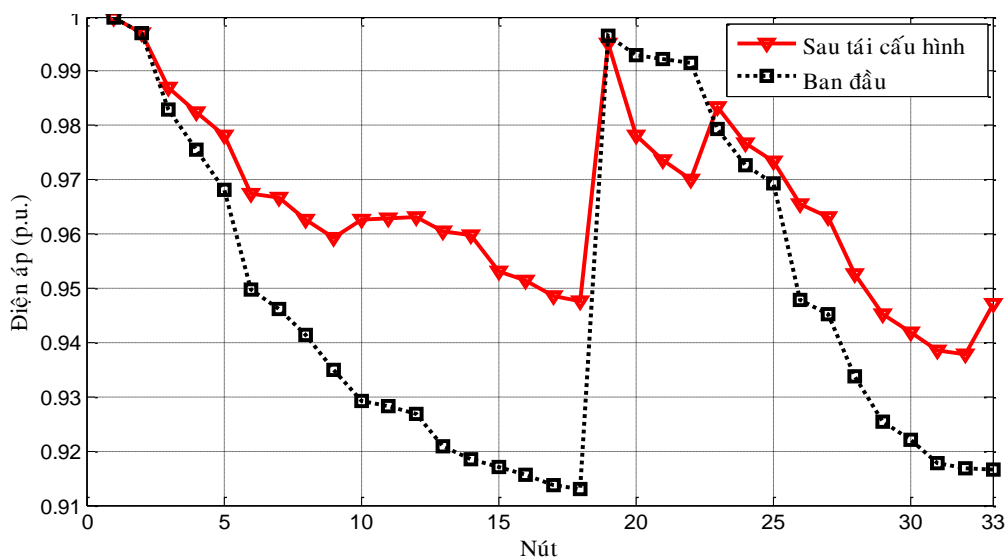
Hình 3. 4. LĐPP IEEE 33 nút.

Bảng 3. 2. Kết quả thực hiện trên lưới điện 33 nút.

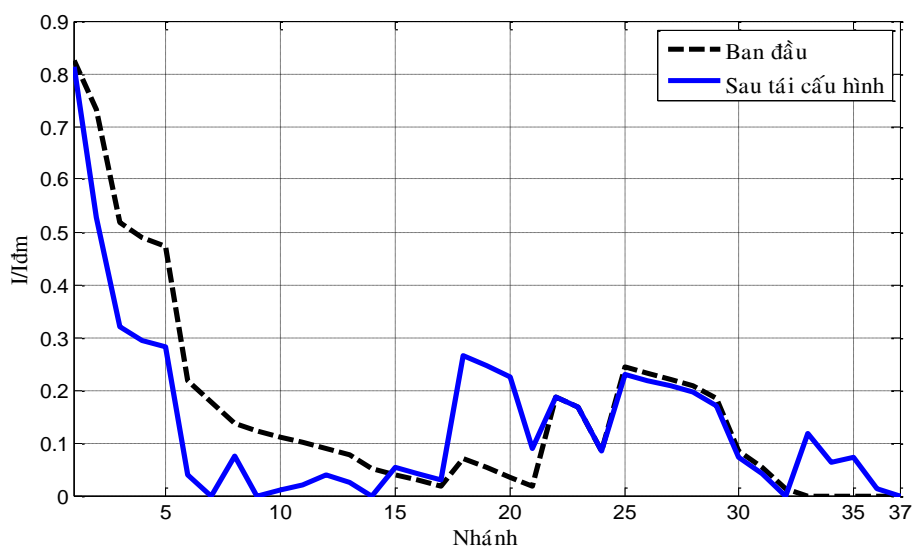
Phương pháp	Khóa mở	ΔP (kW)	V_{min} (p.u.) (nút)
Ban đầu	33, 34, 35, 36, 37	202.69	0.9108 (18)
CSA	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378 (32)
PSO	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378 (32)
CGA	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378 (32)
FWA [95]	7, 9, 14, 28, 32	139.98	0.9412 (32)
GA [96]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378 (32)
RGA [7]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378 (32)
ITS [96]	7, 9, 14, 36, 37	142.17	0.9336 (33)
HSA [96]	7, 10, 14, 28, 36	142.43	0.9377 (33)
IAICA [97]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378 (32)
PSS/ADEPT	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378 (32)

Bảng 3. 3. Kết quả so sánh CSA, PSO và CGA trên lưới 33 nút trong 50 lần chạy.

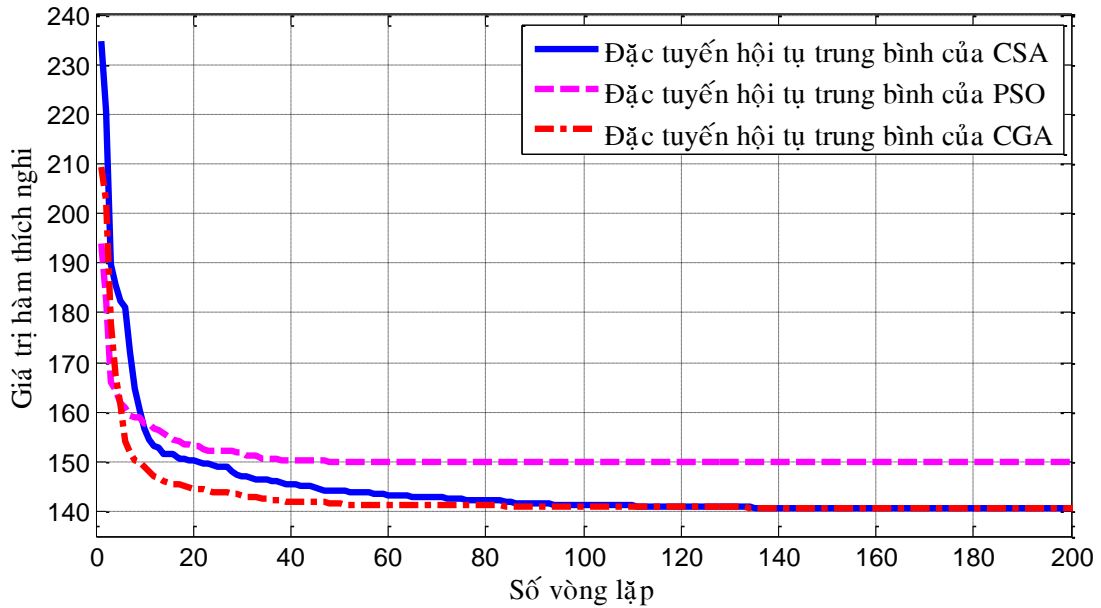
Phương pháp	Hàm thích nghi				Vòng lặp hội tụ				Thời gian (s)
	Max.	Min.	Mean	STD	Max.	Min.	Mean	STD	
CSA	140.77	140.77	140.77	0	142	12	96	35.3	39.3
PSO	162.1	140.77	149.97	4.34	53	1	23	16.9	12.8
CGA	140.77	140.77	140.77	0	134	16	47	24.0	16.4



Hình 3. 5. Điện áp các nút trước và sau tái cấu hình trên lưới điện 33 nút.



Hình 3. 6. Hệ số mang tải trên các nhánh trước và sau khi tái cấu hình trên lưới điện 33 nút.

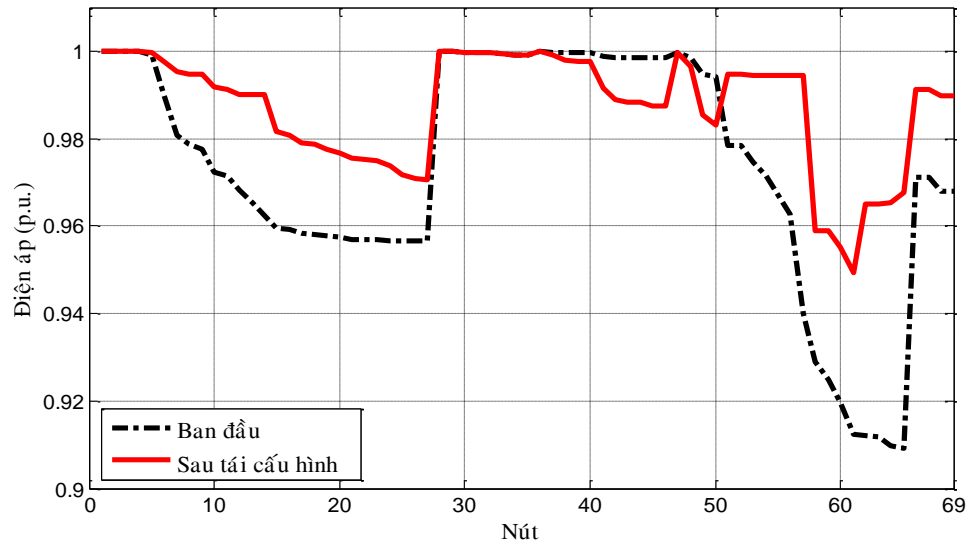


Hình 3. 7. Đặc tính hội tụ của CSA, PSO và CGA trên lưới điện 33 nút.

3.2.3.2. Lưới điện 69 nút

Lưới điện 69 nút có cấp điện áp 12.66 kV, là lưới điện trung bình bao gồm 69 nút, 73 nhánh, 5 khóa điện thường mở. Tổng công suất phụ tải 3.802 MW + j2.696 MVar, thông số nhánh và nút được cho ở Phụ lục 4 và Phụ lục 5 [98]. Khi ràng buộc dòng điện không được xem xét có thể dẫn đến tồn tại những đường dây bị quá tải sau khi thực hiện tái cấu hình. Tuy nhiên, trên LDPP 69 nút, do không có số liệu về giới hạn dòng điện trên các nhánh nên để so sánh phương pháp đề xuất với các nghiên cứu đã công bố, điều kiện ràng buộc dòng điện giả thiết được bỏ qua hay việc thay đổi cấu hình vận hành trên lưới điện 69 nút không làm quá tải bất kỳ đường dây nào. Ở điều kiện vận hành bình thường, các khóa điện {69, 70, 71, 72, and 73} được mở như Hình 3.8.

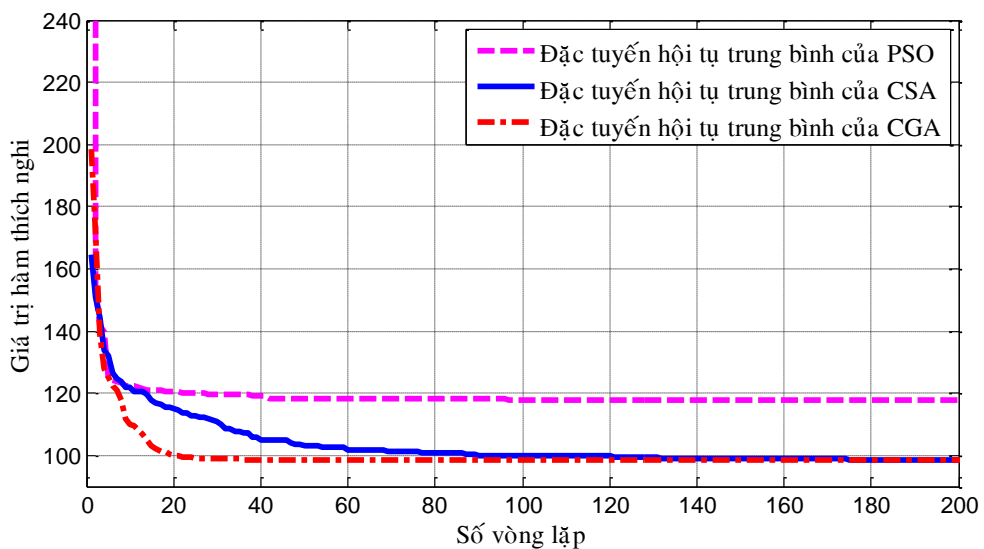
Sau khi thực hiện tái cấu hình, các khóa điện {14, 57, 61, 69 và 70} được mở với tổn thất công suất được giảm từ 224.95 kW xuống 98.59 kW và biên độ điện áp nút thấp nhất trong hệ thống tăng từ 0.9092 p.u đến 0.9495 p.u. sau khi tái cấu hình. Bảng 3.4 cho thấy kết quả tính toán tương tự với kết quả thực hiện bằng các phương pháp FWA, IAICA và phần mềm PSS/ADEPT và tốt hơn kết quả thực hiện bằng các phương pháp HSA. Hình 3.9 cho thấy hầu hết biên độ điện áp các nút đã được cải thiện đáng kể so với cấu hình lưới ban đầu.



Hình 3. 9. Điện áp các nút trên lưới điện 69 nút trước và sau tái cấu hình.

Bảng 3. 5. Kết quả so sánh CSA, PSO và CGA trên lưới 69 nút trong 50 lần chạy.

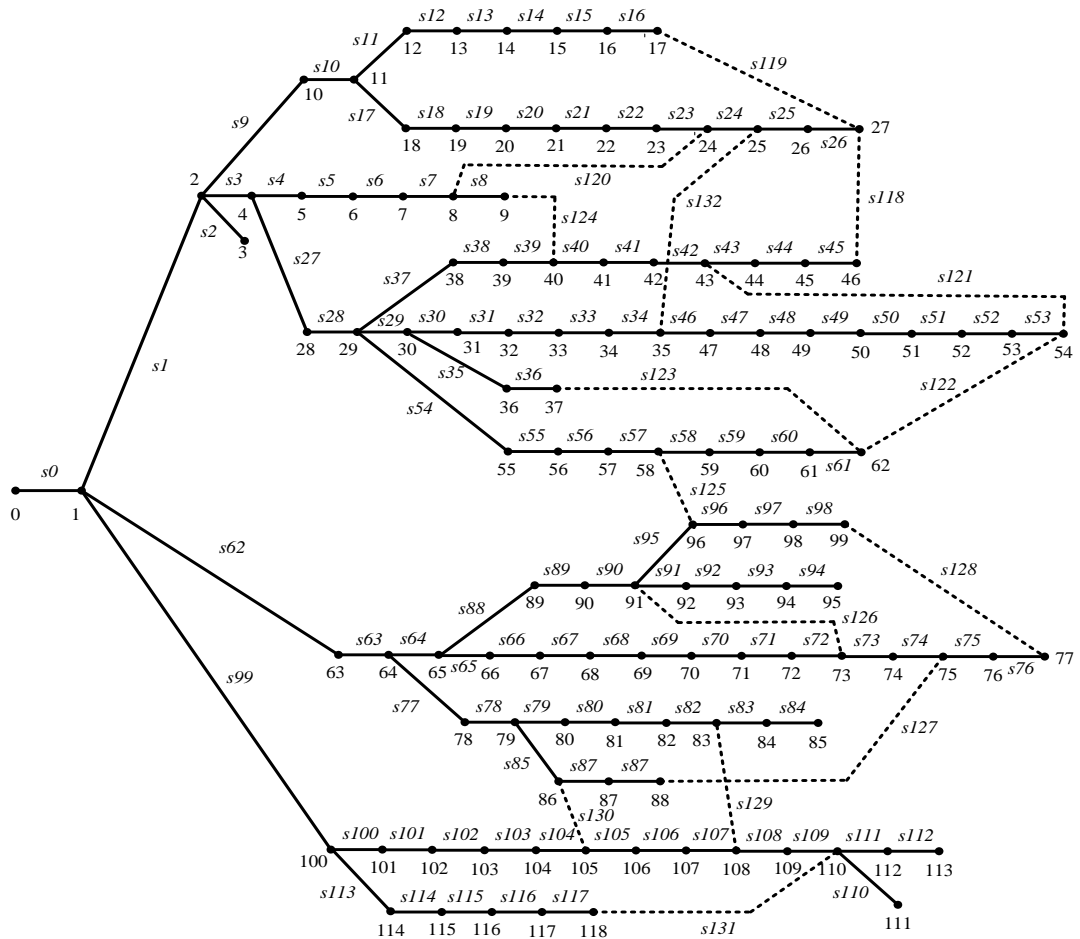
Phương pháp	Hàm thích nghi				Vòng lặp hội tụ				Thời gian (s)
	Max.	Min.	Mean	STD	Max.	Min.	Mean	STD	
CSA	98.83	98.64	98.65	0.043	199	58	140.2	46.15	78.85
PSO	132.04	98.64	117.65	12.41	143	4	44.8	33.28	21.85
CGA	98.64	98.64	98.64	0	87	22	48.35	19.31	27.36



Hình 3. 10. Đặc tính hội tụ của CSA, PSO và CGA trên lưới điện 69 nút.

3.2.3.3. Lưới điện 119 nút

LĐPP 119 nút (Hình 3.11) có cấp điện áp 11 kV, là hệ thống phân phối lớn bao gồm 118 khóa điện thường đóng và 15 khóa điện thường mở. Tổng phụ tải của hệ thống là $22,709.7 + j17,041.1$ kVar, thông số nhánh và nút của lưới được cho ở Phụ lục 6 và Phụ lục 7 [44]. Cấu hình ban đầu có tổn thất công suất 1273.45 kW và biên độ điện áp nút thấp nhất là 0.8678 p.u. Tương tự LĐPP 69 nút, do không đủ thông số về dòng điện định mức trên các nhánh nên để so sánh kết quả thực hiện của phương pháp đề xuất với các nghiên cứu đã công bố, điều kiện ràng buộc dòng điện trên LĐPP 119 nút cũng giả thiết được bỏ qua.



Hình 3. 11. Sơ đồ đơn tuyến lưới điện IEEE 119 nút.

Kết quả tái cấu hình sử dụng ba phương pháp được trình bày trong Bảng 3.6. Sau khi thực hiện tái cấu hình bằng CSA tổn thất công suất giảm từ 1273.45 kW xuống 855.04 kW. Biên độ điện áp các nút được cải thiện đáng kể sau khi thực hiện

tái cấu hình (Hình 3.12) với biên độ điện áp nút thấp nhất được cải thiện đến 0.9298 p.u. Bảng 3.6 cũng cho thấy, CSA cho kết quả tốt hơn CGA, PSO, ITS, MTS và phần mềm PSS/ADEPT. Kết quả thực hiện tái cấu hình khi sử dụng PSS/ADEPT thu được cấu hình có tổn thất công suất 881.40 kW, cao hơn 26.36 kW so với phương pháp CSA. Điều này cho thấy hiệu quả của phương pháp đề nghị trên các LDPP lớn.

Bảng 3. 6. Kết quả thực hiện trên lưới phân phối 119 nút.

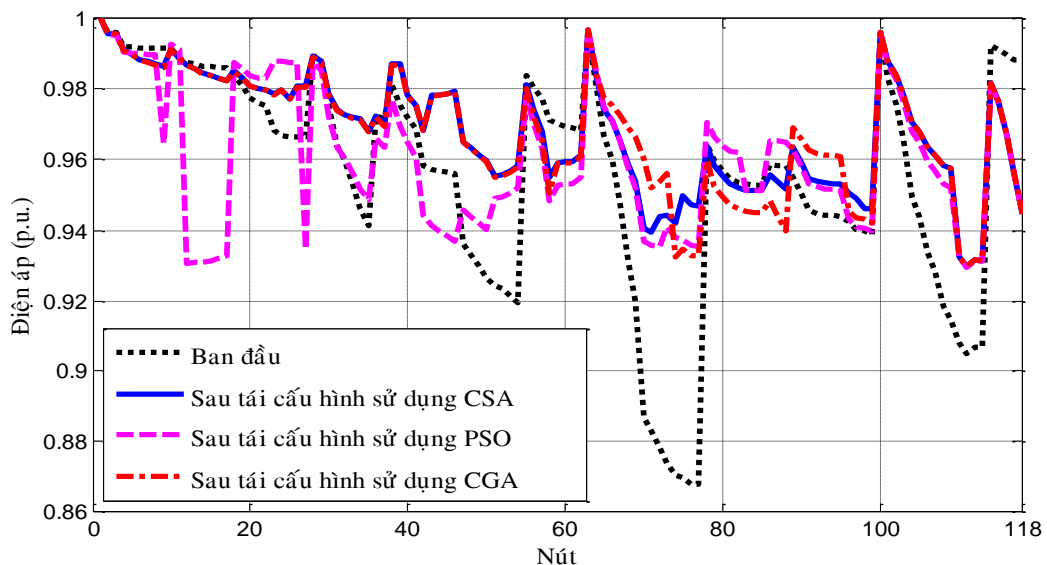
Phương pháp	Khóa mở	ΔP (kW)	Vmin (p.u.) (nút)
Ban đầu	118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132	1273.45	0.8678 (77)
CSA	42, 25, 23, 121, 50, 58, 39, 95, 71, 74, 97, 129, 130, 109, 34	855.04	0.9298 (111)
PSO	26, 11, 22, 121, 50, 58, 8, 95, 72, 127, 128, 82, 130, 109, 132	973.98	0.9296 (111)
CGA	42, 25, 23, 121, 50, 58, 39, 95, 70, 73, 128, 129, 130, 109, 34	867.01	0.9298 (111)
ITS [44]	42, 26, 23, 51, 122, 58, 39, 95, 71, 74, 97, 129, 130, 109, 34	867.4	0.9298 (111)
MTS [90]	42, 26, 23, 51, 122, 58, 39, 95, 71, 74, 97, 129, 130, 109, 34	867.4	0.9298 (111)
FWA [95]	42, 25, 23, 121, 50, 58, 39, 95, 71, 74, 97, 129, 130, 109, 34	855.04	0.9298 (111)
PSS/ADEPT	23, 25, 34, 39, 42, 50, 61, 71, 73, 76, 82, 109, 121, 125, 130	881.40	0.9296 (111)

Bảng 3.7 so sánh giá trị lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình của hàm thích nghi, vòng lặp hội tụ và thời gian tính toán của ba phương pháp thực hiện trên hệ thống 119 nút. Kết quả cho thấy, trên hệ thống phân phối lớn, giải thuật CSA thu được kết quả tối ưu hơn so với PSO và CGA. Tương tự như hệ thống 33 và 69 nút, trên hệ thống lớn 119 nút, PSO hội tụ sớm nhất, sau đó đến CGA nhưng rõ ràng cả hai điểm hội tụ này đều không phải là giải pháp tối ưu toàn cục. CSA tuy hội tụ chậm hơn hai phương

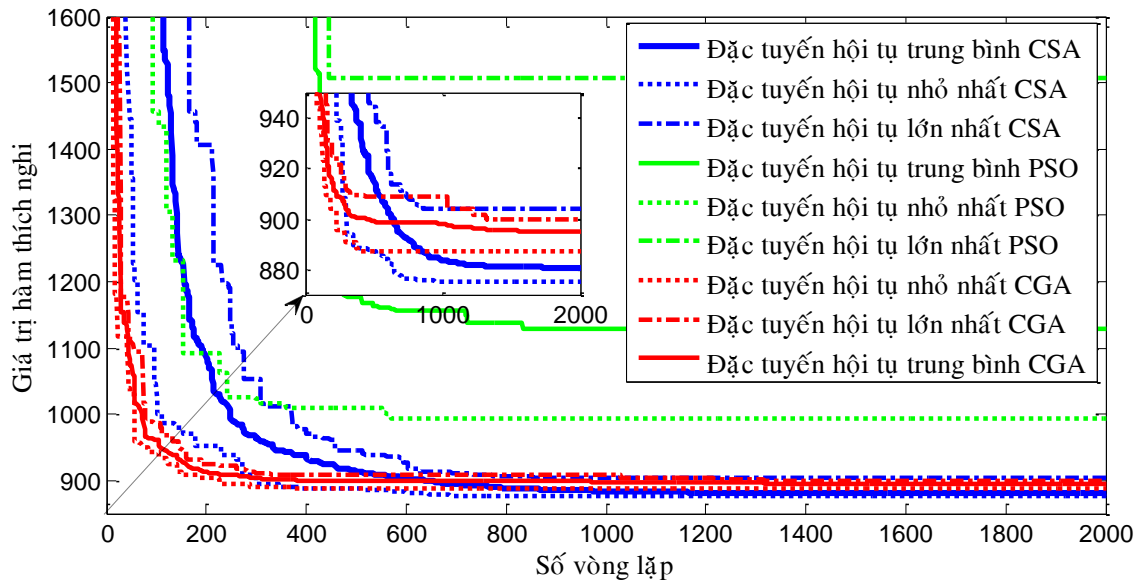
pháp kể trên nhưng giải pháp thu được là giải pháp tối ưu nhất. Điều này càng được thể hiện rõ trong Hình 3.13 với các đường đặc tuyến hội tụ trung bình của ba phương pháp. Về mặt thời gian tính toán tương đối, rõ ràng do phải tính toán hàm thích nghi hai lần so với PSO và CGA, nghĩa là phải giải bài toán phân bố công suất hai lần trong một vòng lặp nên thời gian tính toán của CSA lớn hơn nhiều so với PSO và CGA.

Bảng 3. 7. Kết quả thực hiện trên lưới phân phối 119 nút trong 20 lần chạy.

Phương pháp	Hàm thích nghi				Vòng lặp hội tụ				Thời gian (s)
	Max.	Min.	Mean	STD	Max.	Min.	Mean	STD	
CSA	904.02	875.29	880.76	9.28	1745	519	1077	289	7122
PSO	1508	994.39	1128.2	215.4	863	315	621	204	649
CGA	899.79	887.26	894.87	4.6	1650	381	1075	512	3057



Hình 3. 12. Điện áp các nút trên lưới 119 nút trước và sau tái cấu hình sử dụng CSA, PSO và CGA.



Hình 3.13. Đặc tính hội tụ của CSA, PSO và CGA trên hệ thống 119 nút.

3.3. Tái cấu hình LĐPP đa mục tiêu

3.3.1. Mô hình bài toán

Như đã đề cập ở chương 2, quá trình tái cấu hình không chỉ ảnh hưởng đến tổn thất công suất mà còn ảnh hưởng đến nhiều yếu tố khác của LĐPP như điện áp các nút, cân bằng tải giữa các nhánh, giữa các xuất tuyến,... Vì vậy, trong phần này, mục tiêu của bài toán tái cấu hình được xem xét bao gồm cực tiểu tổn thất công suất tác dụng, số lần vận hành khóa và độ lệch điện áp các nút, cải thiện sự cân bằng tải giữa các nhánh, giữa các xuất tuyến. Mỗi hàm mục tiêu thành phần được miêu tả chi tiết như sau:

3.3.1.1. Tổn thất công suất tác dụng

Giảm tổn thất công suất là một trong những mục tiêu chính của bài toán tái cấu hình để góp phần giảm chi phí vận hành. Tổng tổn thất công suất của cấu hình X được xác định bằng tổng tổn thất trên các nhánh như biểu thức (3.1).

3.3.1.2. Cân bằng tải giữa các nhánh (LBI)

Để đảm bảo sự cân bằng tải trên các nhánh của LĐPP, chỉ số LBI được xem như một mục tiêu của bài toán tái cấu hình. LBI của cấu hình X được tính toán như sau [99], [100]:

$$LBI = var \left[\frac{I_1}{I_{1,max}}, \frac{I_2}{I_{2,max}}, \dots, \frac{I_i}{I_{i,max}}, \dots, \frac{I_{Nbr}}{I_{Nbr,max}} \right] \quad (3.16)$$

Trong đó, var được gọi là phương sai (bình phương độ lệch chuẩn), $\frac{I_i}{I_{i,max}}$ là tỉ số giữa dòng điện trên nhánh i và dòng điện định mức của nhánh đó.

3.3.1.3. Cân bằng tải giữa các xuất tuyến (LBF)

Cân bằng tải giữa các xuất tuyến cũng được xem như một trong những mục tiêu chính của bài toán tái cấu hình nhằm mục đích chuyển một phần tải từ các xuất tuyến mang tải nặng sang các xuất tuyến mang tải ít hơn. Chỉ số LBF của cấu hình X được tính toán như sau:

$$LBF = var [I_{F,1}, I_{F,2}, \dots, I_{F,j}, \dots, I_{F,NF}] \quad (3.17)$$

Trong đó, $I_{F,j}$ là dòng điện cung cấp trên xuất tuyến j , NF là số lượng xuất tuyến trong hệ thống.

3.3.1.4. Số lần vận hành khóa (NSW)

Để giảm chi phí vận hành, trong quá trình thực hiện tái cấu hình giảm số lần vận hành khóa được xem như một hàm mục tiêu quan trọng. NSW của cấu hình X được xác định như sau [100]:

$$NSW = \sum_{i=1}^{Nbr} |S_{0,i} - S_i| \quad (3.18)$$

Trong đó, $S_{0,i}$ và S_i là trạng thái trước và sau của khóa điện i^{th} khi thực hiện tái cấu hình.

3.3.1.5. Độ lệch điện áp nút (ΔV)

Để nâng cao chất lượng điện, cực tiểu độ lệch điện áp lớn nhất trong hệ thống là một mục tiêu quan trọng của bài toán tái cấu hình. ΔV của cấu hình X được tính toán như sau:

$$\Delta V = V_{ref} - V_{\min(X)} \quad (3.19)$$

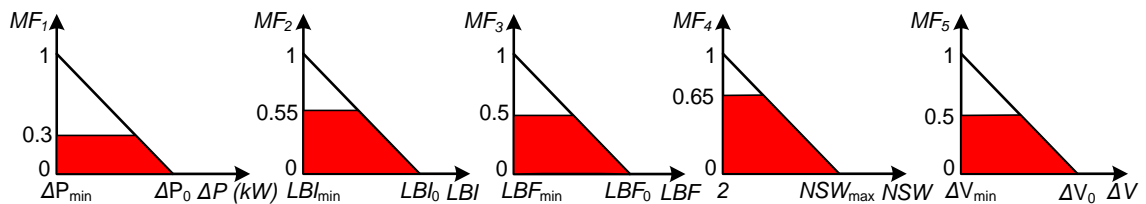
Trong đó, V_{ref} và $V_{\min(X)}$ lần lượt là biên độ điện áp của nút nguồn và nút có điện áp thấp nhất của cấu hình X trong hệ thống tính trong đơn vị tương đối.

3.3.1.6. Hàm mục tiêu

Trong nghiên cứu này, phương pháp max-min được sử dụng để chọn giải pháp thỏa hiệp (final compromise solution - FCS) [100], [101], [102]. Trong phương pháp này, mỗi hàm thành viên (membership function - MF) đại diện cho một biến có giá trị trong khoảng [0, 1]. Mục đích của bài toán tái cấu hình là tìm ra một cấu hình lưới mới có giá trị hàm mục tiêu đặt ra tốt hơn cấu hình ban đầu. Vì vậy, giá trị lớn nhất của các hàm mục tiêu thành viên F_k^{max} được tính toán dựa trên cấu hình lưới ban đầu. Trong khi đó, giá trị nhỏ nhất của mỗi hàm mục tiêu thành viên F_k^{min} được xác định dựa trên bài toán tái cấu hình đơn mục tiêu với hàm mục tiêu lần lượt là các hàm mục tiêu thành viên [100], [101]. Mỗi hàm thành viên được thể hiện như sau:

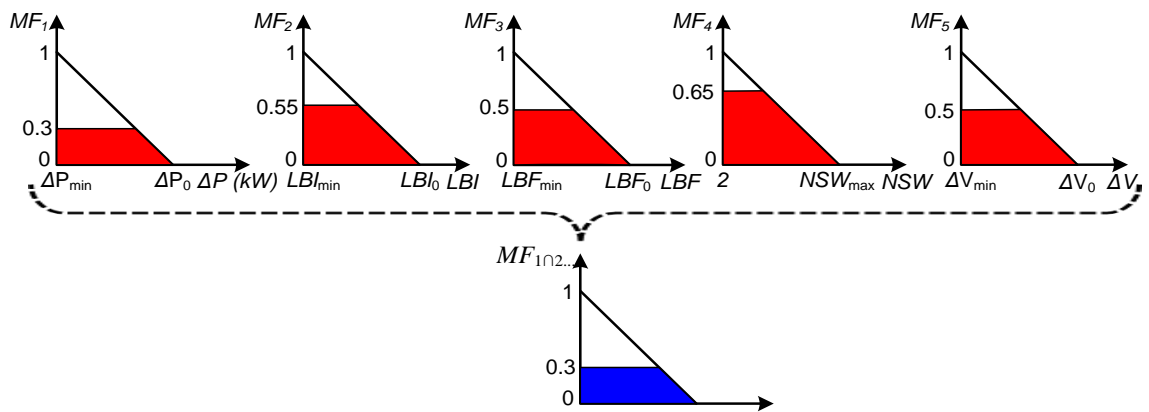
$$MF_k = \begin{cases} 1, & F_k \leq F_k^{min} \\ \frac{F_k^{max} - F_k(X)}{F_k^{max} - F_k^{min}}, & F_k^{min} < F_k < F_k^{max} \\ 0, & F_k(X) \geq F_k^{max} \end{cases} \quad (3.20)$$

Trong đó, giá trị của $F_{k,min}$ với ($k = 1, 2 \dots, 5$) được tính toán từ bài toán tái cấu hình sử dụng từng hàm đơn mục tiêu k^{th} . Giá trị $F_{k,max}$ được tính toán dựa trên cấu hình lưới ban đầu.

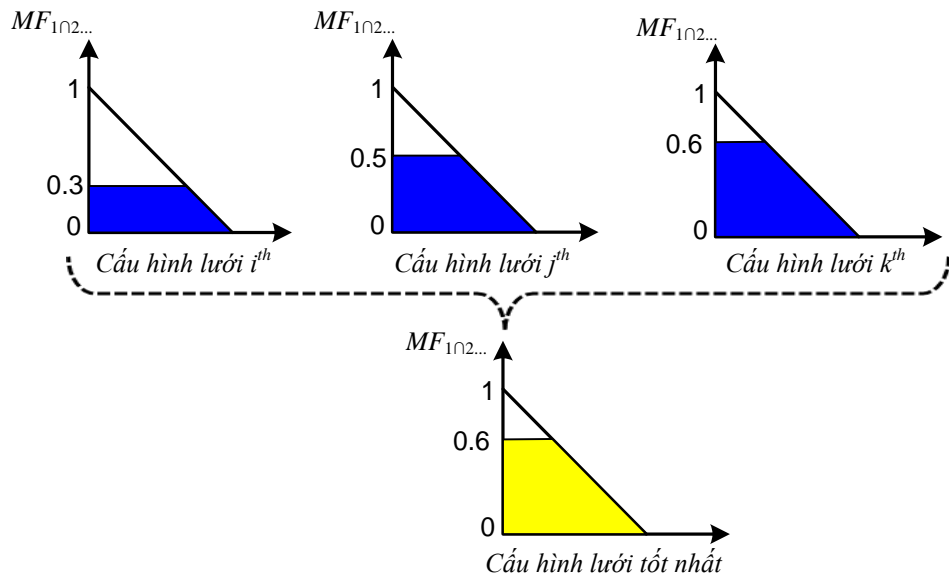


Hình 3.14. Các hàm thành viên

Hàm thành viên của các hàm mục tiêu tổn thất công suất, chỉ số cân bằng tải giữa các nhánh, chỉ số cân bằng tải giữa các xuất tuyến, số lần vận hành khóa và độ lệch điện áp nút được trình bày trong Hình 3.14. Khi vị trí các khóa mở thay đổi, cấu hình lưới mới được hình thành. Với mỗi cấu hình lưới, bài toán phân bố công suất được sử dụng để tính toán ΔP , LBI , LBF , NSW và ΔV sử dụng các biểu thức (3.1) và (3.16)-(3.19). Biểu thức (3.20) được sử dụng để tính toán giá trị hàm thành viên của từng hàm mục tiêu ΔP , LBI , LBF , NSW và ΔV .



Hình 3. 15. Độ tốt của một cấu hình LĐPP



Hình 3. 16. Cấu hình tối ưu nhất

Khi đó, mức độ hài hòa chung giữa các hàm mục tiêu của cấu hình lưới xem xét là giá trị nhỏ nhất của tất cả các giá trị hàm thành viên của các mục tiêu trên. Điều đó có nghĩa là một cấu hình LĐPP tốt là lưới điện có tổn thất công suất bé, chỉ số cân bằng tải giữa các nhánh bé, chỉ số cân bằng tải giữa các xuất tuyến bé, số lần vận hành khóa ít và độ lệch điện áp nút bé. Khi đó độ tốt của một cấu hình lưới điện hay còn gọi là mức độ hài hòa chung giữa các hàm thành viên được coi là có giá trị bằng với độ tốt bé nhất của các mục tiêu đang xem xét như Hình 3. 15. Khi đó trong một tập các cấu hình lưới xem xét, cấu hình lưới được gọi là tối ưu nhất là cấu hình lưới

có giá trị độ tốt lớn nhất trong tập cấu hình xem xét như Hình 3. 16. Hay nói cách khác giải pháp tối ưu được lựa chọn dựa trên quyết định mờ được thực hiện bằng cách sử dụng giá trị lớn nhất của mức độ hài hòa chung giữa các hàm thành viên của cấu hình lưới xem xét như sau:

$$FCS(X) = \max\{\min\{MF_k(X)\}\} \quad (3.21)$$

Hơn nữa, theo định nghĩa ở biểu thức (3.21) giá trị các hàm thành viên luôn luôn nhỏ hơn một. Vì vậy, bài toán tối ưu cực đại được chuyển thành bài toán tối ưu cực tiểu và hàm mục tiêu cho mỗi cấu hình lưới được đánh giá như sau:

$$FCS(X) = 1 - \min\{MF_k(X)\} \quad (3.22)$$

3.3.1.7. Các ràng buộc bài toán

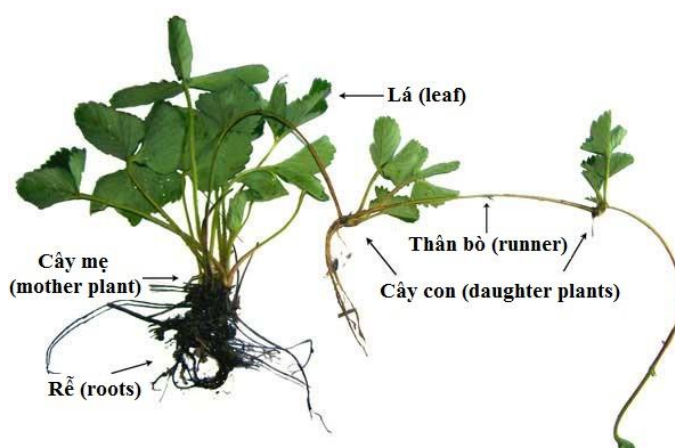
Tương tự như bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất, bài toán tái cấu hình đa mục tiêu cũng cần thỏa mãn các điều kiện ràng buộc như cân bằng công suất, giới hạn điện áp các nút và dòng điện trên các nhánh, cấu trúc lưới hình tia của LDPP như các biểu thức (3.2)-(3.4).

3.3.2. Phương pháp giải bài toán

3.3.2.1. Thuật toán Runner-Root (RRA)

Bài toán tái cấu hình đã được giải bằng nhiều phương pháp khác nhau từ các phương pháp heuristic như phương pháp nhánh và biên [4], phương pháp trao đổi nhánh [6] và phương pháp trao đổi nhánh cải tiến [21] đến các phương pháp heuristic tổng quát GA [7], [77], [103], PSO [17], [93], [104], ACO [105], cỏ dại (multi-objective invasive weed optimization - MOIWO) [100], FWA [95]. So với các phương pháp heuristic, các phương pháp heuristic tổng quát có khả năng cung cấp các giải pháp hiệu quả trong quá trình giải bài toán tái cấu hình. Vì vậy, ngày càng nhiều phương pháp heuristic tổng quát được áp dụng để giải bài toán này. Thuật toán RRA là một thuật toán heuristic tổng quát mới được phát triển lấy ý tưởng từ sự nhân giống của một số loài thực vật có thân bò lan. Trong tự nhiên, thực vật có thân bò lan sinh sản qua các đốt thân và phát triển rễ tại các đốt thân để hút nước và chất khoáng [106]. Tương tự như các thuật toán mới được phát triển gần đây, RRA có thể được

liệt kê vào nhóm thuật toán gây tranh cãi [107]. Một số ý kiến trong [107] và [108] cho rằng rất nhiều thuật toán heuristic tổng quát mới được phát triển dựa trên các phép ẩn dụ các hiện tượng tự nhiên và nhân tạo không thật sự mới. Tuy nhiên, trong một thuật toán heuristic tổng quát điển hình thường có hai cơ chế chọn lọc và cơ chế ngẫu nhiên. Chọn lọc các giải pháp tốt giúp thuật toán hội tụ đến điểm tối ưu, cơ chế ngẫu nhiên giúp thuật toán tránh bị mắc vào các cực trị địa phương. Điều quan trọng là, sự kết hợp hoàn hảo giữa hai cơ chế trên sẽ giúp tạo nên sự hiệu quả của thuật toán [109].



Hình 3. 17. Cơ chế sinh sản và tìm nguồn nước và khoáng của cây dâu tây.

GA dựa trên ẩn dụ về sự tiến hóa bao gồm cơ chế ghép chéo và đột biến, PSO dựa trên ẩn dụ về tập tính bầy đàn, ACO dựa trên tập tính của loài kiến trong quá trình tìm kiếm thức ăn. Trong khi đó, RRA dựa trên phép ẩn dụ về sự nhân giống của một số loài thực vật có thân bò lan như cây dâu hoặc cỏ nhện (Hình 3. 17). So với các phương pháp khác, RRA hoạt động dựa trên hai cơ chế riêng rẽ phục vụ cho việc khai phá và khai thác. Để tìm kiếm khai phá, RRA được trang bị hai công cụ bao gồm các bước nhảy ngẫu nhiên của cây con so với cây mẹ và cơ chế khởi động lại thuật toán. Công cụ đầu tiên giúp RRA di chuyển đến các điểm khác nhau trong không gian tìm kiếm, công cụ thứ hai giúp RRA tăng cơ hội tìm kiếm được điểm tối ưu toàn cục. Để thực hiện tìm kiếm khai thác, RRA cũng được trang bị hai công cụ bao gồm cơ chế phát triển của rễ lớn và rễ nhỏ và cơ chế chọn lọc các cá thể ưu tú. Công cụ đầu tiên giúp RRA tìm kiếm không gian xung quanh giải pháp tối ưu nhất, trong khi đó công

cụ thứ hai đảm bảo rằng giải pháp tốt nhất của thế hệ này được truyền qua thế hệ sau. Hơn nữa, thực tế cho thấy một thuật toán heuristic tổng quát tốt hơn một thuật toán khác ở bài toán này nhưng có thể sẽ xấu hơn ở bài toán khác. Vì vậy, việc tìm một thuật toán phù hợp với bài toán tái cấu hình cũng là vấn đề đáng được quan tâm.

Trong [106], RRA đã cho thấy những đặc điểm vượt trội so với PSO, Differential Evolution (DE) và thuật toán đàn ong nhân tạo (Artificial Bee Colony - ABC). Mặc dù vậy, RRA vẫn chưa được áp dụng để giải các bài toán tối ưu liên quan đến hệ thống điện và khả năng của nó khi giải quyết các bài toán lớn và phức tạp cho đến nay vẫn là một ẩn số. Nhìn chung, RRA hoạt động dựa trên hai cơ chế riêng rẽ cho tìm kiếm toàn cục và tìm kiếm cục bộ. Quá trình khai phá được thực hiện tại mỗi vòng lặp và quá trình khai thác chỉ được thực hiện khi sự cải thiện của hàm mục tiêu là không đáng kể. Những thủ tục này giúp RRA dễ dàng thoát khỏi các bẫy cực trị địa phương, vốn là vấn đề mà các thuật toán tối ưu khác phải đối phó. Để thực hiện RRA, ba luật sau được sử dụng trong quá trình tìm kiếm [106]:

Mỗi cây mẹ được tái sinh qua thân của nó. Các cây con được hình thành từ các thân ở các vị trí mới để khai thác nguồn tài nguyên mới.

Mỗi cây mẹ sinh ra các rễ cái (rễ lớn) và rễ con (rễ nhỏ) một cách ngẫu nhiên để khai thác tài nguyên xung quanh vị trí mới.

Tại nơi có nguồn tài nguyên phong phú hơn, các cây con sẽ lớn nhanh hơn và sinh ra nhiều cây con hơn. Ngược lại, các cây con sẽ chết nếu chúng di chuyển về nơi có nguồn tài nguyên xấu hơn.

3.3.2.2. Tái cấu hình LDPP đa mục tiêu sử dụng RRA

Bước 1: Lựa chọn thông số

Tương tự như các thuật toán tối ưu khác, một số thông số điều khiển cần được chọn như quần thể cây mẹ (N_{pop}), số biến điều khiển hay các khóa điện mở (dim), số vòng lặp lớn nhất ($iter_{max}$). Ngoài ra, RRA cần có một số thông số như độ dài của thân (d_{runner}), độ dài của rễ (d_{root}), số vòng lặp để khởi động lại giải thuật ($Stall_{max}$), sự

thay đổi tương đối của giá trị hàm thích nghi trong hai vòng lặp liên tiếp (*tol*).

Bước 2: Khởi tạo ngẫu nhiên các cây mẹ

Trong quá trình tái cấu trúc LĐPP sử dụng RRA, mỗi cấu trúc hình tia được xem như một cây mẹ. Mỗi cây mẹ thể hiện một vector giải pháp của các biến được cho như sau:

$$X_{mother} = [X_1, X_2, \dots, X_{dim}] \quad (3.23)$$

Trong đó, X_1, X_2, \dots, X_{dim} là các khóa điện được mã hóa bởi thứ tự của chúng trong các vòng cơ sở $1^{th}, 2^{th}, \dots$, và vòng dim^{th} . Giá trị của X_i là một số nguyên nằm trong khoảng từ một đến kích thước của vector vòng cơ sở i^{th} .

Vì vậy, bắt đầu giải thuật quần thể cây mẹ được khởi tạo ngẫu nhiên như sau:

$$X_{mother,k} = \text{round}[X_{low,d} + \text{rand} \times (X_{high,d} - X_{low,d})] \quad (3.24)$$

Với $X_{low,d} = 1$ và $X_{high,d}$ kích thước của vector vòng cơ sở d^{th} ; *rand* là số ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 1]$; $k = 1, \dots, N$; $d = 1, \dots, dim$.

Bước 3: Tạo ra các cây con

Tại mỗi vòng lặp, ngoại trừ cây mẹ đầu tiên trong quần thể mỗi cây mẹ khác sinh ra ngẫu nhiên một cây con. Cây mẹ đầu tiên trong quần thể được thay thế bởi cây con tốt nhất của vòng lặp trước đó.

$$X_{daughter,k}(i) = \begin{cases} X_{daughter,best}(i-1) & , k = 1 \\ \text{round}[X_{mother,k}(i) + d_{runner} \times \text{rand}] & , k = 2, \dots, N \end{cases} \quad (3.25)$$

Từ quần thể cây con, các điều kiện ràng buộc được kiểm tra và giá trị hàm thích nghi của mỗi cây được tính và cây con có hàm thích nghi tốt nhất tại vòng lặp hiện tại được tìm thấy và được gọi là ($X_{daughter,best}(i)$).

Bước 4: Tìm kiếm cục bộ với bước lớn và nhỏ

Mục đích của bước này là sinh ra những cây con mới xung quanh cây tốt nhất và cập nhật cây tốt nhất. Trong bước này, hai thủ tục tìm kiếm cục bộ được thực hiện,

thủ tục thứ nhất tạo ra các con với khoảng cách lớn từ cây tốt nhất đến các cây con mới được thực hiện trước và thủ tục thứ hai tạo ra các con với khoảng cách nhỏ từ cây tốt nhất đến các cây con mới được thực hiện sau. Tuy nhiên, hai thủ tục này không được áp dụng cho tất cả các vòng lặp mà nó phụ thuộc vào sự so sánh giữa giá trị tol và chỉ số cải thiện tương đối RI được tính toán như sau:

$$RI = \left| \frac{f(X_{daughter,best}(i-1)) - f(X_{daughter,best}(i))}{f(X_{daughter,best}(i-1))} \right| \quad (3.26)$$

Trong đó, $f(X_{daughter,best}(i-1))$ và $f(X_{daughter,best}(i))$ lần lượt là giá trị thích nghi của cây con tốt nhất của vòng lặp trước và vòng lặp hiện tại.

