

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

LÊ TRỌNG NGHĨA

**NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP CẢI TIẾN SA THẢI PHỤ TẢI
TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ
NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN**

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 08/2020

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

LÊ TRỌNG NGHĨA

**NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP CẢI TIẾN SA THẢI PHỤ TẢI
TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN
NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN - 9520201**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. QUYỀN HUY ÁNH

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS. TS. PHAN THỊ THANH BÌNH

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 08/2020

Số: 2418/QĐ-ĐHSPKT

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 03 tháng 10 năm 2016

QUYẾT ĐỊNH

V.v giao đề tài luận án và người hướng dẫn nghiên cứu sinh khóa 2016-2019

HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH

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

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

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

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

Xét nhu cầu công tác và khả năng cán bộ;

Xét đề nghị của Trưởng phòng Đào tạo,

QUYẾT ĐỊNH:

Điều 1. Giao đề tài luận án tiến sĩ và người hướng dẫn cho:

Nghiên cứu sinh : *Lê Trọng Nghĩa*

Ngành : *Kỹ thuật điện*

Khoá: 2016 – 2019

Tên luận án : *Nghiên cứu phương pháp điều khiển khiển khiển cấp sa thải phụ tải trong hệ thống điện*

Người HD thứ nhất (HD chính) : *PGS.TS Quyền Huy Ánh*

Người HD thứ hai : *PGS.TS Phan Thị Thanh Bình*

Thời gian thực hiện : *03/10/2016 đến 03/10/2019*

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

Điều 3. Trưởng các đơn vị, phòng Đào tạo, các Khoa quản ngành tiến sĩ và các Ông (Bà) có tên tại Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành quyết định này.

Quyết định có hiệu lực kể từ ngày ký. /.

Nơi nhận :

- BGH (để biết);
- Như điều 2, 3;
- Lưu: VT, SDH (4b).



Số: 1004/Đ-QĐ-ĐHSPKT

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 05 tháng 6 năm 2018

QUYẾT ĐỊNH

Về việc đổi tên luận án cho nghiên cứu sinh khóa 2016

HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH

Căn cứ Quyết định số 426/TTg ngày 27 tháng 10 năm 1976 của Thủ tướng Chính phủ về một số vấn đề cấp bách trong mạng lưới các trường đại học và Quyết định số 118/2000/QĐ-TTg ngày 10 tháng 10 năm 2000 của Thủ tướng Chính phủ về việc tổ chức lại Đại học Quốc gia Thành Phố Hồ Chí Minh, tách Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh trực thuộc Bộ Giáo dục và Đào tạo;

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

Căn cứ Quyết định số 937/QĐ-TTg ngày 30 tháng 6 năm 2017 về việc phê duyệt đề án thí điểm đổi mới cơ chế hoạt động của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh;

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

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

Xét nhu cầu công tác và khả năng cán bộ;

Xét đề nghị của nghiên cứu sinh và Trưởng phòng Đào tạo,

QUYẾT ĐỊNH

Điều 1: Đổi tên luận án tiến sĩ cho:

Nghiên cứu sinh : **Lê Trọng Nghĩa**

Ngành : Kỹ thuật điện

Khoá: 2016 - 2019

Tên luận án mới : **Nghiên cứu phương pháp cải tiến sa thải phụ tải trong hệ thống điện**

Người HD thứ nhất (HD chính): **PGS.TS Quyền Huy Ánh**

Người HD thứ hai : **PGS.TS Phan Thị Thanh Bình**

Thời gian thực hiện : **03/10/2016 đến 03/10/2019**

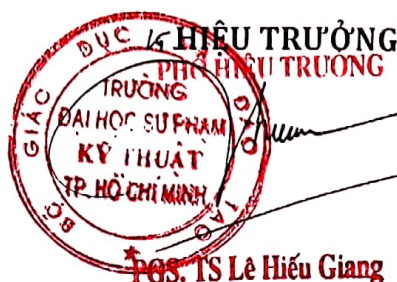
Điều 2: Giao cho Phòng Đào tạo quản lý, thực hiện theo đúng Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ của Bộ Giáo dục & Đào tạo đã ban hành.

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

Quyết định có hiệu lực kể từ ngày ký. *W*

Nơi nhận:

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



LỜI CAM ĐOAN

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

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 07 tháng 2 năm 2020

Tác giả luận án

Lê Trọng Nghĩa

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến thầy PGS. TS. Quyền Huy Ánh - Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM và cô PGS. TS. Phan Thị Thanh Bình - Đại học Bách Khoa Tp. HCM đã tận tình hướng dẫn và giúp đỡ tôi trong suốt quá trình nghiên cứu, thực hiện luận án.

Tác giả cũng xin chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh, Phòng Đào tạo - bộ phận quản lý sau đại học, các thầy, cô thuộc Khoa Điện – Điện Tử và các đồng nghiệp trong trường đã tạo điều kiện, giúp đỡ tôi trong quá trình thực hiện luận án.

Cảm ơn gia đình đã chia sẻ, gánh vác công việc để tôi yên tâm nghiên cứu và thực hiện luận án.

Nghiên cứu sinh

Lê Trọng Nghĩa

TÓM TẮT

Tần số là thông số kỹ thuật quan trọng trong việc đánh giá chất lượng điện năng của hệ thống điện và phải được duy trì trong giới hạn quy định để đảm bảo hệ thống điện vận hành ổn định. Vì vậy, việc duy trì tần số ổn định trong giới hạn quy định luôn là mục tiêu của người thiết kế, vận hành hệ thống điện. Trên cơ sở phân tích ảnh hưởng của tần số đến hệ thống điện, các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước trước đây, cũng như thực tế việc sa thải phụ tải đang áp dụng tại Việt Nam hiện nay, luận án đã nghiên cứu và đề xuất các phương pháp sa thải phụ tải như sau:

- Nghiên cứu và đề xuất phương pháp sa thải phụ tải nhằm khôi phục ổn định tần số hệ thống điện trên cơ sở nhận dạng có/không sa thải phụ tải kết hợp với các giải thuật công nghệ trí thức như: AHP và mạng nơ-ron. Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất cho phép nhanh chóng ra quyết định lựa chọn chiến lược sa thải phụ tải hợp lý và hiệu quả để giữ ổn định tần số hệ thống điện khi có sự cố ngắn mạch xảy ra trên các thanh góp hay trên các đường dây của hệ thống điện. Bên cạnh đó, phương pháp sa thải phụ tải đề xuất có lượng công suất sa thải phụ tải ít hơn và thời gian phục hồi tần số nhanh hơn so với các phương pháp sa thải phụ tải truyền thống;

- Nghiên cứu và đề xuất phương pháp sa thải phụ tải trên cơ sở áp dụng thuật toán Fuzzy-AHP để tính toán hệ số tầm quan trọng của phụ tải và thực hiện ưu tiên sa thải phụ tải có hệ số tầm quan trọng nhỏ trước. Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất giúp khôi phục tần số về giá trị cho phép và giảm thiểu thiệt hại gây ra khi cắt điện;

- Nghiên cứu và đề xuất việc tính toán lượng công suất sa thải phụ tải có xét đến các yếu tố điều khiển sơ cấp, điều khiển thứ cấp tổ máy phát điện giúp tối thiểu lượng công suất tải phải sa thải và tần số hệ thống vẫn khôi phục về giá trị trong phạm vi cho phép;

- Nghiên cứu và đề xuất việc xác định vị trí tải cần sa thải dựa trên các khái niệm PED, VED giữa máy phát bị sự cố và các nút tải giúp khoanh vùng sự cố nghiêm trọng và sa thải phụ tải xung quanh vùng sự cố sẽ làm giảm ảnh hưởng của sự cố tới hệ thống và phương án sa thải tải sẽ hiệu quả hơn;

- Nghiên cứu và đề xuất phương pháp phân bố lượng công suất sa thải phụ tải tại các nút có xét đến các tiêu chí kinh tế như hệ số tầm quan trọng của phụ tải, và các tiêu chí kỹ thuật như PED, VED. Qua đó, việc sa thải phụ tải thỏa mãn các yêu cầu phối hợp nhiều phương pháp kinh tế-kỹ thuật.

Các phương pháp sa thải phụ tải đề xuất có thể được sử dụng trong công tác huấn luyện các điều độ viên hệ thống điện xử lý các tình huống sa thải phụ tải dựa trên các kịch bản sự cố trên hệ thống điện.

ABSTRACT

Frequency is an important specification in assessing the power quality of the electricity system and must be maintained within permissible limits to ensure the stable operation of the power system. Therefore, maintaining frequency stability within the permissible limits is always the goal of designers and operators of electricity system. Based on the analysis of the effect of frequency on the electrical system, the previous local and foreign researches, and the fact that load shedding is implemented in today's Vietnam, this thesis has achieved the following contributions:

- Proposing the load shedding method based on the combination of knowledge technology algorithms such as AHP algorithm and artificial neural network. It enables quick decisions to select reasonable and effective load shedding strategies to keep the stability of electricity system frequency when the short-circuit incidents are happened on the buses or on the lines of electricity system. In addition, the proposed load shedding method has smaller load shedding capacity and faster frequency recovery time than traditional load shedding methods;

- Proposing the load shedding method based on the application of the Fuzzy-AHP algorithm helps calculate the importance factor of the load and prioritize the less importance of load shedding. The proposed load shedding method enables to restore the frequency to permissible value and minimize potential damages when the load is cut;

- Proposing the calculation of the load shedding included in the primary and secondary control factors of the generators will minimize the amount of load shedding and restore system frequency value back to the allowable range;

- Proposing the determination of the load location to be shed based on the concept of the electrical phase distance, voltage distance between the faulty generators and the load nodes is able to locate serious incidents. The additional load shedding around the fault area reduces the impact of the incident on the system and increase the effectiveness of the load shedding;

- Proposing the distribution of the load shedding capacity at the load nodes included the economic criteria such as the importance factor of the load, and the technical criteria such as the electrical phase distance, and the voltage distance aims to assure the requirements of multi-objective constraints.

In this thesis, the proposed load shedding methods can be applied in the training of electricity system operators to handle load shedding situations based on fault scenarios on electricity system.

MỤC LỤC

TRANG

Trang Tựa	
Quyết Định Giao Đề Tài	
LÝ LỊCH CÁ NHÂN	i
LỜI CAM ĐOAN	ii
LỜI CẢM ƠN	iii
TÓM TẮT	iv
MỤC LỤC	viii
DANH SÁCH CÁC CHỮ VIẾT TẮT	xi
DANH SÁCH CÁC HÌNH	xii
DANH SÁCH CÁC BẢNG	xv
MỞ ĐẦU	1
1. Lý do chọn đề tài.....	1
2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án.....	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu.....	3
4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu.....	4
5. Đóng góp mới về mặt khoa học và ý nghĩa thực tiễn của luận án.....	4
6. Cấu trúc của luận án.....	5
Chương 1 TỔNG QUAN VỀ SA THẢI PHỤ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN	6
1.1 Tổng quan về các sự cố hệ thống điện.....	6
1.2 Khái quát về điều chỉnh tần số và sa thải phụ tải.....	9
1.3 Yếu tố lựa chọn sa thải tải.....	12
1.4 Tổng quan các công trình nghiên cứu về sa thải phụ tải.....	12
1.4.1 Sa thải phụ tải truyền thống.....	13
1.4.2 Sa thải phụ tải thích nghi.....	18
1.4.3 Phương pháp sa thải phụ tải thông minh.....	19
1.4.4 Nhận xét.....	29
Chương 2 PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN KHẨN CẤP SA THẢI PHỤ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN	32

2.1 Đặt vấn đề	32
2.2 Phương pháp điều khiển khẩn cấp sa thải phụ tải trong hệ thống điện.....	33
2.2.1 Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất	33
2.2.2 Xây dựng tập mẫu và huấn luyện mạng nơ-ron ANN1	34
2.2.3 Xây dựng chiến lược điều khiển sa thải phụ tải dựa trên thuật toán AHP	36
2.2.4 Huấn luyện mạng nơ-ron ANN2.....	41
2.2.5 Mô phỏng – Kiểm nghiệm phương pháp sa thải phụ tải đề xuất trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn	43
Chương 3 PHƯƠNG PHÁP SA THẢI PHỤ TẢI TRÊN CƠ SỞ ÁP DỤNG THUẬT TOÁN FUZZY-AHP.....	55
3.1 Đặt vấn đề	55
3.2 Kỹ thuật mờ hóa và luật hoạt động [67].....	55
3.3 Tổng quan về thuật toán Fuzzy - AHP	56
3.4 Khảo sát thử nghiệm trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn IEEE 37 bus 9 máy phát	60
Chương 4 TÍNH TOÁN LƯỢNG CÔNG SUẤT SA THẢI TỐI THIỂU CÓ XÉT ĐẾN ĐIỀU KHIỂN SƠ CẤP VÀ THỨ CẤP TỔ MÁY PHÁT ĐIỆN	81
4.1 Đặt vấn đề	81
4.2 Tổng quan về đáp ứng tần số của hệ thống điện.....	81
4.3 Quá trình điều chỉnh tần số khi có sự cố trong hệ thống điện	82
4.4 Điều chỉnh tần số sơ cấp trong hệ thống điện.....	83
4.5 Điều chỉnh tần số thứ cấp trong hệ thống điện	85
4.6 Tính toán lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu để phục hồi tần số về giá trị cho phép.....	86
4.6.1. Mục đích của việc tính toán lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu.....	86
4.6.2. Xây dựng công thức tính toán lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu .	86
4.7 Tính toán kiểm tra trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn.....	88
Chương 5 PHƯƠNG PHÁP SA THẢI PHỤ TẢI CÓ XÉT ĐẾN VIỆC PHỐI HỢP NHIỀU PHƯƠNG PHÁP	94
5.1 Đặt vấn đề	94
5.2 Phân bố lượng công suất sa thải tại các bus tải dựa trên khái niệm PED	94
5.2.1 Khái niệm khoảng cách pha PED	94

5.2.2 Thử nghiệm – kiểm tra phương pháp đề xuất trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn	97
5.3 Phân bố lượng công suất sa thải tại các nút tải dựa trên khái niệm VED	101
5.3.1 Khái niệm khoảng cách điện áp (Voltage Electrical Distance - VED)...	101
5.3.2 Thử nghiệm – kiểm tra phương pháp đề xuất trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn	102
5.4 Phương pháp sa thải phụ tải có xét đến các yếu tố phối hợp nhiều phương pháp áp dụng giải thuật mờ hóa và hệ chuyên gia	108
5.4.1 Tiêu chí 1: Hệ số tầm quan trọng của phụ tải.....	109
5.4.2 Tiêu chí 2: PED.....	110
5.4.3 Tiêu chí 3: VED	111
Chương 6 KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI	122
6.1 Các kết luận.....	122
6.2 Hướng nghiên cứu phát triển của đề tài	123
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	124
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ	134
PHỤ LỤC.....	138

DANH SÁCH CÁC CHỮ VIẾT TẮT

AHP: Analytic Hierarchy Process
ANFIS: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
ANN: Artificial neural networks
BPNN: Back Propagation Neural Network
DG: Distributed Generation
ENTSOE: European Network of Transmission System Operators for Electricity
ERCOT: Electric Reliability Council of Texas
FACTS: Flexible Alternating Current Transmission System
FLC: Fuzzy Logic Control
FRCC: Florida Reliability Coordinating Council
Fuzzy-AHP: Fuzzy-Analytic Hierarchy Process
GA: Genetic algorithm
GRNN: Generalized Regression Neural Network
ILS: Intelligent Load Shedding
LS: Load Shedding
OFGS: Over Frequency Generation Shedding
OFGT: Over Frequency Generation Trip
PED: Phase Electrical Distance
PSO: Particle Swarm Optimization
ROCOF: Rate Of Change Of Frequency
UFGT: Under Frequency Generation Trip
UFLS: Under Frequency Load Shedding
UVLS: Under Voltage Load Shedding
VED: Voltage Electrical Distance

DANH SÁCH CÁC HÌNH

HÌNH	TRANG
Hình 1.1: Tấn suất bị mất điện ở các khu vực trên thế giới.....	8
Hình 1.2: Tổng quan về các kỹ thuật sa thải phụ tải trong hệ thống điện.....	13
Hình 1.3: Sơ đồ phân cấp điều chỉnh tần số trong HTĐ Việt Nam	17
Hình 1.4: Cấu trúc tổng quát của chương trình ILS.....	21
Hình 2.1: Mô hình nguyên lý điều khiển khẩn cấp sa thải phụ tải	33
Hình 2.2: Mô hình chi tiết điều khiển khẩn cấp sa thải phụ tải	34
Hình 2.3: Sơ đồ các vùng trung tâm tải trong sơ đồ IEEE 39 bus 10 máy phát.....	35
Hình 2.4: Quan hệ độ chính xác huấn luyện và kiểm tra tương ứng với số biến đầu vào	36
Hình 2.5: Mô hình phân cấp AHP gồm các vùng trung tâm tải và các đơn vị tải...	37
Hình 2.6: Quan hệ độ chính xác huấn luyện và kiểm tra tương ứng với số biến đầu vào của các phương pháp huấn luyện mạng nơ-ron.....	43
Hình 2.7: Đồ thị tần số của hệ thống theo thời gian khi có sự cố ngắn mạch tại Bus 32	44
Hình 2.8: Góc lệch rotor của các máy phát khi có sự cố ngắn mạch tại Bus 32	45
Hình 2.9: Tần số của hệ thống theo thời gian khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 32	46
Hình 2.10: Góc lệch rotor của các máy phát sau khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 32.....	46
Hình 2.11: Tần số của hệ thống sau khi thực hiện bước sa thải phụ tải A theo phương pháp UFLS trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 32	47
Hình 2.12: Góc lệch rotor của của các máy phát sau khi thực hiện bước sa thải phụ tải A theo phương pháp UFLS trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 32.....	48
Hình 2.13: Tần số của hệ thống theo thời gian khi sa thải phụ tải theo phương pháp UFLS trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 32	49
Hình 2.14: Góc lệch rotor của các máy phát khi có sự cố ngắn mạch tại Bus 25 ...	50

Hình 2.15: Góc lệch rotor của các máy phát sau khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 25.....	51
Hình 2.16: Tần số của hệ thống theo thời gian khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 25.....	52
Hình 2.17: Tần số của hệ thống theo thời gian khi sa thải phụ tải theo phương pháp UFLS trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 25	52
Hình 3.1: Hàm thành viên của tam giác số mờ hóa tương ứng với các thang đo mức độ tầm quan trọng.....	57
Hình 3.2: Mô hình cạnh tranh giữa \tilde{M}_1 và \tilde{M}_2	59
Hình 3.3: Sơ đồ hệ thống điện IEEE 37 bus 9 máy phát với các vùng trung tâm tải	61
Hình 3.4: Tần số hệ thống trong trường hợp sự cố máy phát tại bus số 4	61
Hình 3.5: Mô hình AHP các vùng trung tâm tải và các đơn vị tải cho sơ đồ IEEE 37 Bus	63
Hình 3.6: Tần số hệ thống khi sa thải phụ tải theo phương pháp AHP với trường hợp vận hành ở các mức tải khác nhau	71
Hình 3.7: Kỹ thuật mờ hóa mức phụ tải	77
Hình 3.8: Tần số hệ thống khi sa thải phụ tải theo phương pháp Fuzzy-AHP với trường hợp vận hành ở các mức tải khác nhau	78
Hình 4.1: Máy phát cung cấp cho phụ tải độc lập.....	81
Hình 4.2: Sơ đồ điều khiển tần số trong hệ thống điện	83
Hình 4.3: Đặc tính điều chỉnh tần số sơ cấp-thứ cấp trong mối quan hệ giữa công suất và tần số	85
Hình 4.4: Sơ đồ hệ thống điện chuẩn IEEE 37 bus 9 máy phát.....	88
Hình 4.5: Tần số của hệ thống khi máy phát JO345#1 ngắt ra khỏi hệ thống điện.	89
Hình 4.6: Tần số của hệ thống sau khi thực hiện quá trình điều khiển sơ cấp và thứ cấp.....	91
Hình 4.7: Tần số của hệ thống sau khi thực hiện sa thải phụ tải	93
Hình 5.1: Quan hệ PED giữa máy phát JO345#1 và các nút tải.....	98

Hình 5.2: Tần số sau khi sa thải phụ tải của phương pháp sa thải phụ tải đề xuất và phương pháp sa thải phụ tải truyền thống	99
Hình 5.3: Góc lệch rotor sau khi sa thải phụ tải của phương pháp sa thải phụ tải đề xuất và phương pháp sa thải phụ tải truyền thống	99
Hình 5.4: Quan hệ VED giữa máy phát JO345#1 và các bus tải.....	102
Hình 5.5: Tần số phục hồi của phương pháp VED và phương pháp truyền thống UFLS.....	104
Hình 5.6: So sánh điện áp phục hồi của phương pháp sa thải VED và phương pháp sa thải truyền thống UFLS	104
Hình 5.7: Điện áp tại các nút tải khi sa thải phụ tải dựa trên PED	105
Hình 5.8: Điện áp tại các nút tải khi sa thải phụ tải dựa trên VED.....	106
Hình 5.9: So sánh tần số giữa phương pháp sa thải phụ tải dựa trên PED và phương pháp sa thải phụ tải dựa trên VED	106
Hình 5.10: So sánh góc lệch rotor phục hồi giữa phương pháp sa thải phụ tải dựa trên PED và phương pháp sa thải phụ tải dựa trên VED.....	107
Hình 5.11: Lưu đồ thực hiện việc phối hợp nhiều phương pháp để xếp hạng và phân bố lượng công suất cắt các phụ tải	109
Hình 5.12: Tần số sau khi sa thải phụ tải của phương pháp đề xuất và phương pháp truyền thống UFLS	118
Hình 5.13: Góc lệch rotor máy phát trước và sau khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất.....	119
Hình 5.14: Góc lệch rotor máy phát sau khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất và phương pháp truyền thống UFLS	119

DANH SÁCH CÁC BẢNG

BẢNG	TRANG
Bảng 1.1: Các sự cố mất điện nghiêm trọng nhất trong các năm qua trên thế giới ...	7
Bảng 1.2: Lượng công suất tải được cắt tại mỗi bước theo sự thay đổi tần số của FRCC	14
Bảng 1.3: Chương trình sa thải tải của ERCOT	14
Bảng 1.4: Phân bổ công suất sa thải sử dụng UFLS trên hệ thống điện Việt Nam .	16
Bảng 1.5: So sánh các tính năng của các phương pháp truyền thống và thông minh	23
Bảng 1.6: Ưu và nhược điểm của các kỹ thuật tính toán sa thải phụ tải thông minh	29
Bảng 2.1: Các vùng trung tâm tải và các đơn vị tải trong sơ đồ IEEE 39 bus 10 máy phát	37
Bảng 2.2: Ma trận phán đoán của các trung tâm tải LC_i	138
Bảng 2.3: Ma trận phán đoán của các tải L_j trong trung tâm tải LC_1	138
Bảng 2.4: Ma trận phán đoán của các tải L_j trong trung tâm tải LC_2	138
Bảng 2.5: Ma trận phán đoán của các tải L_j trong trung tâm tải LC_3	138
Bảng 2.6: Ma trận phán đoán của các tải L_j trong trung tâm tải LC_4	139
Bảng 2.7: Giá trị M_{LC_i} và $W_{LC_i}^*$ của trung tâm tải LC_i	139
Bảng 2.8: Giá trị M_{L_j} và $W_{L_j}^*$ của các tải trong trung tâm tải LC_1	139
Bảng 2.9: Giá trị M_{L_j} và $W_{L_j}^*$ của các tải trong trung tâm tải LC_2	139
Bảng 2.10: Giá trị M_{L_j} và $W_{L_j}^*$ của các tải trong trung tâm tải LC_3	140
Bảng 2.11: Giá trị M_{L_j} và $W_{L_j}^*$ của các tải trong trung tâm tải LC_4	140
Bảng 2.12: Các giá trị W_{LC_i} của các trung tâm tải LC_i	140
Bảng 2.13: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm tải LC_1	140
Bảng 2.14: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm tải LC_2	140

Bảng 2.15: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm tải LC_3	141
Bảng 2.17: Hệ số tầm quan trọng của của các trung tâm tải và mỗi phụ tải	141
Bảng 2.18: Thứ tự sa thải phụ tải theo thuật toán AHP.....	142
Bảng 2.19: Các chiến lược sa thải phụ tải dựa trên thuật toán AHP.....	41
Bảng 2.20: Độ chính xác huấn luyện và độ chính xác kiểm tra của các phương pháp huấn luyện mạng nơ-ron.....	42
Bảng 2.21: Kết quả so sánh giữa phương pháp sa thải phụ tải đề xuất và phương pháp sa thải phụ tải truyền thống.....	53
Bảng 3.1: Các tam giác số mờ hóa tương ứng với thang đo mức độ tầm quan trọng	58
Bảng 3.2: Sắp xếp đối tượng theo thứ tự giảm dần hệ số tầm quan trọng	60
Bảng 3.3: Dữ liệu tải (MW) trong hệ thống 37 bus khi hệ thống đạt 70%, 80%, 90%, 100% phụ tải cực đại	62
Bảng 3.4: Ma trận phán đoán trung tâm phụ tải LC_i	63
Bảng 3.5: Ma trận phán đoán các phụ tải L_j ở trung tâm tải LC_1	63
Bảng 3.6: Ma trận phán đoán các phụ tải L_j ở trung tâm tải LC_2	63
Bảng 3.7: Ma trận phán đoán các phụ tải L_j ở trung tâm tải LC_3	64
Bảng 3.8: Ma trận phán đoán các phụ tải L_j ở trung tâm tải LC_4	64
Bảng 3.9: Giá trị M_{LC_i} của ma trận các trung tâm phụ tải LC_i	64
Bảng 3.10: Giá trị M_{L_j} của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải 1	64
Bảng 3.11: Giá trị M_{L_j} của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải 2	65
Bảng 3.12: Giá trị M_{L_j} của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải 3	65
Bảng 3.13: Giá trị M_{L_j} của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải 4	65
Bảng 3.14: Giá trị $W_{LC_i}^*$ của các trung tâm phụ tải LC_i	65
Bảng 3.15: Giá trị $W_{L_j}^*$ của các tải ở trung tâm phụ tải LC_1	66
Bảng 3.16: Giá trị $W_{L_j}^*$ của các tải ở trung tâm phụ tải LC_2	66
Bảng 3.17: Giá trị $W_{L_j}^*$ của các tải ở trung tâm phụ tải LC_3	66
Bảng 3.18: Giá trị $W_{L_j}^*$ của các tải ở trung tâm phụ tải LC_4	67

Bảng 3.19: Các giá trị W_{LC_i} của các trung tâm phụ tải.....	67
Bảng 3.20: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm phụ tải LC_1	68
Bảng 3.21: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm phụ tải LC_2	68
Bảng 3.22: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm phụ tải LC_3	68
Bảng 3.23: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm phụ tải LC_4	68
Bảng 3.24: Giá trị các hệ số quan trọng của đơn vị tải được tính toán bởi AHP ...	69
Bảng 3.25: Sắp xếp các đơn vị phụ tải theo giá trị hệ số quan trọng của phụ tải W_{ij} tăng dần.....	70
Bảng 3.26: Kết quả tổng hợp các trường hợp sa thải phụ tải dựa trên thuật toán AHP	71
Bảng 3.27: Ma trận phán đoán trung tâm phụ tải LC_i	72
Bảng 3.28: Ma trận phán đoán các phụ tải ở trung tâm tải LC_1	73
Bảng 3.29: Ma trận phán đoán các phụ tải ở trung tâm tải LC_2	73
Bảng 3.30: Ma trận phán đoán các phụ tải ở trung tâm tải LC_3	73
Bảng 3.31: Ma trận phán đoán các phụ tải ở trung tâm tải LC_4	74
Bảng 3.32: Giá trị các hệ số quan trọng của đơn vị tải được tính toán bởi Fuzzy-AHP	76
Bảng 3.33: Sắp xếp các đơn vị phụ tải theo giá trị hệ số quan trọng của phụ tải W_{ij} tăng dần.....	77
Bảng 3.34: Kết quả tính toán tổng hợp các trường hợp mờ hóa đồ thị phụ tải	78
Bảng 3.38: Kết quả so sánh giữa phương pháp sa thải phụ tải theo AHP và Fuzzy-AHP	79
Bảng 4.1: Giá trị các thông số và công suất điều khiển sơ cấp của các máy phát...	90
Bảng 4.2: Phân bố công suất sa thải tại các nút tải	92
Bảng 5.1: Sắp xếp thứ tự PED giữa các máy phát sự cố và các nút tải.....	98
Bảng 5.2: Giá trị công suất sa thải phân bố tại các nút tải.....	100
Bảng 5.3: VED và lượng công suất sa thải khi bị sự cố máy phát JO345#1	103
Bảng 5.4: Hệ số tầm quan trọng của phụ tải	110

Bảng 5.5: PED của các nút tải với máy phát JO345#1.....	111
Bảng 5.6: VED sau khi được chuẩn hóa giữa các bus tải với máy phát JO345#1.	112
Bảng 5.7: Giá trị của các khía cạnh/tiêu chí sau khi được chuẩn hóa.....	113
Bảng 5.8: Trọng số tổng hợp và phân hạng sa thải của các nút tải.....	116
Bảng 5.9: Lượng công suất sa thải tại các bus khi mất máy phát JO345#1	117
Bảng 5.10: Kết quả so sánh 2 phương pháp sa thải.....	120

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Tần số là thông số kỹ thuật quan trọng trong việc đánh giá chất lượng điện năng của hệ thống điện và phải được duy trì trong giới hạn quy định để đảm bảo hệ thống điện vận hành ổn định. Tần số bị ảnh hưởng bởi sự chênh lệch giữa công suất tác dụng của các máy phát và nhu cầu phụ tải. Giá trị tần số mang tính hệ thống hay nói cách khác là tần số có giá trị như nhau tại mỗi nút trong hệ thống điện. Trong khi đó, điện áp có tính chất cục bộ do có nhiều cấp điện áp khác nhau và có thể điều chỉnh tăng giảm. Tần số hệ thống thay đổi sẽ làm ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ động cơ điện, làm thay đổi thông số của hệ thống đường dây. Tần số thay đổi rất nhanh theo sự bất ổn định của hệ thống, và thể hiện tính nghiêm trọng của sự cố. Vì thế, giá trị tần số được sử dụng để kiểm tra độ ổn định của hệ thống và để làm thông số đầu vào cho các thiết bị bảo vệ hệ thống như các bộ điều tốc tự động, bộ tự điều chỉnh công suất máy phát, thiết bị sa thải phụ tải, thiết bị bảo vệ máy phát. Vì vậy, việc duy trì tần số ổn định trong giới hạn quy định luôn là mục tiêu của người thiết kế, vận hành hệ thống điện.

Ổn định hệ thống điện được phân thành ba vấn đề lớn bao gồm: ổn định tần số, ổn định điện áp và ổn định góc rotor [1]. Trong đó, ổn định tần số thể hiện khả năng của hệ thống nhằm duy trì tần số của hệ thống dao động trong phạm vi cho phép sau sự cố lớn, nghiêm trọng. Khi xảy ra các sự cố lớn, khẩn cấp trong hệ thống điện, ví dụ như xảy ra ngắn mạch trên các nút máy phát, đường dây hoặc máy biến áp có thể gây ra mất ổn định tần số hệ thống điện. Các sự cố này cần phải được phát hiện nhanh để đưa ra quyết định có/không sa thải phụ tải để khôi phục ổn định của hệ thống điện. Các công trình nghiên cứu trước đây chỉ tập trung nghiên cứu một trong hai vấn đề là nghiên cứu bài toán đánh giá ổn định hoặc bài toán sa thải phụ tải mà chưa có sự kết hợp trong một giải pháp toàn diện.

