

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ TP. HCM

---



**HỒ DỰ LUẬT**

**TÁI CẤU TRÚC LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI  
GIẢM TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG  
CÓ TÁC DỤNG CỦA DG**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ**

Chuyên ngành : KỸ THUẬT ĐIỆN

Mã số ngành: 60520202

HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: TS. TRƯƠNG VIỆT ANH

TP. HỒ CHÍ MINH, tháng 02 năm 2013

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHỆ TP. HCM**

Cán bộ hướng dẫn khoa học : **TS. TRƯƠNG VIỆT ANH**

Luận văn Thạc sĩ được bảo vệ tại Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ  
TP. HCM ngày 02 tháng 02 năm 2013

Thành phần Hội đồng đánh giá Luận văn Thạc sĩ gồm:  
*(Ghi rõ họ, tên, học hàm, học vị của Hội đồng chấm bảo vệ Luận văn Thạc sĩ)*

1. TS. Ngô Cao Cường ( Chủ tịch)
2. PGS.TS. Phan Thị Thanh Bình ( Phản biện 1)
3. TS. Huỳnh Châu Duy ( Phản biện 2)
4. PGS.TS. Lê Kim Hùng ( Ủy viên)
5. TS. Trần Vinh Tịnh ( Ủy viên, thư ký)

Xác nhận của Chủ tịch Hội đồng đánh giá Luận văn sau khi Luận văn đã  
được sửa chữa (nếu có).

**Chủ tịch Hội đồng đánh giá LV**

**TS. Ngô Cao Cường**

TP. HCM, ngày 12 tháng 12 năm 2012

## NHIỆM VỤ LUẬN VĂN THẠC SĨ

Họ tên học viên: HỒ DỰ LUẬT

Giới tính: Nam

Ngày, tháng, năm sinh: 04 -07 – 1977

Nơi sinh: Long An

Chuyên ngành: KỸ THUẬT ĐIỆN .

MSHV: 1181031036

### I- TÊN ĐỀ TÀI:

TÁI CẤU TRÚC LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI GIẢM TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG CÓ TÁC DỤNG CỦA DG

### II- NHIỆM VỤ VÀ NỘI DUNG:

- Nội dung : Tái cấu trúc lưới điện phân phối giảm tổn thất điện năng có tác dụng của DG

Luận văn giải quyết các nhiệm vụ chính sau:

- ❖ Nghiên cứu việc tái cấu trúc lưới điện phân phối khi có DG kết nối.
- ❖ Giải bài toán tái cấu trúc LĐPP có DG nhằm giảm thiểu tổn thất điện năng
- ❖ Xây dựng hàm mục tiêu, áp dụng giải thuật heuristic để tìm cấu trúc tối ưu cho bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối có DG để giảm tổn thất điện năng.
- ❖ Đề xuất thử nghiệm giải thuật trên lưới điện mẫu
- ❖ Kiểm chứng kết quả bằng trình TOPO trong PSS/ADEPT
- ❖ So sánh kết quả của giải thuật với một số kết quả của giải thuật khác
- ❖ Đề xuất việc áp dụng giải thuật vào vận hành LĐPP

- Phương pháp nghiên cứu :

- 1) Sử dụng các phương pháp giải tích toán học để xây dựng hàm mục tiêu F cực tiểu tổn thất điện năng trên LĐPP có DG.
- 2) Xây dựng giải thuật heuristic để tìm cấu trúc tối ưu theo hàm mục tiêu giảm thiểu tổn thất điện năng trên LĐPP có DG.
- 3) Sử dụng trình TOPO trong PSS/ADEPT để kiểm chứng kết quả.

- Kết quả đạt được:

- 1) Xây dựng giải thuật tái cấu trúc LĐPP có DG giảm tổn thất điện năng được chứng minh bằng lý thuyết lẫn kết quả tính toán, và kết quả kiểm chứng cho thấy một lưới điện có cấu trúc đúng sẽ giảm thiểu tổn thất điện năng, giảm được chi phí vận hành hệ thống điện phân phối và dẫn đến giảm được giá thành điện năng cung cấp đến khách hàng sử dụng điện.
- 2) Góp phần vào các nghiên cứu liên quan đến các bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối.
- 3) Làm tài liệu tham khảo cho công tác nghiên cứu và vận hành lưới điện phân phối.
- 4) Tái cấu hình LĐPP có DG trong vận hành trực tuyến.

**III- NGÀY GIAO NHIỆM VỤ: 18-04 - 2012**

**IV- NGÀY HOÀN THÀNH NHIỆM VỤ: 12 - 12 -2012**

**V- CÁN BỘ HƯỚNG DẪN: TS. TRƯƠNG VIỆT ANH**

**CÁN BỘ HƯỚNG DẪN**

**KHOA QUẢN LÝ CHUYÊN NGÀNH**

**TS. TRƯƠNG VIỆT ANH**

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong Luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tôi xin cam đoan rằng mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện Luận văn này đã được cảm ơn và các thông tin trích dẫn trong Luận văn đã được chỉ rõ nguồn gốc.

**Học viên thực hiện Luận văn**

*(Ký và ghi rõ họ tên)*

***Hồ Dự Luật***

## ***Lời cảm ơn***

*Trong suốt quá trình học tập và hoàn thành luận văn này, tôi đã nhận được sự hướng dẫn, giúp đỡ tận tình từ Thầy Cô, gia đình, đơn vị chủ quản và bạn bè. Với lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc tôi xin được bày tỏ lời cảm ơn chân thành tới:*

*Tôi xin chân thành cảm ơn Tiến Sĩ Trương Việt Anh, người thầy đã trực tiếp hướng dẫn, truyền đạt những kiến thức chuyên môn cũng như kinh nghiệm nghiên cứu để tôi hoàn thành luận văn.*

*Tôi cũng xin cảm ơn quý Thầy Cô giảng dạy chương trình cao học " Thiết bị mạng và nhà máy điện" của trường Đại Học Kỹ Thuật Công nghệ Tp.HCM đã giảng dạy, trang bị cho tôi những kiến thức rất hữu ích và quý báu trong suốt quá trình học tập cũng như nghiên cứu để làm đề tài này.*

*Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến Ban Giám Hiệu và đặc biệt là Hiệu trưởng Nhà Giáo Ưu Tú Tiến Sĩ Lê Văn Hiến Trường Cao Đẳng Nghề LILAMA 2 đã tạo điều kiện thuận lợi và hỗ trợ cho tôi rất nhiều trong quá trình học tập, công tác tại đơn vị.*

*Xin cảm các đồng nghiệp của tôi tại Khoa Điện - Điều Khiển đã hỗ trợ tôi rất nhiều trong thời gian qua.*

*Cuối cùng tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất đến đại gia đình của tôi đặc biệt là bà xã Lê Thị Thanh Thủy và con trai Hồ Tuấn Minh luôn quan tâm, động viên và tạo điều kiện tốt nhất cho tôi.*

*Xin chân thành cảm ơn !*

*Tp. Hồ Chí Minh, Ngày 12 tháng 12 năm 2012*  
Học viên

***Hồ Dự Luật***

## TÓM TẮT

Hệ thống điện phân phối thường được quy hoạch và quản lý theo một hướng công suất từ nguồn đến phụ tải. Hiện nay, với sự phát triển của các nguồn năng lượng mới các máy phát phân tán (DG) được kết nối nhiều hơn vào hệ thống điện phân phối. Việc kết nối DG vào lưới điện phân phối sẽ giúp nâng cao độ tin cậy và khả năng cung cấp điện. Tuy nhiên, nó cũng đòi hỏi một cấu trúc lưới hợp lý để nâng cao hiệu quả cung cấp điện.

Luận văn xây dựng giải thuật tái cấu trúc lưới phân phối có máy phát phân tán DG giảm tổn thất điện năng. Lưới điện phân phối có cấu trúc mạch vòng nhưng vận hành hở hình tia. Với sự tham gia của máy phát phân tán vào hệ thống điện phân phối có các mạch vòng nhỏ, khi có dòng công suất đi theo hai chiều, có thể đổ ngược về nguồn. Vì vậy, khi kết nối máy phát phân tán vào lưới điện phân phối có thể gây ra một số vấn đề làm ảnh hưởng đến vận hành của lưới điện phân phối.

Tái cấu trúc LDPP có DG. Một trong số những phương pháp đó là tái cấu trúc lưới. Được xác định từ những cấu trúc mạch vòng của các tuyến phân phối bằng cách thay đổi trạng thái đóng mở của các khóa điện phân đoạn.

Tuy nhiên, với sự có mặt của những máy phát phân tán trong mạng phân phối, việc xác định cấu trúc lưới sẽ trở nên phức tạp hơn. Vấn đề này là bức thiết cần đặt ra để giải quyết tối ưu lưới điện phân phối.

Luận văn đã xây dựng giải thuật tái cấu trúc lưới phân phối có sự tham gia của máy phát phân tán hoạt động trong một thời gian dài với mục tiêu giảm tổn thất điện năng. Giải thuật đề xuất đã được kiểm chứng bằng PSS/ADEPT là phù hợp và tốt hơn một số nghiên cứu trước và sau đó đề xuất áp dụng trên lưới điện phân phối thực tế tại Việt Nam.

## **ABSTRACT**

Distribution networks are planned and managed for unidirectional power flows. Nowadays, the marked increase in Distributed Generation (DG) will require a correct integration of the generators in distribution networks to guarantee and reliability of the electric system, with respect to the operation constraints.

This thesis discusses the network reconfiguration at the power distribution systems with dispersed generations (DG) for loss reduction. The power distribution systems have a radial network and unidirectional power flows. With the advent of dispersed generations, the power distribution systems have a locally looped network and bidirectional power flows. Therefore, DG into the power distribution system can cause operational problems and impact on existing operational schemes.

In reconfiguration problem distribution networks with DG, One of these operational schemes is network reconfiguration, which is defined as altering the topological structures of distribution feeders by changing the open/closed states of the switches.

However, with the introduction of DG in power distribution systems, this increases the complexity of this problem. This necessary problem is established to optimal operational distribution networks.

In thesis, an operational scheme is presented which uses network reconfiguration at the power distribution systems with DG as long-time operation tool for power loss reduction. The solution procedure is verified on PSS/ADEPT, and applied on Viet Nam distribution networks.



# MỤC LỤC

	Trang
Lời cam đoan.....	i
Lời cảm ơn .....	ii
Tóm tắt .....	iii
Summary .....	iv
Mục lục .....	v
Danh sách các từ viết tắt .....	vii
Danh mục các bảng .....	viii
Danh mục các hình.....	ix
CHƯƠNG 0: GIỚI THIỆU	1
1. Đặt vấn đề	1
2. Mục tiêu và nhiệm vụ của luận văn	3
3. Phạm vi nghiên cứu	4
4. Phương pháp giải quyết bài toán	4
5. Điểm mới của luận văn	4
6. Giá trị thực tiễn của luận văn	4
7. Bố cục của luận văn	5
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ TÁI CẤU TRÚC LĐPP CÓ DG	6
1.1. Tổng quan về lưới điện phân phối	6
1.2. Tổng quan về DG	8
1.3. Tái cấu trúc lưới điện phân phối có DG	11
1.4 Các bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối	13
1.5. Thực trạng lưới phân phối tại Việt Nam	15
1.6 Các nghiên cứu khoa học về tái cấu trúc lưới phân phối	15
1.7. Phương án giải quyết trong luận văn	25

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT	26
2.1 Đặt vấn đề	26
2.2 Cơ sở toán học	26
2.2.1. LDPP đơn giản	27
2.2.2. Lưới điện tổng quát	36
CHƯƠNG 3: XÂY DỰNG GIẢI THUẬT CỰC TIỂU TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG	42
3.1. Giới thiệu.	42
3.2. Hàm mục tiêu	42
3.3. Thuật toán	44
CHƯƠNG 4: ÁP DỤNG GIẢI THUẬT TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI	49
4.1. Lưới điện mẫu 16 bus	49
4.2. Lưới điện 33 nút	58
4.3. So sánh kết quả với giải thuật khác.	64
4.4. Tái cấu hình LDPP có DG trong vận hành trực tuyến	65
4.5. Kết luận	70
CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT	72
5.1. Kết luận	72
5.2 Những hạn chế và đề xuất hướng phát triển của đề tài	73
TÀI LIỆU THAM KHẢO	74
PHỤ LỤC	

## DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

- ACOPM : Ant Colony Optimization Method
- ANN : Artificial Neural Network
- CCĐ : Cung cấp điện
- CIGRE : Hội đồng quốc tế về các hệ thống điện lớn
- DG : Distributed generation
- DOE : Ban năng lượng Mỹ
- EPRI : Viện nghiên cứu năng lượng Mỹ
- ES : Expert System
- FC : Fuel Cell
- FCO : Fuse cut out
- GA : Genetic Algorithm
- ICE : Internal Combustion Engines
- LBFCO : Load break fuse cut out
- LDPP : Lưới điện phân phối
- PBCS : Phân bố công suất
- PSM : Particle Swarm Method
- PV : Photovoltaic
- SA : Simulated Annealing Method
- TĐN : Thủy điện nhỏ
- TS : Tabu Search
- WT : Wind turbine

## DANH MỤC CÁC BẢNG

<b>BẢNG</b>	<b>Trang</b>
Bảng 1.1 Phạm vi ứng dụng của các bài toán tái cấu trúc lưới	13
Bảng 1.2. So sánh hiệu quả của một số thuật toán tái cấu hình cơ bản	23
Bảng 4.1: Số liệu nhánh của LĐPP 16 bus – 2 DG	47
Bảng 4.2: Số liệu tải của LĐPP 16 bus – 2 DG	47
Bảng 4.3: Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LĐPP 16 nút không có DG	49
Bảng 4.4: Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LĐPP 16 nút có 2 DG	50
Bảng 4.5: Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LĐPP 16 nút có 1 DG nút 9	52
Bảng 4.6: Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LĐPP 16 nút có DG nút 13	54
Bảng 4.7: Kết quả khảo sát trên LĐPP 16 nút	55
Bảng 4.8: Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LĐPP 33 nút có 3DG	58
Bảng 4.9: Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LĐPP 33 nút không có DG	59
Bảng 4.10: So sánh kết quả tái cấu trúc lưới điện phân phối một nguồn	60
Bảng 4.11: So sánh kết quả tái cấu trúc lưới điện phân phối 3 DG	61
Bảng 4.12: Tổng hợp các phương án vận hành của lưới điện khi có DG	64
Bảng 4.1.1: Thông số nhánh lưới điện 16 bus	72
Bảng 4.1.2: Thông số tải tại các bus lưới điện 16 bus	72
Bảng 4.1.3: Kết quả tính toán lưới điện 16 bus	72
Bảng 4.2.1: Thông số nhánh lưới điện 33 bus	73
Bảng 4.2.2: Thông số tải ở các bus lưới điện 33 bus	73
Bảng 4.2.3: Kết quả tái cấu trúc lưới điện 33 bus	74
Bảng 4.3.1: Kết quả giải thuật đề xuất khi lưới điện 33 bus không có DG	75
Bảng 4.3.2: Kết quả giải thuật đề xuất khi lưới điện 33 bus có 3 DG kết nối	76

## DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình	Trang
Hình 1.1: Các loại nguồn DG kết nối vào LĐPP	6
Hình 1.2: Một số nguồn DG	8
Hình 2.1. Sơ đồ cung cấp điện đơn giản	26
Hình 2.2: Sơ đồ LĐPP một vòng không có DG	26
Hình 2.3: Sơ đồ LĐPP một vòng có DG đặt sau MN	28
Hình 2.4: Sơ đồ LĐPP một vòng có DG đặt trước MN	29
Hình 2.5: LĐPP hở có 3 DG	30
Hình 2.6: Hai thành phần của dòng điện nhánh	30
Hình 2.7: Dòng $I_p^{MN}$ và $I_Q^{MN}$ ở khoá MN	31
Hình 2.8: LĐPP có 2 vòng	34
Hình 2.9: LĐPP có B máy phát DG	35
Hình 3.1. Lưu đồ thuật toán giảm hàm F để tái cấu hình LĐPP có DG	44
Hình 4.1: LĐPP 16 bus có 2 DG	48
Hình 4.2: Lưới 33 bus – 37 nhánh	56
Hình 4.3: Bài toán vận hành trực tuyến LĐPP có DG	61
Hình 4.4: Đồ thị lựa chọn phương án vận hành trực tuyến LĐPP	63
Hình 4.4.1.1 Hình dạng các thanh công cụ trong PSS/ADEPT	75
Hình 4.4.2.1 Số liệu nút nguồn	78
Hình 4.4.2.2 Số liệu nút tải	79
Hình 4.4.2.3. Số liệu thiết bị đóng cắt	79
Hình 4.4.2.4. Số liệu nút	79
Hình 4.4.2.5 Số liệu đoạn dây	80
Hình 4.3.2.6. Số liệu giới hạn U, I	80
Hình 4.4.4.1. Hình 4.4.4.1. Đặt tùy chọn cho TOPO	80
Hình 4.4.4.2: Tính toán TOPO	81
Hình 4.4.4.3: Xem kết quả tính toán TOPO từ phần report	81
Hình 4.4.5.1: Tính toán phân bố công suất	82
Hình 4.4.5.2: Tính toán phân bố công suất	82
	83

Hình 4.4.6.1: Kết quả tái cấu trúc LDPP 16 bus không có DG	83
Hình 4.4.6.2: Kết quả tái cấu trúc LDPP 16 bus có DG	84
Hình 4.4.6.3: Kết quả tính PBCS trên LDPP 16 bus không có DG	84
Hình 4.4.6.4: Kết quả tính PBCS trên LDPP 16 bus có DG	85
Hình 4.4.7.1: Kết quả tái cấu trúc LDPP 33 bus	86
Hình 4.4.7.2: Tính PBCS trong LDPP kín 33 bus trường hợp không có DG	87
Hình 4.4.7.3: Tính PBCS trong LDPP kín 33 bus trường hợp có DG	

## **CHƯƠNG 0**

### **GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI**

#### **1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Hiện nay với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, việc phát điện và cung cấp điện là vấn đề được quan tâm đặc biệt. Ngoài các nguồn phát điện truyền thống còn có các nguồn phát điện mới tham gia vào hệ thống điện với mục đích cải thiện tình trạng thiếu điện như hiện nay và trong tương lai, các nguồn năng lượng từ hóa thạch được dự đoán sẽ dần cạn kiệt, mặt khác khi khai thác còn làm ảnh hưởng đến môi trường và tổn kém kinh tế. Trong tương lai các nguồn năng lượng được xem là tiềm năng sẽ thay thế dần cho các nguồn năng lượng hiện có - đó là năng lượng tái tạo - vì khi khai thác chúng ít làm ảnh hưởng tới môi trường và tái tạo được. Bên cạnh đó là những thay đổi gần đây trong cơ cấu chính của các công ty điện lực đã tạo cơ hội cho nhiều sự đổi mới khoa học kỹ thuật, bao gồm sự tham gia của các máy phát phân bố – DG (Distributed Generation) vào hệ thống đã đạt được những lợi ích khác nhau. Cả điện lực và khách hàng đều có lợi từ DG. Trong số những lợi ích của DG, có rất nhiều hướng để giải quyết bài toán về DG nhưng tất cả đều nhằm mục đích hướng đến việc tối ưu sự phát triển và vận hành của hệ thống điện.

Hiện nay chúng là các nguồn điện phân tán, đặc biệt phù hợp cho các hộ gia đình, vùng cao, vùng sâu, vùng hải đảo...và có thể hòa lưới điện quốc gia để hòa chung vào sự phát triển của khoa học kỹ thuật trên mọi vùng miền của đất nước.

Nguồn phân tán DG (distributed generation) là nguồn phát được lắp đặt gần nơi tiêu thụ điện năng nên loại trừ được những chi phí truyền tải và phân phối không cần thiết. Công nghệ DG rất đa dạng: Turbine gió, pin nhiên liệu, thủy điện công suất nhỏ, máy phát động cơ đốt trong, microturbine v.v... việc tái cấu trúc lưới điện phân phối (LĐPP) sẽ đem lại lợi ích về kinh tế đồng thời tạo ra một số cải thiện chỉ số kỹ thuật như: Giảm thiểu tổn thất công suất, giảm độ sụt áp, giảm quá tải đường dây và trạm biến áp, nâng cao độ tin cậy, cải thiện chất lượng điện v.v...

Nhìn chung khi có các DG nối vào LĐPP sẽ đem lại một số lợi ích như:

***Lợi ích với ngành điện:***

- ❖ Giảm tổn hao công suất trên đường dây.
- ❖ Cải thiện điện áp.
- ❖ Tăng hiệu suất điện năng
- ❖ Bình ổn giá điện.
- ❖ Giảm sự ô nhiễm môi trường
- ❖ Tăng cường độ tin cậy và an toàn
- ❖ Đảm bảo tính cung cấp điện liên tục

***Lợi ích với người sử dụng điện:***

- ❖ Cải thiện chất lượng điện.
- ❖ Bình đẳng trong quyền lợi.
- ❖ Cải thiện độ tin cậy.

***Lợi ích về mặt thương mại:***

- ❖ Tạo một thị trường điện có tính cạnh tranh.
- ❖ Cung cấp các dịch vụ khác như: Công suất phản kháng, công suất dự phòng.
- ❖ Trì hoãn sự đầu tư trong việc nâng cấp các thiết bị
- ❖ Giảm chi phí vận hành
- ❖ Tăng cường hoạt động sản xuất
- ❖ Giảm chi phí nhiên liệu
- ❖ Tăng độ an toàn cho những tải quan trọng trong lưới phân phối

**Tuy vậy**, khi DG được kết nối vào mạng phân phối, DG được xem như một nguồn điện thứ hai nó gây ra một số tác động lên mạng phân phối như:

- ❖ Làm thay đổi phân bố công suất trên mạng điện
- ❖ Làm thay đổi dòng ngắn mạch
- ❖ Gây nên họa tần
- ❖ Cộng hưởng trong hệ thống
- ❖ Thay đổi độ lớn điện áp trên hệ thống



- ❖ Ảnh hưởng đến độ tin cậy
- ❖ Thay đổi tổn hao công suất trên phát tuyến

Chính vì các tác động nêu trên việc kết nối và vận hành DG gặp một số trở ngại. Các tác động nêu trên thường được nghiên cứu ở các dạng độc lập nhau. Một số nghiên cứu xoay quanh về vấn đề cải thiện điện áp, một số khác hướng đến độ giảm tổn thất hoặc nghiên cứu độ tin cậy của hệ thống khi có DG kết nối...

Lưới điện phân phối có các đặc điểm về thiết kế và vận hành khác với lưới điện truyền tải. Lưới điện phân phối phân bố trên diện rộng, thường vận hành không đối xứng và có tổn thất lớn hơn. Trên cơ sở các số liệu về tổn thất có thể đánh giá sơ bộ chất lượng vận hành của lưới điện phân phối. Với mục tiêu giảm tổn thất trên lưới điện phân phối chịu tác động của rất nhiều yếu tố và đòi hỏi nhiều biện pháp đồng bộ. Các biện pháp quản lý, hành chính nhằm giảm tổn thất thương mại cần thực hiện song song với các nỗ lực giảm tổn thất kỹ thuật.

- ❖ Tối ưu hóa các chế độ vận hành lưới điện
- ❖ Hạn chế vận hành không đối xứng
- ❖ Giảm chiều dài đường dây, cải tạo nâng tiết diện dây dẫn hoặc giảm bán kính cấp điện của các trạm biến áp
- ❖ Lắp đặt hệ thống tụ bù công suất phản kháng đảm bảo hệ số công suất  $\cos\varphi$
- ❖ Tăng dung lượng các máy biến áp chịu tải nặng, quá tải, lựa chọn các máy biến áp tỷ lệ tổn thất thấp, lắp đặt các máy biến áp 1 pha.

## 2. MỤC TIÊU VÀ NHIỆM VỤ CỦA LUẬN VĂN

Mục tiêu của luận văn là nghiên cứu việc “***Tái cấu trúc lưới điện phân phối giảm tổn thất điện năng có tác dụng của DG***”

Luận văn giải quyết các nhiệm vụ chính sau:

- ❖ Nghiên cứu việc tái cấu trúc lưới điện phân phối khi có DG kết nối.
- ❖ Giải bài toán tái cấu trúc LĐPP có DG nhằm giảm thiểu tổn thất điện năng xây dựng hàm mục tiêu, áp dụng giải thuật heuristic để tìm cấu trúc tối ưu cho bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối có DG để giảm tổn thất điện năng.

- ❖ Đề suất thử nghiệm giải thuật trên lưới điện mẫu
- ❖ Kiểm chứng kết quả bằng trình TOPO trong PSS/ADEPT
- ❖ So sánh kết quả của giải thuật với một số kết quả của giải thuật khác
- ❖ Đề xuất việc áp dụng giải thuật vào vận hành LĐPP

### 3. PHẠM VI NGHIÊN CỨU

Phạm vi nghiên cứu của luận văn tập trung vào bài toán *tái cấu trúc lưới điện phân phối giảm tổn thất điện năng có tác dụng của DG*.

### 4. PHƯƠNG PHÁP GIẢI QUYẾT BÀI TOÁN

- a) Sử dụng các phương pháp giải tích toán học để xây dựng hàm mục tiêu F cực tiểu tổn thất điện năng trên LĐPP có DG.
- b) Xây dựng giải thuật heuristic để tìm cấu trúc tối ưu theo hàm mục tiêu giảm thiểu tổn thất điện năng trên LĐPP có DG.
- c) Sử dụng trình TOPO trong PSS/ADEPT để kiểm chứng kết quả.

### 5. ĐIỂM MỚI CỦA LUẬN VĂN

- Xây dựng được hàm mục tiêu cho bài toán tái cấu trúc LĐPP có DG giảm thiểu tổn thất điện năng.
- Xây dựng được giải thuật heuristic để tìm ra cấu trúc lưới điện phân phối tối ưu theo hàm mục tiêu đã xây dựng.

### 6. GIÁ TRỊ THỰC TIỄN CỦA LUẬN VĂN

- Xây dựng giải thuật tái cấu trúc LĐPP có DG giảm tổn thất điện năng được chứng minh bằng lý thuyết lẫn kết quả tính toán, và kết quả kiểm chứng cho thấy một lưới điện có cấu trúc đúng sẽ giảm thiểu tổn thất điện năng, giảm được chi phí vận hành hệ thống điện phân phối và dẫn đến giảm được giá thành điện năng cung cấp đến khách hàng sử dụng điện.
- Nghiên cứu liên quan đến các bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối.
- Làm tài liệu tham khảo cho công tác nghiên cứu và vận hành lưới điện.
- Tái cấu hình LĐPP có DG trong vận hành trực tuyến.

### 7. BỐ CỤC CỦA LUẬN VĂN

Luận văn được thực hiện bao gồm các chương sau:

Chương 0: Giới thiệu đề tài

Chương 1: Tổng quan về tái cấu trúc LDPP có DG

Chương 2: Cơ sở lý thuyết

Chương 3: Xây dựng giải thuật

Chương 4: Áp dụng tính toán trên LDPP

Chương 5: Kết luận và hướng phát triển của đề tài

Phụ lục và tài liệu tham khảo

# CHƯƠNG 1

## TỔNG QUAN VỀ TÁI CẤU TRÚC LĐPP CÓ DG

### 1.1. Tổng quan về lưới điện phân phối

#### 1.1.1 Đặc điểm của lưới điện phân phối

Mạng phân phối sẽ nhận điện từ lưới truyền tải hoặc truyền tải phụ sau đó cung cấp đến hộ tiêu thụ điện. Mạng phân phối có cấu trúc hình tia hoặc dạng mạch vòng nhưng vận hành trong trạng thái hở. Dòng công suất trong trường hợp này đổ về từ hệ thống thông qua mạng phân phối cung cấp cho phụ tải. Vì vậy, việc truyền tải điện năng từ nhà máy điện đến hộ tiêu thụ sẽ sinh ra tổn hao trên lưới truyền tải và mạng phân phối (khoảng 10 - 15% tổng công suất của hệ thống [3]). Với cấu trúc mới của lưới phân phối hiện nay, do có sự tham gia của các DG, dòng công suất không chỉ đổ về từ hệ thống truyền tải mà còn lưu thông giữa các phần của mạng phân phối với nhau, thậm chí đổ ngược về lưới truyền tải.

Lưới phân phối cung cấp điện trực tiếp cho phụ tải trong bán kính khoảng vài chục km trở lại, có các đặc điểm chính sau:

- ❖ Điện áp định mức từ 6kv đến 35kv, đôi khi lên đến 66kv - 110kv [3].
- ❖ Tổng chiều dài đường dây và số lượng máy biến áp chiếm tỉ lệ lớn trong toàn hệ thống điện.
- ❖ Kết nối với lưới truyền tải thông qua các trạm trung gian hoặc các trạm khu vực.
- ❖ Tổn thất công suất trên lưới phân phối chiếm khoảng 5 - 7% tổng công suất của hệ thống điện [3]

#### 1.1.2. Nhiệm vụ của lưới điện phân phối

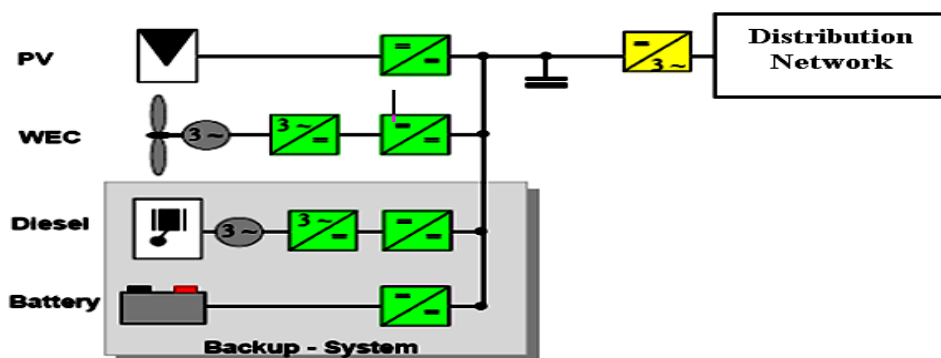
- ❖ Cung cấp phương tiện để truyền tải năng lượng điện đến hộ tiêu thụ
- ❖ Cung cấp phương tiện để các công ty điện lực có thể bán điện
- ❖ Đảm bảo chất lượng điện năng và độ tin cậy cung cấp điện
- ❖ Đảm bảo một số yêu cầu an toàn trong giới hạn cho phép.

Khi có sự tham gia của các DG, mạng phân phối thực hiện tốt hơn các nhiệm vụ nêu trên mang lại nhiều lợi ích khác như: Giảm tải trên lưới điện, cải thiện điện áp, giảm tổn thất điện năng.

Mạng phân phối thông dụng được phân loại như sau:

- Hệ thống hình tia
- Hệ thống vòng kín
- Hệ thống mạng điện ( mạng sơ và thứ cấp hình tia, mạng điện thứ cấp với dây pháp tuyến hình tia )

Những hệ thống này theo thứ tự chi phí tăng dần, tính linh hoạt và độ tin cậy trong vận hành. Do đó mà chúng được dùng trong những vùng mà mật độ phụ tải tăng dần.



Hình 1.1: Các loại nguồn DG kết nối vào LDPP

Nguồn phân tán sẽ ngày càng được ứng dụng nhiều trong lưới điện phân phối trong tương lai vì những lý do chính sau:

- Thị trường điện đã mở cửa cho các nhà đầu tư tham gia ở tất cả các dạng nguồn năng lượng
- Các nguồn năng lượng hóa thạch đang ngày càng cạn kiệt trong khi ý thức bảo vệ môi trường của người dân tăng lên.
- Một lý do nữa đó là tình trạng bão hòa của các mạng điện hiện có, mặt khác với sự phát triển rất nhanh của nhu cầu phụ tải trong khi việc xây dựng các nguồn phát truyền thống công suất lớn cần nhiều thời gian.

Bài toán tái cấu trúc lưới phân phối khi có nguồn phân tán là một sự chọn lựa hấp dẫn đối với việc lập kế hoạch mở rộng và phát triển lưới điện phân phối trong tương lai. Những nguồn phân tán khi kết nối vào lưới điện (hình 1.1) nếu LĐPP có cấu trúc tối ưu sẽ giảm tổn thất năng lượng, cải thiện dạng điện áp và nâng cao độ tin cậy cung cấp điện...

## **1.2. Tổng quan về DG**

### **1.2.1. Định nghĩa DG**

Khi nghiên cứu về DG có nhiều cách định nghĩa khác nhau, sau đây là một số định nghĩa về DG: [5], [7]

- ❖ Viện Nghiên Cứu Năng Lượng Điện Mỹ (EPRI): DG là các máy phát có công suất từ vài kW đến 50MW và các thiết bị tích trữ năng lượng đặt gần phụ tải, mạng phân phối hoặc truyền tải phụ dưới dạng những nguồn năng lượng phân tán.
- ❖ Thụy Điển xem các máy phát có công suất dưới 1500kW là DG.
- ❖ Ở thị trường điện nước Anh: Một nhà máy điện có dung lượng nhỏ hơn 100MW không được gọi là nguồn điện tập trung. Vì vậy, DG được xem là các máy phát có công suất nhỏ hơn 100MW.
- ❖ New Zealand: Các máy phát có công suất nhỏ hơn 5MW thường được xem là DG.
- ❖ Theo Hội Đồng Quốc Tế về các Hệ Thống Điện lớn (CIGRE): Các nguồn điện không phải là nguồn trung tâm, được đặt gần phụ tải và nối vào mạng điện phân phối, có công suất nhỏ hơn 100MW gọi là DG.

### **1.2.2. Một số loại nguồn DG (hình 1.2)**

#### **Pin mặt trời (photovoltaic - PV)**

Các hệ thống pin mặt trời (PV) chuyển đổi trực tiếp năng lượng mặt trời thành điện năng mà không cần đến quá trình đốt cháy hoặc tiêu thụ nhiên liệu. Công nghệ này có chi phí vận hành và bảo trì rất thấp. Công nghệ PV được sử dụng phổ biến cho các tòa nhà độc lập và các hệ thống thông tin. PV được xem như một công nghệ tốt nhất cho các căn hộ và các ứng dụng thương mại nhỏ.