Thật vậy, khi RI lớn hơn tol , quá trình tính toán sẽ di chuyển xuống bước 5 để tiếp tục quá trình tìm kiếm toàn cục. Ngược lại, hai thủ tục tìm kiếm cục bộ sẽ lần lượt được thực hiện để cập nhật cây con tốt nhất như sau:

Tìm kiếm cục bộ với bước lớn: Thủ tục này nhằm tạo ra dim cây mới bằng cách sửa lần lượt từng phần tử của cây con tốt nhất hiện hữu sử dụng biểu thức (3.27).

$$X_{perturbed,d} = round[vec\{1,1 \dots, 1,1,1 + d_{runner} \times rand_d, 1, \dots, 1\} \times X_{daughter,best}(i)] \quad (3.27)$$

Với $d = 1, \dots, dim$; $vec\{1,1 \dots, 1,1,1 + d_{runner} \times rand_d, 1, \dots, 1\}$ là vector với tất cả các phần tử bằng một ngoại trừ phần tử d^{th} được cho bằng $1 + d_{runner} \times rand_d$.

Từ dim cây con mới được tạo ra, giá trị hàm thích nghi của mỗi cây được tính toán. Cuối cùng, cây tốt nhất ($X_{daughter,best}$) được cập nhật lại nếu trong dim cây con mới có cây có giá trị hàm thích nghi tốt hơn cây con tốt nhất hiện hữu.

Tìm kiếm cục bộ với bước nhỏ: Tương tự như thủ tục tìm kiếm cục bộ với bước lớn, trong bước này dim cây con mới cũng sẽ được tạo ra sử dụng (3.28).

$$X_{perturbed,d} = round[vec\{1,1 \dots, 1,1,1 + d_{root} \times rand_d, 1, \dots, 1\} \times X_{daughter,best}(i)] \quad (3.28)$$

Lưu ý rằng d_{runner} trong biểu thức (3.27) được thay thế bằng d_{root} trong (3.28). Trong đó d_{root} nhỏ hơn nhiều so với d_{runner} .

Tương tự, từ dim cây con mới được tạo ra, giá trị hàm thích nghi của mỗi cây được tính toán. Cuối cùng, cây tốt nhất ($X_{daughter,best}$) được cập nhật lại một lần nữa.

Như vậy, ở bước này có $(2 \times dim)$ cây con mới được tạo ra. Trong đó dim cây được tạo ra sử dụng bước lớn và dim cây còn lại được tạo ra sử dụng bước nhỏ. Khi đó, giá trị hàm thích nghi của $(2 \times dim)$ cây con mới được đánh giá để xác định cây tốt nhất với giá trị hàm thích nghi tốt nhất. Nếu cây này tốt hơn cây $X_{daughter,best}$ nó được lựa chọn để thay thế $X_{daughter,best}$ và trở thành cây tốt nhất $X_{daughter,best}$. Ngược lại, nếu cây này không tốt hơn $X_{daughter,best}$, nghĩa là không có sự cải thiện nào trong bước này và cây con tốt nhất sẽ không được cập nhật. Như vậy, sẽ có hai trường hợp xảy ra đối với các cây mới được tạo ra ở bước này là $(2 \times dim)$ hoặc $(2 \times dim - 1)$ cây mới sẽ bị loại bỏ.

Bước 5: Tạo ra các cây mẹ cho thế hệ sau

Tại giai đoạn cuối của mỗi vòng lặp, quần thể cây mẹ sử dụng cho thế hệ tiếp theo được chọn giữa các cây con sinh ra ở bước 3 và cây con tốt nhất sử dụng phương pháp bánh xe roulette.

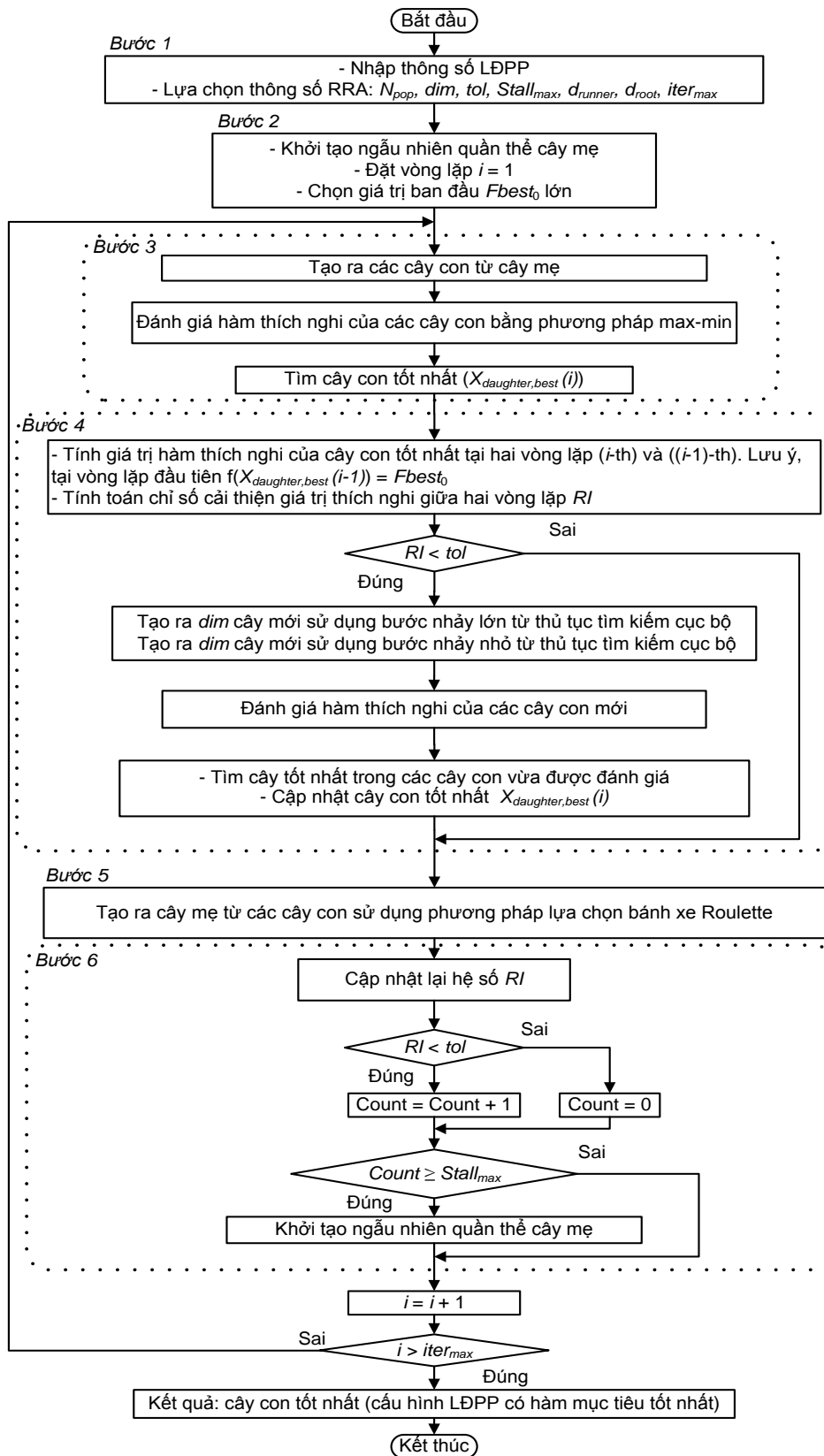
Sự thích nghi của các cây con được tính toán như sau:

$$fit(X_{daughter}^k(i)) = \frac{1}{a + f(X_{daughter}^k(i)) - f(X_{daughter,best}^k(i))} \quad (3.29)$$

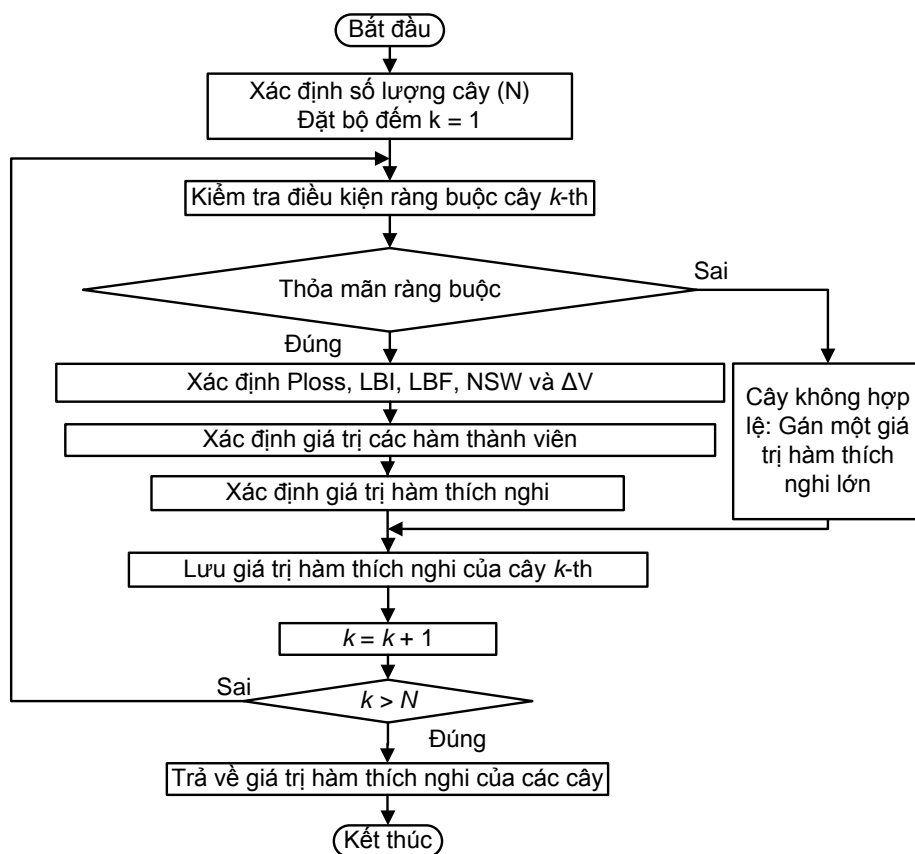
Trong đó a là một hằng số dương nhỏ.

Xác suất một cây con k^{th} được chọn cho thế hệ sau được xác định bằng biểu thức (3.30). Khi đó, phương pháp bánh xe roulette được sử dụng để chọn các cây mẹ từ các cây con trên.

$$p_k = \frac{fit(X_{daughter}^k(i))}{\sum_{j=1}^{N_{pop}} fit(X_{daughter}^j(i))} \quad (3.30)$$



Hình 3. 18. Sơ đồ các bước tái cấu hình LĐPP sử dụng RRA.



Hình 3. 19. Các bước tính toán giá trị hàm thích nghi bằng phương pháp max-min.

Bước 6: Thoát khỏi giải pháp cực trị địa phương

Để tránh một giải pháp cực trị địa phương mà thuật toán có thể bị bẫy vào, một biến đếm sẽ được tăng một đơn vị nếu sự cải thiện của hàm thích nghi của cây tốt nhất giữa hai vòng lặp liên tiếp nhỏ hơn tol , ngược lại biến đếm này sẽ được đặt bằng không. Nếu giá trị của biến đếm bằng $Stall_{max}$, thuật toán sẽ được khởi động lại bằng cách khởi tạo ngẫu nhiên quần thể cây mẹ tương tự như ở bước 2 ngược lại thuật toán sẽ di chuyển đến bước 3.

Bước 7: Điều kiện dừng giải thuật

Quá trình tạo ra cây con từ cây mẹ và quá trình cây con trở thành cây cây mẹ lần lượt được thực hiện cho đến khi số vòng lặp ($iter$) đạt đến số vòng lặp lớn nhất ($iter_{max}$). Sơ đồ các bước thực hiện của phương pháp tái cấu hình LDPP sử dụng thuật toán RRA được trình bày ở Hình 3. 18. Các bước tính toán giá trị hàm thích nghi bằng phương pháp max-min được trình bày ở Hình 3. 19.

3.3.3. Kết quả tính toán

Bài toán tái cấu hình đa mục tiêu sử dụng phương pháp RRA được kiểm tra trên LDPP 33 nút. Ngoài ra, do trong các hàm mục tiêu cần tối ưu, có mục tiêu cân bằng tải giữa các xuất tuyến, vì vậy LDPP 70 nút có 4 xuất tuyến được sử dụng để phân tích hiệu quả của phương pháp đề xuất. Tương tự như bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất, trên hai LDPP mẫu được giả thiết bỏ qua tổn thất công suất máy biến áp và các khí cụ điện trên lưới. Chương trình tính toán được xây dựng dưới dạng “file.m” và chạy từ “Command Window” của phần mềm Matlab trên máy tính có cấu hình Intel Core i3 M 330 @ 2.13GHz, 1 CPU, 2 cores per CPU, Motherboard Aspire 4740, 2GB DDR3 RAM, Hard Drive ST9250320AS (250GB), Windows 7 SP1 (32-bit).

Trên mỗi LDPP, năm trường hợp (TH) được xem xét để phân tích khả năng của phương pháp đề xuất.

TH 1: Hàm đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất.

TH 2: Hàm đơn mục tiêu giảm độ lệch điện áp.

TH 3: Hàm đơn mục tiêu cực tiểu chỉ số *LBI*.

TH 4: Hàm đơn mục tiêu cực tiểu chỉ số *LBF*.

TH 5: Hàm đa mục tiêu với năm hàm mục tiêu thành phần.

3.3.3.1. Lựa chọn thông số điều khiển của RRA

Thông số của RRA sử dụng tính toán là số cây mẹ $N_{pop} = 20$, vòng lặp lớn nhất $iter_{max} = 150$ cho LDPP 33 nút và $N_{pop} = 20$, $iter_{max} = 200$ cho LDPP 70 nút; sự thay đổi tương đối giá trị hàm thích nghi tốt nhất trong hai vòng lặp $tol = 0.01$; số vòng lặp để khởi động lại thuật toán $Stall_{max} = 50$. Do bởi số lượng khóa mở ban đầu trên lưới 33 và 70 nút lần lượt là 5 và 11 khóa. Vì vậy, kích thước của vector giải pháp của hai hệ thống lần lượt là $dim = 5$ và $dim = 11$.

3.3.3.2. LDPP 33 nút

Trong phần này, LDPP 33 nút với 37 nhánh, 32 khóa điện thường đóng và 5

khóa điện thường mở được sử dụng để kiểm tra phương pháp đề nghị. Thông số đường dây và phụ tải của hệ thống được sử dụng trong [22] và sơ đồ đơn tuyến của hệ thống được mô tả như Hình 3.4. Ngoài ra, tổn thất công suất ban đầu, điện áp nút thấp nhất và dòng điện định mức của các nhánh lần lượt là 202.69 kW, 0.9131 p.u và 255 A.

Đối với LDPP 33 nút, các vòng cơ sở được xác định bằng cách đóng lần lượt các khóa mở ban đầu được cho trong Bảng 3.8. Trong đó, giá trị của $X_{high,1}$, $X_{high,2}$, $X_{high,3}$, $X_{high,4}$ và $X_{high,5}$ lần lượt là 10, 7, 15, 21 và 11. Do đó, để áp dụng RRA cho hệ thống này, d_{runner} và d_{root} lần lượt được chọn bằng 10 và 5. Các thông số khác được lựa chọn như ở mục 3.3.3.1. Để chứng minh hiệu quả của phương pháp đề xuất, kết quả tính từ RRA được so sánh với các phương pháp khác như hybrid big bang–big crunch algorithm (HBB-BC) [99], Fuzzy-SFL[27], MOIWO [100], HSA [39], FWA [95], PSO [93], ACO [105], HPSO [25] và DPSO-HBMO[26].

Bảng 3. 8. Các vòng cơ sở của LDPP 33 nút.

Vòng cơ sở (FL)	Không gian tìm kiếm của mỗi khóa mở trong mỗi FL	Kích thước của FL
FL ₁	2, 3, 4, 5, 6, 7, 18, 19, 20, 33	10
FL ₂	9, 10, 11, 12, 13, 14, 34	7
FL ₃	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 18, 19, 20, 21, 35	15
FL ₄	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 36	21
FL ₅	3, 4, 5, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 37	11

Ngoài ra, để đảm bảo sự công bằng trong so sánh, hai phương pháp tái cấu hình sử dụng thuật toán di truyền với các biến liên tục CGA [94] và thuật toán tìm kiếm CSA [88] được thực hiện trên cùng một máy tính. CGA dựa trên cơ chế chọn lọc tự nhiên sử dụng biến số thực là một thuật toán heuristic tổng quát nổi tiếng và nó phù hợp với bài toán mà các biến điều khiển là liên tục. CSA là thuật toán mới được phát triển lấy ý tưởng từ đặc điểm sinh sản ký sinh của một số loài chim tu hú. Cả hai

thuật toán đã được áp dụng thành công vào các bài toán tái cấu hình, trong đó CGA đã được sử dụng trong các nghiên cứu [77], [79], [110-111] và CSA cũng đã chứng minh được khả năng của mình trong các nghiên cứu [112-113]. Các thông số điều khiển của CGA và CSA được cài đặt trong phạm vi cho phép và giá trị tối ưu nhất được lựa chọn qua nhiều lần thực hiện. Kết quả, tỉ lệ chọn lọc tự nhiên và tỉ lệ đột biến của CGA lần lượt được xác định là 0.5 và 0.2 trong khi đối với CSA, xác suất phát hiện trùng lặp trong tổ của chim chủ là 0.2. Các thông số khác của hai thuật toán như kích thước quần thể, kích thước vector biến điều khiển và số vòng lặp lớn nhất được chọn tương tự như RRA.

Hiệu quả của phương pháp đề xuất được trình bày trong Bảng 3.9. Có thể thấy rằng, trong TH 1, tổn thất công suất trên hệ thống đã giảm từ 202.69 kW trong cấu hình ban đầu xuống 139.55 kW trong cấu hình tối ưu. Điện áp nút thấp nhất cũng được cải thiện từ 0.9131 p.u. đến 0.9378 p.u. Tương tự TH 1, giá trị hàm thích nghi tốt nhất cho các TH 2 và 3 lần lượt được xác định là 0.0588 và 0.0227. Những giá trị này cũng là các giới hạn nhỏ nhất của các hàm thành viên được sử dụng trong trường hợp tái cấu hình với hàm đa mục tiêu (TH 5). Giới hạn của các hàm thành viên trên LDPP 33 nút được cho ở Bảng 3.10.

Trong TH 5, bằng việc sử dụng hàm đa mục tiêu ngoại trừ hàm cân bằng tải xuất tuyến do hệ thống chỉ có duy nhất một xuất tuyến, các khóa điện mở thu được trong cấu hình tối ưu là {6, 34, 11, 36, 37}. Trong đó, tổn thất công suất, điện áp nút thấp nhất, chỉ số cân bằng tải LBI và số lần chuyển khóa NSW lần lượt là 145.05 kW, 0.9373 p.u, 0.0271 p.u, và 4.

Bảng 3. 9. Kết quả tính toán trên LDPP 33 nút trong các TH.

Mục	Ban đầu	TH 1	TH 2	TH 3	TH 4	TH 5
Cấu hình	33, 34, 35, 36, 37	7, 14, 9, 32, 37	7, 14, 9, 32, 28	7, 34, 35, 30, 37	-	6, 34, 11, 36, 37
ΔP (kW)	202.69	139.55	139.98	203.09	-	145.05
V _{min} (p.u.)	0.9131	0.9378	0.9412	0.8695	-	0.9373

Mục	Ban đầu	TH 1	TH 2	TH 3	TH 4	TH 5
LBI	0.0414	0.0279	0.0308	0.0227	-	0.0271
Max(I/Irate)	0.8250	0.8123	0.8126	0.8278	-	0.8138
LBF	-	-	-	-	-	
LBF _i (MW)	-	-	-	-	-	
NSW	0	8	10	4	-	4
Hàm thích nghi	-	139.55	0.0588	0.0227	-	0.25
Thời gian tính toán (s)	-	74.6933	84.4106	85.2702	-	88.6261

Bảng 3. 10. Giới hạn của các hàm thành viên trên LĐPP 33 nút.

Mục	F _{Ploss}	F _(1-V_{min})	F _{LBI}	F _{NSW}	F _{LBF}
Min	139.55	0.0588	0.0227	2	-
Max	202.67	0.0869	0.0414	10	-

Bảng 3. 11. Kết quả so sánh RRA với các phương pháp khác trên LĐPP 33 nút.

Phương pháp	Khóa mở	ΔP (kW)	V _{min} (p.u.)	LBI	Max (I/Irate)	NSW
TH 1: Hàm đơn mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất						
RRA	7, 14, 9, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
HBB-BC [99]	7, 14, 9, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
Fuzzy-SFL[27]	7, 9, 14, 28, 32	139.98	0.9412	0.0308	0.8126	10
MOIWO [100]	7, 14, 9, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
HSA [39]	7, 14, 9, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
FWA [95]	7, 14, 9, 32, 28	139.98	0.9412	0.0308	0.8126	10
PSO [93]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
ACO [105]	7, 9, 14, 28, 32	139.98	0.9412	0.0308	0.8126	10
TH 5: Hàm đa mục tiêu						
RRA	6, 34, 11, 36, 37	145.05	0.9373	0.0271	0.8138	4
HBB-BC [99]	7, 9, 14, 28, 32	139.98	0.9412	0.0308	0.8126	10

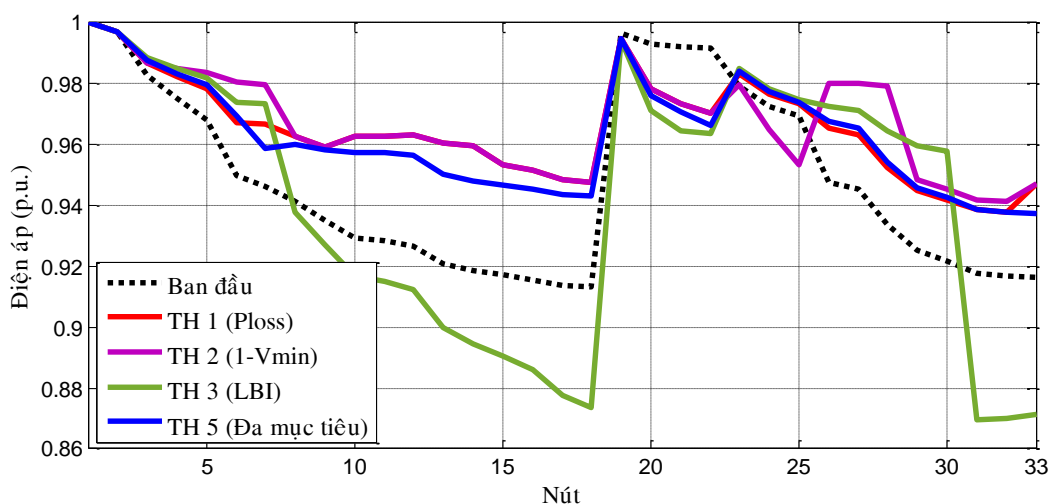
Phương pháp	Khóa mở	ΔP (kW)	V_{\min} (p.u.)	LBI	Max (I/Irate)	NSW
Fuzzy-SFL[27]	6, 8, 12, 36, 37	151.51	0.9318	0.0259	0.8153	6
MOIWO [100]	6, 11, 32, 34, 37	144.41	0.9357	0.0262	0.8138	6
HPSO [25]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
DPSO- HBMO[26]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8

Kết quả so sánh giữa RRA với các phương pháp khác được cho trong Bảng 3.11 và Bảng 3.12. Trong Bảng 3.11, kết quả thực hiện bằng RRA trong TH 1 bằng với kết quả thực hiện từ các phương pháp HBB-BC [99], MOIWO [100], HSA [39] và PSO [93] nhưng tốt hơn kết quả thực hiện bằng các phương pháp ACO [105] và FWA [95]. Trong TH 5, RRA thu được cấu hình {6, 34, 11, 36, 37} với tổn thất công suất 145.05 kW vốn cao hơn từ 0.64 kW đến 5.5 kW so với cấu hình thu được từ các phương pháp MOIWO [100], HBB-BC [99], HPSO [25] và DPSO-HBMO [26]. Tuy nhiên, cấu hình thu được bằng RRA chỉ mất 4 lần chuyển khóa so với từ 6-10 lần chuyển khóa khi thực hiện bằng các phương pháp trên. Như trình bày ở Bảng 3.12, phương pháp đề xuất hiệu quả hơn các phương pháp khác do bởi sự cân bằng giữa các hàm thành viên với các giá trị của mỗi hàm thành viên là 0.9130, 0.8609, 0.7656, và 0.75. Rõ ràng, những giá trị này tốt hơn so với các giá trị thu được từ các phương pháp HBB-BC [99], Fuzzy-SFL [27], MOIWO [100], HPSO [25] và DPSO-HBMO [26].

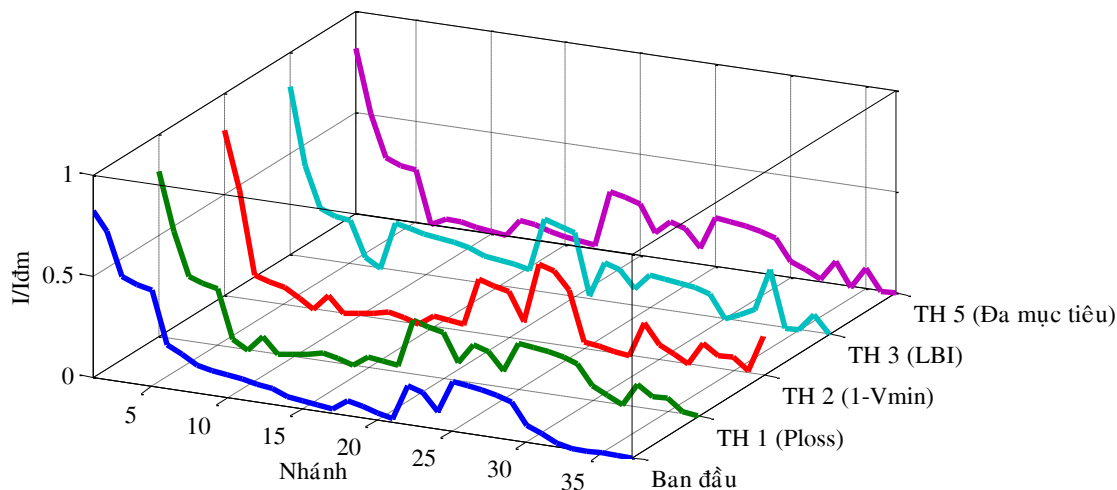
Bảng 3. 12. So sánh sự cân bằng giữa các hàm thành viên ở TH 5 trên LDPP 33 nút.

Phương pháp	$MF_{\Delta P}$	$MF_{(1-V_{\min})}$	MF_{LBI}	MF_{NSW}	MF_{LBF}
RRA	0.9130	0.8609	0.7656	0.75	-
HBB-BC [99]	0.9932	1	0.5682	0	-
Fuzzy-SFL[27]	0.8106	0.6636	0.8276	0.5	-
MOIWO [100]	0.9230	0.8019	0.8137	0.5	-
HPSO [25]	1	0.8782	0.7216	0.25	-
DPSO-HBMO[26]	1	0.8782	0.72156	0.25	-

Điện áp các nút sau khi thực hiện tái cấu hình được cho ở Hình 3. 20. Hình vẽ cho thấy điện áp tất cả các nút đã được cải thiện đáng kể sau khi tái cấu hình. Ngoài ra, điện áp các nút thu được ở TH 2 tốt hơn so với các TH còn lại. Hệ số mang tải trên các nhánh trong các TH khác nhau trên LĐPP 33 nút được ở Hình 3. 21 cho thấy không có nhánh nào vi phạm ràng buộc về dòng điện.



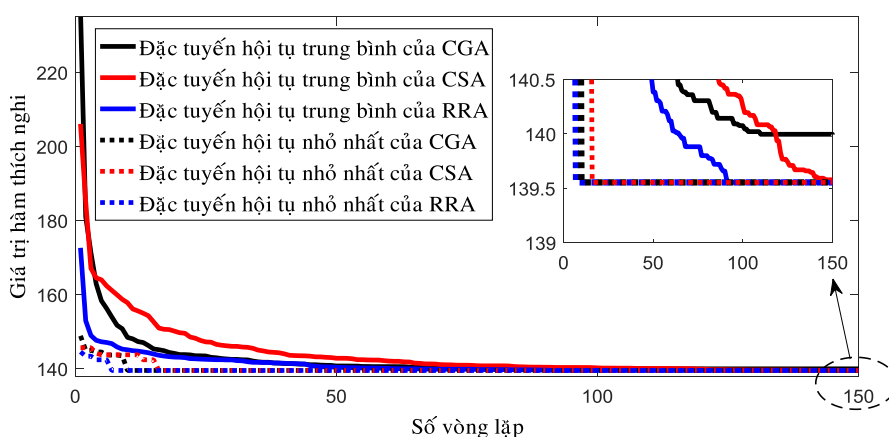
Hình 3. 20. Biên độ điện áp trong các TH khác nhau trên LĐPP 33 nút.



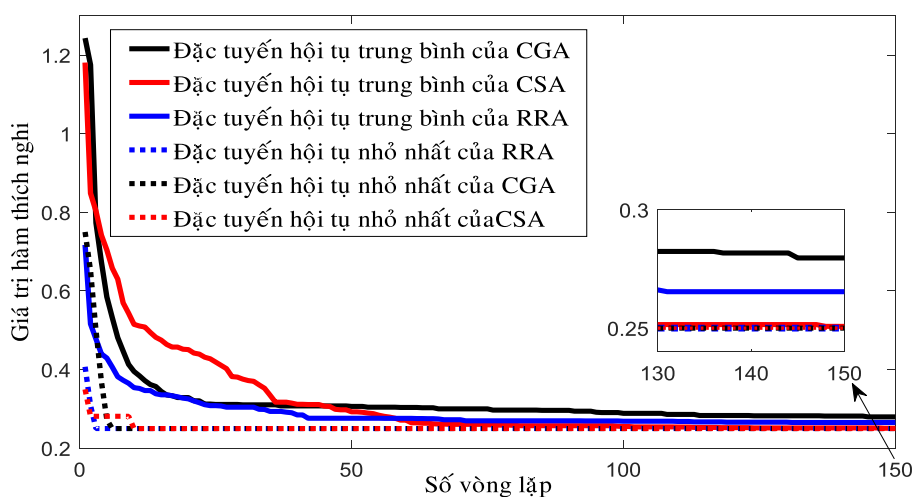
Hình 3. 21. Hệ số mang tải trên các nhánh trong các TH khác nhau trên LĐPP 33 nút.

Để so sánh RRA với CGA và CSA, bài toán tái cấu hình được chạy 50 lần độc lập. Giá trị lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình và độ lệch chuẩn của hàm thích nghi cũng như vòng lặp hội tụ được so sánh ở Bảng 3.13. Từ Bảng 3.13 cho thấy, kết quả thực

hiện bằng phương pháp đề xuất tốt hơn hai phương pháp so sánh ở giá trị vòng lặp hội tụ. Mặc dù cả ba phương pháp đều tìm được giá trị hàm thích nghi nhỏ nhất và giá trị trung bình của hàm thích nghi của ba phương pháp gần bằng nhau trong cả hai TH. Tuy nhiên, số vòng lặp hội tụ trung bình của RRA trong TH 1 và 5 lần lượt là {38.1, 42.1}, trong khi đó đối với CGA và CSA lần lượt là {54.63, 46.0} và {83.63, 62.6}.



Hình 3. 22. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LDPP 33 nút trong TH 1 sau 50 lần chạy.



Hình 3. 23. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LDPP 33 nút trong TH 5 sau 50 lần chạy.

Về thời gian tính toán, RRA mất 48.17s để giải bài toán, chậm hơn CGA 8.91s và nhanh hơn CSA 24.41s. Tương tự, trong TH 5, RRA cũng chậm hơn CGA và

nhanh hơn CSA. Mặc dù mất nhiều thời gian tính toán hơn so với CGA, nhưng rõ ràng thời gian tính toán trên được tính cho 150 vòng lặp trong khi đó RRA hội tụ sau {39, 43} vòng lặp cho TH 1 và 5 nhưng CGA hội tụ sau {55, 46} vòng lặp cho hai TH. Đặc tính hội tụ trung bình và nhỏ nhất của RRA, CGA và CSA trên hệ thống 33 nút trong TH 1 và 5 được cho trong Hình 3. 22 và Hình 3. 23. Các đường đặc tính trung bình của RRA trong hai TH luôn thấp hơn CGA và CSA.

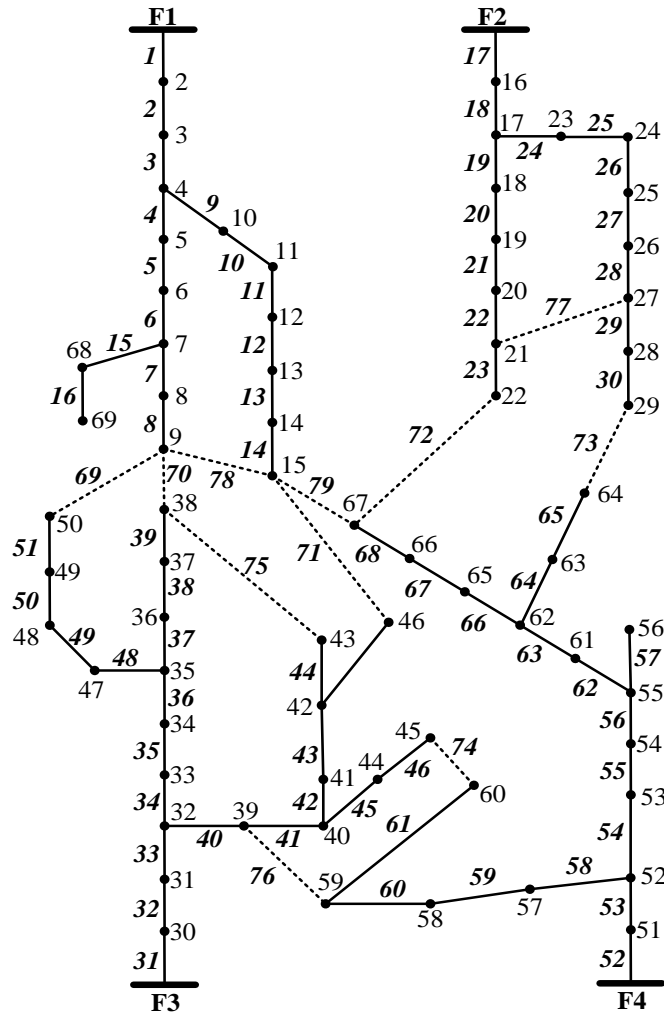
Bảng 3. 13. Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 33 nút.

Phương pháp	Khóa mở	Hàm thích nghi				Vòng lặp hội tụ		Thời gian tính toán (s)
		Max.	Min.	Mean	STD	Mean	STD	
TH 1: Hàm đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất								
RRA	7, 14, 9, 32, 37	139.55	139.55	139.55	8.6e-14	38.10	21.34	48.17
CGA	7, 14, 9, 32, 37	146.19	139.55	139.78	1.2121	54.63	29.86	39.26
CSA	7, 14, 9, 32, 37	140.28	139.55	139.58	0.1328	83.63	34.25	72.58
TH 5: Hàm đa mục tiêu								
RRA	6, 34, 11, 36, 37	0.3551	0.25	0.2654	0.0247	42.1	37.10	58.00
CGA	6, 34, 11, 36, 37	0.4496	0.25	0.2797	0.0482	46.0	42.16	41.51
CSA	6, 34, 11, 36, 37	0.2726	0.25	0.2508	0.0041	62.6	33.17	75.17

3.3.3.3. LDPP 70 nút

Trong phần này, phương pháp RRA được chạy trên LDPP 70 nút có cấp điện áp 11 kV với 4 xuất tuyến, 78 nhánh và 11 khóa mở. Thông số hệ thống được cho ở Phụ lục 8 và Phụ lục 9 [23], sơ đồ đơn tuyến của hệ thống được cho ở Hình 3.24.

Tổn thất công suất và điện áp nút thấp nhất lần lượt là 227.53 kW và 0.9052 p.u. Dòng điện định mức trên các nhánh thường mở là 234A, trên nhánh 9-16, 24-30, 40-51, 58-68 là 208A và các nhánh còn lại là 270A [23].



Hình 3. 24. LĐPP 70 nút.

Các vòng cơ sở của hệ thống được cho ở Bảng 3.14 trong đó các giới hạn trên $X_{high,1}$ đến $X_{high,11}$ lần lượt là {19, 18, 18, 18, 19, 14, 12, 10, 10, 12, và 20}. Vì vậy, tương tự như LĐPP 33 nút, d_{runner} và d_{root} lần lượt được chọn bằng 10 và 5. Trên hệ thống này RRA được so sánh với các phương pháp đã được công bố như SAPSO [114], SAPSO-MSFLA [114], MSFLA [114], FMA [23], HPSO [25] và DPSO-HBMO [26]. Ngoài ra, RRA cũng được so sánh với CGA và CSA trên cùng một máy tính với các thông số kích cỡ quần thể, kích thước vector giải pháp và số vòng lặp lớn

nhất là {30, 11, và 200}, các thông số còn lại của ba phương pháp được chọn như trên LDPP 33 nút.

Bảng 3. 14. Các vòng cơ sở trên LDPP 70 nút.

Vòng cơ sở (FL)	Không gian tìm kiếm của mỗi khóa mở trong mỗi FL	Kích thước của FL
FL ₁	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 48, 49, 50, 51, 69	19
FL ₂	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 70	18
FL ₃	1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 31, 32, 33, 40, 41, 42, 43, 47, 71	18
FL ₄	17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 52, 53, 54, 55, 56, 62, 63, 66, 67, 68, 72	18
FL ₅	17, 18, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 52, 53, 54, 55, 56, 62, 63, 64, 65, 73	19
FL ₆	31, 32, 33, 40, 41, 45, 46, 52, 53, 58, 59, 60, 61, 74	14
FL ₇	34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 75	12
FL ₈	31, 32, 33, 40, 52, 53, 58, 59, 60, 76	10
FL ₉	19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 77	10
FL ₁₀	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 78	12
FL ₁₁	1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 52, 53, 54, 55, 56, 62, 63, 66, 67, 68, 79	20

Kết quả thực hiện trên lưới 70 nút trình bày trong Bảng 3.15. Trong TH 1 với hàm đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất, tổn thất công suất đã giảm 11.48% từ 227.53 kW trên cấu hình ban đầu xuống 201.41 kW trên cấu hình tối ưu. Biên độ điện áp nút thấp nhất được cải thiện từ 0.9052 p.u. đến 0.9311 p.u. Chỉ số *LBI* và *LBF* cũng được giảm đáng kể từ {0.0082, 0.1107} xuống {0.0063, 0.023} trên cấu hình tối ưu. Bảng 3.16, cho thấy tổn thất công suất thu được từ RRA tốt hơn kết quả thu được từ các phương pháp khác như SAPSO [114], MSFLA [114] và SAPSO-MSFLA [114]. Tổn thất công suất thu được từ các phương pháp trên là 202.26 kW cao hơn 0.85 kW so với kết quả từ RRA. Tương tự như TH 1, các giá trị hàm thích nghi tốt nhất trong các TH 2, 3 và 4 thu được bằng RRA được cho Bảng 3.17.

Bảng 3. 15. Kết quả thực hiện các TH khác nhau trên LDPP 70 nút.

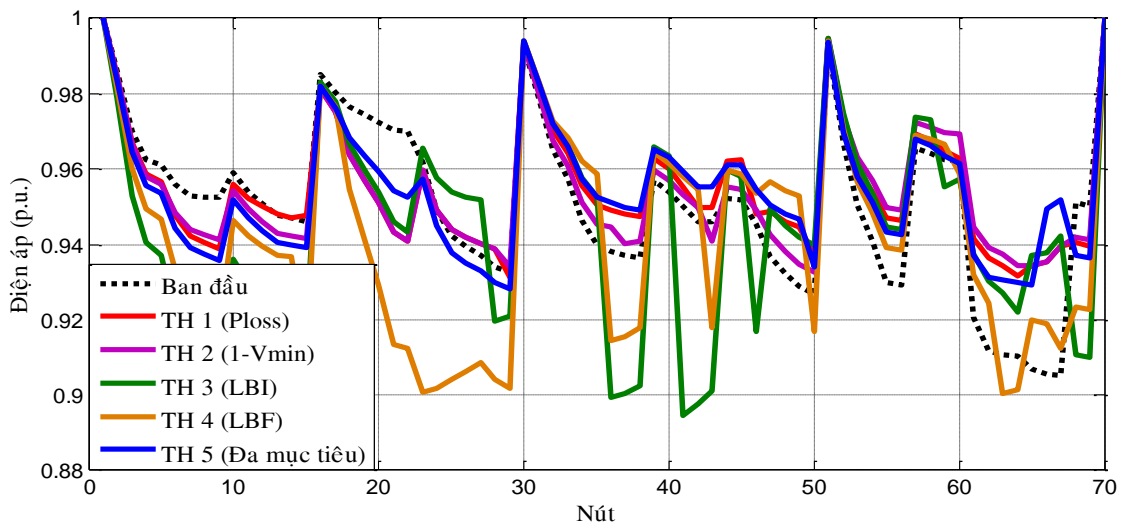
Mục	Ban đầu	TH 1	TH 2	TH 3	TH 4	TH 5
Cấu hình	69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79	51, 70, 13, 66, 30, 45, 75, 76, 77, 78, 79	69, 38, 71, 66, 30, 74, 44, 76, 77, 78, 79	69, 37, 47, 66, 29, 60, 42, 76, 77, 78, 79	51, 37, 71, 68, 64, 61, 44, 76, 24, 78, 14	69, 37, 71, 67, 73, 45, 75, 76, 77, 78, 79
ΔP (kW)	227.53	201.41	205.50	240.13	256.18	208.31
Vmin (pu)	0.9052	0.9311	0.9327	0.8947	0.9003	0.9283
LBI	0.0082	0.0063	0.0065	0.0057	0.0078	0.0064
Max(I/rate)	0.3471	0.2989	0.3230	0.3275	0.2842	0.2929
LBF	0.1107	0.0230	0.0385	0.0327	2.68e-04	0.0098
LBF_i (MW)	[1.0991, 1.1992, 1.7853, 1.6375]	[1.2007, 1.4977, 1.5377, 1.4512]	[1.2215, 1.4977, 1.6618, 1.3118]	[1.6846, 1.3423, 1.4429, 1.2706]	[1.4454, 1.4356, 1.4232, 1.4620]	[1.2863, 1.4449, 1.4531, 1.5069]
NSW	0	10	8	12	16	6
Hàm thích nghi	-	201.41	0.0673	0.0057	0.00027	0.2818
Thời gian tính toán (s)	-	272.95	283.01	299.18	298.76	364.40

Trong TH 5, mặc dù tổn thất công suất là 208.31 kW cao hơn so với TH 1 (201.41 kW), nhưng chỉ số LBF và số lần chuyển khóa NSW đã được cải thiện đáng kể so với TH 1. Chúng lần lượt giảm từ {0.023, 10} xuống {0.0098, 6}. So với các phương pháp FMA [23], HPSO [25] và DPSO-HBMO [26], tổn thất công suất thu được từ RRA có cao hơn 3.2396 kW, nhưng rõ ràng RRA chỉ mất có 6 lần vận hành khóa so với 12 lần vận hành khóa khi sử dụng các phương pháp trên. Kết quả so sánh sự cân bằng giữa các hàm mục tiêu của RRA so với ba phương pháp trên ở Bảng 3.18 cho thấy sự cân bằng giữa các hàm thành viên thu được từ RRA là {0.7359, 0.8384, 0.7182, 0.8 và 0.9139} tốt hơn so với {0.8601, 0.8016, 0.6499, 0.5 và 0.9252} thu được từ các phương pháp khác.

Bảng 3. 16. Kết quả so sánh RRA với các phương pháp khác trên LDPP 70 nút.

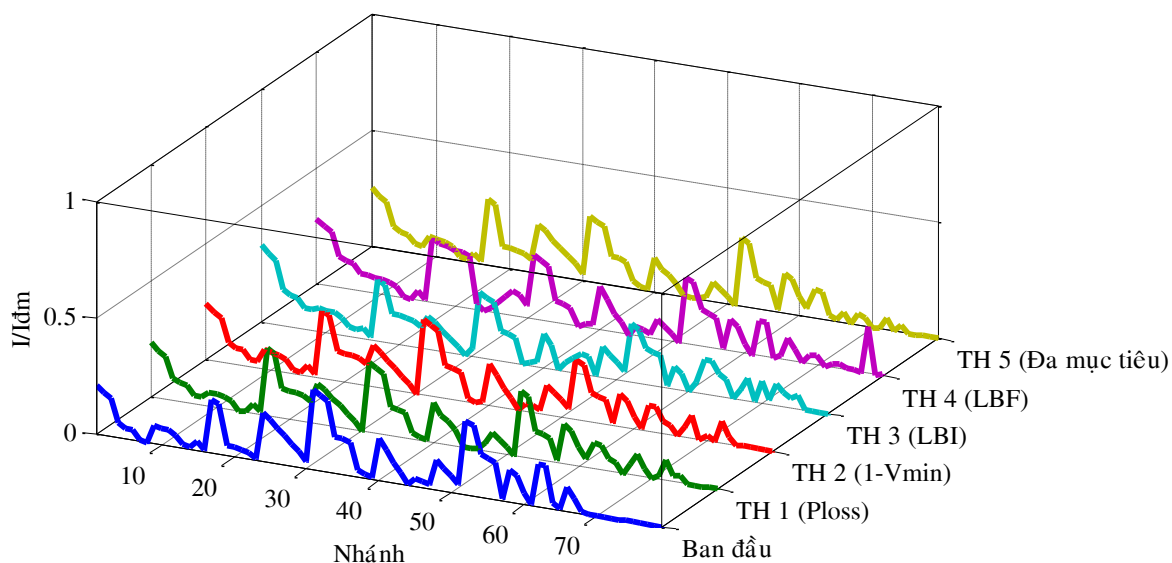
Phương pháp	Khóa mở	ΔP (kW)	V_{\min} (p.u.)	LBI	Max (I/Irate)	LBF	LBF_i	NSW
TH 1: Hàm đơn mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất								
RRA	51, 70, 13, 66, 30, 45, 75, 76, 77, 78, 79	201.41	0.9311	0.0063	0.2989	0.0230	[1.2007, 1.4977, 1.5377, 1.4512]	10
SAPSO [114]	66, 79, 77, 51, 30, 70, 46, 75, 78, 76, 71	202.26	0.9316	0.0062	0.2911	0.0090	[1.2863, 1.4977, 1.4735, 1.4308]	8
SAPSO-MSFLA [114]	66, 79, 77, 51, 30, 70, 46, 75, 78, 76, 71	202.26	0.9316	0.0062	0.2911	0.0090	[1.2863, 1.4977, 1.4735, 1.4308]	8
MSFLA [114]	66, 79, 77, 51, 30, 70, 46, 75, 78, 76, 71	202.26	0.9316	0.0062	0.2911	0.0090	[1.2863, 1.4977, 1.4735, 1.4308]	8
TH 5: Hàm đa mục tiêu								
RRA	69, 37, 71, 67, 73, 45, 75, 76, 77, 78, 79	208.31	0.9283	0.0064	0.2929	0.0098	[1.2807, 1.4449, 1.4625, 1.5069]	6
FMA [23]	14, 79, 71, 39, 51, 28, 73, 67, 46, 76, 70	205.07	0.9273	0.0066	0.2890	0.0085	[1.2871, 1.4471, 1.4733, 1.4865]	12

Phương pháp	Khóa mở	ΔP (kW)	V_{\min} (p.u.)	LBI	Max (I/Irate)	LBF	LBF_i	NSW
HPSO [25]	14, 79, 71, 39, 51, 28, 73, 67, 46, 76, 70	205.07	0.9273	0.0066	0.2890	0.0085	[1.2871, 1.4471, 1.4733, 1.4865]	12
DPSO-HBMO [26]	14, 79, 71, 39, 51, 28, 73, 67, 46, 76, 70	205.07	0.9273	0.0066	0.2890	0.0085	[1.2871, 1.4471, 1.4733, 1.4865]	12



Hình 3. 25. Biên độ điện áp trong các TH khác nhau trên LDPP 70 nút.

