



**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**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ**

**NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN  
MÃ SỐ: 62140101**

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 06 năm 2017



**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS. Trương Việt Anh

Người hướng dẫn khoa học 2: TS. Phùng Anh Tuấn

Luận án tiến sĩ được bảo vệ trước  
**HỘI ĐỒNG CHẤM BẢO VỆ LUẬN ÁN TIẾN SĨ**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT,**  
**Ngày ... tháng ... năm 2017**

## **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 06 năm 2017*  
(Ký tên và ghi rõ họ tên)

**Nguyễn Thanh Thuận**

## CẢM ƠN

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 đồ 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 06 năm 2017*

**Nguyễn Thanh Thuận**

# TÓM TẮT

Luận án trình bày các phương pháp (PP) 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 nòi 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 PP 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 thanh cái, 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 cấu hình điện áp tốt nhất. Luận án cũng đã trình bày PP tái cấu hình LĐPP có xét đến DG giảm tổn thất năng lượng trong khoảng thời gian khảo sát, áp dụng cho các LĐPP gặp khó khăn trong quá trình thu thập đồ thị phụ tải. PP 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 PP 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 PP đề xuất có ưu điểm vượt trội về mặt 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, PP và bài toán đề nghị đã được áp dụng thành công trên LĐPP trung áp thực tế của huyện Chư Prông, Gia Lai. Kết quả tính toán cho thấy, có thể sử dụng các PP 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 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

LỜI CAM ĐOAN.....	i
CẢM ƠN.....	ii
TÓM TẮT .....	iii
MỤC LỤC .....	v
DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT .....	vii
DANH SÁCH CÁC HÌNH .....	viii
DANH SÁCH CÁC BẢNG .....	x
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 .....	1
1.4. Đóng góp của luận án .....	1
1.5. Bố cục của luận án.....	2
Chương 2 TỔNG QUAN .....	3
1.1. Giới thiệu .....	3
1.2. Mô hình bài toán tái cấu hình LDPP cổ điển .....	3
1.3. Một số phương pháp tái cấu hình LDPP .....	3
1.4. Kết luận.....	4
Chương 3 TÁI CẤU HÌNH LDPP SỬ DỤNG CÁC GIẢI THUẬT TÌM KIẾM TỐI ƯU.....	5
3.1. Giới thiệu .....	5
3.2. Tái cấu hình LDPP giảm tổn thất công suất.....	5
3.2.1. Mô hình bài toán .....	5
3.2.2. Phương pháp giải bài toán .....	5
3.2.3. Ví dụ kiểm tra .....	8
3.3. Tái cấu hình LDPP đa mục tiêu.....	11
3.3.1. Mô hình bài toán .....	11
3.3.2. Phương pháp giải bài toán .....	11
3.3.3. Kết quả tính toán.....	13
3.4. Nhận xét và kết luận .....	18
Chương 4 TÁI CẤU HÌNH LDPP CÓ XÉT ĐẾN MÁY PHÁT ĐIỆN PHÂN TÁN.....	19
4.1. Giới thiệu .....	19
4.2. Ảnh hưởng của DG đến bài toán tái cấu hình LDPP .....	19

4.2.1. Mô hình toán .....	19
4.2.2. Tái cấu hình LĐPP có xét đến DG sử dụng thuật toán CSA....	19
4.2.3. Kết quả tính toán .....	19
4.3. Tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất năng lượng có xét đến máy phát điện phân tán .....	22
4.3.1. Mô hình toán .....	22
4.3.2. Kết quả kiểm tra .....	23
4.4. Nhận xét và kết luận .....	25
Chương 5 ỨNG DỤNG TÁI CẤU HÌNH LĐPP CHƯ PRÔNG - ĐIỆN LỰC GIA LAI .....	26
5.1. Đặc điểm LĐPP Chư Prông.....	26
5.2. Kết quả áp dụng phương pháp đề xuất .....	26
5.2.1. Tái cấu hình giảm tổn thất công suất .....	26
5.2.2. Tái cấu hình sử dụng hàm đa mục tiêu .....	27
5.2.3. Tái cấu hình LĐPP có xét đến DG giảm tổn thất công suất.....	28
5.3. Kết luận.....	30
Chương 6 KẾT LUẬN .....	31
6.1. Những nội dung chính của luận án.....	31
6.2. Những đóng góp khoa học của luận án .....	31
6.3. Hướng phát triển của luận án.....	31
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	32
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ.....	34



## DANH SÁCH CÁC TỪ VIẾT TẮT

ACO:	Ant Colony Optimization
CGA:	Continous Genetic Algorithm
CSA:	Cuckoo Search Algorithm
DG:	Distributed Generation
DPSO:	Discrete Particle Swarm Optimization
FCS:	Final Compromise Solution
FLs:	Fundamental Loops
FMA:	Fuzzy Multiobjective Approach
FWA:	Fireworks Algorithm
GA:	Genetic Algorithm
HBB-BC:	Hybrid Big Bang–Big Crunch Algorithm
HBMO:	Honey Bee Mating Optimization
HPSO:	Hybrid Particle Swarm Optimization
HSA:	Harmony Search Algorithm
IAICA:	Improved Adaptive Imperialist Competitive Algorithm
ITS:	Improved Tabu Search
LBF:	Load balancing among the feeders
LBI:	Load Balancing Index
LĐPP:	Lưới điện phân phối
MOIWO:	Multi-Objective Invasive Weed Optimization
MSFLA:	Modified Shuffled Frog Leaping Algorithm
MTS:	Modified Tabu Search algorithm
NSW:	Number of switching operations
PSO:	Particle Swarm Optimization
RGA:	Refined Genetic Algorithm
RRA:	Runner-Root Algorithm
SAPSO:	Self-Adaptive Particle Swarm Optimization
SFL:	Shuffled Frog-Leaping algorithm
STD:	Standard Deviation
TH:	Trường hợp
VSI:	Voltage Stability Index
XT:	Xuất tuyến

## DANH SÁCH CÁC HÌNH

<b>Hình 3. 1.</b> PP xác định các nhánh trong các vòng cơ sở. ....	5
<b>Hình 3. 2.</b> PP kiểm tra cấu hình lưới hình tia. ....	6
<b>Hình 3. 3.</b> Lưu đồ PP tái cấu hình dựa trên thuật toán CSA. ....	7
<b>Hình 3. 4.</b> LĐPP IEEE 33 nút. ....	8
<b>Hình 3. 5.</b> Điện áp các nút trước và sau tái cấu hình trên LĐPP 33 nút. ....	8
<b>Hình 3. 6.</b> Hệ số mang tải trên các nhánh trước và sau khi tái cấu hình trên LĐPP 33 nút. ....	9
<b>Hình 3. 7.</b> Đặc tính hội tụ của CSA, PSO và CGA trên LĐPP 33 nút. ....	9
<b>Hình 3. 8.</b> Điện áp các nút trên LĐPP 119 nút trước và sau tái cấu hình. ....	11
<b>Hình 3. 9.</b> Đặc tính hội tụ của CSA, PSO và CGA trên LĐPP 119 nút. ....	11
<b>Hình 3. 10.</b> Sơ đồ các bước tái cấu hình LĐPP sử dụng RRA. ....	12
<b>Hình 3. 11.</b> Biên độ điện áp trong các TH trên LĐPP 33 nút. ....	14
<b>Hình 3. 12.</b> Hệ số mang tải trên các nhánh trong các TH trên LĐPP 33 nút. ...	14
<b>Hình 3. 13.</b> Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LĐPP 33 nút trong TH 1 sau 50 lần chạy. ....	14
<b>Hình 3. 14.</b> Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LĐPP 33 nút trong TH 5 sau 50 lần chạy. ....	14
<b>Hình 3. 15.</b> Biên độ điện áp trong các TH trên LĐPP 70 nút. ....	16
<b>Hình 3. 16.</b> Hệ số mang tải trên các nhánh trong các TH trên LĐPP 70 nút. ...	16
<b>Hình 3. 17.</b> Đặc tính hội tụ trên LĐPP 70 nút trong TH 1 trong 200 vòng lặp. ....	17
<b>Hình 3. 18.</b> Đặc tính hội tụ trên LĐPP 70 nút trong TH 5 trong 200 vòng lặp. ....	17
<b>Hình 3. 19.</b> Đặc tính hội tụ trên LĐPP 70 nút trong TH 1 trong 1000 vòng lặp. ....	17
<b>Hình 3. 20.</b> Đặc tính hội tụ trên LĐPP 70 nút trong TH 5 trong 1000 vòng lặp. ....	17
<b>Hình 4. 1.</b> So sánh chỉ số VSI các nút trong các TH trên LĐPP 33 nút. ....	21
<b>Hình 4. 2.</b> Đặc tính hội tụ của CSA trong các TH trên LĐPP 33 nút. ....	21
<b>Hình 4. 3.</b> So sánh chỉ số VSI các nút trong các TH trên LĐPP 119 nút. ....	22
<b>Hình 4. 4.</b> Đặc tính hội tụ của CSA trong các TH trên LĐPP 119 nút. ....	22
<b>Hình 4. 5.</b> Điện áp các nút trước khi tái cấu hình trong một ngày điển hình. ...	24
<b>Hình 4. 6.</b> Hệ số mang tải trên các nhánh trước khi tái cấu hình trong một ngày điển hình. ....	24
<b>Hình 4. 7.</b> Điện áp các nút sau khi tái cấu hình không xét đến DG. ....	24
<b>Hình 4. 8.</b> Điện áp các nút sau khi tái cấu hình có xét đến DG. ....	24
<b>Hình 4. 9.</b> Hệ số mang tải trên các nhánh sau khi tái cấu hình không xét DG trong một ngày điển hình. ....	25
<b>Hình 4. 10.</b> Hệ số mang tải trên các nhánh sau khi tái cấu hình có xét DG trong một ngày điển hình. ....	25
<b>Hình 5. 1.</b> Biên độ điện áp trước và sau khi tái cấu hình giảm $\Delta P$ . ....	27
<b>Hình 5. 2.</b> Hệ số mang tải trên các nhánh trước và sau khi tái cấu hình giảm $\Delta P$ . ....	27

<b>Hình 5. 3.</b>	Hệ số mang tải trên các nhánh khi tái cấu hình đa mục tiêu.....	27
<b>Hình 5. 4.</b>	Biên độ điện áp khi tái cấu hình đa mục tiêu .....	27
<b>Hình 5. 5.</b>	Biên độ điện áp khi có DG. ....	29
<b>Hình 5. 6.</b>	Hệ số mang tải trên các nhánh khi có DG.....	29