### Máy Phát Turbine Gió (wind turbine - WT)

Công nghệ sản xuất điện năng từ năng lượng gió sử dụng các turbine khí động, được phân chia ra các cấp như sau [5]:

- ❖ Hệ thống mini công suất nhỏ hơn 10kW
- ❖ Hệ thống nhỏ có công suất từ 10kw đến 100kw
- ❖ Hệ thống trung bình có công suất từ 100kw đến 500kw
- ❖ Hệ thống lớn có công suất trên 500kw

Công nghệ thích hợp với khu vực nông thôn, vùng biển là những nơi có nguồn năng lượng gió dồi dào và mạng điện phân phối còn thưa thớt.

### Pin nhiên liệu (Fuel Cell -FC)

FC có thể chuyển đổi năng lượng hóa học thành điện năng mà không cần đến quá trình đốt cháy. Công nghệ FC được phát triển ban đầu cho ngành vũ trụ, sau đó là ngành vận tải và hiện nay nó được xem là một ngành công nghệ đầy hứa hẹn. Từ đó, công nghệ này đã chứng tỏ có hiệu quả rất tốt, có cấu tạo nguyên khối, độ ồn rất thấp, lượng khí thải NO<sub>x</sub>, SO, CO rất thấp và có độ tin cậy cao.

### Máy phát động cơ đốt trong (Internal Combustion Engines - ICE)

Công nghệ dùng động cơ đốt trong (ICE) để sản xuất điện năng có thể nói là lâu đời nhất. Công nghệ này sử dụng chu trình đốt cháy dầu diesel và gas để tạo lực cơ học, lực này quay máy phát điện để sản xuất ra điện năng. Thời gian khởi động và dừng máy nhỏ (khoảng 10s) thích hợp với phân tải đỉnh của hệ thống.



Hình 1.2: Một số nguồn DG

### **1.2.3. Các nguồn điện phân tán (DG) có thể khai thác ở Việt Nam**

#### ***Thủy điện nhỏ:***

Thủy điện là nguồn năng lượng tái tạo tương đối sạch, ít gây ô nhiễm và giá thành phát điện thấp.

Tuy nhiên, xét về lâu dài, thủy điện sẽ tác động không nhỏ tới hệ sinh thái, làm biến đổi dòng chảy, ảnh hưởng đến đời sống của một bộ phận lớn dân cư và khi hết tuổi thọ, vấn đề phá dỡ các đập thủy điện cũng không hề đơn giản. Xu hướng thế giới hiện nay là không xây dựng các nhà máy thủy điện lớn mà chỉ khai thác ở mức độ nhỏ và cực nhỏ để quá trình phát triển bền vững hơn.

#### ***Điện gió***

Việt Nam có tiềm năng gió lớn nhất khu vực Đông Nam Á với tổng công suất ước đạt 513.360 MW. Mật độ năng lượng gió vào khoảng 800 – 1.400kWh/m<sup>2</sup>/năm tại các hải đảo; 500 – 1000kWh/m<sup>2</sup>/năm tại vùng duyên hải miền Trung, Tây Nguyên và duyên hải Nam Bộ; các khu vực khác dưới 500kWh/m<sup>2</sup>/năm [5].

Năng lượng gió là nguồn năng lượng tái tạo sạch, thân thiện với môi trường và nguồn phát là vô tận, nhưng nhược điểm chính của nguồn năng lượng này là đầu tư lớn nên giá thành phát điện còn cao (từ 0,06 – 0,1 USD/kWh) [5]. Với công nghệ liên tục phát triển trong những năm gần đây, dự báo suất đầu tư cũng như giá thành của điện gió sẽ giảm dần trong những năm sắp tới.

#### ***Năng lượng mặt trời***

Việt Nam nằm trong vùng nhiệt đới, số giờ nắng trung bình khoảng 2.000 – 2.500giờ/năm với tổng năng lượng bức xạ mặt trời trung bình khoảng 150kCal/cm<sup>2</sup>/năm [5]. Tuy nhiên, hiện tại nguồn năng lượng này chưa được khai thác triệt để do những hạn chế về công nghệ và giá thành đầu tư.

#### ***Năng lượng sinh khối (biomass)***

Trên 10% là con số mà năng lượng sinh khối đóng góp vào tổng năng lượng sản xuất trên thế giới [5]. Việt Nam là nước nông nghiệp, có tiềm năng rất lớn về lĩnh vực này, Như năng lượng từ gỗ, củi, rơm rác, phụ phẩm nông nghiệp...



### ***Địa nhiệt***

Là dạng năng lượng khai thác sức nóng từ lòng đất, Việt Nam có hơn 300 nguồn nước khoáng nóng có nhiệt độ bề mặt từ 30oC đến 105oC, tập trung nhiều tại Tây Bắc, Trung Bộ. Dự báo đến năm 2020 có thể phát triển khoảng 200 MW [5]. Hạn chế lớn nhất của nguồn này chính là vấn đề công nghệ cũng như giá thành sản phẩm.

### **1.3. Tái cấu trúc lưới điện phân phối có DG**

Khi lưới điện được vận hành hở, tổn thất năng lượng luôn lớn hơn và chất lượng điện năng luôn kém hơn một lưới điện được vận hành kín. Khi có sự cố, thời gian tái lập việc cung cấp điện của lưới điện vận hành hở sẽ lâu hơn do cần có thời gian chuyển tải qua các tuyến dây khác.

Tuy nhiên, do tính chất khác nhau cơ bản giữa lưới phân phối và truyền tải là:

- Số lượng phân tử như lộ ra, nhánh rẽ, thiết bị bù, phụ tải của lưới phân phối nhiều hơn lưới điện truyền tải từ 5-7 lần nhưng mức đầu tư chỉ hơn từ 2-2,5 lần [19].

- Có rất nhiều khách hàng tiêu thụ điện năng với công suất nhỏ và phân bố trên diện rộng, nên khi có sự cố, mức độ thiệt hại do gián đoạn cung cấp điện ở lưới điện phân phối gây ra cũng ít hơn so với sự cố của lưới điện truyền tải.

Vì những đặc trưng trên mà lưới điện phân phối luôn được vận hành tia mặc dù có cấu trúc mạch vòng do các nguyên nhân sau:

- Khi vận hành với cấu trúc hình tia thì tổng trở của lưới điện phân phối lớn hơn nhiều so với vận hành vòng kín nên dòng ngắn mạch nhỏ khi có sự cố. Vì vậy chỉ cần chọn các thiết bị đóng cắt có dòng ngắn mạch bé, các thiết bị bảo vệ chỉ cần dùng các loại relay đơn giản, rẻ tiền như relay quá dòng, thấp áp ...đặc biệt có thể dùng cầu chì tự rơi ( FCO: Fuse cut out) hoặc cầu chì tự rơi kết hợp cắt có tải ( LBFCO: Load break fuse cut out) để bảo vệ các nhánh rẽ hình tia trên cùng một đoạn trục và phối hợp với recloser để tránh sự cố thoát qua. Điều này sẽ dẫn đến vốn đầu tư xây dựng lưới điện phân phối giảm đáng kể.

- Do vận hành với cấu trúc hình tia, nên dễ dàng và nhanh chóng cô lập sự cố, hạn chế được sự ảnh hưởng của sự cố đến các khu vực khác sẽ giảm được thiệt hại cho khách hàng sử dụng điện.

- Với cấu trúc vận hành hình tia sẽ dễ dàng và thuận tiện cho việc điều khiển điện áp trên từng tuyến dây.

Nếu chỉ xem xét giá xây dựng mới lưới điện phân phối, thì phương án kinh tế là lưới điện hình tia.

**Khi có các DG**, việc vận hành lưới trở nên phức tạp hơn nhưng chắc chắn độ tin cậy cung cấp điện của hệ thống phân phối, chất lượng điện năng cũng như tổn thất công suất sẽ cải thiện đáng kể. Tuy nhiên bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối sẽ phải đối mặt với nhiều tình huống như:

- 1) Trạng thái vận hành có tổn thất công suất bé nhất khi lưới điện phân phối có một hay nhiều DG. Ở trạng thái này các DG sẽ được huy động hết công suất nếu là các DG thủy điện không có hồ chứa, gió hay năng lượng mặt trời không có bộ pin nhiên liệu. Đối với các DG dùng nhiên liệu chất đốt có thể dự trữ được sẽ phát công suất theo yêu cầu của đơn vị quản lý lưới hay nhà quản lý DG để đạt hiệu quả kinh tế của họ.
- 2) Trạng thái vận hành khi bị sự cố một tuyến dây hay nhiều hơn, khi đó bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối sẽ có mục tiêu là chống quá tải các tuyến dây còn lại cũng như phải sa thải phụ tải nếu cần. Trong trường hợp này, các DG sẽ được huy động tối đa để đạt được mục tiêu là chống quá tải tuyến dây và tối thiểu số phụ tải bị mất điện.
- 3) Trạng thái vận hành lưới điện phân phối khi các nguồn chính của công ty truyền tải bị thiếu. Lúc này các DG sẽ được huy động công suất phối hợp với các nguồn điện chính (các trạm biến áp trung gian 110/22-15kV hay 110/35kV) để giảm áp lực cho nguồn chính và hạn chế số phụ tải bị mất điện do sa thải phụ tải.

Trong luận văn này, mục tiêu vận hành lưới điện phân phối có DG sẽ được đề cập giải quyết thông qua mô hình toán học và giải thuật tái cấu trúc lưới giảm tổn thất điện năng.

#### **1.4 Các bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối**

- Bài toán 1: Tìm cấu trúc lưới điện phân phối tối ưu theo hàm mục tiêu cực tiểu chi phí vận hành theo đồ thị phụ tải.
- Bài toán 2: Tìm cấu trúc lưới điện phân phối tối ưu theo hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất điện năng trên lưới điện theo đồ thị phụ tải.
- ***Bài toán 3: Tái cấu trúc lưới điện để tổn thất điện năng bé nhất.***
- Bài toán 4: Tìm cấu trúc lưới điện phân phối tối ưu theo hàm mục tiêu cân bằng tải
- Bài toán 5: Khôi phục lưới điện sau sự cố hay cắt điện sửa chữa.
- Bài toán 6: Xác định cấu trúc lưới theo nhiều mục tiêu

Bài toán 1 phù hợp với các lưới điện phức tạp, được trang bị các khóa điện hiện đại, có khả năng đóng mở có tải, được điều khiển từ xa như recloser. Hay nói cách khác bài toán một nên dùng cho lưới điện có chi phí chuyển tải và giá tổn thất năng lượng gần bằng nhau.

Tuy nhiên không phải lưới điện phân phối nào cũng trang bị những khóa chuyển tải đắt tiền, có khả năng đóng cắt có tải và điều khiển từ xa. Các lưới điện đơn giản được trang bị các khóa điện chuyển tải phần nhiều trên lưới như FCO, LBFCO... thì bài toán hai thích hợp hơn cả.

Khi nghiên cứu các giải thuật giải các bài toán 1 và bài toán 2, đây là bài toán hết sức phức tạp. Để giải quyết các bài toán này đơn giản hơn, các tác giả đều cố gắng đưa về bài toán có hàm mục tiêu là cực tiểu hàm tổn thất công suất. Đây chính là lí do xuất hiện thêm bài toán 3 “Xác định cấu trúc lưới điện phân phối có tổn thất công suất bé nhất”. Có nhiều phương pháp nghiên cứu giải quyết bài toán 3 trên lưới phân phối, tiêu biểu nhất là bài toán của Merlin và Back hay của Civanlar [1], chúng tạo thành hai hướng nghiên cứu chính trong bài toán tái cấu trúc lưới.

Bài toán 4 thường được áp dụng tại những khu vực có sự tăng trưởng phụ tải nhanh chóng. Để tránh quá tải đường dây và máy biến áp nguồn cần phải có cấu trúc lưới điện khả năng vận tải được lượng công suất lớn nhất mà số lượng các phần tử bị quá tải trong lưới điện là bé nhất.

Bài toán 5 tái cấu trúc lưới điện phân phối sau sự cố cũng không kém phần hấp dẫn, được đông đảo các nhà khoa học đề cập trong các nghiên cứu của mình. Các giải thuật tập trung chủ yếu vào vấn đề sử dụng hàm mục tiêu cân bằng tải và giảm số lần thao tác các khóa để khôi phục lưới.

Bài toán 6: Tái cấu trúc lưới theo hàm đa mục tiêu:

Trong mục tiêu lưới điện phân phối có rất nhiều mục tiêu vận hành mà người điều độ viên phải lựa chọn sao cho phù hợp với các đặc tính của lưới điện tại khu vực mà mình đang trực tiếp vận hành. Tuy nhiên việc chỉ chọn duy nhất một mục tiêu để điều khiển theo từng thời điểm là rất khó đối với người vận hành khi cùng lúc thỏa mãn nhiều mục tiêu.

### ***Bài toán 3 – Tái cấu trúc lưới giảm tổn thất điện năng tác dụng.***

Bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối với hàm mục tiêu giảm tổn thất điện năng tác dụng của DG là một bài toán quan trọng, làm nền tảng hầu như cho tất cả các bài toán khác trong hệ thống các bài toán tái cấu trúc lưới.

Khi giải quyết hàm mục tiêu là cực tiểu chi phí vận hành, Shirmohammadi đã sử dụng giải thuật giảm tổn thất công suất của Civanlar. Còn Taleski cũng đã sử dụng giải thuật này để giải quyết bài toán 2.

**Bảng 1.1:** Phạm vi ứng dụng của các bài toán tái cấu trúc lưới

Tên bài toán		1	2	3	4	5	6
Đặc điểm lưới điện	Khoá điện được điều khiển từ xa	✓		✓		✓	
	Chi phí chuyển tải thấp, không mất điện khi chuyển tải	✓		✓		✓	
	Chi phí chuyển tải cao, mất điện khi chuyển tải		✓	✓		✓	✓

	Lưới điện thường xuyên bị quá tải			✓	✓	✓	
	Lưới điện ít bị quá tải		✓	✓		✓	✓
	Lưới điện hầu như không quá tải	✓	✓	✓		✓	

Các bài toán xác định cấu trúc vận hành của một lưới điện phân phối cực tiểu tổn thất năng lượng hay cực tiểu chi phí vận hành thỏa mãn các điều kiện kỹ thuật vận hành luôn là bài toán quan trọng và kinh điển trong vận hành hệ thống điện

Đối với đề tài này, bài toán 3 được đưa ra và thực hiện lời giải trong các điều kiện vận hành của lưới điện phân phối khi có các nguồn phát phân tán.

### 1.5. Thực trạng mạng lưới điện tại Việt Nam

Do điều kiện địa lý cũng như lịch sử Việt Nam, hệ thống điện Việt Nam nói chung phân bố rộng với nhiều cấp điện áp và thiết bị cũ kỹ, không đồng bộ. Những năm gần đây, cùng với sự phát triển nhanh về kinh tế dẫn đến nhu cầu sử dụng điện tăng nhanh không những về số lượng phụ tải mà còn về chất lượng điện năng cung cấp cũng phải cao hơn. Điều này bắt buộc ngành điện lực Việt Nam phải đổi mới về cách thức quản lý – điều hành, về thiết bị, công nghệ, xây dựng nhiều nhà máy phát điện, xây dựng nâng cấp và mở rộng lưới điện phân phối vv...Tuy nhiên vẫn chưa đáp ứng kịp với nhu cầu sử dụng điện, đặc biệt lưới điện phân phối vẫn còn tồn tại những hạn chế sau:

- Tồn tại nhiều cấp điện áp trên LĐPP (6,6kV, 10kV, 22kV, 35kV). [2]
- Các thiết bị đóng cắt, chuyển mạch cho lưới phân phối như Recloser, LBS có số lượng lớn và không được vận hành điều khiển từ xa nên tốn nhiều thời gian trong công tác vận hành. Lưới điện phân phối được phân bố rộng, cung cấp điện trực tiếp cho nhiều loại phụ tải khác nhau. Nên chịu tác động lớn của địa hình phân bố, điều kiện khí hậu của từng vùng miền.

### 1.6 Các nghiên cứu khoa học về tái cấu trúc lưới phân phối

#### 1.6.1 Giới thiệu

Vấn đề tái cấu trúc hệ thống cũng tương tự như việc tính toán phân bố công suất tối ưu. Tuy nhiên, tái cấu trúc yêu cầu một khối lượng tính toán lớn do có nhiều

biến số tác động đến các trạng thái khóa điện và điều kiện vận hành như: Lưới điện phân phối phải vận hành hở, không quá tải máy biến áp, đường dây, thiết bị đóng cắt... và sụt áp tại hộ tiêu thụ trong phạm vi cho phép.

Do đó, khi tiếp cận bài toán tái cấu trúc, các nhà khoa học thường sử dụng các phương pháp tìm kiếm tối ưu sẽ cho kết quả tốt hơn. Các phương pháp tìm kiếm tối ưu thường được sử dụng cho bài toán tái cấu trúc như: Phương pháp Heuristic tối ưu hóa, Hệ chuyên gia. Hiện nay có hai phương pháp chính trong nghiên cứu bài toán tái cấu trúc LĐPP.

- + Thuật toán của Merlin & Back (*kỹ thuật vòng cắt*) đại diện cho phương pháp heuristic kết hợp với kỹ thuật tối ưu

- + Thuật toán của Civanlar (*kỹ thuật đối nhánh*) đại diện cho phương pháp thuần túy heuristic. [1]

Về bản chất, heuristic là phương pháp giải quyết vấn đề bằng cách đánh giá kinh nghiệm và tìm kiếm giải pháp tối ưu thông qua các phép thử nghiệm trong quá trình tìm kiếm, và là các luật dùng để chọn những cấu hình nào có nhiều khả năng nhất để dẫn đến một giải pháp chấp nhận được. Tuy nhiên do dựa vào kinh nghiệm hoặc trực giác nên heuristic có thể dẫn đến một thuật toán tìm kiếm chỉ đạt được giải pháp gần tối ưu thậm chí có thể không tìm được giải pháp nào. Đây là một hạn chế thuộc về bản chất tìm kiếm heuristic. Do vậy, để hạn chế nhược điểm này, cần phải kết hợp heuristic với các kỹ thuật tối ưu hoặc dựa trên đặc điểm thực tế của đối tượng nghiên cứu. Với bài toán tái cấu trúc, nhiều nghiên cứu đã kết luận rằng: Việc kết hợp giữa heuristic và tối ưu hoá tuy tốn nhiều thời gian tính toán nhưng lại có khả năng xác định được cấu hình lưới điện đạt  $\Delta P$  cực tiểu và không phụ thuộc vào cấu hình ban đầu. Đại diện cho nhóm thuật toán này là nghiên cứu của Merlin & Back và của Civanlar.

### 1.6.2 Phương pháp Heuristic tối ưu hóa

Một số phương pháp đã được đề xuất để giải quyết vấn đề tái cấu trúc. Trong Năm 1975, Merlin và Back [1] đề xuất một phương pháp heuristic có ràng buộc để xác định các cấu hình lưới cho tổn thất tối thiểu trên đường dây. Để có lưới điện

hình tia, tác giả đã lần lượt loại bỏ những nhánh có dòng công suất chạy qua bé nhất, quá trình sẽ chấm dứt khi lưới điện đạt được trạng thái vận hành hở. Trong quá trình thực hiện, thuật toán không tính mức giảm  $\Delta P$  khi phân bố lại phụ tải cho từng bước mà chỉ xét đến dòng chạy qua khoá điện. Thuật toán không tính tổn thất  $\Delta P$  để so sánh lựa chọn cấu hình tối ưu vì đã xuất phát từ điều kiện mở nhánh có dòng bé nhất để mức tổn thất  $\Delta P$  là bé nhất. Những ưu điểm chủ yếu của phương pháp này là: [1]

- Cấu trúc lưới cuối cùng là độc lập với trạng thái ban đầu của các khoá điện.
- Quá trình thực hiện phương pháp này dẫn đến tối ưu hoặc gần tối ưu theo các hàm mục tiêu.

Các nhược điểm chính của phương pháp này là: [1]

- Tải được giả định hoàn toàn là tải tác dụng và được cung cấp bởi các nguồn hiện tại sẽ không thay đổi trong quá trình thực hiện tái cấu trúc.
- Sụt áp trên lưới được cho là không đáng kể.
- Các hạn chế khác của lưới điện cũng được bỏ qua.

Dựa trên cơ sở thuật toán này, rất nhiều các nghiên cứu về sau đã phát triển, chỉnh sửa cho phù hợp với thực tế vận hành lưới điện cũng như yêu cầu về giảm khối lượng tính toán và nâng cao chất lượng điện năng. Điển hình cho các nghiên cứu đó là thuật toán của Shirmohammadi và Hong đã cải tiến phương pháp của Merlin và Back và thu được kết quả trong việc tìm kiếm giải pháp tối ưu hoặc gần tối ưu và trạng thái của các khoá điện không phụ thuộc vào cấu trúc lưới. Tác giả Shirmohammadi là người đầu tiên sử dụng kỹ thuật bơm vào/rút ra một lượng dòng điện không đổi để mô tả thao tác phân bố lại phụ tải trong LDPP với giả thiết dòng điện bơm vào/rút ra là một đại lượng liên tục. Phương pháp này khắc phục được tất cả các nhược điểm chính của Merlin và Back. [4]. Xuất phát từ lưới điện ban đầu là lưới điện kín (sau khi đóng tất cả các khoá điện trên lưới), giải bài toán PBCS sẽ lựa chọn nhánh có dòng điện bé nhất trong các vòng độc lập. Sau khi mở nhánh có dòng bé nhất trong lưới điện, giải lại bài toán PBCS cho lưới điện mới, đồng thời kiểm tra các điều kiện về chất lượng điện áp nút, khả năng mang tải của các tuyến dây còn

lại. Trong trường hợp không vi phạm chất lượng điện áp các nút và khả năng tải của nhánh, sẽ lặp lại các bước như trên cho đến khi lưới điện hoàn toàn hình tia và các phụ tải đều được cấp điện. Trong trường hợp khoá điện vừa mở vi phạm điều kiện vận hành, sẽ phải đóng khoá điện vừa mở và mở khoá điện có dòng bé nhất tiếp theo trong LĐPP. Sau đó giải lại bài toán PBCS và tiếp tục kiểm tra điều kiện vận hành cho đến khi lưới điện hình tia.

Với cách thực hiện như trên dễ nhận thấy rằng thuật toán của Shirmohammadi có xét đến điều kiện chất lượng điện áp và khả năng tải đường dây (điều này khác với thuật toán của Merlin & Back). Vì vậy, cấu hình LĐPP theo thuật toán này đảm bảo được chất lượng điện năng tốt hơn so với thuật toán của Merlin & Back. Tuy nhiên, sau mỗi lần mở khoá điện, phải tiến hành giải lại bài toán PBCS nên tốn nhiều thời gian tính toán. Với các LĐPP phức tạp có “n” khoá điện thì có khả năng xảy ra đến “ $2^n$ ” lần thao tác trên toàn LĐPP để có được một cấu hình LĐPP có tổn thất công suất bé nhất.

Cũng trên cơ sở thuật toán này, rất nhiều nghiên cứu gần đây ứng dụng cho bài toán tái cấu hình LĐPP có DG, trong đó DG được xem như nguồn phát có công suất phát hoàn toàn xác định, hàm mục tiêu là tối thiểu tổn thất công suất với hàng loạt các ràng buộc về: Cân bằng tải, chất lượng điện áp, độ tin cậy cung cấp điện...

Các nghiên cứu điển hình khác của Jeon, Goswami với tìm kiếm Tabu (Tabu Search - TS) sử dụng kỹ thuật chuyển đổi nhánh để tái cấu hình LĐPP. Phương pháp Tabu là phương pháp giải quyết vấn đề bằng cách đánh giá kinh nghiệm và tìm đến giải pháp bằng làm phép thử và rút ra sai lầm. Trong phương pháp này, bài toán tái cấu hình được phát biểu dưới dạng bài toán tối ưu phi tuyến nguyên hỗn hợp, hàm mục tiêu là tối thiểu  $\Delta P$ . Các ràng buộc được đánh giá thông qua hệ số phạt a. Việc lựa chọn thông số phạt phải phù hợp để sao cho với giải pháp tối ưu thì chất lượng điện năng là tốt nhất. Mặc dù Tabu cho kết quả tìm kiếm khá hiệu quả nhưng nhược điểm là số lần lặp lớn [1], [29].

Civanlar đã phát triển kỹ thuật đổi nhánh thể hiện ở quá trình thay thế 01 khoá mở bằng 01 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.

Giải thuật Civanlar có những ưu điểm sau [4]:

- Nhanh chóng xác định phương án tái cấu trúc có mức tổn thất nhỏ hơn bằng cách giảm số liên kết đóng cắt nhờ qui tắc heuristics và sử dụng công thức thực nghiệm để xác định mức độ giảm tổn thất tương đối.
- Việc xác định dòng tải tương đối chính xác.

Tuy nhiên, giải thuật cũng còn nhiều nhược điểm cần khắc phục [4]:

- Mỗi bước tính toán chỉ xem xét 01 cặp khoá điện trong 01 vòng.
- Chỉ đáp ứng được nhu cầu giảm tổn thất, chứ chưa giải quyết được bài toán cực tiểu hóa hàm mục tiêu.
- Việc tái cấu trúc hệ thống phụ thuộc vào cấu trúc ban đầu của hệ thống điện.

Bran và Wu cố gắng cải tiến giải thuật của Civanlar bằng cách giới thiệu hai phép tính gần đúng cho dòng công suất và sụt áp trong quá trình chuyển tải. Công suất tính toán trên nhánh theo Bran và Wu chỉ gồm thành phần công suất phụ tải, bỏ qua thành phần tổn thất của các nhánh trước đó. Thông qua việc sử dụng phương pháp này, các khó khăn liên quan đến quá tải đường dây và sụt áp được xác định ngay trong giải thuật chứ không phải sau khi kết thúc bài toán. Baran còn cố gắng vượt qua nhược điểm lớn trong kỹ thuật “đổi nhánh” là dễ bị rơi vào cực tiểu địa phương bằng cách chỉ ra các trình tự đóng/mở khoá điện. Tuy nhiên, giải thuật của Baran và Wu dễ bị rơi vào các cực tiểu địa phương vì trình tự thay đổi nhánh có tính chất tổ hợp [4].

### **1.6.3. Các giải thuật dựa trên trí tuệ nhân tạo**

Gần đây, trí tuệ nhân tạo đã trở nên phổ biến đưa đến sự nở rộ của nhiều kỹ thuật như: hệ thần kinh nhân tạo (ANN), giải thuật gen (GA) và hệ chuyên gia (ES) đã được ứng dụng để tái cấu trúc hệ thống. Mặc dù việc sử dụng các kỹ thuật dựa trên cơ sở của trí tuệ nhân tạo đã tỏ ra có giá trị trong nhiều ứng dụng, nhưng vẫn chưa thể chứng minh là đã tìm ra được các giải pháp tốt nhất. Với tốc độ phát triển của công nghệ máy tính như hiện nay, chắc chắn trí tuệ nhân tạo sẽ được ứng dụng

nhiều hơn trong các bài toán tái cấu trúc hệ thống. Các kỹ thuật áp dụng đồng thời ANN và GA (giải thuật lai) mở ra nhiều triển vọng trong việc giảm đáng kể thời gian tính toán [33], [35], [3], [4], [15].

#### **1.6.3.1. Thuật toán di truyền - Genetic Algorithm (GA)**

Nhà sử dụng các thuật toán di truyền (GA) là một thuật toán tìm kiếm dựa trên cơ chế chọn lọc tự nhiên và di truyền tự nhiên. Nó kết hợp sự thích nghi giữa bản chất của di truyền học tự nhiên hoặc quá trình tiến hóa của các cơ quan với chức năng tối ưu hóa. Các tính năng đơn giản của GA làm cho nó phù hợp cho nhiều đối tượng khác nhau khi giải quyết vấn đề tối ưu hóa. Các vấn đề trong việc sử dụng GA dựa trên một nguyên tắc mã hóa và giải mã hiệu quả cơ chế của nhiễm sắc thể đại diện cho mạng lưới phân phối và cấu trúc của chức năng thể lực [33].

*Biểu diễn chuỗi dựa trên các chiến lược Heuristic:*

Đối với mạng phân phối, khi đóng một khóa điện sẽ tạo một vòng kín. Thuật toán đề nghị bắt đầu bằng việc đóng tất cả các khóa điện để tạo một mạng vòng. Mạng vòng này sẽ bao gồm nhiều vòng đóng và mỗi vòng phải có một điểm mở “tốt nhất” để cực tiểu tổn thất cho mạch hở. Mở một khóa điện trong mỗi vòng sẽ có được cấu trúc mạng hình tia. Tiếp theo là các biểu diễn chuỗi:

- Mỗi gen biểu diễn một khóa mở trong vòng, độ dài của chuỗi bằng số vòng.
- Nếu chuỗi có cùng một gen thì mạng có một vòng, mỗi gen trong chuỗi khác nhau.
- Nếu chuỗi có hai hay nhiều gen là khóa điện thông thường trong hai vòng khác nhau thì mạng có một nút bị cách ly.

*Quá trình tái sản sinh, lai hóa và đột biến:*

Trong quá trình tái sản sinh, chọn một tập hợp các chuỗi cũ để sản sinh một tập các chuỗi mới dựa theo tính hợp lý. Trong quá trình lai hóa, chọn hai chuỗi một cách ngẫu nhiên từ dân số ở cùng một thời điểm. Chọn một hay nhiều vị trí trên hai chuỗi và hoán đổi cho nhau (lai hóa đơn giản hoặc phức tạp). Quá trình đột biến được thực hiện rất hạn chế, sau mỗi chuyển đổi từ 100-1000 bit trong quá trình lai

hóa, thay đổi một vị trí bit ngẫu nhiên bằng các khóa điện khác nhau trong vòng cho một chuỗi được chọn ngẫu nhiên từ dân số. Phép toán này được sử dụng để thoát khỏi một cực tiểu địa phương. Tuy nhiên trong quá trình này, chuỗi mới tạo ra có thể vi phạm các ràng buộc hình tia và cách ly.

#### **1.6.3.2. Phương pháp logic mờ - Fuzzy logic**

King và Radha sử dụng một bộ điều khiển logic mờ để thích ứng hoàn toàn và xác suất xảy ra đột biến dựa trên chức năng thể lực. Các ưu điểm chính của hệ thống kiểm soát mờ đối với các phương pháp truyền thống là: khả năng mô hình hóa định lượng các khía cạnh của kiến thức và quá trình lý luận của con người, mô hình hóa ước tính miễn phí, mạnh mẽ, và dễ dàng thực hiện. Logic mờ điều khiển GA luôn luôn tìm ra tối ưu toàn cục và đã chứng tỏ có sự hội tụ nhanh hơn so với một GA sử dụng qua cố định trên và đột biến thích nghi [15].

#### **1.6.3.3. Mạng thần kinh nhân tạo - Artificial Neural Network (ANN)**

Kim và các cộng sự đã đề xuất một giải thuật gồm hai giai đoạn dựa trên ANN trong nỗ lực tái cấu trúc hệ thống nhằm cực tiểu hóa tổn thất. Nhằm tránh những khó khăn liên quan đến khối lượng lớn các dữ liệu, Kim đã đề nghị chia hệ thống phân phối thành nhiều vùng phụ tải. Tại mỗi vùng phụ tải, một hệ thống gồm hai ANN sẽ được sử dụng để phân tích mức độ tải và sau đó thực hiện tái cấu trúc tùy theo điều kiện của tải. Việc ứng dụng ANN trong phương pháp này mang lại các kết quả tính toán nhanh vì không cần xem xét trạng thái đóng ngắt riêng rẽ trong giải thuật tổng thể. Tuy nhiên, ANN cũng chỉ có thể tìm ra được trạng thái lưới sau tái cấu trúc tốt như tập số liệu huấn luyện. Chính vì vậy cấu trúc lưới đề nghị dùng ANN cũng không thể chỉ ra được trạng thái cực tiểu [4], [15].

#### **1.6.3.4. Hệ chuyên gia - Expert System (ES)**

Taylor và Lubkeman đưa ra một hệ chuyên gia tái cấu trúc hệ thống phân phối dựa trên sự mở rộng các luật của Civanlar. Taylor và Lubkeman mô tả các mục tiêu cơ bản của họ như tránh quá tải máy biến áp, quá tải đường dây và độ sụt áp không bình thường, các tác giả khẳng định rằng nếu thỏa mãn các điều kiện này sẽ dẫn đến tối thiểu hóa tổn thất. [15]

### **1.6.3.5. Thuật toán bầy đàn - Particle Swarm Method (PSM)**

Jin và Zhao trình bày phương pháp dựa trên tối ưu nhị phân bầy đàn cho vấn đề cân bằng tải. Phương pháp này được lấy cảm hứng từ các hành vi xã hội của một đàn chim di cư cố gắng để đến được một điểm đến không được biết trước. Mỗi giải pháp là một con chim trong đàn và được gọi như là một "phần tử" tương tự như một nhiễm sắc thể trong GA. Phương pháp này được sử dụng hiệu quả trong việc tìm kiếm cho các giải pháp tối ưu [20]

### **1.6.3.6. Phương pháp mô phỏng luyện kim - Simulated Annealing Method (SA)**

Các thuật toán mô phỏng luyện kim lần đầu tiên được đề xuất bởi Scott Kirkpatrick, C. Daniel Gelatt và Mario P. Vecchi vào năm 1983 tuy nhiên nó là dựa trên phương pháp mô phỏng Monte Carlo do Metropolis N. vào năm 1953. [4]

Tên của thuật toán này xuất phát từ quá trình làm lạnh và kết tinh hoặc một kim loại làm mát và ủ tương ứng của một chất lỏng. Ở nhiệt độ cao, một chất lỏng ngẫu nhiên phân tán các phân tử trong một trạng thái năng lượng cao. Khi quá trình làm giảm nguồn nhiệt từ thời điểm này, các hạt từ từ vào một mạng có cấu trúc (pha rắn) tương ứng với từng mức năng lượng. Một điều rất quan trọng trong suốt quá trình này là nhiệt lượng của hệ thống đạt đến một trạng thái ổn định trước khi giảm nhiệt độ để cấp độ tiếp theo. Khi nhiệt độ đủ thấp, cấu trúc hệ thống đạt đến trạng thái cơ bản hoặc điểm mà tại đó năng lượng của các chất rắn được giảm tối thiểu. Nếu quá trình làm mát không được thực hiện chậm đủ, hệ thống không còn ở trạng thái năng lượng tối thiểu, tương tự như quá trình dập tắt.