Biên độ điện áp các nút trong hệ thống khi sử dụng các TH khác nhau ở Hình 3.25 cho thấy điện áp các nút được cải thiện đáng kể khi sử dụng các TH 1, 2 và 5. Hệ số mang tải của các nhánh trong hệ thống (Hình 3.26) sau khi thực hiện tái cấu hình cũng được cải thiện so với TH ban đầu.



Hình 3. 26. Hệ số mang tải trên các nhánh trong các TH khác nhau trên LĐPP 70 nút.

Bảng 3. 17. Giới hạn của các hàm thành viên trên LĐPP 70 nút.

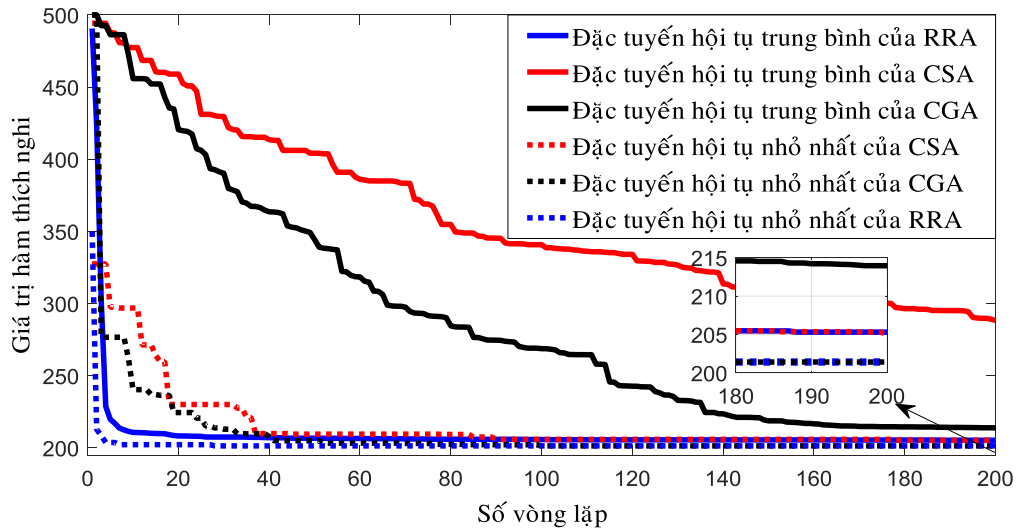
Mục	$F_{\Delta P}$	$F_{(1-V_{min})}$	F_{LBI}	F_{NSW}	F_{LBF}
Minimum	201.41	0.0673	0.0057	2	$2.68e-4$
maximum	227.53	0.0948	0.0082	22	0.1107

Bảng 3. 18. So sánh sự cân bằng giữa các hàm thành viên ở TH 5 trên LĐPP 70 nút.

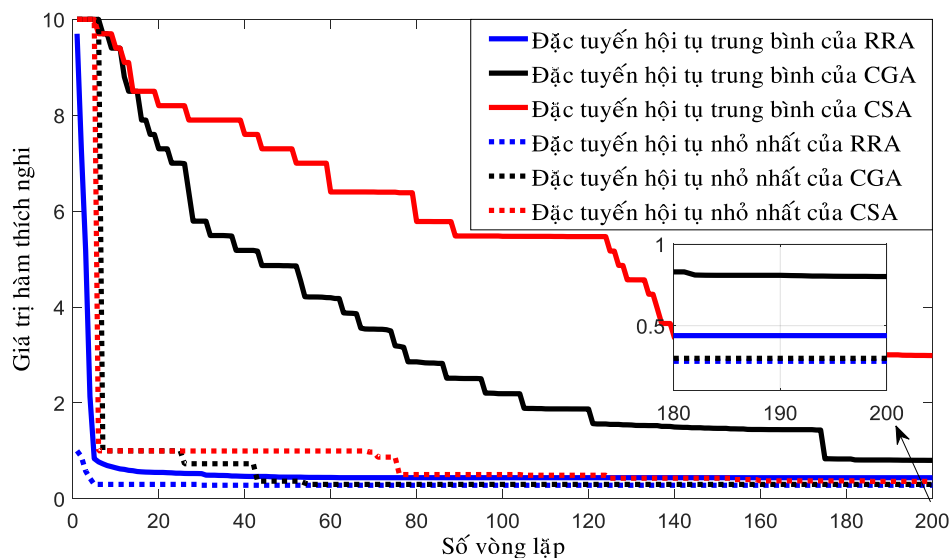
Phương pháp	$MF_{\Delta P}$	$MF_{(1-V_{min})}$	MF_{LBI}	MF_{NSW}	MF_{LBF}
RRA	0.7359	0.8384	0.7182	0.8	0.9139
FMA [23]	0.8601	0.8016	0.6499	0.5	0.9252
HPSO [25]	0.8601	0.8016	0.6499	0.5	0.9252
DPSO-HBMO[26]	0.8601	0.8016	0.6499	0.5	0.9252

Tương tự hệ thống 33 nút, kết quả so sánh giữa RRA với CGA và CSA được trình bày ở Bảng 3.19. Rõ ràng, RRA đã cho thấy ưu điểm vượt trội so với hai phương pháp trên. RRA có thể tìm được cấu hình tối ưu trong cả hai TH trong khi đó CGA chỉ tìm được cấu hình tối ưu trong TH 1 và CSA đã không tìm được kết quả tối ưu sau 200 vòng lặp. Hơn nữa, giá trị trung bình của hàm thích nghi thu được từ RRA

thấp hơn nhiều so với CGA và CSA. Trong hai TH, các giá trị này lần lượt là 205.29 và 0.4391, trong khi đó chúng lần lượt là $\{213.95, 0.801\}$ đối với CGA và $\{288.35, 2.9875\}$ đối với CSA. Có thể thấy RRA hội tụ rất nhanh với khả năng tìm kiếm giải pháp tối ưu toàn cục khi giải bài toán tái cấu hình. Số vòng lặp trung bình trong 50 lần chạy cho TH 1 và 5 lần lượt là $\{83, 30.27\}$, trong khi đối với CGA và CSA số vòng lặp trung bình lần lượt là $\{168, 130.67\}$ và $\{143.27, 101.23\}$.



Hình 3. 27. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LDPP 70 nút trong TH 1 sau 50 lần chạy trong 200 vòng lặp.



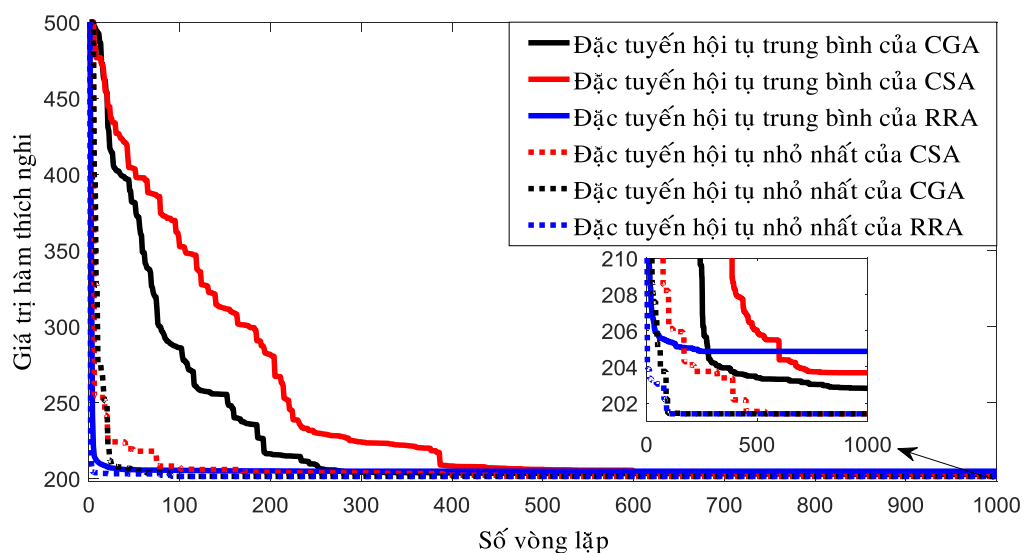
Hình 3. 28. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LDPP 70 nút trong TH 5 sau 50 lần chạy trong 200 vòng lặp.

Bảng 3. 19. Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 70 nút với 200 vòng lặp.

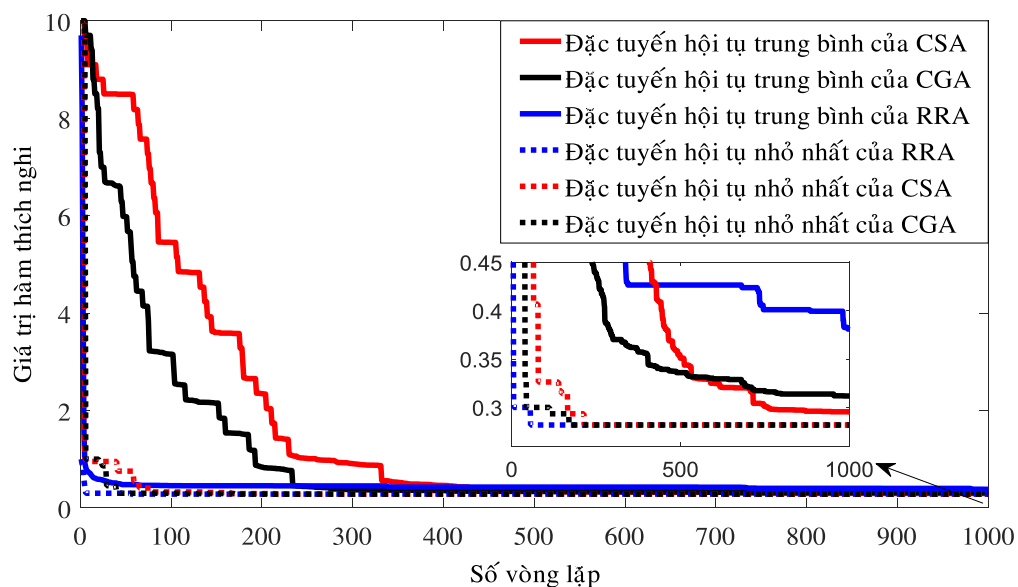
Phương pháp	Khóa mở	Hàm thích nghi				Vòng lặp hội tụ		Thời gian tính toán (s)
		Max.	Min.	Mean	STD	Mean	STD	
TH 1: Hàm đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất								
RRA	51, 70, 13, 66, 30, 45, 75, 76, 77, 78, 79	211.35	201.41	205.29	2.498	83.0	56.63	272.83
CGA	51, 70, 13, 66, 30, 45, 75, 76, 77, 78, 79	500	201.41	213.95	54.065	168.0	41.37	97.13
CSA	51, 70, 71, 66, 73, 46, 75, 76, 77, 78, 79	500	205.03	288.35	123.793	143.27	82.53	58.74
TH 5: Hàm đa mục tiêu								
RRA	69, 37, 71, 67, 73, 45, 75, 76, 77, 78, 79	1	0.2818	0.4391	0.176	30.27	29.42	267.64
CGA	51, 70, 71, 66, 30, 74, 75, 76, 77, 78, 79	10	0.3	0.8010	1.755	130.67	56.01	88.01
CSA	69, 37, 71, 67, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79	10	0.3626	2.9875	3.939	101.23	77.28	43.80

Để đảm bảo sự so sánh công bằng giữa ba phương pháp, số vòng lặp lớn nhất được tăng lên 1000 vòng lặp. Mục đích của việc tăng số vòng lặp này là để đảm bảo CGA và CSA có thể tìm được giải pháp tối ưu cho bài toán tái cấu hình. Kết quả thực hiện được trình bày ở Bảng 3.20, đặc tính hội tụ trong hai trường hợp thu được ở Hình 3.29 và 3.30. Kết quả cho thấy, mặc dù cả ba phương pháp đều tìm được cấu hình tối ưu, giá trị trung bình và thời gian tính toán của RRA cao hơn so với CGA và CSA.

Tuy nhiên, RRA hội tụ nhanh hơn khi giải bài toán tái cấu hình. Thật vậy, số vòng lặp trung bình trong 50 lần thực hiện độc lập là 85.47 cho trường hợp 1 và 170.4 cho trường hợp 2, trong khi với CGA và CSA chúng lần lượt là {462.73, 439.03} và {575, 545.13}. Vì vậy, dựa trên số vòng lặp hội tụ trung bình, RRA có thể được cài đặt với số vòng lặp nhỏ hơn so với CGA và CSA để tiết kiệm thời gian tính toán.



Hình 3. 29. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LDP 70 nút trong TH 1 sau 50 lần chạy trong 1000 vòng lặp.



Hình 3. 30. Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LDP 70 nút trong TH 5 sau 50 lần chạy trong 1000 vòng lặp.

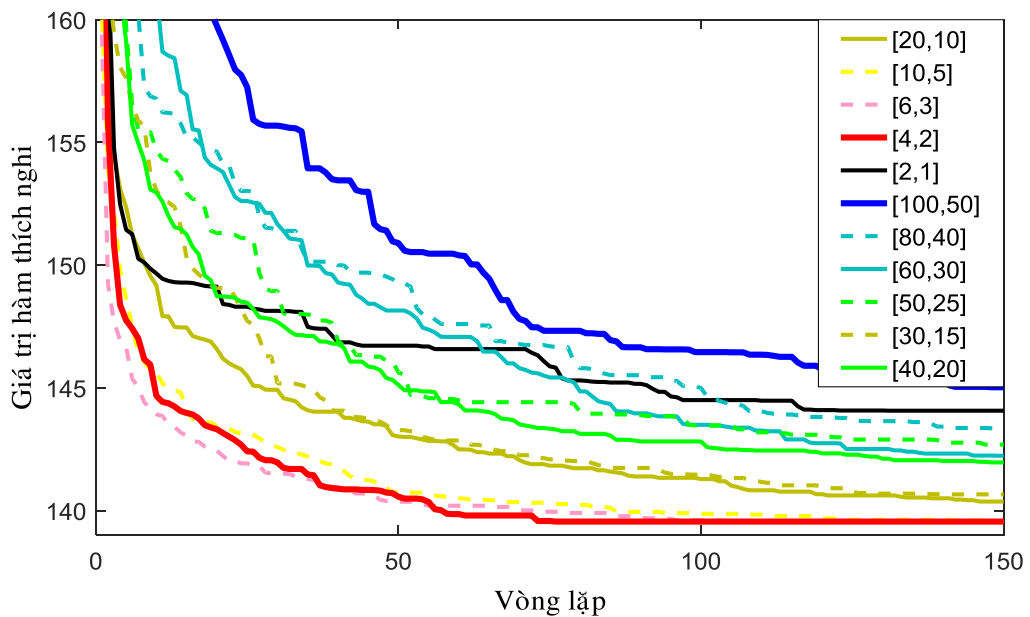
Bảng 3. 20. Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 70 nút với 1000 vòng lặp.

Phương pháp	Khóa mở	Hàm thích nghi				Vòng lặp hội tụ		Thời gian tính toán (s)
		Max.	Min.	Mean	STD	Mean	Max.	
TH 1: Hàm đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất								
RRA	51, 70, 13, 66, 30, 45, 75, 76, 77, 78, 79	210.74	201.41	204.85	2.1823	85.47	62.91	1468.43
CGA	51, 70, 13, 66, 30, 45, 75, 76, 77, 78, 79	206.83	201.41	202.82	1.7606	462.73	252.28	576.44
CSA	51, 70, 13, 66, 30, 45, 75, 76, 77, 78, 79	205.94	201.41	203.68	1.3114	575	187.70	1120.99
TH 5: Hàm đa mục tiêu								
RRA	69, 37, 71, 67, 73, 45, 75, 76, 77, 78, 79	0.5229	0.2818	0.3810	0.0789	170.4	277.14	1251.76
CGA	69, 37, 71, 67, 73, 45, 75, 76, 77, 78, 79	0.4484	0.2818	0.3118	0.0545	439.03	243.54	607.58
CSA	69, 37, 71, 67, 73, 45, 75, 76, 77, 78, 79	0.3174	0.2818	0.2952	0.0166	545.13	209.73	1080.46

3.3.3.4. Ảnh hưởng của các thông số điều khiển thuật toán RRA đến kết quả bài toán tái cấu hình

Để áp dụng RRA vào giải bài toán tái cấu hình, một số thông số cần được lựa chọn trước khi thực hiện giải thuật. Vì vậy, việc đánh giá sự ảnh hưởng của các thông số này đến kết quả bài toán là một vấn đề cần được xem xét. Để phân tích sự ảnh hưởng này, lưới điện 33 nút được sử dụng để thực hiện bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất.

Để phân tích sự ảnh hưởng của giá trị d_{runner} và d_{root} , số lượng cây mẹ N_{pop} , chỉ số thay đổi tương đối của hàm thích nghi tốt nhất trong hai vòng lặp liên tiếp tol , số vòng lặp để khởi động lại giải thuật $Stall_{max}$, số vòng lặp lớn nhất $iter_{max}$ lần lượt được chọn là $\{20, 0.01, 50$ và $150\}$. Giá trị của d_{runner} và d_{root} lần lượt được điều chỉnh từ 2-100 và 1-50. Kết quả thực hiện sau 30 lần chạy độc lập được cho ở Bảng 3.21. Kết quả cho thấy, giá trị tốt nhất của d_{runner} và d_{root} là $\{4, 2\}$. Ngoài ra, khi các giá trị này càng lớn, RRA sẽ khó tìm được giải pháp tối ưu hơn. Điều này được giải thích do các cây con nhảy quá xa so với các cây mẹ và điều này đã làm tăng tính ngẫu nhiên của bài toán. Đặc tính hội tụ trung bình trên Hình 3. 31 cho thấy giá trị tốt nhất và xấu nhất của d_{runner} và d_{root} lần lượt là $[4, 2]$ và $[100, 50]$.



Hình 3. 31. Đặc tính hội tụ trung bình khi điều chỉnh d_{runner} và d_{root} .

Tương tự, ảnh hưởng của chỉ số thay đổi tương đối của hàm thích nghi tốt nhất trong hai vòng lặp liên tiếp tol được phân tích và kết quả được trình bày ở Bảng 3.22. Kết quả cho thấy RRA thu được kết quả tốt nhất với tol bằng 0.001. Tuy nhiên, dựa trên giá trị trung bình của hàm thích nghi có thể thấy rằng thông số này không ảnh hưởng nhiều đến kết quả bài toán.

Bảng 3. 21. Ảnh hưởng của d_{runner} và d_{root} đến kết quả tính toán.

$[d_{runner}, d_{root}]$	Hàm thích nghi (tổng thất công suất, kW)			Vòng lặp hội tụ		Khóa mở
	Min.	Mean	STD	Mean	STD	
[2, 1]	139.5543	144.0716	3.9062	39.8	38.6107	[7, 14, 9, 32, 37]
[4, 2]	139.5543	139.5543	8e-14	34.97	18.6372	[7, 14, 9, 32, 37]
[6, 3]	139.5543	139.5543	8e-14	46.03	26.6930	[7, 14, 9, 32, 37]
[8, 4]	139.5543	139.5785	0.1328	56.23	35.6232	[7, 14, 9, 32, 37]
[10, 5]	139.5543	139.5543	8e-14	71.83	37.8482	[7, 14, 9, 32, 37]
[12, 6]	139.5543	139.8484	0.9482	74.03	33.1262	[7, 14, 9, 32, 37]
[14, 7]	139.5543	139.8717	0.8579	86.60	35.6396	[7, 14, 9, 32, 37]
[16, 8]	139.5543	139.8716	0.5879	78.30	38.9059	[7, 14, 9, 32, 37]
[18, 9]	139.5543	140.3057	1.1843	92.73	40.9676	[7, 14, 9, 32, 37]
[20, 10]	139.5543	140.3710	1.0277	94.30	34.8595	[7, 14, 9, 32, 37]
[30, 15]	139.5543	140.6620	1.5855	88.50	33.4713	[7, 14, 9, 32, 37]
[40, 20]	139.5543	141.9646	2.3208	91.83	36.0451	[7, 14, 9, 32, 37]
[50, 25]	139.5543	142.689	2.0538	87.2	40.8803	[7, 14, 9, 32, 37]
[60, 30]	139.5543	142.2367	2.6595	98.77	30.8541	[7, 14, 9, 32, 37]
[80, 40]	139.5543	143.2502	1.8679	108.5	33.7329	[7, 14, 9, 32, 37]
[100, 50]	139.5543	145.0261	3.5754	99.37	39.1236	[7, 14, 9, 32, 37]

Giải pháp tối ưu thu được khi điều chỉnh giá trị $Stall_{max}$ trong khoảng [3, 100] được cho ở Bảng 3.23. Có thể thấy rằng giá trị của $Stall_{max}$ ảnh hưởng nhiều đến giải pháp thu được. Rõ ràng khi giá trị này nằm trong khoảng [3, 20], độ lệch chuẩn của

giá trị hàm thích nghi tốt nhất trong 30 lần thực hiện gần như bằng không. Và khi $Stall_{max}$ tăng cao, độ lệch chuẩn đã có sự thay đổi theo chiều hướng xấu hơn. Rõ ràng, kỹ thuật khởi động lại giải thuật đã giúp cho RRA tránh được các điểm cực trị địa phương.

Bảng 3. 22. Ảnh hưởng của tol đến kết quả tính toán.

tol	Hàm thích nghi (tổng thất công suất, kW)			Vòng lặp hội tụ		Khóa mở
	Min.	Mean	STD	Mean	STD	
0.001	139.5543	139.5543	8e-14	32.97	18.8670	[7, 14, 9, 32, 37]
0.01	139.5543	139.7912	1.2981	34.90	19.7979	[7, 14, 9, 32, 37]
0.1	139.5543	139.7912	1.2981	31.43	22.2225	[7, 14, 9, 32, 37]
1	139.5543	139.7756	1.2121	42.20	33.2902	[7, 14, 9, 32, 37]
10	139.5543	140.2495	2.1227	40.27	29.6705	[7, 14, 9, 32, 37]
100	139.5543	140.2339	2.0749	31.93	21.1023	[7, 14, 9, 32, 37]
1000	139.5543	139.7912	1.2981	26.10	19.5613	[7, 14, 9, 32, 37]

Bảng 3. 23. Ảnh hưởng của $Stall_{max}$ đến kết quả tính toán.

$Stall_{max}$	Hàm thích nghi (tổng thất công suất, kW)			Vòng lặp hội tụ		Khóa mở
	Min.	Mean	STD	Mean	STD	
3	139.5543	139.5543	8e-14	31.13	19.8403	[7, 14, 9, 32, 37]
5	139.5543	139.5543	8e-14	36.20	19.2809	[7, 14, 9, 32, 37]
10	139.5543	139.5543	8e-14	28.37	22.6312	[7, 14, 9, 32, 37]
15	139.5543	139.5543	8e-14	34.03	23.0149	[7, 14, 9, 32, 37]
20	139.5543	139.5543	8e-14	34.43	21.9728	[7, 14, 9, 32, 37]
30	139.5543	140.0125	1.7452	33.93	18.0324	[7, 14, 9, 32, 37]
40	139.5543	139.7756	1.2122	34.60	16.6415	[7, 14, 9, 32, 37]
50	139.5543	139.7756	1.2121	30.80	19.1643	[7, 14, 9, 32, 37]

$Stall_{max}$	Hàm thích nghi (tổng thất công suất, kW)			Vòng lặp hội tụ		Khóa mở
	Min.	Mean	STD	Mean	STD	
60	139.5543	139.5543	8e-14	43.33	35.6877	[7, 14, 9, 32, 37]
70	139.5543	140.0125	1.7452	32.83	22.4593	[7, 14, 9, 32, 37]
80	139.5543	139.7756	1.2121	35.63	25.4619	[7, 14, 9, 32, 37]
90	139.5543	139.9969	1.6844	34.90	25.3109	[7, 14, 9, 32, 37]
100	139.5543	140.0125	1.7452	33.77	22.8302	[7, 14, 9, 32, 37]

3.4. Nhận xét và kết luận

Trong chương này, phương pháp tái cấu hình LDPP giảm tổn thất công suất dựa trên thuật toán CSA đã được thực hiện trên các hệ thống điện phân phối từ quy mô nhỏ như lưới IEEE 33 nút đến hệ thống có quy mô lớn như lưới IEEE 119 nút. Kết quả tính toán được so sánh với phương pháp CGA và PSO và một số nghiên cứu đã công bố.

Trong quá trình thực hiện tái cấu hình bằng thuật toán tìm kiếm tối ưu nói chung và thuật toán CSA nói riêng, các thuật toán cần được điều chỉnh để phù hợp và nâng cao hiệu quả trong quá trình tìm kiếm cấu hình lưới tối ưu, cụ thể:

Phương pháp mã hóa các biến: Đối với bài toán tái cấu hình, cấu trúc hình học của LDPP được thể hiện đầy đủ thông qua các khóa điện mở và số lượng khóa mở này luôn luôn được xác định trước. Vì vậy, các biến cần tìm trong thuật toán chỉ cần là thông tin về các khóa điện mở. Ngoài ra, việc thể hiện thông tin các khóa điện mở bằng các số nguyên sẽ giúp bài toán trở nên đơn giản hơn nhiều so với các dạng thể hiện khác như kiểu số nhị phân.

Xác định không gian tìm kiếm của các biến: Rõ ràng đối với mỗi biến khóa mở có rất nhiều lựa chọn ngẫu nhiên nhất là đối với các hệ thống LDPP lớn. Hơn nữa tổ hợp ngẫu nhiên các khóa điện để tạo thành các cấu hình lưới xem xét sẽ rất lớn, trong đó sẽ có rất nhiều cấu hình không thỏa mãn điều kiện ràng buộc về cấu hình hình tia, các phụ tải đều được cấp điện. Vì vậy, việc xây dựng phương pháp giới hạn không

gian tìm kiếm của mỗi khóa mở là điều quan trọng để giúp giải thuật hiệu quả hơn trong quá trình tìm kiếm giải pháp tối ưu. Ngoài ra, phương pháp xác định không gian tìm kiếm của mỗi khóa điện thông qua việc xác định các vòng cơ sở dựa trên ma trận kết nối nhánh và nút trong hệ thống. Sau đó, ma trận kết nối được cập nhật để tiếp tục sử dụng trong phương pháp kiểm tra cấu hình lưới có phải là hình tia hay không đã giúp nâng cao hiệu quả tính toán của phương pháp.

Từ kết quả so sánh có thể thấy khi áp dụng ba phương pháp trên vào bài toán tái cấu hình cần lưu ý một số điểm như sau:

Thuật toán PSO có đặc điểm là tương đối đơn giản, dễ thực hiện, thời gian tính toán tương đối nhanh. Tuy nhiên, thường thì PSO dễ rơi vào các cực trị địa phương, nhất là trên các hệ thống phân phối lớn. Vì vậy, khi sử dụng trên các hệ thống phân phối nhỏ, số lượng khóa mở và không gian tìm kiếm mỗi khóa điện hạn chế thì PSO là một trong những giải pháp được lựa chọn.

Thuật toán CGA cho thấy sự hiệu quả của nó trong việc giải bài toán tái cấu hình đặc biệt là các hệ thống nhỏ và trung bình. Trên các hệ thống này, mặc dù trong nhiều lần thực hiện khác nhau, nhưng rõ ràng CGA đều cho kết quả là các giải pháp tối ưu toàn cục, điều này được thể hiện qua sự so sánh giá trị trung bình với giá trị nhỏ nhất của hàm thích nghi trên hai hệ thống 33 và 69 nút. Ngoài ra, thời gian tính toán ngắn hơn so với CSA là một ưu điểm lớn của CGA trên các hệ thống này. Tuy nhiên, do đặc tính hội tụ sớm hơn so với CSA, nên trên các hệ thống lớn, phức tạp giải pháp thu được trên CGA không tốt hơn so với CSA.

Thuật toán CSA là một thuật toán mạnh trong giải bài toán tái cấu hình bao gồm cả các hệ thống phân phối nhỏ đến lớn. Sự chênh lệch giữa các giá trị lớn nhất, nhỏ nhất và trung bình của hàm thích nghi là rất nhỏ, điều này cho thấy sự ổn định của CSA trong việc giải bài toán tái cấu hình. Tuy nhiên, do trong một vòng lặp CSA thường phải đánh giá hàm thích nghi hai lần nên thời gian thực hiện tính toán thường lớn hơn so với các phương pháp khác. Mặc dù trong vận hành LDPP, bài toán tái cấu hình LDPP không yêu cầu phải thực hiện trong thời gian thực, nhưng đây vẫn được xem như nhược điểm lớn nhất của CSA cần được khắc phục để nâng cao hiệu quả

của phương pháp trong quá trình giải bài toán tái cấu hình LĐPP.

Ngoài ra, phương pháp tái cấu hình đa mục tiêu sử dụng thuật toán RRA đã được áp dụng thành công. Hàm mục tiêu xem xét trong bài toán là giảm tổn thất công suất, chỉ số cân bằng tải, chỉ số cân bằng giữa các xuất tuyến, độ lệch điện áp nút và số lần chuyển khóa. Phương pháp max-min được sử dụng để lựa chọn giải pháp thỏa hiệp giữa các hàm mục tiêu thành viên. Phương pháp đề xuất đã được kiểm tra trên hai hệ thống 33 và 70 nút. Kết quả tính toán cho thấy phương pháp RRA có khả năng tìm được cấu hình vận hành LĐPP với số vòng lặp nhỏ hơn nhiều so với phương pháp CGA và CSA. Ngoài ra, trong chương này sự ảnh hưởng của các thông số điều khiển giải thuật RRA đến kết quả bài toán tái cấu hình cũng đã được phân tích và đánh giá làm cơ sở cho việc lựa chọn thông số phù hợp khi giải bài toán tái cấu hình LĐPP.

Chương 4

TÁI CẤU HÌNH LĐPP CÓ XÉT ĐẾN MÁY PHÁT ĐIỆN PHÂN TÁN

4.1. Giới thiệu

Máy phát điện phân tán (Distributed Generation - DG) được kết nối trực tiếp đến LĐPP. Do những lợi ích kinh tế và an ninh năng lượng, sự xuất hiện của DG trên LĐPP tăng lên nhanh chóng [31], [32]. Ảnh hưởng của DG lên hệ thống điện đã thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu [33-37]. Một số nhà nghiên cứu đã kết hợp bài toán tái cấu hình LĐPP với bài toán tối ưu vị trí và dung lượng DG để nâng cao hiệu quả LĐPP [38-40]. Điểm đáng chú ý là cả hai nghiên cứu [39-40] đã sử dụng các kỹ thuật khác nhau để xác định vị trí DG trước khi thực hiện giải bài toán tái cấu hình và tối ưu công suất DG như hệ số nhạy tổn thất (Loss Sensitivity Factors - LSF) trong [39], và chỉ số ổn định điện áp (Voltage Stability Index-VSI) [40]. Do bởi vị trí của các DG được xác định trước dựa trên LSF hoặc VSI trên cấu hình LĐPP ban đầu, cả hai phương pháp trên chỉ tập trung tối ưu công suất phát của các DG. Tuy nhiên các thông số này có thể thay đổi trong quá trình tái cấu hình và tối ưu DG trên LĐPP nhất là trên hệ thống có nhiều DG.

Ngoài ra, kể từ khi được đề xuất bởi Merlin and Back [4], bài toán tái cấu hình đã được giải bằng nhiều phương pháp khác nhau từ các phương pháp heuristic [4], [6], [83] đến các phương pháp heuristic tổng quát [39], [95], [112], [115-118]. Các nghiên cứu trên tập trung giải bài toán với phụ tải cố định. Tuy nhiên, trong thực tế nhu cầu phụ tải có thể thay đổi, bài toán tái cấu hình cần thiết phải xem xét đến điều kiện hệ thống thay đổi trong khoảng thời gian cho trước. Vì vậy, bài toán tái cấu hình có xét đến phụ tải thay đổi đã thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu. Taleski và cộng sự [51] đề xuất phương pháp heuristic kết hợp với các đặc tính của đồ thị phụ tải để cực tiểu tổn thất năng lượng. Trong [3], [82] phương pháp heuristic vòng kín kết hợp với sử dụng công suất trung bình của phụ tải trong thời gian khảo

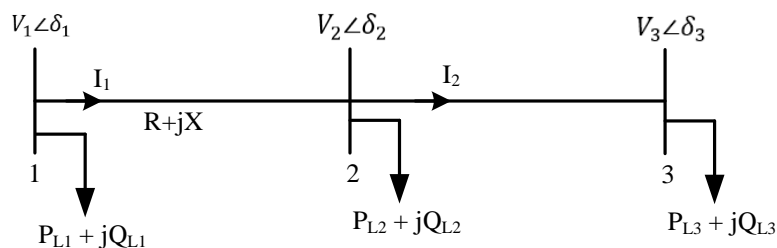
sát được sử dụng để xác định cấu trúc vận hành cực tiểu tổn thất năng lượng. Ưu điểm của phương pháp trên là chỉ cần sử dụng công suất trung bình của phụ tải mà không cần sử dụng đồ thị phụ tải trong quá trình tính toán. Trong [119], phương pháp tiếp cận từng bước được đề xuất để giải bài toán tái cấu hình có xét đến phụ tải thay đổi với hàm mục tiêu giảm tổn thất năng lượng và chi phí tái cấu hình. Tương tự, trong [47], thuật toán di truyền được đề xuất để tìm thời điểm tối ưu trong thời gian khảo sát để thay đổi cấu trúc vận hành dựa trên chi phí tổn thất năng lượng và chi phí chuyển khóa. Trong [46], [48], [120], bài toán tái cấu hình khi nhu cầu phụ tải thay đổi và công suất DG thay đổi được xem xét. Trong [48], mục đích của bài toán là xác định các cấu trúc lưới điện khi phụ tải thay đổi có xét đến DG pin mặt trời trong ngày. Tương tự, bài toán xác định các cấu trúc vận hành trong ngày giảm tổn thất năng lượng và nâng cao độ tin cậy được thực hiện trong [120]. Trong [46], bài toán tái cấu hình khi phụ tải thay đổi được xem xét với các loại máy phát phân tán khác nhau như turbin gió, pin mặt trời, DG sinh khối theo từng mùa giảm tổn thất năng lượng và chi phí chuyển khóa. Tuy nhiên bên cạnh các nghiên cứu có xét đến sự thay đổi đồng thời của phụ tải và DG, rất nhiều nghiên cứu tập trung xác định vị trí và công suất của DG có xét đến tái cấu hình lưới nhưng không xem xét đến các đặc tính theo thời gian của các DG [10], [39-40], [46], [49], [52], [121-122]. Trong khi đó, đối với các nguồn điện phân tán sử dụng các nguồn năng lượng mới như turbin gió hay pin mặt trời, sự thay đổi công suất phát của chúng trong khoảng thời gian khảo sát cần được xem xét khi giải bài toán tái cấu hình LĐPP có DG trong điều kiện phụ tải thay đổi. Trong chương này, dựa trên phương pháp được đề xuất trong [3], [82], một phương pháp tái cấu hình có xét đến phụ tải và công suất DG thay đổi được đề xuất.

4.2. Ảnh hưởng của DG đến bài toán tái cấu hình LĐPP

4.2.1. Mô hình toán

Các nguồn năng lượng tái tạo có công suất từ vài chục đến vài trăm MW thường được nối đến hệ thống điện cao áp. Khi đó, trong thị trường điện có huy động các loại nguồn điện này, có thể dẫn đến việc thiếu hụt năng lượng cung cấp cho các tuyến dây ở cấp trung thế vì có sự biến động công suất theo thời gian của các nguồn năng lượng

tái tạo này mà không thể điều khiển được do sự phụ thuộc của chúng vào các điều kiện môi trường. Trong tình huống này, để đảm bảo việc cung cấp đủ năng lượng cho các tuyến dây ở cấp trung thế mà không làm thay đổi giá mua bán điện tại thanh góp trung thế cần có các DG có khả năng điều khiển được công suất như hệ thống máy phát dầu, pin nhiên liệu... có công suất nhỏ thường được lắp ở LĐPP để phát bù lại lượng công suất thiếu hụt trên các tuyến dây trung thế. Ngoài ra, các loại DG này cũng có thể được huy động phát công suất lên lưới trong các giờ cao điểm. Vì vậy, việc xác định vị trí và công suất tối ưu của các loại DG này trên LĐPP để giảm tổn thất công suất, phát huy tối đa hiệu quả của các loại DG này có ý nghĩa quan trọng. Ngoài ra, khi DG được lắp đặt trên LĐPP, biên độ điện áp các nút sẽ tăng lên và an ninh điện áp sẽ được cải thiện. Trong đó, mức độ ổn định điện áp của LĐPP được mô tả bằng chỉ số VSI [37], [123]. Xét LĐPP đơn giản như Hình 4.1, chỉ số ổn định điện áp VSI được xác định như sau:



Hình 4. 1. Sơ đồ tương đương của LĐPP.

Dòng điện trên nhánh 1-2:

$$I_1 = \frac{V_1 \angle \delta_1 - V_2 \angle \delta_2}{R + jX} \quad (4.1)$$

$$I_1 = \frac{P_2 - jQ_2}{V_2 \angle -\delta_2} \quad (4.2)$$

Trong đó, $P_2 + jQ_2$ là dòng công suất đi vào nút 2, được xác định bằng tổng công suất phụ tải của các nút sau nút 2 và có kết nối đến nút 2, công suất phụ tải tại nút 2 và tổn thất công suất trên các nhánh sau nút 2 và có kết nối đến nút 2.

Từ biểu thức (4.1) và (4.2), ta có:

$$\frac{V_1 \angle \delta_1 - V_2 \angle \delta_2}{R + jX} = \frac{P_2 - jQ_2}{V_2 \angle -\delta_2} \quad (4.3)$$

$$(V_1 \angle \delta_1 - V_2 \angle \delta_2) V_2 \angle -\delta_2 = (P_2 - jQ_2)(R + jX) \quad (4.4)$$

$$V_1 V_2 \cos(\delta_1 - \delta_2) + jV_1 V_2 \sin(\delta_1 - \delta_2) = V_2^2 + P_2 R + Q_2 X + j(P_2 X - Q_2 R) \quad (4.5)$$

Tách phần thực, phần ảo và bình phương hai vế rồi cộng hai phương trình ta được:

$$V_1^2 V_2^2 = (V_2^2 + P_2 R + Q_2 X)^2 + (P_2 X - Q_2 R)^2 \quad (4.6)$$

Rút gọn phương trình, ta được:

$$V_2^4 - V_2^2(V_1^2 - 2P_2 R - 2Q_2 X) + (P_2^2 + Q_2^2)(R^2 + X^2) = 0 \quad (4.7)$$

Đặt

$$b = V_1^2 - 2P_2 R - 2Q_2 X \quad (4.8)$$

$$c = (P_2^2 + Q_2^2)(R^2 + X^2) \quad (4.9)$$

$$V_2^4 - bV_2^2 + c = 0 \quad (4.10)$$

Rõ ràng phương trình trên có nghiệm (tồn tại phân bố công suất hợp lệ) khi:

$$b^2 - 4c \geq 0 \quad (4.11)$$

$$[V_1^2 - (2P_2 R + 2Q_2 X)]^2 - 4(P_2^2 + Q_2^2)(R^2 + X^2) \geq 0 \quad (4.12)$$

$$V_1^4 - 4(P_2 R + Q_2 X)V_1^2 + 4(P_2 R + Q_2 X)^2 - 4(P_2^2 + Q_2^2)(R^2 + X^2) \geq 0 \quad (4.13)$$

Rút gọn biểu thức, ta được:

$$V_1^4 - 4(P_2 R + Q_2 X)V_1^2 - 4(P_2 X - Q_2 R)^2 \geq 0 \quad (4.14)$$

Đặt

$$VSI_2 = V_1^4 - 4(P_2 R + Q_2 X)V_1^2 - 4(P_2 X - Q_2 R)^2 \quad (4.15)$$

Trong đó VSI_2 được gọi là chỉ số ổn định điện áp của nút thứ hai. Để vận hành LDPP ổn định ta có:

$$VSI_j \geq 0, \text{ với } j = 2, 3, \dots, N_{bus} \quad (4.16)$$

Rõ ràng nút có chỉ số *VSI* bé nhất trong LĐPP hình tia có khả năng sụp đổ điện áp cao nhất so với các nút còn lại trong hệ thống.

Như vậy, hàm mục tiêu đề xuất khi thực hiện tái cấu hình có xét đến tối ưu vị trí và công suất DG bao gồm cực tiểu tổn thất công suất và độ lệch *VSI* được mô tả như sau:

$$\text{minimize } F = \Delta P_{loss}^R + \Delta VSI \quad (4.17)$$

Trong đó, ΔP_{loss}^R được xác định bằng tỉ số giữa tổn thất công suất sau và trước khi thực hiện tái cấu hình:

$$\Delta P_{loss}^R = \frac{P_{loss}^{prec.}}{P_{loss}^0} \quad (4.18)$$

$$\Delta VSI = \max \left(\frac{1 - VSI_j}{1} \right) \forall j = 2, \dots, N_{bus} \quad (4.19)$$

Khi thực hiện tối ưu vị trí và công suất DG trên LĐPP điều kiện ràng buộc về giới hạn công suất của các DG cần được thỏa mãn:

$$0 \leq P_{DG_i} \leq P_{DG_{max,i}}; i = 1, 2, \dots, N_{DG} \quad (4.20)$$

Ngoài ra, các ràng buộc của bài toán tái cấu hình như ràng buộc về điện áp, dòng điện và cấu hình hình tia cần được thỏa mãn.

4.2.2. Tái cấu hình LĐPP có xét đến DG sử dụng thuật toán CSA

Để đánh giá ảnh hưởng của DG đến kết quả bài toán tái cấu hình LĐPP, thuật toán CSA được sử dụng để giải bài toán. Tuy nhiên so với bài toán tái cấu hình, bài toán tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG có không gian tìm kiếm lớn hơn, kích thước của vector giải pháp lớn hơn và được mã hóa như sau:

$$X_i = [Tie_1^i, \dots, Tie_{NO}^i, Lo.DG_1^i, \dots, Lo.DG_m^i, Size.DG_1^i, \dots, Size.DG_m^i] \quad (4.21)$$

Trong đó, $Tie_1, Tie_2, \dots, Tie_{NO}$ là các khóa mở trong các vòng cơ sở tương ứng FL_1 đến FL_{NO} . $Lo.DG_1, Lo.DG_2, \dots, Lo.DG_m$ là các nút được lắp đặt DG và $Size.DG_1, Size.DG_2, \dots, Size.DG_m$ là công suất phát (MW) của các DG tương ứng. NO và m lần lượt là số lượng khóa mở và số lượng DG được lắp đặt trên LĐPP.

Trong giai đoạn khởi tạo của thuật toán, vector giải pháp i^{th} được khởi tạo ngẫu nhiên.

nhiên như sau:

$$Tie_i = round[Tie_{lower,d1}^i + rand \times (Tie_{upper,d1}^i - Tie_{lower,d1}^i)] \quad (4.22)$$

$$Lo.DG_i = round[Lo_{lower,d2}^i + rand \times (Lo_{upper,d2}^i - Lo_{lower,d2}^i)] \quad (4.23)$$

$$Size.DG_i = [Size_{lower,d3}^i + rand \times (Size_{upper,d3}^i - Size_{lower,d3}^i)] \quad (4.24)$$

Trong đó $d_1 = 1, 2 \dots NO$, $d_2 = 1, 2 \dots m$ và $d_3 = 1, 2 \dots m$. $Tie_{lower,d1}$ và $Tie_{upper,d1}$ lần lượt là số thứ tự nhỏ nhất và lớn nhất của các khóa điện trong vòng cơ sở thứ d_1 của LĐPP. Các DG có thể được lắp đặt tại tất cả các nút trong hệ thống ngoại trừ nút nguồn. Vì vậy, giới hạn nhỏ nhất ($Lo_{lower,d2}$) và lớn nhất ($Lo_{upper,d2}$) của vị trí DG lần lượt được gán bằng 2 và nút lớn nhất trong hệ thống và giới hạn công suất DG được đặt từ 0 đến công suất lớn nhất của mỗi DG.

Các bước tạo ra giải pháp mới sử dụng phép Lévy flight và quá trình phát hiện trùng lặp được thực hiện tương tự như bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất sử dụng thuật toán CSA và thuật toán sẽ được dừng lại sau khi đạt một số lần lặp được xác định trước.

4.2.3. Kết quả tính toán

Để phân tích ảnh hưởng của vị trí và công suất DG đến bài toán tái cấu hình, phương pháp tái cấu hình LĐPP có xét đến DG sử dụng thuật toán CSA được áp dụng trên ba LĐPP 33, 69 và 119 nút như ở Chương 3 và có lắp đặt thêm một số DG. Mặc dù phương pháp đề xuất có thể được áp dụng cho bài toán có nhiều DG, song để so sánh với các nghiên cứu đã công bố, số lượng DG được giới hạn là ba và công suất DG được giới hạn trong khoảng 0 - 2 MW trên hai hệ thống 33 và 69 nút và 0 - 5 MW trên LĐPP 119 nút. Giả thiết tổn thất công suất máy biến áp, các khí cụ điện và đặc tính của các loại DG được bỏ qua trong quá trình tính toán. Trong quá trình mô phỏng, bảy TH sau được phân tích và so sánh kết quả:

TH 1: Cấu hình lưới ban đầu.

TH 2: Hệ thống được tái cấu hình.

TH 3: Vị trí và công suất DG được tối ưu trên cấu hình lưới ban đầu.

TH 4: Vị trí và công suất DG được tối ưu trên cấu hình đã được tối ưu ở TH 2.

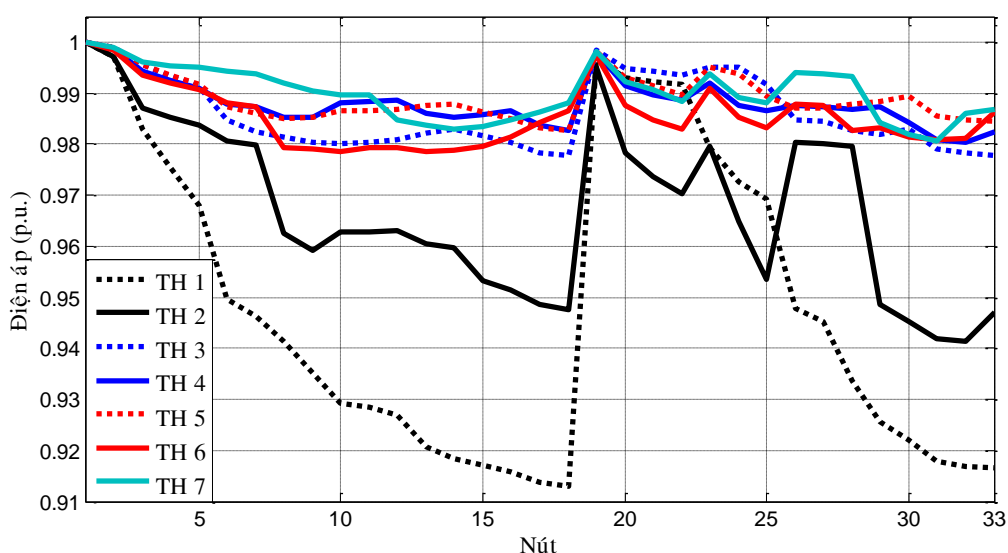
TH 5: Hệ thống được tái cấu hình sau khi lắp đặt DG ở TH 3.