## DANH SÁCH CÁC BẢNG

<b>Bảng 3. 1.</b> Kết quả thực hiện trên LDPP 33 nút. ....	8
<b>Bảng 3. 2.</b> Kết quả so sánh CSA, PSO và CGA trên lưới 33 nút trong 50 lần chạy. ....	9
<b>Bảng 3. 3.</b> Kết quả so sánh CSA, PSO và CGA trên lưới 69 nút trong 50 lần chạy. ....	9
<b>Bảng 3. 4.</b> Kết quả thực hiện trên lưới phân phối 119 nút. ....	10
<b>Bảng 3. 5.</b> Kết quả thực hiện trên lưới phân phối 119 nút trong 20 lần chạy. ..	10
<b>Bảng 3. 6.</b> Kết quả so sánh RRA với các PP khác trên LDPP 33 nút. ....	13
<b>Bảng 3. 7.</b> Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 33 nút. ....	14
<b>Bảng 3. 8.</b> Kết quả so sánh RRA với các PP khác trên LDPP 70 nút. ....	15
<b>Bảng 3. 9.</b> Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 70 nút với 200 vòng lặp. ....	16
<b>Bảng 3. 10.</b> Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 70 nút với 1000 vòng lặp. ....	17
<b>Bảng 4. 1.</b> Kết quả tính toán trên LDPP 33 nút. ....	20
<b>Bảng 4. 2.</b> Kết quả tính toán trên LDPP 18 nút trong các TH khác nhau. ....	23
<b>Bảng 4. 3.</b> Kết quả tính toán trên LDPP 33 nút trong các TH khác nhau. ....	24
<b>Bảng 5. 1.</b> Kết quả tái cấu hình giảm tổn thất công suất. ....	26
<b>Bảng 5. 2.</b> Kết quả tái cấu hình đa mục tiêu. ....	28
<b>Bảng 5. 3.</b> Vùng kết nối của các DG. ....	29
<b>Bảng 5. 4.</b> Kết quả tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất của DG giảm $\Delta P$ . ....	29

## THUẬT NGỮ

$\bar{I}_{rate,i}$	Dòng điện trên nhánh $i$ khi công suất tải trung bình
$\bar{V}_{rate,j}$	Điện áp nút $j$ khi công suất tải trung bình
$F_k^{max}, F_k^{min}$	Giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của hàm mục tiêu thành viên $k$
$I_{F,j}$	Dòng điện cung cấp trên thanh cái $j$
$I_{i,max}$	Dòng điện định mức của nhánh $i$
$P_{DGi}$	Công suất phát của DG $i$
$P_{DGmax,i}$	Công suất phát lớn nhất của DG $i$
$P_j, Q_j$	Công suất tác dụng và phản kháng bơm vào nút $j$
$S_{0,i}, S_i$	Trạng thái trước và sau của khóa điện $i$
$V_{min(X)}$	Biên độ điện áp của nút có điện áp thấp nhất của cấu hình $X$
$V_j, \delta_j$	Biên độ áp trong đơn vị tương đối và góc pha trong đơn vị radian của điện áp tại nút $j$
$V_k, \delta_k$	Biên độ áp trong đơn vị tương đối và góc pha trong đơn vị radian của điện áp tại nút $k$
$V_{ref}$	Biên độ điện áp của nút nguồn
$Y_{jk}, \theta_{jk}$	Biên độ và góc pha tổng dẫn giữa $j$ và $k$
$\beta_1, \beta_2$	Hệ số phạt
$\Delta V$	Độ lệch điện áp lớn nhất
$\Delta V:$	Tổn thất công suất
$A$	Ma trận liên thuộc (nhánh x nút)
$\det$	Định thức của ma trận
$k_i$	Trạng thái của các nhánh $k_i = 1$ nếu nhánh $i$ đóng và $k_i = 0$ nếu nhánh $i$ mở
$Nbr$	Tổng số nhánh trên lưới phân phối
$Nbus$	Tổng số nút trên lưới phân phối
$NF$	Số lượng nút nguồn (thanh cái) trong LDPP
$P_i, Q_i$	Công suất tác dụng và phản kháng trên nhánh $i$
$R_i$	Tổng trở của nhánh thứ $i$
$var$	Phương sai (bình phương độ lệch chuẩn)
$V_i$	điện áp cuối nhánh $i$
$V_{min}, V_{max}$	Giới hạn điện áp nhỏ nhất và lớn nhất

# Chương 1

## GIỚI THIỆU

### 1.1. Đặt vấn đề

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 PP giải tối ưu cho bài toán tái cấu hình là nhu cầu thiết yếu trong nghiên cứu hệ thống điện phân phối.

Ngoài ra, sự xuất hiện ngày càng nhiều của DG được kết nối trực tiếp đến LĐPP cũng góp phần nâng cao hiệu quả của LĐPP. 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

Nghiên cứu các PP 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 PP 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 DG.

### 1.3. Giới hạn của đề tài

- 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 nguồn điện phân tán.

### 1.4. Đóng góp của luận án

Áp dụng thuật toán CSA và RRA giải bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất và bài toán tái cấu hình đa mục tiêu.

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.

Đề xuất PP tái cấu hình LĐPP có lắp đặt DG sử dụng thuật toán tìm kiếm tối ưu để giảm tổn thất năng lượng dựa trên công suất trung bình của phụ tải và công suất phát trung bình của DG trong thời đoạn khảo sát.

### **1.5. Bộ cục của luận án**

Luận án gồm 6 chương: Giới thiệu; Tổng quan; Tái cấu hình LĐPP sử dụng các giải thuật tìm kiếm tối ưu; Tái cấu hình LĐPP có xét đến máy phát điện phân tán; Ứng dụng tái cấu hình LĐPP Chư Prông - Điện lực Gia Lai; Kết luận.

## Chương 2 TỔNG QUAN

### 1.1. Giới thiệu

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, trong đó có các ràng buộc kỹ thuật như [1]:

- Tất cả các nút tải phải luôn được cung cấp điện.
- Cấu trúc 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 được giải bằng hai nhóm PP chính: heuristic và heuristic tổng quát. Trong đó, heuristic tổng quát có ưu điểm là 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 và các thông số cần điều chỉnh trong quá trình thực hiện. Vì vậy, bài toán ngăn ngừa sự hội tụ sớm vào cực trị địa phương của các thuật toán heuristic tổng quát cần được quan tâm giải quyết.

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 cũng cần được nghiên cứu. 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. Vì vậy, ảnh hưởng của DG cũng đã thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu.

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. 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.

### 1.2. Mô hình bài toán tái cấu hình LĐPP cổ điển

$$\text{Min } f = \sum_{i=1}^{Nbr} k_i R_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad i \in Nbr \quad (2.1)$$

Với

$$k_i |P_i| \leq P_{imax} \quad i \in Nbr \quad (2.2)$$

$$k_i |Q_i| \leq Q_{imax} \quad i \in Nbr \quad (2.3)$$

$$V_{jmin} \leq V_j \leq V_{jmax} \quad j \in Nbus \quad (2.4)$$

### 1.3. Một số phương pháp tái cấu hình LĐPP

Trong phần này một số PP tái cấu hình LĐPP được giới thiệu như: PP kỹ thuật vòng kín; PP trao đổi nhánh; PP dòng công suất tối ưu; PP dòng công suất



tối ưu cải tiến; Giải thuật di truyền; Giải thuật tối ưu bầy đàn; Giải thuật tối ưu trọng trường; Giải thuật tìm kiếm lùi

#### **1.4. Kết luận**

Bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất đã được giải bằng hai nhóm PP chính heuristic và heuristic tổng quát. Trong đó, nhóm các PP heuristic tổng quát ngày càng được phát triển. 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 PP giải hai bài toán trên.

Sự xuất hiện của DG trên LĐPP có ảnh hưởng đến kết quả bài toán tái cấu hình. Vì vậy, luận án cũng tập trung xây dựng PP 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 PP tái cấu hình LĐPP có lắp đặt DG giảm tổn thất năng lượng vì đây là bài toán thực tế trong quá trình vận hành LĐPP.

## Chương 3

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

### 3.1. Giới thiệu

Trong chương này PP giải bài toán tái cấu hình LĐPP dựa trên các thuật toán heuristic tổng quát CSA và RRA 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

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

#### 3.2.1.1. Điều kiện ràng buộc

Phân bố công suất:

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

Giới hạn điện áp các nút và dòng điện trên các nhánh:

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

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

Cấu hình lưới hình tia [2]:

$$\det(A) = -1 \text{ or } 1 \quad (3.5)$$

#### 3.2.2. Phương pháp giải bài toán

##### 3.2.2.1. Áp dụng thuật toán CSA giải bài toán tái cấu hình LĐPP

PP giới hạn không gian tìm kiếm của các khóa điện được đề xuất sử dụng các vòng cơ sở chứa các khóa điện trong một vòng kín như Hình 3.1.

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** ( $Sum\_column\ jth = 1, j=1 \dots N$ ) **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