Các trạng thái vật lý của Quá trình Luyện kim cũng tương tự như việc xác định gần như toàn bộ hoặc toàn phần giải pháp tối ưu cho các vấn đề tối ưu hoá. Ý tưởng cơ bản là bắt đầu với cấu hình nguyên tử hiện hành. Cấu hình này tương đương với các giải pháp hiện thời của một vấn đề tối ưu hoá. Năng lượng của các nguyên tử tương tự với chi phí của các hàm mục tiêu và trạng thái cuối cùng tương ứng với cực tiểu của hàm chi phí.

### 1.6.3.7. Thuật toán tối ưu Kiến - Ant Colony Optimization Method

Carpento và Chicco trình bày một ứng dụng mới của giải thuật tìm kiếm của đàn kiến cho bài toán tối ưu tái cấu trúc lưới điện phân phối với mục tiêu cực tiểu tổn thất trên hệ thống phân phối với các ràng buộc trong quá trình vận hành [4]. Phương pháp này dựa trên hoạt động tìm kiếm thức ăn của một đàn kiến. Ban đầu, số con kiến bắt đầu từ tổ kiến để đi tìm đường đến nơi có thức ăn. Từ tổ kiến sẽ có rất nhiều con đường khác nhau để đi đến nơi có thức ăn, nên 1 con kiến sẽ chọn ngẫu nhiên một con đường đi đến nơi có thức ăn. Quan sát loài kiến, người ta nhận thấy chúng tìm kiếm nhau dựa vào dấu chân mà chúng để lại trên đường đi (hay còn gọi là dấu chân kiến để lại). Sau 1 thời gian lượng dấu chân (pheromone) của mỗi chặng đường sẽ khác nhau. Do sự tích lũy dấu chân của mỗi chặng đường cũng khác nhau đồng thời với sự bay hơi của dấu chân ở đoạn đường kiến ít đi. Sự khác nhau này sẽ ảnh hưởng đến sự di chuyển của những con kiến sau đi trên mỗi đoạn đường. Nếu dấu chân để lại trên đường đi nhiều thì sẽ có khả năng thu hút các con kiến khác di chuyển trên đường đi đó, những chặng đường còn lại do không thu hút được lượng kiến di chuyển sẽ có xu hướng bay hơi dấu chân sau 1 thời gian qui định. Điều đặc biệt trong cách hành xử loài kiến là lượng dấu chân trên đường đi có sự tích lũy càng lớn thì cũng đồng nghĩa với việc đoạn đường đó là ngắn nhất từ tổ kiến đến nơi có thức ăn. Phương pháp này đưa ra để giải quyết các bài toán có không gian nghiệm lớn để tìm ra lời giải có nghiệm là tối ưu nhất trong không gian nghiệm đó với thời gian cho phép hay không tìm ra cấu trúc tối ưu hơn thì dừng.

### 1.6.4 Nhận xét chung

Qua trình bày nội dung các thuật toán và phương pháp tái cấu hình lưới điện, có thể tổng kết lại như bảng 1.2 dưới đây.

**Bảng 1.2.** So sánh hiệu quả của một số thuật toán tái cấu hình cơ bản

<b>I – Kỹ thuật đổi nhánh thuần Heuristic</b>	<b>II – Kỹ thuật vòng cắt Heuristic kết hợp với kỹ thuật tối ưu</b>	<b>III - Các kỹ thuật dựa trên trí tuệ nhân tạo</b>
Hàm mục tiêu: Giảm $\Delta P$	Hàm mục tiêu: Giảm $\Delta P$	Hàm mục tiêu: Giảm $\Delta P$
Xuất phát từ cấu hình ban đầu, cấu hình tìm kiếm không được định hướng rõ ràng, quá trình đổi nhánh và tái cấu hình dựa trên mức giảm $\Delta P$ lớn nhất	Xuất phát từ cấu hình kín, cấu hình tìm kiếm sẽ tìm điểm mở vòng có dòng công suất qua nhánh bé nhất. Mô tả được ảnh hưởng của các trạm và nguồn trung gian	Xuất phát từ cấu hình ban đầu. Chọn ra các cấu hình ngẫu nhiên có thể tìm được trong LĐPP, xác định cấu hình tốt nhất theo hàm mục tiêu. Dem cấu hình này thay đổi 1 số vị trí để tạo ra cấu hình mới tốt nhất
Trong LĐPP có K khoá điện, phải giải bài toán phân bố công suất K lần cho một lần lặp	Trong LĐPP có K khoá điện, phải giải bài toán phân bố công suất K lần cho một lần lặp. $\Delta P$ tính cho từng bước phân bố lại phụ tải	Từng vị trí khóa đóng mở đã được mã hóa thành chuỗi nhị phân. tính các hệ số thích nghi và hàm mục tiêu cho các cấu hình vừa mới tạo ra, và loại bỏ các cấu hình có hàm mục tiêu nhỏ hơn
Dễ rơi vào cực trị địa phương	Có thể tránh được cực trị địa phương nếu giải $n^2$ lần phân bố công suất trên LĐPP kín	Do phụ thuộc vào số cấu hình tạo ra ban đầu để có thể xác định được danh sách các cấu hình được chọn. Nên sẽ mất nhiều thời gian để chạy chương trình tìm hàm mục tiêu cho các cấu hình ban đầu được tạo ra

Qua bảng tổng kết có một số nhận xét sau:

- Các thuật toán dựa trên trí tuệ nhân tạo cho kết quả tốt trong nhiều trường hợp, tuy nhiên quá trình mô phỏng khó khăn. Với LĐPP phức tạp, số cấu

hình ban đầu sẽ rất lớn, số lần lặp nhiều. Các cấu hình sau cùng cũng chỉ đảm bảo là giảm được  $\Delta P$  so với cấu hình ban đầu chứ không khẳng định được cấu hình sau cùng đó có  $\Delta P$  tối ưu.

- Với các thuật toán I và II của bảng 1.2, quá trình lựa chọn cấu hình tốt nhất dựa trên việc thực hiện nhiều lần trên LDPP, cấu hình nào có tổn thất  $\Delta P$  bé nhất sẽ được lựa chọn. Mỗi bước tính toán chỉ xem xét được 1 cặp khoá điện trong 1 vòng, chưa giải quyết được triệt để bài toán cực tiểu toàn cục tổn thất  $\Delta P$  trong lưới điện.

### 1.7. Phương án giải quyết trong luận văn

Các giải thuật tái cấu trúc lưới chưa tìm ra được cấu hình sau cùng của LDPP có tổn thất công suất nhỏ nhất hoặc chưa giải quyết được bài toán tổng quát cho LDPP. Để khắc phục một phần khó khăn trên, luận văn nghiên cứu tái cấu trúc LDPP có DG để giảm thiểu tổn thất điện năng trong LDPP từ đơn giản đến phức tạp.

Xây dựng hàm giảm thiểu tổn thất  $\Delta A$  (hàm F), hàm này chứa thông tin về LDPP và của DG. Xuất phát từ cấu hình ban đầu, quá trình tìm kiếm cấu hình có định hướng tới lưới điện kín. Giảm hàm F thực hiện bằng cách dựa trên điện trở của vòng độc lập và dòng của lưới điện kín, được thực hiện một lần cho toàn bộ quá trình lặp trên lưới điện kín, điều này sẽ tránh được cực tiểu địa phương và xét được ảnh hưởng của DG lên toàn LDPP.

Để thực hiện công việc này, trước hết cần mô tả mức độ ảnh hưởng của DG đến hàm tổn thất  $\Delta A$ , từ đó xây dựng phương án tìm cấu hình LDPP có DG, trong đó sẽ đề cập đến việc:

- Nghiên cứu việc tái cấu trúc LDPP có DG để giảm tổn thất điện năng
- Xây dựng hàm F trong việc tái cấu trúc LDPP có DG để giảm tổn thất điện năng
- Kiểm chứng kết quả giải thuật bằng PSS/ADEPT
- Đề xuất áp dụng trên vận hành trực tuyến LDPP

## CHƯƠNG 2

### CƠ SỞ LÝ THUYẾT

#### 2.1 Đặt vấn đề

Mục đích của bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối là đi tìm ra một cấu trúc lưới có những lợi ích về kinh tế lớn nhất nhưng vẫn đảm bảo về mặt kỹ thuật để lưới điện phân phối vận hành ổn định trong điều kiện vận hành bình thường cũng như sự cố. Những lợi ích về mặt kinh tế bao gồm chi phí cho tổn thất trên lưới điện, chi phí chuyển tải (đóng cắt các khóa điện), chi phí thiệt hại của khách hàng do bị ngừng cung cấp điện, và cả chi phí không bán được điện của công ty điện lực. Như vậy, khi tìm được lời giải cho bài toán tái cấu trúc lưới phân phối để giảm tổn thất điện năng cũng chính là tìm ra cấu trúc lưới phân phối có chi phí vận hành thấp nhất. Mỗi cấu trúc lưới điện phân phối được tạo ra từ cấu trúc hiện tại bằng cách đóng/mở các khóa điện (tie, switch).

LĐPP được tái cấu trúc bằng cách mở các khóa điện phân đoạn và đóng các khóa điện chuyển mạch sao cho cấu trúc lưới điện vẫn là hình tia và tất cả khách hàng vẫn đảm bảo cung cấp điện khi dòng công suất đi qua các nút, tổn thất điện năng, và độ tin cậy cung cấp điện của lưới điện phân phối cũng thay đổi.

Trong luận văn này, mục tiêu chính đặt ra là tái cấu trúc lưới điện phân phối nhằm giảm tổn thất điện năng có tác dụng của DG.

#### 2.2 Cơ sở toán học

Cấu trúc lưới điện phân phối được tạo nên bởi các nhóm phần tử như máy biến áp, đường dây, và các thiết bị đóng cắt, bảo vệ lưới điện ( cầu chì, máy cắt...). Trong quá trình vận hành lưới điện, chúng thường được nối tiếp với nhau để tạo nên một cấu trúc hình tia để đáp ứng được các yêu cầu kinh tế lẫn kỹ thuật. Trong thực tế vận hành, phụ tải sẽ không ngừng thay đổi, thêm vào đó nếu có các nguồn điện phân tán (DG) sẽ làm thay đổi đáng kể phân bố công suất trên các nhánh của LĐPP. Điều này đã làm cho việc vận hành LĐPP trở nên phức tạp, vì vậy nhiệm vụ xác định lại vị trí các điểm mở trên LĐPP là quan trọng hơn cả.



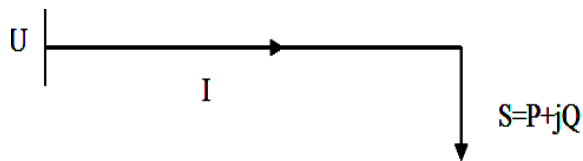
Để tìm điểm mở mới của LĐPP có DG thực chất là đi tìm một cấu hình tối ưu mới của LĐPP để đạt các mục tiêu trong vận hành như: Cải thiện chất lượng điện áp, cải thiện độ tin cậy, giảm tổn thất điện năng ( $\Delta A$ ) cũng chính là giảm tổn thất công suất ( $\Delta P$ ). Mục tiêu chương này là vận hành LĐPP có DG thông qua mô hình toán học và thuật toán tái cấu hình lưới điện giảm  $\Delta A$ .

### 2.2.1. LĐPP đơn giản

#### 2.2.1.1. Mô tả toán học

Để mô tả toán học giảm tổn thất điện năng trên lưới điện có DG, Ta thực hiện xét một số trường hợp đơn giản, trước hết là mô tả công suất tác dụng trên một đường dây đơn giản.

- Xét một đường dây đơn giản được cung cấp điện từ nguồn đến tải và có dòng điện trên đường dây là  $I$  và điện trở của đường dây là  $R$ , công suất tải là  $S$



Hình 2.1. Sơ đồ cung cấp điện đơn giản

Tổn thất điện năng trong thời gian khảo sát  $T$  ( $t_m$  là thời đoạn khảo sát  $m, m=1 \dots M$ ),

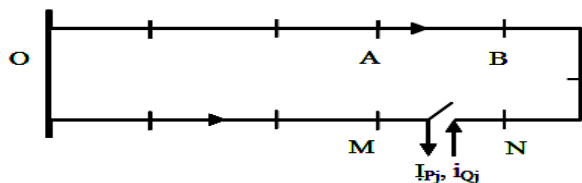
$$T(T = \sum_{m=1}^M t_m)$$

Được viết là:

$$\Delta A = \sum_{m=1}^M \Delta P_m \cdot t_m = I^2 \cdot R \cdot t_m = \sum_{m=1}^M \frac{S^2}{U^2} \cdot R \cdot t_m = \sum_{m=1}^M \frac{P_m^2 + Q_m^2}{U^2} \cdot R \cdot t_m = \sum_{m=1}^M (I_{pm}^2 + I_{qm}^2) \cdot R \cdot t_m \quad (2.1)$$

Với  $\vec{I}_m = \vec{I}_{pm} + \vec{I}_{qm}$  (2.2),  $I$  dòng điện do phụ tải tạo ra.

- Mô tả toán học khi chuyển tải trên một LĐPP đơn giản chưa có DG kết nối



Hình 2.2: Sơ đồ LĐPP một vòng không có DG

Xét lưới điện một vòng và có khóa đang mở tại MN như hình 2.2. tại nhánh MN có  $I_{PMN}=0$  và  $I_{QMN}=0$ , xác định khóa điện mở để tổn thất điện năng là bé nhất.

Khi ta chuyển tải đoạn NB thuộc tuyến dây ON sang tuyến dây OM sẽ tương ứng với thao tác đóng khóa MN và mở khóa AB trên nhánh AB, sau khi chuyển tải đoạn nhánh AB có  $I_{PAB}=0$  và  $I_{QAB}=0$ . Ta cũng có thể mô tả toán học thao tác chuyển tải trên bằng cách rút ra một lượng dòng điện  $I_{pj}$  và  $I_{Qj}$  từ nhánh OM và đồng thời bơm vào nhánh MN cùng một lượng dòng điện  $I_{pj}$  và  $I_{Qj}$  sao cho dòng điện chạy qua nhánh AB có  $I_{PAB}=0$  và  $I_{QAB}=0$ .

Giả sử khi xét là  $U_i=U_{dm}$ , và trong hệ đơn vị tương đối  $U_{dm}=1$

$$\Delta A^{truooc} = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n (I_{Pim}^2 + I_{Qim}^2) R_i \cdot t_m \quad (2.3)$$

Tổn thất điện năng tác dụng sau khi chuyển tải là.

$$\begin{aligned} \Delta A^{sau} = & \sum_{m=1}^M \sum_{i \in ON}^n (I_{Pim} - I_{pj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{i \in ON}^n (I_{Qim} - I_{Qj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{i \in OM}^n (I_{Pim} + I_{pj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{i \in OM}^n (I_{Qim} + I_{Qj})^2 R_i \cdot t_m \\ & + \sum_{m=1}^M (I_{pj}^2 + I_{Qj}^2) R_{MNj} \cdot t_m \quad (2.4) \end{aligned}$$

Ta thấy,  $\Delta A^{sau}$  là tổn thất điện năng sau khi chuyển tải, để  $\Delta A^{sau}$  nhỏ nhất ta có.

$$\frac{\partial \Delta A^{sau}}{\partial I_{pj}} = - \sum_{m=1}^M \sum_{i \in ON}^n (I_{Pim} - I_{pj}) \cdot R_i \cdot t_m + \sum_{i=1}^n (I_{Pim} + I_{pj}) R_{im} \cdot t_m + I_{pj} \cdot R_{MNj} \cdot t_m = 0 \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial \Delta A^{sau}}{\partial I_{Qj}} = - \sum_{m=1}^M \sum_{i \in ON}^n (I_{Qim} - I_{Qj}) \cdot R_i \cdot t_m + \sum_{i=1}^n (I_{Qim} + I_{Qj}) R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M I_{Qj} \cdot R_{MNj} \cdot t_m = 0 \quad (2.6)$$

Từ (2.5), (2.6) ta lấy đạo hàm riêng theo  $I_{pj}$  và  $I_{Qj}$  lần lượt bằng 0, ta có:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta A^{sau}}{\partial I_{pj}} = & - \sum_{m=1}^M \sum_{i \in ON}^n (I_{Pim}) R_i \cdot t_m + T \sum_{i \in ON}^n (I_{pj}) R_i + \sum_{m=1}^M \sum_{i \in OM}^n (I_{Pim}) R_i \cdot t_m + T \sum_{i \in OM}^n (I_{pj}) R_i + T \cdot I_{pj} \cdot R_{MNj} = 0 \\ \frac{\partial \Delta A^{sau}}{\partial I_{Qj}} = & - \sum_{m=1}^M \sum_{i \in ON}^n (I_{Qim}) R_i \cdot t_m + T \sum_{i \in ON}^n (I_{Qj}) R_i + \sum_{m=1}^M \sum_{i \in OM}^n (I_{Qim}) R_i \cdot t_m + T \sum_{i \in OM}^n (I_{Qj}) R_i + T \cdot I_{Qj} \cdot R_{MNj} = 0 \end{aligned}$$

Chia cả 2 vế cho T ta có

$$\begin{aligned}\frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_{pj}} &= \frac{-\sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{pim}) R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{pim}) R_i \cdot t_m}{T} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{pj}) R_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{pj}) R_i + I_{pj} \cdot R_{MNj} = 0 \\ \frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_{Qj}} &= \frac{-\sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Qim}) R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{Qim}) R_i \cdot t_m}{T} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{Qj}) R_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Qj}) R_i + I_{Qj} \cdot R_{MNj} = 0 \\ \text{Dat : } I_{pi} &= \frac{\sum_{m=1}^M (I_{pim}) t_m}{T} \text{ và } I_{Qi} = \frac{\sum_{m=1}^M (I_{Qim}) t_m}{T}\end{aligned}$$

Ta có:

$$\Rightarrow \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{pj}) R_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{pj}) R_i + I_{pj} \cdot R_{MNj} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{pi}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{pi}) R_i \Rightarrow I_{pj} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{pi}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{pi}) R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.7)$$

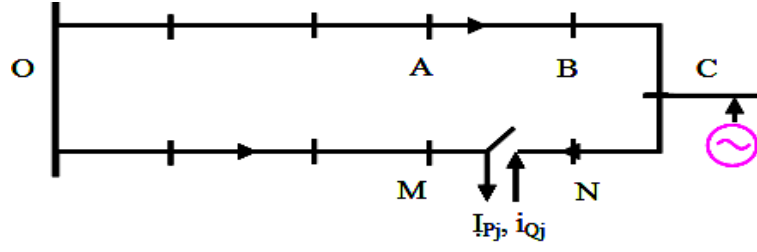
$$\Rightarrow \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Qj}) R_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{Qj}) R_i + I_{Qj} \cdot R_{MNj} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Qi}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{Qi}) R_i \Rightarrow I_{Qj} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Qi}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{Qi}) R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.8)$$

Nhận xét:

1. Có thể sử dụng kỹ thuật bơm vào/rút ra lượng công suất không đổi trong thời gian khảo sát vào nhánh có khóa điện mở  $MN_j$  là  $I_{pj}$  và  $I_{Qj}$  ( $j=1 \dots K$ ). Lúc này, bài toán tái cấu trúc lưới theo hàm mục tiêu cực tiểu tổn thất điện năng được thay bằng bài toán tìm giá trị dòng điện  $I_{pj}$  và  $I_{Qj}$  bơm vào và rút ra tại khóa điện mở (không phụ thuộc vào  $t_m$  ( $m=1 \dots M$ )) để cực tiểu tổn thất điện năng.
2. Trong thực tế dòng điện bơm vào/rút ra có giá trị rời rạc nhưng ta giả thuyết là liên tục để có thể lấy đạo hàm. Nên  $I_{pj}$  và  $I_{Qj}$  tìm được để tổn thất điện năng nhỏ nhất có thể phù hợp với thực tế.
3. Sử dụng phương pháp giải tích toán học ta tìm  $\Delta P_{\min}$  để  $\Delta A_{\min}$

#### ❖ Mô tả toán học khi chuyển tải trên một LDPP có 1 DG kết nối

- Trường hợp DG đặt sau khóa điện mở MN như hình 2.3



Hình 2.3: Sơ đồ LĐPP một vòng có DG đặt sau MN

Tổn thất điện năng là.

$$\begin{aligned} \Delta A^{\text{truoc}} = & \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Pim} - I_{Pm}^{DG})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Qim} - I_{Qm}^{DG})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Pim})^2 R_i \cdot t_m \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Qim})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Pim})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Qim})^2 R_i \cdot t_m \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \Delta A^{\text{sau}} = & \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Pim} - I_{Pm}^{DG} - I_{Pj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Qim} - I_{Qm}^{DG} - I_{Qj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Pim} - I_{Pj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Qim} - I_{Qj})^2 R_i \cdot t_m \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Pim} + I_{Pj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Qim} + I_{Qj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Pj})^2 R_{MN} t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Qj})^2 R_{MN} t_m \end{aligned} \quad (2.10)$$

Ta thấy, về mặt toán học để có  $\Delta A^{\text{sau}}$  là nhỏ nhất sau khi chuyển tải, ta lấy đạo hàm riêng theo  $I_{Pj}$  và  $I_{Qj}$  lần lượt bằng 0.

$$\frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_{Pj}} = - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Pim} - I_{Pm}^{DG} - I_{Pj}) R_i t_m - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Pim} - I_{Pj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Pim} + I_{Pj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M (I_{Pj}) R_{MN} t_m = 0 \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_{Qj}} = - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Qim} - I_{Qm}^{DG} - I_{Qj}) R_i t_m - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Qim} - I_{Qj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Qim} + I_{Qj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M (I_{Qj}) R_{MN} t_m = 0 \quad (2.12)$$

Tương đương

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_{Pj}} = & - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Pim} - I_{Pm}^{DG}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Pj}) R_i t_m - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Pim}) R_i t_m \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Pj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Pim}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Pj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M (I_{Pj}) R_{MN} t_m = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_{Qj}} = & - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Qim} - I_{Qm}^{DG}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Qj}) R_i t_m - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Qim}) R_i t_m \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Qj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Qim}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Qj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M (I_{Qj}) R_{MN} t_m = 0 \end{aligned}$$

Chia cả hai vế cho T và

$$\text{Dat: } I_{P_i} = \frac{\sum_{m=1}^M (I_{P_{im}}) t_m}{T}; \quad I_{Q_i} = \frac{\sum_{m=1}^M (I_{Q_{im}}) t_m}{T}; \quad I_{Q_i}^{DG} = \frac{\sum_{m=1}^M (I_{Q_{im}}^{DG}) t_m}{T}; \quad I_{P_i}^{DG} = \frac{\sum_{m=1}^M (I_{P_{im}}^{DG}) t_m}{T}$$

Ta có:

$$\frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_{P_j}} = - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{P_{im}} - I_{P_{im}}^{DG}) R_i t_m - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{P_{im}}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{P_{im}}) R_i + (I_{P_j}) R_{\text{loop}} t_m = 0 \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_{Q_j}} = - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Q_{im}} - I_{Q_{im}}^{DG}) R_i t_m - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Q_{im}}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Q_{im}}) R_i + \sum_{m=1}^M (I_{Q_j}) R_{\text{loop}} t_m = 0 \quad (2.14)$$

Ta có:

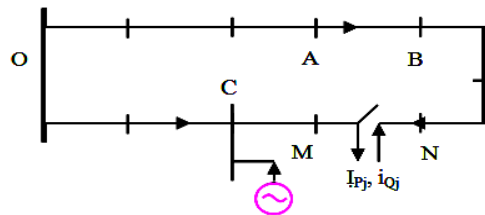
$$I_{P_j} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{P_i} - I_{P_i}^{DG}) R_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{P_i}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{P_i}) R_i}{R_{\text{loop}}} = I_{ph} - \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{P_i}^{DG}) R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.15)$$

$$I_{Q_i} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Q_i} - I_{Q_i}^{DG}) R_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n (I_{Q_i}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Q_i}) R_i}{R_{\text{loop}}} = I_{qh} - \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in OC}}^n (I_{Q_i}^{DG}) R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.16)$$

$$I_{ph} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in ON}}^n (I_{P_i}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{P_i}) R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.17) \quad I_{qh} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in ON}}^n (I_{Q_i}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OM}}^n (I_{Q_i}) R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.18)$$

Trong (2.17), (2.18):  $I_{ph}$ ,  $I_{qh}$ , là dòng điện bơm vào và rút ra tại khóa MN để tổn thất điện năng bé nhất trong trường hợp tái cấu trúc không có DG.  $I_{P_j}$  và  $I_{Q_j}$  là dòng điện bơm vào/rút ra tại khóa mở MN để tổn thất điện năng bé nhất khi tái cấu trúc có DG đặt sau MN.

- Trường hợp DG đặt trước khóa điện mở MN như hình 2.4



Hình 2.4: Sơ đồ LDPP một vòng có DG đặt trước MN

Tổng thất điện năng là.

$$\begin{aligned} \Delta A^{\text{truoc}} = & \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Pim})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Qim})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CM}}}^n (I_{Pim})^2 R_i \cdot t_m \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CM}}}^n (I_{Qim})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Pim} + I_{Pm}^{\text{DG}})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Qim} - I_{Qm}^{\text{DG}})^2 R_i \cdot t_m \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} \Delta A^{\text{sau}} = & \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Pim} - I_{Pj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Qim} - I_{Qj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CM}}}^n (I_{Pim} + I_{Pj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CM}}}^n (I_{Qim} + I_{Qj})^2 R_i \cdot t_m \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Pim} - I_{Pm}^{\text{DG}} + I_{Pj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Qim} - I_{Qm}^{\text{DG}} + I_{Qj})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Pj})^2 R_{MN} \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Qj})^2 R_{MN} \cdot t_m \end{aligned} \quad (2.20)$$

Cực tiểu tổng thất điện năng, lấy đạo hàm  $\Delta A^{\text{sau}}$  theo  $I_{Pj}$  và  $I_{Qj}$  ta có:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_{Pj}} = & - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Pim} - I_{Pj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CM}}}^n (I_{Pim} + I_{Pj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Pim} - I_{Pm}^{\text{DG}} + I_{Pj}) R_i t_m \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Pj}) R_{MN} t_m = 0 \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_{Qj}} = - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Qim} - I_{Qj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CM}}}^n (I_{Qim} + I_{Qj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Qim} - I_{Qm}^{\text{DG}} + I_{Qj}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Qj}) R_{MN} t_m \quad (2.22)$$

Chia cả hai vế cho T và

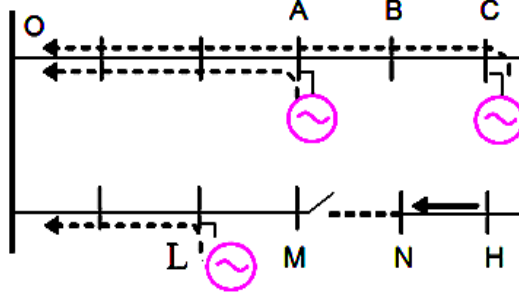
$$\begin{aligned} \text{Dat: } I_{Pi} = & \frac{\sum_{m=1}^M (I_{Pim}) t_m}{T}; \quad I_{Qi} = \frac{\sum_{m=1}^M (I_{Qim}) t_m}{T}; \quad I_{Qi}^{\text{DG}} = \frac{\sum_{m=1}^M (I_{Qm}^{\text{DG}}) t_m}{T}; \quad I_{Pi}^{\text{DG}} = \frac{\sum_{m=1}^M (I_{Pm}^{\text{DG}}) t_m}{T} \\ I_{Pj} = & \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Pi}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{Pi}) R_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Pm}^{\text{DG}}) R_i}{R_{\text{loop}}} = I_{ph} + \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Pm}^{\text{DG}}) R_i}{R_{\text{loop}}} \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$I_{Qj} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Qi}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OM}}}^n (I_{Qi}) R_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Qm}^{\text{DG}}) R_i}{R_{\text{loop}}} = I_{qh} + \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OC}}}^n (I_{Qm}^{\text{DG}}) R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.24)$$

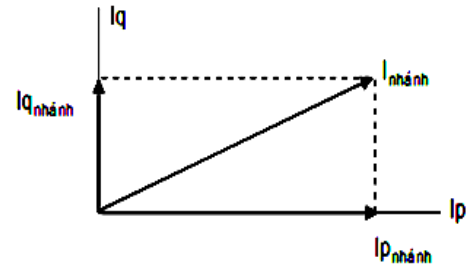
$$I_{ph} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Pim}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CM}}}^n (I_{Pim}) R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.25) \quad I_{qh} = \frac{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ON}}}^n (I_{Qim}) R_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CM}}}^n (I_{Qim}) R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.26)$$

Trong (2.25), (2.26):  $I_{ph}$ ,  $I_{qh}$ , là dòng điện bơm vào và rút ra tại khóa MN để tổn thất điện năng bé nhất trong trường hợp tái cấu trúc không có DG.  $I_{Pj}$  và  $I_{Qj}$  (2.23), (2.24) là dòng điện bơm vào/rút ra tại khóa mở MN để tổn thất điện năng bé nhất khi tái cấu trúc có DG đặt trước MN.