TH 6: Hệ thống được tái cấu hình kết hợp với tối ưu công suất DG (Vị trí DG được xác định trước dựa trên chỉ số VSI trên cấu hình ban đầu)

TH 7: Hệ thống được tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG

4.2.3.1. LDPP 33 nút

Thông số của thuật toán CSA được sử dụng trên LDPP 33 nút là số lượng tổ chim $N_p = 30$, xác suất phát hiện trùng lặp $P_a = 0.2$, số vòng lặp lớn nhất $Iter_{max} = 2000$. Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 4.1. Từ Bảng 4.1 cho thấy, tổn thất công suất đã giảm từ 202.68 kW trong cấu hình ban đầu đến 139.98, 74.26, 58.79, 62.98, 63.69 và 53.21 lần lượt sử dụng các TH 2, 3, 4, 5, 6 và 7 tương ứng với 30.93%, 63.26%, 71.0%, 68.93%, 68.58% và 73.75%. Biên độ điện áp các nút đã được cải thiện đáng kể với điện áp thấp nhất trong hệ thống trong cấu hình ban đầu đã tăng từ 0.9108 p.u. đến 0.9413, 0.9778, 0.9802, 0.9826, 0.9786 và 0.9806 p.u. khi sử dụng TH 2 đến TH 7. Hơn nữa, chỉ số VSI đã được cải thiện từ 0.6978 đến 0.7878, 0.9118, 0.9264, 0.9354, 0.9202 và 0.9318 khi sử dụng TH 2 đến TH 7. Rõ ràng, mức giảm tổn thất công suất thu được trong TH 7 là lớn nhất. Điều đó cho thấy vị trí đặt DG cũng cần được tối ưu đồng thời với quá trình tái cấu hình và tối ưu dung lượng của DG.



Hình 4. 2. So sánh điện áp các nút trong các TH trên LDPP 33 nút.

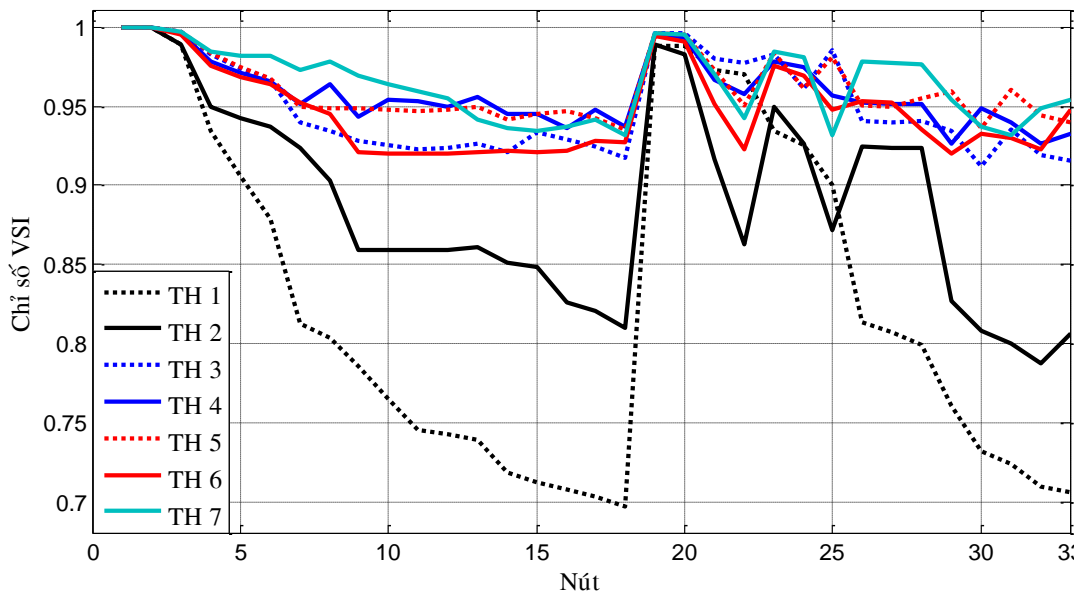
Bảng 4. 1. Kết quả tính toán trên LDPP 33 nút.

TH	Mục	Phương pháp đề xuất	FWA [40]	HSA [39]
TH 1	Khóa mở	33, 34, 35, 36, 37	-	-
	ΔP (kW)	202.68	-	-
	V_{\min} (p.u.)	0.9108	-	-
	VSI_{\min}	0.6978	-	-
TH 2	Khóa mở	07, 14, 9, 32, 28	7, 14, 9, 32, 28	7, 14, 9, 32, 37
	ΔP (kW)	139.98	139.98	138.06
	ΔP (%)	30.93	30.93	31.88
	V_{\min} (p.u.)	0.9413	0.9413	0.9342
	VSI_{\min}	0.7878	-	-
TH 3	Khóa mở	33, 34, 35, 36, 37	33, 34, 35, 36, 37	33, 34, 35, 36, 37
	P_{DG} (MW) (nút)	0.7798 (14) 1.1251 (24) 1.3496 (30)	0.5897 (14) 0.1895 (18) 1.0146 (32)	0.1070 (18) 0.5724 (17) 1.0462 (33)
	ΔP (kW)	74.26	88.68	96.76
	ΔP (%)	63.26	56.24	52.26
	V_{\min} (p.u.)	0.9778	0.9680	0.9670
	VSI_{\min}	0.9118	-	-
TH 4	Khóa mở	7, 14, 9, 32, 28	7, 14, 9, 32, 28	7, 14, 9, 32, 37
	P_{DG} (MW) (nút)	1.7536 (29) 0.5397 (12) 0.5045 (16)	0.5996 (32) 0.3141 (33) 0.1591 (18)	0.2686 (32) 0.1611 (31) 0.6612 (30)
	ΔP (kW)	58.79	83.91	97.13
	ΔP (%)	71.00	58.59	52.07
	V_{\min} (p.u.)	0.9802	0.9612	0.9479
	VSI_{\min}	0.9264	-	-
TH 5	Khóa mở	33, 9, 8, 36, 27	7, 34, 9, 32, 28	-
	P_{DG} (MW) (nút)	0.7798 (14) 1.1251 (24) 1.3496 (30)	0.5897 (14) 0.1895 (18) 1.0146 (32)	-
	ΔP (kW)	62.98	68.28	-
	ΔP (%)	68.93	66.31	-
	V_{\min} (p.u.)	0.9826	0.9712	-
	VSI_{\min}	0.9354	-	-
TH 6	Khóa mở	7, 10, 13, 32, 27	7, 14, 11, 32, 28	7, 14, 10, 32, 28
	P_{DG} (MW) (nút)	0.4263 (32) 1.2024 (29) 0.7127 (18)	0.5367 (32) 0.6158 (29) 0.5315 (18)	0.5258 (32) 0.5586 (31) 0.5840 (33)
	ΔP (kW)	63.69	67.11	73.05
	ΔP (%)	68.58	66.89	63.95
	V_{\min} (p.u.)	0.9786	0.9713	0.9700
	VSI_{\min}	0.9202	-	-
TH 7	Khóa mở	33, 34, 11, 31, 28	-	-

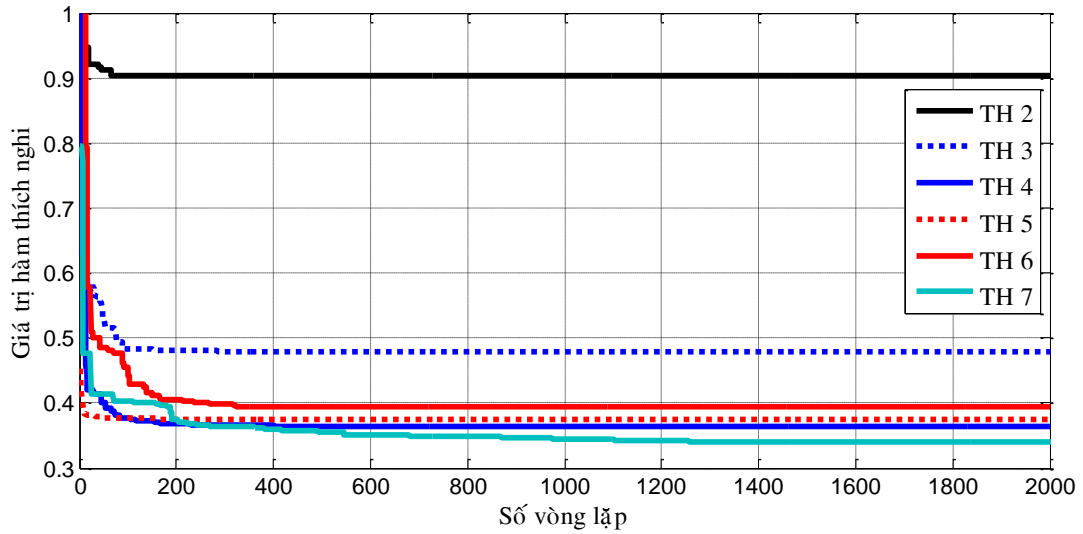
TH	Mục	Phương pháp đề xuất	FWA [40]	HSA [39]
	P_{DG} (MW) (nút)	0.8968 (18) 1.4381 (25) 0.9646 (7)	-	-
	ΔP (kW)	53.21	-	-
	ΔP (%)	73.75	-	-
	V_{\min} (p.u.)	0.9806	-	-
	VSI_{\min}	0.9318	-	-

Chất lượng điện áp (được thể hiện ở biên độ và chỉ số VSI tại các nút) trong các TH được so sánh và thể hiện trong Hình 4.2 và Hình 4.3. Hình vẽ cho thấy, biên độ điện áp và chỉ số VSI tại tất cả các nút đã được cải thiện đáng kể sau khi thực hiện tái cấu hình và tối ưu vị trí và công suất DG.

Ngoài ra, để so sánh hiệu quả của phương pháp đề xuất, kết quả thực hiện được so sánh với kết quả thu được từ phương pháp áp dụng giải thuật pháo hoa FWA [40] và giải thuật tìm kiếm hài hòa HSA [39]. Kết quả so sánh ở Bảng 4.1 cho thấy phương pháp tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG sử dụng CSA tốt hơn FWA và HSA ở giá trị tổn thất công suất và điện áp thấp nhất. Đặc tính hội tụ của các TH được cho ở Hình 4.4 cho thấy giá trị hàm thích nghi trong TH 7 nhỏ nhất so với các TH còn lại.



Hình 4. 3. So sánh chỉ số VSI các nút trong các TH trên LDPP 33 nút.

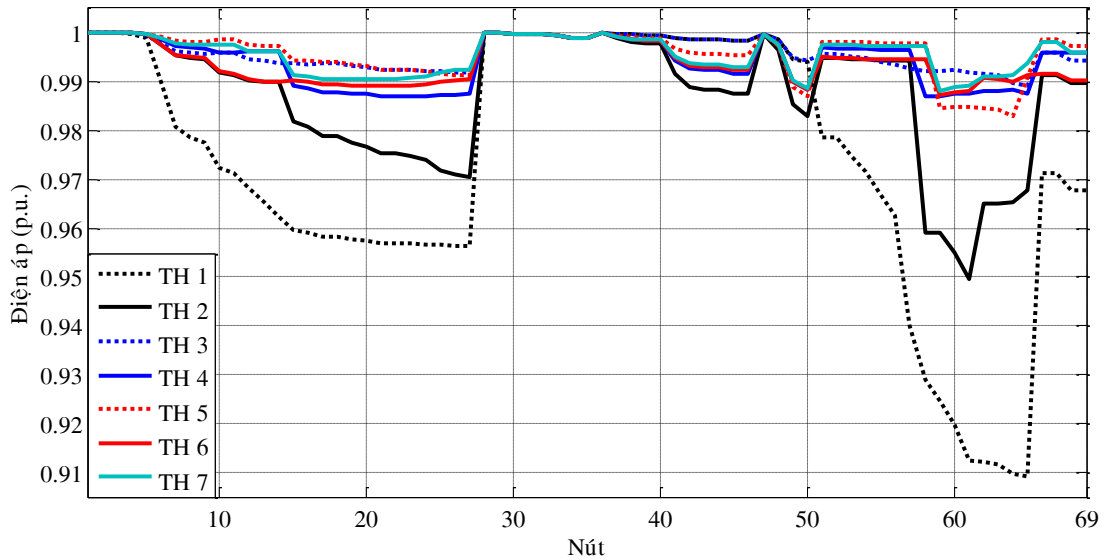


Hình 4. 4. Đặc tính hội tụ của CSA trong các TH trên LĐPP 33 nút.

4.2.3.2. LĐPP 69 nút

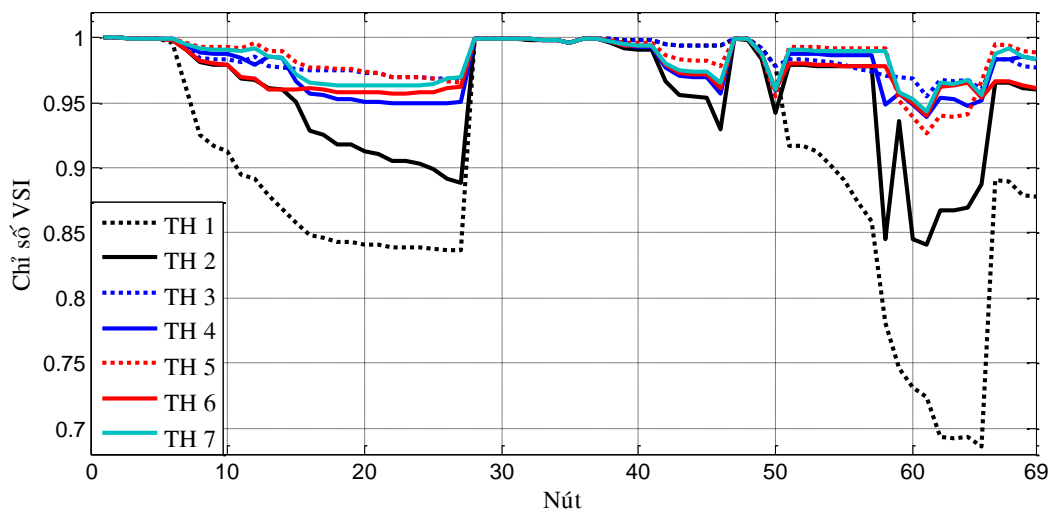
Tương tự như LĐPP 33 nút, phương pháp đề xuất được thực hiện trên LĐPP 69 nút. Thông số của thuật toán CSA được sử dụng trên LĐPP 69 nút tương tự như LĐPP 33 nút. Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 4.2. Từ Bảng 4.2 cho thấy, tổn thất công suất đã giảm từ 224.89 kW trong cấu hình ban đầu đến 98.59, 72.44, 37.23, 41.13, 40.49 và 37.02 lần lượt sử dụng các TH 2, 3, 4, 5, 6 và 7 tương ứng với 56.16%, 67.79%, 83.45%, 81.71%, 82.0% và 83.54%. Trong các TH thực hiện, tổn thất công suất thu được từ TH 7 (phương pháp đề xuất) là bé nhất và chất lượng điện áp cũng được cải thiện hơn so với các TH còn lại. Điều này cho thấy, vị trí và công suất DG cần được tối ưu đồng thời với quá trình tái cấu hình.

Biên độ điện áp các nút đã được cải thiện đáng kể với điện áp thấp nhất trong hệ thống trong cấu hình ban đầu đã tăng từ 0.9092 p.u. đến 0.9495, 0.9890, 0.9870, 0.9828, 0.9873 và 0.9869 p.u. khi sử dụng TH 2 đến TH 7. Chỉ số VSI đã được cải thiện từ 0.6859 đến 0.8414, 0.9546, 0.9390, 0.9260, 0.9403 và 0.9433 khi sử dụng TH 2 đến TH 7. Chất lượng điện áp trong các TH được so sánh và thể hiện trong Hình 4.5 và Hình 4.6. Hình vẽ cho thấy, Chất lượng điện áp tại tất cả các nút đã được cải thiện đáng kể sau khi thực hiện tái cấu hình và tối ưu vị trí và công suất DG. Đặc tính hội tụ của các TH được cho ở Hình 4.7 cho thấy giá trị hàm thích nghi trong TH 7 nhỏ nhất so với các TH còn lại.

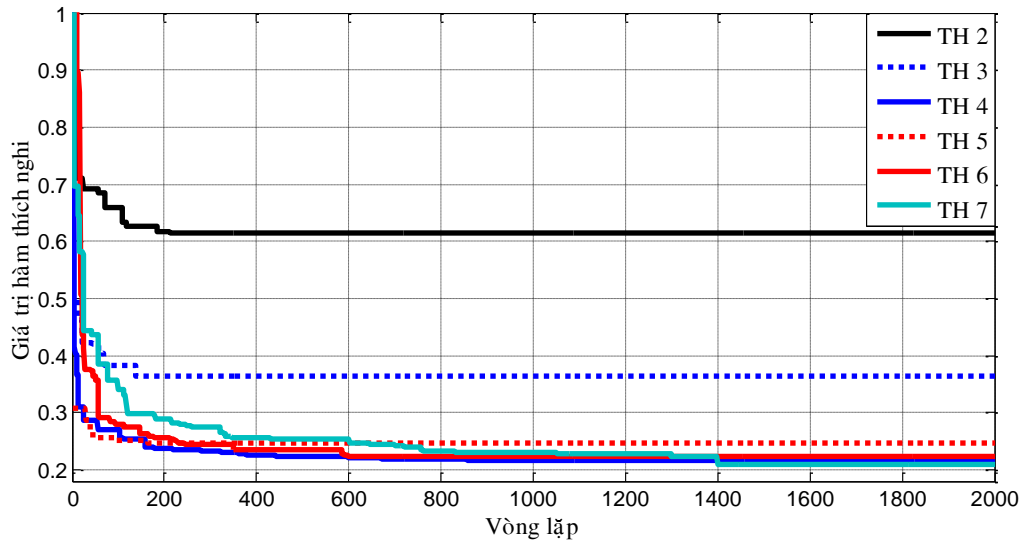


Hình 4. 5. So sánh điện áp các nút trong các TH trên LĐPP 69 nút.

Tương tự như LĐPP 33 nút, kết quả thực hiện được so sánh với kết quả thu được từ phương pháp áp dụng giải thuật pháo hoa FWA [40] và giải thuật tìm kiếm hài hòa HSA [39]. Kết quả so sánh ở Bảng 4.2 cho thấy chất lượng giải pháp thu được bằng phương pháp tái cấu hình sử dụng CSA tốt hơn HSA ở hầu hết mọi TH. So với FWA, kết quả thu được tương tự với FWA ở TH 2 và tốt hơn ở giá trị tổn thất công suất và *VSI* trong TH 3 và TH 4. Trong TH 5 và TH 6, mặc dù phương pháp CSA thu được mức giảm tổn thất công suất lần lượt là 81.71% và 82.0% vốn thấp hơn 0.64% và 0.55% so với FWA nhưng biên độ điện áp nút thấp nhất thu được từ CSA được cải thiện đáng kể so với FWA.



Hình 4. 6. So sánh chỉ số *VSI* các nút trong các TH trên LĐPP 69 nút.



Hình 4. 7. Đặc tính hội tụ của CSA trong các TH trên LDPP 69 nút.

Bảng 4. 2. Kết quả tính toán trên LDPP 69 nút.

TH	Mục	Phương pháp đề xuất	FWA [40]	HSA [39]
TH 1	Khóa mở	69, 70, 71, 72, 73	-	-
	ΔP (kW)	224.89	-	-
	V_{\min} (p.u.)	0.9092	-	-
	VSI_{\min}	0.6859	-	-
TH 2	Khóa mở	69, 70, 14, 57, 61	69, 70, 14, 56, 61	69, 18, 13, 56, 61
	ΔP (kW)	98.59	98.59	99.35
	ΔP (%)	56.16	56.16	55.85
	V_{\min} (p.u.)	0.9495	0.9495	0.9428
	VSI_{\min}	0.8414	-	-
TH 3	Khóa mở	69, 70, 71, 72, 73	69, 70, 71, 72, 73	
	P_{DG} (MW) (nút)	0.6022 (11) 0.3804 (18) 2 (61)	0.4085 (65) 1.1986 (61) 0.2258 (27)	0.1018 (65) 0.3690 (64) 1.3024 (63)
	ΔP (kW)	72.44	77.85	86.77
	ΔP (%)	67.79	65.39	61.43
	V_{\min} (p.u.)	0.9890	0.9740	0.9677
	VSI_{\min}	0.9546	-	-
TH 4	Khóa mở	69, 70, 14, 57, 61	69, 70, 14, 56, 61	69,18, 13,56, 61
	P_{DG} (MW) (nút)	1.7254 (61) 0.4666 (64) 0.3686 (12)	1.0014 (61) 0.2145 (62) 0.1425 (64)	1.0666 (61) 0.3525 (60) 0.4257 (58)

TH	Mục	Phương pháp đề xuất	FWA [40]	HSA [39]
	ΔP (kW)	37.23	43.88	51.3
	ΔP (%)	83.45	80.49	77.2
	V_{\min} (p.u.)	0.9870	0.9720	0.9619
	VSI_{\min}	0.9390	-	-
TH 5	Khóa mở	69, 70, 14, 58, 64	69, 70, 12, 58, 61	-
	P_{DG} (MW) (nút)	0.6022 (11) 0.3804 (18) 2 (61)	0.4085 (65) 1.1986 (61) 0.2258 (27)	-
	ΔP (kW)	41.13	39.69	-
	ΔP (%)	81.71	82.35	-
	V_{\min} (p.u.)	0.9828	0.9763	-
	VSI_{\min}	0.9260	-	-
TH 6	Khóa mở	69, 70, 12, 58, 61	69, 70, 13, 55, 63	69, 17, 13, 58, 61
	P_{DG} (MW) (nút)	1.7496 (61) 0.1566 (62) 0.4090 (65)	1.1272 (61) 0.2750 (62) 0.4159 (65)	1.0666 (61) 0.3525 (60) 0.4257 (62)
	ΔP (kW)	40.49	39.25	40.3
	ΔP (%)	82.0	82.55	82.08
	V_{\min} (p.u.)	0.9873	0.9796	0.9736
	VSI_{\min}	0.9403	-	-
TH 7	Khóa mở	69, 70, 14, 58, 61	-	-
	P_{DG} (MW) (nút)	0.5413 (11) 0.5536 (65) 1.7240 (61)	-	-
	ΔP (kW)	37.02	-	-
	ΔP (%)	83.54	-	-
	V_{\min} (p.u.)	0.9869	-	-
	VSI_{\min}	0.9433	-	-

4.2.3.3. LĐPP 119 nút

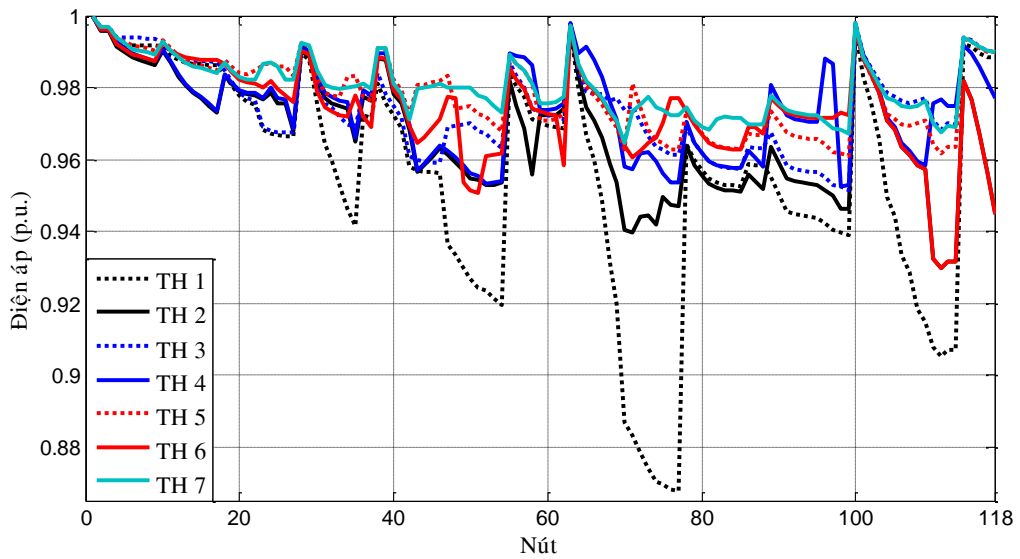
Để chứng minh khả năng áp dụng của phương pháp tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG trên các LĐPP nhỏ đến LĐPP lớn, LĐPP 119 nút được sử dụng để kiểm tra. Thông số của CSA được sử dụng trên LĐPP 119 nút là $N_p = 30$, $Pa = 0.2$. Do bởi số lượng biến điều khiển trong TH 6 và Th 7 lần lượt là 18 và 21 biến so với 15, 6, 6, và 15 biến khi thực hiện các TH 2, 3, 4 và 5. Vì vậy, để đảm bảo giải

pháp thu được là tối ưu, số lượng vòng lặp lớn nhất được chọn cho TH 6 và 7 là $Iter_{max} = 5000$ và $Iter_{max} = 2000$ cho các TH còn lại. Kết quả thực hiện trong các TH khác nhau được cho ở Bảng 4.3 cho thấy tổn thất công suất đã giảm được 32.86%, 49.11%, 50.43%, 51.80%, 46.44% và 53.96% khi lần lượt sử dụng các TH 2 đến TH 7. Tương tự, biên độ điện áp nút thấp nhất đã được cải thiện từ 0.8678 p.u. đến 0.9298, 0.9515, 0.9526, 0.9608, 0.9298 và 0.9644 p.u. và VSI cũng được cải thiện đáng kể từ 0.5676 đến 0.7535, 0.8199, 0.8208, 0.8523, 0.7535 và 0.87 khi sử dụng lần lượt các TH 2, 3, 4, 5, 6 và 7. Tương tự như kết quả thực hiện trên LDPP 33 và 69 nút, mức giảm tổn thất công suất và chất lượng điện áp thu được từ TH 7 lớn hơn so với TH 6. Điều này chứng tỏ rằng, tái cấu hình kết hợp với tối ưu công suất DG (TH 6) không thu được tổn thất công suất bé nhất và chất lượng điện áp tốt nhất.

Bảng 4. 3. Kết quả tính toán trên LDPP 119 nút.

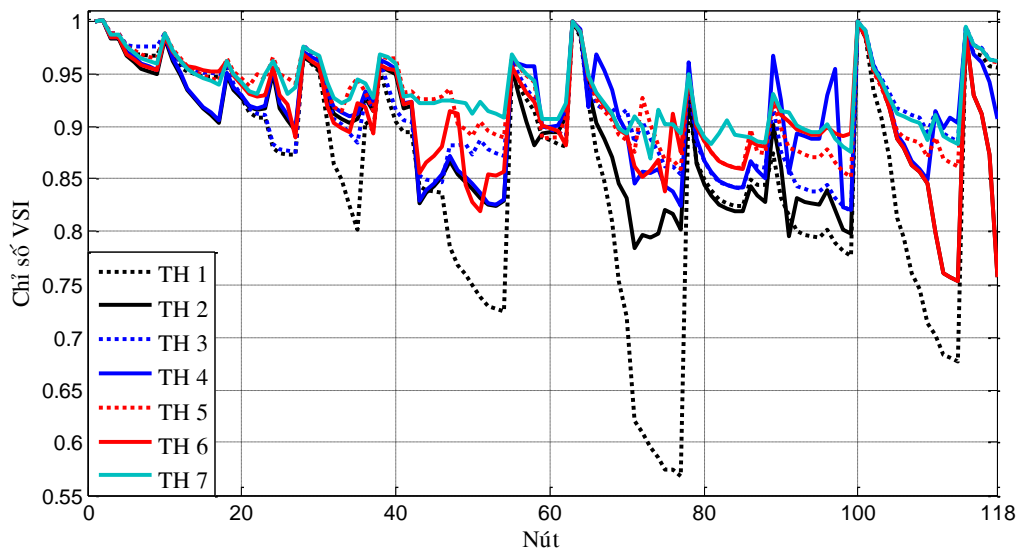
TH	Mục	Phương pháp đề xuất
TH 1	Khóa mở	118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132
	ΔP (kW)	1273.45
	V_{min} (p.u.)	0.8678
	VSI_{min}	0.5676
TH 2	Khóa mở	42, 25, 23, 121, 50, 58, 39, 95, 71, 74, 97, 129, 130, 109, 34
	ΔP (kW)	855.04
	ΔP (%)	32.86
	V_{min} (p.u.)	0.9298
	VSI_{min}	0.7535
TH 3	Khóa mở	118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132
	P_{DG} (MW) (nút)	3.2664 (71) 3.1203 (109) 2.86267 (50)
	ΔP (kW)	648.10
	ΔP (%)	49.11
	V_{min} (p.u.)	0.9515
	VSI_{min}	0.8199
TH 4	Khóa mở	42, 25, 23, 121, 50, 58, 39, 95, 71, 74, 97, 129, 130, 109, 34

TH	Mục	Phương pháp đề xuất
	P_{DG} (MW) (nút)	1.7145 (111) 1.7565 (96) 5 (65)
	ΔP (kW)	631.19
	ΔP (%)	50.43
	V_{min} (p.u.)	0.9526
	VSI_{min}	0.8208
TH 5	Khóa mở	42, 25, 21, 121, 122, 58, 39, 125, 70, 127, 128, 129, 85, 131, 33
	P_{DG} (MW) (nút)	3.2664 (71) 3.1203 (109) 2.86267 (50)
	ΔP (kW)	613.79
	ΔP (%)	51.80
	V_{min} (p.u.)	0.9608
	VSI_{min}	0.8523
TH 6	Khóa mở	42, 25, 23, 121, 50, 61, 39, 125, 126, 70, 75, 129, 130, 109, 34
	P_{DG} (MW) (nút)	2.9585 (75) 0.1924 (76) 1.3397 (77)
	ΔP (kW)	682.09
	ΔP (%)	46.44
	V_{min} (p.u.)	0.9298
	VSI_{min}	0.7535
TH 7	Khóa mở	42, 25, 22, 121, 122, 58, 39, 125, 70, 127, 128, 81, 130, 131, 33
	P_{DG} (MW) (nút)	2.5331 (50) 3.6819 (109) 3.7043 (73)
	ΔP (kW)	586.24
	ΔP (%)	53.96
	V_{min} (p.u.)	0.9644
	VSI_{min}	0.8700

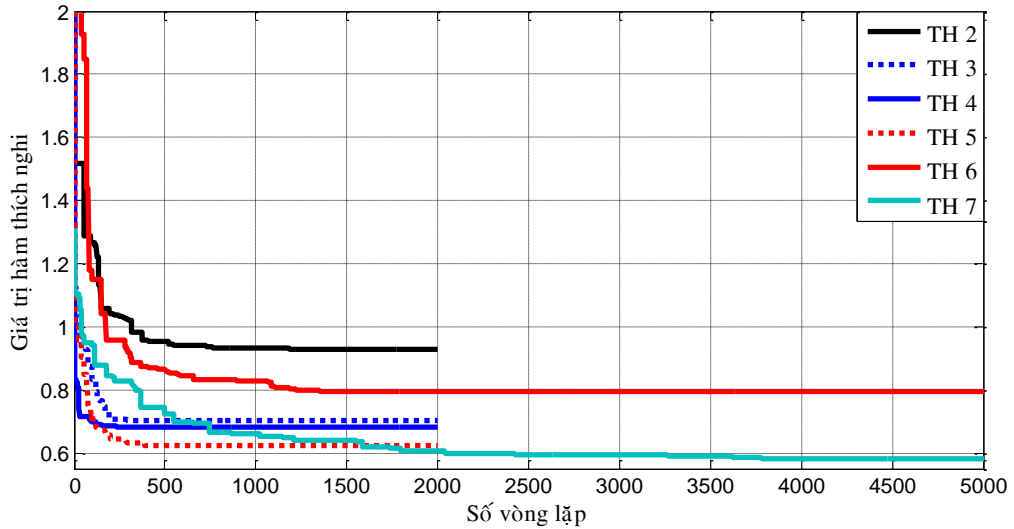


Hình 4. 8. So sánh điện áp các nút trong các TH trên LĐPP 119 nút.

Chất lượng điện áp trong các TH được so sánh trong Hình 4.8 và Hình 4.9 cho thấy biên độ điện áp và chỉ số *VSI* tại các nút đã được cải thiện đáng kể sau khi sử dụng phương pháp đề xuất. Đặc tính hội tụ trong các TH thu được ở Hình 4.10 cho thấy giá trị thích nghi trong TH 7 bé hơn so với các TH còn lại. Điều này đã chứng tỏ được hiệu quả của phương pháp tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG đồng thời.



Hình 4. 9. So sánh chỉ số *VSI* các nút trong các TH trên LĐPP 119 nút.



Hình 4. 10. Đặc tính hội tụ của CSA trong các TH trên LĐPP 119 nút.

4.3. Tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất năng lượng có xét đến máy phát điện phân tán

4.3.1. Mô hình toán

Hàm mục tiêu của bài toán cực tiểu chi phí vận hành trên LĐPP thông thường gồm có hai thành phần bao gồm chi phí tổn thất công suất và chi phí thay đổi các khóa điện [47]:

$$C = C_a \sum_{i=1}^n \Delta P_i \times T_i + n \times C_b \quad (4.25)$$

Trong đó, n là số lần thay đổi khóa điện, ΔP_i là tổn thất công suất do cấu hình i^{th} gây ra, T_i là khoảng thời gian vận hành bằng cấu hình i^{th} , C_a và C_b lần lượt là đơn giá tổn thất năng lượng và đơn giá chuyển khóa.

Tuy nhiên, trên một số LĐPP thực tế, chi phí chuyển khóa điện quá cao so với chi phí tiết kiệm được từ việc giảm tổn thất. Hơn nữa, các khóa điện không thể điều khiển từ xa cũng như hệ thống giám sát điều khiển và thu thập dữ liệu chưa được phát triển. Kết quả là, quá trình thay đổi trạng thái khóa điện sẽ dẫn tới tình trạng phải ngắt điện một số phụ tải.

Vì vậy, các nhà cung cấp điện sẽ không thay đổi trạng thái khóa điện trong một khoảng thời gian dài và kết quả là cực tiểu chi phí tổn thất năng lượng trong khi phụ tải thay đổi là một mục tiêu chính của quá trình tái cấu hình LĐPP. Bài toán cực tiểu chi phí vận hành trở thành bài toán xác định cấu hình LĐPP không đổi trong thời gian

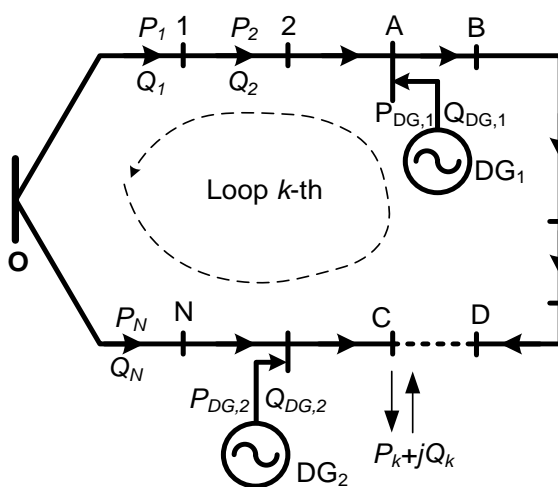
vận hành cho trước để cực tiểu tổn thất năng lượng. Mô hình bài toán tái cấu hình giảm tổn thất năng lượng có thể được mô tả như sau [47]:

$$\Delta A = \sum_{m=1}^M t_m \times \sum_{i=1}^{N_{br}} R_i \times \left(\frac{P_{i,m}^2 + Q_{i,m}^2}{V_i^2} \right) \quad (4.26)$$

Trong đó ΔA là tổn thất năng lượng do cấu hình LĐPP đang xét gây ra. M là số khoảng thời gian được chia nhỏ trong khoảng thời gian khảo sát T . t_m là khoảng thời gian được chia nhỏ m^{th} . N_{br} là tổng số nhánh. R_i là điện trở của nhánh i^{th} . $P_{i,m}$ và $Q_{i,m}$ lần lượt là dòng công suất tác dụng và phản kháng trên nhánh i^{th} trong khoảng thời gian t_m . V_i là điện áp cuối nhánh i^{th} .

Tuy nhiên nếu nhu cầu phụ tải dao động liên tục trong thời gian khảo sát, chúng ta phải chia thành nhiều khoảng thời gian nhỏ hơn. Khi đó, việc tính toán hàm mục tiêu cho mỗi cấu hình lưới xem xét sẽ mất rất nhiều thời gian do phải giải bài toán phân bố công suất trong nhiều lần cho một cấu hình và quá trình thực hiện tái cấu hình sẽ phải xem xét rất nhiều cấu hình lưới khác nhau. Hơn nữa, do việc trang bị các thiết bị đo đếm trên nhiều LĐPP chưa đầy đủ và đồng bộ nên không phải LĐPP nào cũng có thể thu thập được số liệu về nhu cầu phụ tải tại từng thời điểm. Vì vậy, phương pháp đề xuất sau sẽ giải quyết những vấn đề còn tồn tại trên.

Quá trình tái cấu hình LĐPP được mô tả trên LĐPP đơn giản như Hình 4.11, trong đó chiều dương của vòng quy ước là chiều ngược kim đồng hồ.



Hình 4. 11. Mô tả quá trình tái cấu hình LĐPP.

A_{ik} là hệ số tương quan giữa chiều của vòng và chiều phân bố công suất trên các nhánh.

$$\begin{cases} A_{ik} = 1, & \text{cùng chiều} \\ A_{ik} = -1, & \text{ngược chiều} \\ A_{ik} = 0, & \text{nhánh } i^{\text{th}} \notin \text{vòng } k \end{cases} \quad (4.27)$$

Quá trình tái cấu hình được thực hiện bằng việc thay đổi trạng thái đóng/mở của các khóa điện thường đóng và thường mở trên LDPP. Giả sử rằng khóa CD sẽ được đóng và khóa AB sẽ được mở sau khi tái cấu hình. Khi đó dòng công suất phức trên nhánh AB sẽ bằng không. Vì vậy, ảnh hưởng của việc đóng khóa CD và mở khóa AB có thể được mô tả bằng việc rút ra một lượng công suất phức $P_k + jQ_k$ bằng với lượng công suất phức qua nhánh AB tại nhánh CD [51], [82], [3].

Khi ta sử dụng giả thiết gần đúng rằng $|V_i| \approx V_{\text{ref}} \approx 1$ p. u., tổn thất công suất (ΔP) trên cấu hình ban đầu có thể được tính toán gần đúng như sau:

$$\Delta P_0 = \sum_{i=1}^{Nbr} R_i \left((P_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_j)^2 + (Q_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_j)^2 \right) \quad (4.28)$$

Trong đó, Nbr và Ndg lần lượt là số nhánh và số lượng DG trong hệ thống. $P_i + jQ_i$ là công suất phức trên nhánh i^{th} . $P_j + jQ_j$ là công suất phát của DG j^{th} và hệ số D_{ij} được tính toán như sau:

$$\begin{cases} D_{ij} = 1; & \text{Nếu nhánh } i^{\text{th}} \text{ nằm giữa nút tham chiếu và nút đặt DG } j^{\text{th}} \\ D_{ij} = 0; & \text{ngược lại} \end{cases} \quad (4.29)$$

Tương tự, tổn thất công suất trên hệ thống sau khi tái cấu hình bằng đổi khóa được xác định như sau:

$$\Delta P_{\text{ref}} = \sum_{i=1}^{Nbr} R_i (P_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_j + A_{i,k} P_k)^2 + \sum_{i=1}^{Nbr} R_i (Q_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_j + A_{i,k} Q_k)^2 + P_k^2 R_{CD} + Q_k^2 R_{CD} \quad (4.30)$$

Khi lượng công suất chuyển tải là tối ưu, tổn thất công suất trong hệ thống sẽ là nhỏ nhất. Để tìm công suất chuyển tải tối ưu $P_k + jQ_k$, đạo hàm riêng của tổn thất công suất theo P_k và Q_k được đặt bằng không:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta P_{recf}}{\partial P_k} = 2 \sum_{i=1}^{Nbr} R_i A_{i,k} (P_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_j + A_{i,k} P_k) + 2 P_k R_{CD} = 0 \\ \frac{\partial \Delta P_{recf}}{\partial Q_k} = 2 \sum_{i=1}^{Nbr} R_i A_{i,k} (Q_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_j + A_{i,k} Q_k) + 2 Q_k R_{CD} = 0 \end{cases} \quad (4.31)$$

Chiều dương của vòng được chọn như Hình 4.11 và từ biểu thức (4.27), giá trị của $A_{i,k}$ được xác định như sau:

$$\begin{cases} A_{i,k} = 1, & i \in OC \\ A_{i,k} = -1, & i \in OD \end{cases} \quad (4.32)$$

Đặt $R_{Loop,k} = \sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i + \sum_{i \in OD}^{Nbr} R_i + R_{CD}$ và rút gọn biểu thức (4.31), thu được

kết quả như biểu thức (4.33).

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta P_{recf}}{\partial P_k} = \sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i (P_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_j) - \sum_{i \in OD}^{Nbr} R_i (P_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_j) + P_k R_{Loop,k} = 0 \\ \frac{\partial \Delta P_{recf}}{\partial Q_k} = \sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i (Q_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_j) - \sum_{i \in OD}^{Nbr} R_i (Q_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_j) + Q_k R_{Loop,k} = 0 \end{cases} \quad (4.33)$$

Từ (4.33), xét điều kiện cực trị của hàm hai biến P_k và Q_k , thu được biểu thức (4.34):

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial \Delta^2 P_{recf}}{\partial P_k \partial Q_k} \right)^2 - \frac{\partial \Delta^2 P_{recf}}{\partial P_k^2} \times \frac{\partial \Delta^2 P_{recf}}{\partial Q_k^2} = -R_{Loop,k}^2 < 0 \\ \frac{\partial \Delta^2 P_{recf}}{\partial P_k^2} = R_{Loop,k} > 0 \end{cases} \quad (4.34)$$

Như vậy, quá trình thay đổi cấu trúc lưới điện thông qua phương pháp thay đổi khóa điện, tồn tại lượng công suất chuyển tải tối ưu để tổn thất công suất đạt cực tiểu.

Giải phương trình (4.33), thu được lượng công suất chuyển tải tối ưu $P_k + jQ_k$ như sau:

$$\begin{cases} P_k = \frac{\sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i (P_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_j) - \sum_{i \in OD}^{Nbr} R_i (P_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_j)}{R_{Loop,k}} \\ Q_k = \frac{\sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i (Q_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_j) - \sum_{i \in OD}^{Nbr} R_i (Q_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_j)}{R_{Loop,k}} \end{cases} \quad (4.35)$$

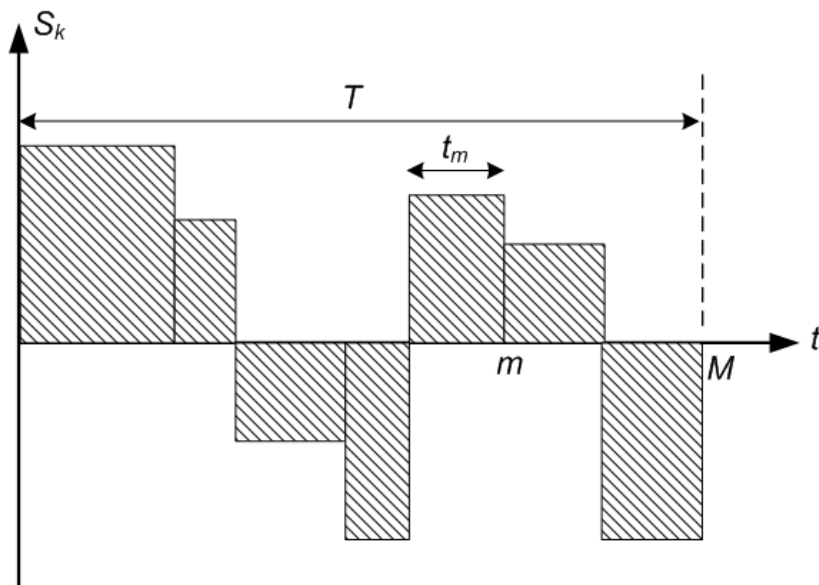
Từ (4.35), có thể thấy rằng:

(1) Nếu P_k và $Q_k > 0$, dòng công suất chuyển tải tối ưu $P_k + jQ_k$ thực tế truyền

từ đoạn OC đến đoạn OD. Mở nhánh trên đoạn OC có giá trị dòng công suất gần nhất với $P_k + jQ_k$ sẽ thu được tổn thất công suất bé nhất.

(2) Nếu P_k và $Q_k < 0$, dòng công suất chuyển tải tối ưu $P_k + jQ_k$ thực tế truyền từ đoạn OD đến đoạn OC. Mở nhánh trên đoạn OD có giá trị dòng công suất gần nhất với $P_k + jQ_k$ sẽ thu được tổn thất công suất bé nhất.

Tuy nhiên, do bởi nhu cầu phụ tải thay đổi nên giá trị $P_k + jQ_k$ cũng sẽ thay đổi trong suốt khoảng thời gian khảo sát T . Nhưng đối với các LĐPP mà việc thay đổi trạng thái các khóa điện gặp nhiều khó khăn do chi phí đóng cắt lớn, phải ngừng cung cấp điện hay hệ thống điều khiển giám sát và thu thập dữ liệu chưa phát triển thì việc thay đổi cấu hình lưới điện liên tục trong thời gian khảo sát là vấn đề không khả thi. Vì vậy, vấn đề đặt ra là tìm một cấu hình không thay đổi trạng thái trong suốt khoảng thời gian khảo sát T . Giả sử khoảng thời gian khảo sát T có thể được chia ra M khoảng thời gian nhỏ hơn và trong mỗi khoảng thời gian này công suất phụ tải và DG là không đổi. Khi đó, công suất $P_k + jQ_k$ tại khoảng m^{th} có thể được mô tả bởi đồ thị $S_k(t)$ như Hình 4.12. Diện tích của đồ thị được gọi là năng lượng chuyển tải tối ưu yêu cầu để cực tiểu tổn thất năng lượng. Nếu giá trị $\sum_{m=1}^M (P_{k,m} + jQ_{k,m})t_m$ là cực tiểu, tổn thất năng lượng trên hệ thống sẽ đạt cực tiểu.



Hình 4. 12. Công suất chuyển tải tối ưu trong thời gian khảo sát T .