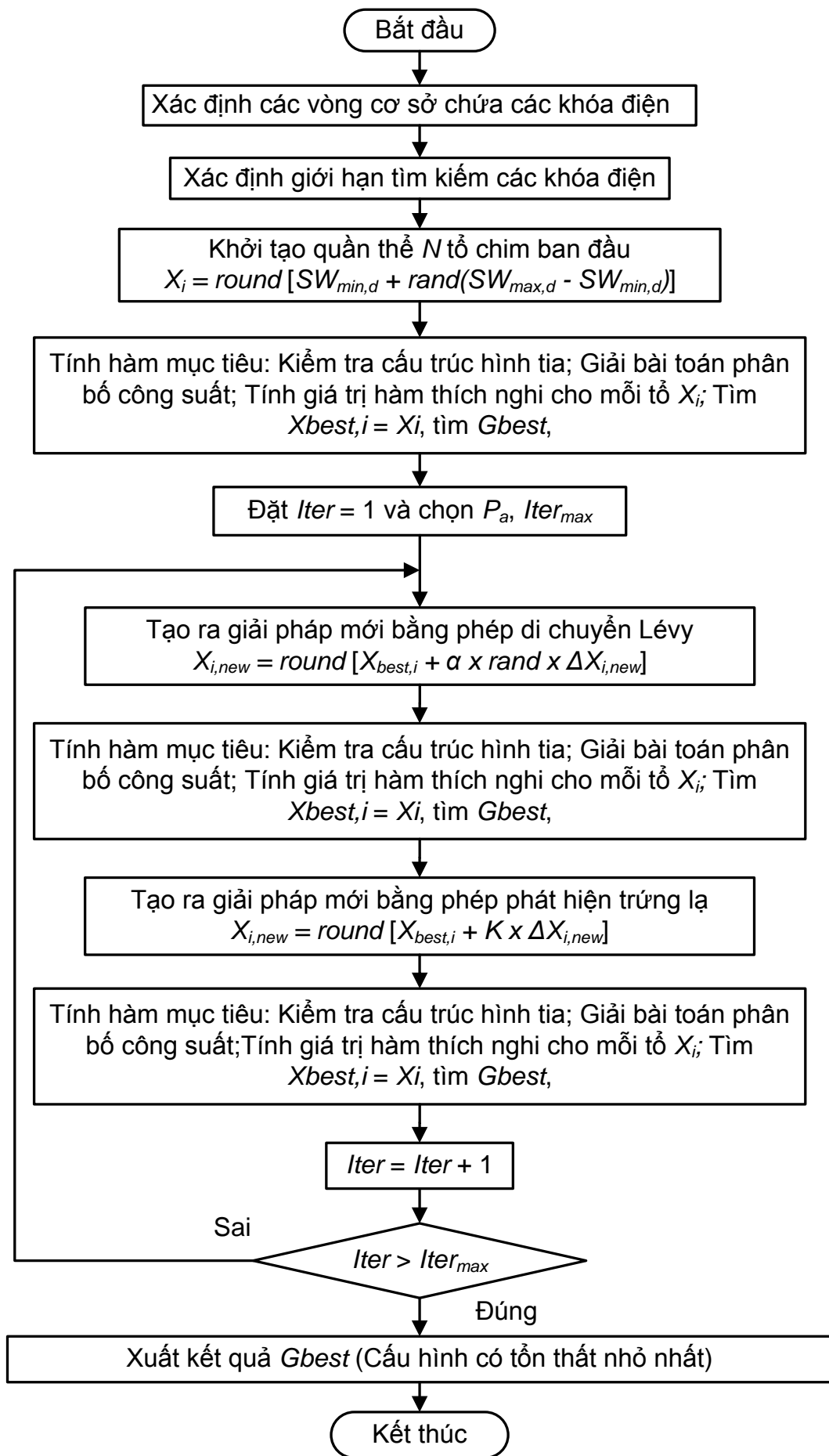
**End for k**

**Hình 3. 1.** PP xác định các nhánh trong các vòng cơ sở.

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.** PP kiểm tra cấu hình lưới hình tia.

PP kiểm tra điều kiện ràng buộc hình tia của LDPP được trình bày như Hình 3.2. PP tái cấu hình LDPP sử dụng thuật toán CSA được trình bày trong Hình 3.3.



**Hình 3. 3.** Lưu đồ PP tái cấu hình dựa trên thuật toán CSA.

### 3.2.3. Ví dụ kiểm tra

Trong phần này CSA được áp dụng trên LĐPP 33, 69 và 118 nút. Kết quả được so sánh với CGA [3], PSO và một số nghiên cứu khác.

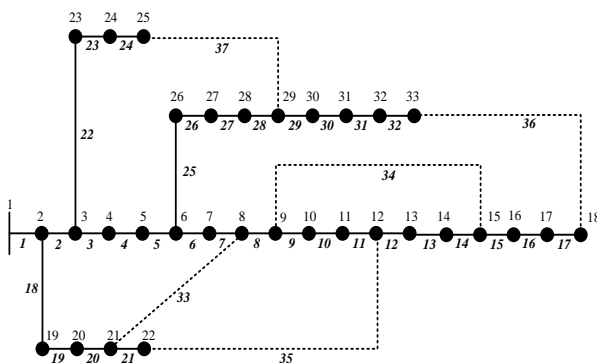
#### 3.2.3.1. Lưới điện IEEE 33 nút

Kết quả thực hiện CSA, PSO và CGA trên lưới điện 33 nút (Hình 3.4) được trình bày trong Bảng 3.1. 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. 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.

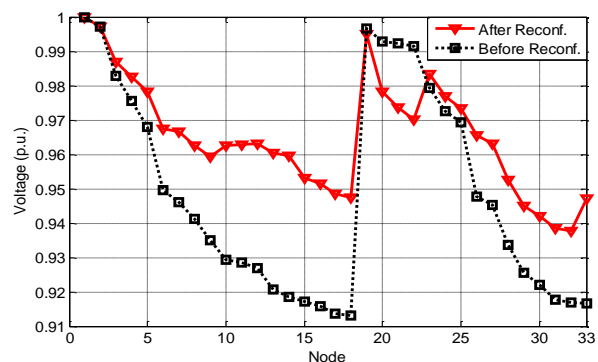
**Bảng 3. 1.** Kết quả thực hiện trên LĐPP 33 nút.

PP	Khóa mở	$\Delta P$ (kW)	Vmin (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 [4]	7, 9, 14, 28, 32	139.98	0.9412 (32)
GA [5]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378 (32)
RGA [6]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378 (32)
ITS [5]	7, 9, 14, 36, 37	142.17	0.9336 (33)
HSA [5]	7, 10, 14, 28, 36	142.43	0.9377 (33)
IAICA [7]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378 (32)

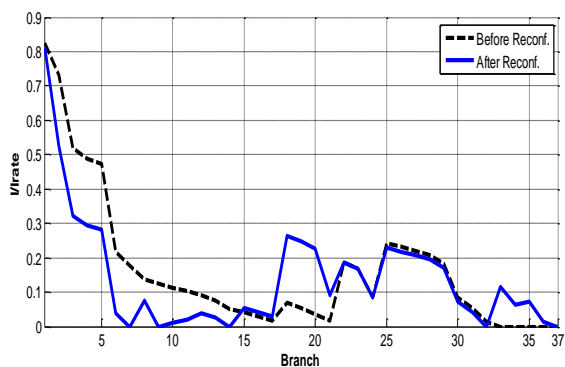
Bảng 3.2 cho thấy cả ba PP đều tìm được cấu hình có tổn thất công suất nhỏ nhất. Giá trị trung bình của CSA và CGA nhỏ hơn so với PSO. Số vòng lặp trung bình của CSA và thời gian thực hiện được so sánh tương đối là lớn hơn đáng kể so với PSO và CGA. Hình 3.7 cho thấy đặc tính hội tụ trung bình của CSA tốt hơn hẳn so với PSO.



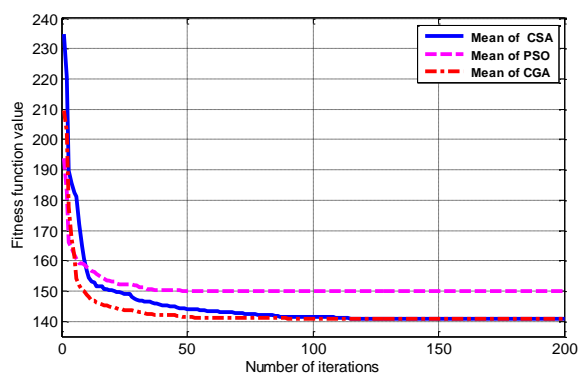
**Hình 3. 4.** LĐPP IEEE 33 nút.



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



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



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

**Bảng 3. 2.** Kết quả so sánh CSA, PSO và CGA trên lưới 33 nút trong 50 lần chạy.

PP	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

### 3.2.3.2. Lưới điện IEEE 69 nút

Bảng 3.3 cho thấy CSA và CGA gần tương tự nhau về giá trị trung bình sau 50 lần thực hiện độc lập, trong khi CSA tốt hơn hẳn PSO.

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

PP	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

### 3.2.3.3. Lưới điện IEEE 119 nút

Kết quả tái cấu hình sử dụng ba PP được trình bày trong Bảng 3.4. Sau khi thực hiện tái cấu hình tổng thất công suất giảm từ 1,273.45 kW xuống 855.04 kW. Biên độ điện áp các nút được cải thiện đáng kể sau khi thực hiện tái cấu hình (Hình 3.8).

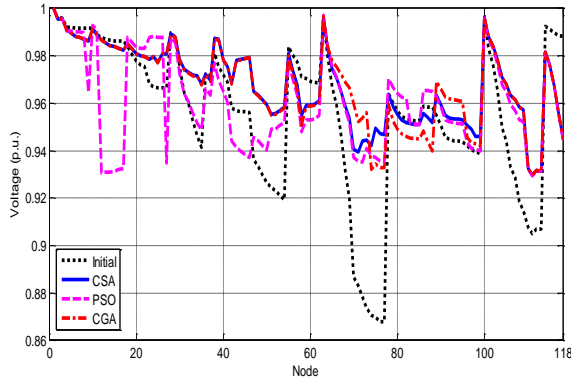
Bảng 3.5 cho thấy, CSA hội tụ chậm hơn PSO và CGA nhưng giải pháp thu được là giải pháp tối ưu nhất. Điều này càng được thể hiện rõ trong Hình 3.9 với các đường đặc tuyến hội tụ trung bình của ba PP. Về mặt thời gian tính toán tương đối, do phải tính toán hàm thích nghi hai lần so với PSO và CGA trong một vòng lặp nên thời gian tính toán của CSA lớn hơn nhiều so với PSO và CGA.

**Bảng 3. 4.** Kết quả thực hiện trên lưới phân phối 119 nút.

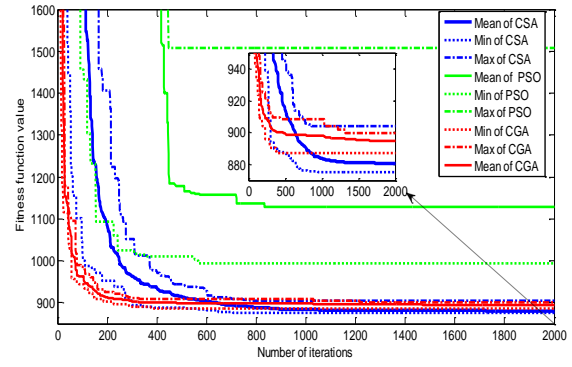
PP	Khóa mở	$\Delta P$ (kW)	Vmin (p.u.) (nút)
Ban đầu	118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132	1273.45	0.8678 (77)
CSA	42, 25, 23, 121, 50, 58, 39, 95, 71, 74, 97, 129, 130, 109, 34	855.04	0.9298 (111)
PSO	26, 11, 22 121, 50, 58, 8, 95, 72, 127, 128, 82, 130, 109, 132	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 [10]	42, 26, 23, 51, 122, 58, 39, 95, 71, 74, 97, 129, 130, 109, 34	867.4	0.9298 (111)
MTS [2]	42, 26, 23, 51, 122, 58, 39, 95, 71, 74, 97, 129, 130, 109, 34	867.4	0.9298 (111)
FWA [4]	42, 25, 23, 121, 50, 58, 39, 95, 71, 74, 97, 129, 130, 109, 34	855.04	0.9298 (111)

**Bảng 3. 5.** Kết quả thực hiện trên lưới phân phối 119 nút trong 20 lần chạy.

PP	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. 8.** Điện áp các nút trên LĐPP 119 nút trước và sau tái cấu hình.



**Hình 3. 9.** Đặc tính hội tụ của CSA, PSO và CGA trên LĐPP 119 nút.

### 3.3. Tái cấu hình LĐPP đa mục tiêu

#### 3.3.1. Mô hình bài toán

Mục tiêu 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 thanh cái.