Xét một LÐPP đơn giản gồm có một vòng và ba máy DG Hình 2.5 (01 khóa mở để đảm bảo vận hành hình tia) và các máy phát điện phân tán lần lượt lắp tại A, C và L. Dòng điện nhánh trên LÐPP hình 2.6 được biểu diễn.  $\vec{I}_{nhánh} = \vec{I}_P + \vec{I}_Q$



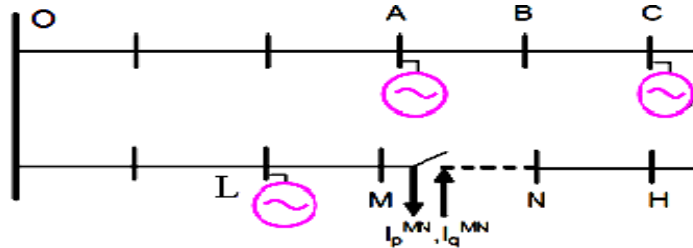
Hình 2.5: LÐPP hở có 3 DG



Hình 2.6: Dòng điện nhánh trên LÐPP

$$\begin{aligned}
 \Delta A^{trước} = & \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OA}}^n (I_{Pim} - I_{PAm}^{DG} - I_{PCm}^{DG})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OA}}^n (I_{Qim} - I_{QAm}^{DG} - I_{QCm}^{DG})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in ABC}}^n (I_{Pim} - I_{PCm}^{DG})^2 R_i \cdot t_m \\
 & + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in ABC}}^n (I_{Qim} - I_{QCm}^{DG})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n I_{Pim}^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in CN}}^n I_{Qim}^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OL}}^n (I_{Pim} - I_{PLm}^{DG})^2 R_i \cdot t_m \\
 & + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in OL}}^n (I_{Qim} - I_{QLm}^{DG})^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in LM}}^n I_{Pim}^2 R_i \cdot t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in LM}}^n I_{Qim}^2 R_i \cdot t_m \quad (2.27)
 \end{aligned}$$

Để mô tả toán học hàm số  $\Delta A$ , phụ thuộc vào lượng điện năng chuyển tải hay dòng công suất chuyển tải, có thể sử dụng kỹ thuật bơm vào và rút ra tại khoá điện đang mở trên nhánh MN cùng một dòng điện có giá trị là  $I_{MN}$  như hình 2.7 [1]. Hay nói khác, nếu đóng khoá điện MN và mở khoá NH, sẽ tương đương với việc bơm vào/rút ra tại 2 đầu khoá mở MN một lượng dòng điện  $I_P^{NH}$  và  $I_Q^{NH}$

Hình 2.7: Dòng  $I_P^{MN}$  và  $I_Q^{MN}$  ở khoá MN

$\Delta A$  sau chuyển tải được biểu diễn như biểu thức (2.28)

$$\begin{aligned}
\Delta A^{\text{sau}} = & \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OA}}}^n (I_{Pim} - I_{PAm}^{\text{DG}} - I_{PCm}^{\text{DG}} - I_{Pm}^{\text{MN}})^2 R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OA}}}^n (I_{Qim} - I_{QAm}^{\text{DG}} - I_{Qcm}^{\text{DG}} - I_{Qm}^{\text{MN}})^2 R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ABC}}}^n (I_{Pim} - I_{PCm}^{\text{DG}} - I_{Pm}^{\text{MN}})^2 R_i t_m \\
& + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ABC}}}^n (I_{Qim} - I_{Qcm}^{\text{DG}} - I_{Qm}^{\text{MN}})^2 R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CN}}}^n (I_{Pim} - I_{Pm}^{\text{MN}})^2 R_i + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CN}}}^n (I_{Qim} - I_{Qm}^{\text{MN}})^2 R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OL}}}^n (I_{Pim} - I_{PLm}^{\text{DG}} + I_{Pm}^{\text{MN}})^2 R_i t_m \\
& + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OL}}}^n (I_{Qim} - I_{QLm}^{\text{DG}} + I_{Qm}^{\text{MN}})^2 R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{LM}}}^n (I_{Pim} + I_{Pm}^{\text{MN}})^2 R_i + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{LM}}}^n (I_{Qim} + I_{Qm}^{\text{MN}})^2 R_i t_m \quad (2.28)
\end{aligned}$$

### 2.2.1.2. Xác định giá trị bơm vào và rút ra $P_j$ , $Q_j$ để tổn thất điện năng là bé nhất

Xác định  $I_p^{\text{MN}}$  và  $I_Q^{\text{MN}}$  để giá trị  $\Delta A$  của lưới điện hình 2.7 đạt cực tiểu thì:

$$\frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_p^{\text{MN}}} = 0 \quad \text{và} \quad \frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_Q^{\text{MN}}} = 0 \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_p^{\text{MN}}} = 0 \Rightarrow & \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OA}}}^n (I_{Pim} - I_{PAm}^{\text{DG}} - I_{PCm}^{\text{DG}} - I_{Pm}^{\text{MN}}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ABC}}}^n (I_{Pim} - I_{PCm}^{\text{DG}} - I_{Pm}^{\text{MN}}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CN}}}^n (I_{Pim} - I_{Pm}^{\text{MN}}) R_i t_m \\
& - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OL}}}^n (I_{Pim} - I_{PLm}^{\text{DG}} + I_{Pm}^{\text{MN}}) R_i t_m - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{LM}}}^n (I_{Pim} + I_{Pm}^{\text{MN}}) R_i - I_{Pm}^{\text{MN}} R_{MN} t_m = 0 \quad (2.30)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \Delta A^{\text{sau}}}{\partial I_Q^{\text{MN}}} = 0 \Rightarrow & \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OA}}}^n (I_{Qim} - I_{QAm}^{\text{DG}} - I_{Qcm}^{\text{DG}} - I_{Qm}^{\text{MN}}) R_i t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ABC}}}^n (I_{Qim} - I_{Qcm}^{\text{DG}} - I_{Qm}^{\text{MN}}) R_i t_m \\
& + \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CN}}}^n (I_{Qim} - I_{Qm}^{\text{MN}}) R_i t_m - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OL}}}^n (I_{Qim} - I_{QLm}^{\text{DG}} + I_{Qm}^{\text{MN}}) R_i t_m - \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{LM}}}^n (I_{Qim} + I_{Qm}^{\text{MN}}) R_i - I_{Qm}^{\text{MN}} R_{MN} t_m = 0 \quad (2.31)
\end{aligned}$$

Nhân  $j$  vào 2 vế của (2.31) được (2.32)

$$\begin{aligned}
(2.31) \Rightarrow & j \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OA}}}^n (I_{Qim} - I_{QAm}^{\text{DG}} - I_{Qcm}^{\text{DG}} - I_{Qm}^{\text{MN}}) R_i + j \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ABC}}}^n (I_{Qim} - I_{Qcm}^{\text{DG}} - I_{Qm}^{\text{MN}}) R_i + j \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CN}}}^n (I_{Qim} - I_{Qm}^{\text{MN}}) R_i \\
& - j \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OL}}}^n (I_{Qim} - I_{QLm}^{\text{DG}} + I_{Qm}^{\text{MN}}) R_i - j \sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{LM}}}^n (I_{Qim} + I_{Qm}^{\text{MN}}) R_i - j I_{Qm}^{\text{MN}} R_{MN} = 0 \quad (2.32)
\end{aligned}$$

Biểu thức (2.33) được hình thành sau khi thực hiện phép cộng đại số hai biểu thức (2.30) và (2.32)

$$\begin{aligned}
& \underbrace{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OA}}}^n [(I_{Pi} - I_{PA}^{\text{DG}} - I_{PC}^{\text{DG}} - I_P^{\text{MN}}) + j(I_{Qi} - I_{QA}^{\text{DG}} - I_{QC}^{\text{DG}} - I_Q^{\text{MN}})] R_i}_{\Delta U \text{ đoạn OA}} + \underbrace{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{ABC}}}^n [(I_{Pi} - I_{PC}^{\text{DG}} - I_P^{\text{MN}}) + j(I_{Qi} - I_{QC}^{\text{DG}} - I_Q^{\text{MN}})] R_i}_{\Delta U \text{ đoạn ABC}} \\
& + \underbrace{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{CN}}}^n [(I_{Pi} - I_P^{\text{MN}}) + j(I_{Qi} - I_Q^{\text{MN}})] R_i}_{\Delta U \text{ đoạn CN}} - \underbrace{[I_P^{\text{MN}} + j I_Q^{\text{MN}}] R_{MN}}_{\Delta U \text{ đoạn MN}} - \underbrace{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{LM}}}^n [(I_{Pi} + I_P^{\text{MN}}) + j(I_{Qi} + I_Q^{\text{MN}})] R_i}_{\Delta U \text{ đoạn LM}} \\
& - \underbrace{\sum_{\substack{i=1 \\ i \in \text{OL}}}^n [(I_{Qi} - I_{QL}^{\text{DG}} + I_Q^{\text{MN}}) + j(I_{Qi} - I_{QL}^{\text{DG}} + I_Q^{\text{MN}})] R_i}_{\Delta U \text{ đoạn OL}} = 0
\end{aligned}$$



Biến đổi (2.30)

$$(2.30) \Leftrightarrow I_p^{MN} = \underbrace{\frac{1}{R_{\text{Loop}}} \left[ \sum_{i=1}^n I_{Pi} R_i - \sum_{i=1}^n I_{Pi} R_i \right]}_{\text{công suất tác dụng của tải}} + \underbrace{\frac{1}{R_{\text{Loop}}} \left[ I_{PA}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i + I_{PC}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i - I_{PL}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i \right]}_{\text{ảnh hưởng do các DG tại các vị trí A, C, L}} \quad (2.34)$$

Biến đổi (2.31)

$$(2.31) \Leftrightarrow I_Q^{MN} = \underbrace{\frac{1}{R_{\text{Loop}}} \left[ \sum_{i=1}^n I_{Qi} R_i - \sum_{i=1}^n I_{Qi} R_i \right]}_{\text{công suất phản kháng của tải}} + \underbrace{\frac{1}{R_{\text{Loop}}} \left[ I_{QA}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i + I_{QC}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i - I_{QL}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i \right]}_{\text{ảnh hưởng do các DG tại các vị trí A, C, L}} \quad (2.35)$$

Hay:

$$I_{pj} = \frac{\sum_{i=1}^n (I_{Pi}) R_i - \sum_{i=1}^n (I_{Pi}) R_i + I_{PA}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i + I_{PC}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i - I_{PL}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i}{R_{\text{loop}}} \\ = I_{ph} + \frac{I_{PA}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i + I_{PC}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i - I_{PL}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.36)$$

$$I_{Qj} = \frac{\sum_{i=1}^n (I_{Qi}) R_i - \sum_{i=1}^n (I_{Qi}) R_i + I_{QA}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i + I_{QC}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i - I_{QL}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i}{R_{\text{loop}}} \\ = I_{qh} + \frac{I_{QA}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i + I_{QC}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i - I_{QL}^{DG} \sum_{i=1}^n R_i}{R_{\text{loop}}} \quad (2.37)$$

### 2.2.1.3. Nhận xét

i. Biểu thức (2.33) mô tả tổng sụt áp trên tất cả các nhánh khi phân bố công suất trên LĐPP kín nếu lưới thuần trở ( $R_{\text{nhánh}} \gg X_{\text{nhánh}}$ ). Điều này cho thấy giá trị dòng điện  $I_p^{MN}$  và  $I_Q^{MN}$  bơm vào và rút ra để  $\Delta A$  tại (2.28) cực tiểu sẽ có giá trị bằng với dòng trên nhánh có khóa MN lúc LĐPP kín và có máy phát điện phân tán DG.

ii. Biểu thức (2.34) và (2.35) cho thấy dòng  $I_p^{MN}$  và  $I_Q^{MN}$  trên LĐPP có DG gồm 2 phần: ảnh hưởng do các phụ tải và các thành phần công suất phát tác dụng và phản kháng của các DG bao gồm số lượng, vị trí, công suất phát. Mức chênh lệch này cho thấy kết quả của bài toán tái cấu trúc lưới có xét đến ảnh hưởng của DG sẽ khác biệt nhiều với bài toán tái cấu trúc không xét đến DG.

### 2.2.2. Lưới điện tổng quát

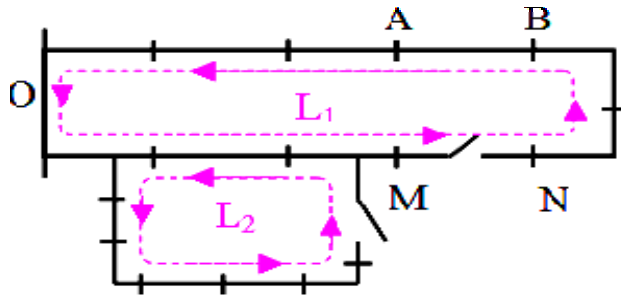
#### 2.2.2. 1. Hàm $\Delta A$ tổng quát có nhiều máy phát phân tán

Ở LĐPP đơn giản không có DG ở trên, nếu coi dòng điện nhánh  $i$  là  $I_{Pi}$  và  $I_{Qi}$  ( $i = 1 \dots n$ ) không đổi tại thời gian xem xét, thì  $\Delta A$  trước khi tái cấu hình LĐPP là:

$$\Delta A^{\text{trước}} = \sum_{i=1}^n R_i (I_{Pi}^2 + I_{Qi}^2) t \quad (2.38)$$

Khi phân bố lại phụ tải, tức là chuyển một lượng dòng điện  $I_{Pj}$  và  $I_{Qj}$  ( $j = 1 \dots k$ , nếu LĐPP có  $k$  vòng) từ cấu hình cũ sang cấu hình mới, có thể thực hiện tổng quát bằng cách: bơm vào / rút ra một lượng dòng điện là  $I_{Pj}$  và  $I_{Qj}$  tại các khóa điện mở  $MN_j$  trên tất cả các vòng của lưới điện (hình 2.9). Gọi  $A_{ij}$  là chỉ số thể hiện tương quan giữa chiều vòng thứ  $j$  và chiều phân bố công suất tại nhánh thứ  $i$  trong lưới hở:  $A_{ij} = 1$ : khi chiều vòng  $j$  cùng chiều với  $I_{Pi}$  và  $I_{Qi}$ ;  $A_{ij} = -1$ : khi chiều vòng  $j$  ngược chiều với  $I_{Pi}$  và  $I_{Qi}$ ;  $A_{ij} = 0$ : khi nhánh thứ  $i$  không thuộc vòng  $j$ .

Để thực hiện trên LĐPP nhiều vòng, ta xét lưới có 2 vòng như hình 2.8

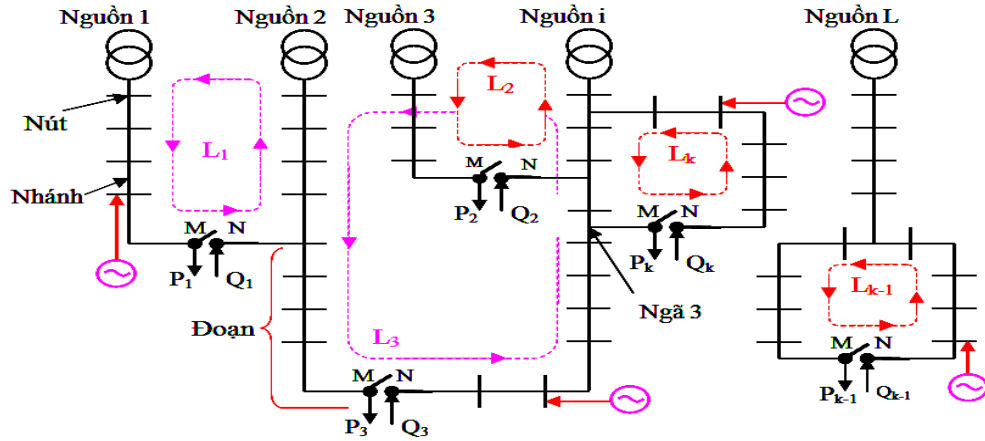


Hình 2.8: LĐPP có 2 vòng kín

Sau khi tái cấu hình (thực hiện động tác: bơm vào/rút ra tại khoá  $MN_j$  một lượng dòng điện  $I_{Pj}$ ,  $I_{Qj}$  tương ứng), tổn thất điện năng của LĐPP tại hình 2.8 sẽ là:

$$\begin{aligned} \Delta A = & \underbrace{\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n (I_{Pim} + A_{i1} I_{P1m})^2 R_i \cdot t_m}_{\Delta P_{NBAO}^{\text{ievòng 1}}} + \underbrace{\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n (I_{Qim} + A_{i1} I_{Q1m})^2 R_i \cdot t_m}_{\Delta P_{MN1}^{\text{ievòng 1}}} + \underbrace{\sum_{m=1}^M (I_{P1m} + I_{Q1m})^2 R_{MN1} \cdot t_m}_{\Delta P_{MN1}^{\text{ievòng 1}}} \\ & + \underbrace{\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n (I_{Pim} + A_{i1} I_{P1m} + A_{i2} I_{P2m})^2 R_i \cdot t_m}_{\Delta P_{MO}^{\text{ievòng 1}}} + \underbrace{\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n (I_{Qim} + A_{i1} I_{Q1m} + A_{i2} I_{Q2m})^2 R_i \cdot t_m}_{\Delta P_{MO}^{\text{ievòng 1}}} \\ & + \underbrace{\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n (I_{Pim} + A_{i2} I_{P2m})^2 R_i \cdot t_m}_{\Delta P_{MO2}^{\text{ievòng 2}}} + \underbrace{\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n (I_{Qim} + A_{i2} I_{Q2m})^2 R_i \cdot t_m}_{\Delta P_{MO2}^{\text{ievòng 2}}} + \underbrace{\sum_{m=1}^M (I_{P1m} + I_{Q1m})^2 R_{MN2} \cdot t_m}_{\Delta P_{MN2}^{\text{ievòng 2}}} \quad (2.39) \end{aligned}$$

Xét LDPP tổng quát như hình 2.9, Lưới điện có L nguồn, B máy phát điện phân tán. K vòng nên sẽ cần K khóa mở để đảm bảo LDPP hoạt động hình tia. Để xây dựng tổng quát hàm tổn thất điện năng cho lưới điện như hình 2.9, cần tiến hành tương tự các bước như tại LDPP đơn giản ở trên.



Hình 2.9: LDPP có B máy phát DG

Về mặt toán học, hàm  $\Delta A$  mô tả tổn thất điện năng của thao tác tái cấu trúc lưới có thể mô tả theo (2.40). Lúc này mục tiêu bài toán là đi xác định  $I_{P_j}^{MN}, I_{Q_j}^{MN}$  ( $j=1 \dots K$ ) để  $\Delta A$  cực tiểu.

$$\begin{aligned} \Delta A^{\text{Sau}} = & \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n \left( I_{P_{im}} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Plm}^{\text{DG}} - A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{P_j}^{MN} \right)^2 R_{i \cdot} t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n \left( I_{Q_{im}} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Qlm}^{\text{DG}} - A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{Q_j}^{MN} \right)^2 R_{i \cdot} t_m \\ & + \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^K \left( I_{P_j}^{MN} \right)^2 R_j^{\text{MN}} t_m + \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^K \left( I_{Q_j}^{MN} \right)^2 R_j^{\text{MN}} t_m \end{aligned} \quad (2.40)$$

### Trong đó:

$I_{P_i}, I_{Q_i}$  : Dòng thành phần của nhánh thứ i trong lưới có n nhánh

$I_{P_j}^{MN}, I_{Q_j}^{MN}$  : Dòng thành phần bơm vào/rút ra ở nhánh có khóa mở  $MN_j$  trong lưới có K vòng

$R_j^{\text{MN}}$  : Điện trở của nhánh có khóa mở MN trên vòng thứ j

$A_{ij}$  : Chỉ số quan hệ giữa vòng j và nhánh i, có giá trị (-1, 0, +1: tương ứng lần lượt là ngược chiều, không quan hệ, cùng chiều)

$I_{Q_l}^{\text{DG}}$  : Dòng thành phần công suất kháng của máy phát thứ l trong lưới có L máy phát

$$(l = 1 \dots L)$$

$B_{il}$  : Chỉ số quan hệ giữa DG thứ  $l$  và nhánh  $i$ , có giá trị  $(0, +1$ : tương ứng lần lượt là không quan hệ, DG thứ  $l$  ở phía sau nhánh  $i$  tính từ nguồn đến)

Điều kiện cần để (2.40) cực tiểu theo các biến số  $I_{Pj}^{MN}, I_{Qj}^{MN}$  được biểu diễn bằng 2 biểu thức (2.41) và (2.42)

$$\frac{\partial \Delta A}{\partial I_{Pj}^{MN}} = \sum_{m=1}^M I_{Pj}^{MN} R_j^{MN} t_m - A_{ij} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n \left( I_{Pim} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Plm}^{DG} - A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{Pj}^{MN} \right) R_i t_m = 0$$

$$\frac{\partial \Delta A}{\partial I_{Qj}^{MN}} = \sum_{m=1}^M I_{Qj}^{MN} R_j^{MN} t_m - A_{ij} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^n \left( I_{Qim} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Qlm}^{DG} - A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{Qj}^{MN} \right) R_i t_m = 0$$

Hay:

$$\frac{\partial \Delta A}{\partial I_{Pj}^{MN}} = I_{Pj}^{MN} R_j^{MN} - A_{ij} \sum_{i=1}^n \left( I_{Pim} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Plm}^{DG} - A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{Pj}^{MN} \right) R_i = 0 \quad (2.41)$$

$$\frac{\partial \Delta A}{\partial I_{Qj}^{MN}} = I_{Qj}^{MN} R_j^{MN} - A_{ij} \sum_{i=1}^n \left( I_{Qim} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Qlm}^{DG} - A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{Qj}^{MN} \right) R_i = 0 \quad (2.42)$$

(2.40) luôn đúng  $\forall j \neq h, J=1 \dots K$  và  $i=1 \dots n$  để đạo hàm cấp 2 theo biến dòng điện đều lớn hơn 0 và để đạt cực tiểu hàm mục tiêu. Do đó nó cũng luôn thoả mãn điều kiện đủ để (2.41) và (2.42) đạt cực tiểu theo biến số  $I_{Pj}^{MN}; I_{Qj}^{MN}$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Ph}^{MN2}} = \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Qh}^{MN2}} = \sum_{m=1}^M R_h^{Loop} \cdot t \\ \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Pj}^{MN2}} = \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Qj}^{MN2}} = \sum_{m=1}^M R_j^{Loop} \cdot t \\ \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Ph}^{MN} \partial I_{Pj}^{MN}} = \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Qh}^{MN} \partial I_{Qj}^{MN}} = \sum_{m=1}^M \sum_{i \in V_{hj}} A_{ij} R_i \cdot t \\ \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Ph}^{MN} \partial I_{Qj}^{MN}} = \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Qh}^{MN} \partial I_{Pj}^{MN}} = 0 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Ph}^{MN2}} \times \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Pj}^{MN2}} - \left( \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Ph}^{MN} \partial I_{Pj}^{MN}} \right)^2 > 0 \\ \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Ph}^{MN2}} \times \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Qj}^{MN2}} - \left( \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Ph}^{MN} \partial I_{Qj}^{MN}} \right)^2 > 0 \\ \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Qh}^{MN2}} \times \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Qj}^{MN2}} - \left( \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Qh}^{MN} \partial I_{Qj}^{MN}} \right)^2 > 0 \\ \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Qh}^{MN2}} \times \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Pj}^{MN2}} - \left( \frac{\partial^2 \Delta A}{\partial I_{Qh}^{MN} \partial I_{Pj}^{MN}} \right)^2 > 0 \end{array} \right. \quad (2.43)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta A}{\partial I_{ph}} &= \sum_{m=1}^M I_{phm} R_h^{MNH} t_m - A_{ih} \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( I_{pim} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{plm}^{DG} - A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{pj} \right) R_i t_m = 0 \\ &= \sum_{m=1}^M I_{phm} R_h^{MNH} t_m + A_{ih} \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n (I_{pim}) R_i t_m + A_{ih} \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{pj} \right) R_i t_m + A_{ih} \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( I_{pim} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{plm}^{DG} \right) R_i t_m = 0 \\ &= \sum_{m=1}^M I_{phm} \cdot R_{loop} t_m + A_{ih} \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{pj} \right) R_i t_m + A_{ih} \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( I_{pim} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{plm}^{DG} \right) R_i t_m = 0 \\ &\Rightarrow I_{ph} = - \frac{A_{ih} \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{pj} \right) R_i + A_{ih} \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( I_{pim} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{plm}^{DG} \right) R_i}{R_{loop}} \quad (2.44) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta A}{\partial I_{Qh}} &= \sum_{m=1}^M I_{Qhm} R_h^{MNH} t_m - A_{ih} \sum_{m=1}^M \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( I_{Qim} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Qlm}^{DG} - A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{Qj} \right) R_i t_m = 0 \\ &\Rightarrow I_{Qh} = - \frac{A_{ih} \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( A_{ij} \sum_{j=1}^K I_{Qj} \right) R_i + A_{ih} \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( I_{Qim} - \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Qlm}^{DG} \right) R_i}{R_{loop}} \quad (2.45) \end{aligned}$$

$$\bullet \Rightarrow I_{ph} = I_{ph}^{truoc} + \frac{A_{ih} \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( \sum_{l=1}^L B_{il} I_{plm}^{DG} \right) R_i}{R_{loop}} \quad (2.46)$$

$$\bullet \Rightarrow I_{Qh} = I_{Qh}^{truoc} + \frac{A_{ih} \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Qlm}^{DG} \right) R_i}{R_{loop}} \quad (2.47)$$

$$\bullet I_{ph}^{truoc} = \frac{-A_{ih} \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( A_{ij} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq h}}^K I_{pj} \right) R_i - A_{ih} \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n (I_{pi}) R_i}{R_{loop}} \quad (2.48)$$

$$\bullet I_{Qh}^{truoc} = \frac{-A_{ih} \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n \left( A_{ij} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq h}}^K I_{Qj} \right) R_i - A_{ih} \sum_{\substack{i=1 \\ i \in V_{hh} \\ i \neq MN}}^n (I_{Qi}) R_i}{R_{loop}} \quad (2.49)$$

Trong đó:  $I_{ph}^{truoc}$ ,  $I_{Qh}^{truoc}$  là dòng điện bơm vào và rút ra tại khóa mở ở vòng thứ h để tổn thất điện năng là bé nhất trong trường hợp tái cấu trúc LĐPP không có DG.  $I_{ph}$ ,  $I_{Qh}$  là dòng điện bơm vào / rút ra tại khóa mở ở vòng thứ h để tổn thất điện năng là bé nhất trong trường hợp tái cấu trúc LĐPP có nhiều DG

Trong vòng kín h luôn có:  $I_{loop}^h > \sum_{i \in V_{ij}} A_{ij} R_i$ ;  $I_{loop}^j > \sum_{i \in V_{ij}} A_{ij} R_i \quad \forall j, h \quad j, h = 1 \dots k$

Nên cũng luôn thỏa mãn điều kiện đủ để (2.40) đạt cực tiểu theo biến số  $I_{pj}^{MN}, I_{Qj}^{MN}$ .

Giá trị  $I_{pj}^{MN}, I_{Qj}^{MN}$  được tính từ biểu thức (2.41) và (2.42).

$$I_{pj}^{MN} = \frac{-A_{ij} \sum_{i=1}^n I_{pi} R_i + A_{ij} \sum_{l=1}^L B_{il} I_{pl}^{DG} R_i}{R_j^{MN} + A_{ij} \sum_{j=1}^K R_i} = \frac{-A_{ij} \sum_{i=1}^n I_{pi} R_i}{R_j^{LoopMN}} + \frac{A_{ij} \sum_{l=1}^L B_{il} I_{pl}^{DG} R_i}{R_j^{LoopMN}} \quad (2.50)$$

$$I_{Qj}^{MN} = \frac{-A_{ij} \sum_{i=1}^n I_{Qi} R_i + A_{ij} \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Ql}^{DG} R_i}{R_j^{MN} + A_{ij} \sum_{j=1}^K R_i} = \frac{-A_{ij} \sum_{i=1}^n I_{Qi} R_i}{R_j^{LoopMN}} + \frac{A_{ij} \sum_{l=1}^L B_{il} I_{Ql}^{DG} R_i}{R_j^{LoopMN}} \quad (2.51)$$

$$\frac{\partial \Delta A}{\partial I_{pj}^{MN}} + j \frac{\partial \Delta A}{\partial I_{Qj}^{MN}} = (I_{pj}^{MN} + j I_{Qj}^{MN}) R_j^{MN} - A_{ij} \sum_{i=1}^n \left( (I_{pi} + j I_{Qi}) - j \sum_{l=1}^L B_{il} (j I_{pl}^{DG} + j I_{Ql}^{DG}) - A_{ij} \sum_{j=1}^K (I_{pj}^{MN} + j I_{Qj}^{MN}) \right) R_i = 0 \quad (2.52)$$

Biểu thức (2.52) được thành lập khi cộng đại số 2 biểu thức (2.41) và (2.42) sau khi đã nhân 2 vế của (2.42) với j.

#### 2.2.2.2. Nhận xét

- i. Các biểu thức (2.50), (2.51) và (2.52) cho thấy nhận xét trên LĐPP 1 vòng cũng hoàn đúng cho LĐPP phức tạp.
- ii. Biểu thức (2.52) tương tự như biểu thức (2.33) mô tả tổng sụt áp trên các vòng độc lập thứ j gồm tất cả các nhánh khi phân bố công suất trên LĐPP kín nếu lưới thuần trở hay  $R_{nhánh} \gg X_{nhánh}$ . Điều này cho thấy giá trị dòng điện

$I_{P_j}^{MN}, I_{Q_j}^{MN}$  bơm vào/rút ra để  $\Delta A$  tại (2.40) cực tiểu bằng giá trị dòng trên nhánh có khóa  $MN_j$  lúc LĐPP kín có máy phát điện phân tán DG (khóa điện trên nhánh  $MN_j$  ở trạng thái đóng).

- iii. Các biểu thức (2.50), (2.51) cho thấy việc bơm vào và rút ra dòng điện tại 2 đầu khóa điện MN tương đương việc chuyển tải về mặt toán học của hàm tổn thất điện năng [26], nên có thể biết được hướng chuyển tải của khóa điện MN và là lượng công suất cần chuyển từ nhánh  $OM_j$  sang nhánh  $ON_j$  theo giá trị của các  $I_{P_j}^{MN}, I_{Q_j}^{MN}$  với  $j=1 \dots K$ .
- iv. Hơn nữa, giá trị dòng điện  $I_{P_j}^{MN}, I_{Q_j}^{MN}$  tại (2.50) và (2.51) là các đại lượng liên tục trong khi đó các giá trị dòng điện chuyển tải chỉ là các giá trị rời rạc (khi đóng khóa  $MN_j$  và mở khóa  $NH_j$  nào đó). Nên rất khó tìm được một trạng thái vận hành sau chuyển tải của LĐPP có  $I_P^{NHj} = 0$  và  $I_Q^{NHj} = 0$  tại khóa điện  $NH_j$  mà chỉ có thể  $I_P^{NHj} \rightarrow 0$  và  $I_Q^{NHj} \rightarrow 0$ . Nếu giá trị của  $I_P^{NHj}$  và  $I_Q^{NHj}$  càng bé thì vế phải của biểu thức (2.41) và (2.42) càng bé hay tổn thất điện năng của LĐPP càng tiến đến giá trị bé nhất. Tuy nhiên, ở những giá trị  $I_P^{NHj}$  và  $I_Q^{NHj}$  bé, có thể điều này chưa thật chính xác (ví dụ LĐPP 16 nút)
- v. Trong biểu thức (2.50) và (2.51), mức độ ảnh hưởng của các DG lên dòng  $I_P^{MN}$  và  $I_Q^{MN}$  sẽ tác động lên kết quả bài toán tái cấu trúc LĐPP. Hay nói cách khác cấu trúc vận hành của LĐPP có DG sẽ khác với LĐPP không có DG khi cùng một mục tiêu cực tiểu tổn thất điện năng. Vì vậy, với LĐPP không có DG, dòng điện phân bố trên cấu trúc LĐPP hở có tổn thất điện năng bé nhất sẽ không khác nhiều với dòng điện phân bố trên LĐPP kín nhưng với LĐPP có DG thì ngược lại do tác động qua lại của các DG.

## CHƯƠNG 3

# XÂY DỰNG GIẢI THUẬT CỰC TIỂU TỔN THẤT ĐIỆN NĂNG

### 3.1. Giới thiệu.

Để tái cấu trúc lưới điện phân phối có thể thực hiện bằng nhiều giải thuật khác nhau với mục tiêu là cực tiểu tổn thất công suất, Khi LDPP chưa có DG thì một số giải thuật được sử dụng và cũng đã đạt được một số kết quả nhất định, Theo Shirmohammadi chỉ có những giải thuật Heuristic kết hợp với giải thuật tối ưu mới có hiệu quả cao, hiện nay các giải thuật tái cấu trúc lưới có thể phân làm hai nhóm chính. Kỹ thuật vòng cắt của Merlin và Back đại diện cho giải thuật Heuristic kết hợp với giải thuật tối ưu, và Kỹ thuật đổi nhánh của Civanlar đại diện cho kỹ thuật thuần Heuristic.

Kỹ thuật vòng cắt có ưu điểm là: Đảm bảo tìm được cấu trúc lưới điện có tổn thất công suất tác dụng bé nhất khi tìm kiếm, tuy nhiên kỹ thuật này có số lần giải bài toán phân bố công suất nhiều, thời gian giải lâu nên không phù hợp với lưới điện lớn và vận hành thực tế. Kỹ thuật đổi nhánh có ưu điểm là đơn giản, cấu trúc sau khi chuyển tải tốt hơn ban đầu tuy nhiên, không chỉ ra được điểm cực tiểu toàn cục do mỗi bước chỉ xem xét một cặp khóa điện đóng/mở, lưới điện sau cùng phụ thuộc nhiều vào lưới điện ban đầu.

Chương này sẽ xây dựng giải thuật Heuristic có khả năng tận dụng các ưu điểm và tránh được các hạn chế của hai kỹ thuật trên.

**Cơ sở để xây dựng giải thuật:** Trên cơ sở giảm hàm mục tiêu  $F$

**Ưu điểm của giải thuật:** Khối lượng tính toán ít do chỉ giải bài toán phân bố công suất trong mạch kín một lần để xác định giá trị các dòng điện bơm vào/rút ra cho bất kỳ lưới điện nào, số vòng lặp để đạt kết quả ít, hạn chế được khả năng rơi vào điểm cực tiểu địa phương, không phụ thuộc vào lưới điện khảo sát ban đầu.

### 3.2. Hàm mục tiêu



Như trên đã phân tích, tổn thất điện năng trong LĐPP có DG là nhỏ nhất khi tất cả các khoá đều đóng. LĐPP hở (hình tia) tối ưu chỉ có thể đạt được khi mở khoá k của các mạch vòng làm tăng hàm mục tiêu ít nhất, đó cũng chính là ý tưởng của thuật toán tái cấu hình LĐPP có DG. Ta viết lại (2.41) và (2.42) cho mạch vòng thứ j như sau:

$$\begin{cases} I_{Pj}^{MN} \cdot R_j^{vòngMN} = \left[ -A_{ij} \sum_{i=1}^n I_{Pi} R_i + A_{ij} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^L B_{il} I_{Pi}^{DG} R_i \right] = \alpha_{Pj} \\ I_{Qj}^{MN} \cdot R_j^{vòngMN} = \left[ -A_{ij} \sum_{i=1}^n I_{Qi} R_i + A_{ij} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^L B_{il} I_{Qi}^{DG} R_i \right] = \beta_{Qj} \end{cases} \quad (3.1)$$

Ở đây  $\alpha_{Pj}$  và  $\beta_{Qj}$  là độ tăng tổn thất công suất của mạch vòng nếu ngắt khoá j (cho dòng bằng 0) so với tổn thất của LĐPP kín.

Dòng điện  $I_P^{MN}$  và  $I_Q^{MN}$  xác định theo (2.41) và (2.42) là điều kiện cực tiểu tổn thất điện năng. Nếu làm thay đổi các giá trị này sẽ là giá trị hàm mục tiêu tăng lên. Hơn nữa, khi  $I_P^{MN}$  và  $I_Q^{MN}$  càng bé thì mức tăng tổn thất công suất sẽ càng ít. Xuất phát từ ý tưởng trên, tiến hành đặt  $F = \sum [\alpha_{Pj}^2 + \beta_{Qj}^2]$  với  $j = 1 \dots K$  thì mức tăng tổn thất điện năng:

$$F = \sum_{j=1}^K \left[ \left( I_{Pj}^{MN} \cdot R_j^{vòngMN} \right)^2 + \left( I_{Qj}^{MN} \cdot R_j^{vòngMN} \right)^2 \right] = \sum_{j=1}^K \left( I_j^{MN} R_j^{vòngMN} \right)^2 \rightarrow \min \quad (3.2)$$

Hàm mục tiêu tại (3.2) là hàm suất tăng  $\Delta A$ , gọi tắt là hàm F. Từ các nhận xét ở mục 2.2.2 Cho thấy: Trạng thái LĐPP vận hành hở có  $\Delta A$  bé nhất nếu tìm được cấu trúc để hàm F trên LĐPP hình tia bé nhất. Bởi vì khi hàm F tăng ít nhất sẽ tương đương với: dòng điện bơm vào/rút ra tại nhánh có khoá mở MN là bé nhất, cho nên khi mở nhánh này sẽ cho mức tổn thất điện năng bé nhất so với mở các khoá điện khác. Do đó:

NẾU $I_{Pj}^{MN} \rightarrow 0$ và $I_{Qj}^{MN} \rightarrow 0$ ( $j = 1 \dots k$ )	THÌ hàm $F \rightarrow 0$
NẾU hàm $F \rightarrow 0$	THÌ $\Delta A \rightarrow \Delta A_{\min}$

Hàm F có cực tiểu lý tưởng bằng 0. Tuy nhiên trong thực tế không thể phân bố lại phụ tải chính xác như (2.41) và (2.42) nên chỉ phân bố lại phụ tải nhánh sao cho F đạt giá trị bé nhất có thể. Phương pháp thực hiện để hàm F nhỏ nhất như sau:

- i. Trong trường hợp LDPP phức tạp có DG, nếu giả sử ở vòng thứ j có khoá mở hiện trạng là MN, sau khi đã đóng các khoá điện, giải bài toán PBCS; nếu dòng bé nhất của vòng này không phải là khoá MN (giả thiết dòng bé nhất chạy qua khoá NH nào đó), mà độ chênh lệch dòng điện chạy qua MN và NH lớn nhất so với các vòng còn lại thì khi mở NH sẽ cho mức tăng  $\Delta A$  ít nhất. Theo nhận xét trên, để cực tiểu hàm F, ta có thể thay thế lần lượt các giá trị  $I_{Pj}^{MN}$  và  $I_{Qj}^{MN}$  bằng  $I_{Pj}^{NH}$  và  $I_{Qj}^{NH}$  bé hơn trong cùng một vòng j có giá trị điện trở vòng là  $R_j^{\text{vòng}}$  theo (3.3). Ở đây:

$$\begin{aligned}\Delta F_j^{MN-NH} &= \left(R_j^{\text{vòng}MN}\right)^2 \left[ \left( \left(I_{Pj}^{MN}\right)^2 + \left(I_{Qj}^{MN}\right)^2 \right) - \left( \left(I_{Pj}^{NH}\right)^2 + \left(I_{Qj}^{NH}\right)^2 \right) \right] \\ &= \left(R_j^{\text{vòng}MN}\right)^2 \left[ \left(I_j^{MN}\right)^2 - \left(I_j^{NH}\right)^2 \right] \quad (3.3)\end{aligned}$$

- ii. Do trong LDPP phức tạp có nhiều vòng lồng nhau nên cần tính cho tất cả k mạch vòng độc lập. Vòng độc lập được chọn mở đầu tiên là vòng có mức giảm  $\Delta F$  nhiều nhất so với tất cả các vòng độc lập còn lại trong toàn LDPP có DG. Trong mạch vòng độc lập đó, khoá điện được mở là khoá điện có dòng điện chạy qua bé nhất trong mạch vòng độc lập.
- iii. Trong 1 mạch vòng độc lập thứ j (giả thiết sau khi đóng các khoá điện để có mạch vòng), nếu khoá có dòng bé nhất chạy qua trùng với khoá đang mở thì giữ nguyên. Tiến hành mở nhánh này và tính mức tăng tổn thất điện năng.
- iv. Quá trình lặp được thực hiện để giảm hàm F cho đến khi không còn mạch vòng nào nữa trong LDPP.