Công suất chuyển tải tối ưu trung bình trong thời gian T có thể được định nghĩa

như sau:

$$P'_k + jQ'_k = \frac{\sum_{m=1}^M (P_{k,m} + jQ_{k,m}) t_m}{T} \quad (4.36)$$

Khi đó tổn thất năng lượng (ΔA) của hệ thống sau khi tái cấu hình bằng việc thay đổi khóa điện được xác định như sau:

$$\begin{aligned} \Delta A_{recf} = & \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i=1}^{Nbr} R_i (P_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_{j,m} + A_{i,k} P'_k)^2 \right) t_m + \\ & \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i=1}^{Nbr} R_i (Q_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_{j,m} + A_{i,k} Q'_k)^2 \right) t_m + \sum_{m=1}^M (P'_k{}^2 R_{CD}) t_m + \\ & \sum_{m=1}^M (Q'_k{}^2 R_{CD}) t_m \end{aligned} \quad (4.37)$$

Tương tự như (4.31), đạo hàm riêng của ΔA theo P'_k và Q'_k được đặt bằng không:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta A_{recf}}{\partial P'_k} = 2 \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i=1}^{Nbr} R_i A_{i,k} (P_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_{j,m} + A_{i,k} P'_k) \right) t_m \\ \quad + 2 \sum_{m=1}^M (P'_k R_{CD}) t_m = 0 \\ \frac{\partial \Delta A_{recf}}{\partial Q'_k} = 2 \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i=1}^{Nbr} R_i A_{i,k} (Q_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_{j,m} + A_{i,k} Q'_k) \right) t_m \\ \quad + 2 \sum_{m=1}^M (Q'_k R_{CD}) t_m = 0 \end{cases} \quad (4.38)$$

Thay biểu thức (4.32) vào (4.38), kết quả được biểu thức (4.39):

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta A_{recf}}{\partial P'_k} = \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i (P_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_{j,m} + P'_k) \right) t_m \\ \quad + \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i \in OD}^{Nbr} -R_i (P_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_{j,m} - P'_k) \right) t_m \\ \quad + \sum_{m=1}^M (P'_k R_{CD}) t_m = 0 \\ \frac{\partial \Delta A_{recf}}{\partial Q'_k} = \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i (Q_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_{j,m} + Q'_k) \right) t_m \\ \quad + \sum_{m=1}^M \left(\sum_{i \in OD}^{Nbr} -R_i (Q_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_{j,m} - Q'_k) \right) t_m \\ \quad + \sum_{m=1}^M (Q'_k R_{CD}) t_m = 0 \end{cases} \quad (4.39)$$

Rút gọn biểu thức (4.39), thu được kết quả như biểu thức (4.40):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i \sum_{m=1}^M (P_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_{j,m}) t_m \\ - \sum_{i \in OD}^{Nbr} R_i \sum_{m=1}^M (P_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} P_{j,m}) t_m \\ + R_{Loop,k} P'_k \sum_{m=1}^M t_m = 0 \\ \sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i \sum_{m=1}^M (Q_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_{j,m}) t_m \\ - \sum_{i \in OD}^{Nbr} R_i \sum_{m=1}^M (Q_{i,m} - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{ij} Q_{j,m}) t_m \\ + R_{Loop,k} Q'_k \sum_{m=1}^M t_m = 0 \end{array} \right. \quad (4.40)$$

Đặt:

$$\bar{P}_i = \frac{\sum_{m=1}^M P_{i,m} t_m}{\sum_{m=1}^M t_m}; \quad \bar{Q}_i = \frac{\sum_{m=1}^M Q_{i,m} t_m}{\sum_{m=1}^M t_m} \quad (4.41)$$

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{m=1}^M P_{j,m} t_m}{\sum_{m=1}^M t_m}; \quad \bar{Q}_j = \frac{\sum_{m=1}^M Q_{j,m} t_m}{\sum_{m=1}^M t_m} \quad (4.42)$$

Và chia biểu thức (4.40) cho $\sum_{m=1}^M t_m$, thu được kết quả như biểu thức (4.43):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \Delta A_{recf}}{\partial P'_k} = \sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i (\bar{P}_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{i,j} \bar{P}_j) - \sum_{i \in OD}^{Nbr} R_i (\bar{P}_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{i,j} \bar{P}_j) + R_{Loop,k} P'_k = 0 \\ \frac{\partial \Delta A_{recf}}{\partial Q'_k} = \sum_{i \in OC}^{Nbr} R_i (\bar{Q}_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{i,j} \bar{Q}_j) - \sum_{i \in OD}^{Nbr} R_i (\bar{Q}_i - \sum_{j=1}^{Ndg} D_{i,j} \bar{Q}_j) + R_{Loop,k} Q'_k = 0 \end{array} \right. \quad (4.43)$$

Như vậy, sự tương tự giữa biểu thức (4.43) và (4.33) cho thấy bài toán xác định $P'_k + jQ'_k$ để cực tiểu ΔA được chuyển thành bài toán xác định $P'_k + jQ'_k$ để cực tiểu ΔP nếu công suất phức trên các nhánh bằng với giá trị như biểu thức (4.41) và công suất phát của DG j^{th} bằng với giá trị của biểu thức (4.42). Lưu ý, giá trị của biểu thức (4.42) là công suất phát trung bình của các DG trong thời đoạn khảo sát.

Ngoài ra, nếu bỏ qua tổn thất công suất trên các nhánh thì công suất phức trên mỗi nhánh tại mỗi khoảng thời gian t_m có thể được tính toán gần đúng bằng tổng công suất phụ tải tại các nút có kết nối đến nhánh đó [82], [3]:

$$P_{i,m} = \sum_{l=1}^{Nbus} k_l P_{l,m}; \quad Q_{i,m} = \sum_{l=1}^{Nbus} k_l Q_{l,m} \quad (4.44)$$

Trong đó, $P_{i,m} + jQ_{i,m}$ và $P_{l,m} + jQ_{l,m}$ lần lượt là công suất phức trên nhánh i^{th} và công suất phức tại nút l^{th} trong khoảng thời gian t_m . $k_l = 1$ nếu nút l^{th} có nối đến nhánh i^{th} , ngược lại $k_l = 0$ nếu nút l^{th} không nối đến nhánh i^{th} .

Thay biểu thức (4.44) vào (4.41), thu được kết quả như biểu thức (4.45):

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{P}_i = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^{Nbus} k_l P_{l,m} t_m}{\sum_{m=1}^M t_m} = \frac{\sum_{l=1}^{Nbus} k_l \sum_{m=1}^M P_{l,m} t_m}{\sum_{m=1}^M t_m} \\ \quad = \sum_{l=1}^{Nbus} k_l \frac{\sum_{m=1}^M P_{l,m} t_m}{T} = \sum_{l=1}^{Nbus} k_l \bar{P}_l \\ \bar{Q}_i = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^{Nbus} k_l Q_{l,m} t_m}{\sum_{m=1}^M t_m} = \frac{\sum_{l=1}^{Nbus} k_l \sum_{m=1}^M Q_{l,m} t_m}{\sum_{m=1}^M t_m} \\ \quad = \sum_{l=1}^{Nbus} k_l \frac{\sum_{m=1}^M Q_{l,m} t_m}{T} = \sum_{l=1}^{Nbus} k_l \bar{Q}_l \end{array} \right. \quad (4.45)$$

Trong đó, $\bar{P}_l + j\bar{Q}_l$ là công suất phức của nút tải l^{th} trong khoảng thời gian T được tính toán như sau:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{P}_l = \frac{\sum_{m=1}^M P_{l,m} t_m}{T} \\ \bar{Q}_l = \frac{\sum_{m=1}^M Q_{l,m} t_m}{T} \end{array} \right. \quad (4.46)$$

Vì vậy, bài toán tái cấu hình giảm tổn thất năng lượng có xét đến DG có thể được giải bằng bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất nếu phụ tải tại các nút và công suất phát của DG là công suất trung bình trong khoảng thời gian khảo sát. Phương pháp này không yêu cầu các đồ thị phụ tải tại các nút tải trong thời gian khảo sát cũng như đồ thị công suất phát của các máy phát phân tán. Bài toán xác định cấu hình vận hành LĐPP trong thời gian khảo sát được mô tả bằng biểu thức (4.26) được thay thế bằng mô hình toán như sau:

$$F_{new} = \sum_{i=1}^{Nbr} R_i \times \left(\frac{\bar{P}_i^2 + \bar{Q}_i^2}{\bar{V}_i^2} \right) \quad (4.47)$$

Trong đó, \bar{P}_i và \bar{Q}_i lần lượt là công suất tác dụng và phản kháng trung bình trên các nhánh được tính toán bằng cách giải bài toán phân bố công suất với công suất tại các nút tải là công suất trung bình trong khoảng thời gian khảo sát. R_i là tổng trở của nhánh i^{th} . \bar{V}_i điện áp trung bình cuối nhánh i^{th} .

Ngoài ra, trong quá trình thực hiện tái cấu hình phải thỏa mãn các hàm ràng buộc về cấu hình lưới hình tia, ràng buộc về điện áp và dòng điện. Trong trường hợp

phụ tải thay đổi, giới hạn dòng điện nhánh và điện áp các nút được kiểm tra dựa trên công suất trung bình phụ tải và DG, đối với hiện tượng quá áp trong trường hợp phụ tải hoạt động dưới định mức có thể dễ dàng điều khiển các thông số DG để thỏa mãn ràng buộc này.

$$V_{min} \leq \bar{V}_{rate,j} \leq V_{max}, j = 1, 2, \dots, Nbus \quad (4.48)$$

$$\bar{I}_{rate,i} \leq I_{max,i}, i = 1, 2, \dots, Nbr \quad (4.49)$$

Trong đó, V_{min} và V_{max} lần lượt là giới hạn điện áp nhỏ nhất và lớn nhất trong hệ thống, $\bar{V}_{rate,j}$ và $\bar{I}_{rate,i}$ điện áp nút j^{th} và dòng điện trên nhánh i^{th} khi công suất tải trung bình.

Vì vậy, hàm thích nghi của mỗi cấu hình bao gồm tổn thất công suất và giá trị phạt (β_1 và β_2) liên quan đến điện áp nút và dòng điện nhánh được mô tả như sau:

$$\begin{aligned} \text{Fit} = & \sum_{i=1}^{Nbr} R_i \times \left(\frac{\bar{P}_i^2 + \bar{Q}_i^2}{\bar{V}_i^2} \right) + \beta_1 \sum_{j=1}^{Nbus} \left[\max(\bar{V}_{rate,j} - V_{max}, 0) + \max(V_{min} - \right. \\ & \left. \bar{V}_{rate,j}, 0) \right] + \beta_2 \sum_{i=1}^{Nbr} \left[\max\left(\frac{|\bar{I}_{rate,i}|}{|I_i^{max}|} - 1, 0 \right) \right] \end{aligned} \quad (4.50)$$

4.3.2. Kết quả kiểm tra

Để chứng minh được hiệu quả của phương pháp đề xuất, công cụ Matpower [124] được sử dụng để phân tích phân bố công suất và thuật toán RRA được mô tả ở chương 3 được sử dụng để xác định cấu hình tối ưu. Phương pháp được xây dựng trên phần mềm MATLAB R2014a trên máy tính cá nhân có cấu hình CPU core i3, 2 GHz. Hai LĐPP 18 nút và 33 nút được dùng để kiểm tra. Trong đó, mỗi nút tải trong hệ thống có công suất thay đổi trong khoảng thời gian khảo sát. Trong quá trình tính toán tổn thất điện năng máy biến áp và các loại khí cụ điện và đặc tính của các loại DG giả thiết được bỏ qua. Mục đích của phương pháp là tìm ra cấu hình với tổn thất năng lượng là nhỏ nhất, nó khá giống với mục tiêu đề xuất trong [51]. Tuy nhiên, phương pháp đề xuất đã không so sánh được với [51] bởi vì các đồ thị phụ tải cung cấp trong [51] không đầy đủ. Vì vậy, để kiểm tra hiệu quả của phương pháp, năm trường hợp được xem xét để so sánh giữa tái cấu hình sử dụng công suất thay đổi trong khoảng thời gian khảo sát (dựa trên giá trị công suất tại từng thời điểm) và tái

cấu hình sử dụng công suất phụ tải trung bình và công suất DG trung bình như sau:

TH 1: Cấu hình ban đầu khi phụ tải định mức.

TH 2: Tái cấu hình giảm tổn thất năng lượng sử dụng công suất phụ tải từng giờ trong trong một ngày khảo sát không xem xét đến DG (Sử dụng đồ thị phụ tải).

TH 3: Tái cấu hình giảm tổn thất năng lượng sử dụng công suất phụ tải trung bình trong trong một ngày khảo sát không xem xét đến DG.

TH 4: Tái cấu hình giảm tổn thất năng lượng sử dụng công suất phụ tải và công suất DG từng giờ trong trong một ngày khảo sát (Sử dụng đồ thị phụ tải).

TH 5: Tái cấu hình giảm tổn thất năng lượng sử dụng công suất phụ tải trung bình và công suất DG trung bình trong trong một ngày khảo sát.

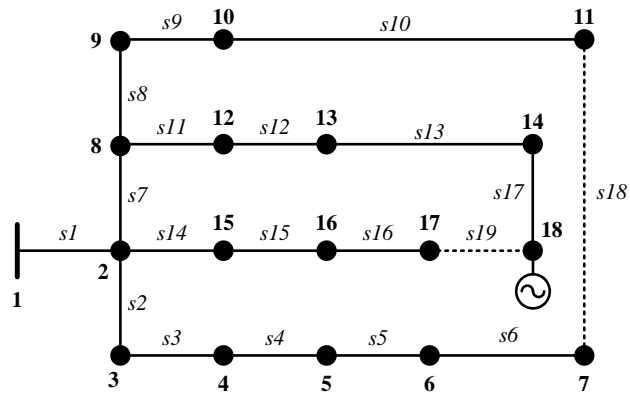
Ngoài ra, trong điều kiện thời gian thực, phụ tải tại mỗi nút trong LDPP thay đổi theo những cách khác nhau. Giả sử rằng, có ba loại phụ tải thương mại, dân dụng và công nghiệp tại mỗi nút và mỗi nút có tỉ lệ giữa ba loại phụ tải này khác nhau. Phụ tải tại nút k tại thời điểm j có thể được xác định như sau [119], [47]:

$$\begin{cases} P_{k,j} = \sum_{TL=1}^3 P_{k,peak} \times M_{TL,k} \times CP_{TL,k} \\ Q_{k,j} = \sum_{TL=1}^3 Q_{k,peak} \times M_{TL,k} \times CQ_{TL,k} \end{cases} \quad (4.51)$$

Trong đó, $TL = 1, 2$ và 3 , đại diện cho ba loại phụ tải. $P_{k,peak}$ là phụ tải định mức tại nút k . $M_{TL,k}$ là tỉ lệ của loại phụ tải loại TL^{th} tại nút k . $CP_{TL,k}$ và $CQ_{TL,k}$ lần lượt là tỉ lệ công suất tác dụng và công suất phản kháng của phụ tải loại TL^{th} tại thời điểm j .

4.3.2.1. LDPP 18 nút

LDPP 18 nút có cấp điện áp 10 kV bao gồm 19 nhánh, 17 khóa thường đóng và 2 khóa thường mở, điện áp 10 kV. Thông số đường dây, phụ tải định mức được cho ở Phụ lục 10 và Phụ lục 11 [51]. Sơ đồ đơn tuyến hệ thống được cho ở Hình 4.13.



Hình 4. 13. LĐPPP 18 nút.

Bảng 4. 4. Tỷ lệ ba loại phụ tải tại mỗi nút trong LĐPP 18 nút.

Nút	$M_{Res.}$	$M_{Com.}$	$M_{ind.}$	Nút	$M_{Res.}$	$M_{Com.}$	$M_{ind.}$
1	0	0	0	10	0	1	0
2	0	0	0	11	0	1	0
3	1	0	0	12	0	1	0
4	1	0	0	13	0	1	0
5	1	0	0	14	0	1	0
6	1	0	0	15	1	0	0
7	0	1	0	16	1	0	0
8	0	1	0	17	1	0	0
9	0	1	0	18	0	1	0

Bảng 4. 5. Tỷ lệ phân phối theo giờ của ba loại phụ tải trong LĐPP 18 nút.

Giờ	$C_{P,res.}$	$C_{Q,res.}$	$C_{P,Com.}$	$C_{Q,Com.}$	$C_{P,Ind.}$	$C_{Q,Ind.}$
1	0.55	0.4	0.35	0.5	0	0
2	0.45	0.39	0.34	0.48	0	0
3	0.43	0.38	0.33	0.47	0	0
4	0.43	0.38	0.31	0.47	0	0
5	0.43	0.39	0.28	0.47	0	0
6	0.45	0.38	0.3	0.47	0	0
7	0.53	0.4	0.4	0.5	0	0
8	0.57	0.4	0.58	0.52	0	0

Giờ	$C_{P,res.}$	$C_{Q,res.}$	$C_{P,Com.}$	$C_{Q,Com.}$	$C_{P,Ind.}$	$C_{Q,Ind.}$
9	0.6	0.4	0.95	0.7	0	0
10	0.58	0.4	1	0.79	0	0
11	0.56	0.4	0.98	0.79	0	0
12	0.55	0.41	1	0.79	0	0
13	0.56	0.42	0.98	0.77	0	0
14	0.59	0.42	0.92	0.79	0	0
15	0.68	0.42	0.89	0.75	0	0
16	0.69	0.42	0.82	0.75	0	0
17	0.71	0.42	0.74	0.68	0	0
18	0.73	0.45	0.63	0.61	0	0
19	0.91	0.48	0.7	0.65	0	0
20	0.96	0.49	0.68	0.62	0	0
21	0.97	0.5	0.65	0.61	0	0
22	1	0.48	0.6	0.61	0	0
23	0.85	0.46	0.5	0.58	0	0
24	0.66	0.42	0.45	0.54	0	0

Thời gian khảo sát là một ngày được chia làm 24 giờ, giả sử công suất trong từng giờ là không đổi. Tỷ lệ ba loại phụ tải tại mỗi nút được cho ở Bảng 4.4. Thông số ba loại phụ tải khác nhau trong một ngày được cho trong Bảng 4.5. Ngoài ra, một DG pin mặt trời có đặc tính phát trong một ngày tiêu biểu như Hình 4.14 và chi tiết công suất trong Bảng 4.6 được kết nối đến nút 18, điện áp giới hạn cho phép trong hệ thống được cho từ 0.93 đến 1.05 p.u. Dựa trên kết quả thử nghiệm, thông số của RRA được chọn như sau: N_{pop} , $iter_{max}$, tol , $Stall_{max}$, dim , d_{runner} , d_{root} lần lượt được chọn là 10, 100, 0.01, 30, 2, 10 và 5.

Kết quả tính toán cho năm trường hợp được trình bày ở Bảng 4.7. Kết quả cho thấy trong trường hợp không kết nối DG, tổn thất năng lượng trong một ngày đã giảm từ 1514 kWh trong cấu hình ban đầu xuống 1417.2 kWh trong cấu hình tối ưu trong cả hai TH 2 và 3. Mặc dù phương pháp đề xuất (TH 3) tính toán dựa trên phụ tải trong

bình trong ngày, nhưng kết quả thu được cũng hoàn toàn giống với kết quả thu được khi sử dụng phụ tải theo từng giờ như TH 2. Do sử dụng công suất trung bình, chúng ta không cần quan tâm đến đồ thị phụ tải mà chỉ quan tâm đến lượng điện năng tiêu thụ trung bình trong một ngày. Ngoài ra trong quá trình tính toán giá trị hàm mục tiêu của mỗi cấu hình xem xét, bài toán phân bố công suất chỉ cần sử dụng một lần so với 24 lần khi sử dụng TH 2. Vì vậy thời gian tính toán của phương pháp đề xuất nhanh hơn nhiều so với sử dụng công suất trong từng thời điểm như TH 2.

Bảng 4. 6. Công suất phát của DG pin mặt trời trong một ngày điển hình.

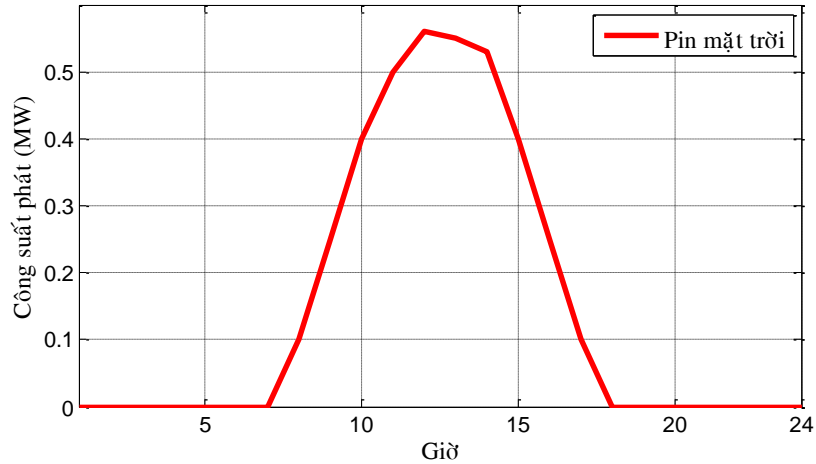
Giờ	P (MW)	Giờ	P (MW)	Giờ	P (MW)
1	0	9	0.25	17	0.1
2	0	10	0.4	18	0
3	0	11	0.5	19	0
4	0	12	0.56	20	0
5	0	13	0.55	21	0
6	0	14	0.53	22	0
7	0	15	0.4	23	0
8	0.1	16	0.25	24	0

Bảng 4. 7. Kết quả tính toán trên LĐPP 18 nút trong các TH khác nhau.

TH	Khóa mở	Hàm thích nghi	Tổn thất công suất với tải đỉnh (kW)	Tổn thất năng lượng (kWh)	Thời gian tính toán (s)
TH 1	{18, 19}	-	146.54	1514	-
TH 2	{17, 18}	1417.2	139.98	1417.2	75.41
TH 3	{17, 18}	53.8419	139.98	1417.2	4.05
TH 4	{17, 18}	1325.1	139.98	1325.1	76.99
TH 5	{17, 18}	49.95	139.98	1325.1	4.05

Trong trường hợp có kết nối DG, tổn thất năng lượng thu được từ cấu hình tối ưu là 1325.1 kWh thấp hơn 188.9 kWh so với tổn thất gây ra bởi cấu hình ban đầu và thấp hơn 92.1 kWh so với cấu hình tối ưu khi không kết nối DG. Tương tự, mặc dù

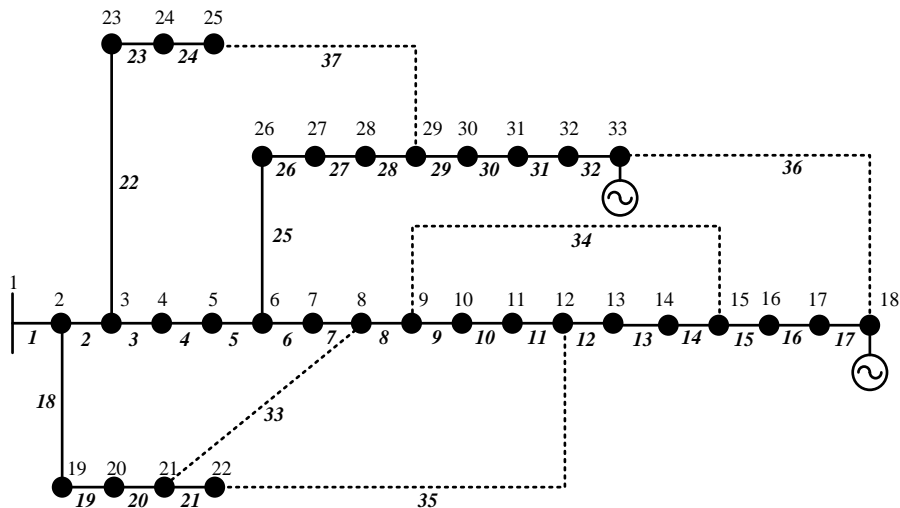
sử dụng công suất trung bình của phụ tải và DG, nhưng phương pháp đề xuất vẫn xác định được cấu hình có tổn thất năng lượng nhỏ nhất như trường hợp sử dụng công suất phụ tải và DG thay đổi theo thời gian. Trong khi đó, thời gian tính toán chỉ mất khoảng 4s so với 77s trong TH 4.



Hình 4. 14. Đặc tính công suất phát của DG pin mặt trời trong một ngày điển hình.

4.3.2.2. LDPP 33 nút

LDPP 33 nút có cấp điện áp 12.66 kV, 37 nhánh, 32 khóa đóng và 5 khóa mở. Thông số đường dây, phụ tải định mức được tham khảo từ [22].



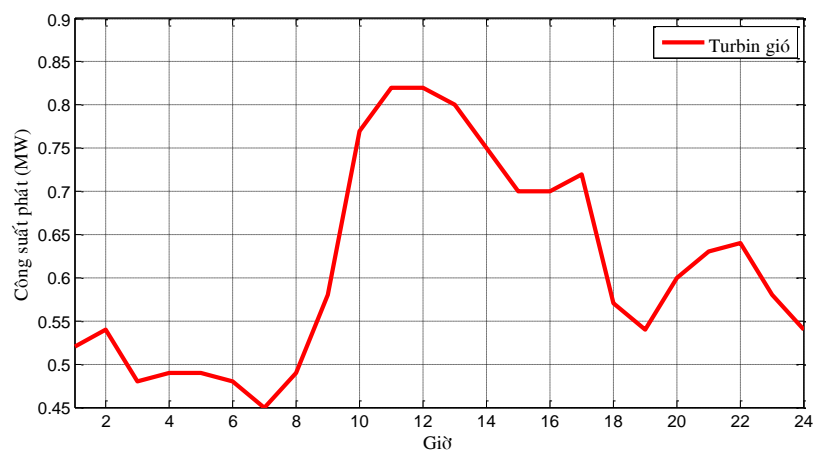
Hình 4. 15. LDPP 33 nút có hai DG.

Sơ đồ đơn tuyến được cho ở Hình 4.15. Tỷ lệ ba loại phụ tải tại mỗi nút được cho ở Bảng 4.8. Tỷ lệ phân phối công suất tác dụng và phản kháng theo từng giờ của

ba loại phụ tải được cho ở Bảng 4.9. Tương tự như LĐPP 18 nút, một DG pin mặt trời được nối đến nút 33. Ngoài ra, một DG turbin gió có công suất phát một ngày tiêu biểu như Hình 4.16 (chi tiết công suất phát được cho ở Bảng 4.10). Tổng tổn thất năng lượng trên cấu hình ban đầu là 1514.8 kWh. Điện áp nút và hệ số mang tải trên các nhánh trong một ngày tiêu biểu trước khi tái cấu hình được mô tả trên Hình 4.17 và Hình 4.18. Thông số của RRA được chọn như sau: N_{pop} , $iter_{max}$, tol , $Stall_{max}$, dim , d_{runner} , d_{root} lần lượt được chọn là 20, 150, 0.01, 30, 5, 10 và 5.

Bảng 4. 8. Tỷ lệ ba loại phụ tải tại mỗi nút trong LĐPP 33 nút.

Nút	M _{Res.}	M _{Com.}	M _{Ind.}	Nút	M _{Res.}	M _{Com.}	M _{Ind.}	Nút	M _{Res.}	M _{Com.}	M _{Ind.}
1	0	0	0	12	0.5	0.5	0	23	0.5	0.4	0.1
2	0.2	0.5	0.3	13	0.6	0.4	0	24	0.4	0.5	0.1
3	0.5	0.3	0.2	14	0.4	0.4	0.2	25	0.6	0.4	0
4	0.5	0.2	0.3	15	0.5	0.1	0.4	26	0.7	0.3	0
5	0.6	0.1	0.3	16	0.2	0.7	0.1	27	0.1	0	0.9
6	0.4	0.4	0.2	17	0.3	0.3	0.4	28	0.6	0.3	0.1
7	0.6	0	0.4	18	0.4	0.5	0.1	29	0.4	0.1	0.5
8	0.3	0.3	0.4	19	0.5	0.2	0.3	30	0.7	0.2	0.1
9	0.4	0.6	0	20	0.7	0.3	0	31	0.4	0.4	0.2
10	0.3	0	0.7	21	0.5	0.3	0.2	32	0.2	0.1	0.7
11	0.6	0.2	0.2	22	0.3	0	0.7	33	0.3	0.7	0



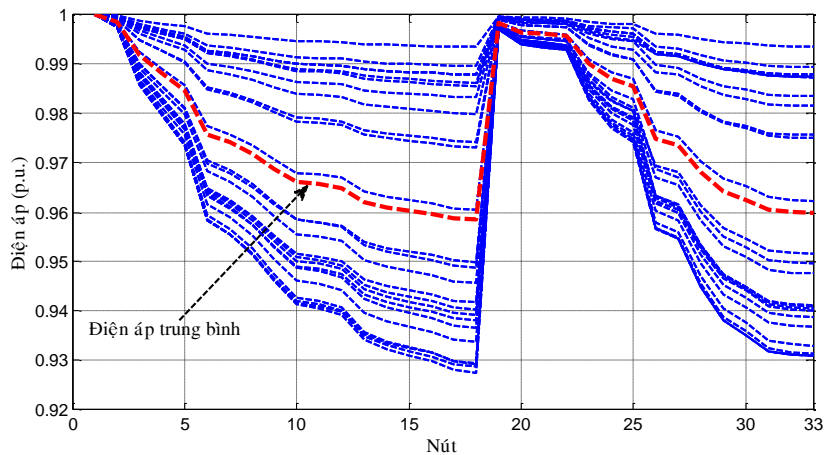
Hình 4. 16. Đặc tính công suất phát của DG turbin gió trong một ngày điển hình.

Bảng 4. 9. Tỷ lệ phân phối theo giờ của ba loại phụ tải trong LDPP 33 nút.

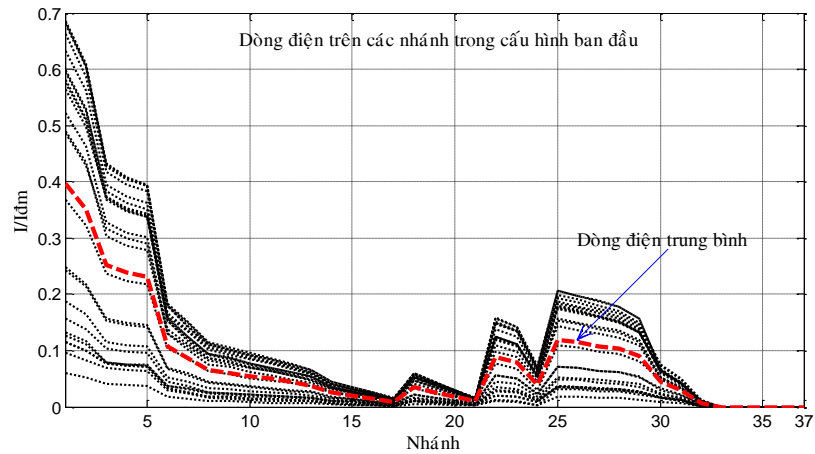
Giờ	$C_{P,res.}$	$C_{Q,res.}$	$C_{P,Com.}$	$C_{Q,Com.}$	$C_{P,Ind.}$	$C_{Q,Ind.}$
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3
2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3
3	0.1	0.1	0	0	0.4	0.4
4	0.1	0.1	0	0	0.2	0.2
5	0.4	0.4	0	0	0.2	0.2
6	0.3	0.3	0	0	0.3	0.3
7	0.4	0.4	0.1	0.1	0.3	0.3
8	0.4	0.4	0.2	0.2	0.4	0.4
9	0.3	0.3	0.7	0.7	0.8	0.8
10	0.3	0.3	0.8	0.8	1	1
11	0.5	0.5	0.8	0.8	0.9	0.9
12	0.6	0.6	0.7	0.7	0.9	0.9
13	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
14	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6
15	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8
16	0.6	0.6	1	1	0.8	0.8
17	0.7	0.7	1	1	0.7	0.7
18	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
19	0.9	0.9	0.6	0.6	0.8	0.8
20	1	1	0.7	0.7	0.9	0.9
21	1	1	0.6	0.6	1	1
22	0.6	0.6	0.2	0.2	0.8	0.8
23	0.5	0.5	0.1	0.1	0.5	0.5

Bảng 4. 10. Công suất phát của DG turbin gió trong một ngày điển hình.

Giờ	P (MW)	Giờ	P (MW)	Giờ	P (MW)
1	0.52	9	0.58	17	0.72
2	0.54	10	0.77	18	0.57
3	0.48	11	0.82	19	0.54
4	0.49	12	0.82	20	0.6
5	0.49	13	0.8	21	0.63
6	0.48	14	0.75	22	0.64
7	0.45	15	0.7	23	0.58
8	0.49	16	0.7	24	0.54



Hình 4.17. Điện áp các nút trước khi tái cấu hình trong một ngày điện hình.



Hình 4.18. Hệ số mang tải trên các nhánh trước khi tái cấu hình trong một ngày điện hình.

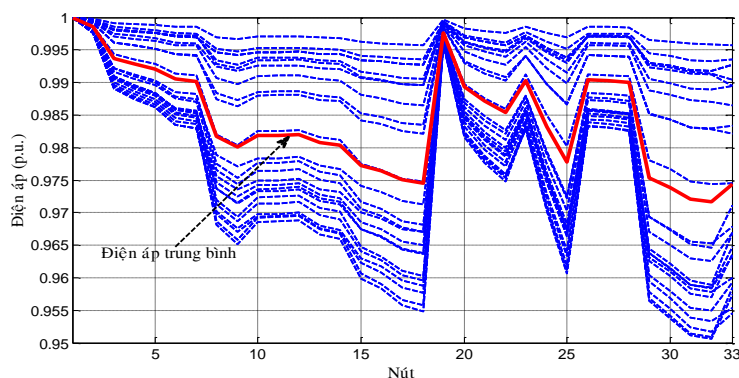
Kết quả tính toán 5 TH trên LĐPP 33 nút trong Bảng 4.11 cho thấy tổn thất năng lượng giảm từ 1514.8 kWh trong cấu hình ban đầu xuống 1048.3 kWh và 757.17 kWh khi sử dụng tái cấu hình không xét và có xét đến ảnh hưởng của DG. Trong trường hợp có kết nối DG, tổn thất công suất khi phụ tải định mức là 174.10 kW, đây không phải là cấu hình tối ưu để giảm tổn thất công suất khi phụ tải là hằng số và ở chế độ định mức, nhưng lại là cấu hình có tổn thất năng lượng bé nhất khi phụ tải thay đổi.

Kết quả so sánh giữa TH 2 và 3 và giữa TH 4 và 5 cho thấy có thể sử dụng công suất trung bình của phụ tải và công suất phát trung bình của DG trong thời gian khảo sát để xác định cấu hình vận hành lưới tối ưu trong việc giảm tổn thất năng lượng.

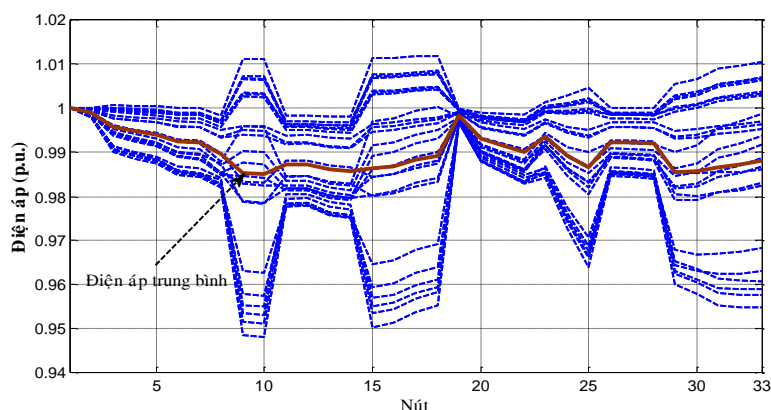
Như vậy, phương pháp đề xuất sẽ không cần yêu cầu đồ thị phụ tải và công suất phát tại mỗi thời điểm của DG trong thời gian khảo sát. Tại mỗi nút tải và nút DG, chỉ cần sử dụng công suất trung bình được thu thập qua các điện năng kế.

Bảng 4. 11. Kết quả tính toán trên LDPP 33 nút trong các TH khác nhau.

TH	Khóa mở	Hàm thích nghi	Tổn thất công suất với tải đỉnh (kW)	Tổn thất năng lượng (kWh)	Thời gian tính toán (s)
TH 1	{33, 34, 35, 36, 37}	-	202.69	1514.8	-
TH 2	{7, 14, 9, 32, 28}	1048.3	139.98	1048.3	1141.97
TH 3	{7, 14, 9, 32, 28}	32.51	139.98	1048.3	63.45
TH 4	{7,10, 8, 14, 28}	757.17	174.10	757.17	1143.03
TH 5	{7,10, 8, 14, 28}	20.44	174.10	757.17	60.37



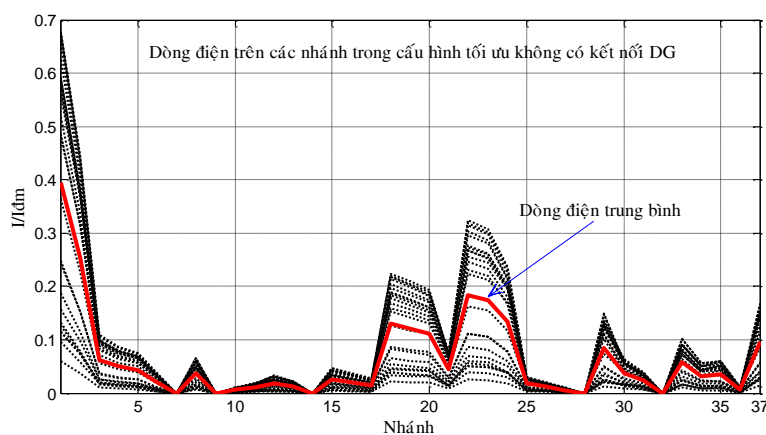
Hình 4. 19. Điện áp các nút sau khi tái cấu hình không xét đến DG trong một ngày điển hình.



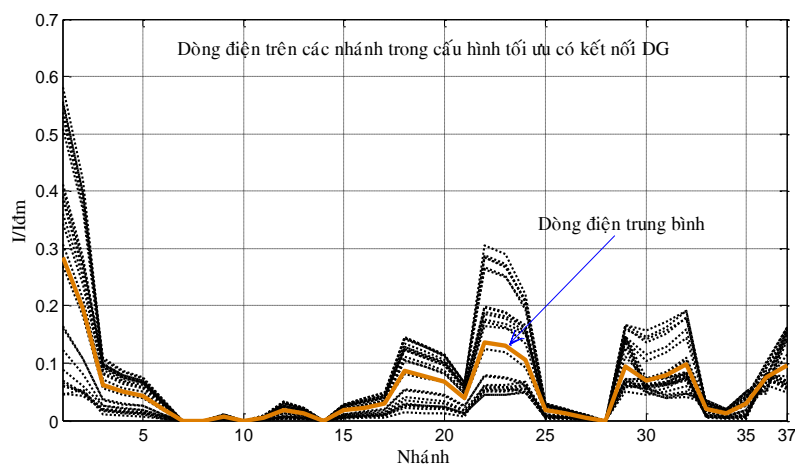
Hình 4. 20. Điện áp các nút sau khi tái cấu hình có xét đến DG trong một ngày điển hình.

Điện áp các nút trong thời gian khảo sát sau khi tái cấu hình trong trường hợp không xét DG và có xét đến DG trong Hình 4.19 và Hình 4.20 cho thấy điện áp các nút đều nằm trong giới hạn cho phép và đã được cải thiện đáng kể sau khi thực hiện tái cấu hình.

Hệ số mang tải của các nhánh trong hệ thống sau khi tái cấu hình trong trường hợp không xét DG và có xét đến DG được cho trong Hình 4.21 và Hình 4.22. Hình vẽ cho thấy không có nhánh nào bị quá tải sau khi thực hiện tái cấu hình. Đặc biệt, trong trường hợp có DG, hệ số mang tải của các nhánh thấp hơn so với cấu hình ban đầu và cấu hình tối ưu khi không có DG.



Hình 4. 21. Hệ số mang tải trên các nhánh sau khi tái cấu hình không xét DG trong một ngày điển hình.



Hình 4. 22. Hệ số mang tải trên các nhánh sau khi tái cấu hình có xét DG trong một ngày điển hình.

4.4. Nhận xét và kết luận

Trong chương này, ảnh hưởng của vị trí và công suất DG đến bài toán tái cấu hình đã được xem xét trong các TH khác nhau như chỉ thực hiện tái cấu hình, chỉ thực hiện tối ưu vị trí và công suất DG, tái cấu hình sau khi lắp đặt DG, lắp đặt DG sau khi tái cấu hình, tái cấu hình kết hợp với tối ưu công suất DG đồng thời và TH tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG. Để kiểm tra các TH khác nhau trên các LDPP có quy mô nhỏ đến lớn, giải thuật CSA được sử dụng. Kết quả tính toán cho thấy tái cấu hình LDPP kết hợp với tối ưu vị trí và công suất phát DG đồng thời là phương pháp tối ưu nhất để thu được cấu hình có tổn thất công suất bé nhất và chất lượng điện áp tốt nhất so với các TH còn lại. Kết quả tính toán cũng cho thấy, phương pháp sử dụng thuật toán CSA cũng thu được kết quả tốt hơn so với một số phương pháp được so sánh như FWA và HSA.

Phương pháp tái cấu hình LDPP có xét đến DG giảm tổn thất năng lượng cũng được đề xuất. Phương pháp đề xuất dựa trên công suất trung bình của phụ tải và công suất phát trung bình của DG trong thời gian khảo sát. Ưu điểm của phương pháp là không yêu cầu đồ thị phụ tải cũng như công suất phát của DG tại mỗi thời điểm trong thời gian khảo sát. Để tìm được cấu hình tối ưu, thuật toán RRA được sử dụng và kết quả kiểm tra được thực hiện trên LDPP 18 và 33 nút. Kết quả tính toán cho thấy, có thể sử dụng công suất trung bình của phụ tải và DG để xác định cấu hình vận hành LDPP giảm tổn thất năng lượng. Ngoài ra, phương pháp đề xuất có ưu điểm vượt trội về mặt thời gian tính toán do chỉ phải giải bài toán phân bố công suất một lần khi cần tính toán giá trị hàm mục tiêu cho mỗi cấu hình xem xét. Vì thế, phương pháp đề xuất có thể được áp dụng cho các LDPP gặp khó khăn trong quá trình thu thập đồ thị phụ tải.

Chương 5

ỨNG DỤNG TÁI CẤU HÌNH

LĐPP CHƯ PRÔNG - ĐIỆN LỰC GIA LAI

5.1. Đặc điểm LĐPP Chư Prông

Lưới điện trung áp của huyện Chư Prông được cung cấp thông qua hai trạm biến áp 110/35/22 kV và hai trạm trung gian 35/22 kV, bao gồm:

Trạm 110/35/22 kV Diên Hồng (E42) với hai máy biến áp tổng công suất 65 MVA, có hai xuất tuyến (XT) cung cấp cho huyện Chư Prông gồm XT 480/E42 và XT 373/E42 thông qua trạm trung gian Trà Bá (F7).

Trạm 110/35/22 kV Chư Prông (110CR) với một máy biến áp 16 MVA có bốn XT cung cấp cho huyện Chư Prông bao gồm 472/110CR, 474/110CR, 476/110CR và 478/110CR trong đó XT 478/110CR được dùng dự phòng.

Trạm trung gian 35/22 KV Hàm Rồng (F19) với hai máy biến áp có tổng công suất 11.9 MVA bao gồm hai XT 472/F19 và 474/F19 cung cấp cho huyện Chư Prông.

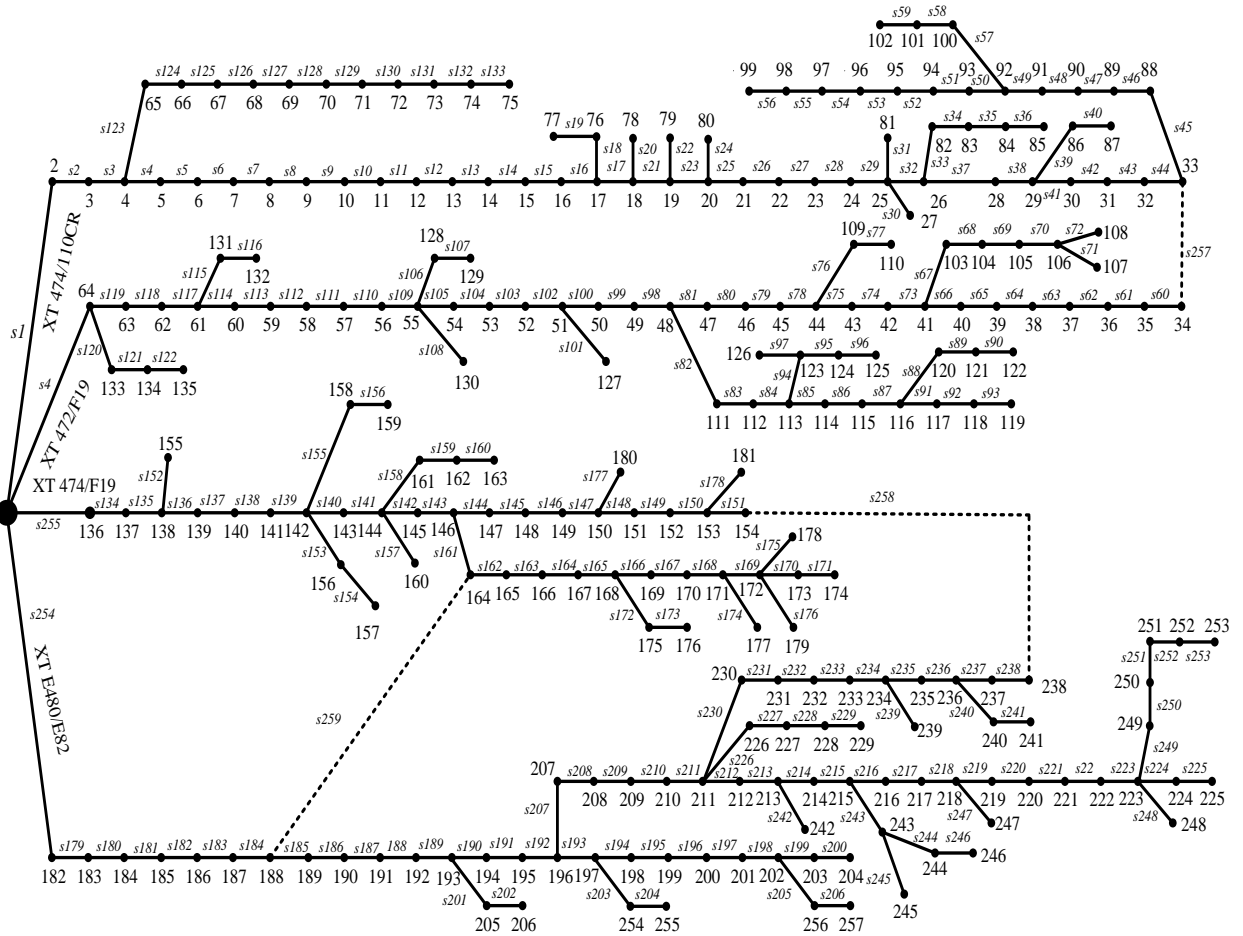
Trạm trung gian 35/22 kV Chư Prông (F20) với hai máy biến áp có tổng công suất 10.3 MVA, có hai XT 472/F20 và 475/F20 cung cấp cho huyện Chư Prông .

Tổng chiều dài đường dây trung thế 459.55 km. Tổng số trạm biến áp là 424 trạm/436 máy cung cấp cho 22,105 khách hàng.

Trên LĐPP Chư Prông, bốn XT 480/E42, 474/110CR, 472/F19 và 474/F19 tạo thành trục mạch vòng, các XT còn lại cung cấp cho từng vùng riêng biệt. Vì vậy, trong phạm vi luận án chỉ thực hiện nghiên cứu trên cấu trúc mạch vòng được tạo bởi bốn XT trên với 259 nhánh, 257 nút và tổng công suất phụ tải 8.6357 MW, 3 khóa điện thường mở {33-34, 154-238, 164-182} (Hình 5.1). Thông số phụ tải và đường dây được cho ở Phụ lục 12 và Phụ lục 13 [125]. Ngoài ra, trên địa bàn cung cấp điện của bốn XT trên, có một số thủy điện nhỏ. Tuy nhiên, các thủy điện này hiện đang phát tập trung trên đường dây 35 kV và truyền tải về trạm biến áp 110 kV Chư Prông. Sơ đồ mạch vòng bốn xuất tuyến LĐPP được cho ở Phụ lục 15.

Do trên LDPP Chư Prông có một số phụ tải một pha, nhưng trong phạm vi nghiên cứu của luận án chỉ xem xét đến phụ tải cân bằng nên các phụ tải trong hệ thống được giả định là phụ tải ba pha cân bằng và không đổi. Vì vậy, để áp dụng các phương pháp đã nghiên cứu trên LDPP Chư Prông, một số giả thiết sau được đặt ra:

- Phụ tải tại tất cả các nút là phụ tải cân bằng;
- Công suất tại các nút phụ tải không đổi.



Hình 5. 1. Sơ đồ đơn tuyến bốn XT trên LDPP Chư Prông – Điện lực Gia Lai.

Bảng 5. 1. Thông số ba DG trên LDPP Chư Prông.