Trong quá trình vận hành hệ thống điện, các sự cố của hệ thống điện thường là các sự cố mất một máy phát điện, ngắn mạch đường dây hoặc thanh cái, hay bất ngờ thay đổi tải, phụ tải tăng vượt quá khả năng công suất phát điện của hệ thống. Trong đó, các sự cố mất

máy phát công suất lớn hoặc phụ tải thay đổi đột ngột với công suất lớn là nguyên nhân chính làm cho tần số của hệ thống bị suy giảm vượt quá giới hạn cho phép và sa thải phụ tải được xem như là một trong những giải pháp phải thực hiện để khôi phục tần số về phạm vi cho phép. Do lưới truyền tải thường là hệ thống mạch vòng kín nên khi có sự cố đường dây thì các thiết bị bảo vệ như máy cắt sẽ ngắt điện ở hai đầu đường dây để cô lập đường dây bị sự cố và hệ thống sẽ phân bố lại công suất truyền trên các đường dây. Ở đây, phụ tải vẫn không bị ảnh hưởng, hành vi của bộ điều tốc là bình thường, không cảm nhận được. Nếu sự cố được giải trừ, máy cắt đóng lại, hoặc việc phân bố lại công suất vẫn đảm bảo các thông số hoạt động của hệ thống vẫn nằm trong phạm vi cho phép, do đó không cần sa thải. Trừ trường hợp máy cắt bị hỏng, hoặc việc phân bố lại công suất làm cho các thông số hệ thống vượt mức cho phép, sự cố sẽ được xử lý vượt cấp, hoặc sự cố gây ảnh hưởng dây chuyền cắt nhiều đường dây, hoặc đường dây liên kết máy phát làm ảnh hưởng nghiêm trọng đến tần số thì cần sa thải phụ tải.

Các nghiên cứu trước đây khi tính toán, mô phỏng chỉ quan tâm xem xét một chế độ mức tải vận hành của hệ thống mà chưa xem xét hệ thống điện vận hành ở nhiều chế độ mức tải khác nhau. Hơn nữa, khi tính toán công suất sa thải phụ tải, các nghiên cứu trước đây chủ yếu sử dụng phương trình chuyển động quay của rotor mà chưa xét đến thực tế vận hành lưới điện bao gồm các yếu tố điều khiển sơ cấp và điều khiển thứ cấp tổ máy phát điện để giảm lượng công suất sa thải mà vẫn đảm bảo tần số phục hồi về giá trị cho phép.

Ngoài ra, các giải pháp nghiên cứu tối ưu sa thải phụ tải trước đây chỉ xét đến các yếu tố ràng buộc đơn mục tiêu, những mục tiêu này chủ yếu là các ràng buộc về mặt kỹ thuật mà chưa có xem xét đến việc phối hợp nhiều tiêu chí ràng buộc kinh tế- kỹ thuật trong một phương án sa thải phụ tải.

Vì vậy, luận án: “*Nghiên cứu phương pháp cải tiến sa thải phụ tải trong hệ thống điện*” khắc phục một phần các hạn chế nêu trên và đáp ứng yêu cầu bức thiết trong điều khiển, vận hành và bảo vệ hệ thống điện hiện nay.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Trên cơ sở phân tích ảnh hưởng của tần số đến hệ thống điện, các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước trước đây, cũng như thực tế việc sa thải phụ tải đang áp dụng tại Việt Nam hiện nay, các mục tiêu nghiên cứu của luận án bao gồm:

- Nghiên cứu và đề xuất phương pháp sa thải phụ tải nhằm khôi phục ổn định tần số hệ thống điện trên cơ sở nhận dạng có/không sa thải phụ tải kết hợp với các giải thuật công nghệ tri thức như: AHP và mạng nơ-ron;

- Nghiên cứu việc tính toán lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu để khôi phục tần số hệ thống điện trên cơ sở xem xét các yếu tố điều khiển sơ cấp, điều khiển thứ cấp tổ máy phát điện;

- Nghiên cứu phương pháp sa thải phụ tải để khôi phục tần số hệ thống điện trên cơ sở áp dụng thuật toán Fuzzy-AHP có xem xét tầm quan trọng của phụ tải trong hệ thống;

- Nghiên cứu các phương pháp phân bố lượng công suất sa thải phụ tải tại các nút tải dựa trên khái niệm PED, và VED giữa máy phát bị sự cố và các nút tải;

- Nghiên cứu và đề xuất phương pháp phân bố lượng công suất sa thải phụ tải có xét đến các yếu tố phối hợp nhiều phương pháp trên cơ sở phối hợp các tiêu chí kinh tế-kỹ thuật khi sa thải phụ tải.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

a. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là phương pháp điều khiển sa thải phụ tải tối ưu trên cơ sở tính toán lượng công suất sa thải phụ tải và phân bố lượng công suất sa thải phụ tải hợp lý tại các nút tải trong hệ thống điện. Hiệu quả của các phương pháp đề xuất được kiểm tra thông qua mô hình hóa và mô phỏng hệ thống điện chuẩn IEEE 39 nút, và IEEE 37 nút.

b. Phạm vi nghiên cứu

- Chỉ khảo sát các phương án điều khiển tần số hệ thống điện trong tình huống xuất hiện các sự cố nghiêm trọng mất máy phát điện công suất lớn dẫn đến độ lệch tần số lớn;

- Không xét đến việc thay đổi và cài đặt thông số các bộ điều tốc và bộ kích từ của máy phát trong các chiến lược điều khiển khẩn cấp khôi phục ổn định tần số hệ thống điện;

- Không xét tới ảnh hưởng đến việc điều khiển tần số trên hệ thống điện của các thiết bị FACTS;

- Không xét đến trường hợp các nút phụ tải có nhiều xuất tuyến.

- Phụ tải tại các nút được xem như tăng đều nhau khi mô phỏng các tình huống sự cố để xây dựng tập mẫu dữ liệu cho mạng nơ-ron ở các mức tải khác nhau.

4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu lý thuyết: thu thập, chọn lọc, phân tích và tổng hợp các ưu điểm và nhược điểm của các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước, các bài báo đã được công bố gần đây trên các tạp chí khoa học chuyên ngành có uy tín, nghiên cứu sinh sẽ đề xuất phương pháp cải tiến sa thải phụ tải nhằm khắc phục một phần các hạn chế của các phương pháp sa thải phụ tải trước đây;

- Nghiên cứu thực nghiệm, mô hình toán: Các nghiên cứu được trợ giúp bởi các công cụ mô hình hóa và mô phỏng như: phần mềm PowerWorld GSO 19, MATLAB R2018b/Simulink để khảo sát ảnh hưởng của các tình huống sự cố và đánh giá hiệu quả các giải pháp sa thải phụ tải đề xuất để khôi phục và duy trì tần số hệ thống điện.

5. Đóng góp mới về mặt khoa học và ý nghĩa thực tiễn của luận án

a. Đóng góp mới về mặt khoa học

- Đề xuất phương pháp sa thải phụ tải trên cơ sở phối hợp các giải thuật công nghệ trí thức như: AHP và mạng nơ-ron, cho phép nhanh chóng ra quyết định lựa chọn chiến lược sa thải phụ tải hợp lý và hiệu quả để giữ ổn định tần số hệ thống điện khi có sự cố ngắn mạch xảy ra trên các thanh góp hay trên các đường dây của hệ thống điện. Bên cạnh đó, phương pháp sa thải phụ tải đề xuất có lượng công suất sa thải phụ tải ít hơn và thời gian phục hồi tần số nhanh hơn so với các phương pháp sa thải phụ tải truyền thống;

- Đề xuất phương pháp sa thải phụ tải trên cơ sở áp dụng thuật toán Fuzzy-AHP để tính toán hệ số tầm quan trọng của phụ tải và thực hiện ưu tiên sa thải phụ tải có hệ số tầm quan trọng nhỏ trước. Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất giúp khôi phục tần số về giá trị cho phép và giảm thiểu thiệt hại gây ra khi cắt điện;

- Đề xuất việc tính toán lượng công suất sa thải phụ tải có xét đến các yếu tố điều khiển sơ cấp, điều khiển thứ cấp tổ máy phát điện giúp tối thiểu lượng công suất tải phải sa thải và tần số hệ thống vẫn khôi phục về giá trị trong phạm vi cho phép;

- Đề xuất việc xác định vị trí tải cần sa thải dựa trên các khái niệm PED, VED giữa máy phát bị sự cố và các nút tải giúp khoanh vùng sự cố nghiêm trọng và sa thải phụ tải xung quanh vùng sự cố sẽ làm giảm ảnh hưởng của sự cố tới hệ thống và phương án sa thải tải sẽ hiệu quả hơn;

- Đề xuất việc xác định lượng công suất sa thải phụ tải tại các nút có xét đến các tiêu chí kinh tế như hệ số tầm quan trọng của phụ tải, và các tiêu chí kỹ thuật như PED, VED. Qua đó, việc sa thải phụ tải thỏa mãn các yêu cầu phối hợp nhiều phương pháp.

b. Ý nghĩa thực tiễn

Các phương pháp sa thải phụ tải đề xuất có thể được sử dụng trong công tác huấn luyện các điều độ viên hệ thống điện xử lý các tình huống sa thải phụ tải dựa trên các kịch bản sự cố trên hệ thống điện.

6. Cấu trúc của luận án

Luận án được trình bày gồm 6 chương:

Chương 1: Tổng quan về sa thải phụ tải trong hệ thống điện.

Chương 2: Phương pháp điều khiển khẩn cấp sa thải phụ tải trong hệ thống điện.

Chương 3: Phương pháp sa thải phụ tải trên cơ sở áp dụng thuật toán Fuzzy-AHP.

Chương 4: Tính toán lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu có xét đến điều khiển sơ cấp và điều khiển thứ cấp tổ máy phát điện.

Chương 5: Phương pháp sa thải phụ tải có xét đến việc phối hợp nhiều phương pháp.

Chương 6: Kết luận và hướng nghiên cứu phát triển của đề tài.

Chương 1

TỔNG QUAN VỀ SA THẢI PHỤ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

1.1 Tổng quan về các sự cố hệ thống điện

Trong những thập niên vừa qua, trên thế giới đã có nhiều sự cố hệ thống điện nghiêm trọng xảy ra làm mất điện và ảnh hưởng đến hàng triệu người dân, gây thiệt hại lớn về kinh tế và tác động đến các tầng lớp xã hội. Tác động xã hội của mất điện, đặc biệt là ở các vùng đô thị là rất nghiêm trọng, chẳng hạn như các dịch vụ chăm sóc sức khỏe trong các bệnh viện, các vấn đề về điều khiển giao thông, làm gián đoạn mạng internet và các hệ thống thông tin liên lạc, dịch vụ ngân hàng...

Những sự cố mất điện này có thể xảy ra do các nguyên nhân trong tự nhiên cũng như các nguyên nhân về mặt kỹ thuật. Những nguyên nhân tự nhiên bao gồm: động vật tiếp xúc với dây dẫn đang mang điện, tai nạn do phương tiện vận chuyển dẫn đến va chạm với đường dây truyền tải, các cành cây ngã, đổ lên các đường dây truyền tải do thời tiết mưa bão... Những nguyên nhân về mặt kỹ thuật bao gồm: các sự cố, hư hỏng các đường dây truyền tải và phân phối, các vấn đề về ổn định, các đường dây bị quá tải, các sự cố hư hỏng thiết bị và các lỗi do con người gây ra.

Đối với những sự cố mất điện xảy ra do lỗi về mặt kỹ thuật, danh sách các sự cố mất điện nghiêm trọng nhất [2] xảy ra trong hai thập niên qua có ảnh hưởng đến hàng triệu người dân được thống kê trong Bảng 1.1.

Một trong những sự cố mất điện đáng chú ý là sự cố xảy ra ở Mỹ và Canada vào ngày 14/08/2003. Sự cố này đã ảnh hưởng đến 50 triệu người dân ở 8 tiểu bang của Mỹ và 2 tỉnh của Canada. Sự cố này đã làm mất điện khoảng 63GW phụ tải và hơn 400 đường dây truyền tải, 531 máy phát ở 261 nhà máy điện bị cắt ra. Sự cố này kéo dài đến 96 giờ (4 ngày) trong những vùng khác nhau ở miền Tây nước Mỹ, tổn thất về kinh tế trong khoảng từ 4 - 6 tỉ USD [2].

Bảng 1.1: Các sự cố mất điện nghiêm trọng nhất trong các năm qua trên thế giới

Quốc gia	Thời gian	Số người bị ảnh hưởng	Thời gian kéo dài	Nguyên nhân
Hy Lạp	24/04/1990	50 triệu	6 h	Sụp đổ điện áp
Brazil	11/03/1999	97 triệu	5 h	Sét đánh làm cho các đường dây 440kV cắt sự cố
Ấn Độ	02/01/2001	226 triệu	12 h	Hư hỏng đường dây truyền tải
Canada và các tiểu bang miền Bắc nước Mỹ	14/08/2003	56 triệu	96 h (4 ngày)	Thiếu sự bảo dưỡng, lỗi do con người và hư hỏng thiết bị
Ý	28/09/2003	55 triệu	18 h	Ngắt các đường dây truyền tải
Indonesia	18/08/2005	100 triệu	7 h	Hư hỏng đường dây truyền tải
Châu Âu	04/10/2006	15 triệu	2 h	Quá tải
Brazil và Paraguay	10/11/2009	87 triệu	7 h	Ngắn mạch trên ba máy biến áp phía đường dây truyền tải điện áp cao
Brazil	04/02/2011	53 triệu	16 h	Hư hỏng trên đường dây truyền tải
Ấn Độ	31/07/2012	670 triệu	15 h	Sụp đổ điện áp do quá tải đường dây truyền tải

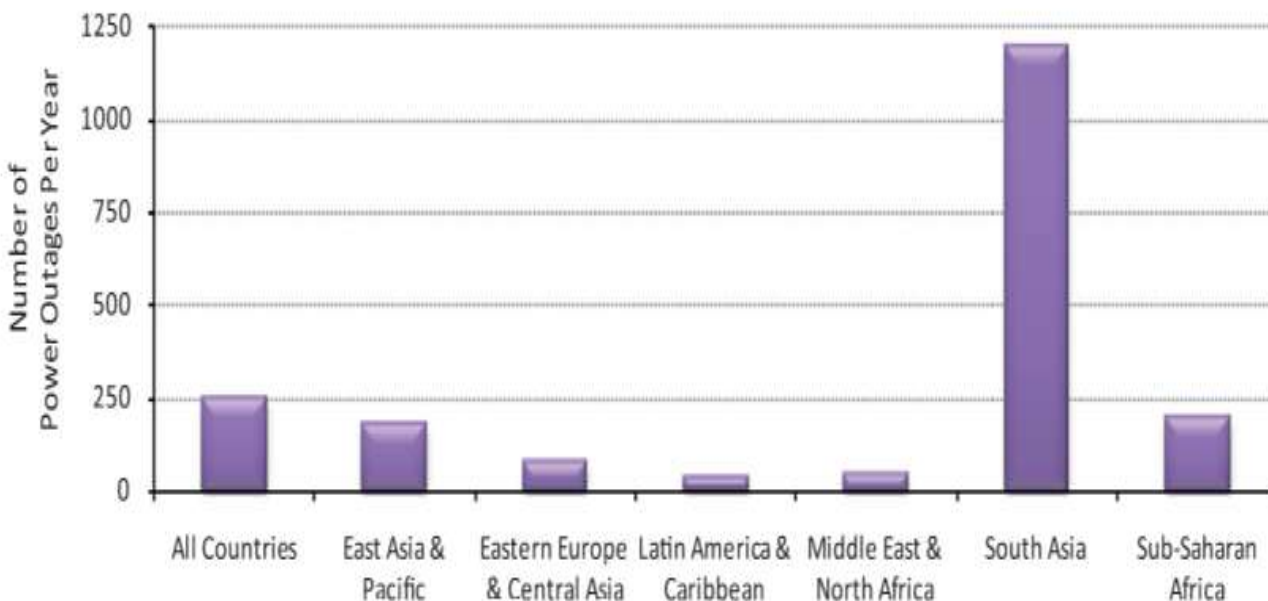
Sự cố mất điện lớn nhất thế giới xảy ra gần đây là vào ngày 31/07/2012 ở Ấn Độ kéo theo sau sự sụp đổ điện áp do quá tải trên các đường dây truyền tải. Sự cố này đã ảnh hưởng đến 670 triệu người dân, hàng trăm chuyến tàu lửa, hàng trăm ngàn hộ gia đình trong 22 bang của Ấn Độ [3].

Ngoài những sự cố mất điện nghiêm trọng nêu trên, mỗi quốc gia đều có những sự cố mất điện với quy mô nhỏ hơn và xảy ra nhiều lần trong năm. Hình 1.1 trình bày tần suất sự cố mất điện xảy ra trong nhiều khu vực khác nhau trên thế giới vào năm 2009 [2], trong đó khu vực Nam Á có đến 1200 lần mất điện.

Ở Việt Nam, trong những năm gần đây cũng đã xảy ra các sự cố mất điện hệ thống trên diện rộng, thời gian mất điện kéo dài và gây tổn thất lớn cho nền kinh tế.

Sự cố mất điện miền Nam Việt Nam [4] diễn ra từ lúc 14 giờ ngày 22 tháng 5 năm 2013 làm các tỉnh thành miền Nam Việt Nam bị mất điện trong nhiều giờ. Sự cố này cũng gây mất điện một số khu vực tại quốc gia láng giềng Campuchia. Đây là sự cố điện xảy ra

gây ảnh hưởng với quy mô lớn trên diện rộng chưa từng có trong vòng 100 năm tại Việt Nam.



Hình 1.1: Tần suất bị mất điện ở các khu vực trên thế giới

Nguồn điện cung cấp cho miền Nam phụ thuộc vào đường dây 500KV (truyền tải điện từ miền Bắc vào, chiếm phần lớn, có khi lên đến 40% tổng công suất tiêu thụ của miền Nam) và tùy theo thời điểm cụ thể và nhu cầu phụ tải. Tại thời điểm xảy ra sự cố, hệ thống điện miền Nam nhận công suất lớn từ Bắc vào Nam từ đường dây 500KV. Do vậy, các nhà máy điện không thể đáp ứng nhu cầu phụ tải khu vực nên phải tách ra khỏi hệ thống để bảo vệ an toàn cho thiết bị. Nguyên nhân của sự cố được cho là do một chiếc xe cầu chở cây gỗ (dài 10m) vướng vào đường dây tải điện 500kV làm gây ngắn mạch trên hệ thống. Điều này đã kích hoạt hệ thống ngắt mạch tự động để bảo vệ các tổ máy nguồn phát điện, dẫn tới hệ thống điện miền Nam mất toàn bộ (với tổng công suất khoảng 9400 MW).

Sự cố xảy ra làm cho 15 nhà máy điện với 43 tổ máy phát điện phải tách ra khỏi lưới điện. Việc tái lập lại hệ thống này mất nhiều thao tác khiến tổng thời gian khôi phục lại mạng lưới kéo dài 8 tiếng. Hậu quả của vụ việc được đánh giá là rất nghiêm trọng, gây tác động không nhỏ đến đời sống của người dân, doanh nghiệp lẫn thiệt hại về phía EVN do khắc phục sự cố. Thiệt hại chỉ đối với ngành điện ước tính ban đầu là 14 tỷ đồng. Tính đến

ngày 25 tháng 5, có tổng cộng 8 triệu khách hàng bị ảnh hưởng bởi sự cố, trong đó tại thành phố Hồ Chí Minh có 1,8 triệu hộ dân và khách hàng điện

Gần đây, sự cố Nhà máy nhiệt điện Mông Dương [5], công suất 1.080MW đã làm cho TP.HCM mất điện trên diện rộng. Sự cố xảy ra lúc 5h41 ngày 25/05/2019, làm nguồn cung cấp điện cho các tỉnh phía Nam và TP.HCM bị giảm đột ngột, dẫn đến việc sa thải rơ-le 81 của 45 tuyến cung cấp điện từ 27 trạm: Q1, Q6, Q7, Q8, Q 9, Q11, Q 12, Q Thủ Đức, Bình Thạnh, Gò Vấp, Bình Tân, các huyện Hóc Môn, Bình Chánh, Củ Chi. Tổng công suất bị sa thải là 132 MW.

Bên cạnh các sự cố mất điện đã xảy ra, nước ta là một nước đang phát triển vì vậy nhu cầu năng lượng điện và sự tăng nhanh của phụ tải là việc có thể dự báo được trong những năm tiếp theo (quy hoạch điện VII). Điều đó sẽ làm gia tăng các nguy cơ sự cố gây mất điện và bắt buộc phải sa thải phụ tải. Đây là thách thức đối với các nhà hoạch định và vận hành hệ thống điện nhằm đáp ứng sự gia tăng nhu cầu phụ tải trong khi vẫn phải duy trì độ ổn định của hệ thống.

1.2 Khái quát về điều chỉnh tần số và sa thải phụ tải

Cùng với sự phát triển của lưới điện xoay chiều, tần số điện đã trải qua nhiều bước phát triển khác nhau. Trong thế kỉ XIX, có nhiều mức tần số khác nhau trải dài từ $16\frac{2}{3}$ Hz đến $133\frac{1}{3}$ Hz được sử dụng trong các hệ thống điện khác nhau. Năm 1891, tần số 50Hz được sử dụng đầu tiên trong hệ thống điện ở Đức bởi công ty AEG. Tần số 60Hz được chọn làm tần số chuẩn trong hệ thống điện phát triển bởi công ty điện Westinghouse, Mỹ. Ngày nay, tần số phổ biến trong hệ thống điện xoay chiều là 50Hz ở các nước châu Âu và hầu hết châu Á, tần số 60Hz được sử dụng trên lưới điện Bắc Mỹ, một số nước thì sử dụng cả hai tần số 50Hz và 60Hz như Brazil, Mexico, Nhật [6]. Khi vận hành ổn định, hệ thống điện yêu cầu tần số và điện áp phải không đổi. Trong thực tế, tần số của hệ thống điện không bao giờ ở tình trạng cân bằng do nhu cầu phụ tải thay đổi một cách liên tục. Trong một hệ thống điện, công suất phát ra phải được giữ cân bằng với công suất tiêu thụ, nếu không sẽ xuất hiện sự thiếu hụt công suất. Tần số hệ thống sẽ giảm thấp nếu phụ tải vượt quá công suất phát và sẽ tăng cao khi công suất phát lớn hơn so với nhu cầu phụ tải. Tần số hệ thống

ti lệ trực tiếp với tốc độ máy phát. Vì vậy, việc điều khiển tần số hệ thống được thực hiện bằng cách điều chỉnh tốc độ máy phát.

Khi phụ tải tăng đột ngột trong hệ thống điện đơn giản gồm một máy phát và phụ tải, nhu cầu năng lượng phụ tải vượt quá sẽ được cung cấp một cách tức thời bởi quán tính quay của máy phát. Tốc độ quay của máy phát sau đó sẽ giảm xuống, dẫn đến mức giảm tương xứng của tần số hệ thống. Bộ điều tốc sẽ tác động mở cánh hướng tuabin để tăng tốc độ quay tuabin. Tốc độ tuabin tăng sẽ làm tăng tần số hệ thống, vì vậy tần số có thể được khôi phục về trong phạm vi cho phép.

Để điều khiển tần số trong hệ thống điện liên kết, các nhà máy điện phải sử dụng một cơ cấu điều khiển để khôi phục tần số khi có các sự cố thoáng qua hoặc có những thay đổi phụ tải lớn. Trong trường hợp có sự chênh lệch về công suất, hoạt động điều chỉnh tần số sơ cấp được kích hoạt để tái lập cân bằng giữa nhu cầu phụ tải và công suất phát. Khi có bất kỳ sự sai lệch so với giá trị đặt (giá trị tần số định mức) thì các bộ điều chỉnh sơ cấp của tất cả các máy phát sẽ đáp ứng trong vòng vài giây. Bộ điều khiển tác động thay đổi công suất đầu ra của các máy phát cho đến khi sự cân bằng giữa công suất đầu ra và nhu cầu phụ tải được thiết lập. Sau đó, độ sai lệch công suất và tần số còn lại sẽ được điều chỉnh bằng cách kích hoạt điều chỉnh thứ cấp. Chức năng của điều chỉnh thứ cấp là phục hồi công suất và tần số về các giá trị định mức của chúng.

Trong nghiên cứu ổn định tần số hệ thống điện, độ lệch tần số cho phép là $\pm 0.2\text{Hz}$ đối với lưới điện 50Hz (riêng Việt Nam và Singapore là $\pm 0.5\text{Hz}$) và $\pm 0.3\text{Hz}$ đối với lưới điện 60Hz. Khi độ lệch tần số vượt quá mức cho phép thì hệ thống sẽ thực hiện các biện pháp để khôi phục tần số. Trong trường hợp sự cố nghiêm trọng, mất nguồn máy phát công suất lớn, công suất dự trữ có thể không đủ để phục hồi tần số hệ thống, do đó cần có một kế hoạch giảm công suất phụ tải theo một lộ trình định sẵn để cân bằng công suất. Đồng thời, khi tần số hệ thống giảm thấp tới ngưỡng tác động, các relay bảo vệ tần số của máy phát điện sẽ cắt máy phát điện (UFGT: Under Frequency Generation Trip) ra khỏi hệ thống để bảo vệ máy phát. Ngược lại, khi mất phụ tải lớn, hoặc phụ tải giảm công suất đột ngột, công suất dư thừa từ các nhà máy điện đang vận hành có thể khiến tần số tăng cao, để cân bằng công suất hệ thống, một lộ trình xả tải máy phát khi tần số cao (OFGS: Over

Frequency Generation Shedding) được áp dụng. Khi tần số quá cao, để bảo vệ máy phát điện, relay bảo vệ tần số máy phát cũng cắt máy phát điện ra khỏi hệ thống khi tần số cao (OFGT: Over Frequency Generation Trip).

Do đó, để nhanh chóng cân bằng nhu cầu công suất nguồn – tải khi sự cố, ngăn ngừa sụp đổ hệ thống điện thì cần luôn duy trì tần số hệ thống trong phạm vi cho phép. Điều đó, đòi hỏi sự phối hợp của nhiều phương pháp điều khiển tần số khác nhau kết hợp với điểm làm việc thích hợp của các nhà máy trên hệ thống. Và khi điểm làm việc của máy phát đạt tới hạn thì các phương pháp như UFLS, UFGT, OFGS, OFGT, ... được sử dụng để duy trì điểm làm việc này.

Như vậy, khi các biện pháp để khôi phục vẫn chưa phục hồi tần số được thì việc sa thải phụ tải/máy phát là điều cần thiết bắt buộc để duy trì tần số hệ thống trong phạm vi cho phép. Sa thải phụ tải được xác định là lượng phụ tải phải cắt ra từ hệ thống điện nhằm cân bằng công suất giữa nguồn - tải để giữ, hoặc duy trì một phần còn lại của hệ thống hoạt động ổn định. Việc giảm phụ tải này là nhằm đáp ứng lại một sự nhiễu của hệ thống gây ra thiếu hụt khả năng phát điện hoặc là tình huống quá tải của lưới.

Khi sa thải phụ tải để phục hồi tần số hệ thống điện cần lưu ý đến dự trữ công suất tác dụng/công suất cơ của các nhà máy phát điện. Ngoài khả năng tăng công suất phát điện tại thời điểm xảy ra nhiễu lớn trên hệ thống, còn cần tính đến thời gian đáp ứng của các bộ điều tốc Governor cũng như giới hạn dự phòng quay của từng vùng điều khiển tần số.

Bên cạnh đó, hiện tại hầu hết các hệ thống điện vận hành gần với các giới hạn ổn định của chúng, đây là kết quả của việc bỏ qua các quy định thị trường điện và sự gia tăng nhu cầu tiêu thụ điện của nền kinh tế. Dưới các điều kiện vận hành như vậy, những nhiễu loạn lớn như là việc ngắn mạch tại các nút máy phát công suất lớn hoặc sự cố các đường dây truyền tải, có thể dẫn đến các sự cố sụp đổ, rã lưới hệ thống điện. Vì vậy, rủi ro của việc sụp đổ toàn bộ hệ thống ngày càng gia tăng. Để giải quyết những vấn đề đó trong trường hợp tần số suy giảm nhanh và giảm thấp dưới giá trị ngưỡng đã xác định, phương pháp sa thải phụ tải tần số thấp hiện nay vẫn còn đang được áp dụng để khôi phục tần số và tránh mất điện hoàn toàn.

1.3 Yếu tố lựa chọn sa thải tải

Để có được một chu trình sa thải tải hoàn chỉnh cần ba yếu tố: Thời điểm sa thải tải; Vị trí tải sa thải; Lượng tải sa thải. Việc lựa chọn ba yếu tố này rất quan trọng trong các phương pháp sa thải tải.

Thời điểm sa thải tải được tính toán theo độ biến thiên của tần số theo thời gian khi xảy ra sự cố trên lưới điện. Độ biến thiên này phụ thuộc rất nhiều vào hằng số quán tính H của hệ thống nguồn cũng như hệ số giảm chấn D của các tải [7]. Trong phương pháp sa thải tải truyền thống và phương pháp sa thải tải thông minh, thời điểm sa thải tải được tính toán và cài đặt cố định theo độ lệch của tần số/điện áp và độ biến thiên của tần số/điện áp. Trong phương pháp sa thải tải thông minh, độ biến thiên này được cài đặt và thay đổi theo thời gian tùy thuộc vào tình hình vận hành hệ thống.

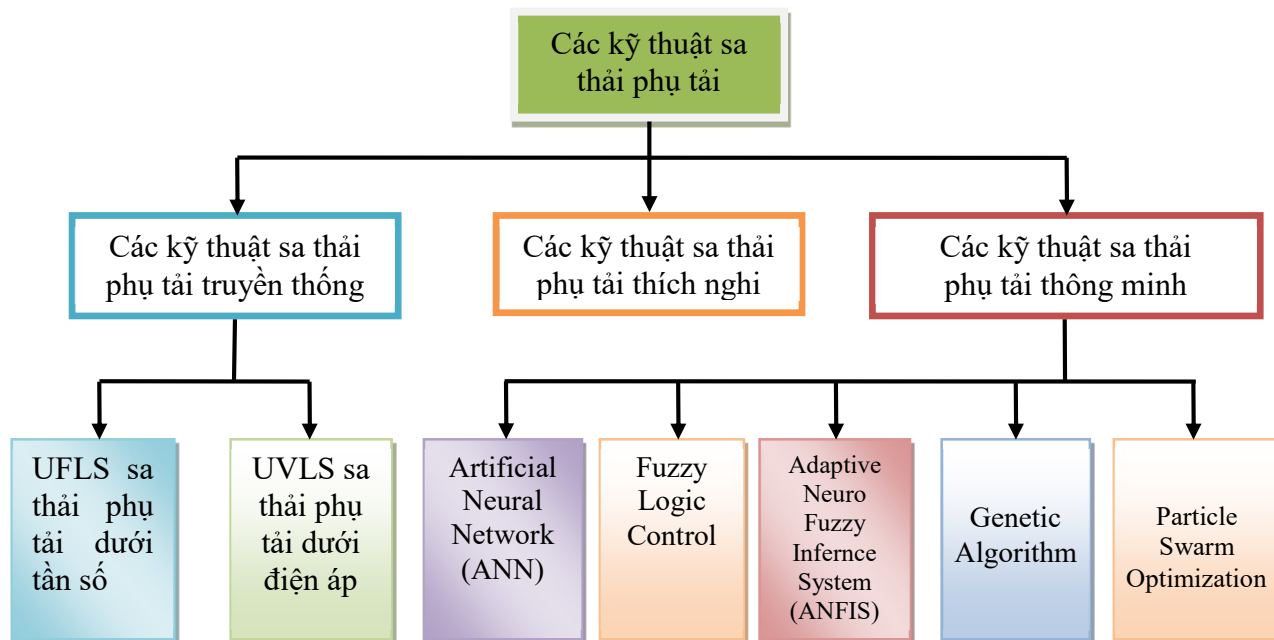
Lượng tải sa thải tùy thuộc vào công suất mất đi trên hệ thống khi có sự cố gây ảnh hưởng nghiêm trọng và cần sa thải tải. Tùy thuộc vào độ lớn của công suất nguồn bị mất và mức độ ảnh hưởng của nguồn này đến hệ thống mà lựa chọn lượng tải sa thải phù hợp. Để đảm bảo liên tục cung cấp điện cho khách hàng, lượng tải sa thải phải được điều chỉnh sao cho tối thiểu mà vẫn đảm bảo các thông số của lưới nằm trong phạm vi cho phép.