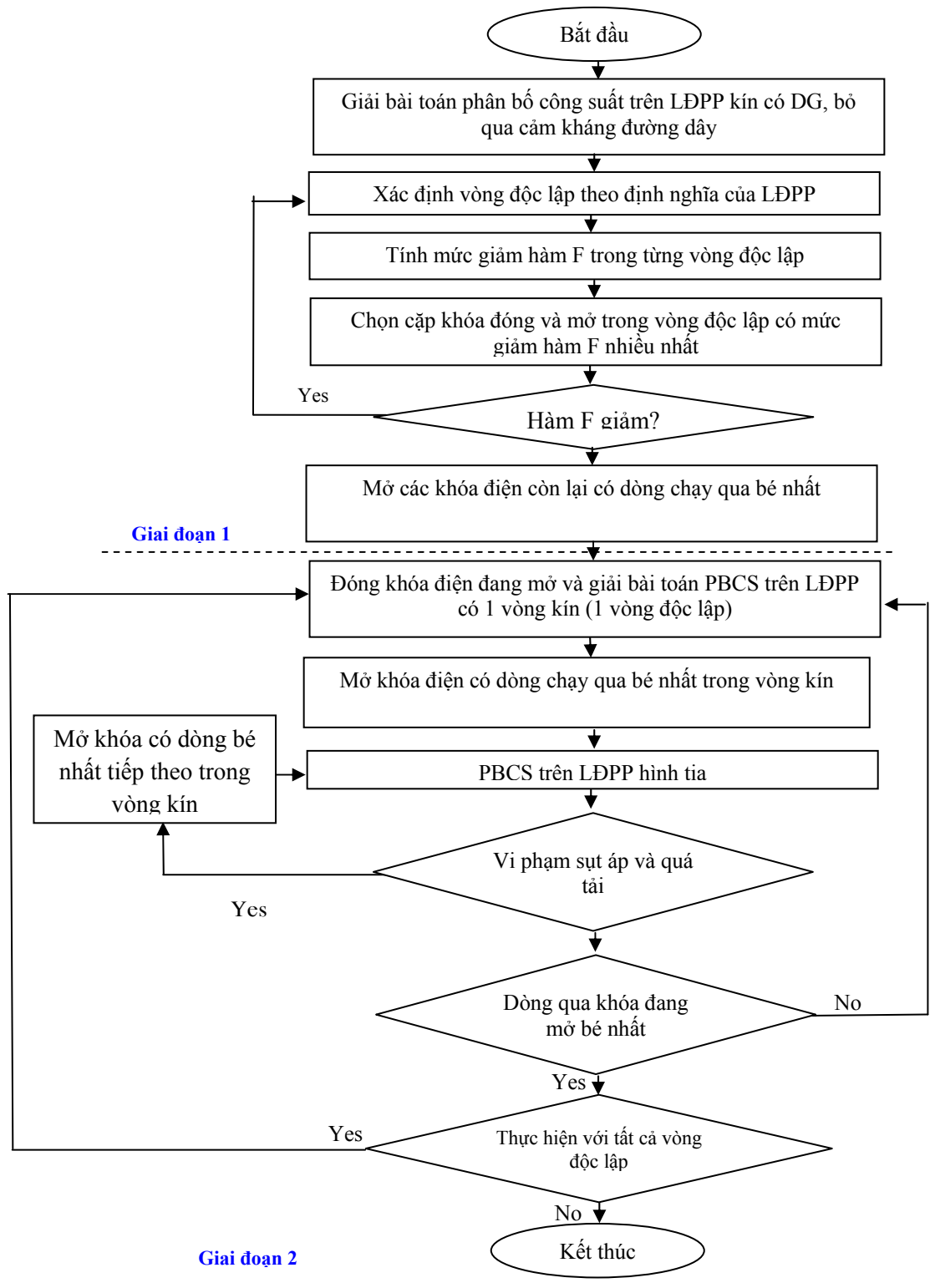
### 3.3. Thuật toán

Thuật toán giảm hàm F tái cấu hình LDPP có DG cho trong hình 3.1. Để giảm số lần thao tác trên LDPP và giảm bớt khối lượng tính toán, trong thuật toán không xem xét mở các khoá điện trên nhánh hình tia (vì khi đó các phụ tải phía sau khoá sẽ không được cấp điện); không khảo sát các khoá điện nằm gần (sát nhất) nguồn

điện chính trong cùng một vòng vì nó luôn mang dòng điện lớn nên không phải là khoá điện sẽ được mở.

Trình tự các bước thực hiện như sau:

- Xuất phát từ lưới điện kín (đóng tất cả các khoá điện hiện có trên LĐPP); giải bài toán phân bố công suất trong LĐPP kín có DG, Trình tự giải: Thay thế điện kháng bằng điện trở nhánh tương ứng (do ở LĐPP  $R \gg X$ ), Đặt điện áp các nguồn bằng nhau về biên độ và góc pha, Giải bài toán PBCS trên LĐPP kín.
- Từ kết quả bài toán PBCS ở bước trên, tính hàm  $F$  theo (3.2). Với mỗi vòng độc lập trong LĐPP kín sẽ tồn tại một giá trị của hàm  $F$  ( $F > 0$ ), khoá điện ưu tiên được chọn đầu tiên để mở là khoá điện có mức tăng hàm  $F$  ít nhất (hay nói cách khác: trong tất cả các vòng độc lập, khoá điện ở vòng thứ  $j$  nào đó cho giá trị của  $F$  bé nhất sẽ là khoá ưu tiên được mở trước). Ở bước này, trong toàn LĐPP kín, nếu khoá có dòng bé nhất chạy qua không trùng với khoá điện đang mở (khoá MN) thì khi đó cần xác định hàm  $\Delta F$  theo (3.3), cặp khoá điện nào đó có mức chênh lệch  $\Delta F$  lớn nhất so với các vòng còn lại sẽ được ưu tiên mở trước.
- Xác định hàm  $F$  trong các vòng độc lập còn lại, nếu còn cặp khoá điện ở vòng thứ  $j$  nào đó có dòng chạy qua khoá điện có giá trị bé nhất trùng với vị trí khoá đang mở thì giữ nguyên.
- Tiến hành mở lần lượt các khoá cho đến khi lưới điện hoàn toàn hình tia.



Hình 3.1: Lưu đồ thuật toán giảm hàm F để tái cấu hình LĐPP

***Điều kiện để LDPP hình tia:***

Cần xác định các cặp khóa điện đóng mở tương ứng với mỗi vòng độc lập, Khóa đóng là khóa đang mở ở bước trước, khóa mở là khóa trên nhánh có  $I_{pj}$ ,  $I_{Qj}$  bé nhất trong cùng một vòng độc lập với khóa đóng.

Quá trình thực hiện giai đoạn 1 chỉ phải giải bài toán PBCS một lần duy nhất, có xét mức giảm của hàm  $F$  do tác động của từng cặp khóa nên rất phù hợp khi sử dụng để xây dựng thuật toán vận hành LDPP trực tuyến. Kết quả của giai đoạn 1 thực chất là đang giải quyết lựa chọn cấu hình tối ưu của LDPP khi đang vận hành, tức là các khóa điện có sẵn và cố định trên LDPP. Do đó kết quả LDPP ở giai đoạn 1 có thể chưa trùng với kết quả tối ưu.

Trong trường hợp nếu tất cả các nhánh của LDPP đều được trang bị khoá điện, khi đó giai đoạn 2 của thuật toán sẽ cho phép lựa chọn một cấu hình mới, khi đó các vị trí khoá điện được chọn sẽ cho mức tăng  $\Delta A$  ít nhất. Ở đây, LDPP hình tia xác định ở giai đoạn 1 sẽ được kiểm tra mức giảm hàm  $F$  trên từng vòng độc lập để tiếp tục giảm  $\Delta A$ . Ở giai đoạn 2, mức giảm  $\Delta A$  không cao sau mỗi lần chuyển tải, nên chỉ có tác dụng chỉ ra được cấu hình LDPP có  $\Delta A$  bé nhất mà thôi, nhưng nó mang ý nghĩa khi vận hành LDPP trong thời gian rất dài. Sau mỗi lần đóng/mở một cặp khoá điện để giảm hàm  $F$ , bài toán PBCS được thực hiện lại trên LDPP kín còn lại, xét cả DG. Nhờ có điểm khác biệt này mà các thành phần dòng điện  $I_p$  và  $I_Q$  của các DG được xét ảnh hưởng lên thành phần  $I_p^{MN}$  và  $I_Q^{MN}$  còn lại trong suốt quá trình lặp giảm hàm  $F$ .

Thuật toán này có các đặc điểm sau:

- ❖ Về cơ bản, thuật toán dựa trên ý tưởng của Merlin & Back, sự khác biệt ở đây là hàm  $F$ . Đây là hàm mục tiêu mới (các hàm mục tiêu trước đây thường là giảm trực tiếp hàm tổn thất công suất, hoặc chỉ đơn thuần đi tìm nhánh có dòng công suất bé nhất). Hàm  $F$  đóng vai trò quan trọng trong việc tìm ra chính xác khóa điện cần mở trước tiên để cho cấu hình LDPP có DG để  $\Delta A$  tăng ít nhất.

- ❖ Hàm  $F$  vừa xét được giá trị tổn thất công suất, vừa xét đến yếu tố điện trở của LDPP ( $R^{\text{vòng}}$ ) và độ ảnh hưởng qua lại giữa các khoá điện. Đây là sự khác biệt so với thuật toán của Merlin & Back. Bởi vì trong thực tế các LDPP hình tia, các phụ tải càng xa nguồn thì dòng công suất trên nhánh cấp cho tải xa nguồn đó càng bé và điện trở vòng sẽ càng lớn, điều này có ý nghĩa khi so sánh giá trị hàm  $F$  khi có nhiều cặp khoá cạnh tranh để lựa chọn cặp khoá nào mở trước, cặp khoá nào mở sau.
- ❖ Trong trường hợp khoá điện có dòng bé nhất chạy qua không trùng với khoá điện mở hiện trạng, hàm  $\Delta F$  sẽ chọn các cặp cùng vòng để giảm tối đa không gian tìm kiếm, nghĩa là vừa thoả mãn LDPP cuối cùng sẽ là hình tia, vừa giảm được hàm  $F$ . Nhờ hàm này đã tránh được khó khăn của Merlin & Back cũng như các nghiên cứu về sau này khi số tổ hợp khoá mở quá lớn.
- ❖ LDPP sau cùng có mức tăng tổn thất công suất ít nhất.
- ❖ Các nhận xét trên đây sẽ được chứng minh qua ví dụ kiểm chứng trên LDPP 16 nút và LDPP 33 nút có DG.

## CHƯƠNG 4

### ÁP DỤNG GIẢI THUẬT TRÊN LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

#### 4.1. Lưới điện mẫu 16 bus

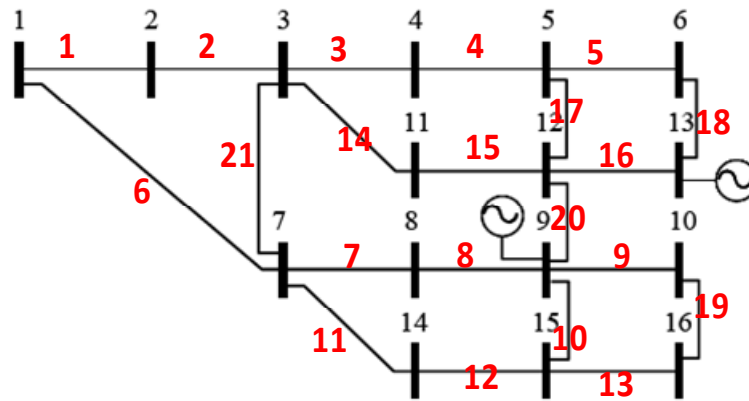
LĐPP 16 nút có 21 nhánh; có 6 khoá đang mở; có 2 máy phát DG do G. Celli đề xuất tại [26] mô tả ở hình 4.1. Điện áp danh định của lưới điện là 7.2kV. Trong LĐPP có 2 DG công suất lần lượt là 450kW (nút 9) và 630kW (nút 13). Quá trình tìm cấu hình vận hành để  $\Delta P$  nhỏ nhất (để  $\Delta A_{\min}$ ) được khảo sát trong 2 trường hợp không có DG và có DG. Kết quả tìm kiếm cấu hình tối ưu được so sánh với kết quả của [26] và đối chiếu với trình TOPO trong PSS/ADEPT 5.0 để kiểm chứng ưu điểm của thuật toán.

**Bảng 4.1:** Số liệu nhánh của LĐPP 16 bus – 2 DG

Tên Nhánh	Từ nút đến nút	$R_{\text{nhánh}}$ ( $\Omega$ )	Tên nhánh	Từ nút đến nút	$R_{\text{nhánh}}$ ( $\Omega$ )	Tên nhánh	Từ nút đến nút	$R_{\text{nhánh}}$ ( $\Omega$ )
1	1-2	0.4368	8	8-9	0.52	15	11-12	0.4108
2	2-3	0.5148	9	9-10	0.3588	16	12-13	0.286
3	3-4	0.624	10	9-15	0.3068	17	5-12	0.1976
4	4-5	0.13	11	7-14	0.2511	18	6-13	0.3276
5	5-6	0.16	12	14-15	0.4264	19	10-16	0.0104
6	1-7	0.1058	13	15-16	0.1664	20	9-12	0.3744
7	7-8	0.2052	14	3-11	0.364	21	3-7	0.1269

**Bảng 4.2:** Số liệu tải của LĐPP 16 bus – 2 DG

Nút	P(kW)	Nút	P(kW)	Nút	P(kW)	Nút	P(kW)
1	Slack	5	260	9	420	13	360
2	660	6	100	10	100	14	210
3	820	7	800	11	500	15	440
4	400	8	1000	12	1540	16	860



Hình 4.1: LĐPP 16 bus có 2 DG

Quá trình xác định cấu trúc vận hành giảm tổn thất điện năng được khảo sát trong 2 trường hợp không có DG và có DG.

**Mô tả quá trình tìm kiếm cấu trúc lưới điện khi không có các máy phát DG:**

- LĐPP hình tia ban đầu của G. Celli có các khoá mở K21, K17, K18, K20, K10, K19. Tổn thất công suất ban đầu được tính bằng PSS/DEPT  $\Delta P_{\text{bandầu}} = 171.6\text{kW}$
- Giải bài toán phân bố công suất trên LĐPP kín, thuần trở (bỏ qua cảm kháng và dung dẫn đường dây)
- Tiến hành giảm hàm F giai đoạn 1 theo giải thuật đề xuất. Hàm F giảm ( $\Delta F_1 = 18342$ ) khi xét vòng độc lập  $V_1$  (đóng K21 và mở K2). Các vòng độc lập khác không làm giảm hàm F. Tổn thất công suất lúc này là  $\Delta P_{\text{gd1}} = 97.1\text{kW}$ .
- Tiến hành giai đoạn 2, lúc này cấu trúc của LĐPP có các khóa mở là: K2, K17, K18, K20, K10, K19. Lần lượt giải bài toán PBCS khi đóng từng khóa đang mở và mở khóa có dòng chạy qua. Kết quả như sau:
  - ❖ Đóng K2: Vòng độc lập 1 có dòng  $I_2$  bé nhất (41.1A)
  - ❖ Đóng K17: Vòng độc lập 2 có dòng  $I_{17}$  (30.9A)
  - ❖ Đóng K18: Vòng độc lập 3 có dòng  $I_{16}$  bé nhất (8.1A)  $\Rightarrow$  đóng K18 mở K16
  - ❖ Đóng K20: Vòng độc lập 4 có dòng  $I_{20}$  bé nhất (30.5A)
  - ❖ Đóng K10: Vòng độc lập 5 có dòng  $I_{10}$  bé nhất (9.6A)
  - ❖ Đóng K19: Vòng độc lập 6 có dòng  $I_{19}$  bé nhất (11.1A)
- Vậy sau giai đoạn 2, các khóa mở của LĐPP sẽ là: K2, K17, K16, K20, K10, K19, nên tổn thất công suất từ  $\Delta P_{\text{gd1}} = 97.1\text{kW}$  giảm còn  $\Delta P_{\text{gd2}} = 93.06\text{kW}$



**Bảng 4.3:** Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LDPP 16 nút không có DG

Tên nhánh	Từ nút đến nút	Rnh ( $\Omega$ )	Dòng điện kín (A)	Lặp lần 1						Lặp lần 2					
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V1	V2	V3	V4	V5	V6
1	1-2	0.4368	69	1			1			1			1		
2	2-3	0.5148	38.3	1			1			1			1		
3	3-4	0.0624	55.1		1	1					1	1			
4	4-5	0.13	36.3		1	1					1	1			
5	5-6	0.156	12.9			1						1			
6	1-7	0.1058	326.9	1			1			1			1		
7	7-8	0.2052	97.4				1	1	1				1	1	1
8	8-9	0.52	50.7				1	1	1				1	1	1
9	9-10	0.3588	10.3						1						1
10	9-15	0.3068	6.6					1						1	
11	7-14	0.2511	71.6					1	1					1	1
12	14-15	0.4264	61.8					1	1					1	1
13	15-16	0.1664	34.7						1						1
14	3-11	0.364	66.7		1	1	1				1	1	1		
15	11-12	0.4108	42.3		1	1	1				1	1	1		
16	12-13	0.286	8.7			1						1			
17	5-12	0.1976	12.2		1						1				
18	6-13	0.3276	8.2			1						1			
19	10-16	0.0104	5.6						1						1
20	9-12	0.3744	27.3				1						1		
21	3-7	0.1269	120.6	1						1					
Nhánh mở hiện hữu				21	17	18	20	10	19	2	17	18	20	10	19
Nhánh có Imin				2	17	18	20	10	19	2	17	18	20	10	19
Rloop				1.1843	1.1648	1.7368	2.9318	1.7095	1.9383	1.1843	1.1648	1.7368	2.9318	1.7095	1.9383
Mức giảm giá trị $\Delta F$				18342	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chọn khoá đóng/mở				21/2						Kết thúc chuyển tải					

*Mô tả quá trình của cấu trúc lưới điện khi có 2 máy phát DG tại bus 9 và bus 13*

- LĐPP hình tia ban đầu của G. Celli có các khoá mở K21, K17, K18, K20, K10, K19. Tổng thất công suất ban đầu được tính bằng PSS/DEPT  $\Delta P_{\text{bandầu}} = 120.5\text{kW}$
- Giải bài toán phân bố công suất trên LĐPP kín, thuần trở (bỏ qua cảm kháng và dung dẫn đường dây)
- Tiến hành giảm hàm F giai đoạn 1 theo giải thuật đề xuất. Hàm F giảm sau lần lặp 1 ( $\Delta F_1 = 13437$ ) khi xét vòng độc lập  $V_1$  (đóng K21 và mở K2,  $\Delta P_1 = 67.5\text{kW}$ ) và lần lặp 2 ( $\Delta F_2 = 20$ ) khi xét vòng độc lập  $V_3$  (đóng K18 và mở K5,  $\Delta P_2 = 68.4\text{kW}$ ) – Bảng 4.4. Tổng thất điện năng ở lần lặp 2 tăng nhưng hàm F giảm vì tổng thất công suất chỉ thực sự giảm khi biểu thức (2.41) và (2.42) cùng lúc bằng không.
- Tiến hành giai đoạn 2, lúc này cấu trúc của LĐPP có các khóa mở là: K2, K17, K5, K20, K10, K19. Lần lượt giải bài toán PBCS khi đóng từng khóa đang mở và mở khóa có dòng chạy qua. Kết quả như sau:
  - ❖ Đóng K2: Vòng độc lập 1 có dòng  $I_2$  bé nhất (33.6A)
  - ❖ Đóng K17: Vòng độc lập 2 có dòng  $I_{17}$  (21.7A)
  - ❖ Đóng K5: Vòng độc lập 3 có dòng  $I_{18}$  bé nhất (11.5A)  $\Rightarrow$  đóng K5 mở K18,  $\Delta P_3 = 67.5\text{kW}$
  - ❖ Đóng K20: Vòng độc lập 4 có dòng  $I_{15}$  bé nhất (28.2A)  $\Rightarrow$  đóng K20 mở K15,  $\Delta P_4 = 66.4\text{kW}$
  - ❖ Đóng K10: Vòng độc lập 5 có dòng  $I_{10}$  bé nhất (6.7A)
  - ❖ Đóng K19: Vòng độc lập 6 có dòng  $I_9$  bé nhất (1.3A)  $\Rightarrow$  đóng K19 mở K9,  $\Delta P_5 = 66.3\text{kW}$
- Vậy sau giai đoạn 2, các khóa mở của LĐPP sẽ là: K2, K17, K18, K15, K10, K9, nên tổng thất công suất từ  $\Delta P_{\text{gd1}} = 68.4\text{kW}$  giảm còn  $\Delta P_{\text{gd2}} = 66.3\text{kW}$

**Bảng 4.4:** Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LDPP 16 nút có 2 DG

Tên nhánh	Từ nút đến	Rnh ( $\Omega$ )	Dòng điện	Lắp lần 1						Lắp lần 2						Lắp lần 3					
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V1	V2	V3	V4	V5	V6
1	1-2	0.4368	61.8	1			1			1			1			1			1		
2	2-3	0.5148	31.1	1			1			1			1			1			1		
3	3-4	0.0624	42.5		1	1					1	1					1	1			
4	4-5	0.13	23.8		1	1					1	1					1	1			
5	5-6	0.156	1.9			1						1						1			
6	1-7	0.1058	283.1	1			1			1			1			1			1		
7	7-8	0.2052	83.2				1	1	1				1	1	1				1	1	1
8	8-9	0.52	36.7				1	1	1				1	1	1				1	1	1
9	9-10	0.3588	14.5						1						1						1
10	9-15	0.3068	1.1					1						1						1	
11	7-14	0.2511	59.9					1	1					1	1					1	1
12	14-15	0.4264	50.1					1	1					1	1					1	1
13	15-16	0.1664	30.4						1						1						1
14	3-11	0.364	53.2		1	1	1				1	1	1				1	1	1		
15	11-12	0.4108	29.8		1	1	1				1	1	1				1	1	1		
16	12-13	0.286	9.7			1						1						1			
17	5-12	0.1976	10		1						1						1				
18	6-13	0.3276	3.2			1						1									
19	10-16	0.0104	9.9						1						1						1
20	9-12	0.3744	22.7				1						1						1		
21	3-7	0.1269	102.7	1						1						1					
Nhánh mở hiện hữu				21	17	18	20	10	19	2	17	18	20	10	19	2	17	5	20	10	19
Nhánh có Imin				2	17	5	20	10	19	2	17	5	20	10	19	2	17	5	20	10	19
Rloop				1.1843	1.1648	1.7368	2.9318	1.7095	1.9383	1.1843	1.1648	1.7368	2.9318	1.7095	1.9383	1.1843	1.1648	1.7368	2.9318	1.7095	1.9383
Mức giảm giá trị $\Delta F$				13437	0	19.999	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chọn khoá đóng/mở				21/2						18/5						Kết thúc chuyển tải					

***Mô tả quá trình của cấu trúc lưới điện khi có 1 máy phát DG tại bus 9***

- LĐPP hình tia ban đầu của G. Celli có các khoá mở K21, K17, K18, K20, K10, K19. Tổn thất công suất ban đầu được tính bằng PSS/DEPT  $\Delta P_{\text{bandầu}} = 166.9\text{kW}$
- Giải bài toán phân bố công suất trên LĐPP kín, thuần trở (bỏ qua cảm kháng và dung dẫn đường dây). Tiến hành giảm hàm F giai đoạn 1 theo giải thuật đề xuất. Hàm F giảm sau lần lặp 1 ( $\Delta F_1 = 13006$ ) khi xét vòng độc lập  $V_1$  (đóng K21 và mở K2,  $\Delta P_1 = 89.8\text{kW}$ ) – Bảng 4.5.
- Tiến hành giai đoạn 2, lúc này cấu trúc của LĐPP có các khóa mở là: K2, K17, K18, K20, K10, K19. Lần lượt giải bài toán PBCS khi đóng từng khóa đang mở và mở khóa có dòng chạy qua. Kết quả như sau:
  - ❖ Đóng K2: Vòng độc lập 1 có dòng  $I_2$  bé nhất (33.6A)
  - ❖ Đóng K17: Vòng độc lập 2 có dòng  $I_{17}$  (30.9A)
  - ❖ Đóng K18: Vòng độc lập 3 có dòng  $I_{16}$  bé nhất (8.1A)  $\Rightarrow$  đóng K18 mở K16,  $\Delta P_3 = 85.8\text{kW}$
  - ❖ Đóng K20: Vòng độc lập 4 có dòng  $I_{15}$  bé nhất (28.2A)  $\Rightarrow$  đóng K20 mở K15,  $\Delta P_4 = 84.0\text{kW}$
  - ❖ Đóng K10: Vòng độc lập 5 có dòng  $I_{10}$  bé nhất (12.1A)
  - ❖ Đóng K19: Vòng độc lập 6 có dòng  $I_9$  bé nhất (1.3A)  $\Rightarrow$  đóng K19 mở K9,  $\Delta P_5 = 83.7\text{kW}$
- Vậy sau giai đoạn 2, các khóa mở của LĐPP sẽ là: K2, K17, K16, K15, K10, K9, nên tổn thất công suất từ  $\Delta P_{\text{gd1}} = 89.8\text{kW}$  giảm còn  $\Delta P_{\text{gd2}} = 83.7\text{kW}$

**Bảng 4.5:** Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LDPP 16 nút có 1 DG tại nút 9

Tên nhánh	Từ nút đến nút	Rnh ( $\Omega$ )	Dòng điện kín (A)	Lặp lần 1						Lặp lần 2					
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V1	V2	V3	V4	V5	V6
1	1-2	0.4368	66.4	1			1			1			1		
2	2-3	0.5148	35.7	1			1			1			1		
3	3-4	0.0624	52		1	1					1	1			
4	4-5	0.13	33.3		1	1					1	1			
5	5-6	0.156	12.3			1						1			
6	1-7	0.1058	308.2	1			1			1			1		
7	7-8	0.2052	83.2				1	1	1				1	1	1
8	8-9	0.52	36.7				1	1	1				1	1	1
9	9-10	0.3588	14.5						1						1
10	9-15	0.3068	1.1					1						1	
11	7-14	0.2511	59.9					1	1					1	1
12	14-15	0.4264	50.1					1	1					1	1
13	15-16	0.1664	30.4						1						1
14	3-11	0.364	53.2		1	1	1				1	1	1		
15	11-12	0.4108	29.8		1	1	1				1	1	1		
16	12-13	0.286	9.7			1						1			
17	5-12	0.1976	10		1						1				
18	6-13	0.3276	3.2			1						1			
19	10-16	0.0104	9.9						1						1
20	9-12	0.3744	22.7				1						1		
21	3-7	0.1269	102.7	1						1					
Nhánh mở hiện hữu				21	17	18	20	10	19	2	17	18	20	10	19
Nhánh có lmin				2	17	18	20	10	19	2	17	18	20	10	19
Rloop				1.1843	1.1648	1.7368	2.9318	1.7095	1.9383	1.1843	1.1648	1.7368	2.9318	1.7095	1.9383
Mức giảm giá trị $\Delta F$				13006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chọn khoá đóng/mở				21/2						Kết thúc chuyển tải					

***Mô tả quá trình của cấu trúc lưới điện khi có 1 máy phát DG tại bus 13***

- LĐPP hình tia ban đầu của G. Celli có các khoá mở K21, K17, K18, K20, K10, K19. Tổng thất công suất ban đầu được tính bằng PSS/DEPT  $\Delta P_{\text{bandầu}} = 125.2\text{kW}$
- Giải bài toán phân bố công suất trên LĐPP kín, thuần trở (bỏ qua cảm kháng và dung dẫn đường dây)
- Tiến hành giảm hàm F giai đoạn 1 theo giải thuật đề xuất. Hàm F giảm sau lần lặp 1 ( $\Delta F_1 = 14405$ ) khi xét vòng độc lập  $V_1$  (đóng K21 và mở K2,  $\Delta P_1 = 74.3\text{kW}$ ) và lần lặp 2 ( $\Delta F_2 = 4$ ) khi xét vòng độc lập  $V_3$  (đóng K18 và mở K5 -  $\Delta P_2 = 75.2\text{kW}$ ) – Bảng 4.6. Tổng thất công suất ở lần lặp 2 tăng nhưng hàm F giảm vì tổng thất công suất chỉ thực sự giảm khi biểu thức (2.41) và (2.42) cùng lúc bằng không.
- Tiến hành giai đoạn 2, lúc này cấu trúc của LĐPP có các khóa mở là: K2, K17, K5, K20, K10, K19. Lần lượt giải bài toán PBCS khi đóng từng khóa đang mở và mở khóa có dòng chạy qua. Kết quả như sau:
  - ❖ Đóng K2: Vòng độc lập 1 có dòng  $I_2$  bé nhất (35.5A)
  - ❖ Đóng K17: Vòng độc lập 2 có dòng  $I_{17}$  (21.7A)
  - ❖ Đóng K5: Vòng độc lập 3 có dòng  $I_{18}$  bé nhất (11.3A)  $\Rightarrow$  đóng K5 mở K18,  $\Delta P_3 = 74.3\text{kW}$
  - ❖ Đóng K20: Vòng độc lập 4 có dòng  $I_{20}$  bé nhất (23.5A)
  - ❖ Đóng K10: Vòng độc lập 5 có dòng  $I_{10}$  bé nhất (9.6A)
  - ❖ Đóng K19: Vòng độc lập 6 có dòng  $I_{19}$  bé nhất (11.1A)
- Vậy sau giai đoạn 2, các khóa mở của LĐPP sẽ là: K2, K17, K18, K20, K10, K9, nên tổng thất công suất từ  $\Delta P_{\text{gd1}} = 75.2\text{kW}$  giảm còn  $\Delta p_{\text{gd2}} = 74.3\text{kW}$

**Bảng 4.6:** Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LDPP 16 nút có DG tại nút 13

Tên nhánh	Từ nút đến	Rnh ( $\Omega$ )	Dòng điện	Lặp lần 1						Lặp lần 2						Lặp lần 2					
				V1	V2	V3	V4	V5	V6	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V1	V2	V3	V4	V5	V6
1	1-2	0.437	64.4	1			1			1			1			1			1		
2	2-3	0.515	33.7	1			1			1			1			1			1		
3	3-4	0.062	45.5		1	1					1	1					1	1			
4	4-5	0.13	26.8		1	1					1	1					1	1			
5	5-6	0.156	2.2			1						1						1			
6	1-7	0.106	301.7	1			1			1			1			1			1		
7	7-8	0.205	91.2				1	1	1				1	1	1				1	1	1
8	8-9	0.52	44.6				1	1	1				1	1	1				1	1	1
9	9-10	0.359	12.1						1						1						1
10	9-15	0.307	3.3					1						1						1	
11	7-14	0.251	66.5					1	1					1	1					1	1
12	14-15	0.426	56.7					1	1					1	1					1	1
13	15-16	0.166	32.8						1						1						1
14	3-11	0.364	56.7		1	1	1				1	1	1				1	1	1		
15	11-12	0.411	33.4		1	1	1				1	1	1				1	1	1		
16	12-13	0.286	10.2			1						1						1			
17	5-12	0.198	12.4		1						1						1				
18	6-13	0.328	2.5			1						1						1			
19	10-16	0.01	7.5						1						1						1
20	9-12	0.374	16.1				1						1						1		
21	3-7	0.127	106.8	1						1						1					
Nhánh mở hiện hữu				21	17	18	20	10	19	2	17	18	20	10	19	2	17	18	20	10	19
Nhánh có I <sub>min</sub>				2	17	5	20	10	19	2	17	5	20	10	19	2	17	18	20	10	19
Rloop				1.1843	1.1648	1.737	2.9318	1.7095	1.9383	1.1843	1.1648	1.7368	2.9318	1.7095	1.9383	1.1843	1.1648	1.7368	2.9318	1.7095	1.9383
Mức giảm giá trị $\Delta F$				14405	0	4.253	0	0	0	0	0	4.2532	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chọn khoá đóng/mở				21/2						18/5						Kết thúc chuyển tải					