STT	Nhà máy	Địa điểm đặt	Số tổ máy N x kW	Công suất đặt (MW)	Công phát (MW)
1	Ia Drang 2	Chư Prông	3 x 500	1.5	1.5
2	Ia Drang 3	Chư Prông	2 x 800	1.6	1.6
3	Ia Puch 3	Chư Prông	3 x 2,200	6.6	3.4

5.2. Kết quả áp dụng phương pháp đề xuất

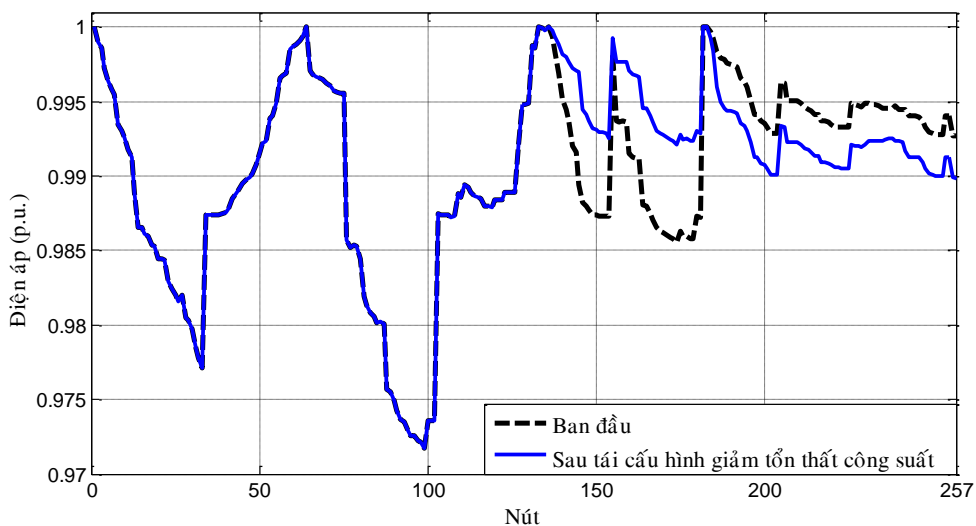
So với LDPP 33, 69 và 119 nút, LDPP Chư Prông có quy mô lớn hơn với 257 nút, quá trình tính toán phân bố công suất cho mỗi cấu hình xem xét sẽ mất nhiều thời gian. Trong trường hợp này, thuật toán RRA được lựa chọn để tối ưu cấu trúc vận hành LDPP Chư Prông do bởi RRA có khả năng tìm được cấu hình vận hành LDPP với số vòng lặp nhỏ hơn nhiều so với phương pháp CGA và CSA. Thông số của thuật toán RRA được lựa chọn sử dụng trên lưới điện Chư Prông như sau: số cây mẹ $N_{pop} = 30$, vòng lặp lớn nhất $iter_{max} = 50$, sự thay đổi tương đối giá trị hàm thích nghi tốt nhất trong hai vòng lặp $tol = 0.01$; số vòng lặp để khởi động lại thuật toán $Stall_{max} = 10$. Do bởi số lượng khóa mở ban đầu trên lưới là 3 khóa. Vì vậy, kích thước của vector giải pháp của hệ thống là $dim = 3$. Giao diện chương trình tính toán tái cấu hình LDPP Chư Prông được xây dựng trên phần mềm Matlab như ở Phụ lục 14.

5.2.1. Tái cấu hình giảm tổn thất công suất

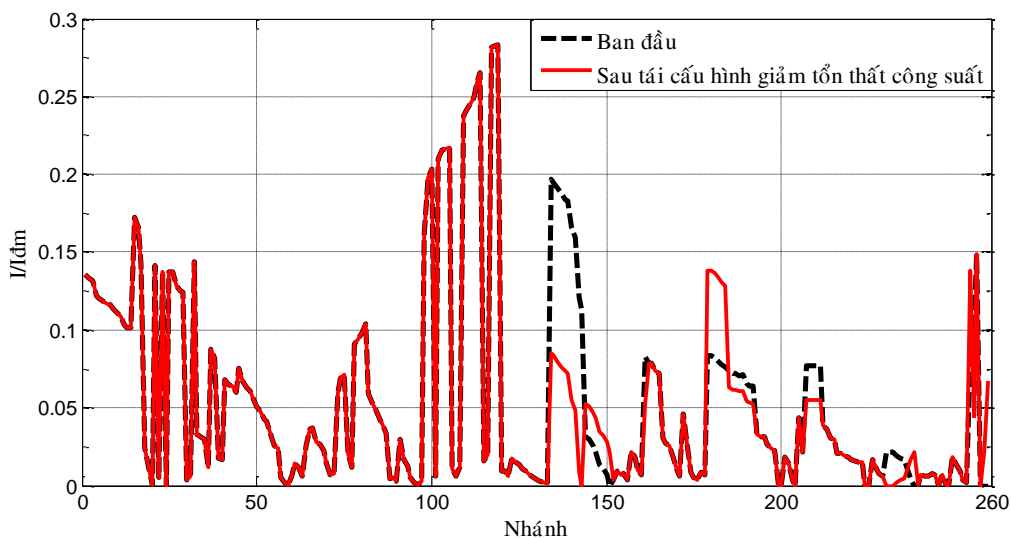
Kết quả thực hiện tái cấu hình giảm tổn thất công suất trên lưới điện Chư Prông nút được trình bày trong Bảng 5.2. Cấu hình vận hành hiện tại của lưới điện Chư Prông với các khóa mở {257, 258 và 259} với mức tổn thất công suất, điện áp thấp nhất, hệ số mang tải lớn nhất lần lượt là 81.5655 kW, 0.9717 (nút 99) và 0.2834. Công suất nguồn cung cấp tại bốn XT 474/11RC, 472/F19, 474/F19 và E480/E42 lần lượt là {2.3206, 1.6560, 1.9853 và 2.9559 MVA}.

Sau khi thực hiện tái cấu hình, tổn thất công suất giảm từ 81.5655 kW xuống 73.9053 kW với các khóa điện mở {257, 231, 143}. Kết quả này tương tự với cấu hình tìm được khi thực hiện bằng PSS/ADEPT được trình bày ở Phụ lục 1. Biên độ điện áp nút thấp nhất không đổi so với trước khi tái cấu hình. Biên độ điện áp các nút trong hệ thống trước và sau khi tái cấu hình được cho ở Hình 5.2. Hệ số mang tải trên các nhánh được cho ở Hình 5.3. Từ Hình 5.3 cho thấy với mức phụ tải hiện tại, hệ số mang tải trên các nhánh của lưới điện Chư Prông là rất thấp trong khoảng từ (0 - 0.2834). Tuy nhiên, rõ ràng sự cân bằng công suất giữa bốn XT có sự chênh lệch đáng kể so với trước khi thực hiện tái cấu hình với công suất nguồn cung cấp từ bốn XT

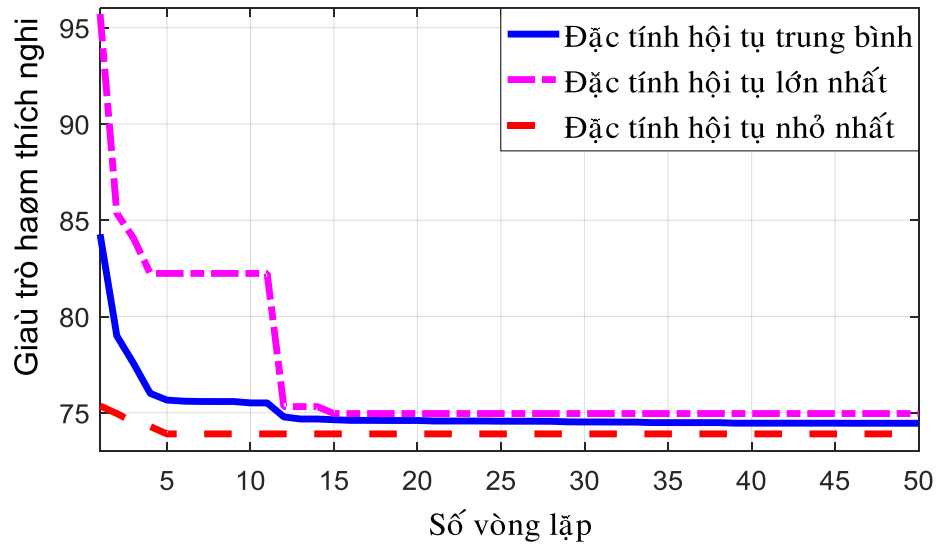
lần lượt là {2.3206, 2.7416, 0.8604, 2.9559 MVA}. Đặc tuyến hội tụ của RRA trong 20 lần chạy độc lập được cho ở Hình 5.4 và các giá trị lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình, độ lệch chuẩn của hàm thích nghi cho ở Bảng 5.2 cho thấy giải pháp tìm được bởi thuật toán RRA là đáng tin cậy do bởi giá trị trung bình của hàm thích nghi gần bằng với giá trị nhỏ nhất của chúng. Thời gian tính toán trung bình trong mỗi lần thực hiện khoảng 108 giây.



Hình 5. 2. Biên độ điện áp trước và sau khi tái cấu hình giảm tổn thất công suất.



Hình 5. 3. Hệ số mang tải trên các nhánh trước và sau khi tái cấu hình giảm tổn thất công suất.



Hình 5. 4. Đặc tuyến hội tụ của RRA với hàm mục tiêu giảm tổn thất công suất.

Bảng 5. 2. Kết quả tái cấu hình giảm tổn thất công suất.

Cấu hình	Ban đầu	Tối ưu (giảm ΔP)
Khóa mở	257, 258, 259	257, 231, 143
ΔP (kW)	81.5655	73.9053
V_{\min} (pu)	0.9717 (99)	0.9717 (99)
V_{\max} (pu)	1 (1)	1 (1)
LBI	0.0044	0.0040
$(I/I_{dm})_{\max}$	0.2834	0.2834
LBF	0.3082	0.8908
Feeder _i (MVA)	[2.3206, 1.6560, 1.9853, 2.9559]	[2.3206, 2.7416, 0.8604, 2.9559]
NSW	0	4
Max of Fit	-	74.9624
Min of Fit	-	73.9053
Mean of Fit	-	74.2224
STD	-	0.381583
Mean of iteration	-	23.6
CPU time	-	107.8014

5.2.2. Tái cấu hình sử dụng hàm đa mục tiêu

So với cấu hình lưới ban đầu, tổn thất công suất đã giảm đáng kể sau khi thực hiện tái cấu hình giảm tổn thất công suất với bốn lần thay đổi trạng thái khóa điện. Các thông số của hệ thống như biên độ điện áp các nút, hệ số mang tải của các nhánh không thay đổi đáng kể sau khi tái cấu hình. Tuy nhiên, rõ ràng mức độ cân bằng tải giữa bốn XT có sự thay đổi rõ rệt. Chỉ số cân bằng giữa các xuất tuyến *LBF* đã tăng từ 0.3082 đến 0.8908 với công suất nguồn cung cấp của bốn XT thay đổi từ {2.3206, 1.6560, 1.9853, 2.9559} đến {2.3206, 2.7416, 0.8604, 2.9559}. Rõ ràng, sự mất cân bằng tải giữa bốn XT đã trở lớn hơn so với cấu hình ban đầu. Đặc biệt trên LĐPP hiện hữu chưa được lắp đặt các khóa điện 231 và 143. Như vậy, để giảm được 9.4% tổn thất công suất, phải đầu tư thêm hai khóa điện. Trong trường hợp này, bài toán tái cấu hình đa mục tiêu được áp dụng trên lưới điện Chư Prông nhằm tìm ra cấu trúc vận hành khắc phục được những hạn chế trên.

Tương tự chương hai, năm mục tiêu thành phần được tối ưu được sử dụng trên trên lưới điện Chư Prông bao gồm cực tiểu tổn thất công suất tác dụng, số lần vận hành khóa và độ lệch điện áp các nút, cải thiện sự cân bằng tải giữa các nhánh, giữa các xuất tuyến. Để tìm giá trị nhỏ nhất của các hàm thành viên, bài toán tái cấu hình đơn mục tiêu lần lượt được áp dụng cho mỗi hàm mục tiêu thành phần, kết quả thực hiện được cho ở Bảng 5.3. So với cấu hình ban đầu, ngoại trừ hàm mục tiêu giảm tổn thất công suất có giá trị tổn thất công suất thu được giảm đáng kể so với cấu hình ban đầu, các giá trị hàm mục tiêu còn lại trong các trường hợp sử dụng hàm đơn mục tiêu như *LBF*, $(1-V_{min})$ và *LBI* không có sự cải thiện đáng kể nào do với cấu hình ban đầu. Điều này cho thấy các giá trị V_{min} , *LBI*, *LBF* trên cấu hình ban đầu đã nằm trong dải tối ưu.

Ngoài ra, trong trường hợp sử dụng hàm đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất thu được cấu hình có tổn thất công suất giảm đáng kể so với cấu hình ban đầu, nhưng chỉ số cân bằng tải giữa bốn XT lại tăng lên đáng kể. Vì vậy, trong trường hợp này bài toán tái cấu hình đa mục tiêu áp dụng trên lưới điện Chư Prông sẽ xem xét các hàm mục tiêu giảm tổn thất công suất, giảm chỉ số *LBF* và số lần chuyển khóa với

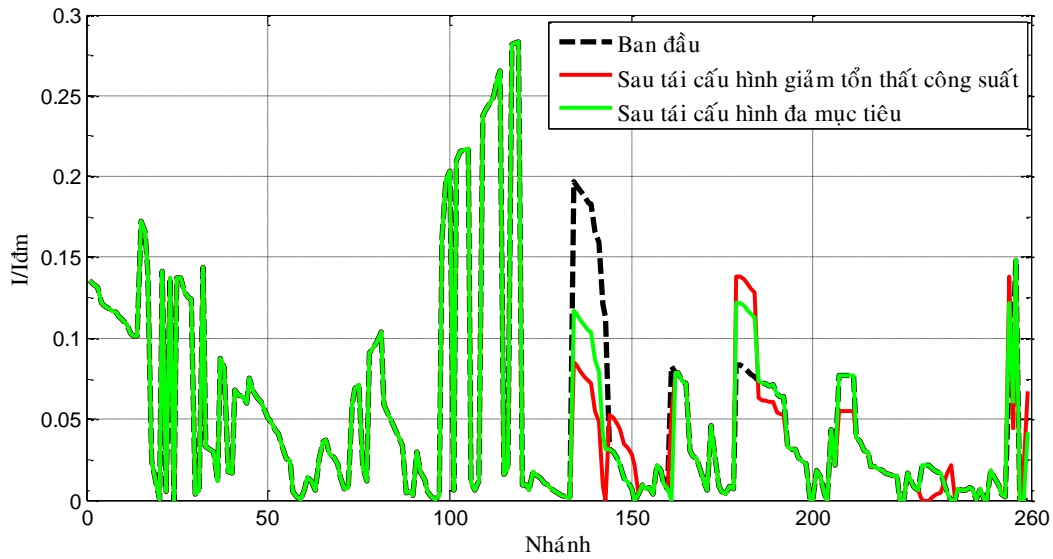
giá trị lớn nhất, nhỏ nhất của các hàm mục tiêu thành viên được cho ở Bảng 5.4.

Bảng 5. 3. Kết quả tính toán sử dụng hàm đơn mục tiêu trên lưới điện Chư Prông.

Hàm mục tiêu	Ban đầu	Giảm ΔP	Giảm LBF	Giảm $(1-V_{min})$	Giảm LBI
Khóa mở	257, 258, 259	257, 231, 143	64, 148, 259	44, 145, 259	65, 232, 143
ΔP (kW)	81.5655	73.9053	85.9614	80.6845	82.4123
V_{min} (pu)	0.9717 (99)	0.9717 (99)	0.9671 (99)	0.9751 (99)	0.9653 (99)
V_{max} (pu)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
LBI	0.0044	0.0040	0.0041	0.0056	0.0038
$(I/I_{dm})_{max}$	0.2834	0.2834	0.2569	0.3450	0.2466
LBF	0.3082	0.8908	0.2265	0.8272	0.8296
Feeder _i (MVA)	[2.3206, 1.6560, 1.9853, 2.9559]	[2.3206, 2.7416, 0.8604, 2.9559]	[2.5970, 1.7924, 1.8510, 2.6877]	[1.6931, 1.9568, 1.6827, 3.5788]	[2.7062, 2.7416, 0.8604, 2.5830]
NSW	0	4	4	4	6
Max of Fit	-	74.9624	0.24989	0.024853	0.0038371
Min of Fit	-	73.9053	0.22645	0.024853	0.0038177
Mean of Fit	-	74.2224	0.23603	0.024853	0.0038235
STD		0.381583	0.0094	0	9.3925e-06
Mean of iteration		23.6	22	5	17
CPU time	-	107.8014	115.95	208.4875	253.1179

Bảng 5. 4. Giới hạn của các hàm thành viên trên lưới điện Chư Prông.

Mục	$F_{\Delta P}$	$F_{(1-V_{min})}$	F_{LBI}	F_{NSW}	F_{LBF}
Max	81.5655	-	-	6	0.8908
Min	73.9053	-	-	0	0.2265

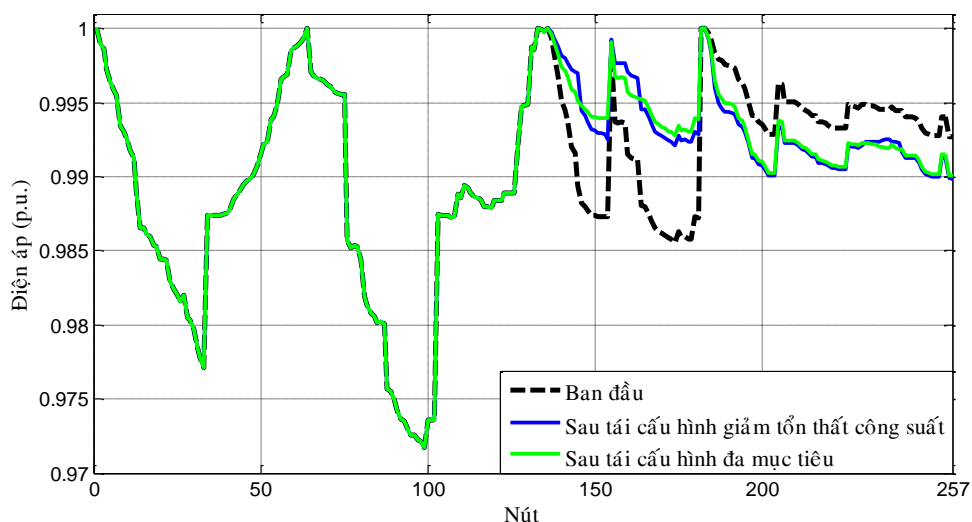


Hình 5.5. Hệ số mang tải trên các nhánh khi tái cấu hình đa mục tiêu.

Bảng 5.5. Kết quả tái cấu hình đa mục tiêu.

Cấu hình	Ban đầu	Tối ưu (giảm ΔP)	Tối ưu đa mục tiêu
Khóa mở	257, 258, 259	257, 231, 143	257, 258, 161
ΔP (kW)	81.5655	73.9053	74.2915
V_{\min} (pu)	0.9717 (99)	0.9717 (99)	0.9717 (99)
V_{\max} (pu)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
LBI	0.0044	0.0040	0.0040
$(I/I_{dm})_{\max}$	0.2834	0.2834	0.2834
LBF	0.3082	0.8908	0.5572
Feeder _i (MVA)	[2.3206, 1.6560, 1.9853, 2.9559]	[2.3206, 2.7416, 0.8604, 2.9559]	[2.3206, 2.4208, 1.1810, 2.9559]
NSW	0	4	2
Max of Fit	-	74.9624	0.89548
Min of Fit	-	73.9053	0.49781
Mean of Fit	-	74.2224	0.61819
STD	-	0.381583	0.14473
Mean of iteration	-	23.6	24.2
CPU time	-	107.8014	249.7794

Kết quả thực hiện tái cấu hình đa mục tiêu so với trường hợp tái cấu hình giảm tổn thất công suất được cho ở Bảng 5.5. Bảng 5.5 cho thấy, mặc dù tổn thất công suất thu được lớn hơn so với trường hợp đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất, nhưng chỉ số cân bằng tải giữa bốn XT đã được cải thiện đáng kể từ 0.8908 xuống 0.5572 tương ứng với công suất nguồn cung cấp tại bốn XT lần lượt là {2.3206, 2.4208 1.1810, 2.9559 MVA} và chỉ mất hai lần chuyển khóa thông qua việc đóng khóa 259 và mở khóa 161. Hình 5.5 và 4.6 cho thấy, biên độ điện áp các nút và hệ số mang tải trên các nhánh không có sự thay đổi đáng kể so với trường hợp đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất. Trong trường hợp này, rõ ràng có thể xem xét vận hành lưới điện Chư Prông ở thời điểm hiện tại theo cấu trúc lưới xác định từ hàm đa mục tiêu để giảm tổn thất công suất, số lần chuyển khóa ít nhất và sự mất cân bằng tải của bốn XT không thay đổi đáng kể so với cấu trúc lưới ban đầu.



Hình 5. 6. Biên độ điện áp khi tái cấu hình đa mục tiêu.

5.2.3. Tái cấu hình LĐPP có xét đến DG giảm tổn thất công suất

Như đã trình bày ở phần 4.1, trên LĐPP Chư Prông hiện có một số nguồn thủy điện nhỏ trong đó có ba thủy điện có công suất tương đối lớn như Ia Drang 2, Ia Drang 3 và Ia Puch 3. Tuy nhiên, hiện nay ba thủy điện này đang được phát tập trung trên đường dây 35 kV và truyền tải về trạm biến áp 110 kV Chư Prông. Vì vậy, việc xem xét kết nối các nguồn DG này trực tiếp đến LĐPP 22 kV cũng cần được xem xét, điều này cho phép các nguồn DG kết nối trực tiếp đến khách hàng dùng điện, đáp ứng nhu

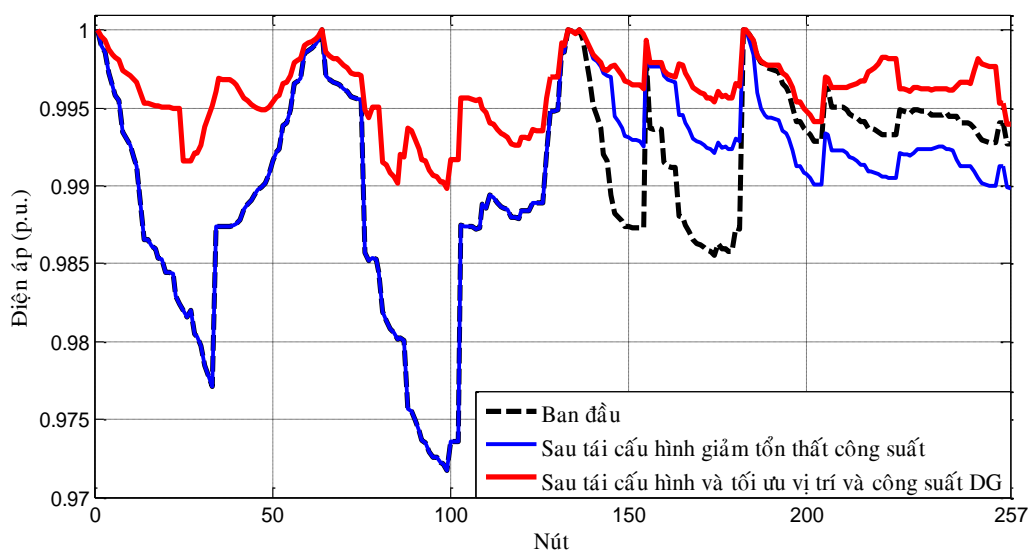
cầu năng lượng tại chỗ và làm giảm tổn thất công suất trên LĐPP.

Bảng 5. 6. Vùng kết nối của các DG.

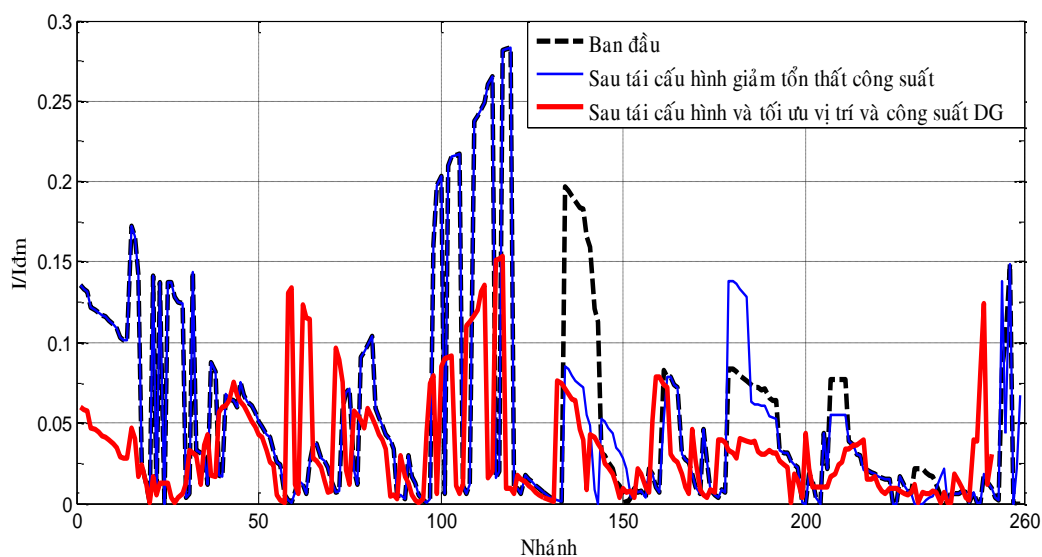
STT	DG	Công suất phát (MW)	Vùng kết nối khả thi của các DG (nút)
1	Ia Drang 2	1.5	221, 222, 223
2	Ia Drang 3	1.6	164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173
3	Ia Puch 3	3.4	34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51

Căn cứ vào vị trí của các thủy điện Ia Drang 2, Ia Drang 3 và Ia Puch 3, ba DG này có khả năng kết nối trực tiếp đến LĐPP 22 kV ở một số nút như Bảng 5.6. Kết quả tối ưu vị trí và công suất của các DG kết hợp với tái cấu hình được cho ở Bảng 5.7. Bảng 5.7 cho thấy, khi tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG, tổn thất công suất đã giảm từ 73.91 kW xuống 24.25 kW so với trường hợp chỉ tái cấu hình. Như vậy, rõ ràng là nếu các DG này được kết nối trực tiếp đến LĐPP 22 kV, tổn thất trên lưới sẽ giảm đáng kể, ngoài ra việc kết nối này cũng góp phần cải thiện chất lượng điện áp trong hệ thống. Nút có điện áp thấp nhất đã tăng từ 0.9717 p.u. đến 0.9898 p.u. xảy ra ở nút 99 trong hệ thống, điện áp các nút được thể hiện trong Hình 5.7, đều được cải thiện so với trường hợp chỉ thực hiện tái cấu hình. Hình 5.8 cho thấy hệ số mang tải trên các đường dây đã giảm đáng kể với chỉ số LBI đã giảm từ 0.0040 xuống 0.0011 và đường dây có hệ số mang tải lớn nhất chỉ bằng 15.33 % so với 28.34% trong trường hợp chỉ tái cấu hình. Tuy nhiên, từ kết quả tính toán tối ưu công suất của các DG có thể thấy rằng để cực tiểu tổn thất công suất trên hệ thống và với vùng kết nối khả thi của các DG bị giới hạn do khu vực địa lý, công suất tối của các DG phát lên LĐPP không đạt đến công suất phát hiện có của các DG, cụ thể DG Ia Drang 2 kết nối đến nút 21 chỉ phát 0.5567/1.5 MW, Ia Drang 3 kết nối đến nút 64 phát 1.6/1.6 MW và Ia Puch 3 kết nối đến nút 35 chỉ phát 2.6662/3.4 MW. Như vậy, nếu muốn phát tối đa công suất phát của các DG lên LĐPP, cần xem xét đến chi phí gia tăng tổn thất công suất trên LĐPP và đây có thể là một yếu tố đáng

quan tâm trong quá trình thỏa thuận kết nối giữa các nhà cung cấp DG và nhà quản lý hệ thống phân phối.



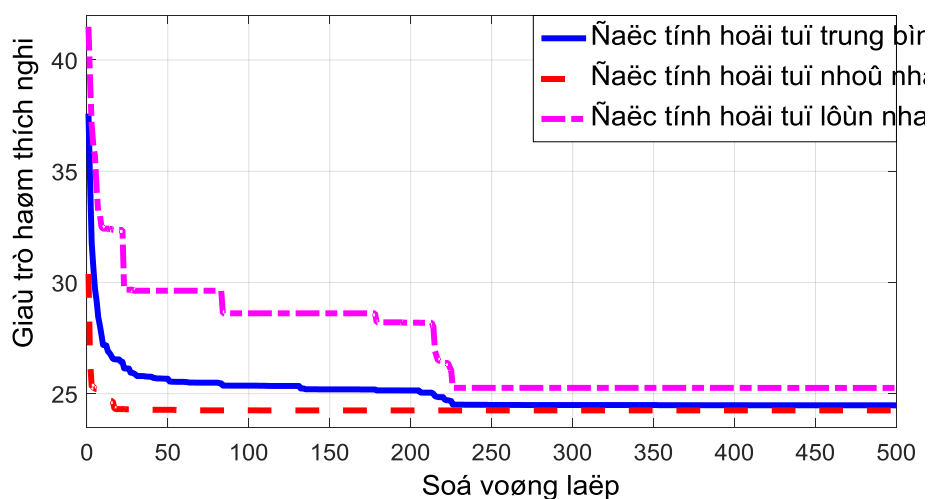
Hình 5. 7. Biên độ điện áp khi có DG.



Hình 5. 8. Hệ số mang tải trên các nhánh khi có DG.

Đối với trường hợp tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và dung lượng DG, bài toán tối ưu trở nên phức tạp hơn so với bài toán tái cấu hình. Bởi vì, đối với bài toán tái cấu hình, không gian tìm kiếm của các khóa điện là các số nguyên dương và có giới hạn. Điều này xảy ra tương tự với vị trí của các nguồn DG. Tuy nhiên, giá trị công suất phát tối ưu của DG là một biến số thực nên có không gian rất lớn trong khoảng giá trị giới hạn cho trước. Vì vậy, trong trường hợp này để đảm bảo thuật toán

RRA có thể tìm được kết quả tối ưu, số vòng lặp lớn nhất được cho bằng 500. Đặc tuyến hội tụ được cho ở Hình 5.9. Hình vẽ cho thấy, đặc tuyến hội tụ trung bình sau 20 lần tính toán độc lập tiệm cận với đặc tuyến hội tụ nhỏ nhất. Điều này cho thấy sự tính khả thi và ổn định của thuật toán trong quá trình giải bài toán tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất của các nguồn DG.



Hình 5.9. Đặc tuyến hội tụ của RRA khi tái cấu hình có xét DG.

Bảng 5.7. Kết quả tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất phát của các nguồn thủy điện nhỏ giảm tổn thất công suất.

Cấu hình	Ban đầu	Tái cấu hình	Tái cấu hình có xét DG
Khóa mở	257, 258, 259	257, 231, 143	29, 236, 142
P_{DG} (nút) [MW]	-	-	0.5567 (221), 1.6 (164), 2.6662 (35)
ΔP (kW)	81.5655	73.9053	24.2456
V_{min} (pu)	0.9717 (99)	0.9717 (99)	0.9898 (99)
V_{max} (pu)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
LBI	0.0044	0.0040	0.0011
$(I/I_{dm})_{max}$	0.2834	0.2834	0.1533
LBF	0.3082	0.8908	0.1652
Feeder _i (MVA)	[2.3206, 1.6560, 1.9853, 2.9559]	[2.3206, 2.7416, 0.8604, 2.9559]	[1.0340, 0.7789, 0.7728, 1.6376]
NSW	0	4	6

Cấu hình	Ban đầu	Tái cấu hình	Tái cấu hình có xét DG
Max of Fit	-	74.9624	25.2576
Min of Fit	-	73.9053	24.2456
Mean of Fit	-	74.2224	24.4737
STD	-	0.381583	0.363309
Mean of iteration	-	23.6	377.3
CPU time	-	107.8014	3354

5.3. Kết luận

Trong chương này, phương pháp tái cấu hình LĐPP sử dụng thuật toán tối ưu RRA đã được áp dụng trên LĐPP huyện Chư Prông để đáp ứng một số mục tiêu và điều kiện vận hành. Kết quả thực hiện như sau:

Với mức phụ tải hiện tại của LĐPP Chư Prông, tái cấu hình bằng RRA đã xác định cấu trúc vận hành mới giảm được 9.4% tổn thất công suất so với cấu trúc lưới hiện hữu.

Căn cứ vào thực trạng của LĐPP Chư Prông, phương pháp tái cấu hình đa mục tiêu sử dụng RRA đã xác định được cấu trúc vận hành tối ưu giảm được 8.9% tổn thất công suất và đảm bảo sự cân bằng tải giữa các XT với số lần chuyển khóa ít nhất. Kết quả thực hiện có thể được dùng để tham khảo khi cần bổ sung thêm một số khóa điện tối thiểu trên lưới để đáp ứng nhu cầu vận hành đa mục tiêu.

Phương pháp tái cấu hình kết hợp với bài toán tối ưu vị trí và công suất các nguồn điện phân tán đã xác định được vị trí kết nối và công suất phát tối ưu cho một số thủy điện nhỏ trên địa bàn vốn đang kết nối đến các máy biến áp 35 kV để nâng cao hiệu quả của LĐPP Chư Prông. Phương pháp và kết quả thực hiện có thể được dùng tham khảo khi có nhu cầu kết nối trực tiếp các nguồn thủy điện nhỏ đến LĐPP Chư Prông 22 kV.

Chương 6

KẾT LUẬN

6.1. Kết quả đạt được

Luận án trình bày phương pháp giải bài toán tái cấu hình LĐPP sử dụng các giải thuật tìm kiếm tối ưu. Do bởi được vận hành ở cấp điện áp thấp, dòng điện lớn nên LĐPP thường có tổn thất điện năng và độ sụt áp lớn. Vì vậy, giảm tổn thất điện năng trên LĐPP có ý nghĩa quan trọng trong vận hành LĐPP. Bài toán tái cấu hình LĐPP được thực hiện thông qua thay đổi trạng thái các khóa điện trên lưới điện được hình thành dựa trên đặc điểm của LĐPP có cấu hình mạch vòng nhưng được vận hành hình tia. Đây là một phương pháp hiệu quả để giảm tổn thất điện năng trên LĐPP vì ít phát sinh chi phí đầu tư trang thiết bị mà chỉ thực hiện các thao tác vận hành trên LĐPP. Tuy nhiên, bài toán tái cấu hình LĐPP là một bài toán phi tuyến, nhiều cực trị địa phương và các điều kiện ràng buộc. Việc nghiên cứu các phương pháp phù hợp, hiệu quả để giải bài toán có ý nghĩa quan trọng trong việc xác định được cấu hình vận hành tối ưu, thỏa mãn các mục tiêu vận hành. Ngoài ra, với sự phát triển mạnh mẽ của các loại nguồn điện phân tán, vốn được kết nối trực tiếp đến LĐPP, bài toán tái cấu hình không thể được giải mà không quan tâm đến các nguồn điện này. Dựa vào những yếu tố trên, luận án đã đề xuất một số giải pháp cụ thể như sau:

Phương pháp giải bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất: Do bởi bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất là mô đun lõi của các bài toán tái cấu hình, luận án đã đề xuất phương pháp giải bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất sử dụng các giải thuật heuristic tổng quát. Trong đó, các thuật toán heuristic tổng quát được cải tiến về phương pháp mã hóa các biến điều khiển để phù hợp với bài toán tái cấu hình LĐPP. Cụ thể, các biến điều khiển được mã hóa dưới dạng số nguyên chỉ vị trí các khóa điện trong các vòng kín trên LĐPP để giúp cho thuật toán tạo ra nhiều cấu hình lưới hợp lệ hơn so với các phương pháp mã hóa khác. Ngoài ra, phương pháp giới hạn không gian tìm kiếm của mỗi khóa điện được thực hiện thông qua phương pháp xác định các vòng cơ sở, giúp các thuật toán không bị bỏ sót nghiệm trong quá

trình tính toán. Bên cạnh đó, thông qua việc nghiên cứu đặc điểm của các thuật toán tối ưu, luận án đề xuất áp dụng giải thuật CSA để giải bài toán tái cấu hình LĐPP. Kết quả so sánh phương pháp sử dụng CSA với CGA, PSO và một số nghiên cứu khác được thực hiện trên các LĐPP có quy mô khác nhau cho thấy hiệu quả của phương pháp đề nghị. Trong đó, CSA hiệu quả hơn CGA và PSO ở giải pháp thu được trong quá trình giải bài toán tái cấu hình trên các LĐPP lớn.

Bài toán tái cấu hình LĐPP đa mục tiêu: Thay đổi cấu hình vận hành LĐPP không chỉ ảnh hưởng đến tổn thất công suất mà còn ảnh hưởng đến các thông số kỹ thuật khác của LĐPP. Vì vậy, luận án đã trình bày phương pháp tái cấu hình đa mục tiêu để tối ưu các mục tiêu vận hành LĐPP bao gồm cực tiểu tổn thất công suất, chỉ số cân bằng tải, chỉ số cân bằng giữa các xuất tuyến, độ lệch điện áp nút và số lần chuyển khóa. Phương pháp max-min được sử dụng để lựa chọn giải pháp thỏa hiệp giữa các hàm mục tiêu thành viên. Ngoài ra, để phong phú thêm các phương pháp giải bài toán tái cấu hình LĐPP, luận án đề xuất phương pháp giải bài toán tái cấu hình LĐPP dựa trên thuật toán RRA. Kết quả kiểm tra trên hai hệ thống 33 và 70 nút cho thấy được ưu điểm của RRA so với CSA và CGA. Trong đó, RRA có ưu điểm đáng chú ý là cải thiện được tốc độ tính toán trên các LĐPP lớn nhờ có khả năng hội tụ toàn cục sớm hơn so với CSA và CGA.

Đánh giá ảnh hưởng của vị trí và công suất DG đến bài toán tái cấu hình LĐPP: Tối ưu vị trí và công suất phát của các nguồn DG trên LĐPP cũng góp phần giảm tổn thất điện năng. Do đó, việc kết hợp giải bài toán tối ưu vị trí, công suất DG và bài toán tái cấu hình sẽ phát huy tối đa hiệu quả của của LĐPP. Tuy nhiên, khi kết hợp hai bài toán nhiều nghiên cứu đã dựa trên các thông số kỹ thuật của cấu hình LĐPP hình tia ban đầu để xác định trước vị trí kết nối DG, nhưng rõ ràng các thông số này có thể bị thay đổi khi cấu hình LĐPP được thay đổi trong quá trình tái cấu hình dẫn đến kết quả thu được không phải là giải pháp tối ưu nhất. Vì vậy, thông qua việc sử dụng thuật toán CSA giải bài toán tái cấu hình, bài toán tối ưu vị trí công suất DG và các bài toán tái cấu hình kết hợp với bài toán tối ưu vị trí và công suất DG cho thấy phương pháp tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG đồng thời thu được

cấu hình có tổn thất công suất đạt cực tiểu và chất lượng điện áp được cải thiện hơn so với các kỹ thuật giải bài toán tái cấu hình và tối ưu vị trí DG riêng rẽ hay kết hợp hai bài toán một cách không đầy đủ.

Bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất năng lượng có xét đến nguồn điện phân tán: Mặc dù bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất là mô đun quan trọng của các bài toán tái cấu hình, nhưng bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất năng lượng mới là bài toán thực tế của vận hành LĐPP. Để xác định được cấu hình vận hành cực tiểu tổn thất năng lượng trong khoảng thời gian khảo sát, thông thường phải sử dụng đến đồ thị phụ tải của mỗi nút tải trên LĐPP. Tuy nhiên, việc thu thập đồ thị phụ tải mỗi nút trong hệ thống là một công việc lớn đòi hỏi nhiều công sức nhất là đối với các LĐPP không được trang bị đồng bộ các thiết bị thu thập đồ thị phụ tải. Ngoài ra, đối với các LĐPP có chi phí chuyển tải tải cao khi thay đổi trạng thái các khóa điện do LĐPP chưa được trang bị các khóa điện điều khiển từ xa, thời gian cắt điện lớn thì việc thay đổi nhiều cấu hình lưới trong khoảng thời gian khảo sát sẽ không mang lại hiệu quả cao. Vì vậy, luận án đã đề xuất phương pháp tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất năng lượng trong thời đoạn khảo sát áp dụng cho các LĐPP có đặc điểm trên. Ưu điểm của phương pháp đề xuất là sử dụng công suất trung bình của phụ tải và công suất phát trung bình của nguồn DG trong thời đoạn khảo sát để tìm cấu hình vận hành không đổi trong thời đoạn khảo sát có tổn thất năng lượng bé nhất. Kết quả so sánh giữa phương pháp sử dụng công suất trung bình của phụ tải và công suất phát trung bình của DG trong thời đoạn khảo sát và phương pháp sử dụng đồ thị phụ tải và đồ thị công suất phát của DG cho thấy hoàn toàn có thể xác định được cấu hình vận hành tối ưu giảm tổn thất năng lượng dựa trên công suất phụ tải trung bình và công suất DG trung bình mà không cần thu thập đồ thị phụ tải của các nút tải, đồ thị phát của các DG trong LĐPP.

Về mặt thực tiễn, các phương pháp nghiên cứu có khả năng áp dụng vào các LĐPP thực tế thông qua các kết quả kiểm tra trên LĐPP Chư Prông. Cụ thể, sau khi thực hiện tái cấu hình giảm tổn thất công suất, đã xác định được cấu hình vận hành tối ưu giúp giảm 9.4% tổn thất công suất so với cấu hình lưới hiện hữu. Ngoài ra, căn

cứ vào hiện trạng của LĐPP Chư Prông do chưa được lắp đặt nhiều khóa điện trên toàn hệ thống cũng như xét đến sự cân bằng của bốn xuất tuyến trong hệ thống, luận án đã đề xuất giải pháp tái cấu hình đa mục tiêu nhằm giảm số vị trí phải lắp thêm khóa điện cũng như đảm bảo sự cân bằng của các xuất tuyến. Qua đó, đã xác định được cấu hình vận hành giảm được 8.9% tổn thất công suất so với cấu hình lưới hiện hữu bằng việc lắp đặt thêm một khóa điện trong hệ thống. Bên cạnh đó, do bởi trên địa bàn có một số thủy điện nhỏ đang kết nối đến các máy biến áp 35 kV, điều này chưa phát huy tối đa hiệu quả của các nguồn DG này. Vì vậy, luận án đã đề xuất giải pháp xác định được vị trí kết nối tối ưu và công suất phát tối ưu vào LĐPP Chư Prông cho các DG này để nâng cao hiệu quả của LĐPP Chư Prông. Phương pháp và kết quả thực hiện có thể được dùng tham khảo khi quy hoạch các điểm kết nối một số DG hiện hữu vào LĐPP Chư Prông 22 kV.

6.2. Hướng phát triển của luận án

Sử dụng các phương pháp tái cấu hình đã nghiên cứu giải một số bài toán trên LĐPP như sau:

- Bài toán tái cấu hình LĐPP nâng cao độ tin cậy cung cấp điện.
- Bài toán khôi phục cung cấp điện thông qua thao tác đóng mở các khóa điện trên LĐPP có cấu trúc mạch vòng.
- Bài toán tối ưu vị trí và công suất phát của các loại DG trên LĐPP đáp ứng các mục tiêu kinh tế và kỹ thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. R. Jordehi, “Optimisation of electric distribution systems: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 1088–1100, 2015.
- [2] S. Gopiya Naik, D. K. Khatod, and M. P. Sharma, “Optimal allocation of combined DG and capacitor for real power loss minimization in distribution networks,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 53, pp. 967–973, 2013.
- [3] T. V. Anh, *Các giải thuật tái cấu hình lưới điện phân phối*. Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2014.
- [4] A. Merlin and H. Back, “Search for a minimal loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system,” *Proceeding 5th power Syst. Comput. conf (PSCC), Cambridge, UK*, vol. 1–18, 1975.
- [5] S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, and S. S. H. Lee, “Distribution feeder reconfiguration for loss reduction,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 3, no. 3, pp. 1217–1223, 1988.
- [6] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, “Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 4, no. 2, pp. 1492–1498, 1989.
- [7] J. Z. Zhu, “Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refined genetic algorithm,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 62, no. 1, pp. 37–42, 2002.
- [8] R. T. Ganesh Vulasala, Sivanagaraju Sirigiri, “Feeder Reconfiguration for Loss Reduction in Unbalanced Distribution System Using Genetic Algorithm,” *Int. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 12, pp. 754–762, 2009.
- [9] P. Subburaj, K. Ramar, L. Ganesan, and P. Venkatesh, “Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction using Genetic Algorithm,” *J. Electr. Syst.*, vol. 2, no. 4, pp. 198–207, 2006.
- [10] Chidanandappa R., T. Ananthapadmanabha, and R. H.C., “Genetic Algorithm Based Network Reconfiguration in Distribution Systems with Multiple DGs

- for Time Varying Loads,” *Procedia Technol.*, vol. 21, pp. 460–467, 2015.
- [11] D.-L. Duan, X.-D. Ling, X.-Y. Wu, and B. Zhong, “Reconfiguration of distribution network for loss reduction and reliability improvement based on an enhanced genetic algorithm,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 64, pp. 88–95, 2015.
- [12] K. K. Kumar, N. Venkata, and S. Kamakshaiah, “FDR particle swarm algorithm for network reconfiguration of distribution systems,” *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 36, no. 2, pp. 174–181, 2012.
- [13] T. M. Khalil and A. V Gorpinich, “Reconfiguration for Loss Reduction of Distribution Systems Using Selective Particle Swarm Optimization,” *Int. J. Multidiscip. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 6, pp. 16–21, 2012.
- [14] S. F. Mekhamer, F. M. Mohammed, and M. a L. Badr, “A Modified Particle Swarm Technique for Distribution Systems Reconfiguration,” *online J. Electron. Electr. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 121–129.
- [15] S. Sivanagaraju, J. V. Rao, and P. S. Raju, “Discrete Particle Swarm Optimization to Network Reconfiguration for Loss Reduction and Load Balancing,” *Electr. Power Components Syst.*, vol. 36, no. 5, pp. 513–524, 2008.
- [16] M. Sedighzadeh, M. Dakhem, M. Sarvi, and H. H. Kordkheili, “Optimal reconfiguration and capacitor placement for power loss reduction of distribution system using improved binary particle swarm optimization,” *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 5, no. 1, p. 73, 2014.
- [17] L. Li and C. Xuefeng, “Distribution Network Reconfiguration Based on Niche Binary Particle Swarm Optimization Algorithm,” *Energy Procedia*, vol. 17, pp. 178–182, 2012.
- [18] H. Fathabadi, “Power distribution network reconfiguration for power loss minimization using novel dynamic fuzzy c-means (dFCM) clustering based ANN approach,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 78, pp. 96–107, 2016.
- [19] E. Mahboubi-Moghaddam, M. R. Narimani, M. H. Khooban, A. Azizivahed, and M. Javid sharifi, “Multi-Objective Distribution feeder reconfiguration to

- improve transient stability, and minimize power loss and operation cost using an enhanced evolutionary algorithm at the presence of distributed generations,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 76, pp. 35–43, 2016.
- [20] H. Ahmadi and J. R. Martí, “Minimum-loss network reconfiguration: A minimum spanning tree problem,” *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 1, pp. 1–9, 2015.
- [21] S. Ghasemi and J. Moshtagh, “A novel codification and modified heuristic approaches for optimal reconfiguration of distribution networks considering losses cost and cost benefit from voltage profile improvement,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 25, pp. 360–368, 2014.
- [22] M. E. Baran and F. F. Wu, “Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 4, no. 2, pp. 1401–1407, 1989.
- [23] D. Das, “A fuzzy multiobjective approach for network reconfiguration of distribution systems,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 21, no. 1, pp. 202–209, 2006.
- [24] K. Prasad, R. Ranjan, N. C. Sahoo, and a Chaturvedi, “Optimal reconfiguration of radial distribution systems using a fuzzy mutated genetic algorithm,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 20, no. 2, pp. 1211–1213, 2005.
- [25] T. Niknam, “An efficient hybrid evolutionary algorithm based on PSO and ACO for distribution feeder reconfiguration,” *Eur. Trans. Electr. POWER*, vol. 20, pp. 575–590, 2009.
- [26] T. Niknam, “An efficient hybrid evolutionary algorithm based on PSO and HBMO algorithms for multi-objective Distribution Feeder Reconfiguration,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 8, pp. 2074–2082, 2009.
- [27] H. D. Dehnavi and S. Esmaili, “A new multiobjective fuzzy shuffled frog-leaping algorithm for optimal reconfiguration of radial distribution systems in the presence of reactive power compensators,” *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 21, no. 3, pp. 864–881, 2013.