Vị trí tải sa thải cũng rất quan trọng nhằm tối thiểu lượng tải sa thải và giảm tác động đến lưới khi sự cố nghiêm trọng xảy ra. Vị trí tải sa thải được lựa chọn sao cho càng gần điểm xảy ra sự cố càng tốt [8]. Điều này giúp cho việc phục hồi hệ thống sau sự cố nhanh hơn, lượng tải sa thải cũng ít hơn, khu vực bị ảnh hưởng bởi sự cố nhỏ hơn. Thông thường, vị trí sa thải tải được trung tâm điều độ hệ thống điện lựa chọn dựa vào vị trí địa lý của các tải trên lưới.

1.4 Tổng quan các công trình nghiên cứu về sa thải phụ tải

Các nghiên cứu về điều khiển sa thải phụ tải tập trung giải quyết các vấn đề: khôi phục tần số hệ thống ổn định với thời gian nhanh nhất, lượng tải sa thải ít nhất, chi phí thiệt hại khi mất điện là ít nhất. Có nhiều phương pháp khác nhau để sa thải phụ tải và phục hồi hệ thống đã được phát triển bởi các nhà nghiên cứu. Các kỹ thuật sa thải phụ tải về cơ bản được chia thành 3 mảng nghiên cứu chính: các kỹ thuật sa thải phụ tải truyền thống

(Conventional Load Shedding), các kỹ thuật sa thải phụ tải thích nghi (Adaptive Load Shedding), và các kỹ thuật sa thải phụ tải thông minh ILS (Intelligent Load Shedding). Tổng quan về các kỹ thuật sa thải phụ tải được trình bày ở Hình 1.2 [2].



Hình 1.2: Tổng quan về các kỹ thuật sa thải phụ tải trong hệ thống điện

1.4.1 Sa thải phụ tải truyền thống

Sa thải phụ tải bằng relay tần số, hoặc điện áp là phương pháp được sử dụng phổ biến nhất cho việc điều khiển ổn định tần số, ổn định điện áp của lưới điện và duy trì tính ổn định của lưới trong các điều kiện cần thiết. Khi tần số hoặc điện áp giảm xuống dưới điểm làm việc đã được cài đặt, các relay tần số/điện áp của hệ thống phát tín hiệu cắt từng mức phụ tải, do đó ngăn cản sự suy giảm tần số/điện áp và các ảnh hưởng của nó.

a. Sa thải phụ tải dưới tần số (UFLS)

Sa thải phụ tải dưới tần số (UFLS) được áp dụng trong trường hợp có sự cố nghiêm trọng, làm giảm nhanh ở tần số do việc mất các máy phát điện. Theo tiêu chuẩn IEEE, sa thải dưới tần số phải được thực hiện một cách nhanh chóng để ngăn ngừa tần số hệ thống điện giảm bằng cách giảm tải hệ thống điện để đáp ứng cân bằng công suất phát điện hiện có [9]. Với mục đích này, giá trị ngưỡng tần số được thiết lập để bắt đầu sa thải phụ tải

dưới tần số. Giá trị tần số tối thiểu chấp nhận phụ thuộc vào thiết bị của hệ thống, chẳng hạn như các loại máy phát điện, thiết bị phụ trợ của nó, và quy định của mỗi quốc gia. Các relay UFLS được khởi tạo để sa thải một lượng tải cố định trong các bước được xác định trước, khi tần số giảm xuống dưới một ngưỡng nhất định nhằm ngăn ngừa sự cố tan rã lưới điện. Các nhà vận hành hệ thống truyền tải điện châu Âu (ENTSOE) [10] đã đề nghị các bước sau đây để sa thải dưới tần số:

- Giai đoạn đầu tiên tự động sa thải phụ tải nên được khởi đầu ở 49 Hz.
- Tại 49 Hz, ít nhất 5% tổng mức tải tiêu thụ nên được sa thải.
- Một mức 50% tải định mức nên được cắt bằng cách sử dụng relay dưới tần số trong dải tần số từ 49,0-48,0 Hz.
- Trong mỗi bước, sa thải không quá 10% tải thì được khuyến cáo.
- Thời gian trễ cắt tối đa nên là 350 ms bao gồm cả thời gian vận hành máy cắt.

Sa thải phụ tải dưới tần số được nhiều nhà vận hành hệ thống điện áp dụng: Hội đồng Điều phối độ tin cậy bang Florida (FRCC) [9], Hội đồng điện tin cậy của Texas ERCOT [9], Hệ thống điện Việt Nam [11], ...

Bảng 1.2: Lượng công suất tải được cắt tại mỗi bước theo sự thay đổi tần số của FRCC

Các bước UFLS	Tần số sa thải tải (Hz)	Thời gian trễ (s)	Lượng tải sa thải (phần trăm tổng tải) (%)	Tổng số lượng tải sa thải (%)
A	59,7	0,28	9	9
B	59,4	0,28	7	16
C	59,1	0,28	7	23
D	58,8	0,28	6	29
E	58,5	0,28	5	34
F	58,2	0,28	7	41
L	59,4	10	5	46
M	59,7	12	5	51
N	59,1	8	5	56

Bảng 1.3: Chương trình sa thải tải của ERCOT

Tần số sa thải	Tải sa thải
59,3 Hz	5% Tải hệ thống (Tổng 5%)
58,9 Hz	Cộng thêm 10% tải hệ thống (Tổng 15%)
58,5 Hz	Cộng thêm 10% tải hệ thống (Tổng 25%)

Đối với các máy phát điện, hoạt động điều tần được thực hiện như sau:

- Tại 49,8 Hz, chế độ khởi động nhanh nhà máy phải được thực hiện và kết nối với lưới điện.

- Đối với hệ thống điện hoạt động ở tần số 50 Hz (hoặc 60 Hz), tần số hoạt động cho phép tối thiểu thường được khuyến cáo theo nhà sản xuất cho tuabin là 47,5 Hz (57,5 Hz) [12], [13]. Điều này là cần thiết để bảo vệ máy phát điện và các thiết bị phụ trợ của nó bởi vì các dịch vụ phụ trợ nhà máy điện bắt đầu trực trực ở tần số 47,5 Hz; tình hình sẽ trở nên nghiêm trọng vào khoảng 44Hz đến 46 Hz. Hơn nữa, hoạt động phát điện tại 47,5 Hz hoặc thấp có thể làm hỏng cánh turbine và làm giảm tuổi thọ của nó [14]. Do đó, sa thải phụ tải trong hệ thống điện sẽ giúp ngăn chặn sự mất mát của máy phát điện, hư hỏng thiết bị, và mất điện.

Đối với hệ thống điện Việt Nam, quy định tần số định mức trong hệ thống điện là 50Hz. Ở các chế độ vận hành khác nhau của hệ thống điện, tần số được phép dao động trong phạm vi quy định. Tần số được phép dao động từ 49,8Hz đến 50,2Hz trong điều kiện vận hành bình thường. Khi sự cố xảy ra, tần số được phép dao động trong khoảng 49,5Hz đến 50,5Hz. Theo *Quy trình lập kế hoạch, huy động dịch vụ điều tần và dự phòng quay*, do Cục Điều Tiết Điện Lực Bộ công thương Việt Nam ban hành 2015 [11], điều khiển tần số ở Việt Nam được chia làm 03 cấp như sau :

- Điều khiển tần số cấp I là đáp ứng của hệ thống máy phát nhằm duy trì tần số định mức 50,0Hz với dải dao động cho phép $\pm 0,2$ Hz.

- Điều khiển tần số cấp II là điều chỉnh tự động hoặc điều chỉnh bằng tay các tổ máy phát điện nhằm đưa tần số nằm ngoài khoảng $50,0 \pm 0,5$ Hz về giới hạn trong khoảng $50,0 \pm 0,5$ Hz.

- Điều khiển tần số cấp III (sau đây viết tắt là điều tần cấp III) là điều chỉnh bằng sự can thiệp bởi lệnh điều độ để đưa tần số hệ thống điện vận hành ổn định theo quy định hiện hành và đảm bảo phân bổ kinh tế công suất phát các tổ máy phát.

Bộ điều tốc của tổ máy phát điện của nhà máy điện có công suất lắp đặt trên 30 MW phải có khả năng làm việc với các giá trị hệ số tĩnh của đặc tính điều chỉnh nhỏ hơn hoặc bằng 5%.

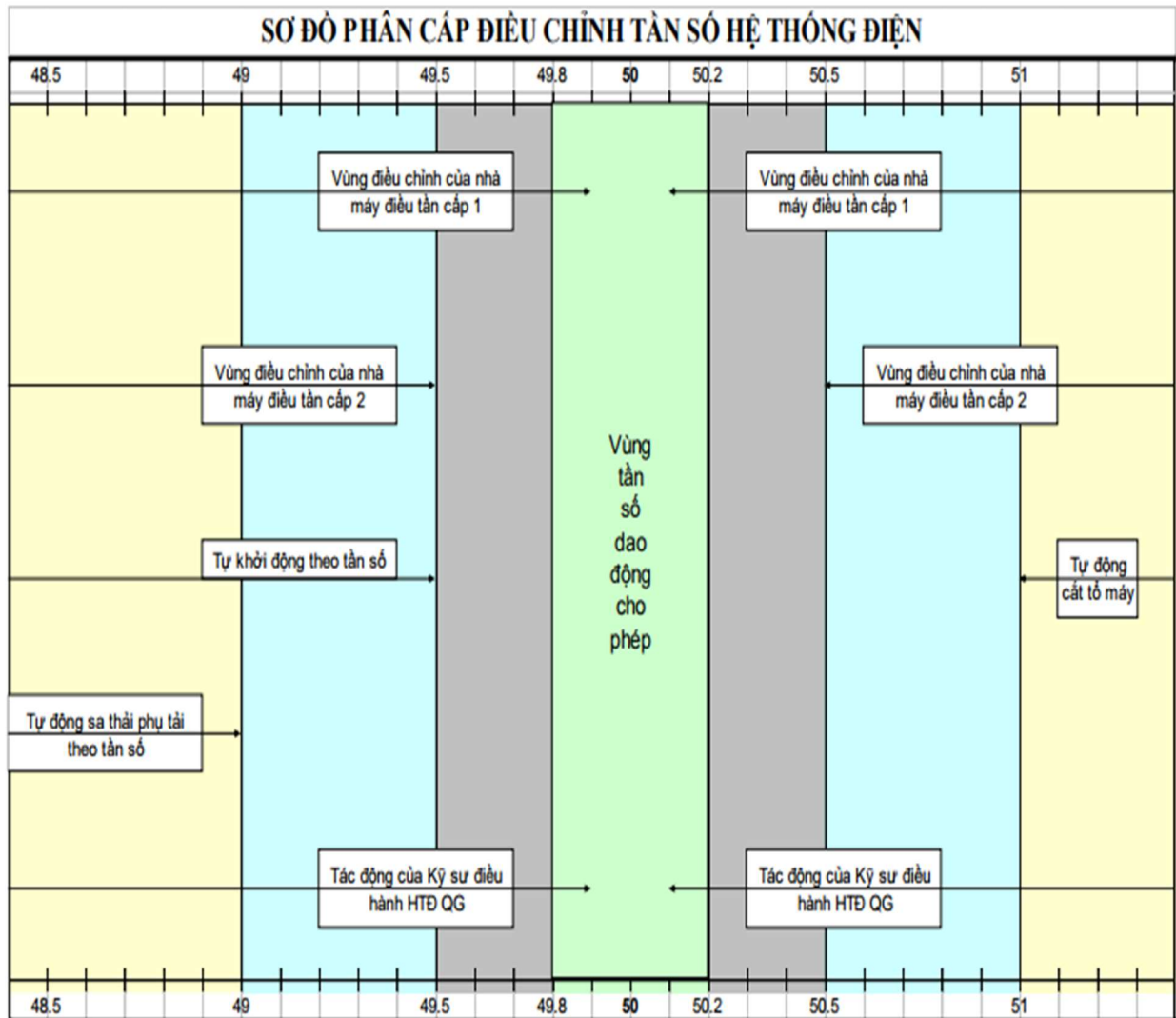
Các tổ máy phát điện tham gia điều tần phải có khả năng thay đổi ít nhất 4% công suất định mức của tổ máy trong vòng 10 giây và có thể duy trì mức thay đổi này tối thiểu trong 10 phút. Đồng thời, các tổ máy này phải có khả năng tăng hoặc giảm công suất tự động theo tần số một cách tự động.

Tổ máy cung cấp dịch vụ dự phòng quay phải có khả năng tăng công suất trong vòng 25 giây và duy trì ở mức công suất đó tối thiểu 30 phút. Đồng thời các tổ máy này phải có khả năng tăng công suất theo tần số tự động hoặc bằng tay.

Đối với trường hợp tần số thay đổi nhanh chóng và vượt ra ngoài phạm vi tự điều khiển của các tổ máy phát điện khi mà điều khiển bằng tay không đủ thời gian để điều chỉnh hệ thống thì phương án sa thải tự động được dùng để điều khiển tần số hệ thống điện trình bày ở Bảng 1.4 [15]. Phân cấp điều khiển tần số ở hệ thống điện Việt Nam được trình bày ở Hình 1.3.

Bảng 1.4: Phân bổ công suất sa thải sử dụng UFLS trên hệ thống điện Việt Nam

Tần số, Hz	Lượng cắt tính theo % phụ tải khu vực (thời gian cắt $t = 0s$)	
	Miền Bắc, miền Trung	Miền Nam
49,0	5	5
48,8	5	5
48,6	5	5
48,4	5	5
48,2	5	5
48,0	5	15
47,8	10	15
47,6	15	10
47,4	10	
<i>Tổng cộng</i>	<i>65</i>	<i>65</i>



Hình 1.3: Sơ đồ phân cấp điều chỉnh tần số trong HTĐ Việt Nam

b. Sa thải phụ tải dưới điện áp (UVLS)

UVLS được thực hiện để bảo vệ hệ thống điện tránh sụp đổ điện áp. Mất ổn định điện áp thường xảy ra do máy phát điện hoặc đường dây buộc phải cắt, hoặc quá tải. Khi điều này xảy ra, nhu cầu công suất phản kháng trong đường dây truyền tải thay đổi nghiêm trọng và có thể gây ra sự cố mất điện nếu không phục hồi nhanh chóng. Kỹ thuật UVLS được áp dụng bởi các công ty điện lực để ngăn chặn sự mất ổn định điện áp và khôi phục điện áp đến giá trị định mức của nó [16], [17].

c. Những hạn chế của các phương pháp sa thải phụ tải truyền thống

Các phương pháp sa thải phụ tải truyền thống có ưu điểm là chi phí thấp, nguyên lý làm việc đơn giản, việc cắt tải gần như diễn ra tức thời khi tần số thấp nên được ứng dụng rất rộng rãi. Tuy nhiên, các phương pháp này thường bị hạn chế bởi không thể cung cấp phương pháp sa thải phụ tải tối ưu. Các phương pháp này chỉ cần làm theo một quy tắc định sẵn dựa trên cài đặt sẵn của các relay dưới tần số hoặc điện áp, trong đó một số lượng cố định tải được cắt ra khi tần số lệch khỏi giá trị cho phép. Nhược điểm chính của phương pháp này là nó không ước tính được lượng công suất mất cân bằng trong hệ thống. Kết quả là gây ra sa thải quá mức, ảnh hưởng đến chất lượng điện năng, hoặc dẫn đến ngưng cung cấp các dịch vụ điện, gây thiệt hại nhiều cho nền kinh tế [18]. Việc sa thải tải quá mức đã không được ưa chuộng vì nó gây ra sự bất tiện cho khách hàng. Các cải tiến về các phương pháp truyền thống này đã dẫn đến sự phát triển của kỹ thuật sa thải phụ tải dựa trên tần số cũng như tốc độ thay đổi của tần số. Điều này dẫn đến dự đoán tốt hơn của phụ tải sẽ phải sa thải, và nâng cao độ chính xác.

1.4.2 Sa thải phụ tải thích nghi

Phương pháp sa thải phụ tải thích nghi sử dụng phương trình chuyển động rotor để ước lượng công suất cần sa thải. Công suất mất cân bằng trong hệ thống có thể có được bằng cách sử dụng phương trình [19]:

$$\Delta P = \frac{2H}{f} \cdot \frac{df}{dt} \quad (1.1)$$

Ở đây: ΔP là lượng công suất mất cân bằng, H là hằng số quán tính của máy phát, f là tần số định mức (Hz), df/dt là độ thay đổi của tần số (Hz/s).

Khi hệ thống bị sự cố, có sự thay đổi trong tần số cũng như tốc độ thay đổi của tần số (ROCOF: Rate Of Change Of Frequency), áp dụng các giá trị trong biểu thức (1.1) để ước tính lượng công suất mất cân bằng. Sau đó, lượng công suất được sa thải dựa trên relay ROCOF được thực hiện để ổn định tần số hệ thống điện [20]. Việc sa thải phụ tải thích nghi có thể được cải thiện bằng cách sử dụng cả hai thông số: độ lệch tần số và điện áp. Phương pháp được đề xuất trong [18], trong đó cho thấy rằng phương pháp được đề xuất

có thể tăng cường độ tin cậy về sự ổn định tần số và ổn định điện áp, cho thấy hiệu quả tốt khi gặp phải những sự cố nghiêm trọng.

Phương pháp sa thải phụ tải thích nghi dựa trên tín hiệu df/dt thường được phân thành ba cấu trúc: sự thích nghi của ngưỡng tần số sa thải phụ tải df/dt ($f-df/dt$); thích nghi thời gian trễ sa thải phụ tải với df/dt ($LD-df/dt$); thích nghi lượng phụ tải sa thải mỗi bước với df/dt ($LD-df/dt$) [21]. Cần chú ý rằng 2 phương pháp đầu tiên không hiệu quả trong thực tế, nhưng phương pháp thứ 3 không chỉ có ảnh hưởng lớn đến ổn định hệ thống mà còn có thể được thực hiện với relay dưới tần số cho phép.

Phương pháp sa thải phụ tải thích nghi đảm bảo độ tin cậy của phương pháp sa thải thông thường. Tuy nhiên, những phương pháp này cũng có những nhược điểm từ việc tối ưu hóa sa thải phụ tải dựa trên độ biến đổi df/dt . Các giá trị df/dt có được phụ thuộc vào khả năng cũng như tình trạng vận hành của hệ thống điện (công suất phụ tải, khả năng mang tải lúc cao điểm). Các giá trị của df/dt thì khác nhau đối với cùng một lượng tải biến đổi lúc bình thường và lúc tải đỉnh cực đại. Việc biến đổi df/dt này đưa đến kết quả là ước lượng không tối ưu việc mất cân bằng công suất và ảnh hưởng đến việc thực hiện các phương pháp sa thải phụ tải thích nghi.

1.4.3 Phương pháp sa thải phụ tải thông minh

Hệ thống sa thải phụ tải thông thường chỉ tin cậy trên hệ thống đo lường tần số không thể được lập trình với sự hiểu biết của người thiết kế hệ thống điện. Kỹ sư hệ thống phải thực hiện nhiều nghiên cứu hệ thống bao gồm tất cả các hệ và các điều kiện vận hành hệ thống có thể hiểu được để thiết kế đúng hệ thống điện. Sự hiểu biết về hệ thống của kỹ sư đạt được thông qua các nghiên cứu là không được tận dụng hết.

Hệ thống sa thải phụ tải hiện đại sử dụng sự thu thập dữ liệu rộng lớn thời gian thực được cập nhật liên tục theo mô hình hệ thống thời gian thực bằng máy tính. Giải pháp tối ưu này giúp cho sự duy trì hệ thống bằng cách sa thải chỉ lượng phụ tải cần thiết và được gọi là sa thải phụ tải thông minh ILS (Intelligent Load Shedding). Đó là phương pháp kích hoạt những relay dưới tần số dựa trên một chương trình sa thải tải thông minh biến đổi

động. Các thành phần chính của chương trình này là: các cơ sở tri thức, danh sách nhiều và các công cụ tính toán ILS [22]. Hệ thống này phải có các khả năng sau:

- Khả năng ánh xạ một hệ thống điện phi tuyến phức tạp với một số lượng giới hạn các điểm tập hợp dữ liệu tới một khoảng không gian xác định.

- Cấu hình hệ thống nhớ tự động, các điều kiện vận hành như là tải được thêm vào hay loại ra, và đáp ứng hệ thống tới các nhiễu với tất cả các cấu hình hệ thống.

- Nhận dạng các mẫu hệ thống khác để dự đoán đáp ứng hệ thống cho các nhiễu khác.

- Tận dụng vào sự hiểu biết ban đầu có thể cải thiện được bằng các trường hợp đã xác định được khách hàng.

- Khả năng thích nghi huấn luyện tự động và hệ tự học của cơ sở tri thức hệ thống dẫn đến các thay đổi của hệ thống.

- Ra các quyết định nhanh, đúng, và tin cậy trong việc ưu tiên sa thải phụ tải dựa vào tình trạng tải thực tế của mỗi máy cắt.

- Sa thải lượng phụ tải nhỏ nhất để duy trì ổn định tần số của hệ thống.

- Sự kết hợp tối ưu để sa thải của các máy cắt với sự hiểu biết đầy đủ các ràng buộc vận hành của hệ thống.

Hệ thống sa thải phụ tải thông minh phải có một cơ sở tri thức. Để cơ sở tri thức trở nên hiệu quả, nó phải có thể nắm được các thông số then chốt của hệ thống, thông số mà có tác động trực tiếp vào đáp ứng tần số hệ thống khi có các nhiễu. Các thông số này bao gồm:

- Công suất của hệ thống và lưới thay đổi cả trước và sau nhiễu.

- Khả năng phát điện trước và sau nhiễu.

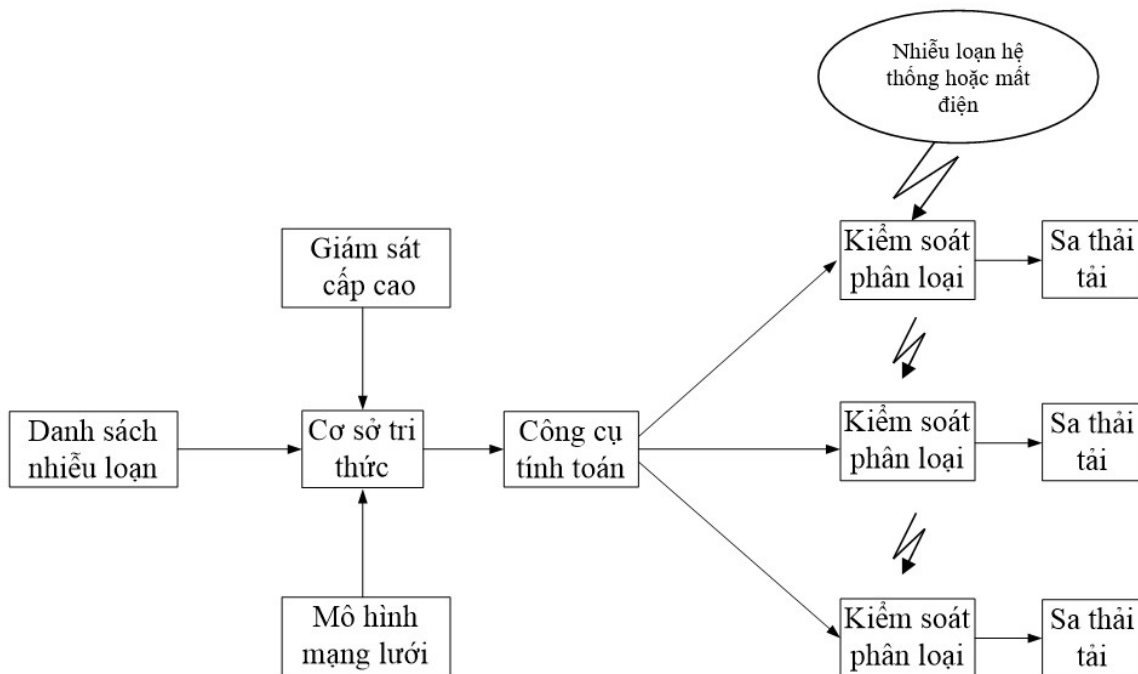
- Động học của máy phát điện tại chỗ.

- Tải thực tế và các tình trạng được cập nhật của mỗi phụ tải có thể sa thải.

- Đặc điểm động học của các phụ tải hệ thống. Đặc điểm này bao gồm các máy điện quay, các tải trở kháng không đổi, các tải dòng điện không đổi, các tải công suất không đổi, các tải phụ thuộc tần số, hoặc là các dạng khác của tải.

Các yêu cầu phải được trao đổi trong suốt quá trình thiết kế và hoạt động của kế hoạch sa thải phụ tải thông minh bao gồm:

- Cơ sở tri thức đã được cấu hình và được lựa chọn cẩn thận.
- Khả năng thêm tính logic xác định khách hàng.
- Một hệ thống giám sát trực tuyến có thể có được sự liên kết với dữ liệu hệ thống thực.
- Khả năng thực hiện một phương pháp dự báo và ngăn ngừa để có thể đưa ra một kiểu sa thải phụ tải động tương ứng với các thay đổi cấu hình hệ thống và các nhiễu đã được xác định trước đó.
- Một hệ thống điều khiển tại chỗ phân phối cho hệ thống sa thải phụ tải thông minh.



Hình 1.4: Cấu trúc tổng quát của chương trình ILS

Trong sơ đồ khối chức năng của hệ thống ILS trình bày ở Hình 1.4, các cơ sở tri thức là các khối quan trọng nhất. Cơ sở tri thức được kết nối tới công cụ tính toán, gửi các tín hiệu ngắt đến các relay. Các mô hình mạng có thể được truy cập bởi các cơ sở tri thức trong khi giám sát hệ thống.

Cơ sở tri thức được huấn luyện và đầu ra của nó bao gồm các diễn biến động của hệ thống và các đáp ứng tần số trong khi nhiễu. Cơ sở tri thức được huấn luyện này cũng giám sát hệ thống liên tục cho tất cả các điều kiện vận hành.

Danh sách nhiễu bao gồm các nhiễu hệ thống đã được xác định trước đó. Căn cứ vào các yếu tố đầu vào cho hệ thống và cập nhật hệ thống liên tục, các cơ sở tri thức thông báo và gửi định kỳ các yêu cầu tới bộ phận tính toán sa thải phụ tải thông minh ILS để cập nhật các kiểu sa thải phụ tải. Vì vậy, nó đảm bảo rằng sa thải tải luôn luôn là nhỏ nhất và tối ưu khi có nhiễu xuất hiện.

Các kiểu sa thải phụ tải được truyền xuống các bộ điều khiển phân phối đã được định vị kết nối tới mỗi phụ tải có thể sa thải. Khi có nhiễu xảy ra, hành động sa thải phụ tải nhanh có thể được thực hiện.

Phương pháp sa thải phụ tải thông minh ILS là tập hợp các kỹ thuật được áp dụng để bắt chước trí thông minh của con người. Những kỹ thuật này bao gồm các mạng neural nhân tạo (ANN), hệ thống suy luận neural-mờ thích nghi (ANFIS), điều khiển logic mờ (FLC), thuật toán Genetic (GA) và thuật toán Tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization). Những kỹ thuật này có thể dễ dàng giải quyết những vấn đề phi tuyến, đa mục tiêu trong các hệ thống điện mà thông thường không thể được giải quyết bằng các phương pháp thông thường với tốc độ mong muốn và độ chính xác chấp nhận được [23], [24].

Do cấu trúc phức tạp của hệ thống điện hiện đại và quy mô lớn, phương pháp sa thải phụ tải truyền thống có thể không làm việc hiệu quả khi có sự cố ngẫu nhiên xảy ra. Phương pháp sa thải phụ tải dưới tần số UFLS thông thường có thể sa thải những tải không cần thiết và sa thải dư ra so với thực tế yêu cầu bởi vì nó ngắt tải kết nối trong các bước cố định mà không thực sự đo lường sự mất cân bằng công suất [25]. Việc sa thải phụ tải không đủ, sa thải bị thiếu gây ra sự thay đổi đáng kể tần số, mà sau đó có thể dẫn đến sự cố rã lưới, trong khi sa thải phụ tải nhiều hơn so với yêu cầu sẽ dẫn đến mất điện quá nhiều [26], [27], [28]. Phương pháp sa thải phụ tải tối ưu là một vấn đề tối ưu hóa phi tuyến phải giải quyết với nhiều điều kiện ràng buộc. Kỹ thuật tối ưu thông thường đã được chứng minh là không đủ khi giải quyết các vấn đề phi tuyến phức tạp [29]. Như vậy, một phương pháp sa thải phụ tải hiệu quả là rất quan trọng để sa thải phụ tải tối ưu và duy trì sự ổn định hệ thống điện.

Trước khi thực hiện trên một hệ thống điện thực tế, những phương pháp sa thải thông minh phải trải qua một loạt các mô phỏng để xác định sa thải phụ tải tối ưu cho tình huống ngẫu nhiên như: sự cố ngắn mạch, ngắt đường dây, các vấn đề mất ổn định điện áp, chia cắt hệ thống điện thành các vùng độc lập, và các vấn đề ổn định tần số. Sau khi huấn luyện và thử nghiệm thành công các kỹ thuật tối ưu hóa cho những tình huống, chúng được áp dụng trong điều kiện thời gian thực. Nếu hệ thống điện gặp bất kỳ các vấn đề trên, các phương pháp này có thể cung cấp sa thải phụ tải tối ưu cho trường hợp đó, xem như giải pháp tối ưu cho trường hợp đó đã được xác định.

Các ưu điểm của phương pháp sa thải phụ tải thông minh so với các phương pháp truyền thống được tóm tắt trong Bảng 1.5.

Bảng 1.5: So sánh các tính năng của các phương pháp truyền thống và thông minh

STT	Tính năng	Phương pháp truyền thống	Phương pháp thông minh
1	Sa thải tối ưu	Không cung cấp sa thải phụ tải tối ưu	Có khả năng cung cấp sa thải phụ tải tối ưu
2	Hệ thống điện phức tạp	Không thể giải quyết hiệu quả với các hệ thống điện hiện đại và phức tạp	Có thể giải quyết hiệu quả với các hệ thống điện hiện đại và phức tạp

a. Phương pháp ứng dụng mạng neural (ANN) trong sa thải phụ tải

ANN là một mô hình toán học dựa trên các hệ thống thần kinh của con người. Các nhà nghiên cứu đã áp dụng ANN để sa thải phụ tải trong hệ thống điện. Hsu và các cộng sự [26] đã đề xuất một kỹ thuật sa thải phụ tải dựa trên mạng ANN cho hệ thống nhiều máy phát. Quá trình đào tạo mạng ANN được tổ chức bằng cách xem xét ba ngõ vào - tổng công suất phát, tổng nhu cầu phụ tải, và độ suy giảm tần số và một đầu ra - lượng tải sa thải tối thiểu. Kỹ thuật này đã được kiểm chứng và so sánh với các kỹ thuật thông thường. Kết quả cho thấy rằng phương pháp được đề xuất thực hiện sa thải phụ tải nhanh hơn so với các kỹ thuật thông thường. Các ứng dụng khác của ANN cung cấp sa thải phụ tải nhanh và tối ưu trong hệ thống điện độc lập được trình bày trong [25], [30]. Phương pháp này đã được kiểm chứng trên mạng 39 bus New England. Hệ thống thử nghiệm 39 bus có 10 máy phát điện cung cấp cho 19 phụ tải tập trung. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng kỹ thuật đề xuất cung cấp sa thải phụ tải tối ưu. Do đó, sự ổn định của hệ thống điện được nâng cao.