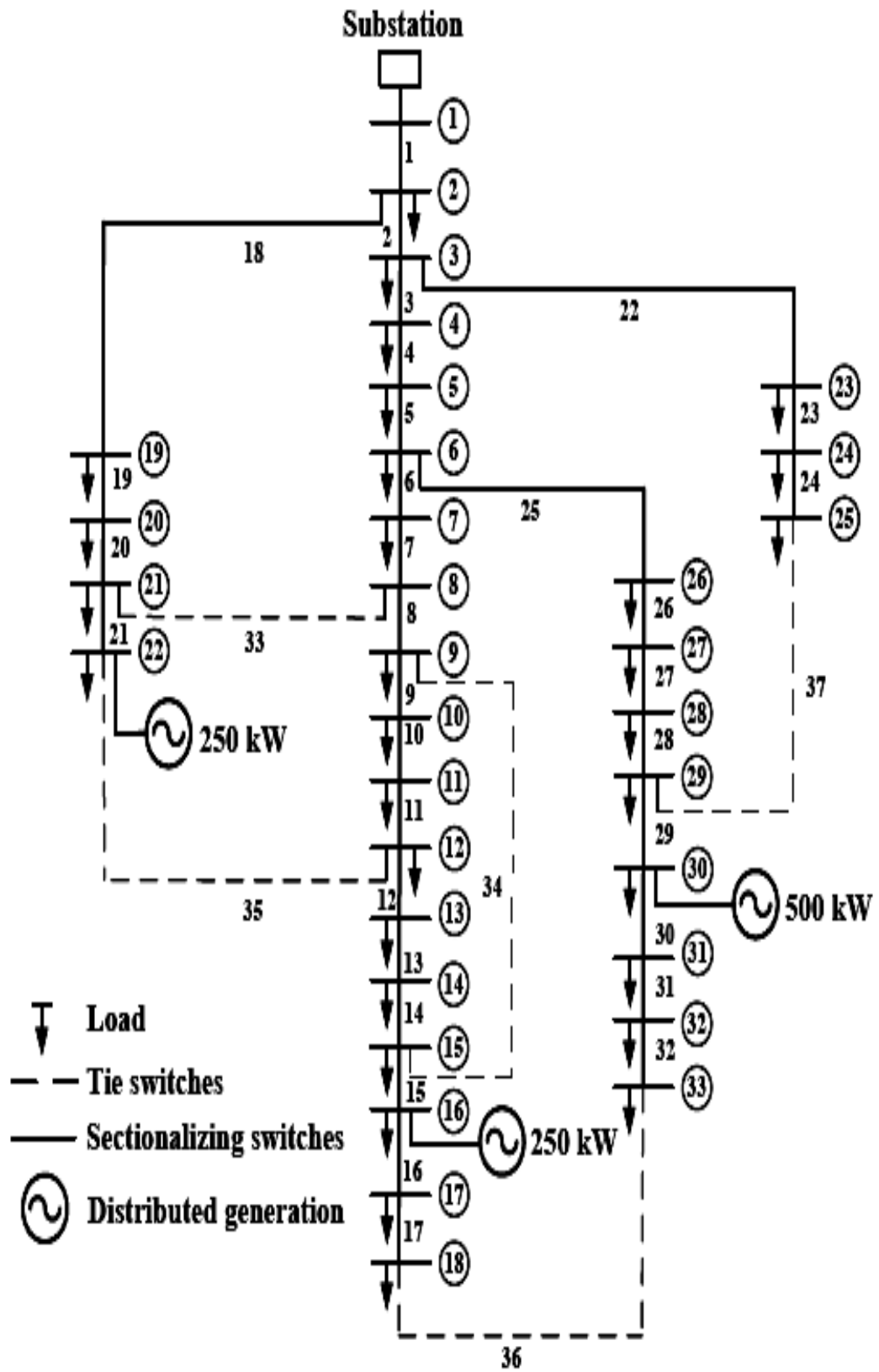
**Bảng 4.7:** Kết quả khảo sát trên LĐPP 16 nút

Stt	Khoá mở	$\Delta P$ (kW)	PP	DG1-bus 9 (kW)	DG2-bus 13 (kW)	Ghi chú
1	2, 8, 9, 15, 16, 20	114.71	G. Celli [26]	0	0	Không có DG
2	2, 17, 16, 20, 10, 19	93.06	TOPO	0	0	
3	2, 17, 16, 20, 10, 19	93.06	GT đề xuất	0	0	
4	2, 8, 10, 15, 18, 20	76.1	G. Celli [26]	450	630	Có cả 2 DG
5	2, 17, 18, 20, 10, 19	66.3	TOPO	450	630	
6	2, 17, 18, 15, 10, 9	66.3	GT đề xuất	450	630	
7	2, 8, 10, 15, 16, 20	102.6	G. Celli [26]	450	0	DG1 làm việc và DG2 nghỉ
8	2, 17, 16, 15, 10, 9	83.7	TOPO	450	0	
9	2, 17, 16, 15, 10, 9	83.7	GT đề xuất	450	0	
10	2, 9, 10, 15, 18, 20	82.9	G. Celli [26]	0	630	DG1 nghỉ và DG2 làm việc
11	2, 17, 18, 20, 10, 19	74.3	TOPO	0	630	
12	2, 17, 18, 20, 10, 9	74.3	GT đề xuất	0	630	

#### 4.2. Lưới điện 33 nút

Hình 4.2 mô tả LĐPP 33 bus có lắp thêm 3 DG tại các nút 16, 22, 30 với công suất DG phát lên lưới lần lượt là 250kW, 250kW và 500kW do [30] bổ sung từ LĐPP 33 của Baran [24], thông số lưới và phụ tải được trình bày tại phụ lục 4.2 Quá trình tìm kiếm tái cấu trúc lưới điện giảm tổn thất công suất tác dụng bằng giải thuật heuristic đề xuất được tóm tắt tại phụ lục 4.3, chi tiết quá trình tìm kiếm được nêu tại phụ lục 4.3.





Hình 4.2: Lưới 33 bus – 37 nhánh

***Mô tả quá trình tìm kiếm cấu trúc lưới điện khi có 3 DG***

- LĐPP hình tia ban đầu [30] có các khoá mở K33, K34, K35, K36, K37. Tổng thất công suất đầu được tính bằng PSS/DEPT  $\Delta p_{\text{bandầu}} = 110.5\text{kW}$ .
- Giải bài toán phân bố công suất trên LĐPP kín, thuần trở (bỏ qua cảm kháng và dung dẫn đường dây)
- Giảm hàm F giai đoạn 1 theo giải thuật đề xuất. Hàm F giảm sau lần lặp 4.
  - ❖ Lần lặp 1: Vòng độc lập  $V_3$  được chọn: đóng K35 và mở K9 có  $\Delta F_3 = 29425$ ,  $\Delta P_3 = 83.778\text{kW}$
  - ❖ Lần lặp 2: Vòng độc lập  $V_2$  được chọn: đóng K34 và mở K14 có  $\Delta F_2 = 2395171$ ,  $\Delta P_2 = 84.1\text{kW}$
  - ❖ Lần lặp 3: Vòng độc lập  $V_4$  được chọn: đóng K36 và mở K32 có  $\Delta F_4 = 9114$ ,  $\Delta P_4 = 83.65\text{kW}$
  - ❖ Lần lặp 4: Vòng độc lập  $V_1$  được chọn: đóng K33 và mở K7 có  $\Delta F_1 = 8560$ ,  $\Delta P_1 = 73.56\text{kW}$
- Tiến hành giai đoạn 2, lúc này cấu trúc của LĐPP có các khóa mở là: K9, K14, K32, K7, K37. Lần lượt giải bài toán PBCS khi đóng từng khóa đang mở và mở khóa có dòng chạy qua. Kết quả như sau:
  - ❖ Đóng K9: Vòng độc lập 3 có dòng  $I_9$  bé nhất (0.5A)
  - ❖ Đóng K14: Vòng độc lập 2 có dòng  $I_{14}$  (1.0A)
  - ❖ Đóng K32: Vòng độc lập 3 có dòng  $I_{32}$  bé nhất (3.8A)
  - ❖ Đóng K7: Vòng độc lập 4 có dòng  $I_7$  bé nhất (3A)
  - ❖ Đóng K37: Vòng độc lập 5 có dòng  $I_{37}$  bé nhất (4A)
- Vậy sau giai đoạn 2, cấu trúc của LĐPP không đổi, các khóa mở là: K9, K14, K32, K7, K37 nên tổng thất công suất từ  $\Delta P_{\text{gd1}} = \Delta P_{\text{gd2}} = 73.56\text{kW}$

**Bảng 4.8:** Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LDPP 33 nút có 3DG

tên nhánh	Từ nút	đến nút	R <sub>nh</sub> (Ω) (W)	Dòng kin (A)	Lập 1					Lập 2					Lập 3					Lập 4					Lập 5				
					V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
N1	1	2	0.0922	163																									
N2	2	3	0.493	111.2	1		1			1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N3	3	4	0.3661	49	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N4	4	5	0.3811	42	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N5	5	6	0.819	39.1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N6	6	7	0.1872	13.2	1		1	1		1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N7	7	8	0.7115	3.5	1		1	1		1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N8	8	9	1.0299	11.6			1	1			1	1				1	1				1	1				1	1		
N9	9	10	1.044	0.9		1	1	1			1					1					1					1			
N10	10	11	0.1967	3.3		1	1	1				1					1	1				1	1			1	1		
N11	11	12	0.3744	5.6		1	1	1				1					1	1				1	1			1	1		
N12	12	13	1.468	10.5		1		1			1		1			1					1				1				
N13	13	14	0.5416	7.2		1		1			1		1			1					1				1				
N14	14	15	0.5909	0.5		1		1			1		1			1					1				1				
N15	15	16	0.7462	6.9				1				1					1					1					1		
N16	16	17	1.2889	13.7				1				1					1					1				1			
N17	17	18	0.732	10.7				1				1					1					1				1			
N18	2	19	0.164	46.8	1		1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1		
N19	19	20	1.5042	42.3	1		1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1		
N20	20	21	0.4095	37.7	1		1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1		
N21	21	22	0.7089	14.4			1					1	1				1	1				1	1			1	1		
N22	3	23	0.4512	57.7					1					1				1				1					1		
N23	23	24	0.898	52.9					1					1				1				1					1		
N24	24	25	0.8959	31.1					1					1				1				1					1		
N25	6	26	0.2031	23.1				1	1				1	1				1	1			1	1			1	1		
N26	26	27	0.2842	20.1				1	1				1	1				1	1			1	1			1	1		
N27	27	28	1.0589	17				1	1				1	1				1	1			1	1			1	1		
N28	28	29	0.8043	14.2				1	1				1	1				1	1			1	1			1	1		
N29	29	30	0.5074	17.4				1					1					1				1				1			
N30	30	31	0.9745	16.3				1					1					1				1				1			
N31	31	32	0.3105	8.5				1					1					1				1				1			
N32	32	33	0.3411	2.9				1					1					1				1				1			
N33	8	21	0.5	19.4	1					1					1					1					1				
N34	9	15	2	8.7			1				1					1		1			1				1		1		
N35	12	22	2	19.2				1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		1	1	1		
N36	18	33	2	6					1					1				1				1				1			
N37	25	29	0.5	9.8					1					1					1				1				1		
Khóa mở hiện hữu					N33	N34	N35	N36	N37	N33	N34	N9	N36	N37	N33	N14	N9	N36	N37	N33	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37
Khóa có I min					N7	N9	N9	N9	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37
R loop					5.54	6.22	10.39	15.40	6.66	5.54	12.67	10.39	18.20	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66
Mức giảm hàm F					8590	786	29425	14230	0	8590	4250257	0	9143	0	8590	0	0	9114	0	8590	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Xếp hạng					3	4	1	2	5	3	1	4	2	4	2	3	3	1	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Khóa đóng/mở					N35 / N9					N34 / N14					N36 / N32					N33 / N7					Kết thúc chuyển tải				

*Mô tả quá trình tìm kiếm cấu trúc lưới điện khi không có DG*

- LDPP hình tia ban đầu [30] có các khoá mở K33, K34, K35, K36, K37. Tổng thất công suất ban đầu được tính bằng PSS/DEPT  $\Delta P_{\text{bandầu}} = 164.65\text{kW}$
- Giải bài toán phân bố công suất trên LDPP kín, thuần trở (bỏ qua cảm kháng và dung dẫn đường dây)
- Giảm hàm F giai đoạn 1 theo giải thuật đề xuất. Hàm F giảm sau lần lặp 4.
  - ❖ Lần lặp 1: Vòng độc lập  $V_3$  được chọn: đóng K35 và mở K9 có  $\Delta F_3 = 10886$ ,  $\Delta P_3 = 123.1\text{kW}$
  - ❖ Lần lặp 2: Vòng độc lập  $V_2$  được chọn: đóng K34 và mở K14 có  $\Delta F_2 = 6102343$ ,  $\Delta P_2 = 128.876\text{kW}$
  - ❖ Lần lặp 3: Vòng độc lập  $V_4$  được chọn: đóng K36 và mở K32 có  $\Delta F_4 = 3815$ ,  $\Delta P_4 = 128.06\text{kW}$
  - ❖ Lần lặp 4: Vòng độc lập  $V_1$  được chọn: đóng K33 và mở K7 có  $\Delta F_1 = 2965$ ,  $\Delta P_1 = 112.74\text{kW}$

**Bảng 4.9:** Quá trình chuyển tải ở giai đoạn 1 của LDPP 33 nút không có DG

tên nhánh	Từ nút	đến nút	R <sub>nh</sub> (Ω) (W)	Dòng kín (A)	Lớp 1					Lớp 2					Lớp 3					Lớp 4					Lớp 5				
					V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
N1	1	2	0.0922	195.5																									
N2	2	3	0.493	130.3	1		1			1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N3	3	4	0.3661	58.7	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
N4	4	5	0.3811	52	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
N5	5	6	0.819	48.9	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
N6	6	7	0.1872	18.5	1		1	1		1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N7	7	8	0.7115	8	1		1	1		1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N8	8	9	1.0299	18			1	1			1	1				1	1				1	1				1	1		
N9	9	10	1.044	1.5		1	1	1				1					1					1					1		
N10	10	11	0.1967	1.6		1	1	1				1					1	1				1	1				1	1	
N11	11	12	0.3744	4		1	1	1				1					1	1					1	1			1	1	
N12	12	13	1.468	13.4		1		1			1		1			1					1					1			
N13	13	14	0.5416	10.1		1		1			1		1			1					1					1			
N14	14	15	0.5909	3.5		1		1			1	1				1					1					1			
N15	15	16	0.7462	14				1				1					1					1					1		
N16	16	17	1.2889	11				1				1					1					1					1		
N17	17	18	0.732	8.1				1				1					1					1					1		
N18	2	19	0.164	59.8	1		1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	
N19	19	20	1.5042	55.2	1		1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	
N20	20	21	0.4095	50.6	1		1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	
N21	21	22	0.7089	25.4			1					1	1				1	1				1	1				1	1	
N22	3	23	0.4512	67					1					1					1					1				1	
N23	23	24	0.898	62.2					1					1					1					1				1	
N24	24	25	0.8959	42.2					1					1					1					1				1	
N25	6	26	0.2031	27.4				1	1				1	1				1	1				1	1			1	1	
N26	26	27	0.2842	24.3				1	1				1	1				1	1				1	1			1	1	
N27	27	28	1.0589	21.3				1	1				1	1				1	1				1	1			1	1	
N28	28	29	0.8043	18.3				1	1				1	1				1	1				1	1			1	1	
N29	29	30	0.5074	29.7				1					1					1				1					1		
N30	30	31	0.9745	19.1				1					1					1				1					1		
N31	31	32	0.3105	11.2				1					1					1				1					1		
N32	32	33	0.3411	0.1				1					1					1				1					1		
N33	8	21	0.5	20.6	1					1					1				1				1			1			
N34	9	15	2	13.5		1					1					1		1			1		1			1			
N35	12	22	2	20.7			1				1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1	
N36	18	33	2	3.4				1					1					1					1				1		
N37	25	29	0.5	18.1					1					1					1					1				1	
Khóa mở hiện hữu					N33	N34	N35	N36	N37	N33	N34	N9	N36	N37	N33	N14	N9	N36	N37	N33	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37
Khóa có I min					N7	N9	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37
R loop					5.54	6.22	10.39	15.40	6.66	5.54	12.67	10.39	18.20	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66
Mức giảm hàm F					2965	5616	10889	2738	0	2965	6102343	0	3828	0	2965	0	0	3815	0	2965	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Xếp hạng					3	2	1	4	5	3	1	4	2	4	2	3	3	1	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Khóa đóng/mở					N35 / N9					N34 / N14					N36 / N32					N33 / N7					Kết thúc chuyển tải				

- Tiến hành giai đoạn 2, lúc này cấu trúc của LDPP có các khóa mở là: K9, K14, K32, K7, K37. Lần lượt giải bài toán PBCS khi đóng từng khóa đang mở và mở khóa có dòng chạy qua. Kết quả như sau:
  - ❖ Đóng K9: Vòng độc lập 3 có dòng  $I_9$  bé nhất (3.5A)
  - ❖ Đóng K14: Vòng độc lập 2 có dòng  $I_{14}$  (4.3A)
  - ❖ Đóng K32: Vòng độc lập 3 có dòng  $I_{32}$  bé nhất (0.7A)
  - ❖ Đóng K7: Vòng độc lập 4 có dòng  $I_7$  bé nhất (4.5A)
  - ❖ Đóng K37: Vòng độc lập 5 có dòng  $I_{37}$  bé nhất (16.1A)
- Vậy sau giai đoạn 2, cấu trúc của LDPP không đổi, các khóa mở là: K9, K14, K32, K7, K37 nên tổn thất công suất từ  $\Delta P_{gd1} = \Delta P_{gd2} = 112.744kW$

#### 4.3. So sánh kết quả với giải thuật khác.

##### 4.3.1. LDPP không có DG

Cấu trúc lưới sau cùng của giải thuật đề xuất được so sánh với nhiều phương pháp khác nhau trong việc giảm tổn thất công suất tác dụng. Bảng 4.10 trình bày kết quả cấu trúc lưới của LDPP 33 bus không có DG được so sánh với kết quả của Srisak [30], và kết quả của công cụ TOPO trong phần mềm PSS/ADEPT 5.0

**Bảng 4.10:** So sánh kết quả tái cấu trúc lưới điện phân phối một nguồn

Số lần thao tác	Srisak [30]	TOPO PSS/ADEPT 5.0	Giải thuật đề xuất 01
1	35□□□□	Sau khi sử dụng trình TOPO tái cấu trúc LDPP tổn thất công suất là nhỏ nhất	□□□□
2	□□□□□		□□□□□
3	□□□□□		□□□□
4			□□□□□
K. mở	33,34,11,32,27	37,7,9,14,32	<b>37,7,9,14,32</b>
$\Delta P$ sau cùng	122.965	112.74	<b>112.74</b>
$\Delta P$ (%)	25.3	31.5	<b>31.5</b>

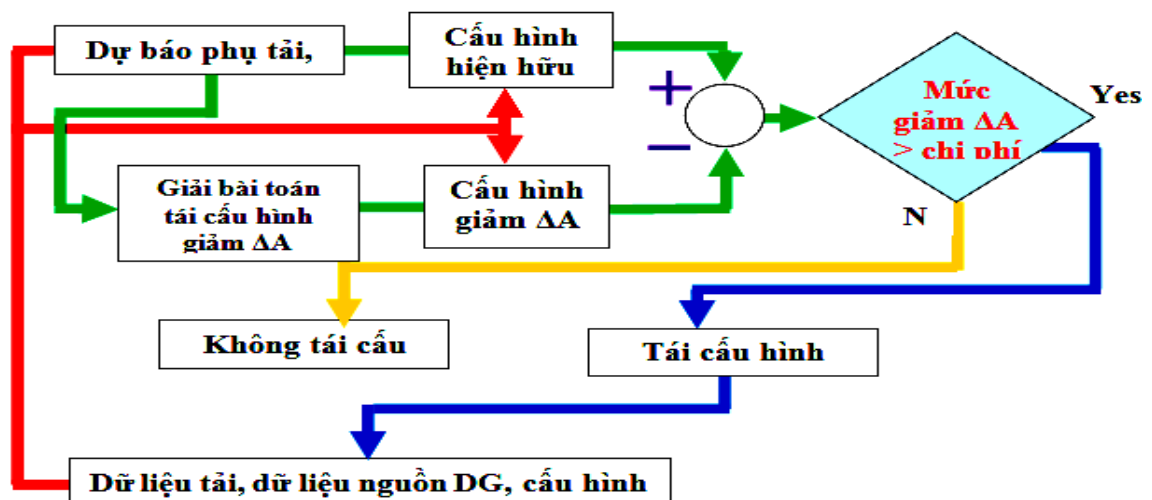
### 4.3.2 LĐPP có 3 DG

**Bảng 4.11:** So sánh kết quả tái cấu trúc lưới điện phân phối 3 DG

Số lần thao tác	Srisak [30]	TOPO PSS/ADEPT 5.0	Giải thuật đề xuất
$\Delta P$ ban đầu	110.5kW tính bằng PSS/ADEPT		
1	35□□	Sau khi sử dụng trình TOPO tái cấu trúc LĐPP tổn thất công suất là nhỏ nhất	□□□□
2	□□□□□		□□□□□
3	□□□□□		□□□□□
4			□□□□
K. mở	33,34,9,32,28	37,7,9,14,32	<b>37, 7, 9, 14, 32</b>
$\Delta P$ sau cùng	81 kW	73.56 kW	73.56 kW
Giảm $\Delta P$ (%)	26.67	33.4	<b>33.4</b>

### 4.4 TÁI CẤU HÌNH LĐPP CÓ DG TRONG VẬN HÀNH TRỰC TUYẾN

Bài toán tái cấu hình lưới điện dạng “offline” dùng để đánh giá cấu hình vận hành, thiết kế và xác định vị trí và loại khóa điện trên LĐPP. Trong khi đó bài toán tái cấu hình “trực tuyến” dùng để vận hành LĐPP và đòi hỏi phải sử dụng thông tin về dự báo phụ tải và DG. Thuật toán tái cấu hình bằng việc sử dụng hàm G đã nêu phù hợp với bài toán tái cấu hình trực tuyến do có tốc độ tìm kiếm nhanh và dẫn thẳng đến cấu hình tối ưu. Sơ đồ khối các bước lựa chọn tính toán trong vận hành trực tuyến LĐPP có DG cho trong hình 4.3.



Hình 4.3: Bài toán vận hành trực tuyến LĐPP có DG

Trong hình này, giả thuyết có một đồ thị phụ tải theo thời gian  $t$  và coi công suất trong từng giờ là hoàn toàn xác định, đã biết thông tin dự báo phụ tải và công suất DG ở thời điểm sau đó, lúc này điều độ viên cần quyết định xem có nên chuyển khóa điện trong thời điểm tiếp theo hay không khi phụ tải và DG thay đổi. Vấn đề này được quyết định khi so sánh một cách chi tiết giữa “chi phí” và “lợi nhuận” thu được khi thực hiện thao tác phân bổ lại phụ tải.

Hàm độ lệch chi phí  $C_L$  được định nghĩa như sau:

$$C_L = C_L (\text{Không phân bổ lại phụ tải}) - C_L (\text{Có phân bổ lại phụ tải}) \quad (4.16)$$

Trong đó:

$$C_L = n.a.T.C_K + \sum C_i.t_i.\Delta P_i^n = n.a.T.C_K + \Delta C_i$$

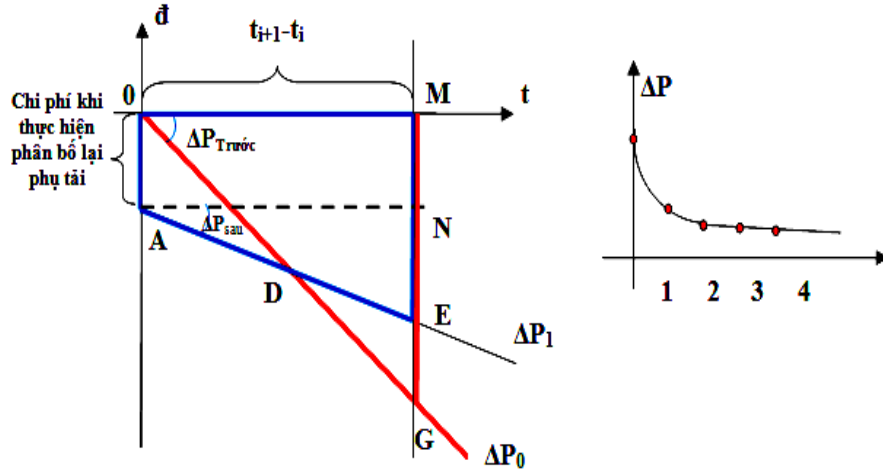
Với:

- +  $C_i$  là giá thành điện năng (đ/kWh)
- +  $C_K$  là chi phí phân bổ lại phụ tải (đ)
- +  $n$  là số lượng khóa tham gia vào quá trình phân bổ lại phụ tải
- +  $a$  là tỷ lệ phụ tải 3 pha so với tổng công suất phụ tải khi bị ảnh hưởng do mất điện trong quá trình phân bổ lại phụ tải (kW)
- +  $T$  là thời gian phân bổ lại phụ tải nhánh (h)
- +  $t_i$  là giờ thứ  $i$  của đồ thị phụ tải điển hình (h)
- +  $\Delta C_{tt}$  là chi phí tổn thất điện năng (đ).

Khi hàm  $C_L$  dương, nghĩa là không phân bổ lại phụ tải thì  $c.\Delta A$  sẽ lớn hơn chi phí phân bổ lại phụ tải, lúc đó điều độ viên sẽ phân bổ lại phụ tải và ngược lại. Hình 3.10 sẽ hỗ trợ điều độ viên lựa chọn phương án có phân bổ lại phụ tải hay không khi vận hành LDPP có DG. Tại thời điểm  $t_0$  (gốc 0), tổn thất công suất có giá trị  $\Delta P_0$ , giá điện là  $c_0$  thì lượng chi phí tổn thất sẽ là  $\Delta C_{tt} = c_0.\Delta P_0.t_0$  (giả thiết công suất trong từng giờ không đổi). Trong hình 4.4, chi phí tổn thất điện năng chính bằng diện tích hình tam giác OMG. Khi phân bổ lại phụ tải, sẽ mất một lượng chi phí là  $n.a.C_K$  (chi phí  $C_K$  có thể tạm lấy bằng 10 lần giá bán điện). sau khi tái cấu hình LDPP, tổn thất công suất trên LDPP có giá trị  $\Delta P_{sau}$ , do đó diện tích hình thang



OAEM sẽ là chi phí tổn thất điện năng sau khi thực hiện phân bổ lại phụ tải. Giá trị này phụ thuộc giá trị  $\Delta P$  trước và sau khi phân bổ lại phụ tải, phụ thuộc dòng điện trên nhánh và dòng điện bơm vào LĐPP của DG.



Hình 4.4: Đồ thị lựa chọn phương án vận hành trực tuyến LĐPP

Để quyết định có thay đổi cấu hình LĐPP ở giờ tiếp theo hay không khi công suất DG và phụ tải thay đổi, trước hết cần dự đoán cặp khóa điện sẽ được đóng/mở, điều này được thực hiện nhờ dự báo tải và DG. Tiếp theo là việc đánh giá lợi ích thu được nếu thực hiện phân bổ lại phụ tải theo (3.16). Ở đây diện tích  $\Delta OMG$  và hình OMEA tính như sau:

$$S_{OMG} = 0,5 \cdot OM \cdot MG = 0,5 \cdot (t_{i+1} - t_i) \cdot c \cdot \Delta P_{\text{trước}} \cdot (t_{i+1} - t_i) = 0,5 \cdot c \cdot \Delta P_0 \cdot (t_{i+1} - t_i)^2.$$

$$S_{OMEA} = S_{OMNA} + S_{ANE}$$

$$= n \cdot a \cdot T \cdot C_k \cdot (t_{i+1} - t_i) + 0,5 \cdot c \cdot \Delta P_{\text{sau}} \cdot (t_{i+1} - t_i) \cdot (t_{i+1} - t_i) = (t_{i+1} - t_i) [n \cdot a \cdot T \cdot C_k + 0,5 \cdot c \cdot \Delta P_1 \cdot (t_{i+1} - t_i)]$$

$$\rightarrow C_L = S_{OMG} - S_{OMEA} = 0,5 \cdot c \cdot \Delta P_{\text{trước}} \cdot (t_{i+1} - t_i)^2 - (t_{i+1} - t_i) [n \cdot a \cdot T \cdot C_k + 0,5 \cdot c \cdot \Delta P_{\text{sau}} \cdot (t_{i+1} - t_i)]$$

$$= (t_{i+1} - t_i) [0,5 \cdot c \cdot \Delta P_{\text{trước}} \cdot (t_{i+1} - t_i) - n \cdot a \cdot T \cdot C_k + 0,5 \cdot c \cdot \Delta P_{\text{sau}} \cdot (t_{i+1} - t_i)]$$

$$= (t_{i+1} - t_i) [0,5 \cdot c \cdot (t_{i+1} - t_i) (\Delta P_{\text{trước}} - \Delta P_{\text{sau}}) - n \cdot a \cdot T \cdot C_k]$$

Để thấy:

$$C_L > 0 \text{ khi } \Delta C_{tt} = [(0,5/n) \cdot c \cdot (t_{i+1} - t_i) (\Delta P_{\text{trước}} - \Delta P_{\text{sau}})] > a \cdot T \cdot C_k \quad (4.17)$$

$$C_L < 0 \text{ khi } \Delta C_{tt} = [(0,5/n) \cdot c \cdot (t_{i+1} - t_i) (\Delta P_{\text{trước}} - \Delta P_{\text{sau}})] < a \cdot T \cdot C_k \quad (4.18)$$

Như vậy số cặp khóa tham gia vào LĐPP càng nhiều sẽ làm vế trái của (4.17) và (4.18) càng nhỏ, việc phân bổ lại phụ tải khi đó sẽ có lợi và ngược lại. Tuy nhiên, thực tế cho thấy việc chuyển cặp khóa đầu tiên (cặp khóa thứ nhất), thì  $\Delta P$  thường

giảm nhanh nhất, đến khi chuyển cặp khóa thứ I, hiệu quả giảm  $\Delta P$  thường không cao bằng như hình 4.4.

Trong bài toán vận hành LDPP trực tuyến, khi có sự thay đổi công suất trên lưới thì quá trình này được tính toán dựa trên chính biểu đồ phát của DG và biểu đồ phụ tải theo giờ. Biểu đồ này có thể là biểu đồ ngày điển hình của các mùa, biểu đồ phát hoặc tiêu thụ trong phạm vi ngày đêm... Bởi vì về bản chất, bài toán tái cấu hình LDPP được đặt ra là do có sự thay đổi chế độ (công suất phụ tải và công suất DG). Sơ đồ có tổn thất  $\Delta P$  nhỏ nhất với phụ tải hiện tại nhưng sẽ trở thành không tối ưu ở chế độ phụ tải tiếp theo. Cần thay đổi cấu hình cho tối ưu với chế độ tải mới. Do đó quá trình lựa chọn này được tiến hành trên cơ sở tính toán hiệu quả giảm  $\Delta P$  nhiều nhất hoặc chi phí tổn thất điện năng (c.  $\Delta A$ ) bé nhất theo đồ thị kết hợp giữa nguồn – DG – tải, thể hiện ở các phương án khác nhau như bảng 4.12

Bảng 4.12. Tổng hợp các phương án vận hành của lưới điện khi có DG

Giờ	Công suất DG thứ nhất, kW	Công suất DG thứ n, kW	Công suất phụ tải, kW	Chi phí tổn thất điện năng, c. $\Delta A$ , đ	Tổ hợp điểm mở
<b>1</b>	<b><math>P_{DG1-1}</math></b>	<b><math>P_{DG1-n}</math></b>	<b><math>P_{pt1}</math></b>	<b><math>\Delta P_1</math></b>	<b><math>M_1</math></b>
<b>2</b>	<b><math>P_{DG2-1}</math></b>	<b><math>P_{DG24-n}</math></b>	<b><math>P_{pt2}</math></b>	<b><math>\Delta P_2</math></b>	<b><math>M_2</math></b>
.....	.....	.....	.....	.....	.....
<b>24</b>	<b><math>P_{DG24-1}</math></b>	<b><math>P_{DG24-n}</math></b>	<b><math>P_{pt24}</math></b>	<b><math>\Delta P_{24}</math></b>	<b><math>M_{24}</math></b>

Với các DG là pin quang điện thì công suất phát của chúng phụ thuộc vào cường độ bức xạ năng lượng mặt trời ở các thời điểm trong ngày. Công suất phát của DG này thường đạt cực đại vào các giờ buổi trưa và bằng 0 vào buổi tối. Đối với các DG là tuabin gió, công suất phát của chúng phụ thuộc hoàn toàn vào tốc độ gió. Thông thường, tốc độ gió sẽ lớn nhất vào các thời điểm từ 14h đến 18h hằng ngày, khi đó công suất phát xấp xỉ công suất định mức. Ở các thời điểm khác, công suất tuabin gió thường khá thấp khoảng 30% công suất định mức [4]. Với các DG là diesel hay DG có sử dụng nhiên liệu thì công suất phát của chúng có thể điều khiển được, chỉ phụ thuộc vào nguồn nhiên liệu.