- [28] H. B. Tolabi, M. H. Ali, Shahrin Bin Md Ayob, and M. Rizwan, “Novel hybrid fuzzy-Bees algorithm for optimal feeder multi-objective reconfiguration by considering multiple-distributed generation,” *Energy*, vol. 71, pp. 507–515, 2014.
- [29] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, “Distributed generation: A definition,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 57, no. 3, pp. 195–204, 2001.
- [30] P. N. Vovos, A. E. Kiprakis, A. R. Wallace, and G. P. Harrison, “Centralized and distributed voltage control: Impact on distributed generation penetration,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 1, pp. 476–483, 2007.
- [31] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, and R. C. Bansal, “An optimal investment planning framework for multiple distributed generation units in industrial distribution systems,” *Appl. Energy*, vol. 124, pp. 62–72, 2014.
- [32] H. Doagou-Mojarrad, G. B. Gharehpetian, H. Rastegar, and J. Olamaei, “Optimal placement and sizing of DG (distributed generation) units in distribution networks by novel hybrid evolutionary algorithm,” *Energy*, vol. 54, pp. 129–138, 2013.
- [33] V. V. S. N. Murty and A. Kumar, “Optimal placement of DG in radial distribution systems based on new voltage stability index under load growth,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 69, pp. 246–256, 2015.
- [34] I. a. Mohamed and M. Kowsalya, “Optimal size and siting of multiple distributed generators in distribution system using bacterial foraging optimization,” *Swarm Evol. Comput.*, vol. 15, pp. 58–65, 2014.
- [35] F. Ugranli and E. Karatepe, “Multiple-distributed generation planning under load uncertainty and different penetration levels,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 46, no. 1, pp. 132–144, 2013.
- [36] P. Kayal and C. K. Chanda, “Placement of wind and solar based DGs in distribution system for power loss minimization and voltage stability improvement,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 53, pp. 795–809, 2013.
- [37] A. Ameli, B. Shahab, K. Farid, and H. Mahmood-Reza, “A Multiobjective

- Particle Swarm Optimization for Sizing and Placement of DGs from DG Owner's and Distribution Company's Viewpoints," *IEEE Trans. POWER Deliv.*, vol. 29, no. 4, pp. 1831–1840, 2014.
- [38] S. Tan, J. X. Xu, and S. K. Panda, "Optimization of distribution network incorporating distributed generators: An integrated approach," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 3, pp. 2421–2432, 2013.
- [39] R. S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. V. L. Narasimham, "Power Loss Minimization in Distribution System Using Network Reconfiguration in the Presence of Distributed Generation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–9, 2013.
- [40] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, and D. P. Kothari, "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 461–472, 2014.
- [41] H. Đ. Lộc, "Ứng dụng giải thuật di truyền tái cấu trúc lưới điện," *Tạp chí phát triển KH&CN*, vol. 15, no. 2, pp. 17–26, 2012.
- [42] T. Q. Đ. Khoa, P. T. T. Bình, and N. M. Hiếu, "Tái cấu trúc lưới phân phối 3 pha để giảm tổn thất điện năng bằng các giải thuật meta – heuristic," *Tạp chí phát triển KH&CN*, vol. 2, no. 10, 2007.
- [43] T. Q. D. Khoa and P. T. T. Bình, "A Hybrid Ant Colony Search Based Reconfiguration of Distribution Network for Loss Reduction," in *2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela*, 2006.
- [44] D. Zhang, Z. Fu, and L. Zhang, "An improved TS algorithm for loss-minimum reconfiguration in large-scale distribution systems," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 77, no. 5–6, pp. 685–694, 2007.
- [45] H. Li, W. Mao, A. Zhang, and C. Li, "An improved distribution network reconfiguration method based on minimum spanning tree algorithm and heuristic rules," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 82, pp. 466–473, 2016.

- [46] A. Zidan and E. F. El-Saadany, "Distribution system reconfiguration for energy loss reduction considering the variability of load and local renewable generation," *Energy*, vol. 59, pp. 698–707, 2013.
- [47] A. E. Milani and M. R. Haghifam, "An evolutionary approach for optimal time interval determination in distribution network reconfiguration under variable load," *Math. Comput. Model.*, vol. 57, no. 1–2, pp. 68–77, 2013.
- [48] B.-H. Cho, K.-H. Ryu, J.-H. Park, W.-S. Moon, S.-M. Cho, and J.-C. Kim, "A Selecting Method of Optimal Load on Time Varying Distribution System for Network Reconfiguration considering DG," *J. Int. Counc. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 166–170, 2012.
- [49] B. Arandian, R. Hooshmand, and E. Gholipour, "Decreasing activity cost of a distribution system company by reconfiguration and power generation control of DGs based on shuffled frog leaping algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 61, pp. 48–55, 2014.
- [50] A. E. Milani and M. R. Haghifam, "A new probabilistic approach for distribution network reconfiguration: Applicability to real networks," *Math. Comput. Model.*, vol. 57, no. 1–2, pp. 169–179, 2013.
- [51] R. Taleski and D. Rajcic, "Distribution network reconfiguration for energy loss reduction," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 12, no. 1, pp. 398–406, 1997.
- [52] H. R. Esmailian and R. Fadaeinedjad, "Energy Loss Minimization in Distribution Systems Utilizing an Enhanced Reconfiguration Method Integrating Distributed Generation," *IEEE Syst. J.*, pp. 1–10, 2014.
- [53] N. D. R. Sarma, V. C. Prasad, K. S. P. Rao, and V. Sankar, "A new network reconfiguration technique for service restoration in distribution networks," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 9, no. 4, pp. 1936–1942, 1994.
- [54] D. Shirmohammadi, "Service Restoration in Distribution Networks," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 7, no. 2, pp. 952–958, 1992.
- [55] S. P. Singh, G. S. Raju, G. K. Rao, and M. Afsari, "A heuristic method for feeder reconfiguration and service restoration in distribution networks," *Int. J.*

- Electr. Power Energy Syst.*, vol. 31, no. 7–8, pp. 309–314, 2009.
- [56] W. M. Lin and H. C. Chin, “A new approach for distribution feeder reconfiguration for loss reduction and service restoration,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 13, no. 3, pp. 870–875, 1998.
- [57] A. Augugliaro, L. Dusonchet, and E. Riva Sanseverino, “Multiobjective service restoration in distribution networks using an evolutionary approach and fuzzy sets,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 22, no. 2, pp. 103–110, 2000.
- [58] F. Wang *et al.*, “A Multi-Stage Restoration Method for Medium-Voltage Distribution System With DGs,” pp. 1–10, 2016.
- [59] M. R. Nayak, “Optimal Feeder Reconfiguration of Distribution System with Distributed Generation Units using HC-ACO,” *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 6, no. 1, pp. 107–128, 2014.
- [60] A. Kavousi-Fard, T. Niknam, and A. Khosravi, “Multi-objective probabilistic distribution feeder reconfiguration considering wind power plants,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 55, pp. 680–691, 2014.
- [61] A. Asrari, T. Wu, and S. Lotfifard, “The Impacts of Distributed Energy Sources on Distribution Network Reconfiguration,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, pp. 1–8, 2016.
- [62] R. Syahputra, “FUZZY MULTI-OBJECTIVE APPROACH FOR THE IMPROVEMENT OF DISTRIBUTION NETWORK EFFICIENCY BY CONSIDERING DG,” *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 57–68, 2012.
- [63] J. E. Mendoza, M. E. López, C. a. Coello Coello, and E. a. López, “Microgenetic multiobjective reconfiguration algorithm considering power losses and reliability indices for medium voltage distribution network,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 3, no. 9, p. 825, 2009.
- [64] M. R. Narimani, V. A. Azizi, R. Azizipanah-Abarghooee, and M. Javidsharifi, “Enhanced gravitational search algorithm for multi-objective distribution

- feeder reconfiguration considering reliability, loss and operational cost,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 8, no. 1, pp. 55–69, 2014.
- [65] M.-R. Haghifam, J. Olamaei, and M.-R. Andervazh, “Adaptive multi-objective distribution network reconfiguration using multi-objective discrete particles swarm optimisation algorithm and graph theory,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 7, no. 12, pp. 1367–1382, 2013.
- [66] N. G. Paterakis *et al.*, “Multi-Objective Reconfiguration of Radial Distribution Systems Using Reliability Indices,” *IEEE Trans. Power Syst.*, pp. 1–15, 2015.
- [67] P. Z. P. Zhang and W. L. W. Li, “Reliability-oriented distribution network reconfiguration,” *Innov. Smart Grid Technol. (ISGT), 2010*, pp. 1–6, 2010.
- [68] J. Mendoza, M. López, and E. López, “Multiobjective Reconfiguration Considering Power Losses and Reliability Index for Distribution Network,” *Congr. IEEE ANDESCON. ...*, 2008.
- [69] J. C. Lopez, M. Lavorato, and M. J. Rider, “Optimal reconfiguration of electrical distribution systems considering reliability indices improvement,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 78, pp. 837–845, 2016.
- [70] A. Kavousi-Fard and T. Niknam, “Optimal distribution feeder reconfiguration for reliability improvement considering uncertainty,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 29, no. 3, pp. 1344–1353, 2014.
- [71] N. S. Vadivoo and S. M. R. Slochanal, “Distribution System Restoration Using Genetic Algorithm with Distributed Generation,” *Mod. Appl. Sci.*, vol. 3, no. 4, pp. 98–110, 2009.
- [72] K. Nara, A. Shiose, M. Kitagawa, and T. Ishihara, “Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum re-configuration,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 7, no. 3, pp. 1044–1051, 1992.
- [73] R. T. F. Ah King, B. Radha, and H. C. S. Rughooputh, “A real-parameter genetic algorithm for optimal network reconfiguration,” *IEEE Int. Conf. Ind. Technol. 2003*, vol. 0, no. 6, pp. 54–59, 2003.
- [74] Y. Qin and J. Wang, “Distribution Network Reconfiguration Based on Particle

- Clonal Genetic Algorithm,” *J. Comput.*, vol. 4, no. 9, pp. 813–820, 2009.
- [75] E. Ramos and A. Expósito, “Path-based distribution network modeling: application to reconfiguration for loss reduction,” *Power Syst. IEEE ...*, vol. 20, no. 2, pp. 556–564, 2005.
- [76] W.-M. Lin, F.-S. Cheng, and M.-T. Tsay, “Distribution feeder reconfiguration with refined genetic algorithm,” *IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib.*, vol. 147, no. 6, p. 349, 2000.
- [77] J. Mendoza, R. López, D. Morales, E. López, P. Dessante, and R. Moraga, “Minimal loss reconfiguration using genetic algorithms with restricted population and addressed operators: Real application,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 948–954, 2006.
- [78] J.-H. C. J.-H. Choi and J.-C. K. J.-C. Kim, “Network reconfiguration at the power distribution system with dispersed generations for loss reduction,” *2000 IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet. Conf. Proc. (Cat. No.00CH37077)*, vol. 4, no. c, pp. 2363–2367, 2000.
- [79] N. Gupta, a. Swarnkar, K. R. Niazi, and R. C. Bansal, “Multi-objective reconfiguration of distribution systems using adaptive genetic algorithm in fuzzy framework,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 4, no. 12, p. 1288, 2010.
- [80] S. Sivanagaraju, Y. Srikanth, and E. J. Babu, “An Efficient Genetic Algorithm for Loss Minimum Distribution System Reconfiguration,” *Electr. Power Components Syst.*, vol. 34, no. 3, pp. 249–258, 2006.
- [81] J. Zhu, *Optimization of power system operation*. A JOHN WILEY & SONS, INC, 2013.
- [82] T. V. Anh, “Hệ chuyên gia mờ vận hành hệ thống điện phân phối,” Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh, 2004.
- [83] S. K. Goswami and S. K. Basu, “A New Algorithm for the Reconfiguration of Distribution Feeders for Loss Minimization,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 7, no. 3, pp. 1484–1491, 1992.
- [84] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, First edit.

Cambridge, MA: MIT Press, 1975.

- [85] R. Eberhart and J. Kennedy, “A new optimizer using particle swarm theory,” in *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 1995, pp. 39–43.
- [86] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, and S. Saryazdi, “GSA: A Gravitational Search Algorithm,” *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 179, no. 13, pp. 2232–2248, 2009.
- [87] P. Civicioglu, “Backtracking Search Optimization Algorithm for numerical optimization problems,” *Appl. Math. Comput.*, vol. 219, no. 15, pp. 8121–8144, 2013.
- [88] X. S. Yang and S. Deb, “Cuckoo search via Lévy flights,” in *2009 World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing, NABIC 2009 - Proceedings*, 2009, pp. 210–214.
- [89] T. T. Nguyen, D. N. Vo, and A. V. Truong, “Cuckoo search algorithm for short-term hydrothermal scheduling,” *Appl. Energy*, vol. 132, pp. 276–287, 2014.
- [90] A. Y. Abdelaziz, F. M. Mohamed, S. F. Mekhamer, and M. A. L. Badr, “Distribution system reconfiguration using a modified Tabu Search algorithm,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 80, no. 8, pp. 943–953, 2010.
- [91] E. Dolatdar, S. Soleymani, and B. Mozafari, “A New Distribution Network Reconfiguration Approach using a Tree Model,” *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 10, 2009.
- [92] V. V. Minh, “Sử dụng thuật giải di truyền ga để tái cấu trúc lưới điện,” HCMC University of Technology and Education, 2013.
- [93] A. Y. Abdelaziz, F. M. Mohammed, S. F. Mekhamer, and M. A. L. Badr, “Distribution Systems Reconfiguration using a modified particle swarm optimization algorithm,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 79, pp. 1521–1530, 2009.
- [94] R. L. Haupt and S. E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*, Second. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- [95] A. Mohamed Imran and M. Kowsalya, “A new power system reconfiguration

- scheme for power loss minimization and voltage profile enhancement using Fireworks Algorithm,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 62, pp. 312–322, 2014.
- [96] R. S. Rao, S. Venkata, L. Narasimham, M. R. Raju, and a S. Rao, “Optimal Network Reconfiguration of Large-Scale Distribution System Using Harmony Search Algorithm,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, no. 3, pp. 1080–1088, 2011.
- [97] S. H. Mirhoseini, S. M. Hosseini, M. Ghanbari, and M. Ahmadi, “A new improved adaptive imperialist competitive algorithm to solve the reconfiguration problem of distribution systems for loss reduction and voltage profile improvement,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 55, pp. 128–143, 2014.
- [98] H.-D. Chiang and R. Jean-Jumeau, “Optimal network reconfigurations in distribution systems: Part 2: Solution algorithms and numerical results,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 5, no. 3, pp. 1568–1574, 1990.
- [99] M. Sedighzadeh, S. Ahmadi, and M. Sarvi, “An Efficient Hybrid Big Bang–Big Crunch Algorithm for Multi-objective Reconfiguration of Balanced and Unbalanced Distribution Systems in Fuzzy Framework,” *Electr. Power Components Syst.*, vol. 41, no. 1, pp. 75–99, 2013.
- [100] D. Sudha Rani, N. Subrahmanyam, and M. Sydulu, “Multi-Objective Invasive Weed Optimization – An application to optimal network reconfiguration in radial distribution systems,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 73, pp. 932–942, 2015.
- [101] K. Nekooei, M. M. Farsangi, H. Nezamabadi-pour, and K. Y. Lee, “An improved multi-objective harmony search for optimal placement of DGs in distribution systems,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 1, pp. 557–567, 2013.
- [102] M. Haghifam, H. Falaghi, and O. Malik, “Risk-based distributed generation placement,” *Gener. Transm. Distrib. IET*, vol. 2, no. 2, pp. 252–260, 2008.

- [103] D. Montana and T. Hussain, "Adaptive reconfiguration of data networks using genetic algorithms," *Appl. Soft Comput.*, vol. 4, no. 4, pp. 433–444, 2004.
- [104] J. Olamaei, T. Niknam, and G. Gharehpetian, "Application of particle swarm optimization for distribution feeder reconfiguration considering distributed generators," *Appl. Math. Comput.*, vol. 201, no. 1–2, pp. 575–586, 2008.
- [105] Y. K. Wu, C. Y. Lee, L. C. Liu, and S. H. Tsai, "Study of reconfiguration for the distribution system with distributed generators," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 3, pp. 1678–1685, 2010.
- [106] F. Merrikh-Bayat, "The runner-root algorithm: A metaheuristic for solving unimodal and multimodal optimization problems inspired by runners and roots of plants in nature," *Appl. Soft Comput.*, vol. 33, pp. 292–303, 2015.
- [107] F. Glover and K. Sörensen, "Metaheuristics," *Scholarpedia*, vol. 10, no. 4, p. 6532, 2015.
- [108] K. Sörensen, "Metaheuristics-the metaphor exposed," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 22, no. 1, pp. 3–18, 2015.
- [109] X.-S. Yang, *Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2010.
- [110] N. Gupta, A. Swarnkar, and K. R. Niazi, "Distribution network reconfiguration for power quality and reliability improvement using Genetic Algorithms," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 54, pp. 664–671, 2014.
- [111] J. C. Cebrian and N. Kagan, "Reconfiguration of distribution networks to minimize loss and disruption costs using genetic algorithms," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 80, no. 1, pp. 53–62, 2010.
- [112] T. T. Nguyen and A. V. Truong, "Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 68, pp. 233–242, 2015.
- [113] T. T. Nguyen, A. V. Truong, and T. A. Phung, "A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network," *Int. J. Electr. Power Energy*

- Syst.*, vol. 78, pp. 801–815, 2016.
- [114] T. Niknam and E. Azad Farsani, “A hybrid self-adaptive particle swarm optimization and modified shuffled frog leaping algorithm for distribution feeder reconfiguration,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 23, no. 8, pp. 1340–1349, 2010.
- [115] E. M. Carreno, R. Romero, and A. Padilha-Feltrin, “An efficient codification to solve distribution network reconfiguration for loss reduction problem,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 23, no. 4, pp. 1542–1551, 2008.
- [116] C.-T. Su, C.-F. Chang, and J.-P. Chiou, “Distribution network reconfiguration for loss reduction by ant colony search algorithm,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 75, no. 2–3, pp. 190–199, 2005.
- [117] J. Olamaei, T. Niknam, and S. B. Arefi, “Distribution feeder reconfiguration for loss minimization based on modified honey bee mating optimization algorithm,” *Energy Procedia*, vol. 14, no. 2, pp. 304–311, 2012.
- [118] S. Teimourzadeh and K. Zare, “Application of binary group search optimization to distribution network reconfiguration,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 62, pp. 461–468, 2014.
- [119] H. Yang, Y. Peng, and N. Xiong, “Gradual approaching method for distribution network dynamic reconfiguration,” *Proc. - 2008 Work. Power Electron. Intell. Transp. Syst. PEITS 2008*, pp. 257–260, 2008.
- [120] D. P. Bernardon, A. P. C. Mello, L. L. Pfitscher, L. N. Canha, A. R. Abaide, and A. A. B. Ferreira, “Real-time reconfiguration of distribution network with distributed generation,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 107, pp. 59–67, 2014.
- [121] A. Asrari, S. Lotfifard, and M. Ansari, “Reconfiguration of Smart Distribution Systems With Time Varying Loads Using Parallel Computing,” *IEEE Trans. Smart Grid*, pp. 1–11, 2016.
- [122] A. Ameli, A. Ahmadifar, M.-H. Shariatkhah, M. Vakilian, and M.-R. Haghifam, “A dynamic method for feeder reconfiguration and capacitor switching in smart distribution systems,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*,

vol. 85, pp. 200–211, 2017.

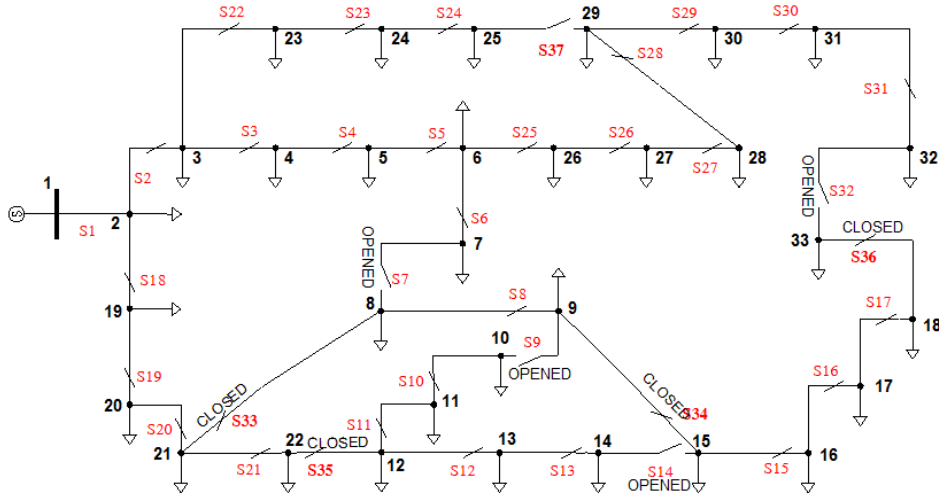
- [123] M. Chakravorty and D. Das, “Voltage stability analysis of radial distribution networks,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 23, no. 2, pp. 129–135, 2001.
- [124] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez, and R. J. Thomas, “MATPOWER: Steady-State Operations, Planning, and Analysis Tools for Power Systems Research and Education,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 26, no. 1, pp. 12–19, 2011.
- [125] Điện lực Chư Prông, Công ty Điện lực Gia Lai

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

- [1] T. T. Nguyen, T. T. Nguyen, A. V. Truong, Q. T. Nguyen, and T. A. Phung, “Multi-objective electric distribution network reconfiguration solution using runner-root algorithm,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 52, pp. 93–108, 2017 (SCIE, IF=3.541).
- [2] T. T. Nguyen, A. V. Truong, and T. A. Phung, “A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 78, pp. 801–815, 2016. (SCIE, IF=3.289)
- [3] T. T. Nguyen and A. V. Truong, “Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 68, pp. 233–242, 2015. (SCIE, IF=3.289)
- [4] N. T. Thuan, P. N. Hiep, T. V. Anh, P. A. Tuan, and N. T. Thang, “A Backtracking Search Algorithm for Distribution Network Reconfiguration Problem,” in *AETA 2015: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences, Lecture Notes in Electrical Engineering 371*, 2015, pp. 223–230.
- [5] T. T. Nguyen and A. V. Truong, “Distribution system reconfiguration considering distributed generation for loss reduction using gravitational search algorithm,” *Journal of Science and Technology (Technical Universities)*, vol. 101, pp. 12–19, 2014.
- [6] N. T. Thuan, T. N. Trieu, T. V. Anh, and D. T. Long, “Service restoration in radial distribution system using continuous genetic algorithm,” in *Hội nghị khoa học quốc tế về Công nghệ cao và Phát triển bền vững 2016 – ICATSD2016*, 2016.

PHỤ LỤC

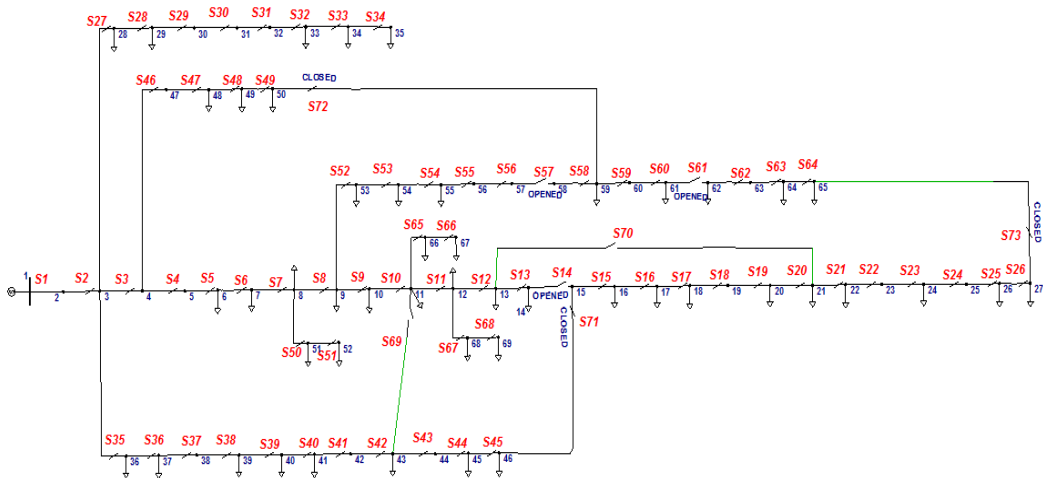
Phụ lục 1. Kết quả tái cấu hình LDPP 33 nút, 69 nút, 119 nút và LDPP Chư Prông sử dụng phần mềm PSS/ADEPT



Hình 1-1. Trạng thái các khóa điện sau khi tái cấu hình trên LDPP 33 nút.

Bảng 1-1. Tồn thất công suất trước và sau khi tái cấu hình trên LDPP 33 nút.

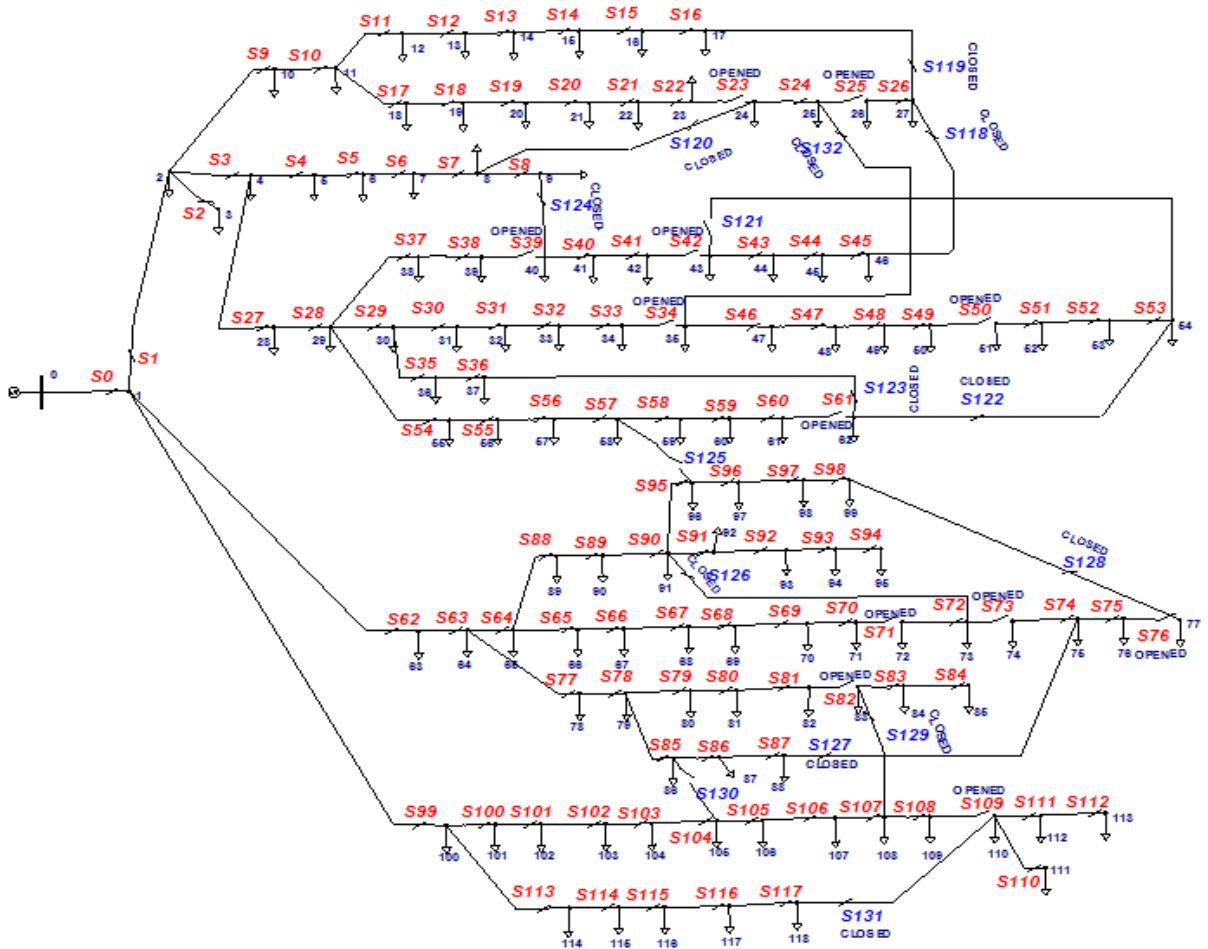
Financial:			Annual Energy Value	Demand Value
	P (kW)	Q (kvar)		
Initial Losses	202.70	135.14	106,539	0
Final Losses	139.55	102.30	73,347	0
Savings	63.15	32.84	33,192	0



Hình 1-2. Trạng thái các khóa điện sau khi tái cấu hình trên LDPP 69 nút.

Bảng 1-2. Tổng thất công suất trước và sau khi tái cấu hình trên LDPP 69 nút.

Financial:			Annual Energy Value	Demand Value
	P(kW)	Q (kvar)		
Initial Losses	224.96	102.14	118,239	0
Final Losses	98.59	92.04	51,819	0
Savings	126.37	10.10	66,420	0



Hình 1-3. Trạng thái các khóa điện sau khi tái cấu hình trên LDPP 119 nút.

Bảng 1-3. Tổng thất công suất trước và sau khi tái cấu hình trên LDPP 119 nút.

Financial:			Annual Energy Value	Demand Value
	P(kW)	Q (kvar)		
Initial Losses	1,282.23	1,055.56	673,940	0
Final Losses	881.40	782.09	463,264	0
Savings	400.83	273.47	210,676	0

Bảng 1-4. Tổn thất công suất trước và sau khi tái cấu hình trên LDPP Chư Prông.

Financial:	P(kW)	Q (kvar)	Annual Energy Value	Demand Value
Initial Losses	84.09	93.92	44,198	0
Final Losses	77.03	95.48	40,487	0
Savings	7.06	-1.56	3,711	0

Beginning TOPO analysis...

Iteration1

Switch FCO_257 [T270-T271] closed.

Switch FCO_257 [T270-T271] opened.

New system loss: 84.09 kW 93.92 kvar

Iteration2

Switch DCLCT T.Hung [T37-T148/62] closed.

Switch FCO_QHoach1 [T148-T148/1] opened.

New system loss: 83.01 kW 97.58 kvar

Iteration3

Switch DCLCT226 [T226-T150-F19] closed.

Switch DCL_143 [T148-NODE3] opened.

New system loss: 80.06 kW 101.89 kvar

Iteration4

Switch FCO_257 [T270-T271] closed.

Switch FCO_257 [T270-T271] opened.

New system loss: 80.06 kW 101.89 kvar

Iteration5

Switch FCO_QHoach1 [T148-T148/1] closed.

Switch FCO_231 [T04-T05-F18] opened.

New system loss: 77.03 kW 95.48 kvar

Iteration6

Switch DCL_143 [T148-NODE3] closed.

Switch DCL_143 [T148-NODE3] opened.

New system loss: 77.03 kW 95.48 kvar

Iteration7

Switch FCO_257 [T270-T271] closed.

Switch FCO_257 [T270-T271] opened.

New system loss: 77.03 kW 95.48 kvar

Iteration8

Switch FCO_231 [T04-T05-F18] closed.

Switch FCO_231 [T04-T05-F18] opened.

New system loss: 77.03 kW 95.48 kvar

Initial system loss: 84.09 kW 93.92 kvar

Final system loss: 77.03 kW 95.48 kvar

Phụ lục 2. Thông số phụ tải LDPP 33 nút

Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)
1	0	0	10	0.06	0.02	19	0.09	0.04	8	0.06	0.02
2	0.1	0.06	11	0.045	0.03	20	0.09	0.04	29	0.12	0.07
3	0.09	0.04	12	0.06	0.035	21	0.09	0.04	30	0.2	0.6
4	0.12	0.08	13	0.06	0.035	22	0.09	0.04	31	0.15	0.07
5	0.06	0.03	14	0.12	0.08	23	0.09	0.05	32	0.21	0.1
6	0.06	0.02	15	0.06	0.01	24	0.42	0.2	33	0.06	0.04
7	0.2	0.1	16	0.06	0.02	25	0.42	0.2			
8	0.2	0.1	17	0.06	0.02	26	0.06	0.025			
9	0.06	0.02	18	0.09	0.04	27	0.06	0.025			

Phụ lục 3. Thông số đường dây LDPP 33 nút

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)	I_{rate} (A)	Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)	I_{rate} (A)
1	2	0.0922	0.047	1	255	20	21	0.4095	0.4784	1	255
2	3	0.493	0.2512	1	255	21	22	0.7089	0.9373	1	255
3	4	0.3661	0.1864	1	255	3	23	0.4512	0.3084	1	255
4	5	0.3811	0.1941	1	255	23	24	0.898	0.7091	1	255
5	6	0.819	0.707	1	255	24	25	0.8959	0.7071	1	255
6	7	0.1872	0.6188	1	255	6	26	0.2031	0.1034	1	255
7	8	0.7115	0.2351	1	255	26	27	0.2842	0.1447	1	255
8	9	1.0299	0.74	1	255	27	28	1.0589	0.9338	1	255
9	10	1.044	0.74	1	255	28	29	0.8043	0.7006	1	255
10	11	0.1967	0.0651	1	255	29	30	0.5074	0.2585	1	255
11	12	0.3744	0.1298	1	255	30	31	0.9745	0.9629	1	255
12	13	1.468	1.1549	1	255	31	32	0.3105	0.3619	1	255
13	14	0.5416	0.7129	1	255	32	33	0.3411	0.5302	1	255
14	15	0.5909	0.526	1	255	21	8	2	2	1	255
15	16	0.7462	0.5449	1	255	9	15	2	2	1	255
16	17	1.2889	1.721	1	255	12	22	2	2	1	255
17	18	0.732	0.5739	1	255	18	33	0.5	0.5	1	255
2	19	0.164	0.1565	1	255	25	29	0.5	0.5	1	255
19	20	1.5042	1.3555	1	255						

Phụ lục 4. Thông số phụ tải LDPP 69 nút

Nút	P (MW)	Q (MW)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0.0026	0.0022
7	0.04	0.03
8	0.075	0.054
9	0.03	0.022
10	0.028	0.019
11	0.145	0.104
12	0.145	0.104
13	0.008	0.005
14	0.008	0.0055
15	0	0
16	0.0455	0.03
17	0.06	0.035
18	0.06	0.035
19	0	0
20	0.001	0.0006
21	0.114	0.081
22	0.005	0.0035
23	0	0

Nút	P (MW)	Q (MW)
24	0.028	0.02
25	0	0
26	0.014	0.01
27	0.014	0.01
28	0.026	0.0186
29	0.026	0.0186
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0.014	0.01
34	0.0195	0.014
35	0.006	0.004
36	0.026	0.01855
37	0.026	0.01855
38	0	0
39	0.024	0.017
40	0.024	0.017
41	0.0012	0.001
42	0	0
43	0.006	0.0043
44	0	0
45	0.03922	0.0263
46	0.03922	0.0263

Nút	P (MW)	Q (MW)
47	0	0
48	0.079	0.0564
49	0.3847	0.2745
50	0.3847	0.2745
51	0.0405	0.0283
52	0.0036	0.0027
53	0.00435	0.0035
54	0.0264	0.019
55	0.024	0.0172
56	0	0
57	0	0
58	0	0
59	0.1	0.072
60	0	0
61	1.244	0.888
62	0.032	0.023
63	0	0
64	0.227	0.162
65	0.059	0.042
66	0.018	0.013
67	0.018	0.013
68	0.028	0.02
69	0.028	0.02

Phụ lục 5. Thông số đường dây LDPP 69 nút

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)
1	2	0.00050	0.00120	1
2	3	0.00050	0.00120	1
3	4	0.00150	0.00360	1
4	5	0.02510	0.02940	1
5	6	0.36600	0.18640	1
6	7	0.38110	0.19410	1
7	8	0.09220	0.04700	1
8	9	0.04930	0.02510	1
9	10	0.81900	0.27070	1
10	11	0.18720	0.06190	1
11	12	0.71140	0.23510	1

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)
12	13	1.03000	0.34000	1
13	14	1.04400	0.34500	1
14	15	1.0080	0.3496	1
15	16	0.19660	0.06500	1
16	17	0.37440	0.12380	1
17	18	0.0047	0.0016	1
18	19	0.3276	0.1083	1
19	20	0.2106	0.0690	1
20	21	0.3416	0.1129	1
21	22	0.0140	0.0046	1
22	23	0.1591	0.0526	1

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)
23	24	0.3463	0.1145	1
24	25	0.7488	0.2475	1
25	26	0.3089	0.1021	1
26	27	0.1732	0.0572	1
3	28	0.0044	0.0108	1
28	29	0.0640	0.1565	1
29	30	0.3978	0.1315	1
30	31	0.0702	0.0232	1
31	32	0.3510	0.1160	1
32	33	0.8390	0.2816	1
33	34	1.7080	0.5646	1
34	35	1.4740	0.4873	1
3	36	0.0044	0.0108	1
36	37	0.0640	0.1565	1
37	38	0.1053	0.1230	1
38	39	0.0304	0.0355	1
39	40	0.0018	0.0021	1
40	41	0.7283	0.8509	1
41	42	0.3100	0.3623	1
42	43	0.0410	0.0478	1
43	44	0.0092	0.0116	1
44	45	0.1089	0.1373	1
45	46	0.0009	0.0012	1
4	47	0.0034	0.0084	1
47	48	0.0851	0.2083	1
48	49	0.2898	0.7091	1

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)
49	50	0.0822	0.2011	1
8	51	0.0928	0.0473	1
51	52	0.3319	0.1114	1
9	53	0.1740	0.0886	1
53	54	0.2030	0.1034	1
54	55	0.2842	0.1447	1
55	56	0.2813	0.1433	1
56	57	1.5900	0.5337	1
57	58	0.7837	0.2630	1
58	59	0.3042	0.1006	1
59	60	0.3861	0.1172	1
60	61	0.5075	0.2585	1
61	62	0.0974	0.0496	1
62	63	0.1450	0.0738	1
63	64	0.7105	0.3619	1
64	65	1.0410	0.5302	1
11	66	0.2012	0.0611	1
66	67	0.0047	0.0014	1
12	68	0.7394	0.2444	1
68	69	0.0047	0.0016	1
11	43	0.5000	0.5000	1
13	21	0.5000	0.5000	1
15	46	1.0000	0.5000	1
50	59	2.0000	1.0000	1
27	65	1.0000	0.5000	1

Phụ lục 6. Thông số phụ tải LDPP 119 nút

Nút	P (MW)	Q (MW)
1	0	0
2	0.13384	0.10114
3	0.016214	0.011292
4	0.034315	0.021845
5	0.073016	0.063602
6	0.1442	0.068604
7	0.10447	0.061725
8	0.028547	0.011503
9	0.08756	0.051073
10	0.1982	0.10677
11	0.1468	0.075995
12	0.02604	0.018687
13	0.0521	0.02322
14	0.1419	0.1175
15	0.02187	0.02879
16	0.03337	0.02645
17	0.03243	0.02523
18	0.020234	0.011906
19	0.15694	0.078523
20	0.54629	0.3514
21	0.18031	0.1642
22	0.093167	0.054594
23	0.08518	0.03965
24	0.1681	0.095178
25	0.12511	0.15022
26	0.01603	0.02462
27	0.02603	0.02462
28	0.59456	0.52262
29	0.12062	0.059117
30	0.10238	0.099554
31	0.5134	0.3185
32	0.47525	0.45614
33	0.15143	0.13679
34	0.20538	0.083302
35	0.1316	0.093082
36	0.4484	0.36979
37	0.44052	0.32164
38	0.11254	0.055134
39	0.053963	0.038998
40	0.39305	0.3426

Nút	P (MW)	Q (MW)
41	0.32674	0.27856
42	0.53626	0.24024
43	0.076247	0.066562
44	0.05352	0.03976
45	0.040328	0.031964
46	0.039653	0.020758
47	0.066195	0.042361
48	0.073904	0.051653
49	0.11477	0.057965
50	0.91837	0.6051
51	0.2103	0.14666
52	0.06668	0.056608
53	0.042207	0.040184
54	0.43374	0.28341
55	0.0621	0.02686
56	0.09246	0.08838
57	0.085188	0.055436
58	0.3453	0.3324
59	0.0225	0.01683
60	0.080551	0.049156
61	0.09586	0.090758
62	0.06292	0.0477
63	0.4788	0.46374
64	0.12094	0.052006
65	0.13911	0.10034
66	0.39178	0.1935
67	0.027741	0.026713
68	0.052814	0.025257
69	0.06689	0.038713
70	0.4675	0.39514
71	0.59485	0.23974
72	0.1325	0.084363
73	0.052699	0.022482
74	0.86979	0.614775
75	0.031349	0.029817
76	0.19239	0.12243
77	0.06575	0.04537
78	0.23815	0.22322
79	0.29455	0.16247
80	0.48557	0.43792

Nút	P (MW)	Q (MW)
81	0.24353	0.18303
82	0.24353	0.18303
83	0.13425	0.11929
84	0.02271	0.02796
85	0.049513	0.026515
86	0.38378	0.25716
87	0.04964	0.0206
88	0.022473	0.011806
89	0.06293	0.04296
90	0.03067	0.03493
91	0.06253	0.06679
92	0.11457	0.081748
93	0.081292	0.066526
94	0.031733	0.01596
95	0.03332	0.06048
96	0.53128	0.22485
97	0.50703	0.36742
98	0.02639	0.0117
99	0.04599	0.30392
100	0.10066	0.47572
101	0.45648	0.3503
102	0.52256	0.44929
103	0.40843	0.16846
104	0.14148	0.13425
105	0.10443	0.066024
106	0.096793	0.083647
107	0.49392	0.41934
108	0.22538	0.13588
109	0.50921	0.38721
110	0.1885	0.17346
111	0.91803	0.89855
112	0.30508	0.21537
113	0.05438	0.04097
114	0.21114	0.1929
115	0.067009	0.053336
116	0.16207	0.090321
117	0.048785	0.29156
118	0.0339	0.01898

Phụ lục 7. Thông số đường dây LDPP 119 nút

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)
1	2	0.036	0.01296	1
2	3	0.033	0.01188	1
2	4	0.045	0.0162	1
4	5	0.015	0.054	1
5	6	0.015	0.054	1
6	7	0.015	0.0125	1
7	8	0.018	0.014	1
8	9	0.021	0.063	1
2	10	0.166	0.1344	1
10	11	0.112	0.0789	1
11	12	0.187	0.313	1
12	13	0.142	0.1512	1
13	14	0.18	0.118	1
14	15	0.15	0.045	1
15	16	0.16	0.18	1
16	17	0.157	0.171	1
11	18	0.218	0.285	1
18	19	0.118	0.185	1
19	20	0.16	0.196	1
20	21	0.12	0.189	1
21	22	0.12	0.0789	1
22	23	1.41	0.723	1
23	24	0.293	0.1348	1
24	25	0.133	0.104	1
25	26	0.178	0.134	1
26	27	0.178	0.134	1
4	28	0.015	0.0296	1
28	29	0.012	0.0276	1
29	30	0.12	0.2766	1
30	31	0.21	0.243	1
31	32	0.12	0.054	1
32	33	0.178	0.234	1
33	34	0.178	0.234	1
34	35	0.154	0.162	1
30	36	0.187	0.261	1
36	37	0.133	0.099	1
29	38	0.33	0.194	1
38	39	0.31	0.194	1
39	40	0.13	0.194	1
40	41	0.28	0.15	1
41	42	1.18	0.85	1

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)
42	43	0.42	0.2436	1
43	44	0.27	0.0972	1
44	45	0.339	0.1221	1
45	46	0.27	0.1779	1
35	47	0.21	0.1383	1
47	48	0.12	0.0789	1
48	49	0.15	0.0987	1
49	50	0.15	0.0987	1
50	51	0.24	0.1581	1
51	52	0.12	0.0789	1
52	53	0.405	0.1458	1
53	54	0.405	0.1458	1
29	55	0.391	0.141	1
55	56	0.406	0.1461	1
56	57	0.406	0.1461	1
57	58	0.706	0.5461	1
58	59	0.338	0.1218	1
59	60	0.338	0.1218	1
60	61	0.207	0.0747	1
61	62	0.247	0.8922	1
1	63	0.028	0.0418	1
63	64	0.117	0.2016	1
64	65	0.255	0.0918	1
65	66	0.21	0.0759	1
66	67	0.383	0.138	1
67	68	0.504	0.3303	1
68	69	0.406	0.1461	1
69	70	0.962	0.761	1
70	71	0.165	0.06	1
71	72	0.303	0.1092	1
72	73	0.303	0.1092	1
73	74	0.206	0.144	1
74	75	0.233	0.084	1
75	76	0.591	0.1773	1
76	77	0.126	0.0453	1
64	78	0.559	0.3687	1
78	79	0.186	0.1227	1
79	80	0.186	0.1227	1
80	81	0.26	0.139	1
81	82	0.154	0.148	1
82	83	0.23	0.128	1

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)
83	84	0.252	0.106	1
84	85	0.18	0.148	1
79	86	0.16	0.182	1
86	87	0.2	0.23	1
87	88	0.16	0.393	1
65	89	0.669	0.2412	1
89	90	0.266	0.1227	1
90	91	0.266	0.1227	1
91	92	0.266	0.1227	1
92	93	0.266	0.1227	1
93	94	0.233	0.115	1
94	95	0.496	0.138	1
91	96	0.196	0.18	1
96	97	0.196	0.18	1
97	98	0.1866	0.122	1
98	99	0.0746	0.318	1
1	100	0.0625	0.0265	1
100	101	0.1501	0.234	1
101	102	0.1347	0.0888	1
102	103	0.2307	0.1203	1
103	104	0.447	0.1608	1
104	105	0.1632	0.0588	1
105	106	0.33	0.099	1
106	107	0.156	0.0561	1
107	108	0.3819	0.1374	1

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)
108	109	0.1626	0.0585	1
109	110	0.3819	0.1374	1
110	111	0.2445	0.0879	1
110	112	0.2088	0.0753	1
112	113	0.2301	0.0828	1
100	114	0.6102	0.2196	1
114	115	0.1866	0.127	1
115	116	0.3732	0.246	1
116	117	0.405	0.367	1
117	118	0.489	0.438	1
46	27	0.5258	0.2925	1
17	27	0.5258	0.2916	1
8	24	0.4272	0.1539	1
54	43	0.48	0.1728	1
62	54	0.36	0.1296	1
37	62	0.57	0.572	1
9	40	0.53	0.3348	1
58	96	0.3957	0.1425	1
73	91	0.68	0.648	1
88	75	0.4062	0.1464	1
99	77	0.4626	0.1674	1
108	83	0.651	0.234	1
105	86	0.8125	0.2925	1
110	118	0.7089	0.2553	1
25	35	0.5	0.5	1