Kottick và Or [31] sử dụng hai mô hình mạng neural để giải quyết sự cố mất điện của một đơn vị phát điện khi một hệ thống điện bị cô lập. Mạng nơ ron đầu tiên xác định tần số tối thiểu thấp nhất trong lúc mất điện của một đơn vị phát điện và mạng nơ ron thứ hai dự đoán có bao nhiêu giai đoạn hoặc chiến lược sa thải phụ tải sẽ được yêu cầu thực hiện. Một ứng dụng khác của ANN hỗ trợ trong việc ra quyết định của các nhà vận hành hệ thống điện theo hướng ổn định nhanh chóng của hệ thống nhiều máy được thảo luận trong [32].

Hsu và các cộng sự [33] đề xuất một kỹ thuật sa thải phụ tải dựa trên ANN để nâng cao độ tin cậy của hệ thống điện Đài Loan. Đài Loan bị cắt điện nghiêm trọng vào năm 1999 do sự cố đường dây giữa các vùng miền Nam và Trung và Bắc Đài Loan. Sự cố này ảnh hưởng 82,5% khách hàng tiêu thụ điện ở Đài Loan [34], [35], [36]. Hệ thống điện Đài Loan hiện đang sử dụng một kỹ thuật sa thải phụ tải gồm 15 giai đoạn. Các kết quả mô phỏng cho thấy rằng phương pháp đề xuất cung cấp chính xác lượng tải phải sa thải. Purnomo và các cộng sự [37] đã trình bày kỹ thuật sa thải phụ tải dựa trên ANN cho việc dự đoán tần số giảm nhanh trong hệ thống điện.

Mitchell và các cộng sự [38] trình bày một chiến lược dựa trên ANN một cách nhanh chóng và tối ưu dự đoán đáp ứng động của một hệ thống điện. Một kỹ thuật tính toán hiệu quả dựa trên ANN để dự đoán các chiến lược phù hợp cho việc thiết lập cài đặt relay sa thải dưới tần số UFLS được thảo luận trong [39]. Javadian và các cộng sự [40] đề xuất một kỹ thuật dựa trên ANN thực hiện cho những sự cố nghiêm trọng xảy ra trong mạng lưới phân phối các máy phát DG. Các kỹ thuật được đề xuất thực hiện sa thải phụ tải bằng cách tách các mạng lưới phân phối thành nhiều khu, mỗi khu có khả năng hoạt động ở chế độ độc lập.

Mặc dù có những lợi thế mà ANN vượt qua các kỹ thuật thông thường, nó có một số hạn chế mà có thể giới hạn việc thực hiện nó trong các ứng dụng thực tiễn. Nghiên cứu đã chứng minh rằng ANN có thể cung cấp kết quả khả quan (được đào tạo) chỉ cho các trường hợp được biết đến. ANN không dự đoán được kết quả chính xác cho những trường hợp chưa biết (chưa qua đào tạo) hoặc các trường hợp khác [41]. Điều này có nghĩa rằng ANN sẽ không cung cấp đầu ra chính xác liên quan đến các trường hợp không được đào tạo trong ANN. Một nghiên cứu về vấn đề này được thực hiện bằng cách kiểm tra mạng ANN sử

dụng hai cấu hình. Trong cấu hình đầu tiên, lớp ngõ ra mạng ANN có một neuron, trong khi cấu hình thứ hai, nó có 6 neuron. Mỗi ANN đã được thử nghiệm trên 22 trường hợp chưa biết để dự đoán lượng tải sa thải. Với cấu hình ANN đầu tiên, chỉ có 10 trường hợp chưa biết được đánh giá một cách chính xác. Tuy nhiên, với cấu hình ANN thứ hai, ANN đánh giá một cách chính xác 11 trường hợp, 6 trường hợp vẫn không có một quyết định, và 5 trường hợp được đánh giá sai. Điều này cho thấy rằng hiệu quả của ANN đối với trường hợp chưa biết thì không tốt trong việc cung cấp các giá trị đầu ra chính xác. Một lý do cho đáp ứng kém này có thể là do các dữ liệu huấn luyện có tương đối ít mẫu được liên kết chặt chẽ với các trường hợp không rõ. Qua đó kết luận rằng ANN là nội suy rất tốt, nhưng không phải là một công cụ ngoại suy. Tác động đối với các phân không biết trước của ANN làm nghi ngờ về độ tin cậy của nó. Một kết luận tương tự - đó là ANN không cung cấp kết quả chính xác trong các tình huống mạng khác nhau - đã được rút ra bởi Hobson và Allen [42].

b. Ứng dụng điều khiển mờ trong sa thải phụ tải

Điều khiển mờ FLC (Fuzzy Logic Control) là một công cụ toán học phù hợp cho mô hình hóa một hệ thống quá phức tạp và không được xác định bằng biểu thức toán học. FLC đã được áp dụng rộng rãi trong việc khôi phục tần số của hệ thống điện.

Các nhà nghiên cứu đã áp dụng điều khiển logic mờ cho ứng dụng sa thải phụ tải. Một bộ điều khiển mờ đã được sử dụng cho sa thải phụ tải thông minh để cung cấp kiểm soát sự cố trong hệ thống điện [43]. Hiệu quả của FLC trên hệ thống thử nghiệm IEEE 300-bus cho thấy rằng nó cho phép sa thải tải chính xác trong các tình huống. Các ứng dụng logic mờ để tránh sụp đổ điện áp bằng cách sa thải tải những nút tải yếu được trình bày trong [44]. Kỹ thuật này đã được thử nghiệm trên hệ thống Ward-Hale 6-bus và IEEE 14, 30, và các hệ thống 57-bus. Các kết quả mô phỏng cho thấy rằng kỹ thuật đề xuất có thể thực hiện thành công trên một hệ thống có kích thước bất kỳ.

Sallam và Khafaga [45] áp dụng điều khiển logic mờ để sa thải phụ tải để có được sự ổn định điện áp trong hệ thống IEEE 14-bus. Kết quả mô phỏng cho thấy sa thải phụ tải với bộ điều khiển logic mờ thành công và phục hồi điện áp đến giá trị định mức. Một ứng

dụng khác của FLC cho sa thải phụ tải là đặc biệt để giữ ổn định động điện áp như trình bày trong [46]. Trong một hệ thống phân phối bị chia tách, tần số hệ thống điện là rất nhạy cảm với sự thay đổi tải và có thể gây mất điện hoặc quá tải nếu không khôi phục nhanh chóng và đúng cách. Một phương pháp logic mờ dựa trên kỹ thuật UFLS kết hợp với xếp thứ tự ưu tiên phụ tải và được trình bày trong [47]. Các kết quả mô phỏng cho thấy kỹ thuật dựa trên mờ hóa cung cấp sa thải phụ tải tối ưu và phục hồi tần số thành công tới giá trị định mức.

c. Ứng dụng hệ thống suy luận neural-mờ thích nghi (ANFIS) trong sa thải phụ tải

Phương pháp ANFIS dựa trên sự kết hợp của các mạng thần kinh nhân tạo và điều khiển logic mờ. ANFIS kết hợp các khả năng học tập của ANN với phép giải mờ của hệ thống FLC [48]. ANFIS cũng đã được áp dụng cho các ứng dụng sa thải phụ tải trong một hệ thống điện. Một ứng dụng của ANFIS cho sa thải phụ tải thông minh để xác định lượng tải sa thải được trình bày trong [43]. Kỹ thuật này đã được thử nghiệm trên hệ thống kiểm tra IEEE 300-bus. Các kết quả thử nghiệm cho thấy rằng kỹ thuật ANFIS cung cấp một lượng tải sa thải chính xác và có khả năng được sử dụng trong các ứng dụng thời gian thực. Một ứng dụng tương tự của ANFIS được áp dụng thử nghiệm trên hệ thống lưới điện Malaysia 87bus để kiểm soát lỗ hổng của nó [24]. Bikas và các cộng sự [49] áp dụng kỹ thuật cây quyết định neuro-fuzzy trên một hệ thống điện cho ứng dụng sa thải phụ tải. Họ xem xét 2 trường hợp nghiên cứu. Trường hợp nghiên cứu đầu tiên xem xét hệ thống điện vận hành trong điều kiện với rủi ro mất ổn định cao, liên quan đến kỹ thuật sa thải phụ tải để ngăn chặn sự sụp đổ điện áp hệ thống. Trường hợp thứ hai xem xét sự tích hợp của điện gió trong hệ thống điện hiện tại.

d. Ứng dụng thuật toán di truyền (GA) trong sa thải phụ tải

Thuật toán di truyền (GA) là những kỹ thuật tối ưu hóa toàn cục để giải quyết các bài toán phi tuyến, các vấn đề đa mục tiêu giới thiệu bởi John Henry Holland tại Đại học Michigan vào năm 1975 [50]. GA có một số ứng dụng các vấn đề sa thải phụ tải. Sanaye-Pasand và Davarpanah [51] áp dụng thuật toán di truyền cho ứng dụng sa thải phụ tải trong hệ thống điện. Cơ sở dữ liệu cho các vấn đề sa thải phụ tải có được từ nghiên cứu trao lưu

công suất và đã được thực hiện thành công trên hệ thống IEEE 30-bus. Một kỹ thuật sa thải phụ tải dựa trên GA khác xem xét sa thải phụ tải từ mỗi bus được đề xuất trong [52]. Các thuật toán GA và thuật toán PSO đã được sử dụng để giải quyết việc mất máy phát điện và mất điện đường dây, và đã được thử nghiệm trên hệ thống IEEE 30-bus. Đáp ứng của GA và thuật toán PSO trong tất cả các trường hợp nghiên cứu được so sánh. Kết quả cho thấy về mặt thời gian tính toán, thuật toán PSO nhanh hơn so với GA; còn GA có lượng tải sa thải ít hơn [53].

Các ứng dụng thuật toán Genetic để giảm thiểu lượng tải sa thải được đề xuất trong [54] cho hệ thống một máy phát, nút cân bằng. Kỹ thuật này đã được thử nghiệm bằng cách mô phỏng nhu cầu phụ tải 12 tháng cho một cài đặt tối ưu UFLS và các kết quả so sánh với phương pháp truyền thống thông thường. Kết quả chỉ ra rằng phương pháp dựa trên GA có tính khả thi và hiệu quả trong việc cung cấp sa thải phụ tải tối ưu. Luan và các cộng sự [55] đã thảo luận một phương pháp dựa trên GA để xác định việc khôi phục nguồn cung cấp và tối ưu chiến lược sa thải phụ tải cho mạng lưới phân phối.

Một nỗ lực để xác định các cài đặt relay UFLS cho hệ thống điện bị cô lập và mạng lưới nhỏ microgrid sử dụng thuật toán Genetic được thực hiện trong [56] và [57]. GA đã được sử dụng để xác định lượng tải tối thiểu sa thải ở từng giai đoạn cho các relay dưới tần số. Phương pháp được đề xuất đã được thử nghiệm trên một hệ thống điện bị cô lập bao gồm máy phát điện năng lượng gió và diesel [56], và trên một hệ thống thử nghiệm microgrid có một tua bin khí, tua bin gió, và một hệ thống năng lượng mặt trời [57]. Lopes và các cộng sự [29] đề xuất một phương pháp dựa trên thuật toán GA để xác định sa thải phụ tải tối ưu cho các trường hợp sự cố xảy ra. Phương pháp đề xuất đã được chứng minh là có tính khả thi và hiệu quả. Một ứng dụng khác của GA cho việc đánh giá an ninh hệ thống điện khi phải chịu mất mát 1 trong các thành phần K được trình bày trong [58]. GA xử lý vấn đề này như là một chương trình hai mức; trong đó tối ưu hóa mức trên xác định một tập hợp các thành phần dịch vụ bị ngắt trong hệ thống điện, sau đó tối ưu hóa cấp thấp hơn theo mô hình phản ứng của các nhà điều hành hệ thống trong quá trình xảy ra sự cố. Kết quả cho thấy thuật toán GA thực hiện có hiệu quả về chất lượng giải pháp.

Hạn chế chính của thuật toán GA trong việc thực hiện ứng dụng nó trong thời gian thực đó là đáp ứng chậm. Quan sát thấy rằng thời gian tính toán của thuật toán GA để xác định lượng tải sa thải là rất lớn. Việc chậm trễ tương đối điều này là hạn chế của thuật toán GA trong việc sử dụng chúng cho các ứng dụng thời gian thực [59].

e. Ứng dụng thuật toán PSO trong sa thải phụ tải

Kennedy và Eberhart giới thiệu thuật toán PSO vào năm 1995, lấy cảm hứng từ những hành vi xã hội của các sinh vật như đàn chim và bầy cá [60]. Thuật toán PSO đã được chứng minh là một kỹ thuật mạnh và nhanh trong việc giải quyết các bài toán phi tuyến, các vấn đề đa mục tiêu. Ngoài ra, thuật toán PSO tìm ra giải pháp tối ưu toàn cục nhanh hơn nhiều so với thuật toán GA. Thuật toán PSO cũng đã được áp dụng rộng rãi trong cho ứng dụng sa thải phụ tải trong hệ thống điện. Trong [61], các mẫu của tần số hệ thống điện được lấy sau khi xảy ra sự cố, sau đó, thuật toán PSO được sử dụng để dự báo tần số tối thiểu dựa trên các mẫu này. Phương pháp đề xuất đã cho thấy hiệu quả khi so sánh với các phương pháp mới gần đây. Một cách tiếp cận lai được gọi là kỹ thuật tối ưu hóa bầy đàn dựa trên mô phỏng linh hoạt cũng đã được áp dụng trong sa thải dưới điện áp [62]. Kỹ thuật này cung cấp sa thải phụ tải dưới điện áp tối ưu để giúp ổn định điện áp lâu dài; nó đã được áp dụng trên các hệ thống kiểm tra IEEE 14 bus và IEEE 118-bus. Phương pháp được đề xuất xác định các giải pháp tối ưu toàn cục trong một số lượng nhỏ các bước lặp.

Các kỹ thuật tính toán sa thải thông minh có khả năng cung cấp nhanh chóng và tối ưu sa thải phụ tải trong suốt thời gian xảy ra sự cố để ngăn ngừa rã lưới. Tuy nhiên, mỗi phương pháp đều có những hạn chế nhất định trong việc thực hiện chúng trong các ứng dụng thời gian thực. Bảng 1.6 trình bày tóm tắt những ưu điểm và nhược điểm của kỹ thuật tính toán thông minh cho các ứng dụng sa thải phụ tải trong hệ thống điện.

Bảng 1.6: Ưu và nhược điểm của các kỹ thuật tính toán sa thải phụ tải thông minh

STT	Kỹ thuật	Ưu điểm	Hạn chế
1	Mạng Neural nhân tạo (ANN) [25], [26], [30]	ANN có khả năng đảm bảo một lượng sa thải phụ tải tối ưu	ANN có thể cung cấp kết quả thỏa đáng chỉ cho những trường hợp được biết đến và có thể không dự đoán được kết quả chính xác cho các trường hợp không biết hoặc thay đổi
2	Điều khiển Fuzzy Logic (FLC) [43-47], [62]	FLC có thể được sử dụng để sa thải phụ tải trên một hệ thống điện có bất kỳ kích thước	Các thông số hàm thành viên của FLC yêu cầu độ ưu tiên kiến thức hệ thống. Nếu không, nó có thể cung cấp sai việc sa thải phụ tải tối ưu
3	Hệ thống suy luận thích nghi neural mờ (ANFIS) [49]	Các thông số FLC được tối ưu hóa bằng cách sử dụng ANN, mà có thể dẫn đến sa thải tải chính xác	ANFIS có thể làm việc với các hệ thống loại Sugeno
4	Thuật toán di truyền (GA) [51] – [54], [29], [59]	GA là một kỹ thuật tối ưu hóa toàn cục để giải quyết các vấn đề phi tuyến, đa mục tiêu. GA đảm bảo sa thải lượng công suất tải ít nhất.	GA mất một thời gian dài để xác định lượng tải sa thải. Điều này làm hạn chế việc sử dụng chúng cho các ứng dụng trực tuyến thực tế
5	Particle swarm Optimization (PSO) [61], [62]	Thuật toán PSO thì đơn giản và có khả năng để tìm các giá trị tối ưu	PSO là dễ dàng bị gián đoạn bởi tối ưu hóa thành phần

1.4.4 Nhận xét

Sa thải phụ tải trong một hệ thống điện là một quá trình rất phức tạp và nhanh. Các sự cố trong quá trình vận hành là không thể đoán trước và thời gian cần thiết để thực hiện sa thải phụ tải cũng rất ngắn. Và hệ thống điện nếu được phát hiện mất ổn định tần số và thực hiện sa thải nhanh chóng, nó sẽ ngăn cản hệ thống đi đến việc rã lưới, mất điện hoàn toàn. Bên cạnh đó, việc sa thải phụ tải cần phải đặc biệt quan tâm đến độ tin cậy cung cấp điện. Bởi vì những thiệt hại do ngừng sản xuất trong thời gian dài khi thực hiện sa thải phụ tải không đúng thường rất lớn, đặc biệt là đối với các khu công nghiệp.

Ngày nay kỹ thuật UFLS thông thường thì không thích hợp cho các hệ thống điện lớn và phức tạp. Các sự cố rã lưới gần đây đã xảy ra trên thế giới làm cho độ tin cậy của các kỹ thuật thông thường UFLS, UVLS không còn tin cậy cao như trước nữa.

Ở các nước đang phát triển, tồn tại khoảng cách lớn giữa nhu cầu phụ tải và nguồn phát, khi đó vấn đề sa thải phụ tải trở nên cần thiết để khôi phục tần số hệ thống điện. Thông thường, các phương pháp sa thải phụ tải được thực hiện theo phương pháp cân bằng tải và không có khả năng sa thải chính xác lượng công suất phụ tải. Các phương pháp sa thải phụ tải hiện nay thường được thực hiện trên toàn bộ phát tuyến do các relay UFLS đặt ở đầu phát tuyến để cắt máy cắt theo các ngưỡng tần số do người vận hành cài đặt mà không xét đến loại phụ tải, cũng như tầm quan trọng của các phụ tải được đấu nối đến phát tuyến. Vì vậy công suất sẽ không được duy trì phân phối đến các phụ tải quan trọng và cần thiết nhất. Hơn nữa, việc phối hợp các ngưỡng cài đặt tần số cho các relay UFLS cho tất cả các phát tuyến trên một hệ thống điện lớn phạm vi cả nước là công việc rất phức tạp và khó khăn.

Gần đây, các sự cố mất điện diện rộng trên khắp thế giới đã đặt ra câu hỏi về độ tin cậy của các phương pháp sa thải phụ tải truyền thống trong việc chống lại sự sụp đổ hệ thống điện. Do đó, yêu cầu phải có những phương pháp tin cậy hơn để đảm bảo việc sa thải phụ tải nhanh chóng, chính xác và giảm thiểu thiệt hại hơn.

Các phương pháp thông thường, thậm chí một số phương pháp thông minh chẳng hạn như Fuzzy logic, di truyền GA, thuật toán PSO, chủ yếu dựa trên sa thải phụ tải dưới điện áp ở điều kiện trạng thái vận hành ổn định của hệ thống. Do đó, những phương pháp này không đủ nhanh trong việc sa thải phụ tải tức thời. Hệ thống sa thải phụ tải thực tế diễn ra trong thời gian thực, và ở phần này, đáp ứng nhanh chóng của mạng neural có thể cung cấp khả năng tối ưu và đáp ứng việc sa thải phụ tải trong điều kiện tức thời. Phương pháp này sa thải phụ tải thích nghi sử dụng mạng neural đã được phát triển ở [25], [33] trong đó [25] chỉ ra rằng tốc độ phản ứng của thuật toán ANN so với các phương pháp khác nhanh hơn ít nhất là 100 lần.

Trong hầu hết các nghiên cứu trước đây liên quan đến ANN, đầu ra là tổng lượng công suất tác dụng cho sa thải phụ tải. Đầu ra này không phải là tín hiệu thực tế, vì nó không xác định được số lượng tải mà phải là sa thải trong từng bước. Ngoài ra, khi tải thường xuyên thay đổi trong hệ thống điện, các thuật toán sa thải phụ tải nên được xem xét trong điều kiện mới hơn.

Các kỹ thuật tính toán sa thải phụ tải thông minh bao gồm: ANN, logic mờ, neurofuzzy ANFIS,... có khả năng giúp sa thải chính xác với thời gian ngắn trong điều kiện tình huống khẩn cấp và sử dụng hiệu quả với các hệ thống điện hiện đại. Đối với các trường hợp sự cố khẩn cấp như ngắn mạch trên các đường dây, thanh góp hệ thống điện, tại thời điểm xảy ra ngắn mạch có thể gây mất ổn định hệ thống. Cụ thể là trường hợp sự cố mất điện miền Nam Việt Nam ngày 22 tháng 5 năm 2013 làm các tỉnh thành miền Nam Việt Nam bị mất điện trong nhiều giờ. Nguyên nhân là do một chiếc xe cầu chở cây gỗ vướng vào đường dây tải điện 500kV làm gây ngắn mạch trên hệ thống. Đối với trường hợp sự cố này, các phương pháp sa thải phải tải UFLS truyền thống đã không thể tác động kịp để duy trì một phần hệ thống hoạt động và gây rã lưới toàn bộ miền Nam. Điều này dẫn đến sự cần thiết phải nghiên cứu hệ thống nhận dạng, theo dõi và phương pháp xử lý sa thải phụ tải nhanh chóng, hiệu quả để ngăn chặn hệ thống trở nên mất ổn định. Nội dung chương 2 sẽ trình bày chi tiết các giải pháp để giải quyết vấn đề này.

Trong trường hợp sự cố lâu dài, hệ thống phát điện không thể đáp ứng nhu cầu công suất phụ tải trong thời gian dài. Cụ thể là sự cố Nhà máy nhiệt điện Mông Dương ở Việt Nam xảy ra lúc 5h41 ngày 25/05/2019 đã làm cho TP.HCM và các tỉnh phía Nam mất điện trên diện rộng. Riêng khu vực TP.HCM, là khu vực có ý nghĩa tầm quan trọng lớn trong cả nước về nhiều mặt kinh tế - chính trị nhưng vẫn phải thực hiện sa thải UFLS của 45 phát tuyến với tổng công suất bị sa thải là 132 MW. Trong đó, có các phát tuyến quan trọng ở các Quận 1, Quận Bình Thạnh, Quận Gò Vấp. Qua đó cho thấy nhưng hạn chế của phương pháp sa thải phụ tải UFLS. Từ đó, cho thấy việc sa thải phụ tải cần xét đến các chỉ tiêu kinh tế và tầm quan trọng của phụ tải trong một mặt bằng tổng thể hệ thống điện trên cả nước. Chương 3 sẽ trình bày chi tiết nội dung và phương pháp để giải quyết bài toán trên.

Các chương 4 và chương 5 sẽ trình bày chi tiết việc tính toán lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu và phân bố lượng công suất sa thải phụ tải tại các nút phụ tải trên cơ sở phối hợp nhiều phương pháp nhằm thỏa mãn các yếu tố kinh tế - kỹ thuật.

Chương 2

PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN KHẨN CẤP SA THẢI PHỤ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

2.1 Đặt vấn đề

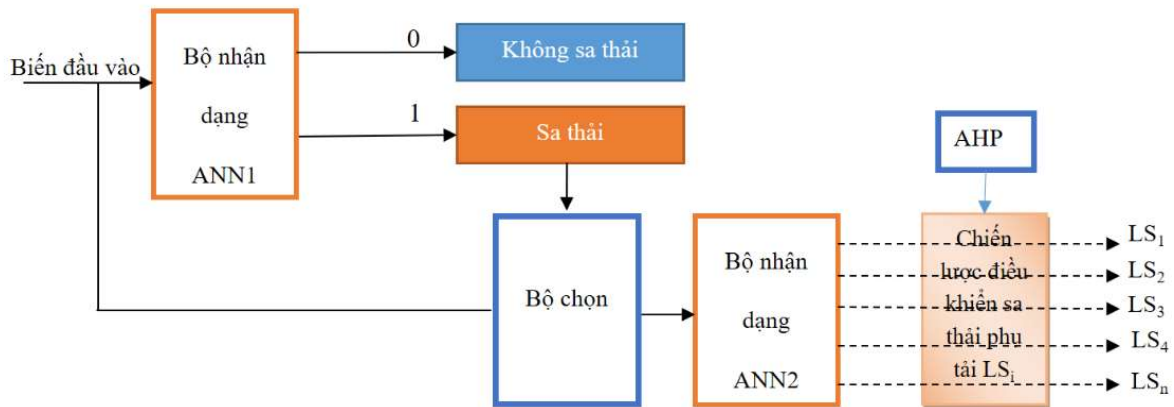
Các nghiên cứu sa thải phụ tải trước đây tập trung chủ yếu vào mục tiêu là giải quyết việc tối ưu hóa lượng công suất sa thải phụ tải trong điều kiện chế độ vận hành xác lập của hệ thống điện. Tuy nhiên, do tính phức tạp của hệ thống điện, trong các chế độ vận hành khẩn cấp, ví dụ như ngắn mạch trên các đường dây và thanh góp hệ thống điện, các phương pháp này gặp vấn đề về khối lượng dữ liệu, thời gian tính toán, và tốc độ xử lý chương trình giải thuật tương đối chậm hoặc thực hiện sa thải phụ tải thụ động sau khi chờ tần số dưới ngưỡng cho phép, do đó gây chậm trễ trong khâu ra quyết định sa thải tải. Điều này, có thể dẫn đến làm mất ổn định tần số hệ thống điện. Ngoài ra, các nghiên cứu này chỉ tập trung nghiên cứu bài toán đơn lẻ; đó là ứng dụng các giải thuật thông minh để giải quyết bài toán sa thải phụ tải mà chưa có sự kết hợp với các bài toán khác, ví dụ như bài toán nhận dạng có/không sa thải phụ tải trong một giải pháp tổng thể để duy trì ổn định tần số hệ thống điện.

Để khắc phục những vấn đề trên, giải pháp nhận dạng có/không sa thải phụ tải sử dụng mạng nơ-ron có khả năng đáp ứng yêu cầu phân loại nhanh khi xuất hiện sự cố ngắn mạch trong hệ thống điện. Trong trường hợp kết quả nhận dạng là có sa thải phụ tải, kết quả nhận dạng này sẽ phối hợp với các giải pháp điều khiển sa thải phụ tải đã được thiết lập trước, giúp nhanh chóng ra quyết định điều khiển sa thải phụ tải ngay sau khi có sự cố xảy ra để khôi phục và duy trì ổn định tần số của hệ thống điện.

2.2 Phương pháp điều khiển khẩn cấp sa thải phụ tải trong hệ thống điện

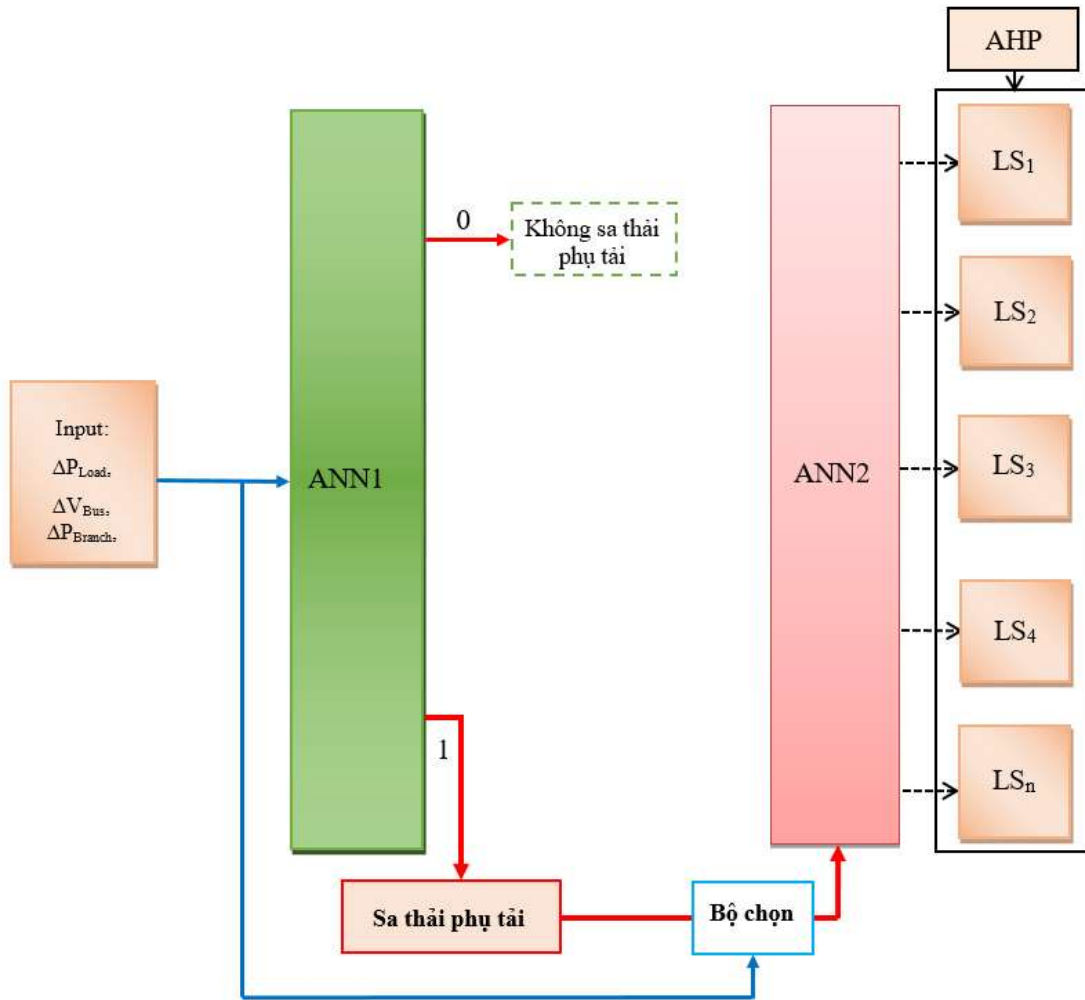
2.2.1 Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất [63], [64]

Mô hình nguyên lý của phương pháp sa thải phụ tải trên cơ sở nhận dạng nhanh trạng thái có/không sa thải phụ tải được trình bày ở Hình 2.1 [63] và mô hình chi tiết trình bày ở Hình 2.2 [64].