Với các DG là thủy điện nhỏ (TĐN) đồ thị phát của chúng phụ thuộc vào nguồn nước ở các mùa (mùa khô, mùa mưa). Công suất của DG này thường đạt cực đại trong suốt mùa mưa, cực tiểu vào mùa khô. Do đó với các TĐN không có hồ

chứa, các tuabin gió hay pin quang điện không có bộ tích trữ điện năng chúng sẽ được huy động tối đa công suất ở thời điểm có thể phát công suất cực đại và ở các giờ cao điểm. với các DG có tích trữ điện năng sẽ phát theo cơ quan điều độ địa phương hoặc theo lợi ích của nhà đầu tư. Bảng 4.12 cho thấy: nếu kết hợp đồ thị phụ tải với đồ thị phát DG sẽ có tổ hợp rất nhiều điểm mở trên lưới điện. chẳng hạn xét DG là TĐN vận hành trong mùa khô và mùa mưa trong năm, như vậy sẽ có đến 48 tổ hợp điểm mở ( 24 tổ hợp cho mùa khô và 24 tổ hợp cho mùa mưa) ứng với đồ thị phụ tải ngày và diễn hình đồ thị DG trong mỗi mùa. Nếu thực hiện thao tác đóng cắt theo tổ hợp điểm mở này sẽ cho kết quả một lưới điện hình tia có mức giảm  $\Delta P$  tốt nhất. nếu công suất DG không thay đổi nhiều trong ngày (hay mùa) và đồ thị phụ tải ở mỗi chế độ không khác nhau nhiều thì một số tổ hợp điểm mở máy này sẽ có thể trùng nhau, điều này cho phép giảm bớt số điểm mở trên lưới. Nếu trong cùng một chế độ mà các tổ hợp điểm mở không trùng nhau, khi đó hoặc có thể thao tác đóng mở liên tục hoặc sẽ phải chọn một tổ hợp điểm mới diễn hình cho cả chế độ. Chế độ lựa chọn phải có tổn thất  $\Delta P$  bé hơn so với tổ hợp còn lại, không vi phạm chất lượng điện áp của lưới. Nếu đồ thị phụ tải và của nguồn DG trong khoảng thời gian T của tất cả các phụ tải trên LĐPP có thể chia làm M khoảng nhỏ, tại mỗi khoảng này giả thiết có M giá trị “ nguồn giả tưởng”. Do đó tại thời điểm thứ m ( m=1...M), dòng điện trên nhánh thứ I có giá trị  $I_{P_{min}}$  và  $I_{Q_{min}}$  (i=1....n) không đổi nên lưới điện có tổn thất công suất là:

$$\Delta P_m = \sum_{i=1}^n I_{P_{min}}^2 \cdot R_i + \sum_{i=1}^n I_{Q_{min}}^2 \cdot R_i \quad (4.19)$$

Khi đó tổn thất điện năng của LĐPP trong thời điểm khảo sát T ( T =  $\sum t_m$ ) là:

$$\Delta A = \sum_{m=1}^M \Delta P_m \cdot t_m = \sum_{m=1}^M \left( \sum_{i=1}^n I_{P_{min}}^2 \cdot R_i \right) t_m + \sum_{m=1}^M \left( \sum_{i=1}^n I_{Q_{min}}^2 \cdot R_i \right) t_m \quad (4.20)$$

Với (3.20) sẽ xác định được chi phí tổn thất điện năng ở bảng 3.7, giá trị này sẽ là cơ sở để lựa chọn cấu hình LĐPP có mức chi phí tổn thất điện năng bé nhất.

#### 4.5. KẾT LUẬN

Chương này đã xây dựng được biểu thức về ảnh hưởng của DG đến bài toán tái cấu hình LĐPP để mức tăng  $\Delta P$  ít nhất. Hàm mục tiêu  $F$  được đề xuất thành lập, với hàm mục tiêu này, cấu hình một LĐPP được đảm bảo có  $\Delta P$  bé nhất có thể, thể hiện được ảnh hưởng của DG đến phân bố dòng điện trên các nhánh của LĐPP. Hàm  $F$  làm nền tảng cho bài toán tái cấu hình LĐPP có DG để giảm  $\Delta P$  và ứng dụng rất tốt cho vận hành trực tuyến. Kết quả nghiên cứu cho thấy:

- ❖ Nguồn DG có ảnh hưởng lớn đến phân bố dòng điện trên toàn LĐPP, do đó sau khi kết nối DG thì việc tái cấu hình LĐPP là hết sức quan trọng nhằm đảm bảo LĐPP có DG có mức tăng  $\Delta P$  ít nhất so với LĐPP kín.
- ❖ Với các DG có công suất thay đổi mạnh theo mùa như TĐN, biểu thức (2.40) và thể hiện rất rõ điều này. Do đó cấu hình LĐPP sau khi kết nối DG cần thay đổi một cách phù hợp để có mức tăng  $\Delta P$  là ít nhất so với LĐPP kín.
- ❖ Bài toán tái cấu hình LĐPP có DG thường rất phù hợp với các DG sử dụng máy điện đồng bộ và có công suất ổn định trong khoảng thời gian đủ dài (theo mùa) như thủy điện nhỏ, biomass... khi đó việc tái cấu hình để giảm  $\Delta P$  sẽ có ý nghĩa kinh tế rõ rệt. Các DG khác: tuabin gió, pin mặt trời... thường không phát công suất  $Q$  nên khi đó người ta quan tâm đến việc đảm bảo ổn định điện áp cho chúng nhiều hơn.

#### Về mặt thuật toán:

- ❖ Mô tả được ảnh hưởng của DG đến phân bố dòng điện trên các nhánh của LĐPP. Mô tả được ảnh hưởng của tất cả các cặp khoá điện ở trạng thái mở đến sự thay đổi  $\Delta P$  trên toàn LĐPP. Việc tính toán hàm  $F$  không phức tạp và nhanh chóng hơn việc tính trực tiếp  $\Delta P$ . Việc áp dụng hàm  $F$  cho phép chỉ ra được cấu hình sau cùng có mức tăng  $\Delta P$  ít nhất so với lưới kín, do có sự so sánh hàm  $F$  ở tất cả các vòng độc lập trên toàn LĐPP.
- ❖ Do tính chất giảm giá trị từng bước của hàm  $F$ , nên có thể phát triển hàm này để giải quyết các bài toán tái cấu hình LĐPP có DG như: xác định cấu hình

LĐPP vận hành trực tuyến, bài toán khôi phục CCD, cân bằng tải và hạn chế số lần phân bố lại phụ tải.

- ❖ Thuật toán đề xuất phù hợp với phương thức vận hành trực tuyến LĐPP có DG trên cơ sở so sánh độ lệch  $c.\Delta A$  với chi phí đóng cắt. Khi có thông tin về dự báo phụ tải DG, cũng như tỷ lệ % phụ tải công nghiệp và thời gian phân bố lại phụ tải sẽ giúp điều độ viên điện lực có quyết định thay đổi cấu hình LĐPP hay không.

## CHƯƠNG 5

### KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

#### 5.1. Kết luận

Do đặc điểm cấu trúc của LĐPP thường có dạng mạch vòng nhưng vận hành hình tia nhằm vừa thỏa mãn các chỉ tiêu kỹ thuật vừa đảm bảo được chỉ tiêu về kinh tế. Đồng thời nó cũng đảm bảo cung cấp điện cho nhiều loại tải, sự thay đổi liên tục của đồ thị phụ tải, và nhu cầu phát triển mở rộng của lưới điện.

Bài toán tái cấu trúc LĐPP được đưa ra với nhiều mục tiêu khác nhau như: Cực tiểu chi phí vận hành, cực tiểu tổn thất trên lưới, nâng cao khả năng tải của lưới điện, vv... và được các nhà khoa học trong và ngoài nước nghiên cứu và áp dụng một cách hiệu quả.

Luận văn này tiếp cận bài toán tái cấu trúc lưới điện phân phối có DG với mục tiêu giảm thiểu tổn thất điện năng (giảm tổn thất công suất) trên lưới điện. Giải pháp tái cấu trúc LĐPP được giải quyết bởi giải thuật heuristic kết hợp với việc kiểm chứng kết quả bằng trình TOPO trong PSS/Adapt. Mục tiêu là để giảm thiểu chi phí ngừng cung cấp điện cho khách hàng với các ràng buộc là tất cả các điểm tải phải được cung cấp điện và hệ thống được kết nối theo mạch vòng nhưng vận hành theo hình tia.

Đề tài đã hoàn tất mục tiêu và nhiệm vụ đặt ra, các kết quả nghiên cứu đều được kiểm chứng trên các LĐPP mẫu để so sánh các ưu khuyết điểm với các giải thuật hiện có.

Từ kết quả của việc áp dụng giải thuật vào LĐPP mẫu và so sánh với kết quả thực hiện với một số giải thuật của các tác giả khác ta thấy:

- Tổng mức giảm tổn thất công suất tác dụng là nhỏ nhất (để  $\Delta A_{\min}$ )
- Thời gian tính toán nhanh.
- Giải thuật Heuristic là giải thuật mạnh, có khả năng ứng dụng vào thực tế để giải quyết các bài toán tái cấu trúc lưới giảm tổn thất điện năng, giảm tổn thất năng lượng, các hàm mục tiêu khác như cân bằng công suất giữa các

tuyến dây, khôi phục lưới sau sự cố, hàm đa mục tiêu, tính khả thi cao khi áp dụng cho lưới điện phân phối tại Việt Nam.

- *Kết quả của giải thuật phù hợp với bài toán vận hành lưới điện trực tuyến*

## **5.2 Những hạn chế và đề xuất hướng phát triển của đề tài**

### **5.2.1 Những hạn chế**

Mặc dù học viên đã hết sức cố gắng trong việc tìm hiểu, học hỏi..., nhưng do thời gian cũng như kiến thức có hạn nên luận văn không tránh khỏi thiếu sót với những hạn chế sau:

- Chưa viết chương trình áp dụng giải thuật vào một LDPP thực tế có nhiều nút tải, nhiều nguồn cung cấp và cấu trúc phức tạp hơn.
- Tính toán lưới điện bỏ qua điện kháng của đường dây.
- Không xét đến các yếu tố tác động của môi trường vào lưới điện.
- Chưa xem xét đến ảnh hưởng của các phần tử bảo vệ cho hệ thống điện như cầu chì, dao cách ly, máy cắt....và các phần tử khác như thanh góp.

### **5.2.2 Đề xuất hướng phát triển của đề tài**

Tiếp tục xây dựng bài toán tái cấu trúc lưới điện theo hàm đa mục tiêu trong trường hợp vận hành trực tuyến và vận hành chống quá tải sự cố, khôi phục lưới điện sau sự cố.

- Xem xét bài toán tái cấu trúc LDPP với nhiều nguồn chính cung cấp.
- Tiếp tục nghiên cứu áp dụng vào vận hành lưới điện trực tuyến
- Nghiên cứu sử dụng các giải thuật khác kết hợp để rút ngắn hơn nữa thời gian và không gian tìm kiếm.

Sau cùng, mặc dù đã hết sức cố gắng, song do thời gian nghiên cứu và trình độ còn hạn chế, luận văn chắc chắn có nhiều thiếu sót, rất mong nhận được các ý kiến đóng góp của Hội Đồng, Quý Thầy Cô và các Bạn Học Viên để luận văn tăng thêm giá trị khoa học và thực tiễn. Xin chân thành cảm ơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] PGS-TS. Quyền Huy Ánh – TS. Trương Việt Anh, “*Xây dựng một giải thuật vận hành tối ưu hệ thống điện phân phối, bước đầu ứng dụng vào lưới điện trung thế của TP. Hồ Chí Minh*”, Đại học Sư phạm kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, 2004.
- [2] Phan Thị Thanh Bình – Hồ Văn Hiến – Nguyễn Hoàng Việt, “*Thiết kế hệ thống điện*”, Nhà xuất bản Đại học quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2002.
- [3] Hồ Văn Hiến, “*Hệ thống điện truyền tải và phân phối*”, Nhà xuất bản Đại học quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2005.
- [4] Trịnh Trọng Chương; Trương Việt Anh,...; *Nghiên cứu và đề xuất một số giải pháp giảm tổn thất điện năng cho LĐTĐ có kết nối nguồn thủy điện nhỏ tại tỉnh Lào Cai; Đề tài khoa học cấp Bộ Công thương*; Hà Nội 2011.
- [5] Nguyễn Minh Châu, “*Tối ưu hóa các nguồn sản xuất điện DG Trên HTĐ*”, Luận văn Thạc sĩ 2006, ĐHSPKT TPHCM.
- [6] Nguyễn Thiện Thành, “*Trí tuệ nhân tạo và Hệ chuyên gia*”, Đại học Sư phạm kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, 1996.
- [7] *Nhà máy điện và trạm biến áp*, nhiều tác giả, Nhà xuất bản KHKT 1991.
- [8] Đỗ Trung Tuấn, “*Trí tuệ nhân tạo*”, Nhà xuất bản giáo dục, 1998.
- [9] *Quy hoạch lưới điện TP. Hồ Chí Minh giai đoạn 2000 – 2005 – 2010*, Viện Năng Lượng, 1994.
- [10] *Tài liệu hướng dẫn sử dụng phần mềm PSS/Adapt – phần mềm PSS/Adapt 5.0* do hãng Power Technologies. Inc.
- [11] Trương Việt Anh – Phạm Sỹ Quốc Hưng - Quyền Huy Ánh – Nguyễn Bội Khuê, “*Giải thuật lai heuristic giảm tổn thất công suất trong lưới điện phân phối*”, tạp chí Khoa học & Công nghệ số 44+45/2003.
- [12] Trương Việt Anh - Quyền Huy Ánh – Nguyễn Bội Khuê, “*Giải thuật heuristic cực tiểu tổn thất công suất trong lưới điện phân phối*”, tạp chí KH & CN 41/2003.
- [13]



- Trương Việt Anh - Quyền Huy Ánh – Nguyễn Bội Khuê, *Hàm F và giải thuật lai heuristic vòng kín tái cấu trúc lưới điện phân phối giảm tổn thất công suất*, tạp chí Khoa học & Công nghệ số
- [14] Trương Việt Anh - Quyền Huy Ánh – Nguyễn Bội Khuê, “*Khảo sát các phương pháp vận hành hệ thống điện*”, Hội nghị Khoa học và Công nghệ lần thứ 8, 7-2002 Đại học Sư phạm kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh.
- [15] Trương Việt Anh - Quyền Huy Ánh – Nguyễn Bội Khuê, “*Tái cấu trúc lưới điện bằng quan hệ mờ*”, tạp chí Khoa học & Công nghệ số 40+41/2003.
- [16] Trương Việt Anh - Quyền Huy Ánh, “*Hệ chuyên gia vận hành hệ thống điện*”, Hội nghị Khoa học và Công nghệ lần thứ 7, 4- 1999- Đại học Sư phạm kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh.
- [17] Trương Việt Anh - Quyền Huy Ánh – Nguyễn Nhân Bôn, “*Hệ chuyên gia điều khiển điện áp trong hệ thống điện*”, tạp chí Khoa học & Công nghệ 2001.
- [18] Trương Việt Anh - Quyền Huy Ánh, “*Hệ chuyên gia thiết kế hệ thống phân phối điện*”, Tạp chí Khoa học & Công nghệ tập 2, 1999 - Đại học quốc gia TP.
- [19] HCM
- [20] Trương Việt Anh - Quyền Huy Ánh, “*Hệ chuyên gia vận hành hệ thống điện phân phối*”, tạp chí Khoa học & Công nghệ số 22/1999
- [21] Lê Kim Hùng “*Tối ưu hóa vị trí đặt và công suất phát của nguồn phân tán trên mô hình lưới điện phân phối 22kv*”, Tạp chí khoa học và công nghệ, 2008
- [22] Thông tư 32 /2010/TT-BCT, Quy định hệ thống điện phân phối, Bộ Công Thương
- Trương Quang Đăng Khoa, Phan Thị Thanh Bình, Nguyễn Minh 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, tập 10, Số 02 – 2007
- [23] A. Merlin and H. Back; *Search for a minimum loss operating spanning reconfiguration for urban power distribution system*; Proc. 5th Power Syst. Computation Conf. (PSCC), Cambridge, U.K., 1975.
- [24] Baran, M. E. and F. F. Wu; *Network Reconfiguration in Distribution Systems*

- for Loss Reduction and Load Balancing*; IEEE Transactions on Power Delivery, April 1989, pp. 1401- 1407
- [25] Civanlar...; *Distribution feeder reconfiguration for loss reduction*; IEEE Trans. PWRD, Vol-3, July 1988.
- [26] G. Celli; *Online network reconfiguration for loss reduction in distribution networks with distributed generation*; 18th International Conference on Electricity Distribution; CIRED - Turin, 6-9 June 2005.
- [27] *Shaw Power Technologies\_Inc* (2004), PSS-ADEPT\_User Manual, New York
- [28] T.V. Anh, Viet. N.H; *An effective algorithm for loss reduction by reconfiguration of distribution feeder* ; The 2004 International Symposium on Advanced Science and Engineering; HCM city 5/2004
- [29] N. Rugthaicharoencheep and S. Sirisumrannukul, “*Feeder Reconfiguration for Loss Reduction in Distribution System with Distributed Generators by Tabu Search*” International Journal 3 (2009)
- [30] Nattachote Rugthaicharoencheep\* Supawud Nedphograw and Srisak Noyraiphoom “*Network reconfiguration for loss reduction and improved voltage profile in distribution system with distributed generation using genetic algorithm*”
- [31] Enrique López, Hugo Opazo “*Online reconfiguration considering variability demand: applicationsto real networks*” IEEE transactions on power systems, vol. 19, no. 1, february 2004
- [32] Alireza Soroudi , Mehdi Ehsan “*A Heuristic method for distributed eneration placement in distribution networks*” [International Power System Conference 2010](#)
- [33] T. N. Shukla “*Allocation of optimal distributed generation using GA for minimum system losses in radial distribution networks*”
- [34] Hsiao-Dong Chiang, Renk Jean-Jumeau “*Optimal Network Reconfigurations in Distribution Systems*”

## PHỤ LỤC 4.1

### Thông số lưới điện 16 bus của G Celli

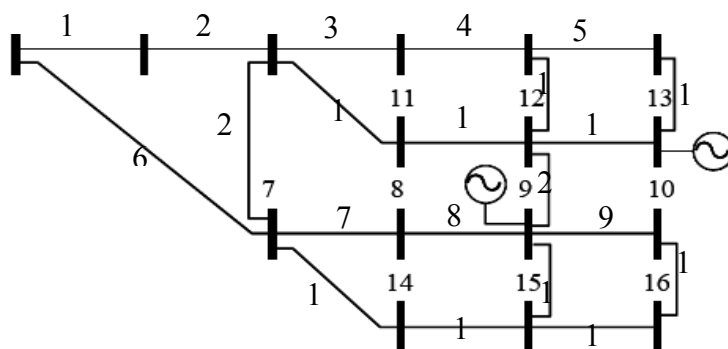
**Bảng 4.1.1:** Thông số nhánh

Tên nhánh	Từ nút đến nút	Rnh ( $\Omega$ )	Tên nhánh	Từ nút đến nút	Rnh ( $\Omega$ )	Tên nhánh	Từ nút đến nút	Rnh ( $\Omega$ )
1	1-2	0.4368	8	8-9	0.52	15	11-12	0.4108
2	2-3	0.5148	9	9-10	0.3588	16	12-13	0.286
3	3-4	0.624	10	9-15	0.3068	17	5-12	0.1976
4	4-5	0.13	11	7-14	0.2511	18	6-13	0.3276
5	5-6	0.156	12	14-15	0.4264	19	10-16	0.0104
6	1-7	0.1058	13	15-16	0.1664	20	9-12	0.3744
7	7-8	0.2052	14	3-11	0.364	21	3-7	0.1269

**Bảng 4.1.2:** Thông số tải tại các bus

Nút	P(kW)	Nút	P(kW)	Nút	P(kW)	Nút	P(kW)
1	Slack	5	260	9	420	13	360
2	660	6	100	10	100	14	210
3	820	7	800	11	500	15	440
4	400	8	1000	12	1540	16	860

**Sơ đồ lưới điện 16 bus 2 DG công suất 450kW (nút 9) và 630kW (nút 13)**



Hình 4.1.1. Sơ đồ lưới điện 16 bus 2 DG

**Bảng 4.1.3:** Kết quả tính toán.

Stt	Khoá mở	$\Delta P$ (kW)	DG1-bus 9 (kW)	DG2-bus 13 (kW)	Ghi chú
1	2, 8, 9, 15, 16, 20	114.71	0	0	Không có DG
2	2, 8, 10, 15, 18, 20	76.1	450	630	Có cả 2 DG
3	2, 8, 10, 15, 16, 20	102.6	450	0	DG1 làm việc và DG2 nghỉ
4	2, 9, 10, 15, 18, 20	82.9	0	630	DG1 nghỉ và DG2 làm việc

## PHỤ LỤC 4.2

### Thông số lưới điện 33 bus của Srisak

**Bảng 4.2.1:** Thông số nhánh

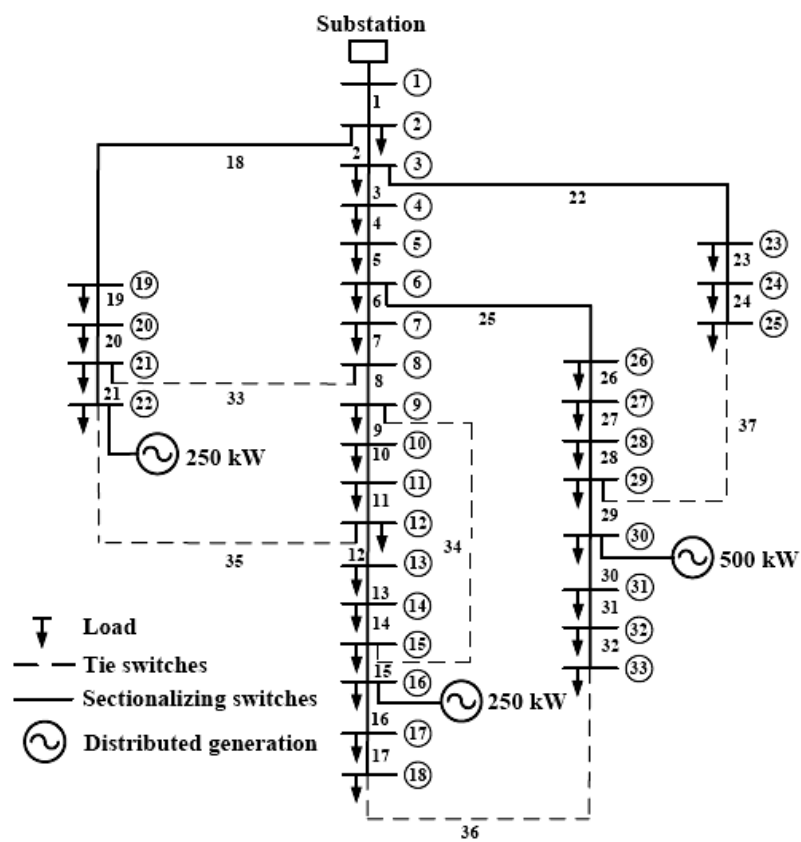
	Từ Bus	Đến Bus	R( $\Omega$ )	Bus	Từ Bus	Đến Bus	R( $\Omega$ )
1	1	2	0.0922	20	20	21	0.4095
2	2	3	0.493	21	21	22	0.7089
3	3	4	0.3661	22	3	23	0.4512
4	4	5	0.3811	23	23	24	0.898
5	5	6	0.819	24	24	25	0.8959
6	6	7	0.1872	25	6	26	0.2031
7	7	8	0.7115	26	26	27	0.2842
8	8	9	1.0299	27	27	28	1.0589
9	9	10	1.044	28	28	29	0.8043
10	10	11	0.1967	29	29	30	0.5074
11	11	12	0.3744	30	30	31	0.9745
12	12	13	1.468	31	31	32	0.3105
13	13	14	0.5416	32	32	33	0.3411
14	14	15	0.5909	34	8	21	2
15	15	16	0.7462	36	9	15	2
16	16	17	1.2889	35	12	22	2
17	17	18	0.732	37	18	33	0.5
18	2	19	0.164	33	25	29	0.5
19	19	20	1.5042				

**Bảng 4.2.2:** Thông số tải ở các bus

Bus	P <sub>L</sub> (kW)	Q <sub>L</sub> (kvar)	Bus	Q <sub>L</sub> (kvar)	P <sub>L</sub> (kW)
2	100	60	18	90	90
3	90	40	19	90	90
4	120	80	20	90	90
5	60	30	21	90	90
6	60	20	22	90	90
7	200	100	23	90	90
8	200	100	24	420	420
9	60	20	25	420	420
10	60	20	26	60	60
11	45	30	27	60	60

12	60	35	28	60	60
13	60	35	29	120	120
14	120	80	30	200	200
15	60	10	31	150	150
16	60	20	32	210	210
17	60	20	33	60	60

Sơ đồ lưới điện của Srisak có 3 DG nút 16, 22, 30 với công suất DG phát lên lưới lần lượt là 250kW, 250kW và 500kW



Hình 4.2.1. Sơ đồ lưới điện 16 bus 2 DG

**Bảng 4.2.3:** Kết quả tái cấu trúc.

Không có DG		Có DG	
Số lần thao tác	Srisak [30]	Số lần thao tác	Srisak [30]
1	35 → 11	1	35 → 9
2	36 → 32	2	36 → 32
3	37 → 27	3	37 → 28
K. mở	33,34,11, 32,27	K. mở	33,34, 9, 32, 28
$\Delta P \%$	25.3	$\Delta P\%$	26.67

## PHỤ LỤC 4.3

**Bảng 4.3.1: Kết quả giải thuật đề xuất khi lưới điện 33 bus không có DG**

tên nhánh	Từ nút	đến nút	Rnh (Ω)	Dòng kin (A)	Lập 1					Lập 2					Lập 3					Lập 4					Lập 5				
					V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
N1	1	2	0.0922	195.5																									
N2	2	3	0.493	130.3	1		1			1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N3	3	4	0.3661	58.7	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N4	4	5	0.3811	52	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N5	5	6	0.819	48.9	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N6	6	7	0.1872	18.5	1		1	1		1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N7	7	8	0.7115	8	1		1	1		1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N8	8	9	1.0299	18			1	1			1	1				1	1				1	1				1	1		
N9	9	10	1.044	1.5		1	1	1			1				1					1					1				
N10	10	11	0.1967	1.6		1	1	1				1				1	1				1	1				1	1		
N11	11	12	0.3744	4		1	1	1				1				1	1				1	1				1	1		
N12	12	13	1.468	13.4		1		1			1		1			1				1						1			
N13	13	14	0.5416	10.1		1		1			1		1			1				1						1			
N14	14	15	0.5909	3.5		1		1			1		1			1				1					1				
N15	15	16	0.7462	14				1				1					1				1					1			
N16	16	17	1.2889	11				1				1					1				1					1			
N17	17	18	0.732	8.1				1				1					1				1					1			
N18	2	19	0.164	59.8	1		1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1		
N19	19	20	1.5042	55.2	1		1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1		
N20	20	21	0.4095	50.6	1		1			1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1		
N21	21	22	0.7089	25.4			1					1	1				1	1				1	1			1	1		
N22	3	23	0.4512	67					1					1				1				1					1		
N23	23	24	0.898	62.2					1					1				1				1					1		
N24	24	25	0.8959	42.2				1					1				1				1						1		
N25	6	26	0.2031	27.4				1	1				1	1			1	1			1	1				1	1		
N26	26	27	0.2842	24.3				1	1				1	1			1	1			1	1				1	1		
N27	27	28	1.0589	21.3				1	1				1	1			1	1			1	1				1	1		
N28	28	29	0.8043	18.3				1	1				1	1			1	1			1	1				1	1		
N29	29	30	0.5074	29.7				1					1				1				1					1			
N30	30	31	0.9745	19.1				1					1				1				1					1			
N31	31	32	0.3105	11.2				1					1				1				1					1			
N32	32	33	0.3411	0.1				1					1				1				1					1			
N33	8	21	0.5	20.6	1					1				1				1						1					
N34	9	15	2	13.5		1					1				1		1			1			1		1				
N35	12	22	2	20.7				1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		1	1	1		
N36	18	33	2	3.4				1					1				1				1				1				
N37	25	29	0.5	18.1					1					1				1				1				1			
Khóa mở hiện hữu					N33	N34	N35	N36	N37	N33	N34	N9	N36	N37	N33	N14	N9	N36	N37	N33	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37
Khóa có l min					N7	N9	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37
R loop					5.54	6.22	10.39	15.40	6.66	5.54	12.67	10.39	18.20	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66
Mức giảm hàm F					2665	5616	10889	2738	0	2665	6102343	0	3828	0	2665	0	0	3815	0	2665	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Xếp hạng					3	2	1	4	5	3	1	4	2	4	2	3	3	1	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Khóa đóng/mở					N35 / N9					N34 / N14					N36 / N32					N33 / N7					Kết thúc chuyển tải				

Các khóa mở là: K9, K14, K32, K7, K37 nên tổn thất công suất từ  $\Delta P_{gd1} = \Delta P_{gd2} = 112.74\text{kW}$

**Bảng 4.3.2. Kết quả giải thuật đề xuất khi lưới điện 33 bus có 3 DG kết nối**

tên nhánh	Từ nút	đến nút	Rnh (Ω)	Dòng kin (A)	Lấp 1					Lấp 2					Lấp 3					Lấp 4					Lấp 5				
					V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
N1	1	2	0.0922	163																									
N2	2	3	0.493	111.2	1		1			1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N3	3	4	0.3661	49	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N4	4	5	0.3811	42	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N5	5	6	0.819	39.1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N6	6	7	0.1872	13.2	1		1	1		1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N7	7	8	0.7115	3.5	1		1	1		1	1	1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		
N8	8	9	1.0299	11.6			1	1			1	1				1	1				1	1				1	1		
N9	9	10	1.044	0.9		1	1	1				1					1					1				1			
N10	10	11	0.1967	3.3		1	1	1									1	1				1	1			1	1		
N11	11	12	0.3744	5.6		1	1	1					1				1	1				1	1			1	1		
N12	12	13	1.468	10.5		1		1			1		1							1					1				
N13	13	14	0.5416	7.2		1		1			1		1							1					1				
N14	14	15	0.5909	0.5		1		1			1		1							1					1				
N15	15	16	0.7462	6.9				1					1					1				1				1			
N16	16	17	1.2889	13.7				1					1					1				1				1			
N17	17	18	0.732	10.7				1					1					1				1				1			
N18	2	19	0.164	46.8	1		1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N19	19	20	1.5042	42.3	1		1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N20	20	21	0.4095	37.7	1		1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
N21	21	22	0.7089	14.4			1					1	1				1	1			1	1			1	1			
N22	3	23	0.4512	57.7					1					1					1				1				1		
N23	23	24	0.898	52.9					1					1					1				1				1		
N24	24	25	0.8959	31.1					1					1					1				1				1		
N25	6	26	0.2031	23.1				1	1				1	1				1	1			1	1			1	1		
N26	26	27	0.2842	20.1				1	1				1	1				1	1			1	1			1	1		
N27	27	28	1.0589	17				1	1				1	1				1	1			1	1			1	1		
N28	28	29	0.8043	14.2				1	1				1	1				1	1			1	1			1	1		
N29	29	30	0.5074	17.4				1					1					1				1				1			
N30	30	31	0.9745	16.3				1					1					1				1				1			
N31	31	32	0.3105	8.5				1					1					1				1				1			
N32	32	33	0.3411	2.9				1					1					1				1				1			
N33	8	21	0.5	19.4		1				1				1				1				1			1				
N34	9	15	2	8.7			1				1				1				1			1			1				
N35	12	22	2	19.2				1			1	1	1			1	1	1			1	1	1		1	1	1		
N36	18	33	2	6					1					1				1				1				1			
N37	25	29	0.5	9.8						1				1					1				1				1		
Khóa mở hiện hữu					N33	N34	N35	N36	N37	N33	N34	N9	N36	N37	N33	N14	N9	N36	N37	N33	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37
Khóa có l min					N7	N9	N9	N9	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37	N7	N14	N9	N32	N37
R loop					5.54	6.22	10.39	15.40	6.66	5.54	12.67	10.39	18.20	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66	5.54	12.67	10.39	18.18	6.66
Mức giảm hàm F					8690	786	29425	14230	0	8690	4250257	0	9143	0	8690	0	0	9114	0	8690	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Xếp hạng					3	4	1	2	5	3	1	4	2	4	2	3	3	1	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Khóa đóng/mở					N35 / N9					N34 / N14					N36 / N32					N33 / N7					Kết thúc chuyển tải				

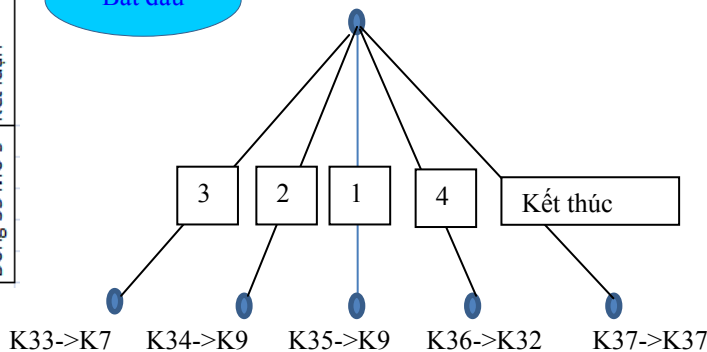
Các khóa mở là: K9, K14, K32, K7, K37 nên tổn thất công suất từ  $\Delta P_{gd1} = \Delta P_{gd2} = 73.56kW$

## Các bước lập ở lưới 33 bus có DG

Vòng	R loop	Nhánh đóng	I khoá đóng (A)	Nhánh mở	I khoá mở (A)	Giá trị $\Delta F$	Xếp hạng	Kết luận
Loop1	5.54	33	21	9	8	11,552.36	2	Đóng 35 Mở 9
Loop2	6.22	34	13	9	2	6,374.56	3	
Loop3	10.39	35	21	9	2	47,170.53	1	
Loop4	15.40	36	3	32	0	2,133.14	4	
Loop5	6.66	37	18	28	18	0.00	5	

Bắt đầu

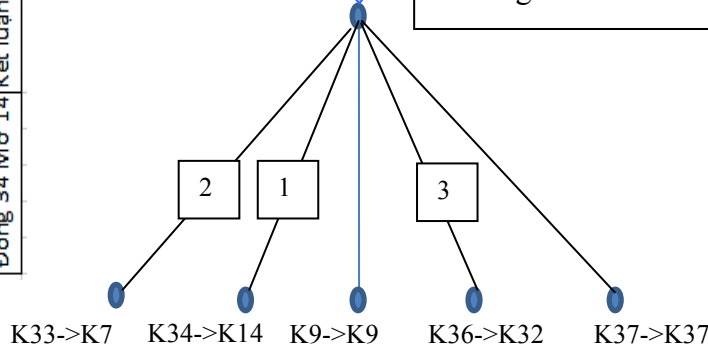
Mở k33, k34, k35, k36, k37



Lập 1

Vòng	R loop	Nhánh đóng	I khoá đóng (A)	Nhánh mở	I khoá mở (A)	Giá trị $\Delta F$	Xếp hạng	Kết luận
Loop1	5.54	33	21	9	8	11,552.36	2	
Loop2	13.37	34	13	14	2	29,516.51	1	
Loop3	35 -> 9							
Loop4	18.20	36	3	32	0	2,982.60	3	
Loop5	6.66	37	18	28	18	0.00	4	