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

$$LBI = var \left[ \frac{I_1}{I_{1,max}}, \frac{I_2}{I_{2,max}}, \dots, \frac{I_i}{I_{i,max}}, \dots, \frac{I_{Nbr}}{I_{Nbr,max}} \right] \quad (3.6)$$

$$LBF = var [I_{F,1}, I_{F,2}, \dots, I_{F,j}, \dots, I_{F,NF}] \quad (3.7)$$

$$NSW = \sum_{i=1}^{Nbr} |S_{0,i} - S_i| \quad (3.8)$$

$$\Delta V = V_{ref} - V_{min(X)} \quad (3.9)$$

PP max-min được sử dụng để chọn giải pháp thỏa hiệp (FCS) [11], [12], [13]. Mỗi hàm thành viên được thể hiện như sau:

$$MF_k = \begin{cases} 1, & F_k \leq F_k^{min} \\ \frac{F_k^{max} - F_k(X)}{F_k^{max} - F_k^{min}}, & F_k^{min} < F_k < F_k^{max} \\ 0, & F_k(X) \geq F_k^{max} \end{cases} \quad (3.10)$$

Trong đó, giá trị của  $F_{k,min}$  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.

Mức độ hài hòa chung giữa các hàm thành viên được xác định như sau:

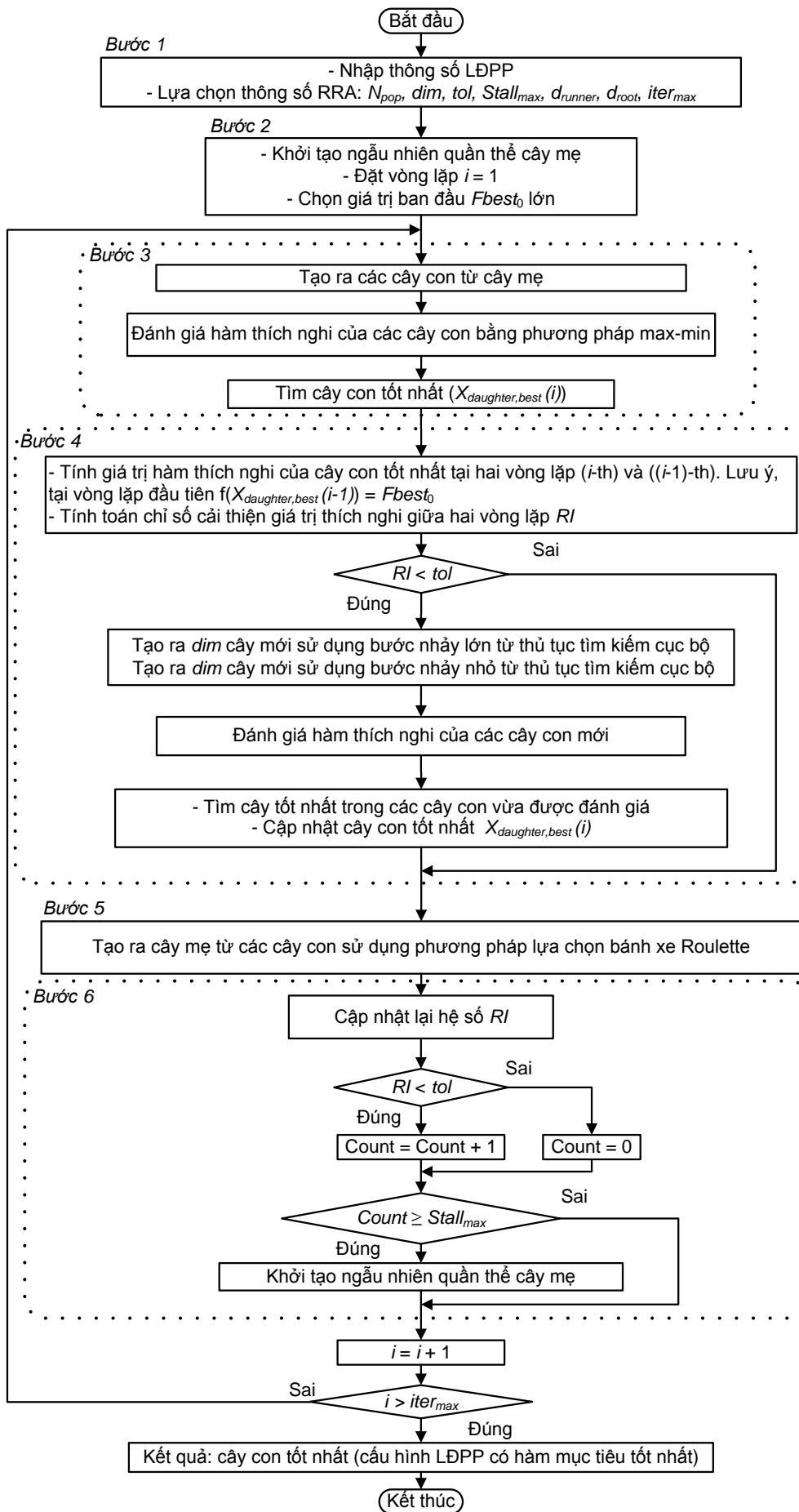
$$FCS(X) = 1 - \min\{MF_k(X)\} \quad (3.11)$$

Các điều kiện ràng buộc: cân bằng công suất, giới hạn điện áp các nút và dòng điện trên các nhánh, cấu trúc lưới hình tia của LĐPP.

#### 3.3.2. Phương pháp giải bài toán

Trong phần này RRA được sử dụng để giải bài toán tái cấu hình đa mục tiêu. Lưu đồ các bước thực hiện được trình bày ở Hình 3.10.





**Hình 3. 10.** Sơ đồ các bước tái cấu hình LĐPP sử dụng RRA.

### 3.3.3. Kết quả tính toán

RRA được kiểm tra trên hai LDPP 33 và 70 nút.

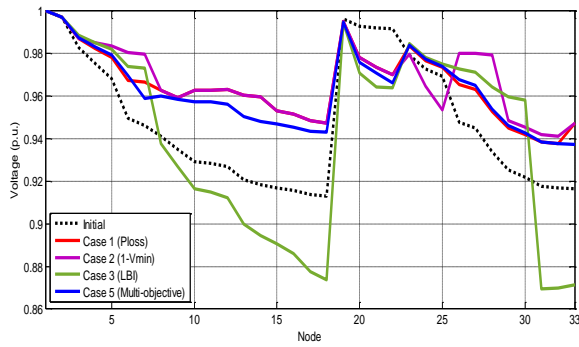
#### 3.3.3.1. LDPP 33 nút

Bảng 3.6 ở TH 5, RRA thu được cấu hình có tổn thất công suất cao hơn từ 0.64 kW đến 5.5 kW so với cấu hình thu được từ các PP MOIWO [11], HBB-BC [14], HPSO [18] và DPSO-HBMO [19] nhưng RRA chỉ mất 4 lần chuyển khóa so với từ 6-10 lần chuyển khóa khi thực hiện bằng các PP trên. Hình 3.11 cho thấy điện áp tất cả các nút đã được cải thiện sau khi tái cấu hình. Hình 3.12 cho thấy không có nhánh nào vi phạm ràng buộc về dòng điện.

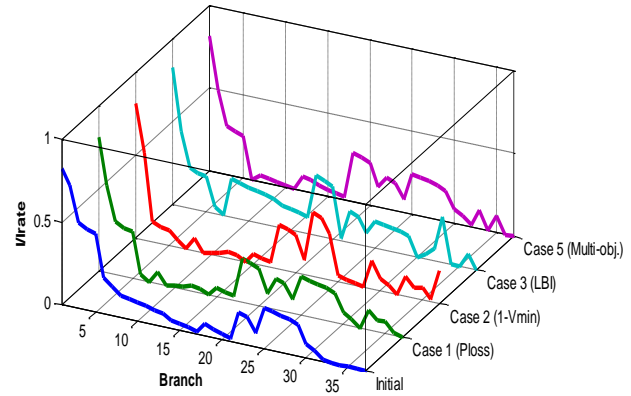
Bảng 3.7 cho thấy RRA tốt hơn CGA và CSA ở giá trị vòng lặp hội tụ. Về thời gian tính toán, RRA chậm hơn CGA và nhanh hơn CSA, nhưng thời gian tính toán trên được tính cho 150 vòng lặp trong khi đó RRA hội tụ sớm hơn CGA và CSA. Hình 3.13 và Hình 3.14 cho thấy các đường đặc tính trung bình của RRA trong hai TH luôn thấp hơn CGA và CSA.

**Bảng 3. 6.** Kết quả so sánh RRA với các PP khác trên LDPP 33 nút.

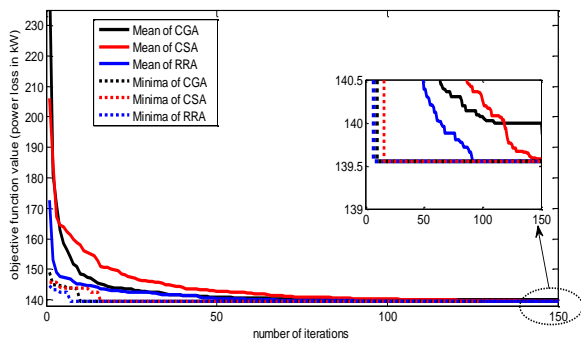
PP	Khóa mở	$\Delta P$ (kW)	$V_{\min}$ (p.u.)	LBI	Max (I/Irate)	NSW
TH 1: Hàm đơn mục tiêu cực tiểu tổn thất công suất						
RRA	7, 14, 9, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
HBB-BC [14]	7, 14, 9, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
Fuzzy-SFL[15]	7, 9, 14, 28, 32	139.98	0.9412	0.0308	0.8126	10
MOIWO [11]	7, 14, 9, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
HSA [9]	7, 14, 9, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
FWA [4]	7, 14, 9, 32, 28	139.98	0.9412	0.0308	0.8126	10
PSO [16]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
ACO [17]	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 [14]	7, 9, 14, 28, 32	139.98	0.9412	0.0308	0.8126	10
Fuzzy-SFL[15]	6, 8, 12, 36, 37	151.51	0.9318	0.0259	0.8153	6
MOIWO [11]	6, 11, 32, 34, 37	144.41	0.9357	0.0262	0.8138	6
HPSO [18]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8
DPSO-HBMO[19]	7, 9, 14, 32, 37	139.55	0.9378	0.0279	0.8123	8



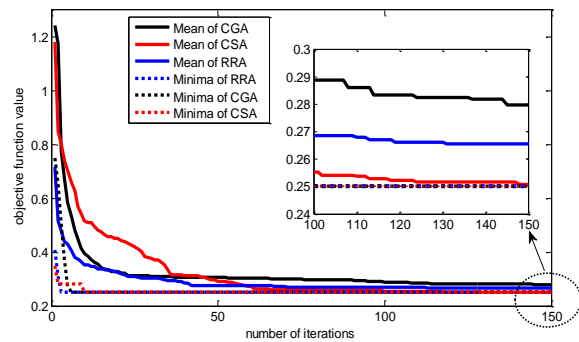
**Hình 3. 11.** Biên độ điện áp trong các TH trên LDPP 33 nút.