Hình 2.1: Mô hình nguyên lý điều khiển khẩn cấp sa thải phụ tải

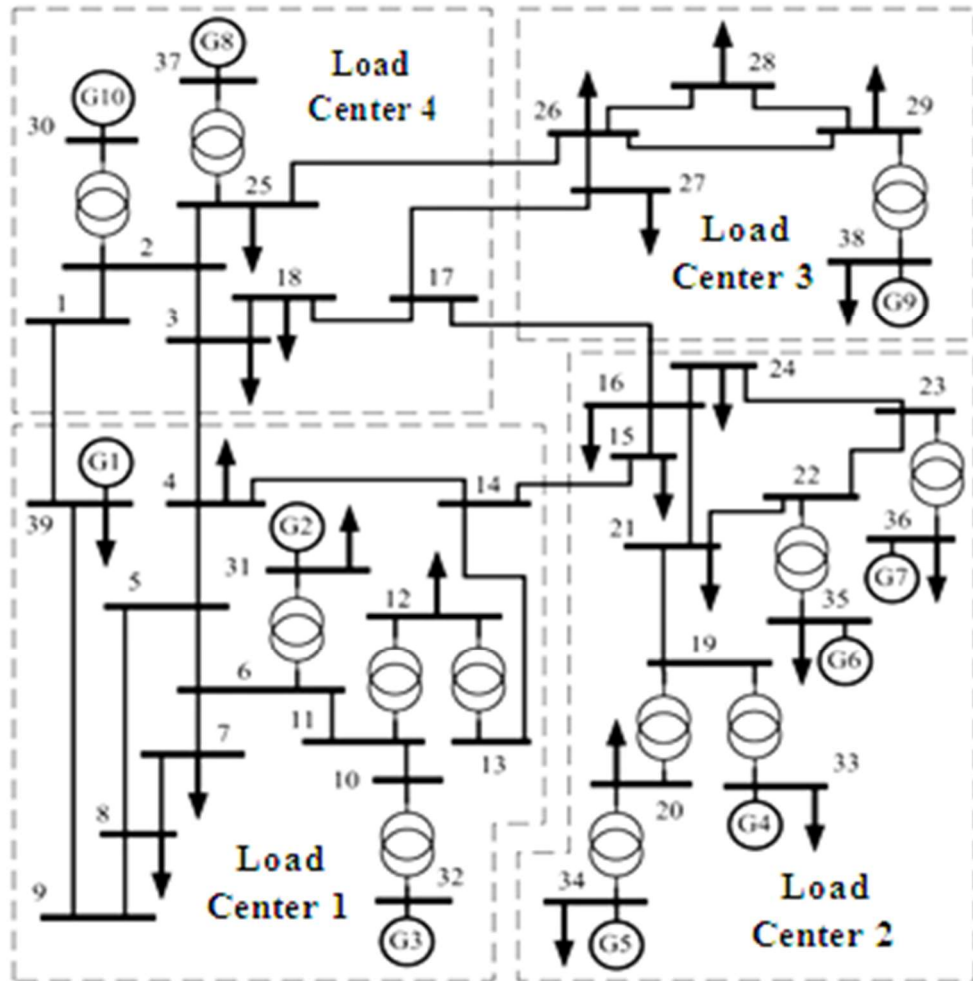
Nguyên lý của phương pháp sa thải phụ tải đề xuất được thực hiện như sau: Vector biến đầu vào chứa thông tin đặc trưng của trạng thái hệ thống điện khi bị sự cố và được thu thập từ các thiết bị đo lường. Thông số của các biến đầu vào chứa đựng sự thay đổi tức thì của các thông số trạng thái ngay khi sự cố xảy ra như: độ thay đổi công suất của các nút tải (ΔP_{load}), độ sụt áp tại các nút (ΔV_{bus}), độ thay đổi công suất trên các nhánh (ΔP_{Branch}). Dựa trên các biến đầu vào này, mạng nơ-ron thứ nhất ANN1 sẽ thực hiện nhận dạng trạng thái hệ thống điện có/không cần sa thải phụ tải. Nếu kết quả ngõ ra của ANN1 là có sa thải phụ tải thì bộ chọn sẽ kích hoạt cho phép mạng nơ-ron thứ hai ANN2 hoạt động. Mạng nơ-ron thứ hai sẽ thực hiện nhận dạng các chiến lược sa thải phụ tải LS_i ($i=1, n$) để điều khiển chọn chiến lược sa thải phụ tải. Các chiến lược sa thải phụ tải này được xây dựng dựa trên thuật toán AHP.



Hình 2.2: Mô hình chi tiết điều khiển khẩn cấp sa thải phụ tải

2.2.2 Xây dựng tập mẫu và huấn luyện mạng nơ-ron ANN1

Hiệu quả của phương pháp sa thải phụ tải đề xuất được kiểm tra trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn IEEE 39 bus, 10 máy phát, tần số 60Hz. Sơ đồ này được trình bày ở Hình 2.3.

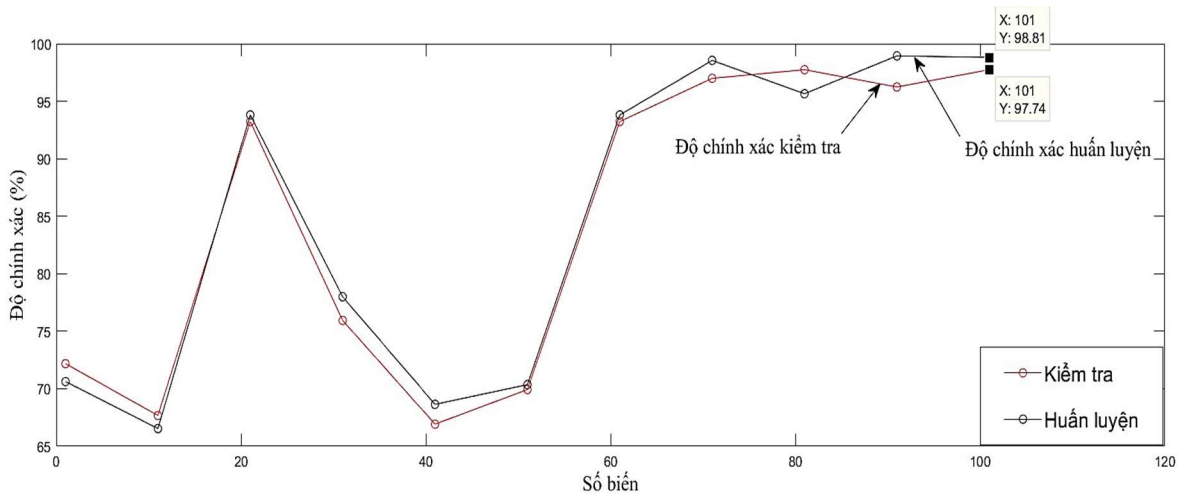


Hình 2.3: Sơ đồ các vùng trung tâm tải trong sơ đồ IEEE 39 bus 10 máy phát

Phần mềm PowerWorld GSO 19 được sử dụng để mô phỏng off-line nhằm thu thập dữ liệu cho đánh giá trạng thái hệ thống điện có/không sa thải phụ tải khi có sự cố ngắn mạch với các mức tải 80%, 90% và 100% phụ tải cơ bản, thời gian cắt ngắn mạch của máy cắt cài đặt là 50ms [65]. Trong thử nghiệm này, các sự cố ngắn mạch ba pha tại tất cả các thanh góp và dọc các đường dây liên kết với mỗi khoảng cách 5% chiều dài đường dây được xem xét. Hệ thống điện sẽ thực hiện sa thải phụ tải khi tần số giảm xuống dưới ngưỡng cho phép 59,7Hz sau khi sự cố được giải trừ và ngược lại. Đối với nơ-ron thứ nhất ANN1, biến đầu vào $x\{\Delta V_{bus}, \Delta P_{load}, \Delta P_{Branch}\}$ và biến đầu ra $y\{1, 0, 0, 1\}$. Tổng số biến đầu vào là 104 biến (bao gồm: 39 biến ΔV_{bus} , 19 biến ΔP_{load} và 46 biến ΔP_{Branch}), và 2 biến đầu ra (bao gồm: có sa thải phụ tải, không sa thải phụ tải). Tổng hợp các trường hợp mô phỏng cho các mức tải xây dựng được một tập dữ liệu đầu vào bao gồm 892 mẫu, trong đó bao gồm

576 mẫu không cần sa thải phụ tải và 316 mẫu cần phải sa thải phụ tải. Trong quá trình huấn luyện mạng nơ-ron, tập dữ liệu được chia ra 85% dữ liệu để huấn luyện và 15% dữ liệu để kiểm tra. Các dữ liệu được chuẩn hóa trước khi huấn luyện.

Tiến hành huấn luyện mạng nơ-ron ANN1 với các công cụ mạng nơ-ron được hỗ trợ bởi phần mềm Matlab. Cấu hình và thông số mạng Neural Perceptron gồm 3 lớp: lớp vào, lớp ẩn và lớp ra. Giải thuật cập nhật trọng số và bias là Levenberg-Marquardt được khuyến dùng trong bài toán nhận dạng nhờ tính toán nhanh và độ chính xác cao [66]. Số chu kỳ huấn luyện là 1000, sai số huấn luyện $1e-5$, các thông số khác chọn mặc định. Kết quả huấn luyện đối với nơ-ron thứ nhất ANN1 có độ chính xác huấn luyện là 98,81%, độ chính xác kiểm tra là 97,74% và kết quả được trình bày ở Hình 2.4.



Hình 2.4: Quan hệ độ chính xác huấn luyện và kiểm tra tương ứng với số biến đầu vào

2.2.3 Xây dựng chiến lược điều khiển sa thải phụ tải dựa trên thuật toán AHP

Thuật toán AHP [67] được phát triển bởi Thomas L. Saaty là một phương pháp tính toán trọng số áp dụng cho các bài toán ra quyết định đa tiêu chuẩn với ý tưởng là sử dụng kiến thức chuyên gia để xếp hạng các đối tượng trong một hệ thống. Ở đây, áp dụng thuật toán AHP để xác định hệ số tầm quan trọng và xếp hạng các đơn vị phụ tải trong hệ thống điện IEEE 39 bus, 10 máy phát dựa trên hệ số tầm quan trọng và thực hiện qua các bước sau:

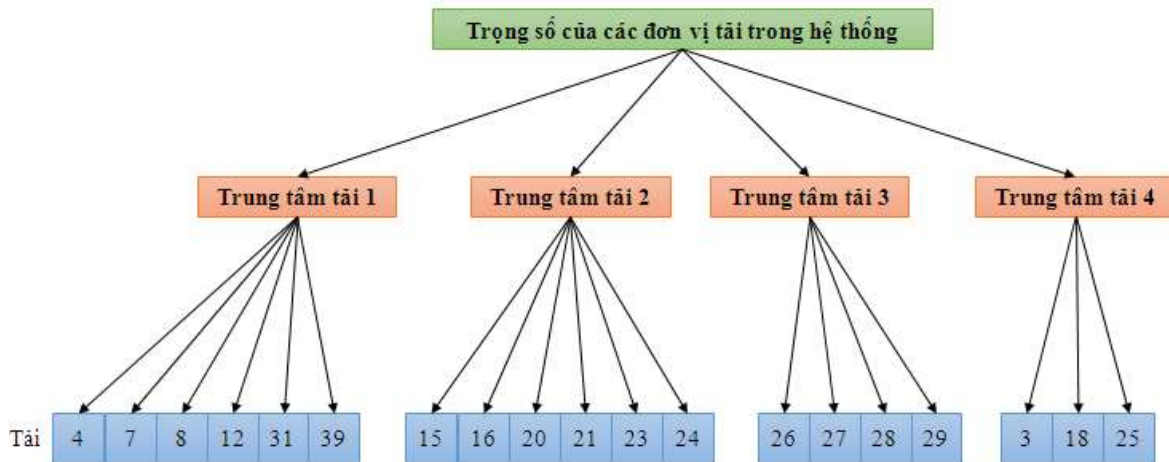
Bước 1: Xác định các vùng trung tâm tải (Load Center) LC_i và các đơn vị tải (Load Unit) L_j trong sơ đồ hệ thống điện. Sơ đồ thử nghiệm được phân chia thành 4 trung

tâm tải [68], việc phân chia các trung tâm tải này dựa trên tiêu chí các tải gần nhau hoặc trong cùng một cụm tải gần nhau thì chung một trung tâm tải, kết quả phân chia các vùng trung tâm tải trình bày ở Hình 2.5 và Bảng 2.1.

Bảng 2.1: Các vùng trung tâm tải và các đơn vị tải trong sơ đồ IEEE 39 bus 10 máy phát

Trung tâm tải	Đơn vị tải
Trung tâm tải 1 (LC ₁)	L ₄ , L ₇ , L ₈ , L ₁₂ , L ₃₁ , L ₃₉
Trung tâm tải 2 (LC ₂)	L ₁₅ , L ₁₆ , L ₂₀ , L ₂₁ , L ₂₃ , L ₂₄
Trung tâm tải 3 (LC ₃)	L ₂₆ , L ₂₇ , L ₂₈ , L ₂₉
Trung tâm tải 4 (LC ₄)	L ₃ , L ₁₈ , L ₂₅

Bước 2: Xây dựng mô hình hệ thống phân cấp AHP dựa trên các vùng trung tâm tải và các đơn vị phụ tải xác định ở Bước 1. Mô hình phân cấp AHP trình bày ở Hình 2.5.



Hình 2.5: Mô hình phân cấp AHP gồm các vùng trung tâm tải và các đơn vị tải

Bước 3: Xây dựng ma trận phán đoán LC_i và L_j thể hiện tầm quan trọng giữa các trung tâm phụ tải với nhau và tầm quan trọng giữa các tải trong trung tâm tải với nhau. Giá trị của các thành phần trong ma trận phán đoán phản ánh kinh nghiệm tri thức của chuyên gia vận hành về tầm quan trọng mối liên hệ giữa các cặp hệ số trình bày ở biểu thức (2.1), (2.2).

$$LC = \begin{bmatrix} w_{K1}/w_{K1} & w_{K1}/w_{K2} & \dots & w_{K1}/w_{Km} \\ w_{K2}/w_{K1} & w_{K2}/w_{K2} & \dots & w_{K2}/w_{Dm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{Kn}/w_{K1} & w_{Kn}/w_{K2} & \dots & w_{Km}/w_{Km} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$L_j = \begin{bmatrix} w_{D1}/w_{D1} & w_{D1}/w_{D2} & \dots & w_{D1}/w_{Dn} \\ w_{D2}/w_{D1} & w_{D2}/w_{D2} & \dots & w_{D2}/w_{Dn} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_{Dn}/w_{D1} & w_{Dn}/w_{D2} & \dots & w_{Dn}/w_{Dn} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Ở đây: m là số trung tâm phụ tải; n là số phụ tải trong một trung tâm tải; w_{Di}/w_{Dj} mô tả mức quan trọng tương đối của phụ tải thứ i được so sánh với phụ tải thứ j ; w_{ki}/w_{kj} mô tả mức quan trọng tương đối trung tâm phụ tải thứ i được so sánh với trung tâm phụ tải thứ j . Giá trị w_{Di}/w_{Dj} ; w_{ki}/w_{kj} có thể có được theo kinh nghiệm của các chuyên gia hoặc người vận hành hệ thống thông qua sử dụng phương pháp tỷ lệ “1-9”[22].

Nếu cả hai phụ tải A và B đều quan trọng như nhau, thì hệ số tỷ lệ sẽ là 1.

Nếu phụ tải A tương đối quan trọng hơn một chút so với phụ tải B, thì hệ số tỷ lệ của A đối với B sẽ là 2.

Nếu phụ tải A quan trọng hơn một chút so với phụ tải B, thì hệ số tỷ lệ của A đối với B sẽ là 3.

Nếu phụ tải A tương đối quan trọng hơn phụ tải B, thì hệ số tỷ lệ của A đối với B sẽ là 4.

Nếu phụ tải A quan trọng hơn phụ tải B, thì hệ số tỷ lệ của A đối với B sẽ là 5.

Nếu phụ tải A tương đối quan trọng hơn nhiều so với phụ tải B, thì hệ số tỷ lệ của A đối với B sẽ là 6.

Nếu phụ tải A quan trọng hơn nhiều so với phụ tải B, thì hệ số tỷ lệ của A đối với B sẽ là 7.

Nếu phụ tải A tương đối cực kỳ quan trọng so với phụ tải B, thì hệ số tỷ lệ của A đối với B sẽ là 8.

Nếu phụ tải A cực kỳ quan trọng so với phụ tải B, thì hệ số tỷ lệ của A đối với B sẽ là 9.

Ở đây, các hệ số tỷ lệ 2, 4, 6, 8 được xem như là một phán đoán trung gian của hai phán đoán lân cận

Bước 4: Tính toán hệ số tầm quan trọng của các vùng trung tâm tải với nhau và hệ số tầm quan trọng của các đơn vị phụ tải trong cùng một vùng phụ tải trên cơ sở xây dựng ma

trận phán đoán. Theo nguyên lý của AHP, các hệ số tầm quan trọng của tải có thể được tính toán thông qua việc tính toán trị riêng lớn nhất và vector riêng của ma trận phán đoán [22]. Các bước tính toán trị riêng lớn nhất và vector riêng của ma trận phán đoán sử dụng phương pháp lấy căn được thực hiện như sau:

- Nhân tất cả các giá trị của mỗi hàng trong ma trận phán đoán

$$M_i = \prod_j X_{ij}, \quad i=1, \dots, n; j = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

- Tính căn bậc n của M_i

$$W_i^* = \sqrt[n]{M_i}, \quad i=1, \dots, n \quad (2.4)$$

- Thực hiện xong có được vector sau:

$$W^* = [W_1^*, W_2^*, \dots, W_n^*]^T \quad (2.5)$$

- Chuẩn hóa vector W^*

$$W_i = \frac{W_i^*}{\sum_{j=1}^n W_j^*}, \quad i=1, \dots, n \quad (2.6)$$

- Vector riêng của ma trận phán đoán thu được là:

$$W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T \quad (2.7)$$

Bước 5: Tính toán hệ số tầm quan trọng của các đơn vị tải trong toàn hệ thống.

Các hệ số tầm quan trọng của tải W_{ij} đối với toàn hệ thống có thể được tính toán từ biểu thức (2.8).

$$W_{ij} = W_{LC_i} \times W_{L_j} \quad L_j \in LC_i \quad (2.8)$$

Trong đó: $L_j \in LC_i$ nghĩa là tải L_j được định vị trong trung tâm tải LC_i .

Bước 6: Sắp xếp theo thứ tự giảm dần tầm quan trọng của từng đơn vị phụ tải để thực hiện chiến lược sa thải theo mức ưu tiên.

Trong sơ đồ IEEE 39-bus 10 máy phát, áp dụng thuật toán AHP xây dựng 4 trung tâm tải, 19 đơn vị tải trình bày ở Hình 2.5. Ma trận phán đoán của các trung tâm tải LC_i và các tải L_j trong trung tâm tải được trình bày từ các Bảng 2.2 đến Bảng 2.6 (Phụ Lục 1).

Sau khi xây dựng ma trận phán đoán, áp dụng thuật toán AHP, tính toán trọng số của các trung tâm tải và các đơn vị tải như sau:

- Áp dụng biểu thức (2.3), nhân các giá trị trong cùng một hàng của từng ma trận phán đoán với nhau tính được các giá trị M_{LCi} và M_{Lj} . Sau đó, áp dụng biểu thức (2.4) lấy căn bậc n của các giá trị M_{LCi} và M_{Lj} này, với n là hạng ma trận, được các giá trị W_{LCi}^* và W_{Lj}^* . Kết quả tính toán các giá trị W_{LCi}^* và W_{Lj}^* trình bày từ Bảng 2.7 đến Bảng 2.11 (Phụ Lục 1);

- Chuẩn hóa ma trận, áp dụng biểu thức (2.6) tìm được các giá trị trọng số của các trung tâm tải W_{LCi} và trọng số của các tải trong mỗi trung tâm tải W_{Lj} . Kết quả tính toán các giá trị này trình bày từ Bảng 2.12 đến Bảng 2.16 (Phụ Lục 1).

- Sau khi có được các giá trị W_{LCi} và W_{Lj} , áp dụng biểu thức (2.8) tính toán các giá trị hệ số quan trọng tổng hợp W_{ij} của mỗi phụ tải. Các giá trị W_{LCi} ở cùng một trung tâm tải thì giống nhau. Kết quả tính toán các giá trị hệ số quan trọng của tải trình bày ở Bảng 2.17 (Phụ Lục 1).

- Sắp xếp theo thứ tự tăng dần hệ số tầm quan trọng của các đơn vị tải W_{ij} . Trong Bảng 2.18 (Phụ Lục 1), phụ tải có trọng số nhỏ hơn sẽ được ưu tiên sa thải trước ở các chiến lược điều khiển (Bảng 2.19).

Dựa trên thứ tự xếp hạng theo hệ số tầm quan trọng tăng dần của các tải đối với hệ thống, phụ tải có hệ số tầm quan trọng nhỏ sẽ được ưu tiên sa thải trước và ngược lại. Cụ thể, dựa trên kết quả Bảng 2.18 thì tải L_{31} sẽ được ưu tiên sa thải trước và tải L_{39} có hệ số tầm quan trọng lớn nhất sẽ sa thải cuối cùng. Việc thực hiện sa thải phụ tải được thực hiện tương ứng với các trường hợp sự cố máy phát cần phải thực hiện sa thải phụ tải và quá trình thực hiện chiến lược sa thải phụ tải này được thực hiện cho đến khi tần số nằm trong phạm vi cho phép 59,7Hz. Như vậy, tại mỗi điểm ngắn mạch, với trường hợp sa thải phụ tải sẽ có một tổ hợp các tải sa thải phụ tải (với các tải này đã được xếp theo thứ tự ưu tiên).

Ví dụ, khi ngắn mạch tại Bus 32, tổ hợp sa thải phụ tải là tải $L_{31}, L_{12}, L_{18}, L_{26}, L_{23}, L_{25}$. Khi ngắn mạch tại bus 25, tổ hợp sa thải phụ tải là tải $L_{31}, L_{12}, L_{18}, L_{26}, L_{23}$. Thực hiện tương tự cho các trường hợp ngắn mạch ở các vị trí khác nhau và các mức tải khác nhau. Kết quả tổng hợp các chiến lược sa thải phụ tải dựa trên thuật toán AHP cho sơ đồ hệ thống điện IEEE 39 bus 10 máy phát tương ứng với các trường hợp phải thực hiện sa thải phụ tải được trình bày ở Bảng 2.19. Đối với các mạng lưới điện khác nhau sẽ có số lượng các chiến lược sa thải phụ tải khác nhau.

Bảng 2.2: Các chiến lược sa thải phụ tải dựa trên thuật toán AHP

Chiến lược điều khiển sa thải phụ tải	Các tải sa thải
LS ₁	L ₃₁ , L ₁₂
LS ₂	L ₃₁ , L ₁₂ , L ₁₈
LS ₃	L ₃₁ , L ₁₂ , L ₁₈ , L ₂₆
LS ₄	L ₃₁ , L ₁₂ , L ₁₈ , L ₂₆ , L ₂₃
LS ₅	L ₃₁ , L ₁₂ , L ₁₈ , L ₂₆ , L ₂₃ , L ₂₅

Trên thực tế, mức độ quan trọng của từng tải có thể thay đổi theo từng thời điểm của biểu đồ phụ tải 24 giờ. Ví dụ, khu vực phụ tải khu công nghiệp tập trung sản xuất trong giờ hành chính và giờ thấp điểm, khu vực chiếu sáng sinh hoạt sử dụng nhiều vào buổi tối, ... Tuy nhiên, để đơn giản hóa trong quá trình tính toán, xem như thứ tự sa thải đã nêu ở phần trên là không thay đổi theo thời điểm và theo mức tải tiêu thụ.

2.2.4 Huấn luyện mạng nơ-ron ANN2

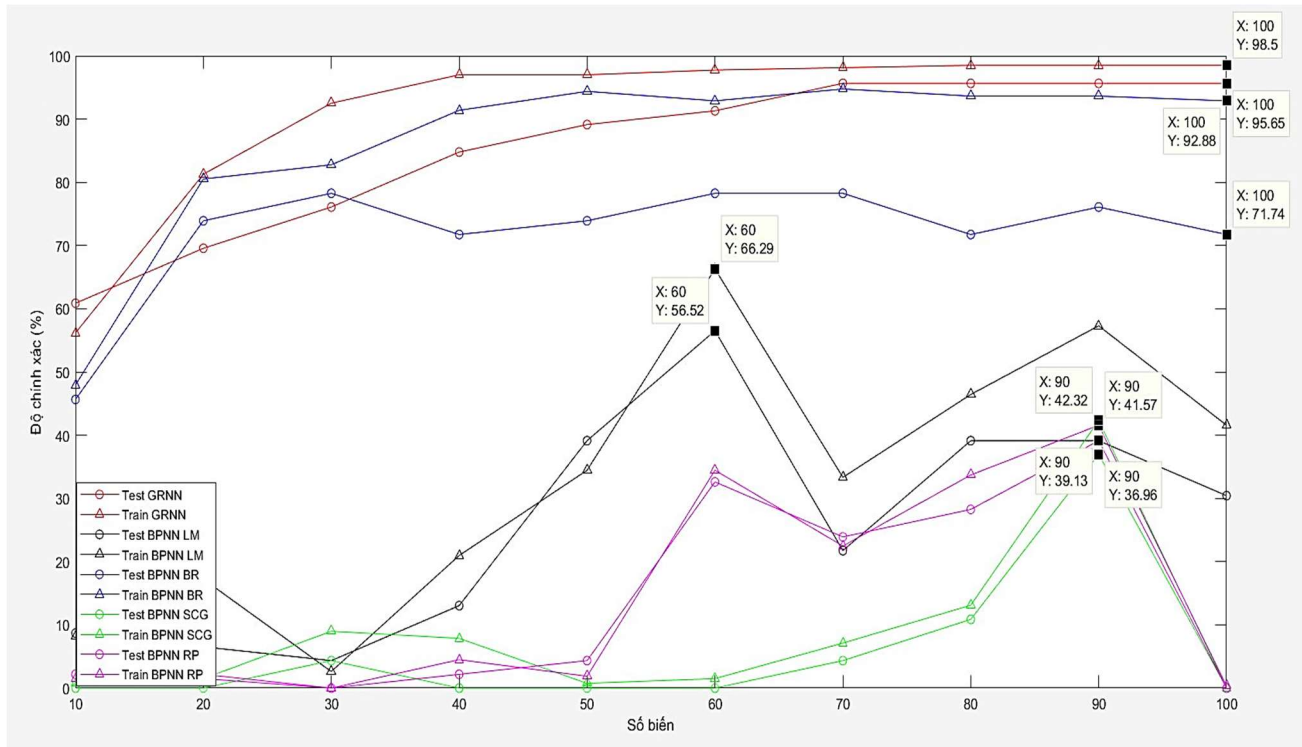
Đối với nơ-ron thứ hai ANN2 thực hiện nhận dạng các chiến lược sa thải phụ tải, biến đầu vào giống với nơ-ron thứ nhất ANN1 gồm có 104 biến và biến đầu ra gồm có 5 ngõ ra tương ứng với 5 chiến lược điều khiển sa thải phụ tải được xây dựng dựa trên thuật toán AHP. Quá trình xây dựng các chiến lược sa thải phụ tải này được trình bày ở mục 2.2.3. Chi tiết 5 chiến lược điều khiển sa thải phụ tải được trình bày ở Bảng 2.19. Tập dữ liệu đầu vào của nơ-ron thứ hai ANN2 gồm 316 mẫu cần phải sa thải phụ tải. Trong quá trình huấn luyện mạng nơ-ron, tập dữ liệu được chia ra 85% dữ liệu để huấn luyện và 15% dữ liệu để kiểm tra. Các dữ liệu được chuẩn hóa trước khi huấn luyện.

Tiến hành huấn luyện nơ-ron ANN2 với các trường hợp sử dụng mạng nơ-ron lan truyền ngược Back Propagation Neural Network (BPNN) với 4 thuật toán huấn luyện: Lenvenberg-Marquardt (trainlm), Bayesian (trainbr), Scaled Conjugate Gradient (trainscg), Resillient Backpropagation (trainrp) và sử dụng mạng nơ-ron hồi qui Generalized Regression Neural Networks (GRNN) để so sánh hiệu quả của các phương pháp huấn luyện. Kết quả độ chính xác huấn luyện và độ chính xác kiểm tra của các phương pháp huấn luyện trình bày ở Bảng 2.20 và Hình 2.6.

Bảng 2.20: Độ chính xác huấn luyện và độ chính xác kiểm tra của các phương pháp huấn luyện mạng nơ-ron

Phương pháp/giải thuật huấn luyện mạng nơ-ron	Lenvenberg-Marquardt (trainlm),	Bayesian (trainbr)	Scaled Conjugate Gradient (trainscg)	Resillient Backpropagation (trainrp)	Generalized Regression Neural Networks (GRNN)
Độ chính xác huấn luyện (%)	66,29	92,88	39,13	42,32	98,50
Độ chính xác kiểm tra (%)	56,52	71,74	36,96	41,57	95,65

Từ kết quả dữ liệu Hình 2.6 cho thấy trong trường hợp nhận dạng chiến lược sa thải phụ tải, phương pháp huấn luyện sử dụng mạng nơ-ron hồi qui GRNN có độ chính xác cao nhất. Ngoài ra, khi số biến ngõ vào càng tăng thì độ chính xác tăng theo và đạt giá trị độ chính xác cao nhất khi đạt 80 biến với độ chính xác huấn luyện là 98,5% và độ chính xác kiểm tra đạt 95,7%.



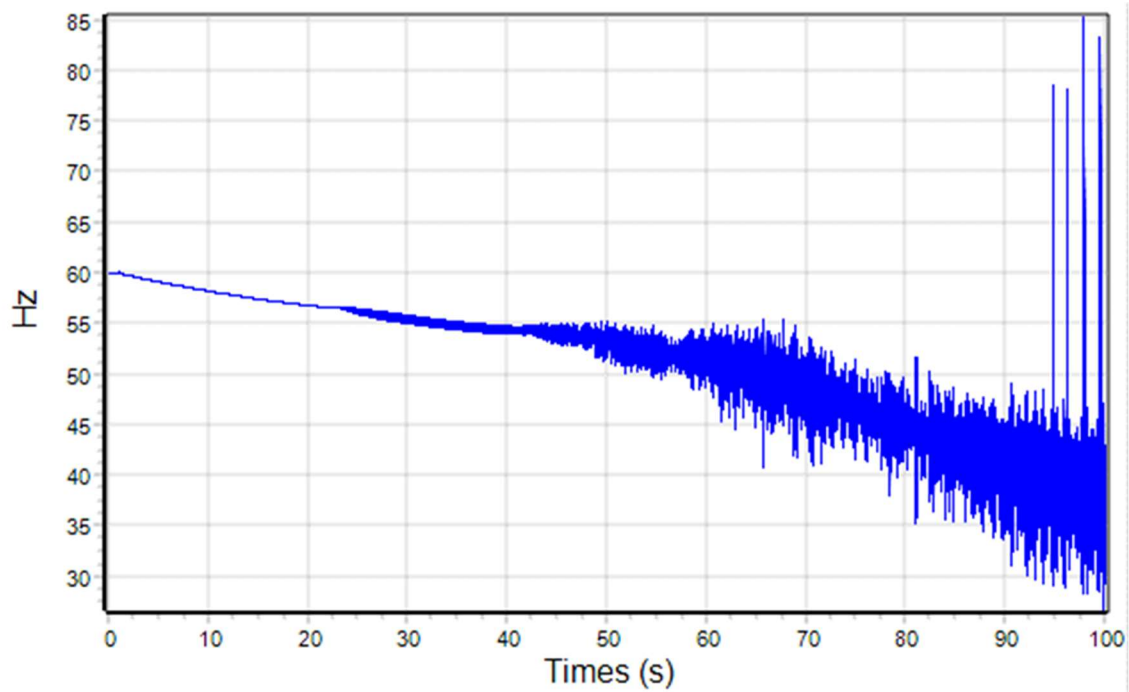
Hình 2.6: Quan hệ độ chính xác huấn luyện và kiểm tra tương ứng với số biến đầu vào của các phương pháp huấn luyện mạng nơ-ron

2.2.5 Mô phỏng – Kiểm nghiệm phương pháp sa thải phụ tải đề xuất trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn

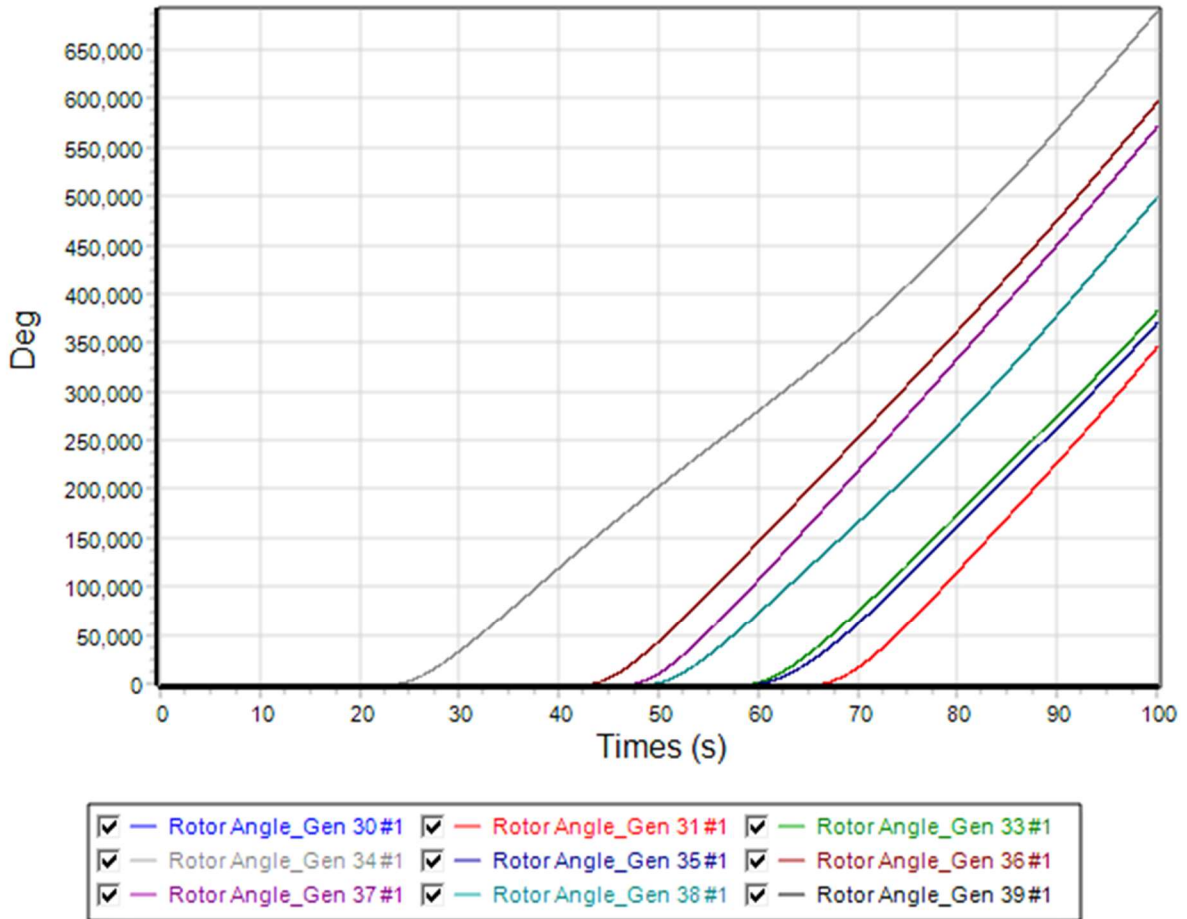
Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất được mô phỏng minh họa trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn IEEE 39-bus 10 máy phát với sự hỗ trợ của phần mềm PowerWorld GSO 19 cho trường hợp sự cố tại Bus 30.