Phụ lục 8. Thông số phụ tải LDPP 70 nút

Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)
1	0	0	19	0.013	0.007	37	0.04	0.03	55	0.03	0.02
2	0.1	0.09	20	0.03	0.02	38	0.03	0.025	56	0.043	0.03
3	0.06	0.04	21	0.09	0.05	39	0.15	0.1	57	0.08	0.05
4	0.15	0.13	22	0.05	0.03	40	0.06	0.035	58	0.24	0.12
5	0.075	0.05	23	0.06	0.04	41	0.12	0.07	59	0.125	0.11
6	0.015	0.009	24	0.1	0.08	42	0.09	0.06	60	0.025	0.01
7	0.018	0.014	25	0.08	0.065	43	0.018	0.01	61	0.01	0.005
8	0.013	0.01	26	0.1	0.06	44	0.016	0.01	62	0.15	0.13
9	0.016	0.011	27	0.1	0.055	45	0.1	0.05	63	0.05	0.03
10	0.02	0.01	28	0.12	0.07	46	0.06	0.04	64	0.03	0.02
11	0.016	0.009	29	0.105	0.07	47	0.09	0.07	65	0.13	0.12
12	0.05	0.04	30	0.08	0.05	48	0.085	0.055	66	0.15	0.13
13	0.105	0.09	31	0.06	0.04	49	0.1	0.07	67	0.025	0.015
14	0.025	0.015	32	0.013	0.008	50	0.14	0.09	68	0.1	0.06
15	0.04	0.025	33	0.016	0.009	51	0.06	0.04	69	0.04	0.03
16	0.06	0.03	34	0.05	0.03	52	0.02	0.011			
17	0.04	0.025	35	0.04	0.028	53	0.04	0.03			
18	0.015	0.009	36	0.06	0.04	54	0.036	0.024			

Phụ lục 9. Thông số đường dây LDPP 70 nút

Từ nút	Đến nút	r ₀ (Ω/km)	x ₀ (Ω/km)	l (km)	I _{rate} (A)	Từ nút	Đến nút	r ₀ (Ω/km)	x ₀ (Ω/km)	l (km)	I _{rate} (A)
1	2	1.09700	1.07400	1	270	17	18	1.4630	1.4320	1	270
2	3	1.46300	1.43200	1	270	18	19	0.9140	0.8950	1	270
3	4	0.73100	0.71600	1	270	19	20	0.8040	0.7870	1	270
4	5	0.36600	0.35800	1	270	20	21	1.1330	1.1100	1	270
5	6	1.82800	1.79000	1	270	21	22	0.4750	0.4650	1	270
6	7	1.09700	1.07400	1	270	17	23	2.2140	1.5050	1	208
7	8	0.73100	0.71600	1	270	23	24	1.6200	1.1100	1	208
8	9	0.73100	0.71600	1	270	24	25	1.0800	0.7340	1	208
4	10	1.08000	0.73400	1	208	25	26	0.5400	0.3670	1	208
10	11	1.62000	1.10100	1	208	26	27	0.5400	0.3670	1	208
11	12	1.08000	0.73400	1	208	27	28	1.0800	0.7340	1	208
12	13	1.35000	0.91700	1	208	28	29	1.0800	0.7340	1	208
13	14	0.81000	0.55000	1	208	1	30	0.3660	0.3580	1	270
14	15	1.9440	1.3210	1	208	30	31	0.7310	0.7160	1	270
7	68	1.08000	0.73400	1	208	31	32	0.7310	0.7160	1	270
68	69	1.62000	1.10100	1	208	32	33	0.8040	0.7870	1	270
1	16	1.0970	1.0740	1	270	33	34	1.1700	1.1450	1	270
16	17	0.3660	0.3580	1	270	34	35	0.7680	0.7520	1	270

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)	I_{rate} (A)
35	36	0.7310	0.7160	1	270
36	37	1.0970	1.0740	1	270
37	38	1.4630	1.4320	1	270
32	39	1.0800	0.7340	1	208
39	40	0.5400	0.3670	1	208
40	41	1.0800	0.7340	1	208
41	42	1.8360	1.2480	1	208
42	43	1.2960	0.8810	1	208
40	44	1.1880	0.8070	1	208
44	45	0.5400	0.3670	1	208
42	46	1.0800	0.7340	1	208
35	47	0.5400	0.3670	1	208
47	48	1.0800	0.7340	1	208
48	49	1.0800	0.7340	1	208
49	50	1.0800	0.7340	1	208
1	51	0.3660	0.3580	1	270
51	52	1.4630	1.4320	1	270
52	53	1.4630	1.4320	1	270
53	54	0.9140	0.8950	1	270
54	55	1.0970	1.0740	1	270
55	56	1.0970	1.0740	1	270
52	57	0.2700	0.1830	1	208

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)	I_{rate} (A)
57	58	0.2700	0.1830	1	208
58	59	0.8100	0.5500	1	208
59	60	1.2960	0.8810	1	208
55	61	1.1880	0.8070	1	208
61	62	1.1880	0.8070	1	208
62	63	0.8100	0.5500	1	208
63	64	1.6200	1.1010	1	208
62	65	1.0800	0.7340	1	208
65	66	0.5400	0.3670	1	208
66	67	1.0800	0.7340	1	208
9	50	0.9080	0.7260	1	234
9	38	0.3810	0.2440	1	234
15	46	0.6810	0.5440	1	234
22	67	0.2540	0.2030	1	234
29	64	0.2540	0.2030	1	234
45	60	0.2540	0.2030	1	234
43	38	0.4540	0.3630	1	234
39	59	0.4540	0.3630	1	234
21	27	0.4540	0.3630	1	234
15	9	0.6810	0.5440	1	234
67	15	0.4540	0.3630	1	234

Phụ lục 10. Thông số phụ tải LĐPP 18 nút

Nút	P (MW)	Q (MW)
1	0	0
2	0	0
3	0.5	0.2
4	0.5	0.2
5	0.5	0.2

Nút	P (MW)	Q (MW)
6	0.5	0.2
7	0.4	0.15
8	0.45	0.15
9	0.5	0.2
10	0.4	0.15

Nút	P (MW)	Q (MW)
11	0.4	0.15
12	0.4	0.15
13	0.5	0.2
14	0.4	0.15
15	0.6	0.2

Nút	P (MW)	Q (MW)
16	0.6	0.2
17	0.6	0.2
18	0.6	0.2

Phụ lục 11. Thông số đường dây LĐPP 18 nút

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)
1	2	0	0.55	1
2	3	0.3	0.12	1
3	4	0.25	0.1	1
4	5	0.25	0.1	1
5	6	0.25	0.1	1
6	7	0.25	0.1	1
2	8	0.3	0.12	1
8	9	0.25	0.1	1
9	10	0.3	0.12	1
10	11	0.5	0.2	1

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)
8	12	0.3	0.12	1
12	13	0.3	0.12	1
13	14	0.2	0.08	1
2	15	0.4	0.16	1
15	16	0.3	0.12	1
16	17	0.3	0.12	1
14	18	0.2	0.08	1
7	11	0.25	0.1	1
17	18	0.3	0.12	1

Phụ lục 12. Thông số phụ tải LDPP Chư Prông

Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)
1	0.0000	0.0000	42	0.0995	0.0229	83	0.0139	0.0036	124	0.0161	0.0036
2	0.0359	0.0094	43	0.0271	-0.294	84	0.1145	0.0297	125	0.0070	0.0016
3	0.0159	0.0040	44	0.0000	0.0000	85	0.1145	0.0297	126	0.0322	0.0063
4	0.0000	0.0000	45	0.0322	0.0071	86	0.0095	0.0031	127	0.0571	0.0137
5	0.0206	0.0053	46	0.0424	0.0088	87	0.1275	0.0330	128	0.0504	0.0115
6	0.0239	0.0062	47	0.0644	0.0144	88	0.0629	0.0164	129	0.0576	0.0129
7	0.0319	0.0083	48	0.0000	0.0000	89	0.0359	0.0094	130	0.0898	0.0203
8	0.0139	0.0036	49	0.3580	0.1180	90	0.0179	0.0047	131	0.0000	0.0000
9	0.0359	0.0093	50	0.0579	0.0132	91	0.0319	0.0080	132	0.1575	0.0359
10	0.0359	0.0094	51	0.0000	0.0000	92	0.0000	0.0000	133	0.0000	0.0000
11	0.0359	0.0094	52	0.0579	0.0132	93	0.0239	0.0060	134	0.0322	0.0071
12	0.0994	0.0260	53	0.0070	0.0016	94	0.0359	0.0094	135	0.0576	0.0129
13	0.0179	0.0047	54	0.0070	0.0016	95	0.0159	0.0043	136	0.0000	0.0000
14	0.0000	0.0000	55	0.0040	0.0009	96	0.0642	0.0167	137	0.0190	0.0010
15	0.0000	0.0000	56	0.0241	0.0055	97	0.0528	0.0130	138	0.0000	0.0000
16	0.0638	0.0164	57	0.0449	0.0100	98	0.0176	0.0043	139	0.0348	0.0019
17	0.0000	0.0000	58	0.0372	0.0090	99	0.1836	0.0479	140	0.0285	0.0094
18	0.0000	0.0000	59	0.1127	0.0256	100	0.0176	0.0047	141	0.0092	0.0005
19	0.0000	0.0000	60	0.0449	0.0100	101	0.0176	0.0047	142	0.0000	0.0000
20	0.0000	0.0000	61	0.0000	0.0000	102	0.0060	0.0015	143	0.0679	0.0037
21	0.0000	0.0000	62	0.0067	0.0043	103	0.0161	0.0035	144	0.0000	0.0000
22	0.0896	0.0234	63	0.0117	0.0027	104	0.0322	0.0071	145	0.0869	0.0048
23	0.0279	0.0073	64	0.0000	0.0000	105	0.0322	0.0071	146	0.0000	0.0000
24	0.0042	0.0011	65	0.0202	0.0053	106	0.0100	0.0023	147	0.0189	0.0011
25	0.0000	0.0000	66	0.0202	0.0053	107	0.0720	0.0165	148	0.0391	0.0022
26	0.0000	0.0000	67	0.0202	0.0053	108	0.0579	0.0132	149	0.0354	0.0293
27	0.0359	0.0094	68	0.0202	0.0053	109	0.0889	0.0206	150	0.0000	0.0000
28	0.0570	0.0147	69	0.0202	0.0053	110	0.1127	0.0256	151	0.0217	0.0012
29	0.0000	0.0000	70	0.0202	0.0053	111	0.0510	0.0160	152	0.0435	0.0024
30	0.0319	0.0080	71	0.0092	0.0038	112	0.0492	0.0244	153	0.0000	0.0000
31	0.0048	0.0012	72	0.0092	0.0038	113	0.0000	0.0000	154	0.0000	0.0000
32	0.0383	0.0100	73	0.0092	0.0038	114	0.0322	0.0071	155	0.0342	0.0019
33	0.0000	0.0000	74	0.0092	0.0038	115	0.0508	0.0115	156	0.0304	0.0017
34	0.0644	0.0144	75	0.0092	0.0038	116	0.0000	0.0000	157	0.0678	0.0037
35	0.0767	0.0175	76	0.1140	0.0370	117	0.1271	0.0285	158	0.0391	0.0022
36	0.0000	0.0000	77	0.1140	0.0370	118	0.0380	0.0142	159	0.0391	0.0022
37	0.0576	0.0129	78	0.0060	0.0015	119	0.1271	0.0291	160	0.2178	0.0231
38	0.0576	0.0129	79	0.0383	0.0100	120	0.0000	0.0000	161	0.0782	0.0043
39	0.1004	0.0229	80	0.0000	0.0000	121	0.0161	0.0036	162	0.0348	0.0019
40	0.0048	0.0011	81	0.0638	0.0164	122	0.0271	0.0062	163	0.0678	0.0037
41	0.0000	0.0000	82	0.0154	0.0041	123	0.0000	0.0000	164	0.0450	0.0100

Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)	Nút	P (MW)	Q (MW)
165	0.0000	0.0000	189	0.0406	0.0399	213	0.0000	0.0000	237	0.0453	0.0018
166	0.0543	0.0030	190	0.0127	0.0125	214	0.0113	0.0004	238	0.0000	0.0000
167	0.0196	0.0011	191	0.0254	0.0250	215	0.0056	0.0002	239	0.0071	0.0003
168	0.0190	0.0010	192	0.0000	-0.600	216	0.0000	0.0000	240	0.0079	0.0003
169	0.0348	0.0019	193	0.0000	0.0000	217	0.0204	0.0006	241	0.0634	0.0025
170	0.0142	0.0008	194	0.0197	0.0194	218	0.0000	0.0000	242	0.0579	0.0022
171	0.0000	0.0000	195	0.0070	0.0069	219	0.0167	0.0006	243	0.0000	0.0000
172	0.0000	0.0000	196	0.0000	-0.300	220	0.0112	0.0004	244	0.0000	0.0000
173	0.0435	0.0024	197	0.0000	0.0000	221	0.0112	0.0004	245	0.0076	0.0003
174	0.0530	0.0261	198	0.0000	0.0000	222	0.0000	0.0000	246	0.0724	0.0028
175	0.1160	0.1594	199	0.0703	0.0694	223	0.0000	0.0000	247	0.0040	0.0002
176	0.1586	0.2179	200	0.0361	0.0355	224	0.0000	0.0000	248	0.0045	0.0002
177	0.0695	0.0038	201	0.0254	0.0249	225	0.0000	0.0000	249	0.0362	0.0014
178	0.0543	0.0030	202	0.0000	0.0000	226	0.0567	0.0022	250	0.0362	0.0014
179	0.0348	0.0019	203	0.0000	0.0000	227	0.0326	0.0013	251	0.0453	0.0018
180	0.0869	0.0048	204	0.0000	0.0000	228	0.0181	0.0007	252	0.0068	0.0003
181	0.0695	0.0038	205	0.0225	0.0222	229	0.0634	0.0025	253	0.0204	0.0008
182	0.0000	0.0000	206	0.0810	0.0800	230	0.0000	0.0000	254	0.0225	0.0222
183	0.0000	0.0000	207	0.0000	0.0000	231	0.0000	0.0000	255	0.0000	0.0000
184	0.0254	0.0250	208	0.0000	0.0000	232	0.0181	0.0007	256	0.1578	0.1555
185	0.0634	0.0623	209	0.0000	0.0000	233	0.0204	0.0008	257	0.1578	0.1555
186	0.0254	0.0250	210	0.0000	0.0000	234	0.0000	0.0000			
187	0.0406	0.0399	211	0.0000	0.0000	235	0.0524	0.0020			
188	0.0406	0.0399	212	0.0204	0.0006	236	0.0000	0.0000			

Phụ lục 13. Thông số đường dây LDPP Chư Prông

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω /km)	x_0 (Ω /km)	l (km)	I_{rate} (A)	Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω /km)	x_0 (Ω /km)	l (km)	I_{rate} (A)
1	2	0.2039	0.3351	0.7	450	14	15	0.4218	0.3606	0.001	450
2	3	0.1540	0.3287	0.375	450	15	16	0.4218	0.3606	0.24	265
3	4	0.1540	0.3287	1.222	450	16	17	0.4218	0.3606	0.08	265
4	5	0.1540	0.3287	0.852	450	17	18	0.4218	0.3606	0.4	265
5	6	0.1540	0.3287	0.581	450	17	76	0.4218	0.3606	1.28	265
6	7	0.1540	0.3287	0.34	450	76	77	0.4218	0.3606	3.76	265
7	8	0.4218	0.3606	0.96	450	18	78	0.5951	0.3714	0.964	210
8	9	0.1540	0.3287	0.4	450	18	19	0.4218	0.3606	0.08	265
9	10	0.1540	0.3287	0.5	450	19	79	0.5951	0.3714	0.49	210
10	11	0.1540	0.3287	0.875	450	19	20	0.4218	0.3606	0.56	265
11	12	0.1540	0.3287	0.56	450	20	80	0.4218	0.3606	0.001	265
12	13	0.4218	0.3606	1.28	450	20	21	0.4218	0.3606	0.001	265
13	14	0.4218	0.3606	1.26	450	21	22	0.4218	0.3606	0.08	265

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)	I_{rate} (A)
22	23	0.4218	0.3606	1.04	265
23	24	0.4218	0.3606	0.4	265
24	25	0.4218	0.3606	0.32	265
25	27	0.4218	0.3606	0.16	265
25	81	0.4218	0.3606	0.587	265
25	26	0.4218	0.3606	0.32	265
26	82	0.5951	0.3714	0.7	210
82	83	0.5951	0.3714	1.52	210
83	84	0.5951	0.3714	0.8	210
84	85	0.5951	0.3714	2.3	210
26	28	0.4218	0.3606	1.2	265
28	29	0.4218	0.3606	0.16	265
29	86	0.5951	0.3714	0.656	210
86	87	0.5951	0.3714	0.84	210
29	30	0.4218	0.3606	0.8	265
30	31	0.4218	0.3606	1.84	265
31	32	0.4218	0.3606	1.04	265
32	33	0.4218	0.3606	1.04	265
33	88	0.5951	0.3714	1.66	210
88	89	0.5951	0.3714	0.22	210
89	90	0.5951	0.3714	0.9	210
90	91	0.5951	0.3714	0.9	210
91	92	0.5951	0.3714	1	210
92	93	0.5951	0.3714	0.244	210
93	94	0.5951	0.3714	1.06	210
94	95	0.5951	0.3714	0.65	210
95	96	0.5951	0.3714	0.16	210
96	97	0.5951	0.3714	0.89	210
97	98	0.5951	0.3714	0.244	210
98	99	0.5951	0.3714	1.63	210
92	100	0.5951	0.3714	0.59	210
100	101	0.5951	0.3714	0.161	265
101	102	0.5951	0.3714	1.29	210
34	35	0.4218	0.3606	0.64	265
35	36	0.4218	0.3606	0.16	265
36	37	0.4218	0.3606	0.08	265
37	38	0.4218	0.3606	0.08	265
38	39	0.4218	0.3606	0.16	265
39	40	0.4218	0.3606	0.24	265
40	41	0.4218	0.3606	0.72	265
41	103	0.5951	0.3714	1.28	210
103	104	0.5951	0.3714	0.085	210

Từ nút	Đến nút	r_0 (Ω/km)	x_0 (Ω/km)	l (km)	I_{rate} (A)
104	105	0.5951	0.3714	0.085	210
105	106	0.5951	0.3714	0.08	265
106	107	0.5951	0.3714	1.128	265
106	108	0.4218	0.3606	0.93	210
41	42	0.4218	0.3606	1.04	265
42	43	0.4218	0.3606	0.48	265
43	44	0.4218	0.3606	0.48	265
44	109	0.4218	0.3606	1.3	265
109	110	0.4218	0.3606	1.674	265
44	45	0.4218	0.3606	0.56	265
45	46	0.4218	0.3606	0.32	265
46	47	0.4218	0.3606	0.24	265
47	48	0.4218	0.3606	0.32	265
48	111	0.4218	0.3606	1.3	265
111	112	0.4218	0.3606	0.24	265
112	113	0.4218	0.3606	0.64	265
113	114	0.4218	0.3606	0.56	265
114	115	0.4218	0.3606	0.24	265
115	116	0.4218	0.3606	0.4	265
116	120	0.4218	0.3606	0.322	265
120	121	0.5951	0.3714	0.6	210
121	122	0.5951	0.3714	0.105	265
116	117	0.4218	0.3606	1.44	265
117	118	0.4218	0.3606	0.252	265
118	119	0.4218	0.3606	0.421	265
113	123	0.4218	0.3606	0.56	265
123	124	0.4218	0.3606	0.275	265
124	125	0.4218	0.3606	0.3	265
123	126	0.4218	0.3606	0.905	265
48	49	0.4218	0.3606	0.4	265
49	50	0.4218	0.3606	0.4	265
50	51	0.4218	0.3606	0.32	265
51	127	0.4218	0.3606	1	265
51	52	0.4218	0.3606	0.08	265
52	53	0.4218	0.3606	0.72	265
53	54	0.4218	0.3606	0.08	265
54	55	0.4218	0.3606	0.4	265
55	128	0.4218	0.3606	0.32	265
128	129	0.4218	0.3606	0.88	265
55	130	0.5951	0.3714	0.13	210
55	56	0.4218	0.3606	0.72	265
56	57	0.4218	0.3606	0.08	265

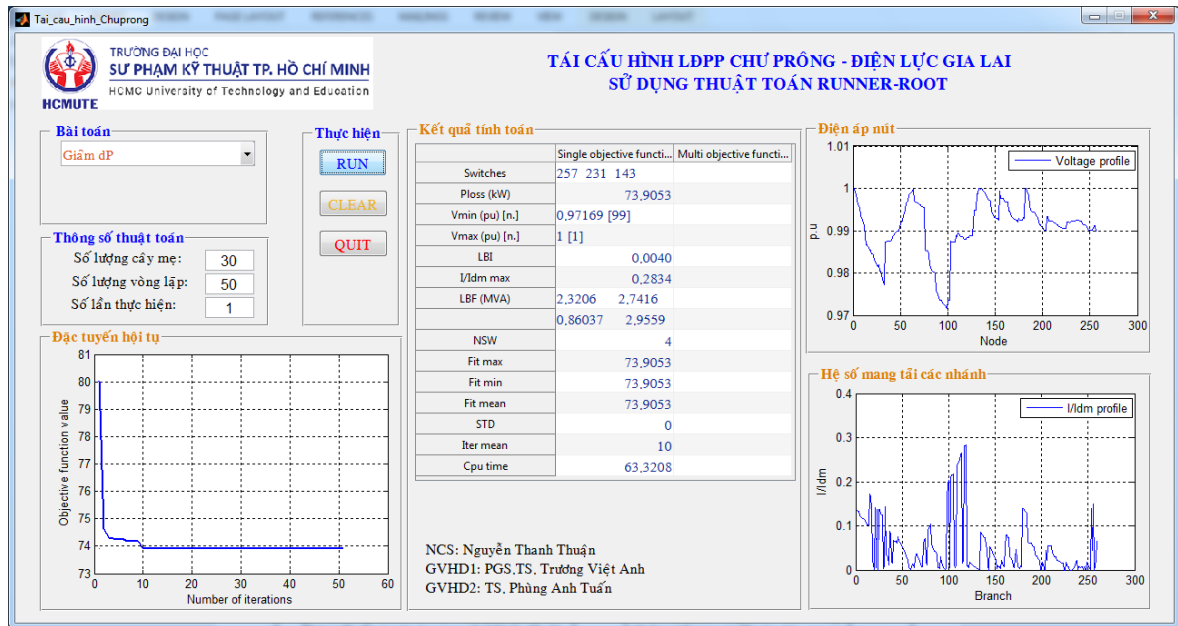
Từ nút	Đến nút	r ₀ (Ω/km)	x ₀ (Ω/km)	l (km)	I _{rate} (A)
57	58	0.4218	0.3606	0.08	265
58	59	0.4218	0.3606	0.64	265
59	60	0.4218	0.3606	0.08	265
60	61	0.4218	0.3606	0.08	265
61	131	0.4218	0.3606	0.75	265
131	132	0.4218	0.3606	0.86	210
61	62	0.4218	0.3606	0.08	265
62	63	0.4218	0.3606	0.08	265
63	64	0.4218	0.3606	0.24	265
64	133	0.4218	0.3606	0.001	265
133	134	0.4218	0.3606	0.65	265
134	135	0.4218	0.3606	2.04	265
4	65	0.4218	0.3606	0.88	265
65	66	0.4218	0.3606	1.84	265
66	67	0.4218	0.3606	0.88	265
67	68	0.4218	0.3606	0.56	265
68	69	0.4218	0.3606	1.2	265
69	70	0.4218	0.3606	3.68	265
70	71	0.4218	0.3606	2.36	265
71	72	0.4218	0.3606	7.56	265
72	73	0.4218	0.3606	3.38	265
73	74	0.4218	0.3606	2.36	265
74	75	0.4218	0.3606	3.15	265
136	137	0.4218	0.3606	0.32	265
137	138	0.4218	0.3606	0.48	265
138	139	0.4218	0.3606	0.72	265
139	140	0.4218	0.3606	0.88	265
140	141	0.4218	0.3606	0.32	265
141	142	0.4218	0.3606	0.4	265
142	143	0.4218	0.3606	0.96	265
143	144	0.4218	0.3606	0.24	265
144	145	0.4218	0.3606	1.6	265
145	146	0.4218	0.3606	0.96	265
146	147	0.4218	0.3606	0.8	265
147	148	0.4218	0.3606	0.8	265
148	149	0.4218	0.3606	1.12	265
149	150	0.4218	0.3606	0.24	265
150	151	0.4218	0.3606	0.48	265
151	152	0.4218	0.3606	0.16	265
152	153	0.4218	0.3606	0.08	265
153	154	0.4218	0.3606	1.92	265
138	155	0.4218	0.3606	1.8	265

Từ nút	Đến nút	r ₀ (Ω/km)	x ₀ (Ω/km)	l (km)	I _{rate} (A)
142	156	0.4218	0.3606	0.259	265
156	157	0.4218	0.3606	0.6	265
142	158	0.4218	0.3606	0.447	265
158	159	0.4218	0.3606	0.8	265
144	160	0.4218	0.3606	0.24	265
144	161	0.4218	0.3606	1.896	265
161	162	0.4218	0.3606	0.94	265
162	163	0.4218	0.3606	0.569	265
146	164	0.4218	0.3606	0.16	265
164	165	0.4218	0.3606	0.08	265
165	166	0.4218	0.3606	0.56	265
166	167	0.4218	0.3606	0.48	265
167	168	0.4218	0.3606	0.64	265
168	169	0.4218	0.3606	0.64	265
169	170	0.4218	0.3606	0.48	265
170	171	0.4218	0.3606	0.48	265
171	172	0.4218	0.3606	1.15	265
172	173	0.4218	0.3606	0.42	265
173	174	0.4218	0.3606	3.834	265
168	175	0.4218	0.3606	0.46	265
175	176	0.4218	0.3606	1.13	265
171	177	0.5951	0.3714	1	210
172	178	0.4218	0.3606	0.47	265
172	179	0.4218	0.3606	0.71	265
150	180	0.4218	0.3606	1.19	265
153	181	0.4218	0.3606	0.955	265
182	183	0.1540	0.3287	0.001	520
183	184	0.1540	0.3287	0.62	520
184	185	0.1540	0.3287	0.725	520
185	186	0.1540	0.3287	2.17	520
186	187	0.1540	0.3287	0.93	520
187	188	0.1540	0.3287	0.41	520
188	189	0.1540	0.3287	0.72	520
189	190	0.1540	0.3287	0.103	520
190	191	0.1540	0.3287	0.41	520
191	192	0.1540	0.3287	0.41	520
192	193	0.1540	0.3287	1.14	520
193	194	0.1540	0.3287	0.41	520
194	195	0.1540	0.3287	0.72	520
195	196	0.1540	0.3287	1.66	520
196	197	0.1540	0.3287	2.07	520
197	198	0.1540	0.3287	0.001	520

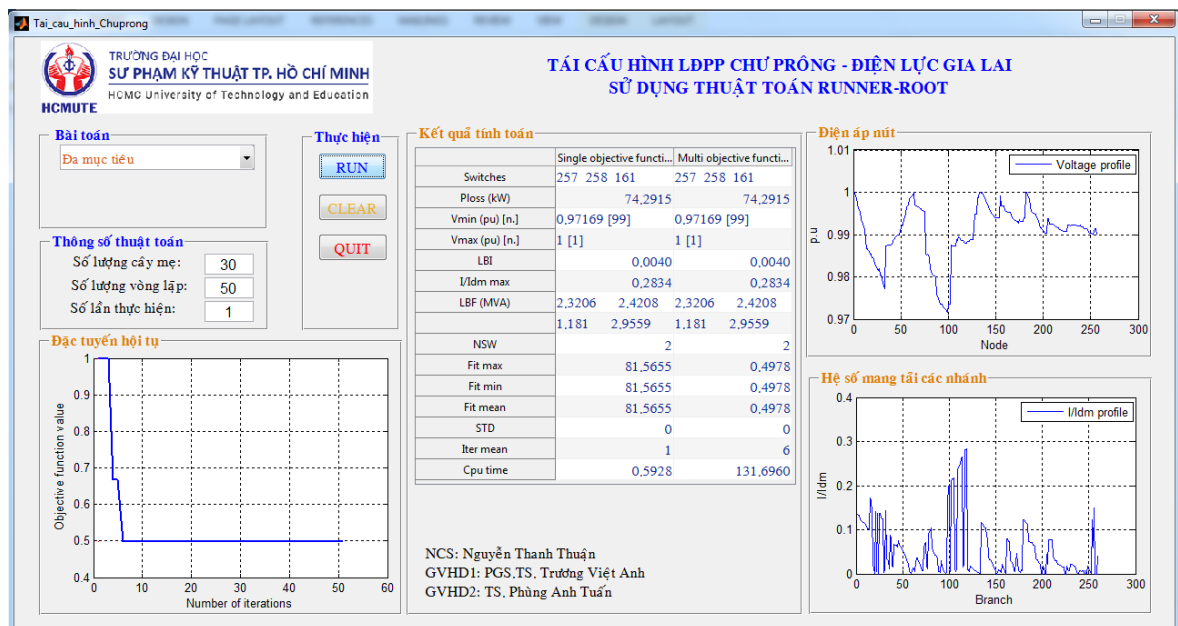
Từ nút	Đến nút	r ₀ (Ω/km)	x ₀ (Ω/km)	l (km)	I _{rate} (A)
198	199	0.1540	0.3287	0.93	520
199	200	0.1540	0.3287	0.3	520
200	201	0.1540	0.3287	0.725	520
201	202	0.1540	0.3287	1.45	520
202	203	0.1540	0.3287	0.93	520
203	204	0.1540	0.3287	0.001	520
193	205	0.5951	0.3714	0.971	210
205	206	0.5951	0.3714	0.529	210
197	254	0.5951	0.3714	0.5	210
254	255	0.5951	0.3714	0.001	210
202	256	0.4218	0.3606	0.32	265
256	257	0.4218	0.3606	0.08	265
196	207	0.4218	0.3606	0.001	265
207	208	0.4218	0.3606	0.001	265
208	209	0.4218	0.3606	0.001	265
209	210	0.4218	0.3606	0.001	265
210	211	0.4218	0.3606	0.24	265
211	212	0.4218	0.3606	0.72	265
212	213	0.4218	0.3606	0.4	265
213	214	0.4218	0.3606	0.56	265
214	215	0.4218	0.3606	0.8	265
215	216	0.4218	0.3606	0.001	265
216	217	0.4218	0.3606	2.088	265
217	218	0.4218	0.3606	0.181	265
218	219	0.4218	0.3606	0.544	265
219	220	0.4218	0.3606	0.81	265
220	221	0.4218	0.3606	1.084	265
221	222	0.4218	0.3606	0.001	265
222	223	0.4218	0.3606	0.16	265
223	224	0.4218	0.3606	0.001	520
224	225	0.4218	0.3606	0.001	520
211	226	0.4218	0.3606	0.16	265
226	227	0.4218	0.3606	0.64	265

Từ nút	Đến nút	r ₀ (Ω/km)	x ₀ (Ω/km)	l (km)	I _{rate} (A)
227	228	0.4218	0.3606	0.64	265
228	229	0.4218	0.3606	1.512	265
211	230	0.4218	0.3606	0.08	265
230	231	0.4218	0.3606	0.001	265
231	232	0.4218	0.3606	0.24	265
232	233	0.4218	0.3606	0.24	265
233	234	0.4218	0.3606	0.16	265
234	235	0.4218	0.3606	1.2	265
235	236	0.4218	0.3606	0.08	265
236	237	0.4218	0.3606	0.72	265
237	238	0.4218	0.3606	0.001	265
234	239	0.4218	0.3606	1.34	265
236	240	0.4218	0.3606	1.006	265
240	241	0.4218	0.3606	0.7	265
213	242	0.4218	0.3606	1.2	265
215	243	0.4218	0.3606	1.05	265
243	244	0.4218	0.3606	0.001	265
243	245	0.4218	0.3606	0.24	265
244	246	0.4218	0.3606	1.04	265
218	247	0.4218	0.3606	0.001	210
223	248	0.4218	0.3606	1.049	210
223	249	0.5951	0.3714	2.09	210
249	250	0.5951	0.3714	0.6	210
250	251	0.5951	0.3714	0.4	210
251	252	0.5951	0.3714	0.1	210
252	253	0.5951	0.3714	0.05	265
1	182	0.1540	0.3287	0.001	520
1	136	0.4218	0.3606	0.001	520
1	64	0.4218	0.3606	0.002	520
33	34	0.4218	0.3606	0.72	265
154	238	0.4218	0.3606	0.001	265
188	164	0.4218	0.3606	0.001	520

Phụ lục 14. Giao diện chương trình tái cấu hình LDPP Chư Prông, Điện lực Gia Lai



Hình 14-1. Tái cấu hình LDPP Chư Prông giảm tổn thất công suất.



Hình 14-2. Tái cấu hình LDPP Chư Prông đa mục tiêu.

CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

GIẤY XÁC NHẬN

Điện lực Chư Prông xác nhận đề tài: **Tái cấu hình lưới điện phân phối có xét đến máy phát điện phân tán.**

Tác giả: **Nguyễn Thanh Thuận và PGS.TS. Trương Việt Anh**

Đã tính toán dựa trên thông số của lưới điện phân phối huyện Chư Prông, tỉnh Gia Lai. Kết quả của đề tài đã được dùng tham khảo cho quá trình nghiên cứu, vận hành lưới điện phân phối Chư Prông ở một số nội dung như sau:

- 1) **Tái cấu hình lưới điện phân phối huyện Chư Prông giảm tổn thất công suất.**
- 2) **Tái cấu hình lưới điện phân phối huyện Chư Prông giảm tổn thất công suất có xét đến máy phát điện phân tán.**

Phần mềm tính toán tổn thất công suất, xác định cấu trúc vận hành giảm tổn thất công suất, xác định cấu trúc vận hành giảm tổn thất công suất có xét đến máy phát phân tán trên lưới điện phân phối huyện Chư Prông là công cụ tham khảo hữu ích cho nhân viên công ty.

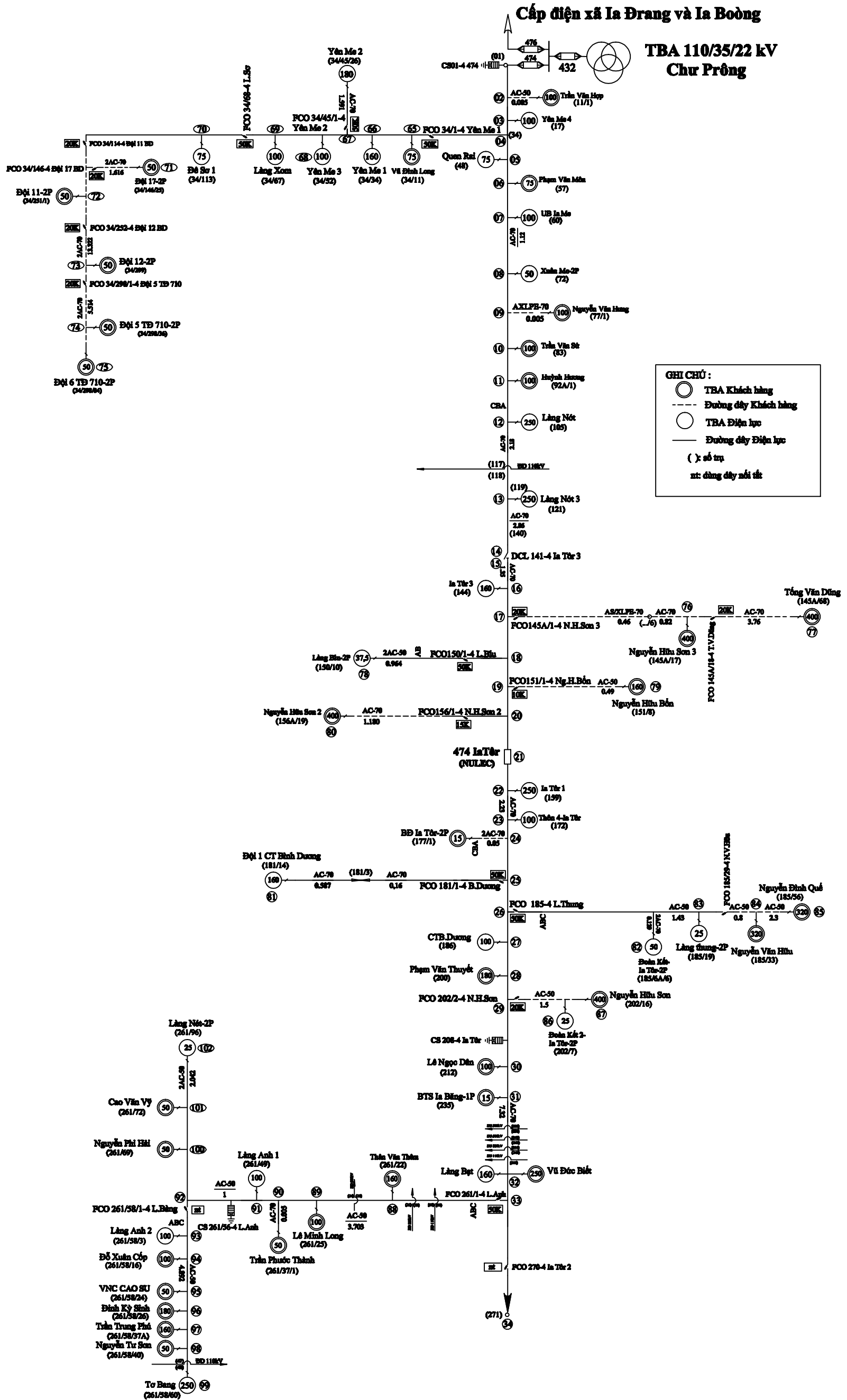
Chư Prông, ngày 25 tháng 04 năm 2017

GIÁM ĐỐC

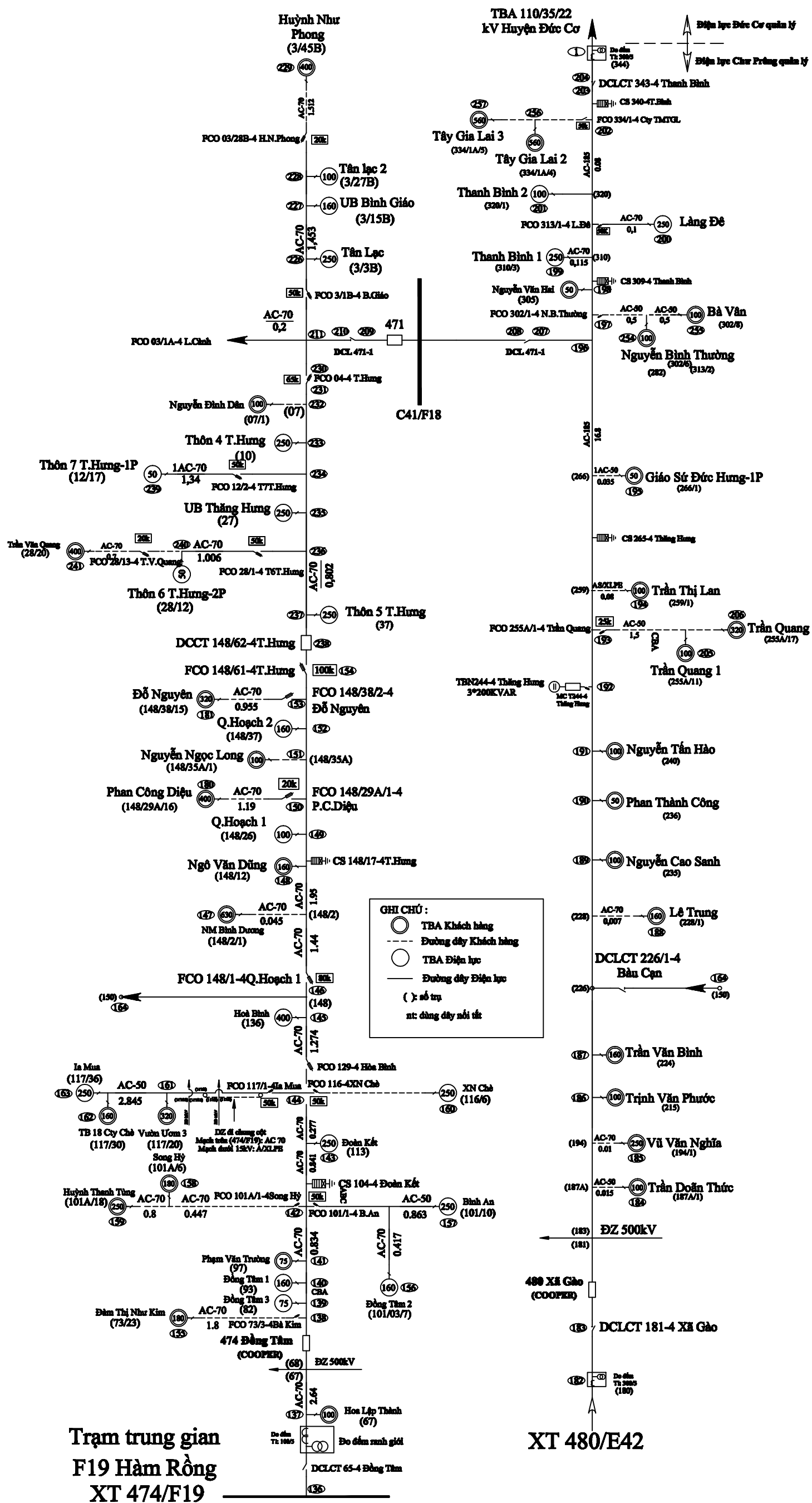


NGUYỄN ANH TUẤN

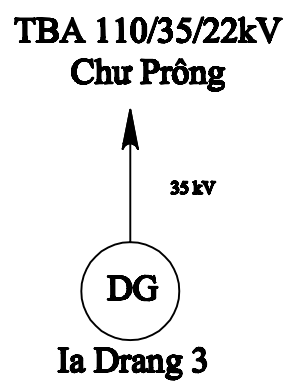
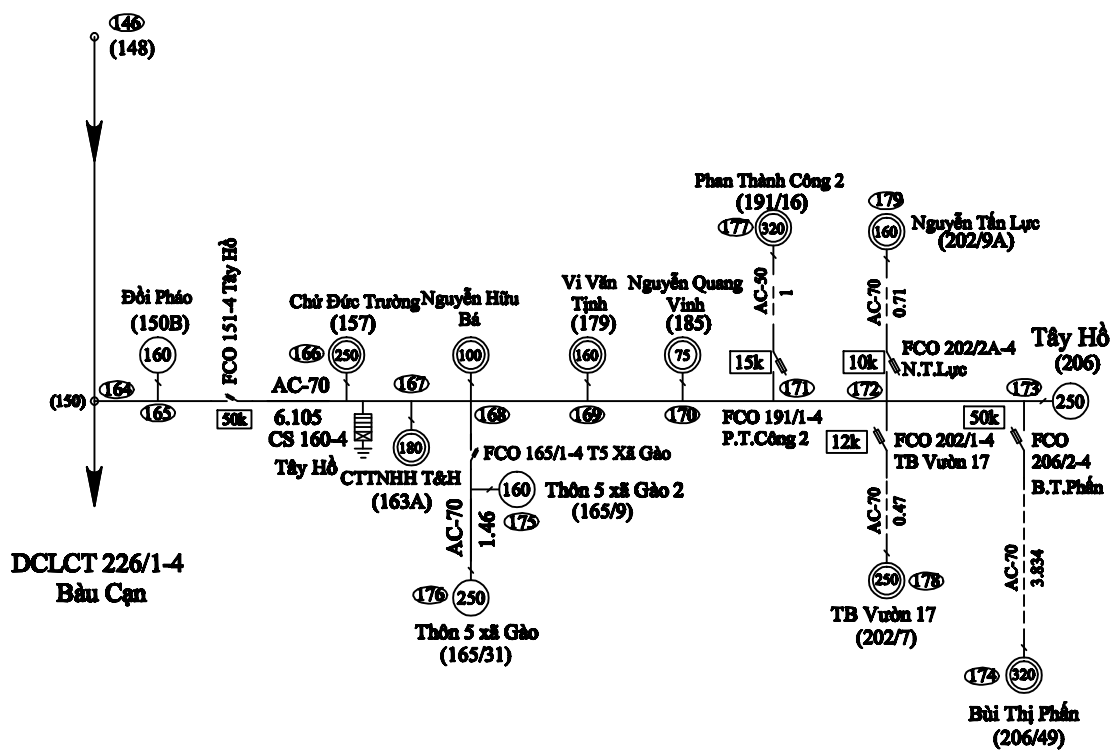
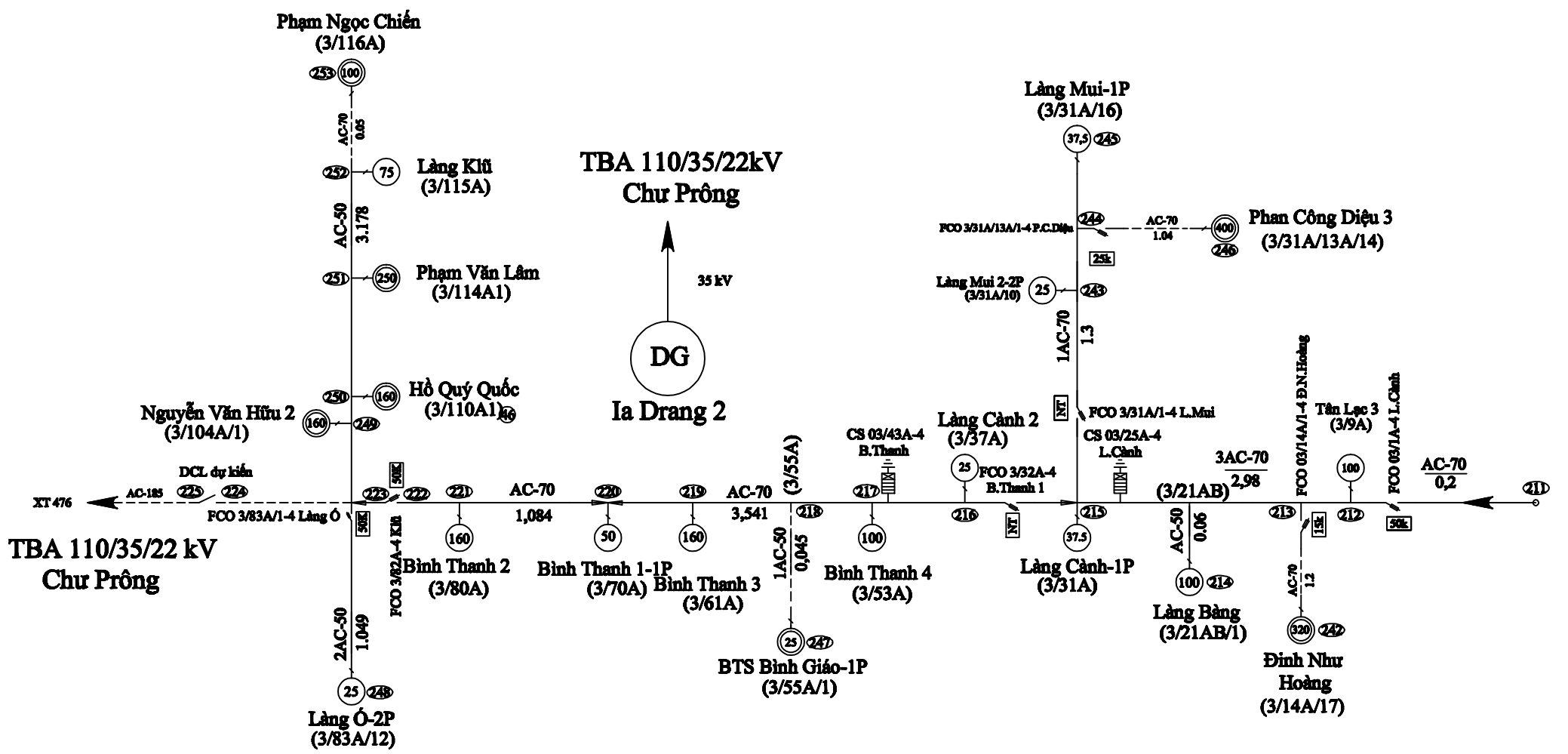
Phụ lục 15. Sơ đồ mạch vòng LDPP Chư Prông - Điện lực Gia Lai



Hình 15-1. Sơ đồ xuất tuyến 474/110CR



Hình 15-3. Sơ đồ xuất tuyến 474/F19 và 480/E42



GHI CHÚ :

- TBA Khách hàng
- - - Đường dây Khách hàng
- TBA Điện lực
- Đường dây Điện lực
- () : số trụ
- nt: dùng dây nổi trần

Hình 15-4. Sơ đồ xuất tuyến 474/F19 và 480/E42 (tiếp theo)