**Hình 3. 12.** Hệ số mạng tải trên các nhánh trong các TH trên LDPP 33 nút.



**Hình 3. 13.** Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LDPP 33 nút trong TH 1 sau 50 lần chạy.



**Hình 3. 14.** Đặc tính hội tụ của RRA, CGA và CSA trên LDPP 33 nút trong TH 5 sau 50 lần chạy.

**Bảng 3. 7.** Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 33 nút.

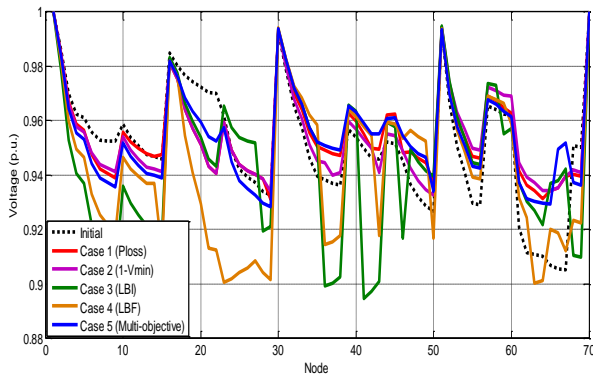
PP	Khóa mở	Hàm thích nghi				Vòng lặp hội tụ		Thời gian (s)
		Max.	Min.	Mean	STD	Mean	STD	
TH 1: Hàm đơn mục tiêu giảm tổn thất công suất								
RRA	7, 14, 9, 32, 37	139.55	139.55	139.55	8.6e-14	38.10	21.34	48.17
CGA	7, 14, 9, 32, 37	146.19	139.55	139.78	1.2121	54.63	29.86	39.26
CSA	7, 14, 9, 32, 37	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

### 3.3.3.2. LDPP 70 nút

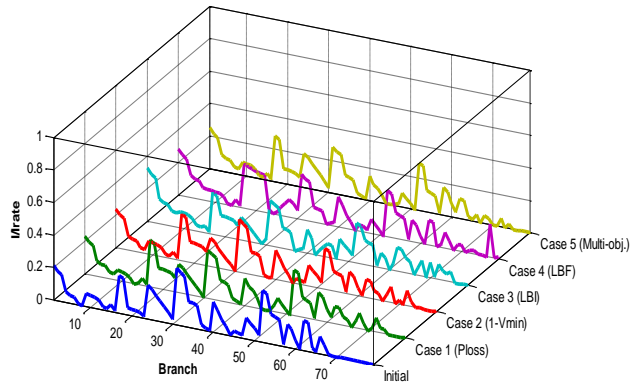
Bảng 3.8, cho thấy tổn thất công suất thu được từ RRA tốt hơn kết quả thu được từ các PP SAPSO [20], MSFLA [20] và SAPSO-MSFLA [20]. Tổn thất công suất thu được từ các PP trên là 202.26 kW cao hơn 0.85 kW so với kết quả từ RRA. Trong TH 5, tổn thất công suất là 208.31 kW cao hơn so với TH 1 (201.41 kW), nhưng chỉ số *LBF* và số lần chuyển khóa *NSW* đã được cải thiện đáng kể so với TH 1. So với FMA [21], HPSO [18] và DPSO-HBMO [19], tổn thất công suất thu được từ RRA có cao hơn 3.2396 kW, nhưng RRA chỉ mất có 6 lần vận hành khóa so với 12 lần vận hành khóa khi sử dụng các PP trên.

**Bảng 3. 8.** Kết quả so sánh RRA với các PP khác trên LDPP 70 nút.

PP	$\Delta P$ (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	201.41	0.9311	0.0063	0.2989	0.0230	[1.2007, 1.4977, 1.5377, 1.4512]	10
SAPSO [20]	202.26	0.9316	0.0062	0.2911	0.0090	[1.2863, 1.4977, 1.4735, 1.4308]	8
SAPSO-MSFLA [20]	202.26	0.9316	0.0062	0.2911	0.0090	[1.2863, 1.4977, 1.4735, 1.4308]	8
MSFLA [20]	202.26	0.9316	0.0062	0.2911	0.0090	[1.2863, 1.4977, 1.4735, 1.4308]	8
RRA	Khóa mở: 51, 70, 13, 66, 30, 45, 75, 76, 77, 78, 79						
SAPSO	Khóa mở: 66, 79, 77, 51, 30, 70, 46, 75, 78, 76, 71						
SAPSO-MSFLA	Khóa mở: 66, 79, 77, 51, 30, 70, 46, 75, 78, 76, 71						
MSFLA	Khóa mở: 66, 79, 77, 51, 30, 70, 46, 75, 78, 76, 71						
TH 5: Hàm đa mục tiêu							
RRA	208.31	0.9283	0.0064	0.2929	0.0098	[1.2807, 1.4449, 1.4625, 1.5069]	6
FMA [21]	205.07	0.9273	0.0066	0.2890	0.0085	[1.2871, 1.4471, 1.4733, 1.4865]	12
HPSO [18]	205.07	0.9273	0.0066	0.2890	0.0085	[1.2871, 1.4471, 1.4733, 1.4865]	12
DPSO-HBMO [19]	205.07	0.9273	0.0066	0.2890	0.0085	[1.2871, 1.4471, 1.4733, 1.4865]	12
RRA	Khóa mở: 69, 37, 71, 67, 73, 45, 75, 76 77, 78, 79						
FMA	Khóa mở: 14, 79, 71, 39, 51, 28, 73, 67, 46, 76, 70						
HPSO	Khóa mở: 14, 79, 71, 39, 51, 28, 73, 67, 46, 76, 70						
DPSO-HBMO	Khóa mở: 14, 79, 71, 39, 51, 28, 73, 67, 46, 76, 70						



**Hình 3.15.** Biên độ điện áp trong các TH trên LDPP 70 nút.



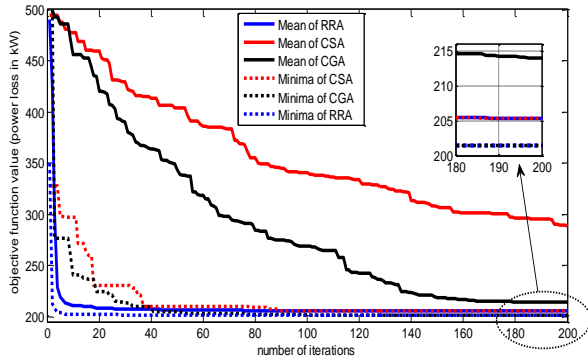
**Hình 3.16.** Hệ số mang tải trên các nhánh trong các TH trên LDPP 70 nút.

Biên độ điện áp các nút trong hệ thống khi sử dụng các TH khác nhau ở Hình 3.15 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 3.16) sau khi thực hiện tái cấu hình cũng được cải thiện so với TH ban đầu.

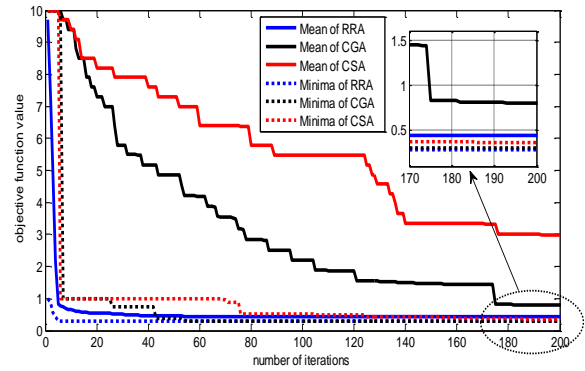
**Bảng 3.9.** Kết quả RRA với CGA và CSA trên LDPP 70 nút với 200 vòng lặp.

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

Bảng 3.9 cho thấy, RRA có ưu điểm vượt trội so với CGA và CSA. 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. Giá trị trung bình của hàm thích nghi thu được từ RRA thấp hơn nhiều so với CGA và CSA. RRA hội tụ rất nhanh với khả năng tìm kiếm giải pháp tối ưu toàn cục khi giải bài toán tái cấu hình với số vòng lặp nhỏ hơn CGA và CSA. Hình 3.17 và 3.18 cho thấy đường đặc tính trung bình của RRA rất gần với đường đặc tính hội tụ nhỏ nhất.



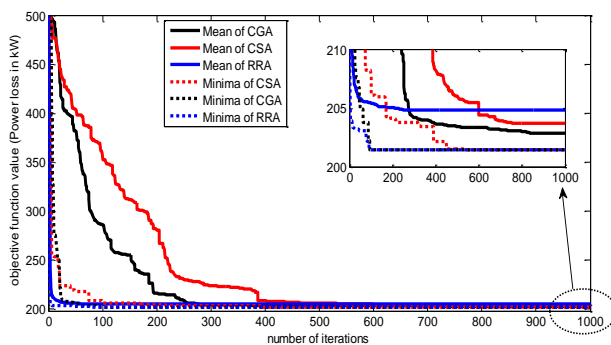
**Hình 3. 17.** Đặc tính hội tụ trên LĐPP 70 nút trong TH 1 trong 200 vòng lặp



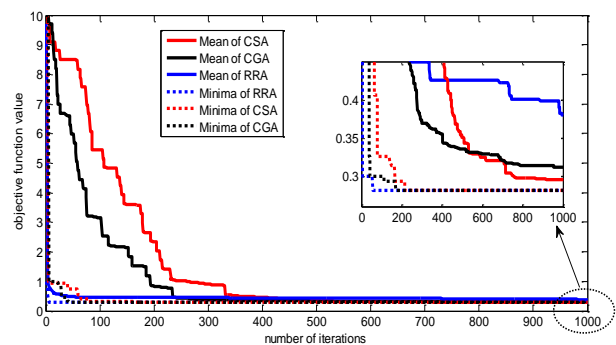
**Hình 3. 18.** Đặc tính hội tụ trên LĐPP 70 nút trong TH 5 trong 200 vòng lặp

**Bảng 3. 10.** Kết quả RRA với CGA và CSA trên LĐPP 70 nút với 1000 vòng lặp.

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



**Hình 3. 19.** Đặc tính hội tụ trên LĐPP 70 nút trong TH 1 trong 1000 vòng lặp



**Hình 3. 20.** Đặc tính hội tụ trên LĐPP 70 nút trong TH 5 trong 1000 vòng lặp

Hình 3.19, Hình 3.20 và Bảng 3.10 cho thấy, mặc dù cả ba PP đều tìm được cấu hình tối ưu khi số vòng lặp lớn nhất bằng 1000, 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 CGA và CSA.

### **3.4. Nhận xét và kết luận**

PP mã hóa các biến: thể hiện thông tin các khóa điện mở bằng các số nguyên sẽ giúp bài toán trở nên đơn giản

Xác định không gian tìm kiếm của các biến: thông qua việc xác định các vòng cơ sở dựa trên ma trận kết nối (nhánh x nút). Sau đó, ma trận được cập nhật để tiếp tục sử dụng trong PP kiểm tra cấu hình lưới hình tia đã giúp nâng cao hiệu quả tính toán của PP.