Trong nghiên cứu ổn định hệ thống điện, thời gian sa thải phụ tải t^{shed} đóng vai trò rất quan trọng. Khoảng thời gian t^{shed} này ảnh hưởng rất lớn đến tính ổn định của hệ thống. Thời gian tác động của các relay sa thải phụ tải dưới tần số (UFLS) khoảng 0,1s [9]. Khi áp dụng các giải thuật tính toán thông minh, khoảng thời gian đề xuất sa thải phụ tải hiệu quả yêu cầu nhỏ hơn 500ms [65]. Trong chương này, khoảng thời gian sa thải tính toán là 200ms bao gồm: đo lường thu thập dữ liệu, truyền dữ liệu đi về, xử lý dữ liệu và tác động cắt máy cắt. Tuy nhiên, để đảm bảo biên độ an toàn trong thời gian thực, cũng như sai số cho phép, khoảng thời gian 100ms được tính vào [65]. Vì vậy, khi mô phỏng, thời gian cắt tải cài đặt là 300ms.

Cụ thể, xét trường hợp sự cố khi ngắn mạch tại Bus 32, các máy cắt sẽ mở các thành phần: đường dây, máy phát liên kết với Bus 32 khi ngắn mạch. Đồ thị tần số của hệ thống điện và góc lệch rotor của các máy phát theo thời gian khi có sự cố tại Bus 32 trình bày ở Hình 2.7 và Hình 2.8.

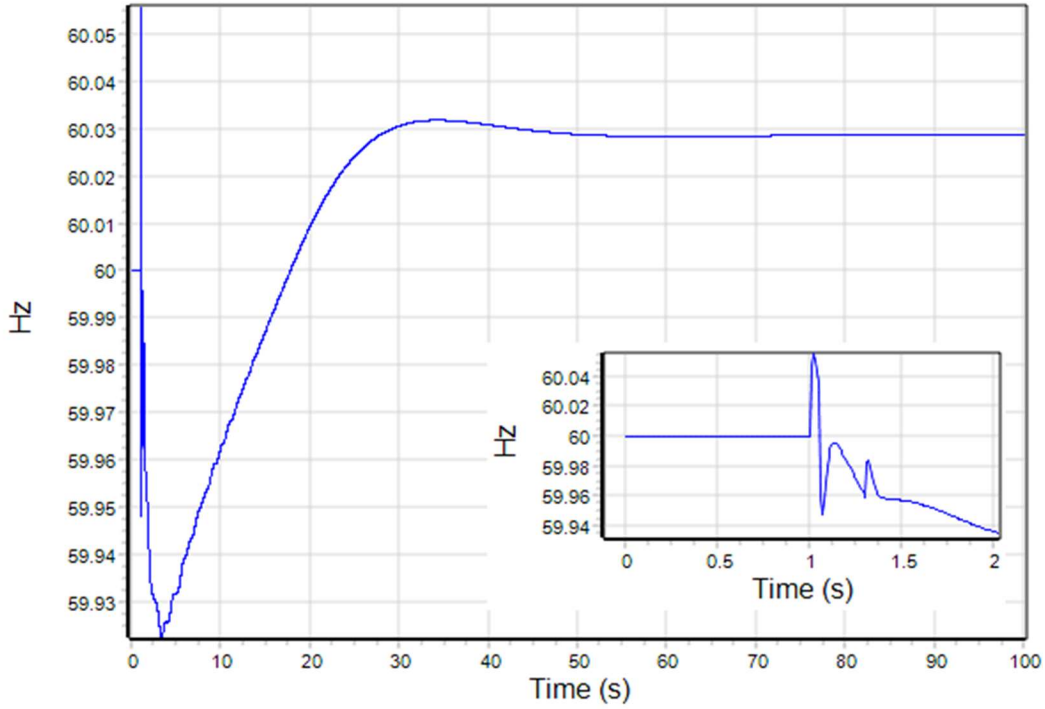


Hình 2.7: Đồ thị tần số của hệ thống theo thời gian khi có sự cố ngắn mạch tại Bus 32

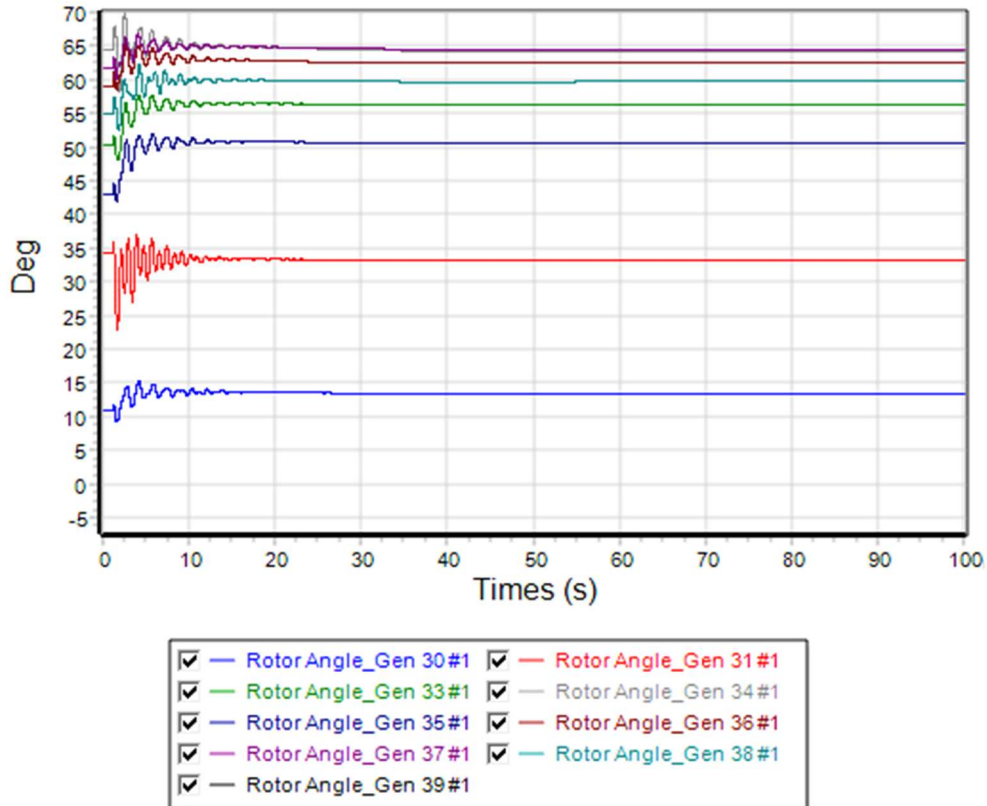


Hình 2.8: Góc lệch rotor của các máy phát khi có sự cố ngắn mạch tại Bus 32

Quan sát Hình 2.7 và Hình 2.8 nhận thấy, khi không thực hiện sa thải phụ tải thì tần số của hệ thống bị mất ổn định khi sự cố ngắn mạch tại Bus 32. Áp dụng phương pháp sa thải phụ tải đề xuất, với trường hợp ngắn mạch tại Bus 32, kết quả nhận dạng là có sa thải phụ tải và chiến lược sa thải phụ tải LS₅ được thực thi, thời gian trễ thực hiện sa thải là 300ms sau sự cố. Kết quả mô phỏng tần số hệ thống điện khi thực hiện sa thải phụ tải theo phương pháp sa thải phụ tải đề xuất được trình bày ở Hình 2.9.

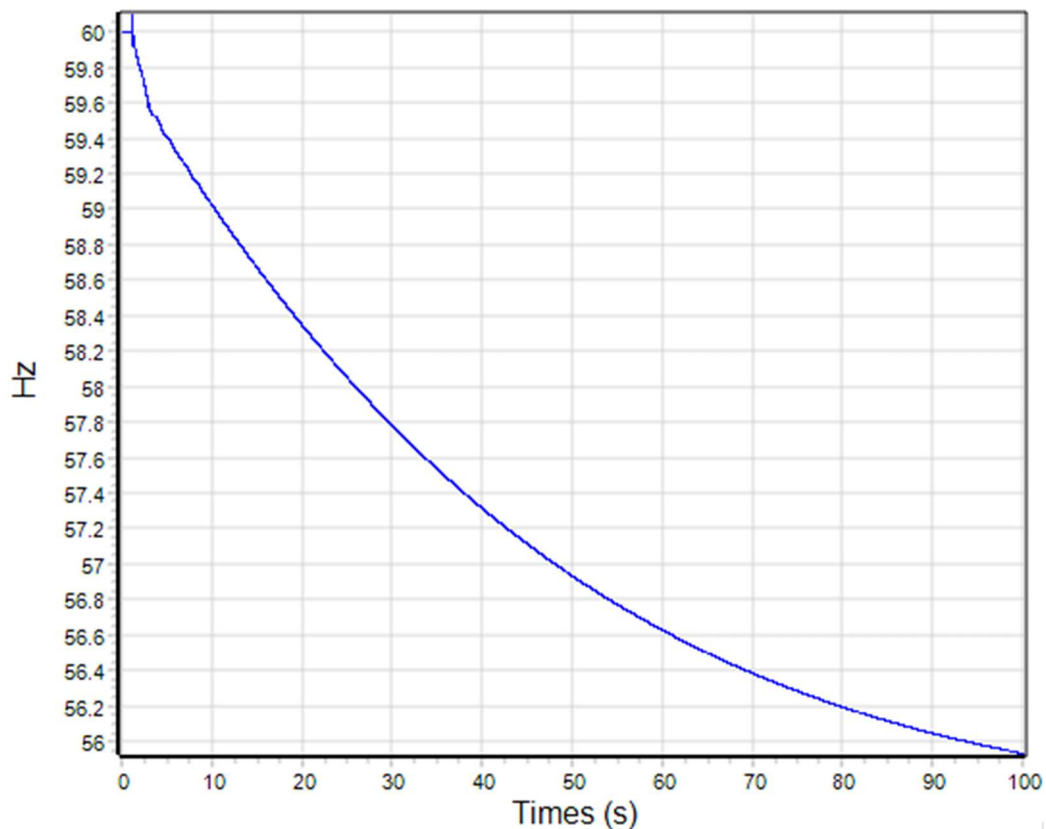


Hình 2.9: Tần số của hệ thống theo thời gian khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 32

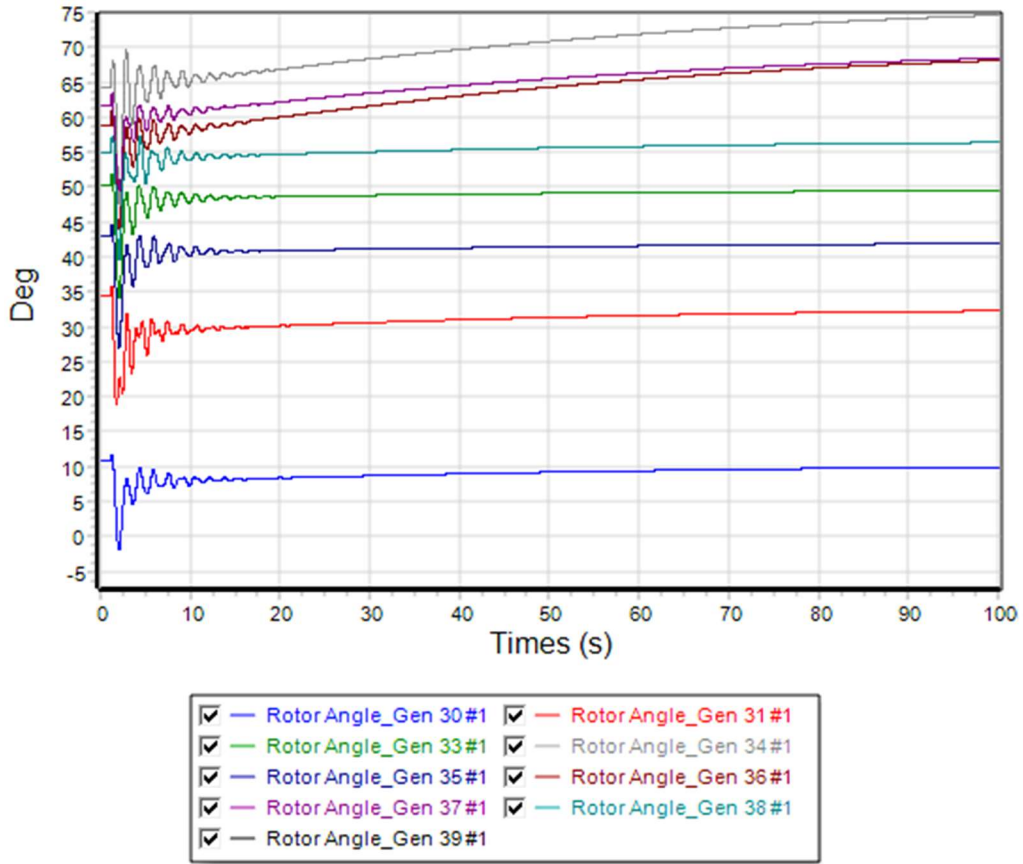


Hình 2.10: Góc lệch rotor của các máy phát sau khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 32

So sánh phương pháp sa thải phụ tải đề xuất với phương pháp sa thải phụ tải truyền thống sử dụng relay sa thải phụ tải dưới tần số (UFLS) [9]. Ở đây, do ngắn mạch nên các máy cắt thực hiện ngắt các đường dây hoặc máy phát liên kết đến Bus 32 và khi tần số xuống dưới ngưỡng cài đặt của các relay tần số thì quá trình sa thải được thực hiện. Trong trường hợp này, thời gian trễ thực hiện sa thải phụ tải là 2,88s sau sự cố ngắn mạch, khoảng thời gian này bao gồm: thời gian trễ từ lúc sự cố đến khi tần số xuống dưới ngưỡng cho phép 59,7Hz là 2,6s, thời gian trễ của relay UFLS, truyền tín hiệu và trip máy cắt (0,28s). Trong quá trình thực hiện bước sa thải A (sa thải 9% tổng công suất phụ tải) thì hệ thống điện khôi phục được ổn định nhưng tần số vẫn chưa khôi phục về giá trị cho phép. Do đó, phải thực hiện thêm bước sa thải B (sa thải thêm 7% tổng công suất phụ tải) để khôi phục tần số về giá trị cho phép sau khi khôi phục được ổn định. Kết quả mô phỏng tần số hệ thống điện và góc lệch rotor các máy phát khi thực hiện bước sa thải A trình bày Hình 2.11 và Hình 2.12.

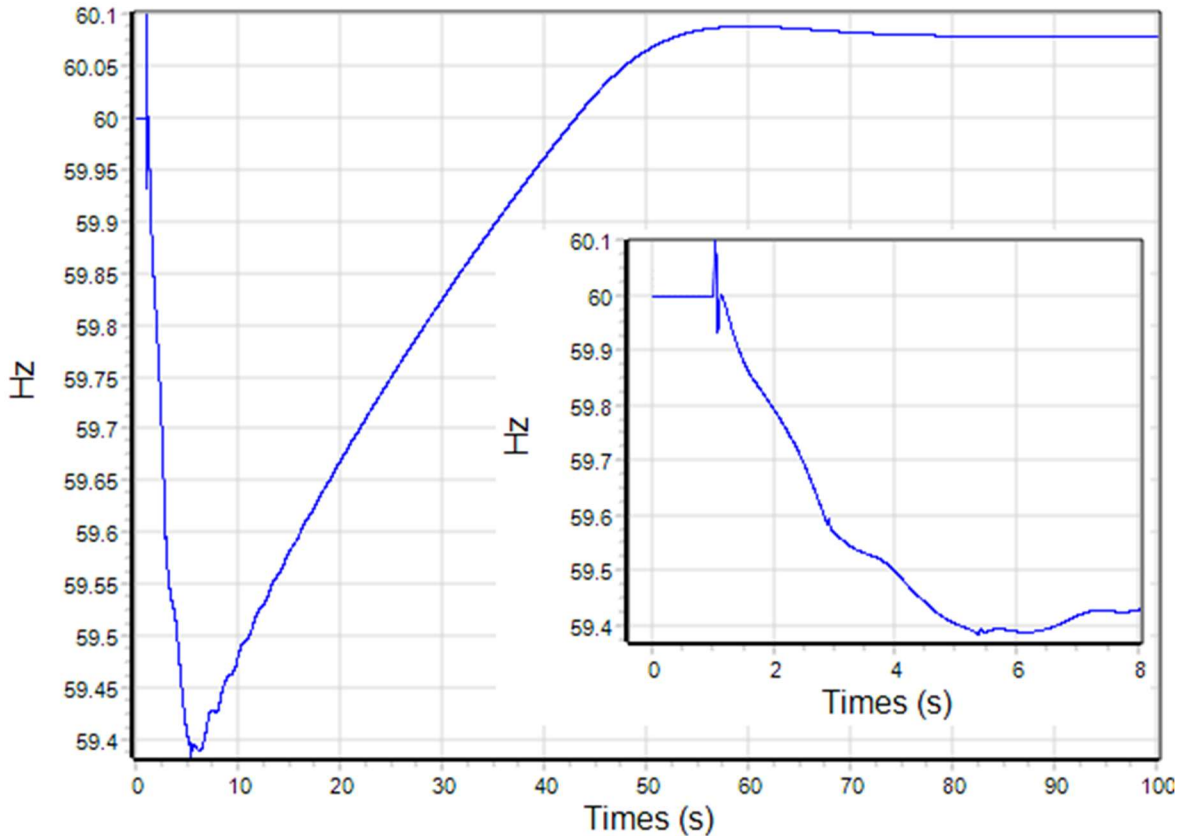


Hình 2.11: Tần số của hệ thống sau khi thực hiện bước sa thải phụ tải A theo phương pháp UFLS trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 32



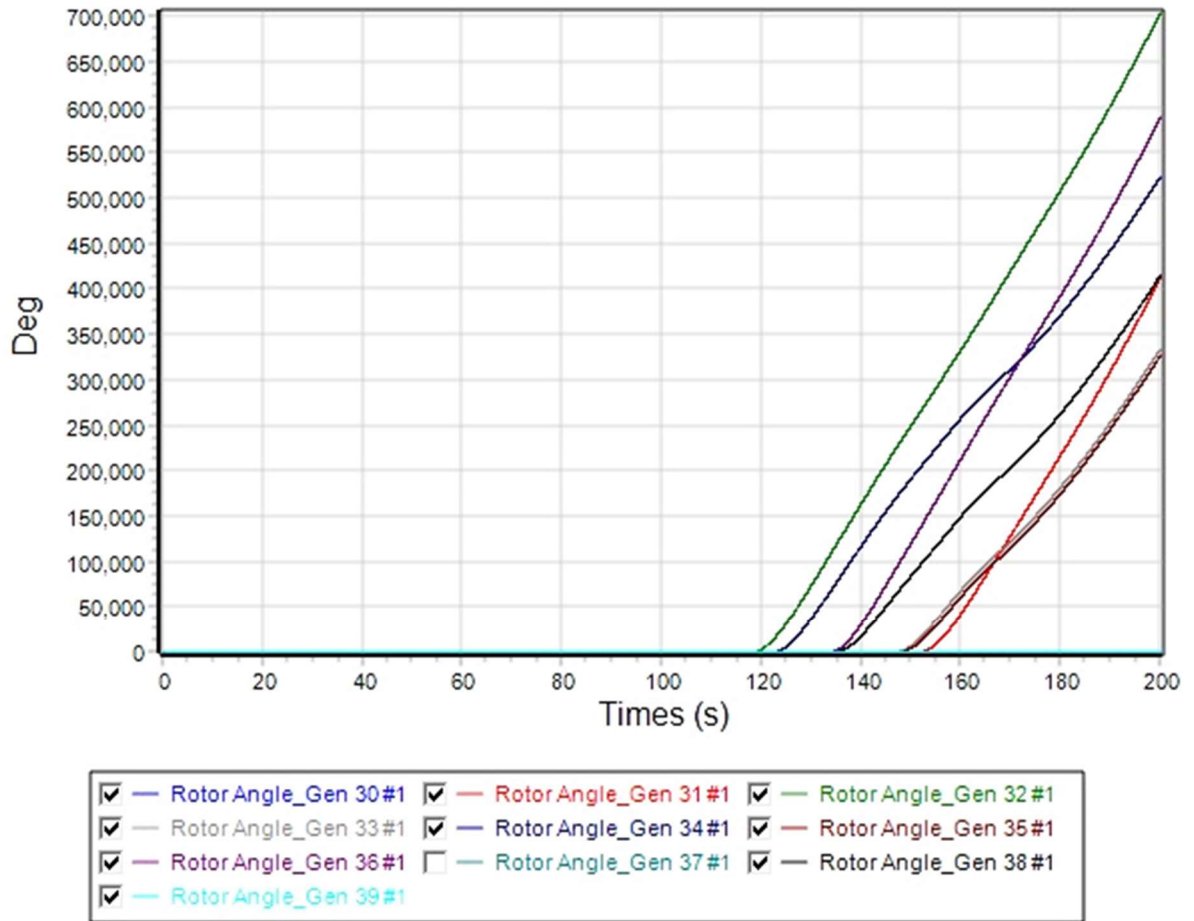
Hình 2.12: Góc lệch rotor của của các máy phát sau khi thực hiện bước sa thải phụ tải A theo phương pháp UFLS trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 32

Như vậy, tổng lượng công suất sa thải phụ tải UFLS cho hai bước A, B là 16% tổng công suất của hệ thống điện. Kết quả mô phỏng tần số hệ thống điện sau khi thực hiện sa thải phụ tải theo phương pháp UFLS được trình bày ở Hình 2.13.

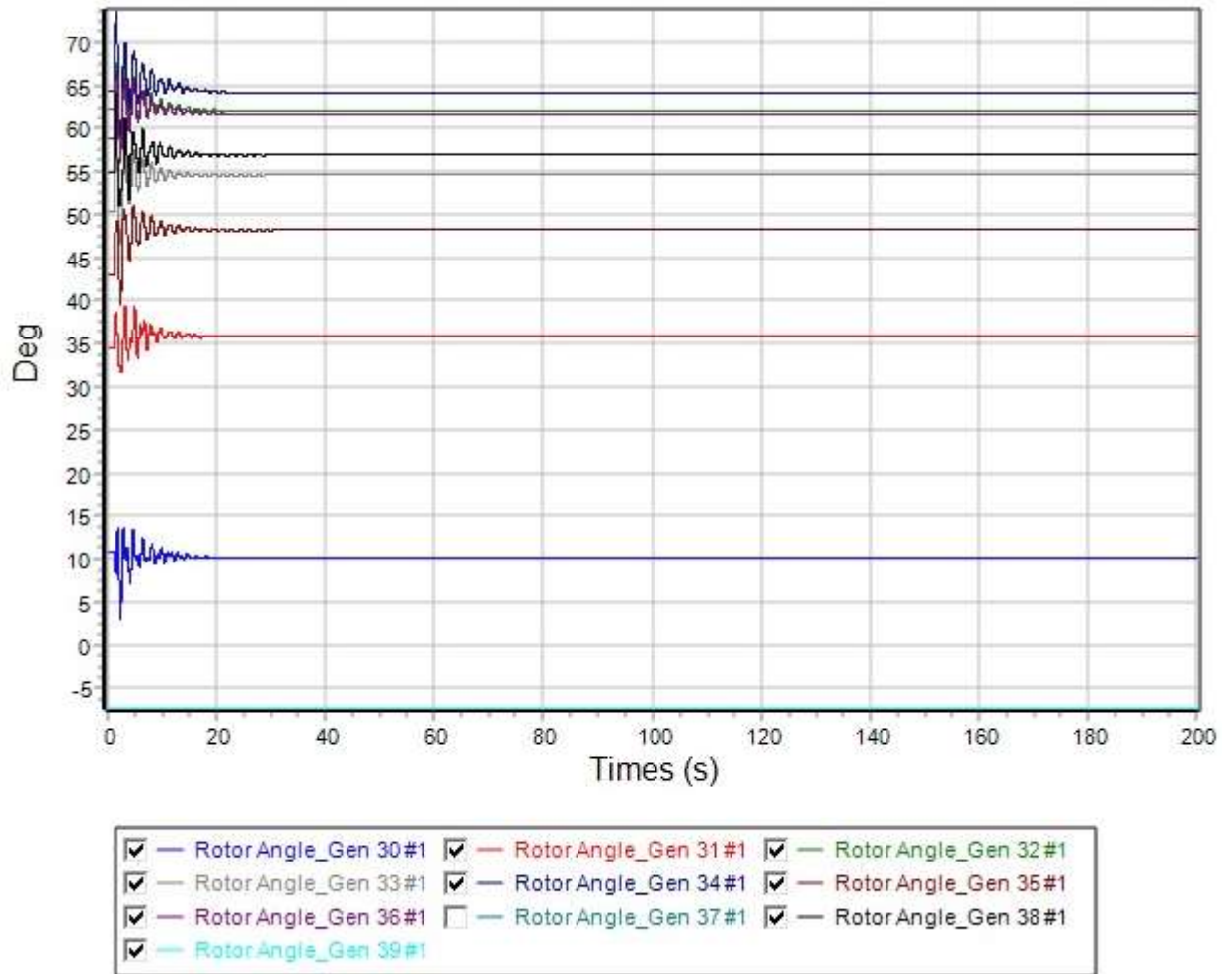


Hình 2.13: Tần số của hệ thống theo thời gian khi sa thải phụ tải theo phương pháp UFLS trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 32

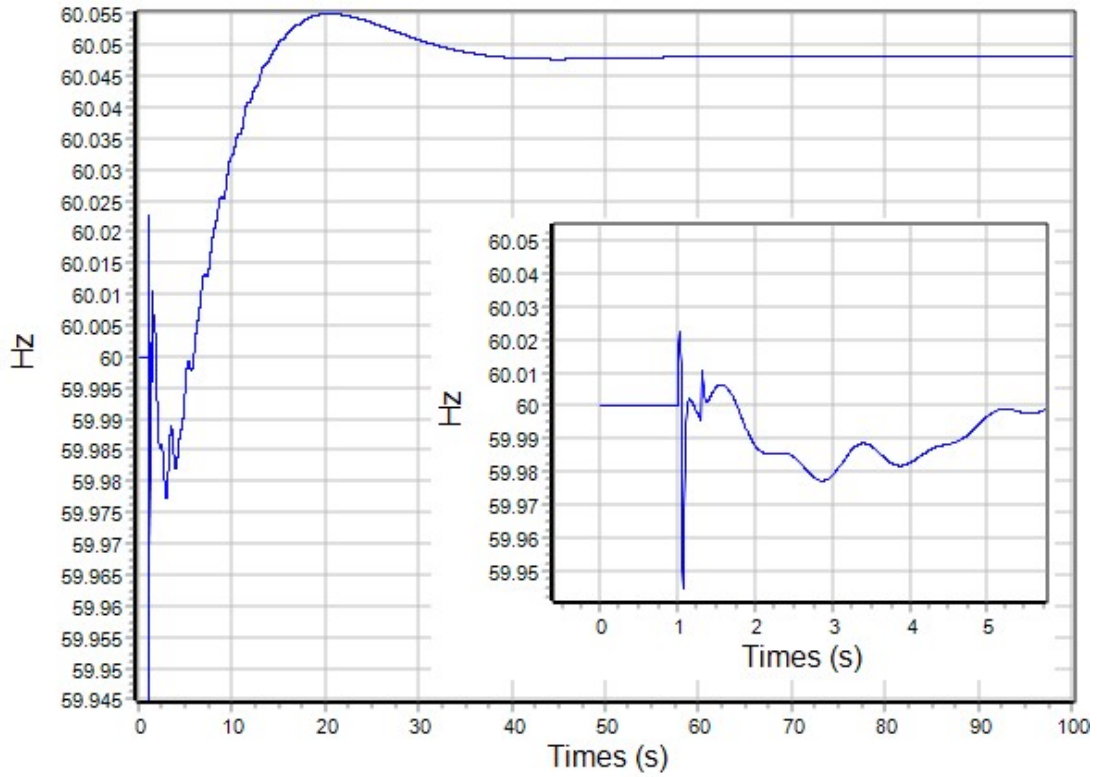
Để thấy rõ hơn hiệu quả của phương pháp sa thải phụ tải đề xuất, xét thêm trường hợp sự cố khi ngắn mạch tại Bus 25. Thực hiện các bước tương tự như trường hợp nghiên cứu khi có ngắn mạch tại Bus 32. Kết quả nhận dạng là có sa thải phụ tải và chiến lược sa thải phụ tải LS₄ được thực thi. Kết quả mô phỏng tần số hệ thống điện, góc lệch rotor các máy phát trước và sau khi thực hiện sa thải phụ tải theo phương pháp sa thải phụ tải đề xuất và phương pháp sa thải phụ tải truyền thống UFLS được trình bày từ Hình 2.14 đến Hình 2.17.