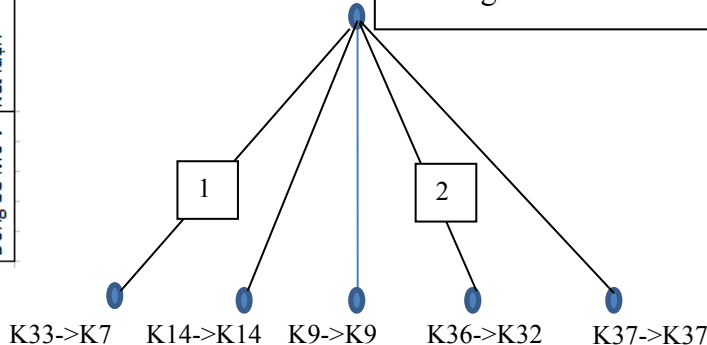
Đóng k35 và mở k9



Lập 2

Vòng	R loop	Nhánh đóng	I khoá đóng (A)	Nhánh mở	I khoá mở (A)	Giá trị $\Delta F$	Xếp hạng	Kết luận
Loop1	5.54	33	21	9	8	11,552.36	1	Đóng 33 Mở 7
Loop2	34 ->14							
Loop3	35 -> 9							
Loop4	18.18	36	3	32	0	2,972.98	2	
Loop5	6.66	37	18	28	18	0.00	3	

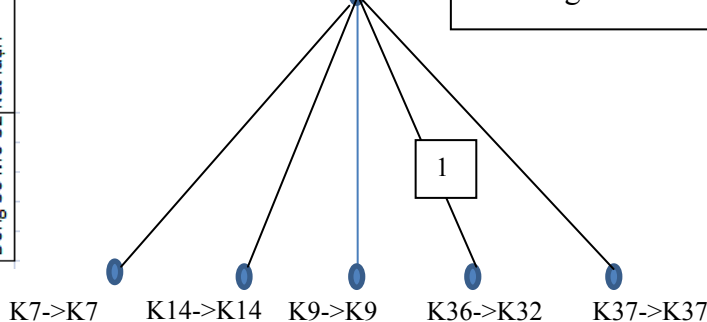
Đóng k34 và mở k14



Lập 3

Vòng	R loop	Nhánh đóng		I khoá đóng (A)	Nhánh mở		I khoá mở (A)	Giá trị $\Delta F$	Xếp hạng	Kết luận
Loop1	33 -> 7									
Loop2	34 ->14									
Loop3	35 -> 9									
Loop4	18.18	36	3	32	0	2,972.98	1			
Loop5	6.66	37	18	28	18	0.00	2			

Đóng k33 và mở k7



Lập 4

Đóng k36 và mở k32

Kết thúc



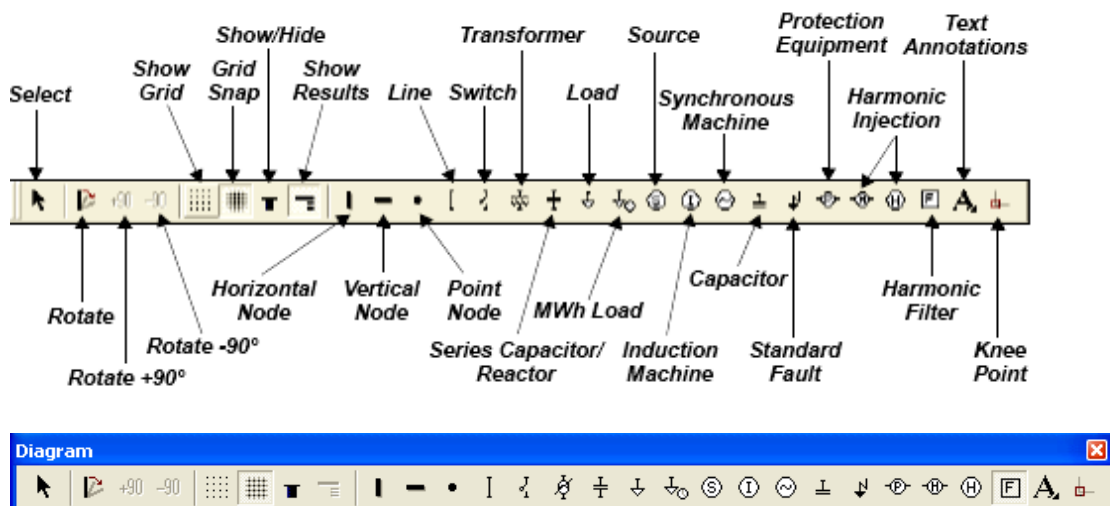
## PHỤ LỤC 4.4

### Tái cấu trúc LDPP sử dụng PSS/ADEPT 5.0

#### 4.4.1. Dữ liệu các phần tử lưới điện

Phần mềm PSS/ADEPT 5.0 cung cấp đầy đủ các công cụ giúp người sử dụng mô phỏng lưới điện cần tính toán. Xem thanh công cụ diagram dưới đây, ta thấy các phần tử lưới điện được mô hình hoá gồm:

1. Nút Source.
2. Nút tải: Gồm tải tĩnh và tải MWh
3. Line
4. Switch
5. Máy biến áp
6. Động cơ điện: Gồm đồng bộ, không đồng bộ
7. Thiết bị bảo vệ: Relay, Recloser, Fuse,...
8. Sóng hài.
9. Thông số đầu vào cho bài toán độ tin cậy.

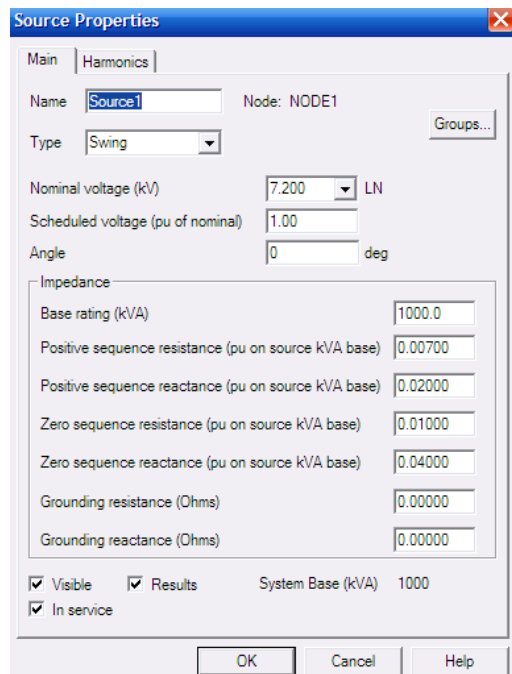


Hình 4.4.1.1 Hình dạng các thanh công cụ trong PSS/ADEPT

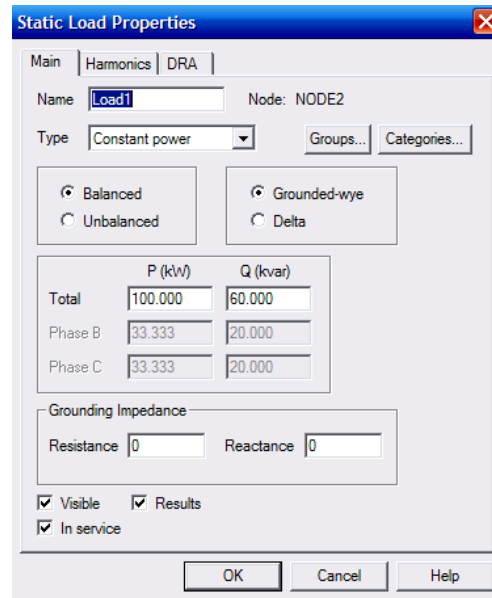
#### 4.4.2. Số liệu cần chuẩn bị

##### Số liệu nhập vào nút nguồn: Hình 4.4.2.1

Các giá trị điện trở, điện kháng thứ tự thuận, nghịch, zero,...



Hình 4.4.2.1 Số liệu nút nguồn



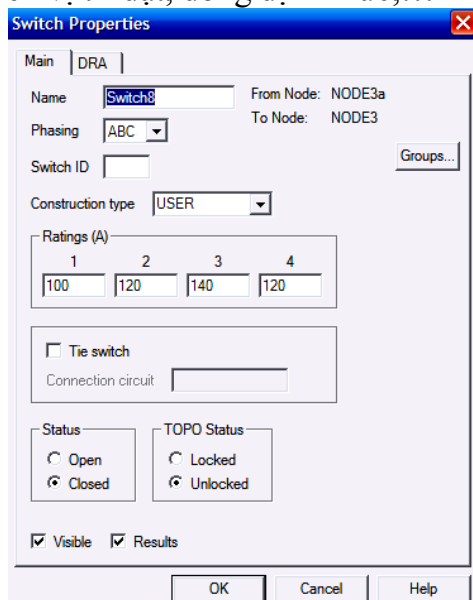
	P (kW)	Q (kvar)
Total	100.000	60.000
Phase B	33.333	20.000
Phase C	33.333	20.000

Hình 4.4.2.2 Số liệu nút tải

##### Số liệu nhập vào nút tải. Hình 4.4.2.2

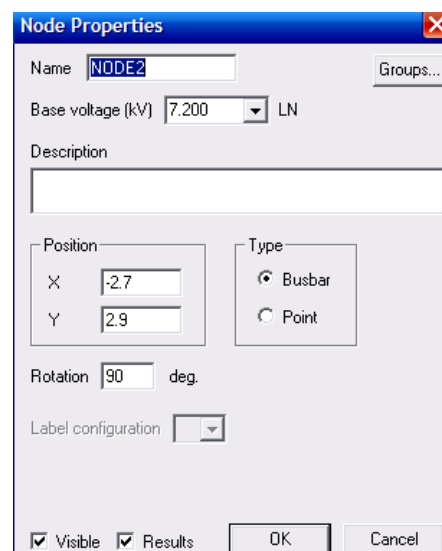
##### Số liệu nhập vào thiết bị đóng cắt: Hình 4.4.2.3

Tên vị trí đặt, dòng định mức,...



	1	2	3	4
Ratings (A)	100	120	140	120

Hình 4.4.2.3. Số liệu thiết bị đóng cắt



Hình 4.4.2.4. Số liệu nút

**Số liệu cần nhập vào nút:** Hình 4.4.2.4

Tên vị trí đặt, điện áp định mức,...

**Số liệu cần chuẩn bị nhập vào đoạn dây:** Hình 4.4.2.5

Tên đoạn, số pha, chiều dài, dòng định mức, loại dây, thông số đường dây,...

The image shows two side-by-side screenshots of software windows. The left window is titled 'Line Properties' and has tabs for 'Main', 'Harmonics', and 'DRA'. The 'Main' tab is active, showing fields for 'Name' (Line42), 'From Node' (NODE3), 'To Node' (NODE23a), 'Phasing' (ABC), 'Line length' (1), and 'Construction type' (USER). Below these are impedance and admittance values for positive and zero sequences, and a 'Ratings (A)' section with four input fields (280, 300, 320, 340). The right window is titled 'Analysis Options' and has tabs for 'General', 'Load Flow', 'Short Circuit', 'Motor Starting', 'Reports', 'CAPO', 'TOPO', 'DRA', and 'Harmonics'. The 'General' tab is active, showing 'Voltage Thresholds' (High: 1.05 pu, Low: 0.95 pu), 'Rating Limits' (Branch rating index: 1, Loading: 100%), and 'MWH Load Linearization' (Linearize by Tree, Linearize by Group, B-Factor: 0.885, Apply scale factor: checked). There are also sections for 'Voltage Unbalance' and 'Current Unbalance' with various radio button options and upper limit percentages.

Hình 4.3.2.6. Số liệu giới hạn U, I

Hình 4.4.2.5 Số liệu đoạn dây

**Số liệu chuẩn bị cho giới hạn điện áp, dòng điện trên LDPP.** Hình 4.3.2.6.

#### 4.4.4. TOPO Analysis: Tính toán điểm dừng tối ưu

Bài toán TOPO (Tie Open Point Optimization) sẽ phân tích, tính toán, định hình hệ thống hình tia để có tổn thất công suất tác dụng nhỏ nhất, đóng khóa để hình thành mạng vòng trong hệ thống, tách riêng điện kháng trong mạng vòng và giải hệ thống điện, mở khóa mạng vòng với dòng nhỏ nhất. TOPO thực hiện cho đến khi mở khoá cũng giống như đóng khoá.

The image shows a screenshot of the 'Analysis Options' window with the 'TOPO' tab selected. The 'General' tab is also visible. The 'TOPO' tab contains a checkbox for 'Consider branch overload limits' (unchecked), a 'Selected rating index' field (1), and a 'Load snapshots to consider' section with a checkbox for 'Base' (checked).

Hình 4.4.4.1. Đặt tùy chọn cho TOPO

### Đặt các tùy chọn cho bài toán TOPO

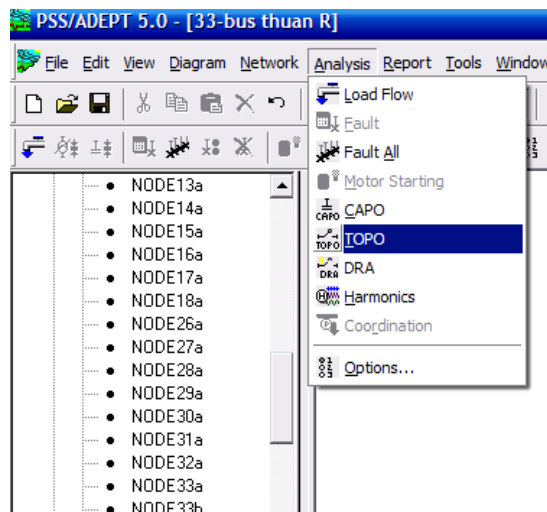
Chọn Analysis>Options, chọn Tag TOPO, ta có hộp thoại. Hình 4.4.4.1

Khi ta chọn Consider branch overload limits, TOPO sẽ tính toán cho tất cả các nhánh quá tải trước đó. Trong hộp thoại Option này, ta có thể chọn những đồ thị phụ tải mà ta cần tính toán (đã tạo trong Category).

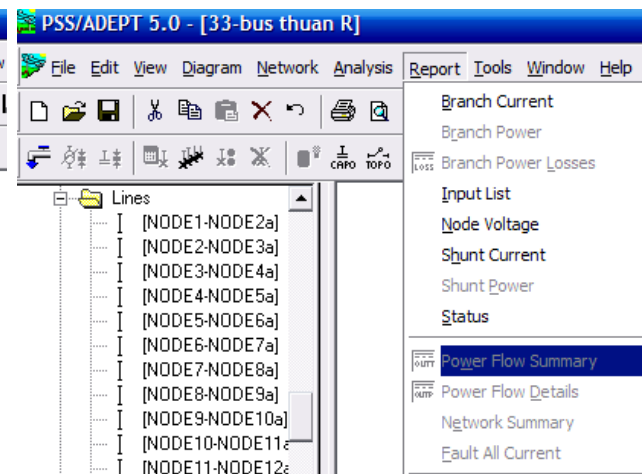
### Tính toán TOPO

Với một lưới điện hình tia ban đầu, TOPO sẽ đóng một khoá điện trong tập các khoá điện mở để tạo thành một mạch vòng kín. Một bài toán phân bố tối ưu công suất sẽ được thực hiện trên mạch vòng này để xác định việc mở khóa nào là tốt nhất và chuyển mạng điện trở về lại dạng lưới điện hình tia. Quá trình này sẽ kết thúc cho đến khi xét hết khoá điện trong tập các khoá điện mở, lúc này trình con TOPO sẽ kết thúc. Cấu trúc lưới điện cuối cùng sẽ là cấu trúc có tổn thất công suất tác dụng bé nhất.

Chọn Analysis>TOPO. Hình 4.4.4.2



Hình 4.4.4.2: Tính toán TOPO



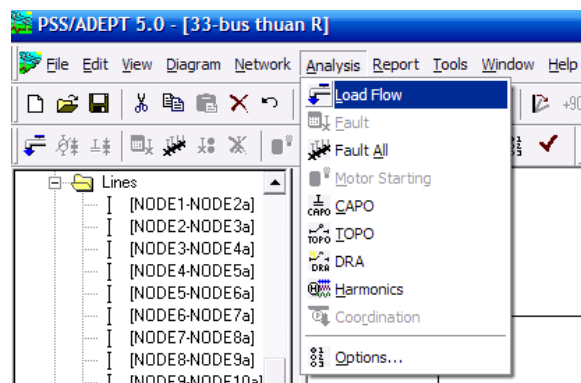
Hình 4.4.4.3: Xem kết quả tính toán từ phần report

Xem kết quả tính toán chi tiết từ phần report. Hình 4.4.4.3

#### 4.4.5. Tính phân bố công suất

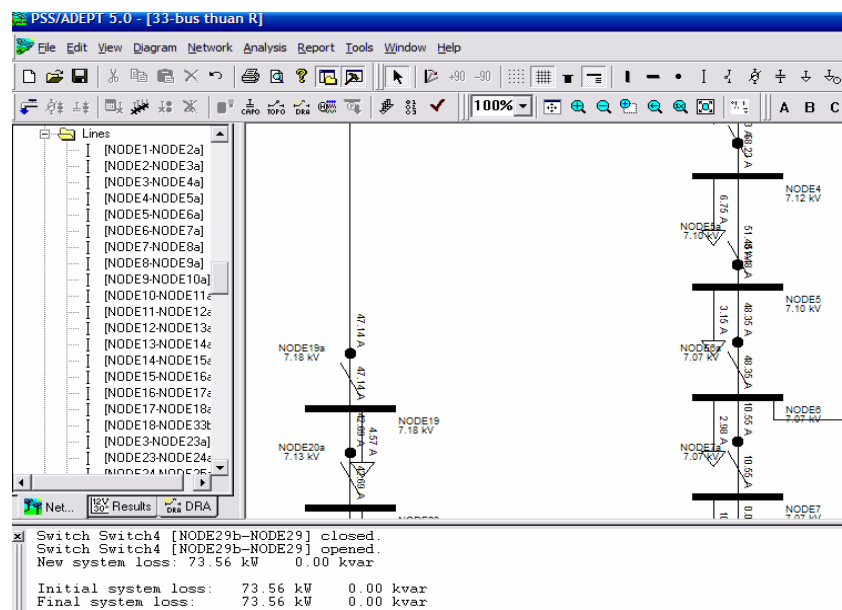
Phần mềm PSS/ADEPT giải bài toán phân bố công suất. Hệ thống điện được thể hiện dưới hình thức sơ đồ một pha nhưng chúng bao gồm đầy đủ thông tin cho lưới ba pha. Các thông tin có được từ bài toán phân bố công suất là trị số điện áp và góc pha tại các nút, dòng công suất tác dụng và công suất phản kháng trên các nhánh và trực chính, tổn thất công suất tác dụng và công suất phản kháng trong mạng điện, vị trí đầu phân áp của các máy biến áp trong trường hợp giữ điện áp tại một nút nào đó trong một giới hạn cho phép...

**Chọn Analysis>load flow. Hình 4.4.5.1**



Hình 4.4.5.1: Tính toán phân bố công suất

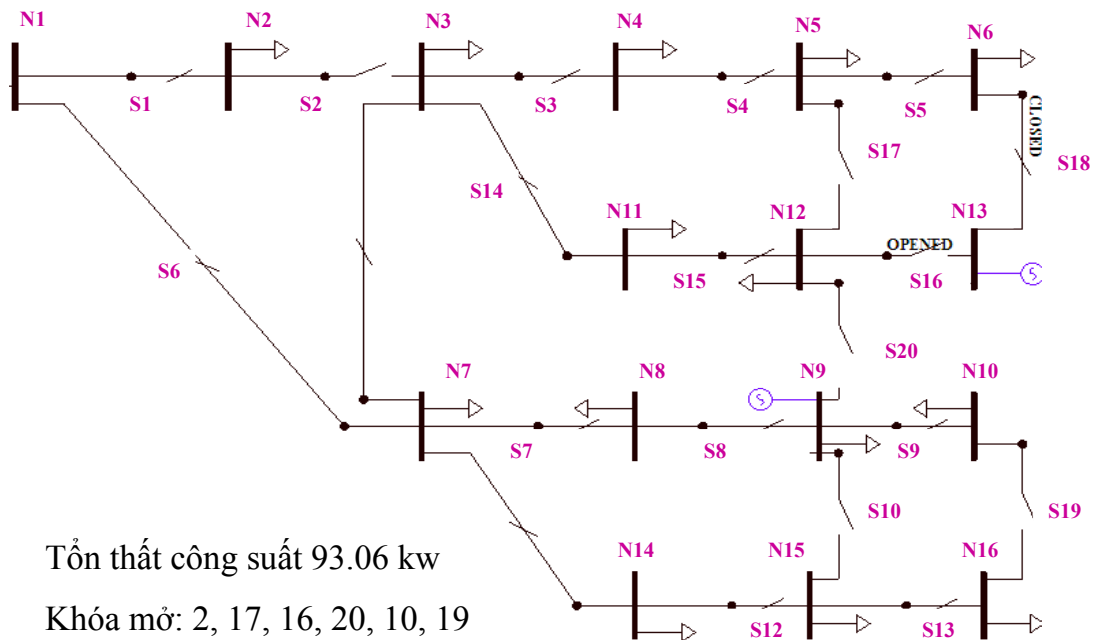
**Xem kết quả tính phân bố công suất. Hình 4.4.5.2**



Hình 4.4.5.2: Xem kết quả tính toán phân bố công suất

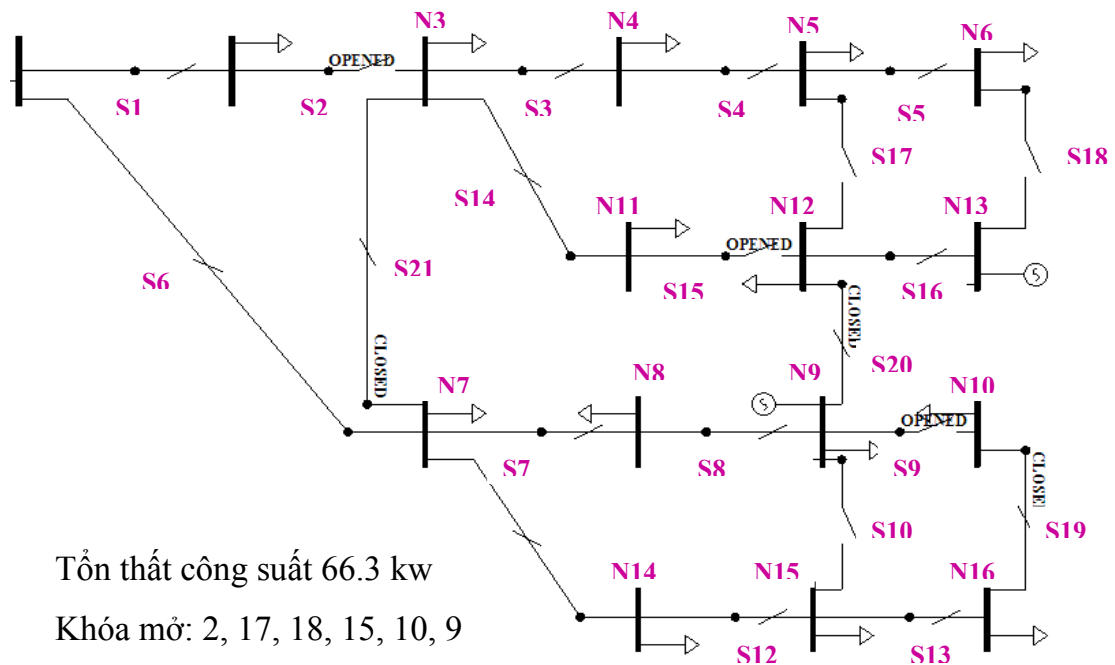
#### 4.4.6. Kết quả tái cấu trúc trên LDPP 16 bus sử dụng PSS/ADEPT 5.0

##### - Tái cấu trúc LDPP 16 bus trường hợp không có DG



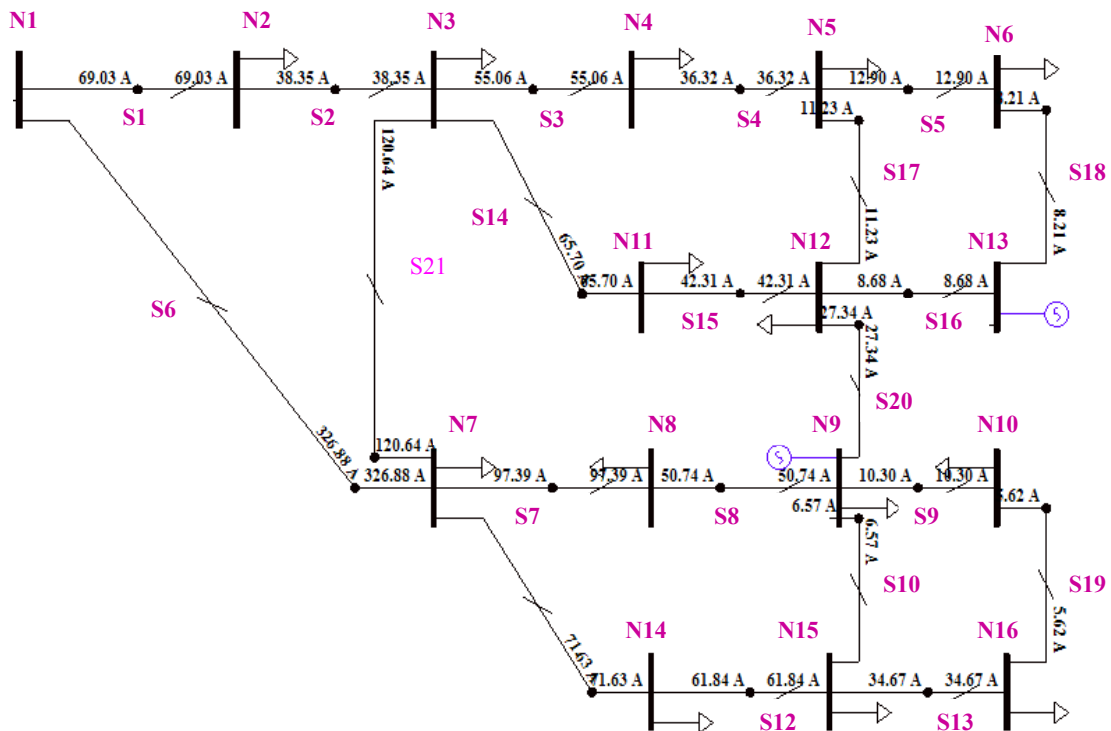
Hình 4.4.6.1: Kết quả tái cấu trúc LDPP 16 bus không có DG

##### - Tái cấu trúc LDPP 16 bus trường hợp có 2 DG



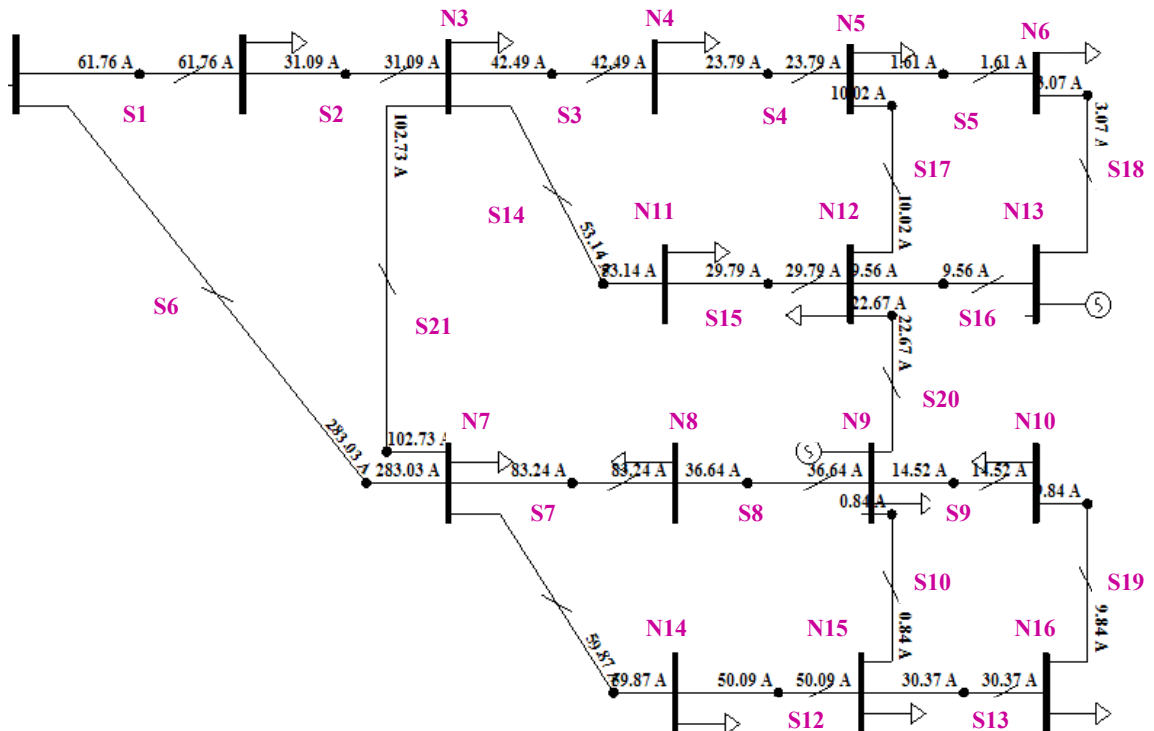
Hình 4.4.6.2: Kết quả tái cấu trúc LDPP 16 bus có DG

**- Tính PBCS trong LDPP kín 16 bus trường hợp không có DG**



Hình 4.4.6.3: Kết quả tính PBCS trên LDPP 16 bus không có DG

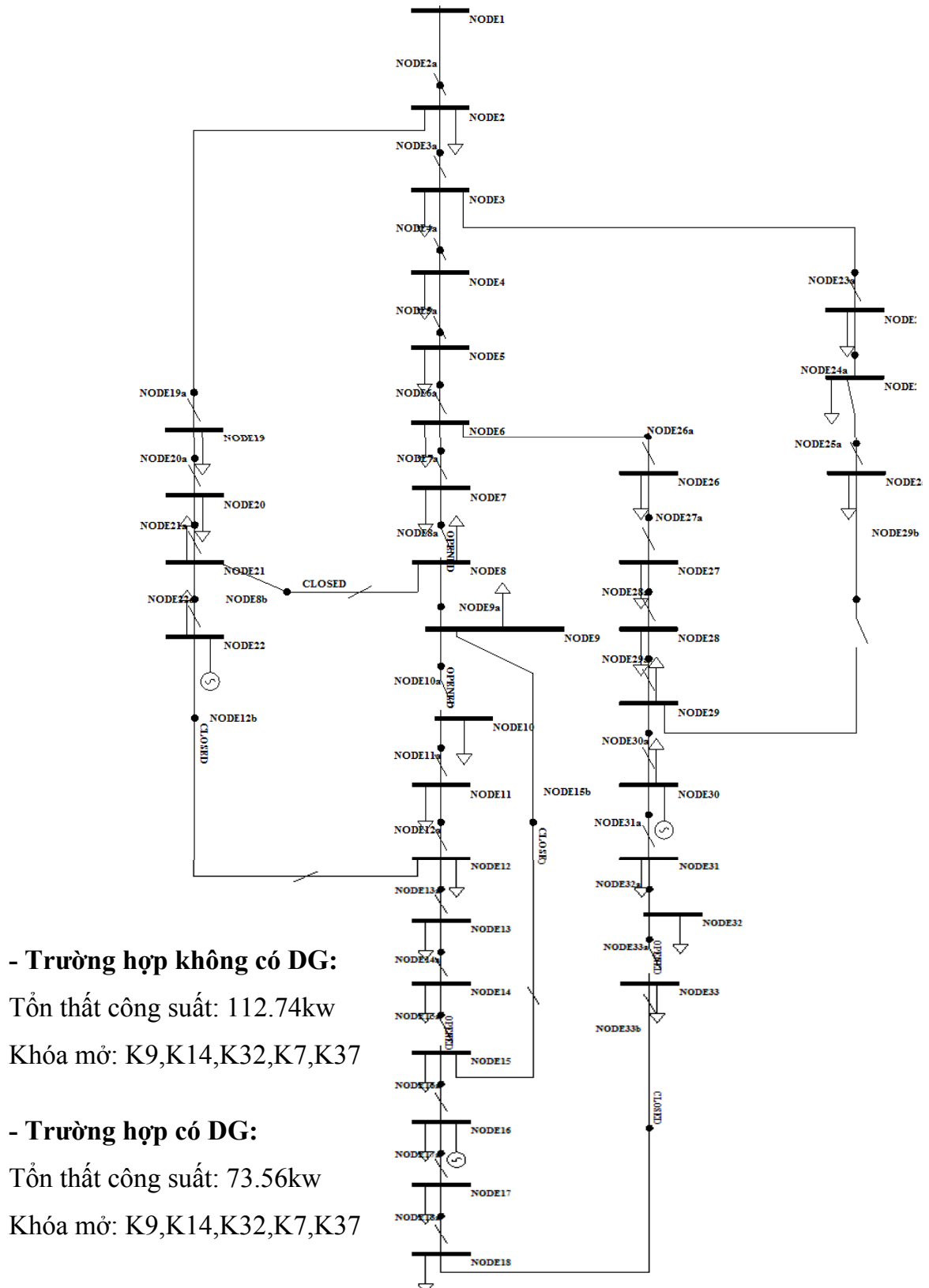
**- Tính PBCS trong LDPP kín 16 bus trường hợp có DG**



Hình 4.4.6.4: Kết quả tính PBCS trên LDPP 16 bus có DG

#### 4.4.7. Kết quả tái cấu trúc trên lưới 33 bus sử dụng PSS/ADEPT 5.0

##### - Trường hợp có và không có DG



Hình 4.4.7.1: Kết quả tái cấu trúc LĐPP 33 bus



**- Tính PBCS trong LĐPP kín 33 bus trường hợp không có DG**



Hình 4.4.7.2: Tính PBCS trong LĐPP kín 33 bus trường hợp không có DG

- Tính PBCS trong LDPP kín 33 bus trường hợp có DG



Hình 4.4.7.3: Tính PBCS trong LDPP kín 33 bus trường hợp có DG