CSA là một thuật toán mạnh trong giải bài toán tái cấu hình từ các LDPP 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. 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 PSO và CGA.

RRA đã được áp dụng thành công để giải bài toán tái cấu hình đa mục tiêu. Kết quả tính toán cho thấy RRA có khả năng tìm được cấu hình vận hành LDPP với số vòng lặp nhỏ hơn nhiều so với CGA và CSA.

## Chương 4

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

### 4.1. Giới thiệu

Trong chương này, ảnh hưởng của vị trí và công suất DG đến bài toán tái cấu hình được đánh giá thông qua giải bài toán tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG.

PP 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

Hàm mục tiêu tái cấu hình có xét đến tối ưu vị trí và công suất DG:

$$\text{minimize } F = \Delta P_{loss}^R + \Delta VSI \quad (4.1)$$

Trong đó:

$$\Delta P_{loss}^R = \frac{P_{loss}^{rec.}}{P_{loss}^0} \quad (4.2)$$

$$\Delta VSI = \max \left( \frac{1-VSI_j}{1} \right) \quad \forall j = 2, \dots, N_{bus} \quad (4.3)$$

$$VSI_j = |V_{j-1}|^4 - 4(P_j R + Q_j X) |V_{j-1}|^2 - 4(P_j X - Q_j R)^2 \quad (4.3)$$

Điều kiện ràng buộc về giới hạn công suất của các DG cần được thỏa mãn:

$$0 \leq P_{DG_i} \leq P_{DG_{max,i}}; \quad i = 1, 2, \dots, N_{DG} \quad (4.5)$$

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

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

Vector giải pháp được mã hóa như sau:

$$X_i = [Tie_1^i, \dots, Tie_{NO}^i, Lo.DG_1^i, \dots, Lo.DG_m^i, Size.DG_1^i, \dots, Size.DG_m^i] \quad (4.6)$$

Trong giai đoạn khởi tạo của thuật toán, vector giải pháp  $i^{th}$  được khởi tạo:

$$Tie_i = \text{round}[Tie_{lower,d1}^i + \text{rand} \times (Tie_{upper,d1}^i - Tie_{lower,d1}^i)] \quad (4.7)$$

$$Lo.DG_i = \text{round}[Lo_{lower,d2}^i + \text{rand} \times (Lo_{upper,d2}^i - Lo_{lower,d2}^i)] \quad (4.8)$$

$$Size.DG_i = [Size_{lower,d3}^i + \text{rand} \times (Size_{upper,d3}^i - Size_{lower,d3}^i)] \quad (4.9)$$

Các bước thực hiện của CSA tương tự như bài toán tái cấu hình giảm tổn thất công suất sử dụng.

#### 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, PP tái cấu hình LĐPP có xét đến DG sử dụng thuật toán CSA được áp dụng trên ba LĐPP 33, 69 và 118 nút. Trong quá trình mô phỏng, bảy TH được phân tích và so sánh kết quả bao gồm: 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 phát DG (Vị trí DG được xác định trước dựa trên chỉ số VSI trên cấu hình ban đầu) và TH 7: Hệ thống được tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG

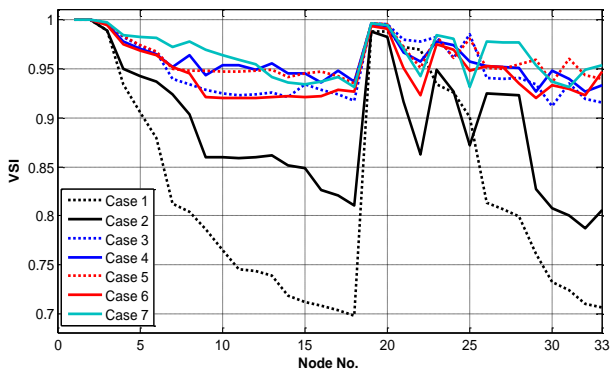
#### 4.2.3.1. LĐPP 33 nút

Bảng 4.1 cho thấy, tổn thất công suất đã giảm 30.93%, 63.26%, 71.0%, 68.93%, 68.58% và 73.75% so với trong cấu hình ban đầu khi sử dụng các 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.

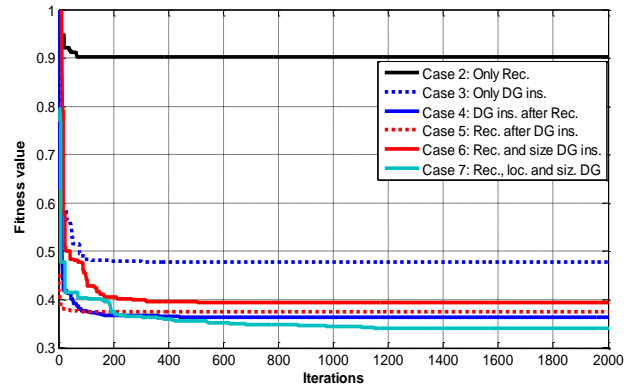
**Bảng 4. 1.** Kết quả tính toán trên LĐPP 33 nút.

TH	Mục	PP đề xuất	FWA [8]	HSA [9]
TH 1	Khóa mở	33, 34, 35, 36, 37	-	-
	$\Delta P$ (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
	$\Delta P$ (kW)	139.98	139.98	138.06
	$\Delta P$ (%)	<b>30.93</b>	<b>30.93</b>	<b>31.88</b>
	$V_{\min}$ (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)	0.5897 (14)	0.1070 (18)
		1.1251 (24)	0.1895 (18)	0.5724 (17)
		1.3496 (30)	1.0146 (32)	1.0462 (33)
	$\Delta P$ (kW)	74.26	88.68	96.76
	$\Delta P$ (%)	<b>63.26</b>	<b>56.24</b>	<b>52.26</b>
	$V_{\min}$ (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)	0.5996 (32)	0.2686 (32)
		0.5397 (12)	0.3141 (33)	0.1611 (31)
		0.5045 (16)	0.1591 (18)	0.6612 (30)
	$\Delta P$ (kW)	58.79	83.91	97.13
	$\Delta P$ (%)	<b>71.00</b>	<b>58.59</b>	<b>52.07</b>
	$V_{\min}$ (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)	0.5897 (14)	-
		1.1251 (24)	0.1895 (18)	-
		1.3496 (30)	1.0146 (32)	-

TH	Mục	PP đề xuất	FWA [8]	HSA [9]
	$\Delta P$ (kW)	62.98	68.28	-
	$\Delta P$ (%)	<b>68.93</b>	<b>66.31</b>	-
	$V_{\min}$ (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)	0.5367 (32)	0.5258 (32)
		1.2024 (29)	0.6158 (29)	0.5586 (31)
		0.7127 (18)	0.5315 (18)	0.5840 (33)
	$\Delta P$ (kW)	63.69	67.11	73.05
	$\Delta P$ (%)	<b>68.58</b>	<b>66.89</b>	<b>63.95</b>
$V_{\min}$ (p.u.)	0.9786	0.9713	0.9700	
TH 7	Khóa mở	33, 34, 11, 31, 28	-	-
	$P_{DG}$ (MW) (nút)	0.8968 (18)	-	-
		1.4381 (25)	-	-
		0.9646 (7)	-	-
	$\Delta P$ (kW)	53.21	-	-
	$\Delta P$ (%)	<b>73.75</b>	-	-
$V_{\min}$ (p.u.)	0.9806	-	-	
$VSI_{\min}$	0.9318	-	-	



**Hình 4. 1.** So sánh chỉ số VSI các nút trong các TH trên LĐPP 33 nút.



**Hình 4. 2.** Đặc tính hội tụ của CSA trong các TH trên LĐPP 33 nút.

Hình 4.1 cho thấy, 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. Đặc tính hội tụ của các TH được cho ở Hình 4.2 cho thấy giá trị hàm thích nghi trong TH 7 nhỏ nhất so với các TH còn lại.

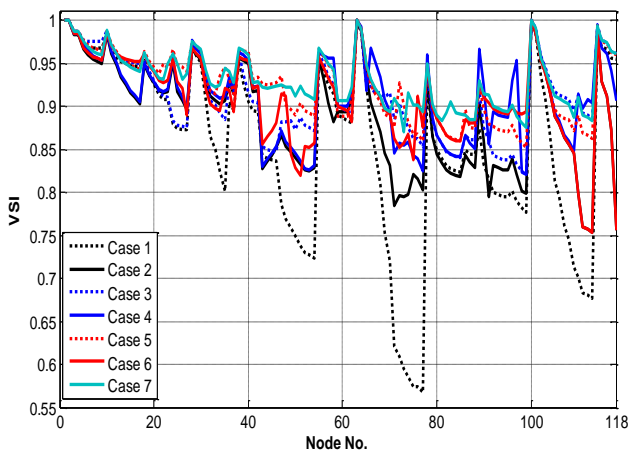
#### 4.2.3.2. LĐPP 69 nút

Tương tự như LĐPP 33 nút, kết quả tính toán trên LĐPP 69 nút cho thấy tổn

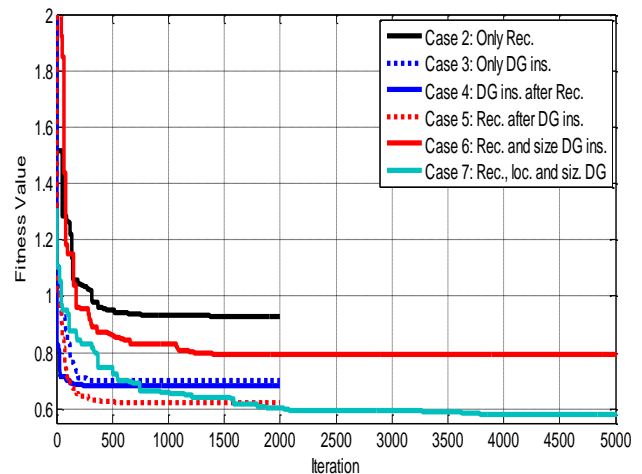
thất công suất đã giảm 56.16%, 67.79%, 83.45%, 81.71%, 82.0% và 83.54% khi sử dụng TH 2 đến TH 7. Trong các TH thực hiện, tổn thất công suất thu được từ TH 7 là bé nhất và cấu hình điện áp cũng được cải thiện hơn so với các TH còn lại. Điều này cho thấy, vị trí và công suất DG cần được tối ưu đồng thời với quá trình tái cấu hình.

### 4.2.3.3. LĐPP 119 nút

Khi lần lượt sử dụng các TH 2 đến TH 7, tổn thất công suất đã giảm được tương ứng với 32.86%, 49.11%, 50.43%, 51.80%, 46.44% và 53.96%. 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 LĐPP 33 và 69 nút, mức giảm tổn thất công suất và cấu hình 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 cấu hình điện áp tốt nhất. Hình 4.3 cho thấy chỉ số VSI đã được cải thiện đáng kể sau khi sử dụng PP đề xuất. Đặc tính hội tụ trong các TH thu được ở Hình 4.4 cho thấy giá trị thích nghi trong TH 7 bé hơn so với các TH còn lại. Điều này cho thấy hiệu quả của PP tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG đồng thời.