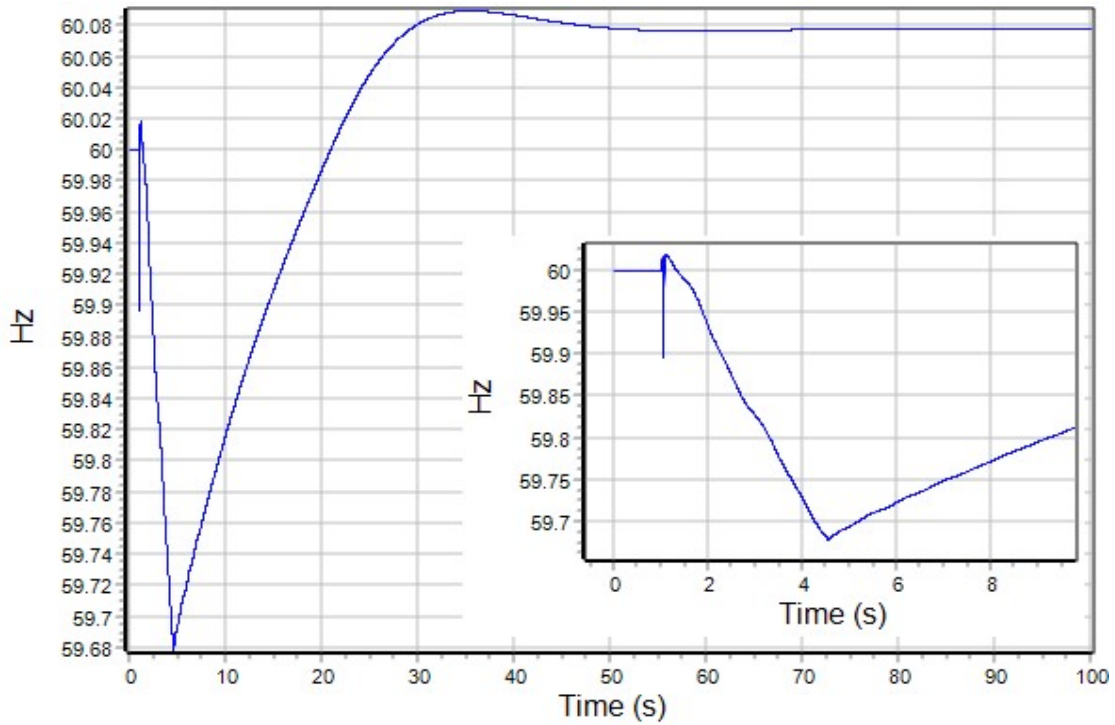
Hình 2.14: Góc lệch rotor của các máy phát khi có sự cố ngắn mạch tại Bus 25



Hình 2.15: Góc lệch rotor của các máy phát sau khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 25



Hình 2.16: Tần số của hệ thống theo thời gian khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất trong trường hợp sự cố khi ngắn mạch tại Bus 25



Hình 2.17: Tần số của hệ thống theo thời gian khi sa thải phụ tải theo phương pháp UFLS trong trường hợp sự cố ngắn mạch tại Bus 25

Kết quả so sánh giữa phương pháp sa thải phụ tải đề xuất và phương pháp sa thải phụ tải truyền thống [9] trình bày ở Bảng 2.21.

Bảng 2.21: Kết quả so sánh giữa phương pháp sa thải phụ tải đề xuất và phương pháp sa thải phụ tải truyền thống

	Tần số phục hồi (Hz)	Thời gian phục hồi (s)	Lượng công suất sa thải (MW)
Sự cố Bus 32			
Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất	60,028	50	628,2
Phương pháp sa thải phụ tải truyền thống	60,055	78	780,4
Sự cố Bus 25			
Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất	60,0455	40	438,9
Phương pháp sa thải phụ tải truyền thống	60,0750	50	448,9

Phân tích các kết quả mô phỏng ở Hình 2.8, Hình 2.10, Hình 2.14, Hình 2.15 cho thấy việc thực thi chiến lược sa thải phụ tải đề xuất giúp hệ thống điện khôi phục được ổn định tần số sau sự cố ngắn mạch xảy ra. Các Hình 2.9, Hình 2.13, Hình 2.16, Hình 2.17 và Bảng 2.21 cho thấy giá trị tần số phục hồi trong khoảng 60,028Hz đến 60,0455Hz. Trong khi đó, phương pháp sa thải phụ tải truyền thống có lượng công suất sa thải nhiều hơn từ 2,28% đến 24,2% và thời gian phục hồi tần số chậm hơn từ 10s đến 28s. Như vậy, quá trình nhận dạng nhanh có/không sa thải phụ tải khi có sự cố ngắn mạch xảy ra trên hệ thống điện kết hợp với giải pháp điều khiển sa thải phụ tải đã được thiết lập trước dựa trên thuật toán AHP đã giúp đẩy nhanh việc ra quyết định sa thải phụ tải giúp khôi phục ổn định tần số hệ thống điện, qua đó đó tần số của hệ thống phục hồi về giá trị cho phép và thời gian tần số phục hồi nhanh hơn so với phương pháp sa thải phụ tải truyền thống UFLS.

Nhận xét và kết luận chương 2

Chương 2 đã đề xuất quy trình xây dựng hệ thống nhận dạng có/không sa thải phụ tải và nhận dạng chiến lược sa thải phụ tải trên cơ sở sử dụng 2 mạng nơ-ron và thuật toán AHP. Phương pháp đề xuất giúp khôi phục ổn định hệ thống điện khi có sự cố ngắn mạch nghiêm trọng xảy ra trên hệ thống điện.

Việc sử dụng thuật toán AHP để xây dựng nhóm chiến lược sa thải phụ tải có xét đến tầm quan trọng của phụ tải nhằm làm giảm thiệt hại về mặt kinh tế khi sa thải phụ tải so với các phương pháp truyền thống trước đây.

Hiệu quả của phương pháp sa thải phụ tải đề xuất được kiểm chứng trên sơ đồ hệ thống điện IEEE 39 nút 10 máy phát cho thấy phương pháp sa thải phụ tải đề xuất đã giúp duy trì được trạng thái ổn định tần số của hệ thống điện.

Chương 2 đã trình bày phương pháp sa thải phụ tải để khôi phục ổn định tần số khi xuất hiện các sự cố nghiêm trọng như ngắn mạch xảy ra trên các đường dây, thanh góp hệ thống điện. Đối với trường hợp này, yêu cầu cần phải nhận dạng nhanh và thực hiện sa thải phụ tải nhanh để duy trì ổn định hệ thống điện. Trong trường hợp sự cố lâu dài, các sự cố mất máy phát làm mất cân bằng công suất giữa nguồn phát và phụ tải gây suy giảm tần số xuống dưới ngưỡng giá trị cho phép. Các chương tiếp theo sẽ trình bày các phương pháp sa thải phụ tải để khôi phục tần số hệ thống điện về phạm vi cho phép.

Chương 3

PHƯƠNG PHÁP SA THẢI PHỤ TẢI TRÊN CƠ SỞ ÁP DỤNG THUẬT TOÁN FUZZY-AHP

3.1 Đặt vấn đề

Trong bài toán sa thải phụ tải, việc lựa chọn thứ hạng các phụ tải theo thứ tự ưu tiên cắt là điều cần thiết để việc điều chỉnh cân bằng công suất, khôi phục tần số mang lại hiệu quả kinh tế. Do đó, cần phải xác định rõ các tải nào cần được xếp vào danh mục những phụ tải cần cắt và thứ tự ưu tiên cắt của chúng. Việc xác định danh mục các phụ tải này thỏa mãn nhiều khía cạnh đòi hỏi phải có sự phân tích chi tiết các hậu quả kinh tế khi sa thải phụ tải. Tuy nhiên, việc tính toán, phân tích các hậu quả kinh tế này rất phức tạp và ở hầu hết các công ty điện lực trên thế giới hiện nay vẫn phải dựa trên việc lấy ý kiến đánh giá của các chuyên gia hệ thống điện trong vấn đề này. Dù vậy, hầu như rất khó cho người chuyên gia đưa ra được thứ tự ưu tiên sa thải của những phụ tải này khi xem xét trong toàn bộ hệ thống điện, nhất là khi một phụ tải cần phải được xem xét dưới nhiều khía cạnh khác nhau. Tuy nhiên, để dễ dàng hơn cho các chuyên gia tiếp cận, khi cho ý kiến họ thường dựa trên đặc điểm công nghệ và thực tế vận hành để có thể cho các nhận xét bằng lời. Các chuyên gia dễ dàng so sánh từng cặp và sử dụng ngôn ngữ thông thường như phụ tải số 1 quan trọng hơn phụ tải số 2, hay tiêu chí số 1 quan trọng hơn tiêu chí số 2. Để giải quyết vấn đề này, thuật toán Fuzzy AHP được sử dụng để xếp hạng các phụ tải theo thứ tự ưu tiên cắt dựa trên việc tham khảo ý kiến các chuyên gia khi thể hiện bằng lời. Bên cạnh đó, khi hệ thống điện vận hành ở nhiều mức tải khác nhau, việc mờ hóa đồ thị phụ tải giúp cho việc thực hiện các chiến lược điều khiển sa thải phụ tải trở nên dễ dàng hơn.

3.2 Kỹ thuật mờ hóa và luật hoạt động [69]

Hàm thành viên $\tilde{M}(x) : R \rightarrow [0,1]$ của tam giác số mờ hóa $\tilde{M} = (l, m, u)$ xác định trên R thì:

$$\tilde{M}(x) = \begin{cases} \frac{x}{m-l} - \frac{l}{m-l}, & x \in [l, m] \\ \frac{x}{m-u} - \frac{u}{m-u}, & x \in [m, u] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

Trong đó: m là giá trị tốt nhất của hàm \tilde{M} , l và u là giá trị biên dưới và biên trên tương ứng. Theo nguyên lý mở rộng Zadeh's cho hai tam giác số mờ hóa $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ và $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$; trong đó $l_1 \geq 0$ và $l_2 \geq 0$, các phép toán sau đây có thể được định nghĩa:

- Phép cộng mở rộng được định nghĩa như sau:

$$\tilde{M}_1 \oplus \tilde{M}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2). \quad (3.2)$$

- Phép nhân mở rộng được định nghĩa như sau:

$$\tilde{M}_1 \otimes \tilde{M}_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2). \quad (3.3)$$

- Phép nghịch đảo của tam giác số mờ hóa M_1 được định nghĩa như sau:

$$\tilde{M}_1^{-1} \approx \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right) \quad (3.4)$$

3.3 Tổng quan về thuật toán Fuzzy - AHP

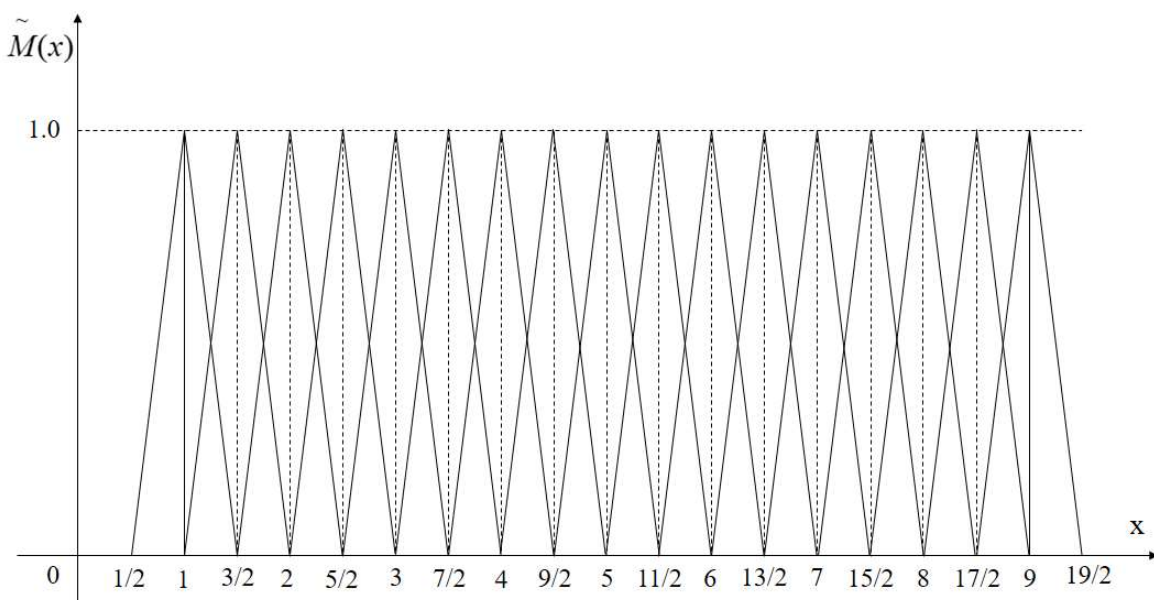
Thuật toán Fuzzy-AHP [69] do Y.C. Erensal và các tác giả đề xuất với ý tưởng là sử dụng kiến thức chuyên gia và tam giác trọng số mờ hóa để xếp hạng các đối tượng trong một hệ thống và áp dụng cho bài toán thực hiện ra các quyết định đa tiêu chuẩn. Ở đây, áp dụng thuật toán Fuzzy-AHP để xác định hệ số tầm quan trọng và xếp hạng các đơn vị phụ tải trong hệ thống điện thực hiện qua các bước sau:

Bước 1. Xác định các khu vực chính và các đối tượng trong khu vực chính.

Bước 2. Xây dựng mô hình phân cấp AHP dựa trên các khu vực chính và các đối tượng trong các khu vực đã xác định ở Bước 1.

Bước 3. Xác định các trọng số tầm quan trọng giữa các khu vực chính và giữa các đối tượng trong khu vực bằng cách sử dụng ma trận phán đoán. Các thang đo mức độ tầm quan

trọng trình bày ở Hình 3.1 và Bảng 3.1. Các trọng số này được đề xuất bởi Kahraman [70] và được sử dụng để giải quyết việc mờ hóa các vấn đề về thực hiện các quyết định [71]. Trong trường hợp có nhiều ý kiến chuyên gia đánh giá thì các giá trị trọng số này là giá trị trung bình của các ý kiến chuyên gia. Sau đó, dựa vào hàm thành viên của tam giác số mờ hóa trình bày ở Hình 3.1 để xác định tam giác số mờ hóa của các ma trận phán đoán.



Hình 3.1: Hàm thành viên của tam giác số mờ hóa tương ứng với các thang đo mức độ tầm quan trọng

Bước 4: Tính toán các trọng số tầm quan trọng của các đối tượng đối với toàn hệ thống. Trọng số này được tính bằng cách nhân trọng số của các đối tượng trong khu vực chính với trọng số của các khu vực chính tương ứng.

Theo phương pháp Fuzzy-AHP của Chang [72]-[74].

$$S_i \approx \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{gi}^j \right]^{-1} \quad (3.5)$$

Trong đó:

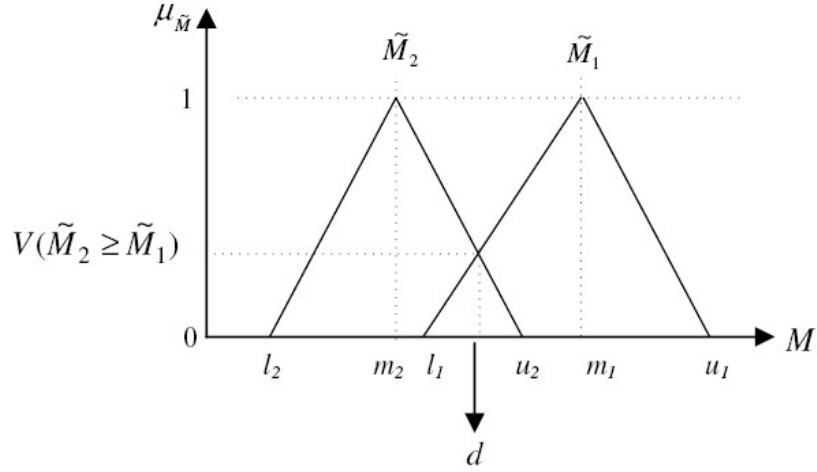
$$\sum_{j=1}^m \tilde{M}_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (3.6)$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i l} \right) \quad (3.7)$$

Bảng 3.1: Các tam giác số mờ hóa tương ứng với thang đo mức độ tầm quan trọng

Tam giác số mờ hóa tương ứng với thang đo mức độ quan trọng tăng dần	Tam giác số mờ hóa nghịch đảo
(1/1,1/1,1/1)	(1/1,1/1,1/1)
(1/2,1/1,3/2)	(2/3,1/1,2/1)
(1/1,3/2,2/1)	(1/2,2/3,1/1)
(3/2,2/1,5/2)	(2/5,1/2,2/3)
(2/1,5/2,3/1)	(1/3,2/5,1/2)
(5/2,3/1,7/2)	(2/7,1/3,2/5)
(3/1,7/2,8/2)	(2/8,2/7,1/3)
(7/2,8/2,9/2)	(2/9,2/8,2/7)
(8/2,9/2,10/2)	(2/10,2/9,2/8)
(9/2,10/2,11/2)	(2/11,2/10,2/9)
(10/2,11/2,12/2)	(2/12,2/11,2/10)
(11/2,12/2,13/2)	(2/13,2/12,2/11)
(12/2,13/2,14/2)	(2/14,2/13,2/12)
(13/2,14/2,15/2)	(2/15,2/14,2/13)
(14/2,15/2,16/2)	(2/16,2/15,2/14)
(15/2,16/2,17/2)	(2/17,2/16,2/15)
(16/2,17/2,18/2)	(2/18,2/17,2/16)
(17/2,18/2,19/2)	(2/19,2/18,2/17)

Các mức độ cạnh tranh có khả năng xảy ra khi $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq \tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ được trình bày ở Hình 3.2 và được xác định như sau:



Hình 3.2: Mô hình cạnh tranh giữa \tilde{M}_1 và \tilde{M}_2

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(x))] \quad (3.8)$$

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = hgt(\tilde{M}_1 \cap \tilde{M}_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.9)$$

Từ Hình 3.2 nhận thấy $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1)$ trong trường hợp $m_2 < l_1 < u_2 < m_1$. Trong đó: d là giá trị trục hoành tương ứng với điểm giao nhau cao nhất giữa μ_{M_1} và μ_{M_2} .

Để so sánh \tilde{M}_1 và \tilde{M}_2 cần có giá trị $V(\tilde{M}_1 \geq \tilde{M}_2)$ và $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1)$

$$V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \dots, \tilde{M}_k) = \min V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_i), i = 1, 2, \dots, k \quad (3.10)$$

$$\text{Đặt } W' = (d'(A_1), d'(A_1), \dots, d'(A_n))^T \quad (3.11)$$

Ở đây: w' vector trọng số, với $k=1, 2, \dots, n, k \neq i; d'(A_i) = \min V(\tilde{M} \geq \tilde{M}_i)$.

Thông qua việc chuẩn hóa, vector trọng số được chuẩn hóa được trình bày ở biểu thức (3.12).

$$W = (d(A_1), d(A_1), \dots, d(A_n))^T \quad (3.12)$$

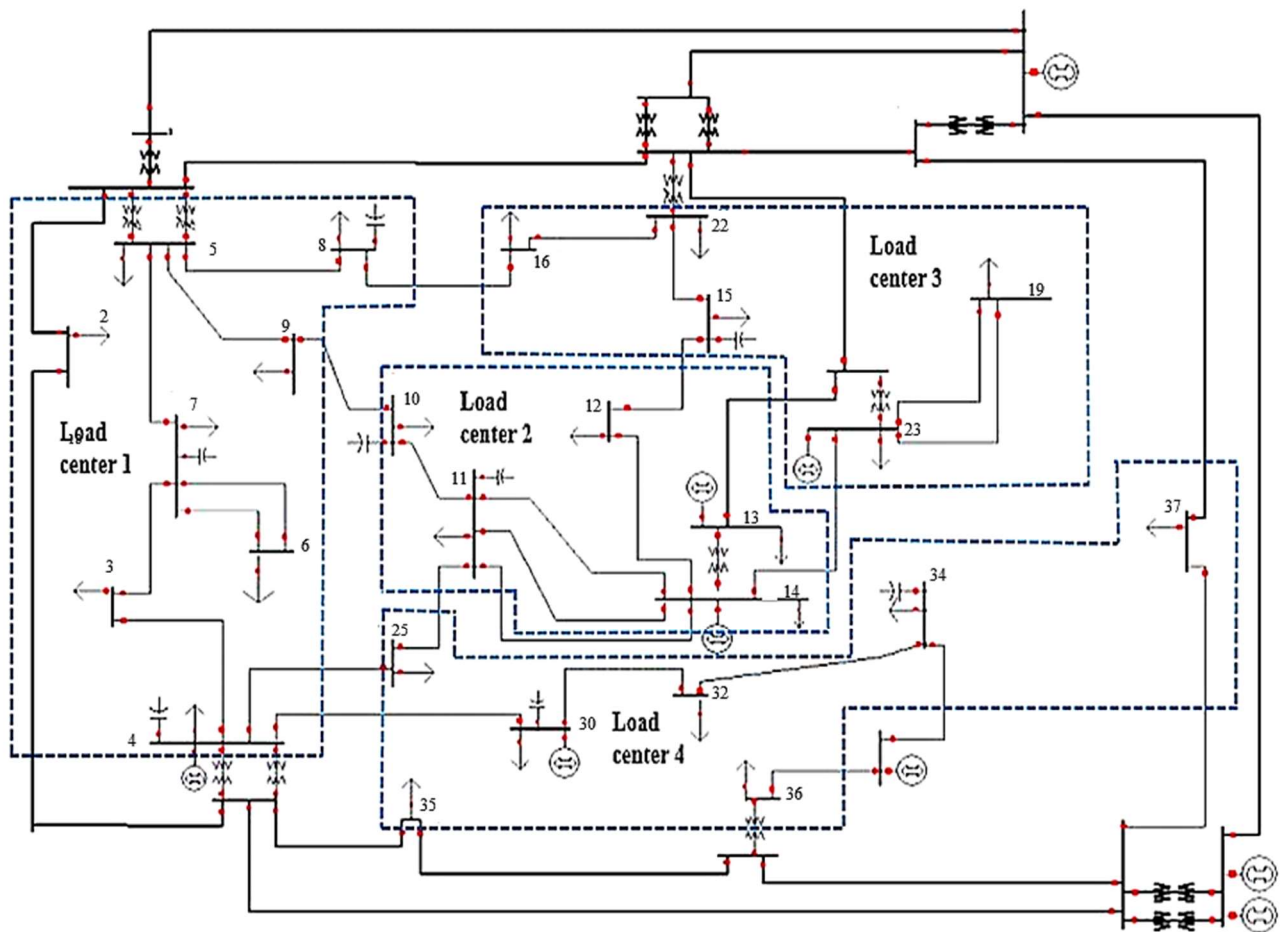
Bước 5: Đánh giá xếp hạng và sắp xếp theo thứ tự giảm dần hệ số tầm quan trọng của các đối tượng trong toàn hệ thống.

Bảng 3.2: Sắp xếp đối tượng theo thứ tự giảm dần hệ số tầm quan trọng

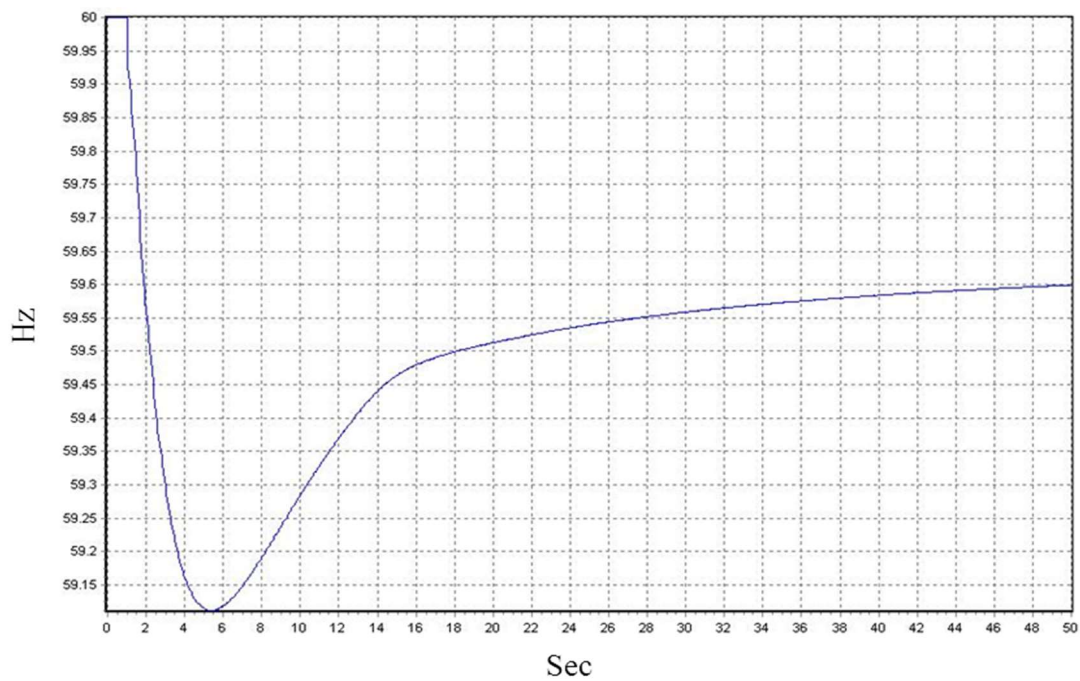
Khu vực (LC _i)	Đối tượng (L _i)	Trọng số (W)	Ghi chú
LC ₁	L ₁	W ₁	W ₁ >W ₂ >>W _n
LC ₂	L ₂	W ₂	
...	
LC _n	L _n	W _n	

3.4 Khảo sát thử nghiệm trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn IEEE 37 bus 9 máy phát

Để so sánh hiệu quả của phương pháp sa thải phụ tải dựa trên thuật toán Fuzzy-AHP và thuật toán AHP, tiến hành thực nghiệm giải thuật đề xuất trên sơ đồ hệ thống điện điển hình IEEE 37 bus 9 máy phát [75] trong cả 2 trường hợp có mờ hóa và không mờ hóa. Xét trường hợp mất một máy phát điện tại nút số 4, tương ứng hệ thống đang hoạt động ở các trạng thái 70%, 80%, 90% và 100% phụ tải cực đại. Khi không có sa thải phụ tải, tần số giảm xuống thấp hơn so với giới hạn tần số cho phép. Do đó, tương ứng với mỗi trường hợp nghiên cứu sẽ xây dựng “chiến lược điều khiển” trong việc sa thải phụ tải nhằm khôi phục tần số về giá trị giới hạn cho phép. Việc mô phỏng được thực hiện bằng phần mềm PowerWorld GSO 19 và quan sát kết quả nhận được khi áp dụng các chương trình sa thải phụ tải đề xuất. Dữ liệu các mức tải trình bày ở Bảng 3.3 và đồ thị tần số khi xảy ra sự cố mất máy phát điện tại nút số 4 được trình bày ở Hình 3.4.



Hình 3.3: Sơ đồ hệ thống điện IEEE 37 bus 9 máy phát với các vùng trung tâm tải



Hình 3.4: Tần số hệ thống trong trường hợp sự cố máy phát tại bus số 4

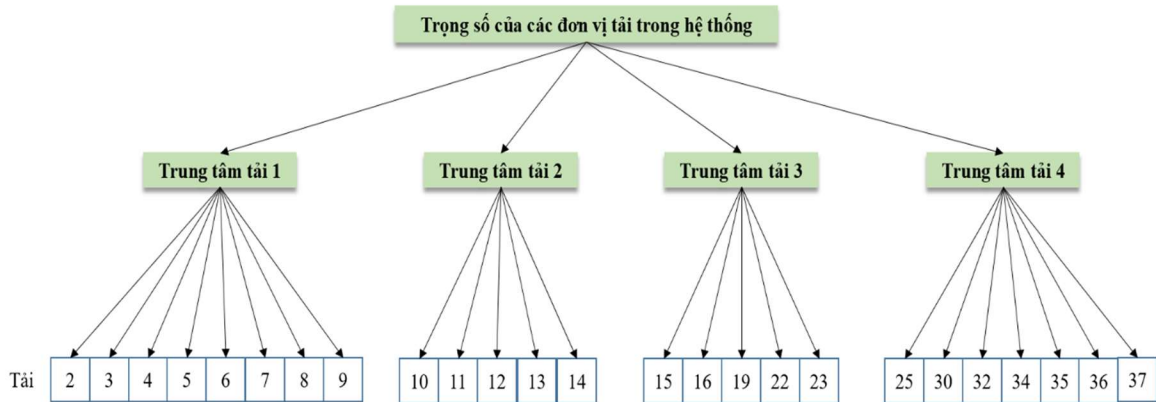
Bảng 3.3: Dữ liệu tải (MW) trong hệ thống 37 bus khi hệ thống đạt 70%, 80%, 90%, 100% phụ tải cực đại

Trung tâm tải	Nút tải	Load 70%	Load 80%	Load 90%	Load 100%
C ₁	L ₂	12,3	13,46	15,14	16,83
C ₁	L ₃	14	15,32	17,24	19,15
C ₁	L ₄	59,8	65,44	73,62	81,8
C ₁	L ₅	22,9	25,06	28,19	31,33
C ₁	L ₆	27	29,55	33,24	36,93
C ₁	L ₇	45	49,25	55,4	61,56
C ₁	L ₈	32,8	35,89	40,38	44,87
C ₁	L ₉	20	21,89	24,62	27,36
C ₂	L ₁₀	57,8	63,25	71,16	79,07
C ₂	L ₁₁	58,2	63,69	71,65	79,61
C ₂	L ₁₂	22,65	24,79	27,89	30,98
C ₂	L ₁₃	59,5	65,11	73,25	81,39
C ₂	L ₁₄	12,43	13,6	15,3	17
C ₃	L ₁₅	23	25,17	28,32	31,46
C ₃	L ₁₆	18,3	20,03	22,53	25,03
C ₃	L ₁₉	74,4	81,42	91,6	101,78
C ₃	L ₂₂	16,8	18,39	20,68	22,98
C ₃	L ₂₃	55,8	61,07	68,7	76,33
C ₄	L ₂₅	36,3	39,73	44,69	49,66
C ₄	L ₃₀	22,2	24,29	27,33	30,37
C ₄	L ₃₂	22,74	24,89	28	31,11
C ₄	L ₃₄	15,3	16,74	18,84	20,93
C ₄	L ₃₅	23,4	25,61	28,81	32,01
C ₄	L ₃₆	28	30,64	34,47	38,3
C ₄	L ₃₇	14	15,32	17,24	19,15

3.4.1 Nghiên cứu phương pháp sa thải phụ tải dựa trên việc áp dụng thuật toán AHP

Đầu tiên, áp dụng thuật toán AHP trình bày ở mục 2.2.3 để xây dựng mô hình hệ thống phân cấp giữa các trung tâm tải và các phụ tải trong trung tâm tải. Kết quả xây dựng mô hình hệ thống phân cấp trình bày ở Hình 3.5.

Tiếp theo, thành lập các ma trận phán đoán cho biết tầm quan trọng giữa các trung tâm phụ tải với nhau và tầm quan trọng giữa các tải trong trung tâm tải với nhau. Ma trận phán đoán của trung tâm tải và các tải trong trung tâm tải được trình bày từ Bảng 3.4 đến Bảng 3.8. Trong sơ đồ thử nghiệm, hệ thống nghiên cứu được phân thành 4 trung tâm tải.