**Hình 4. 3.** So sánh chỉ số VSI các nút trong các TH trên LĐPP 119 nút.



**Hình 4. 4.** 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

Trong phần này, PP tái cấu hình xác định cấu trúc vận hành lưới không đổi trong thời đoạn khảo sát để giảm tổn thất năng lượng sử dụng công suất trung bình của phụ tải và của DG đã được chứng minh.

Hàm thích nghi của mỗi cấu hình bao gồm tổn thất công suất và giá trị phạt ( $\beta_1$  và  $\beta_2$ ) liên quan đến điện áp nút và dòng điện nhánh được mô tả như sau:

$$\text{Fit} = \sum_{i=1}^{Nbr} R_i \times \left( \frac{\bar{P}_i^2 + \bar{Q}_i^2}{\bar{V}_i^2} \right) + \beta_1 \sum_{j=1}^{Nbus} [\max(\bar{V}_{rate,j} - V_{max}, 0) + \max(V_{min} - \bar{V}_{rate,j}, 0)] + \beta_2 \sum_{i=1}^{Nbr} \left[ \max\left( \frac{|\bar{I}_{rate,i}|}{|I_i^{max}|} - 1, 0 \right) \right] \quad (4.10)$$

### 4.3.2. Kết quả kiểm tra

PP đề nghị được kiểm tra trên LDPP 18 và 33 nút, 5 TH sau được xem xét: TH 1: Cấu hình ban đầu khi phụ tải định mức; TH 2: tái cấu hình sử dụng công suất phụ tải từng giờ trong một ngày khảo sát không xem xét đến DG (Sử dụng đồ thị phụ tải); TH 3: tái cấu hình sử dụng công suất phụ tải trung bình trong một ngày khảo sát không xem xét đến DG; TH 4: tái cấu hình sử dụng công suất phụ tải và công suất DG từng giờ trong một ngày khảo sát và TH 5: tái cấu hình sử dụng công suất phụ tải và công suất DG trung bình trong một ngày khảo sát.

#### 4.3.2.1. LDPP 18 nút

Bảng 4.2 cho thấy kết quả thu được ở TH 2 bằng với TH 3 và TH 4 bằng với TH 5 ở khóa mở và tổn thất điện năng trong thời đoạn khảo sát. 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 TH 3 nhanh hơn nhiều so với sử dụng công suất trong từng thời điểm như TH 2.

**Bảng 4.2.** Kết quả tính toán trên LDPP 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, mặc dù sử dụng công suất trung bình của phụ tải và DG, nhưng TH 5 vẫn xác định được cấu hình có tổn thất năng lượng nhỏ nhất như TH 4 và thời gian tính toán chỉ mất khoảng 4s so với 77s trong TH 4.

#### 4.3.2.2. LDPP 33 nút

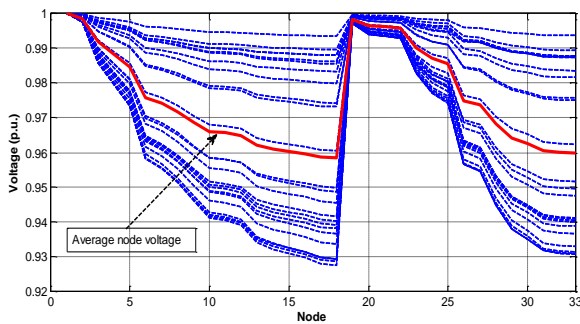
Kết quả so sánh giữa TH 2 và 3 và giữa TH 4 và 5 ở Bảng 4.3 cho thấy có thể sử dụng công suất trung bình của phụ tải và công suất phát trung bình của DG trong thời gian khảo sát để xác định cấu hình vận hành lưới tối ưu trong việc giảm tổn thất năng lượng. Như vậy, PP đề xuất sẽ không cần yêu cầu đồ 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.

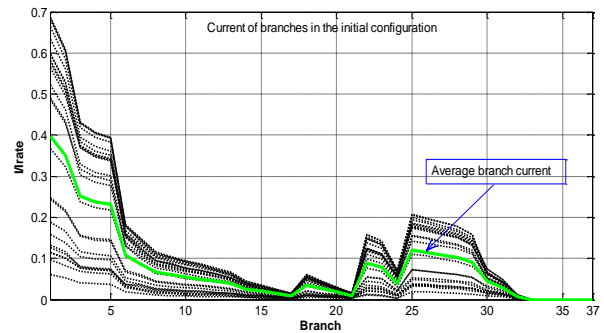
**Bảng 4. 3.** Kết quả tính toán trên LDPP 33 nút trong các TH khác nhau.

Trường hợp	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

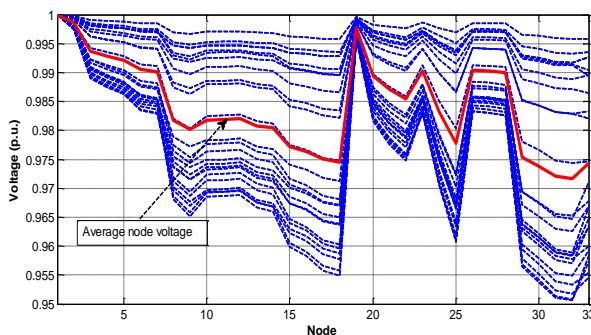
Điện áp các nút trong thời gian khảo sát sau khi tái cấu hình trong trường hợp ban đầu, không xét DG và có xét đến DG trong Hình 4.7 và Hình 4.8 cho thấy điện áp các nút đều nằm trong giới hạn cho phép và đã được cải thiện đáng kể so với ban đầu (Hình 4.5).



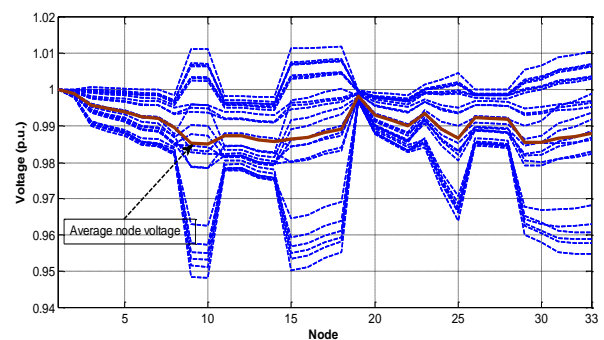
**Hình 4. 5.** Điện áp các nút trước khi tái cấu hình trong một ngày điển hình.



**Hình 4. 6.** Hệ số mạng tải trên các nhánh trước khi tái cấu hình trong một ngày điển hình.

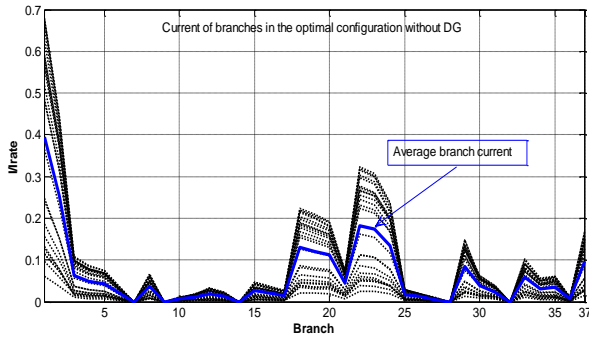


**Hình 4. 7.** Điện áp các nút sau khi tái cấu hình không xét đến DG.

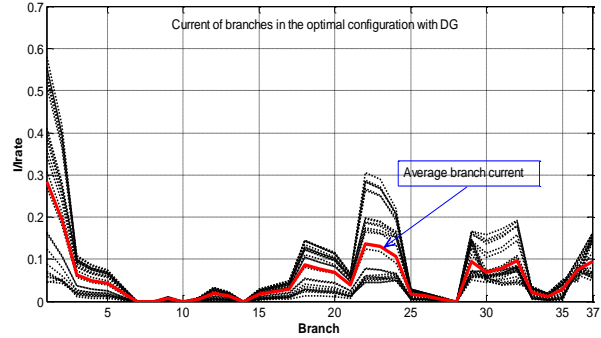


**Hình 4. 8.** Điện áp các nút sau khi tái cấu hình có xét đến DG.

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 4.9 và Hình 4.10. 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 (Hình 4.6) và cấu hình tối ưu khi không có DG.



**Hình 4. 9.** Hệ số mang tải trên các nhánh sau khi tái cấu hình không xét DG trong một ngày điển hình.



**Hình 4. 10.** 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

tái cấu hình LĐPP kết hợp với tối ưu vị trí và công suất phát DG đồng thời là PP tối ưu nhất để thu được cấu hình có tổn thất công suất bé nhất và cấu hình điện áp tốt nhất so với các trường hợp còn lại.

PP tái cấu hình LĐPP có xét đến DG giảm tổn thất năng lượng 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 PP là không yêu cầu đồ thị phụ tải cũng như công suất phát của DGs 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. Ngoài ra, PP 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, PP đề xuất có thể được 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.

## Chương 5

# ỨNG DỤNG TÁI CẤU HÌNH LĐPP CHƯ PRÔNG - ĐIỆN LỰC GIA LAI

### 5.1. Đặc điểm LĐPP Chư Prông

Trên LĐPP Chư Prông, bốn xuất tuyến (XT) 480/E42, 474/110CR, 472/F19 và 474/F19 tạo thành trúc 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. 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. Để áp dụng các PP đã nghiên cứu trên LĐPP Chư Prông, một số giả thiết sau được đặt ra:

- Tổn thất công suất trên máy biến áp được bỏ qua;
- Phụ tải tại tất cả các nút là phụ tải cân bằng;
- Công suất tại các nút phụ tải không đổi.

### 5.2. Kết quả áp dụng phương pháp đề xuất

So với LĐPP 33, 69 và 118 nút, LĐPP 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 LĐPP Chư Prông do bởi RRA có khả năng tìm được cấu hình vận hành LĐPP với số vòng lặp nhỏ hơn nhiều so với PP CGA và CSA.

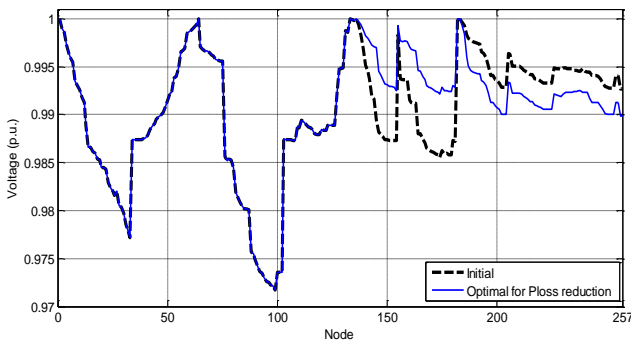
#### 5.2.1. Tái cấu hình giảm tổn thất công suất

**Bảng 5. 1.** Kết quả tái cấu hình giảm tổn thất công suất.

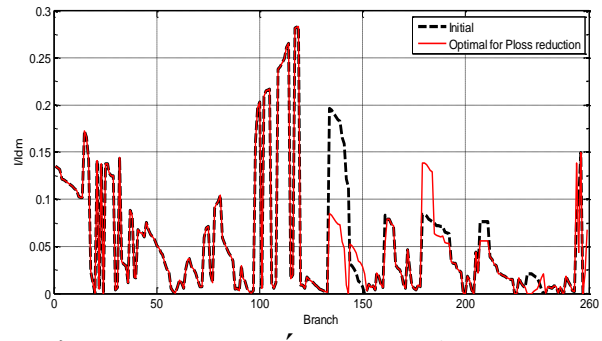
	Ban đầu	Tối ưu (giảm $\Delta P$ )
Khóa mở	257, 258, 259	257, 231, 143
$\Delta P$ (kW)	81.5655	<b>73.9053</b>
$V_{\min}$ (pu)	0.9717 (99)	0.9717 (99)
$V_{\max}$ (pu)	1 (1)	1 (1)
LBI	0.0044	0.0040
$(I/I_{dm})_{\max}$	0.2834	0.2834
LBF	0.3082	0.8908
Feeder <sub>i</sub> (MVA)	[2.3206, 1.6560, 1.9853, 2.9559]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



Bảng 5.1. cho thấy sau khi thực hiện tái cấu hình, tổn thất công suất ( $\Delta P$ ) giảm từ 81.5655 kW xuống 73.9053 kW với các khóa điện mở {257, 231, 143}. 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 5.1. Hệ số mang tải trên các nhánh được cho ở Hình 5.2. Từ Hình 5.2 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}. 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.



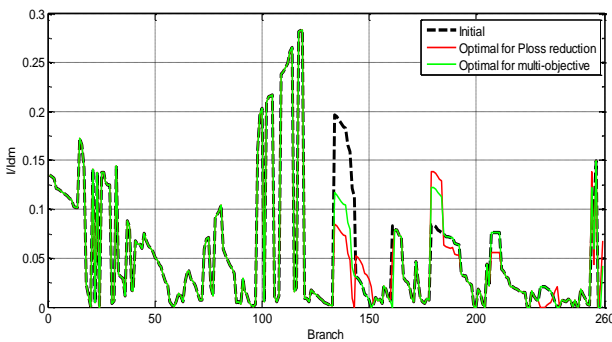
**Hình 5. 1.** Biên độ điện áp trước và sau khi tái cấu hình giảm  $\Delta P$ .



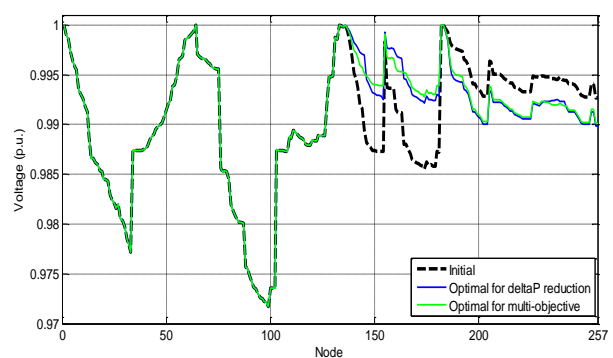
**Hình 5. 2.** Hệ số mang tải trên các nhánh trước và sau khi tái cấu hình giảm  $\Delta P$ .

### 5.2.2. Tái cấu hình sử dụng hàm đa mục tiêu

Sau khi tái cấu hình giảm tổn thất công suất, sự mất cân bằng tải giữa bốn XT đã trở nên lớn hơn so với cấu hình ban đầu. 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 thỏa mãn một số hàm mục tiêu như 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 thanh cái.



**Hình 5. 3.** Hệ số mang tải trên các nhánh khi tái cấu hình đa mục tiêu.



**Hình 5. 4.** Biên độ điện áp khi tái cấu hình đa mục tiêu.



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 5.2. Bảng 5.2 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 5.3 và 5.4 cho thấy, cấu hình điện áp 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.

**Bảng 5. 2. Kết quả tái cấu hình đa mục tiêu.**

Cấu hình	Ban đầu	Tối ưu (giảm $\Delta P$ )	Tối ưu đa mục tiêu
Khóa mở	257, 258, 259	257, 231, 143	257, 258, 161
$\Delta P$ (kW)	81.5655	<b>73.9053</b>	<b>74.2915</b>
$V_{\min}$ (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	<b>0.5572</b>
Feeder <sub>i</sub> (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	<b>2</b>
Max of fitness	-	74.9624	0.89548
Min of fitness	-	73.9053	0.49781
Mean of fitness	-	74.2224	0.61819
STD	-	0.381583	0.14473
Mean of iteration	-	23.6	24.2
CPU time	-	107.8014	249.7794

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

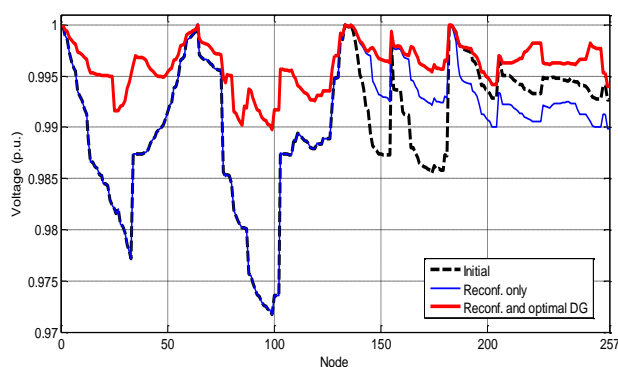
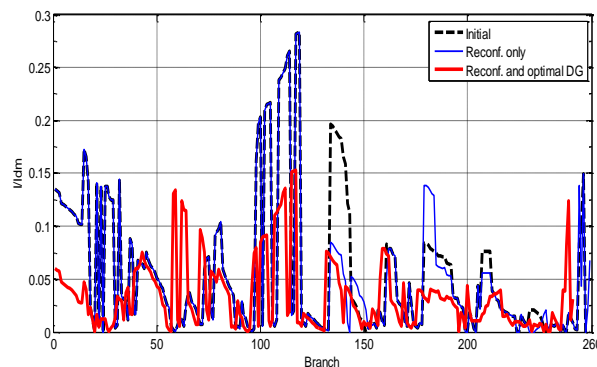
LĐPP Chư Prông hiện có một số nguồn thủy điện nhỏ trong đó có ba thủy điện có công suất tương đối lớn như Ia Drang 2, Ia Drang 3 và Ia Puch 3. Tuy nhiên, hiện nay ba thủy điện này đang được phát tập trung trên đường dây 35 kV và truyền tải về trạm biến áp 110 kV Chư Prông. Vì vậy, việc xem xét kết nối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

**Bảng 5. 3.** 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

**Bảng 5. 4.** Kết quả tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất của DG giảm  $\Delta P$ .

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)
$\Delta P$ (kW)	81.5655	<b>73.9053</b>	<b>24.2456</b>
$V_{\min}$ (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 <sub>i</sub> (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
Max of fitness	-	74.9624	25.2576
Min of fitness	-	73.9053	24.2456
Mean of fitness	-	74.2224	24.4737
STD	-	0.381583	0.363309
Mean of iteration	-	23.6	377.3
CPU time	-	107.8014	3354

**Hình 5. 5.** Biên độ điện áp khi có DG.**Hình 5. 6.** Hệ số mang tải trên các nhánh khi có DG.

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 5.3. Kết quả tối ưu vị trí và công suất của các DG kết hợp với tái cấu hình được cho ở Bảng 5.4. Bảng 5.4 cho thấy, 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 (Hình 5.5). Hình 5.6 cho thấy hệ số mang tải trên các đường dây đã giảm đáng kể với 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.

### **5.3. Kết luận**

Trong chương này, PP 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, PP 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.

PP tái cấu hình kết hợp với bài toán tối ưu vị trí và công suất các nguồn 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. PP 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. Những nội dung chính của luận án**

Sử dụng thuật toán CSA giải bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất tác dụng, RRA giải bài toán tái cấu hình LĐPP đa mục tiêu.

Đánh giá ảnh hưởng của vị trí và công suất DG đến bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất và cải thiện chất lượng điện áp các nút thông qua việc sử dụng thuật toán CSA giải bài toán tái cấu hình, tối ưu vị trí công suất DG, các bài toán tái cấu hình kết hợp với bài toán tối ưu vị trí và công suất DG.

Đề xuất PP tái cấu hình LĐPP có kết nối DG giảm tổn thất năng lượng sử dụng thuật toán RRA.

Ứng dụng PP giải bài toán tái cấu hình trên LĐPP thực tế Chư Prông, Điện lực Gia Lai ở một số bài toán cụ thể như tái cấu hình giảm tổn thất công suất tác dụng, tái cấu hình đa mục tiêu và bài toán tái cấu hình kết hợp với xác định vị trí kết nối và công suất một số DG trên LĐPP này.

### **6.2. Những đóng góp khoa học của luận án**

Áp dụng thành công thuật toán tối ưu CSA và RRA giải bài toán tái cấu hình LĐPP giảm tổn thất công suất, đa mục tiêu. Sử dụng kỹ thuật mã hóa biến điều khiển của các thuật toán dưới dạng số nguyên biểu diễn vị trí khóa mở và kỹ thuật giới hạn không gian tìm kiếm của các khóa điện giúp các thuật toán tối ưu phù hợp và hiệu quả khi giải bài toán tái cấu hình LĐPP.

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. Trong đó, bài toán tái cấu hình kết hợp với tối ưu vị trí và công suất DG đồng thời thu được cấu trúc lưới có tổn thất công suất bé nhất và nâng cao chất lượng điện áp trong hệ thống.

Đề xuất PP tái cấu hình LĐPP có xét đến DG giảm tổn thất năng lượng trong thời đoạn khảo sát sử dụng thuật toán tối ưu. Ưu điểm của PP 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 trúc vận hành không đổi trong thời đoạn khảo sát có tổn thất năng lượng bé nhất.

### **6.3. Hướng phát triển của luận án**

Sử dụng các PP 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] 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.
- [3] R. L. Haupt and S. E. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*, Second. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] K. Nekoei, 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.

- [13] M. Haghifam, H. Falaghi, and O. Malik, "Risk-based distributed generation placement," *Gener. Transm. Distrib. IET*, vol. 2, no. 2, pp. 252–260, 2008.
- [14] M. Sedighizadeh, 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.
- [15] H. D. Dehnavi and S. Esmaeili, "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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] D. Das, "A fuzzy multiobjective approach for network reconfiguration of distribution systems," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 21, no. 1, pp. 202–209, 2006.

## 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.