Hình 3.5: Mô hình AHP các vùng trung tâm tải và các đơn vị tải cho sơ đồ IEEE 37 Bus

Bảng 3.4: Ma trận phán đoán trung tâm phụ tải LC_i

PI	LC_1	LC_2	LC_3	LC_4
LC_1	1/1	1/3	1/1	1/1
LC_2	3/1	1/1	1/1	3/1
LC_3	1/1	1/1	1/1	1/2
LC_4	1/1	1/3	2/1	1/1

Bảng 3.5: Ma trận phán đoán các phụ tải L_j ở trung tâm tải LC_1

	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9
L_2	1/1	1/1	1/1	1/3	1/2	1/3	1/2	1/2
L_3	1/1	1/1	3/1	1/1	2/1	1/1	2/1	1/1
L_4	1/1	1/3	1/1	1/2	1/1	1/2	1/1	2/1
L_5	3/1	1/1	2/1	1/1	1/3	1/3	1/1	1/3
L_6	2/1	1/2	1/1	3/1	1/1	1/1	3/1	1/3
L_7	3/1	1/1	2/1	3/1	1/1	1/1	1/2	1/1
L_8	2/1	1/2	1/1	1/1	1/3	2/1	1/1	1/2
L_9	2/1	1/1	1/2	3/1	3/1	1/1	2/1	1/1

Bảng 3.6: Ma trận phán đoán các phụ tải L_j ở trung tâm tải LC_2

	L_{10}	L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}
L_{10}	1/1	1/1	1/1	1/3	1/2
L_{11}	1/1	1/1	3/1	1/1	1/1
L_{12}	1/1	1/3	1/1	1/2	2/1
L_{13}	3/1	1/1	2/1	1/1	1/3
L_{14}	2/1	1/1	1/2	3/1	1/1

Bảng 3.7: Ma trận phán đoán các phụ tải L_j ở trung tâm tải LC_3

	L_{15}	L_{16}	L_{19}	L_{22}	L_{23}
L_{15}	1/1	1/2	1/1	1/1	1/2
L_{16}	2/1	1/1	3/1	1/3	1/1
L_{19}	1/1	1/3	1/1	1/2	2/1
L_{22}	1/1	3/1	2/1	1/1	1/3
L_{23}	2/1	1/1	1/2	3/1	1/1

Bảng 3.8: Ma trận phán đoán các phụ tải L_j ở trung tâm tải LC_4

	L_{25}	L_{30}	L_{32}	L_{34}	L_{35}	L_{36}	L_{37}
L_{25}	1/1	1/1	1/1	1/3	1/2	1/3	1/2
L_{30}	1/1	1/1	3/1	1/1	1/1	1/1	1/1
L_{32}	1/1	1/3	1/1	1/2	2/1	1/2	2/1
L_{34}	3/1	1/1	2/1	1/1	1/3	1/3	1/1
L_{35}	2/1	1/1	1/2	3/1	1/1	1/1	3/1
L_{36}	3/1	1/1	2/1	3/1	1/1	1/1	1/2
L_{37}	2/1	1/1	1/2	1/1	1/3	2/1	1/1

Từ các giá trị của ma trận phán đoán tính toán các trị riêng lớn nhất và vector riêng. Sử dụng phương pháp nhân để tính trị riêng lớn nhất và vector riêng, thực hiện các bước sau:

Bước 1: Nhân các giá trị trong cùng 1 hàng của từng ma trận phán đoán với nhau. Kết quả tính được các giá trị M_{LCi} và M_{Lj} và trình bày từ Bảng 3.9 đến Bảng 3.13.

Bảng 3.9: Giá trị M_{LCi} của ma trận các trung tâm phụ tải LC_i

M_{LC1}	0,33
M_{LC2}	9,00
M_{LC3}	0,50
M_{LC4}	0,67

Bảng 3.10: Giá trị M_{Lj} của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải 1

M_{L2}	0,01
M_{L3}	12,00
M_{L4}	0,17
M_{L5}	0,22
M_{L6}	3,00
M_{L7}	9,00
M_{L8}	0,33
M_{L9}	18,00

Bảng 3.11: Giá trị M_{Lj} của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải 2

M_{L10}	0,17
M_{L11}	3,00
M_{L12}	0,33
M_{L13}	2,00
M_{L14}	3,00

Bảng 3.12: Giá trị M_{Lj} của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải 3

M_{L15}	0,25
M_{L16}	2,00
M_{L19}	0,33
M_{L22}	2,00
M_{L23}	3,00

Bảng 3.13: Giá trị M_{Lj} của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải 4

M_{L25}	0,03
M_{L30}	3,00
M_{L32}	0,33
M_{L34}	0,67
M_{L35}	9,00
M_{L36}	9,00
M_{L37}	0,67

Bước 2: Lấy căn bậc n của các giá trị M_{LCi} và M_{Lj} có được giá trị W_{LCi}^* và W_{Lj}^* , với n lần lượt là hạng của các ma trận. Kết quả các giá trị W_{LCi}^* và W_{Lj}^* trình bày từ Bảng 3.14 đến Bảng 3.18.

Bảng 3.14: Giá trị W_{LCi}^* của các trung tâm phụ tải LC_i

W_{LC1}^*	0,76
W_{LC2}^*	1,73
W_{LC3}^*	0,84
W_{LC4}^*	0,90

Bảng 3.15: Giá trị $W_{L_j}^*$ của các tải ở trung tâm phụ tải LC₁

$W_{L_2}^*$	0,59
$W_{L_3}^*$	1,36
$W_{L_4}^*$	0,80
$W_{L_5}^*$	0,83
$W_{L_6}^*$	1,15
$W_{L_7}^*$	1,32
$W_{L_8}^*$	0,87
$W_{L_9}^*$	1,44

Bảng 3.16: Giá trị $W_{L_j}^*$ của các tải ở trung tâm phụ tải LC₂

$W_{L_{10}}^*$	0,70
$W_{L_{11}}^*$	1,25
$W_{L_{12}}^*$	0,80
$W_{L_{13}}^*$	1,15
$W_{L_{14}}^*$	1,25

Bảng 3.17: Giá trị $W_{L_j}^*$ của các tải ở trung tâm phụ tải LC₃

$W_{L_{15}}^*$	0,76
$W_{L_{16}}^*$	1,15
$W_{L_{19}}^*$	0,80
$W_{L_{22}}^*$	1,15
$W_{L_{23}}^*$	1,25

Bảng 3.18: Giá trị W_{Lj}^* của các tải ở trung tâm phụ tải LC4

W_{L25}^*	0,60
W_{L30}^*	1,17
W_{L32}^*	0,85
W_{L34}^*	0,94
W_{L35}^*	1,37
W_{L36}^*	1,37
W_{L37}^*	0,94

Bước 3: Tính tổng các giá trị W_{LCi}^* và W_{Lj}^* của các ma trận phán đoán.

Tổng các giá trị W_{LCi}^* của ma trận trung tâm tải: $\sum_{i=1}^n W_{LCi}^* = 4,24$.

Tổng các giá trị W_{Lj}^* của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải LC1: $\sum_{i=1}^n W_{Lj}^* = 8,35$.

Tổng các giá trị W_{Lj}^* của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải LC2: $\sum_{i=1}^n W_i^* = 5,14$

Tổng các giá trị W_{Lj}^* của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải LC3: $\sum_{i=1}^n W_i^* = 5,1$

Tổng các giá trị W_{Lj}^* của ma trận các tải ở trung tâm phụ tải LC4: $\sum_{i=1}^n W_i^* = 7,25$

Bước 4: Chuẩn hóa ma trận để tính các giá trị W_{LCi} và W_{Lj} , của các ma trận phán đoán. Áp dụng công thức (2.6) để tính toán các giá trị W_{LCi} và W_{Lj} . Kết quả tính các giá trị W_{LCi} và W_{Lj} của các ma trận phán đoán trình bày từ Bảng 3.19 đến Bảng 3.23.

Bảng 3.19: Các giá trị W_{LCi} của các trung tâm phụ tải

W_1	0,18
W_2	0,41
W_3	0,20
W_4	0,21

Bảng 3.20: Các giá trị W_{Lj} của các tải ở trung tâm phụ tải LC₁

W_2	0,07
W_3	0,16
W_4	0,10
W_5	0,10
W_6	0,14
W_7	0,16
W_8	0,10
W_9	0,17

Bảng 3.21: Các giá trị W_{Lj} của các tải ở trung tâm phụ tải LC₂

W_{10}	0,14
W_{11}	0,24
W_{12}	0,16
W_{13}	0,22
W_{14}	0,24

Bảng 3.22: Các giá trị W_{Lj} của các tải ở trung tâm phụ tải LC₃

W_{15}	0,15
W_{16}	0,23
W_{19}	0,16
W_{22}	0,23
W_{23}	0,24

Bảng 3.23: Các giá trị W_{Lj} của các tải ở trung tâm phụ tải LC₄

W_{25}	0,08
W_{30}	0,16
W_{32}	0,12
W_{34}	0,13
W_{35}	0,19
W_{36}	0,19
W_{37}	0,13

Sau khi có được các giá trị W_{LCi} và W_{Lj} , tính toán các giá trị hệ số quan trọng tổng hợp W_{ij} của mỗi phụ tải. Giá trị $W_{ij} = W_{LCi} \cdot W_{Lj}$. Các giá trị W_{LCi} ở cùng một trung tâm tải thì giống nhau. Kết quả giá trị các hệ số quan trọng của tải đối với toàn hệ thống trình bày ở Bảng 3.24.

Bảng 3.24: Giá trị các hệ số quan trọng của đơn vị tải được tính toán bởi AHP

Trung tâm tải	Hệ số quan trọng W_{LCi} (trung tâm tải)	Nút tải	Hệ số quan trọng W_{Lj} (đơn vị tải)	Hệ số quan trọng tổng hợp W_{ij}
LC ₁	0,18	L ₂	0,07	0,0126
LC ₁	0,18	L ₃	0,16	0,0293
LC ₁	0,18	L ₄	0,10	0,0172
LC ₁	0,18	L ₅	0,10	0,0178
LC ₁	0,18	L ₆	0,14	0,0246
LC ₁	0,18	L ₇	0,16	0,0283
LC ₁	0,18	L ₈	0,10	0,0187
LC ₁	0,18	L ₉	0,17	0,0308
LC ₂	0,41	L ₁₀	0,07	0,0556
LC ₂	0,41	L ₁₁	0,14	0,0991
LC ₂	0,41	L ₁₂	0,24	0,0638
LC ₂	0,41	L ₁₃	0,16	0,0913
LC ₂	0,41	L ₁₄	0,22	0,0991
LC ₃	0,20	L ₁₅	0,15	0,0295
LC ₃	0,20	L ₁₆	0,23	0,0447
LC ₃	0,20	L ₁₉	0,16	0,0312
LC ₃	0,20	L ₂₂	0,23	0,0447
LC ₃	0,20	L ₂₃	0,24	0,0484
LC ₄	0,21	L ₂₅	0,08	0,0176
LC ₄	0,21	L ₃₀	0,16	0,0344
LC ₄	0,21	L ₃₂	0,12	0,0252
LC ₄	0,21	L ₃₄	0,13	0,0278
LC ₄	0,21	L ₃₅	0,19	0,0403
LC ₄	0,21	L ₃₆	0,19	0,0403
LC ₄	0,21	L ₃₇	0,13	0,0278

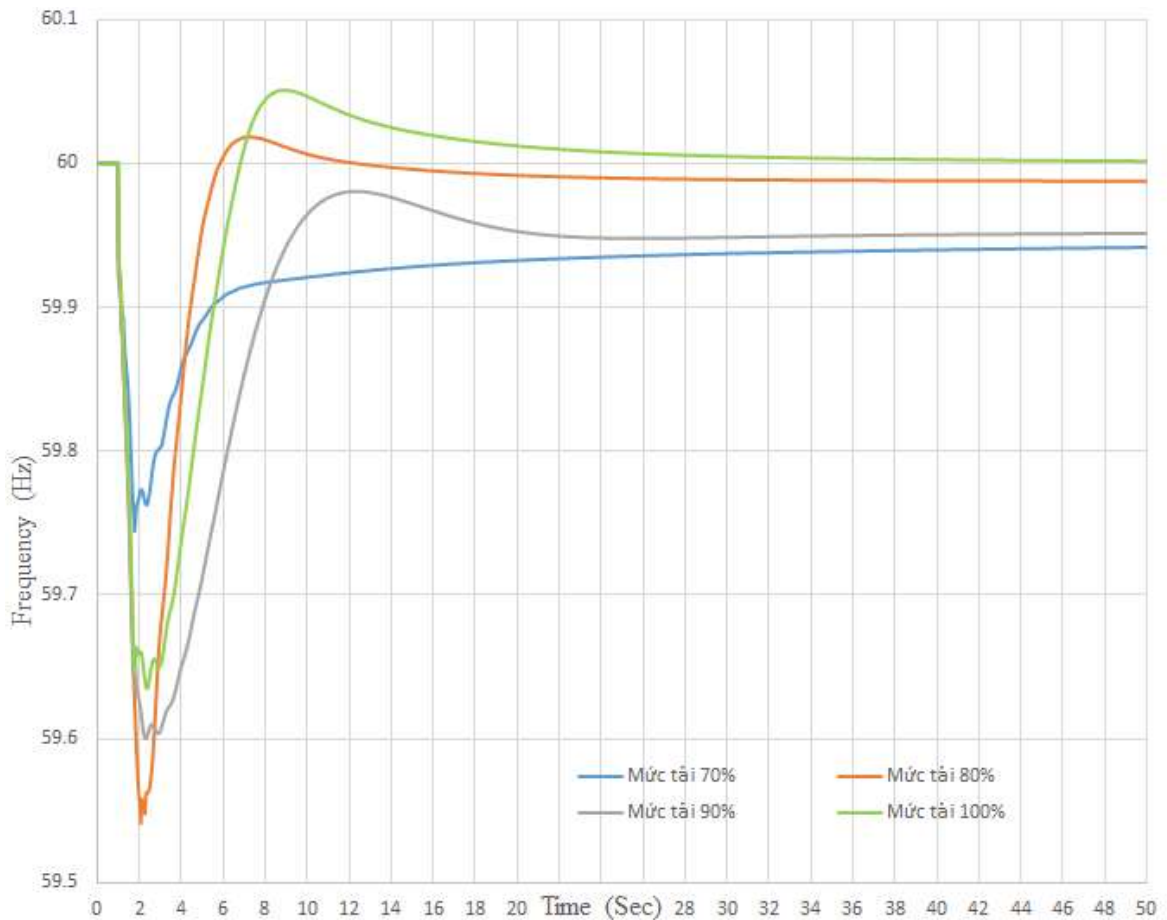
Sau khi tính toán các giá trị hệ số quan trọng tổng hợp của mỗi đơn vị phụ tải, tiến hành sắp xếp các đơn vị phụ tải theo thứ tự ưu tiên tăng dần được trình bày ở Bảng 3.25. Phụ tải quan trọng hơn thì có hệ số W_{ij} lớn hơn.

Bảng 3.25: Sắp xếp các đơn vị phụ tải theo giá trị hệ số quan trọng của phụ tải W_{ij} tăng dần

Trung tâm tải	Hệ số quan trọng W_{LCi} (trung tâm tải)	Nút tải	Hệ số quan trọng W_{Lj} (đơn vị tải)	Hệ số quan trọng tổng hợp W_{ij}
LC ₁	0,18	L ₂	0,07	0,0126
LC ₁	0,18	L ₄	0,1	0,0172
LC ₄	0,21	L ₂₅	0,08	0,0176
LC ₁	0,18	L ₅	0,1	0,0178
LC ₁	0,18	L ₈	0,1	0,0187
LC ₁	0,18	L ₆	0,14	0,0246
LC ₄	0,21	L ₃₂	0,12	0,0252
LC ₄	0,21	L ₃₄	0,13	0,0278
LC ₄	0,21	L ₃₇	0,13	0,0278
LC ₁	0,18	L ₇	0,16	0,0283
LC ₁	0,18	L ₃	0,16	0,0293
LC ₃	0,2	L ₁₅	0,15	0,0295
LC ₁	0,18	L ₉	0,17	0,0308
LC ₃	0,2	L ₁₉	0,16	0,0312
LC ₄	0,21	L ₃₀	0,16	0,0344
LC ₄	0,21	L ₃₅	0,19	0,0403
LC ₄	0,21	L ₃₆	0,19	0,0403
LC ₃	0,2	L ₁₆	0,23	0,0447
LC ₃	0,2	L ₂₂	0,23	0,0447
LC ₃	0,2	L ₂₃	0,24	0,0484
LC ₂	0,41	L ₁₀	0,14	0,0556
LC ₂	0,41	L ₁₂	0,16	0,0638
LC ₂	0,41	L ₁₃	0,22	0,0913
LC ₂	0,41	L ₁₁	0,24	0,0991
LC ₂	0,41	L ₁₄	0,24	0,0991

Phương pháp AHP được sử dụng để quyết định việc sắp xếp các đơn vị phụ tải theo thứ tự ưu tiên tại các thời đoạn và hệ thống sa thải sẽ ưu tiên cắt những tải có hệ số nhỏ nhất trước.

Sau khi xác định các trọng số tầm quan trọng, tiến hành sa thải phụ tải cho đến khi tần số phục hồi đến giá trị lớn hơn 59,7Hz. Đồ thị tần số đo tại Bus 17 khi sa thải phụ tải tương ứng với các trường hợp vận hành 70%, 80%, 90% và 100% được trình bày ở Hình 3.6.



Hình 3.6: Tần số hệ thống khi sa thải phụ tải theo phương pháp AHP với trường hợp vận hành ở các mức tải khác nhau

Tổng hợp kết quả các trường hợp sa thải phụ tải được trình bày ở Bảng 3.26.

Bảng 3.26: Kết quả tổng hợp các trường hợp sa thải phụ tải dựa trên thuật toán AHP

	Mức tải 70%	Mức tải 80%	Mức tải 90%	Mức tải 100%
Phụ tải sa thải	L ₂ , L ₄ , L ₂₅ , L ₅	L ₂ , L ₄ , L ₂₅ , L ₅	L ₂ , L ₄ , L ₂₅	L ₂ , L ₄ , L ₂₅
Công suất sa thải (MW)	127,35	143,69	161,64	179,62
Tần số phục hồi (Hz)	59,94	59,99	59,95	60
Thời gian phục hồi (s)	35s	40s	44s	50s

Như vậy, trong tất cả các trường hợp, tần số hệ thống điện đều trở về giá trị cho phép và gần bằng giá trị định mức. Các giá trị tần số phục hồi trong khoảng từ 59,94Hz đến 60Hz và thời gian phục hồi tần số từ 35s đến 50s. Quan sát đặc điểm thời gian phục hồi cho thấy mức tải vận hành của hệ thống càng lớn thì thời gian khôi phục càng lâu.

3.4.2 Nghiên cứu phương pháp sa thải phụ tải dựa trên việc áp dụng thuật toán Fuzzy-AHP [76].

Tương tự trường hợp nghiên cứu trình bày ở mục 3.4.1, trường hợp nghiên cứu là trường hợp mất một máy phát điện tại thanh góp số 4 khi hệ thống đang hoạt động ở các mức tải làm cho tổng công suất nguồn phát bị giới hạn và tần số bị suy giảm nhỏ hơn giá trị cho phép.

Thực hiện theo các bước của mô hình thuật toán Fuzzy-AHP đã trình bày ở mục 3.3.

Bước 1: Xác định các vùng trung tâm tải và các đơn vị tải ở các trung tâm tải.

Bước 2: Xây dựng mô hình phân cấp AHP dựa trên các vùng trung tâm tải và các đơn vị phụ tải xác định ở Bước 1. Kết quả xây dựng mô hình phân cấp AHP các vùng trung tâm tải và các đơn vị tải sơ đồ hệ thống điện IEEE 37 bus 9 máy phát trình bày ở Hình 3.5

Bước 3: Xác định các hệ số trọng số tầm quan trọng của các trung tâm tải và các nút tải bằng cách sử dụng ma trận phán đoán. Ở đây, giá trị trọng số chính của các ma trận phán đoán của thuật toán Fuzzy-AHP được lấy giá trị tương tự như thuật toán AHP. Các giá trị trọng số biên dưới và trọng số biên trên trọng số chính được xác định dựa trên Bảng 3.1. Các ma trận phán đoán của các trung tâm tải và giữa các tải với nhau trong mỗi trung tâm tải trình bày từ các Bảng 3.27 đến Bảng 3.31.

Bảng 3.27: Ma trận phán đoán trung tâm phụ tải LC_i

Trung tâm tải	LC ₁	LC ₂	LC ₃	LC ₄	W_{LG}
LC ₁	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7,1/3,2/5)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	0,02
LC ₂	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(5/2, 3/1, 7/2)	0,72
LC ₃	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5,1/2,2/3)	0,07
LC ₄	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7,1/3,2/5)	(3/2,2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	0,2

Bảng 3.28: Ma trận phán đoán các phụ tải ở trung tâm tải LC₁

	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	L ₈	L ₉	W_{Li}
L ₂	1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7, 1/3,2/5)	(2/5, 1/2,2/3)	(2/7, 1/3,2/5)	(2/5, 1/2,2/3)	(2/5, 1/2,2/3)	0,01
L ₃	1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(3/2, 2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(3/2, 2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	0,01
L ₄	1/1, 1/1,1/1)	(2/7, 1/3,2/5)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5,1/2,2 /3)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5, 1/2,2/3)	(1/1, 1/1,1/1)	(3/2, 2/1,5/2)	0,09
L ₅	5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(3/2, 2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7, 1/3,2/5)	(2/7, 1/3,2/5)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7, 1/3,2/5)	0,13
L ₆	(3/2, 2/1,5/2)	(2/5, 1/2,2/3)	(1/1, 1/1,1/1)	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	5/2, 3/1, 7/2)	(2/7, 1/3,2/5)	0,2
L ₇	5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(3/2, 2/1,5/2)	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5, 1/2,2/3)	(1/1, 1/1,1/1)	0,22
L ₈	(3/2, 2/1,5/2)	(2/5, 1/2,2/3)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7, 1/3,2/5)	(3/2, 2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5, 1/2,2/3)	0,12
L ₉	(3/2, 2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5, 1/2,2/3)	(5/2, 3/1, 7/2)	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(3/2, 2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	0,23

Bảng 3.29: Ma trận phán đoán các phụ tải ở trung tâm tải LC₂

	L ₁₀	L ₁₁	L ₁₂	L ₁₃	L ₁₄	W_{Li}
L ₁₀	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7,1/3,2/5)	(2/5,1/2,2/3)	0,08
L ₁₁	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	0,25
L ₁₂	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7,1/3,2/5)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5,1/2,2/3)	(3/2,2/1,5/2)	0,14
L ₁₃	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(3/2,2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7,1/3,2/5)	0,26
L ₁₄	(3/2,2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5,1/2,2/3)	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	0,27

Bảng 3.30: Ma trận phán đoán các phụ tải ở trung tâm tải LC₃

	L ₁₅	L ₁₆	L ₁₉	L ₂₂	L ₂₃	W_{LG}
L ₁₅	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5,1/2,2/3)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5,1/2,2/3)	0,07
L ₁₆	(3/2,2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(5/2, 3/1, 7/2)	(2/7,1/3,2/5)	(1/1, 1/1,1/1)	0,35
L ₁₉	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7,1/3,2/5)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5,1/2,2/3)	(3/2,2/1,5/2)	0,18
L ₂₂	(1/1, 1/1,1/1)	(5/2, 3/1, 7/2)	(3/2,2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7,1/3,2/5)	0,05
L ₂₃	(3/2,2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5,1/2,2/3)	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	0,36

Bảng 3.31: Ma trận phán đoán các phụ tải ở trung tâm tải LC₄

	L ₂₅	L ₃₀	L ₃₂	L ₃₄	L ₃₅	L ₃₆	L ₃₇	W_{Li}
L ₂₅	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7, 1/3,2/5)	(2/5, 1/2,2/3)	(2/7, 1/3,2/5)	(2/5, 1/2,2/3)	0,02
L ₃₀	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	0,17
L ₃₂	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7, 1/3,2/5)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5, 1/2,2/3)	(3/2, 2/1,5/2)	(2/5, 1/2,2/3)	(3/2, 2/1,5/2)	0,12
L ₃₄	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(3/2, 2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7, 1/3,2/5)	(2/7, 1/3,2/5)	(1/1, 1/1,1/1)	0,10
L ₃₅	(3/2, 2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5, 1/2,2/3)	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(5/2, 3/1, 7/2)	0,23
L ₃₆	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(3/2, 2/1,5/2)	(5/2, 3/1, 7/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5, 1/2,2/3)	0,23
L ₃₇	(3/2, 2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/5, 1/2,2/3)	(1/1, 1/1,1/1)	(2/7, 1/3,2/5)	(3/2, 2/1,5/2)	(1/1, 1/1,1/1)	0,14

Bước 4: Tính toán các trọng số ở các đơn vị tải đối với toàn hệ thống. Cách tính trọng số này được tính bằng cách nhân trọng số ở các đơn vị tải với trọng số ở các trung tâm tải tương ứng.

Đối với các trung tâm tải LC_i, theo phương pháp Fuzzy- AHP của Chang [73], từ biểu thức (3.5) tính được:

$$S_1 = (2.62, 3.33, 4.40) \times \left(\frac{1}{23.97}, \frac{1}{19.17}, \frac{1}{15.47} \right)$$

$$S_2 = (6.67, 8.0, 9.5) \times \left(\frac{1}{23.97}, \frac{1}{19.17}, \frac{1}{15.47} \right)$$

$$S_3 = (2.73, 3.50, 4.67) \times \left(\frac{1}{23.97}, \frac{1}{19.17}, \frac{1}{15.47} \right)$$

$$S_4 = (3.45, 4.33, 5.40) \times \left(\frac{1}{23.97}, \frac{1}{19.17}, \frac{1}{15.47} \right)$$

Sử dụng biểu thức (3.9), (3.10):

$$V(S_1 \geq S_2) = \frac{0.27 - 0.28}{(0.17 - 0.28) - (0.42 - 0.28)} = 0.02; \quad V(S_1 \geq S_3) = 0.95; \quad V(S_1 \geq S_4) = 0.73;$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 1; \quad V(S_2 \geq S_3) = 1; \quad V(S_2 \geq S_4) = 1;$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 1; \quad V(S_3 \geq S_2) = 0.09; \quad V(S_3 \geq S_4) = 0.78;$$

$$V(S_4 \geq S_1) = 1; \quad V(S_4 \geq S_2) = 0.27; \quad V(S_4 \geq S_3) = 1.$$

Sử dụng biểu thức (3.11):

$$d^*(C_1) = V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4) = \min(0.02, 0.95, 0.73) = 0.02$$

$$d^1(C_2) = v(s_2 \geq s_1, s_3, s_4) = \min(1, 1, 1) = 1$$

$$d^1(C_3) = v(s_3 \geq s_1, s_2, s_4) = \min(1, 0.09, 0.78) = 0.09$$

$$d^1(C_4) = v(s_1 \geq s_4, s_2, s_3) = \min(1, 0.27, 1) = 0.27$$

Vì vậy, $W^* = (0.02, 1, 0.09, 0.27)$, từ đó tính được các trọng số hay vector riêng $W = (0.02, 0.72, 0.07, 0.2)$ dựa trên biểu thức $W_i = \frac{W_i^*}{\sum W_i^*}$.

Tính toán tương tự cho các ma trận phán đoán còn lại, kết quả tính toán các giá trị W_i trình bày từ Bảng 3.27 đến Bảng 3.31.

Hệ số quan trọng tổng hợp của các đơn vị tải đối với toàn hệ thống được tính bằng cách nhân các trọng số của trung tâm tải với các trọng số ở các đơn vị tải của mỗi trung tâm tải. Kết quả tổng hợp trình bày ở Bảng 3.32.

Bước 5: Sắp xếp theo thứ tự tăng dần tầm quan trọng của các đơn vị tải. Trong bảng sắp xếp các đơn vị tải này, phụ tải có trọng số nhỏ hơn sẽ được ưu tiên sa thải trước ở các chiến lược điều khiển. Việc thực hiện sa thải phụ tải sẽ thực hiện cho đến khi giá trị tần số khôi phục trên giá trị cho phép. Kết quả tính toán tổng hợp cho các mức tải trình bày ở Bảng 3.34.

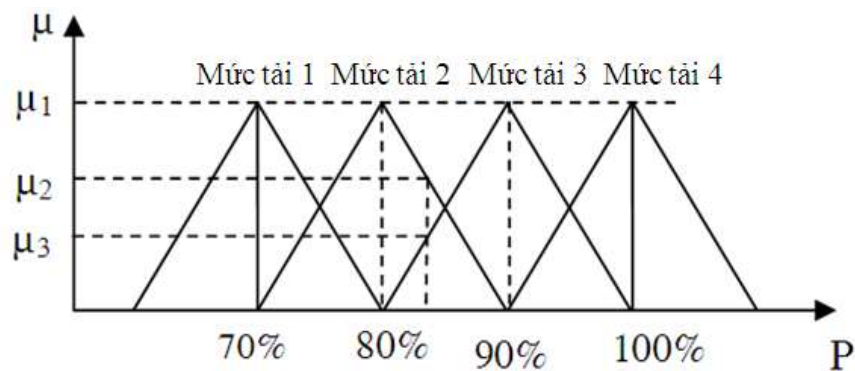
Bảng 3.32: Giá trị các hệ số quan trọng của đơn vị tải được tính toán bởi Fuzzy-AHP

Trung tâm tải	Hệ số quan trọng W_{LC_i} (trung tâm tải)	Phụ tải	Hệ số quan trọng W_{L_j} (đơn vị tải)	Hệ số quan trọng tổng hợp W_{ij}
LC ₁	0.02	L ₂	0,01	0,00012
LC ₁	0,02	L ₃	0,01	0,00012
LC ₁	0,02	L ₄	0,09	0,0016
LC ₁	0,02	L ₅	0,13	0,0024
LC ₁	0,02	L ₆	0,2	0,0036
LC ₁	0,02	L ₇	0,22	0,0039
LC ₁	0,02	L ₈	0,12	0,0021
LC ₁	0,02	L ₉	0,23	0,0042
LC ₂	0,72	L ₁₀	0,08	0,0564
LC ₂	0,72	L ₁₁	0,25	0,181
LC ₂	0,72	L ₁₂	0,14	0,0989
LC ₂	0,72	L ₁₃	0,26	0,19
LC ₂	0,72	L ₁₄	0,27	0,1951
LC ₃	0,07	L ₁₅	0,07	0,0043
LC ₃	0,07	L ₁₆	0,35	0,0227
LC ₃	0,07	L ₁₉	0,18	0,0118
LC ₃	0,07	L ₂₂	0,05	0,0034
LC ₃	0,07	L ₂₃	0,36	0,0233
LC ₄	0,2	L ₂₅	0,02	0,0034
LC ₄	0,2	L ₃₀	0,17	0,0338
LC ₄	0,2	L ₃₂	0,12	0,0231
LC ₄	0,2	L ₃₄	0,1	0,0192
LC ₄	0,2	L ₃₅	0,23	0,0444
LC ₄	0,2	L ₃₆	0,23	0,0444
LC ₄	0,2	L ₃₇	0,14	0,0268

Bảng 3.33: Sắp xếp các đơn vị phụ tải theo giá trị hệ số quan trọng của phụ tải W_{ij} tăng dần

Trung tâm tải	Hệ số quan trọng W_{LCi} (trung tâm tải)	Nút tải	Hệ số quan trọng W_{Lj} (đơn vị tải)	Hệ số quan trọng tổng hợp W_{ij}
LC ₁	0,02	L ₃	0,01	0,0001
LC ₁	0,02	L ₂	0,01	0,0001
LC ₁	0,02	L ₄	0,09	0,0016
LC ₁	0,02	L ₈	0,12	0,0021
LC ₁	0,02	L ₅	0,13	0,0024
LC ₄	0,2	L ₂₂	0,02	0,0034
LC ₃	0,07	L ₂₅	0,05	0,0034
LC ₁	0,02	L ₆	0,2	0,0036
LC ₁	0,02	L ₇	0,22	0,0039
LC ₁	0,02	L ₉	0,23	0,0042
LC ₃	0,07	L ₁₅	0,07	0,0043
LC ₃	0,07	L ₁₉	0,18	0,0118
LC ₄	0,2	L ₃₄	0,1	0,0192
LC ₃	0,07	L ₁₆	0,35	0,0227
LC ₄	0,2	L ₃₂	0,12	0,0231
LC ₃	0,07	L ₂₃	0,36	0,0233
LC ₄	0,2	L ₃₇	0,14	0,0268
LC ₄	0,2	L ₃₀	0,17	0,0338
LC ₄	0,2	L ₃₆	0,23	0,0444
LC ₄	0,2	L ₃₅	0,23	0,0444
LC ₂	0,72	L ₁₀	0,08	0,0564
LC ₂	0,72	L ₁₂	0,14	0,0989
LC ₂	0,72	L ₁₁	0,25	0,181
LC ₂	0,72	L ₁₃	0,26	0,19
LC ₂	0,72	L ₁₄	0,27	0,1951

Bước 6: Mờ hóa đồ thị phụ tải tương ứng với các tỷ lệ 70%, 80%, 90% và 100% công suất cực đại của phụ tải.



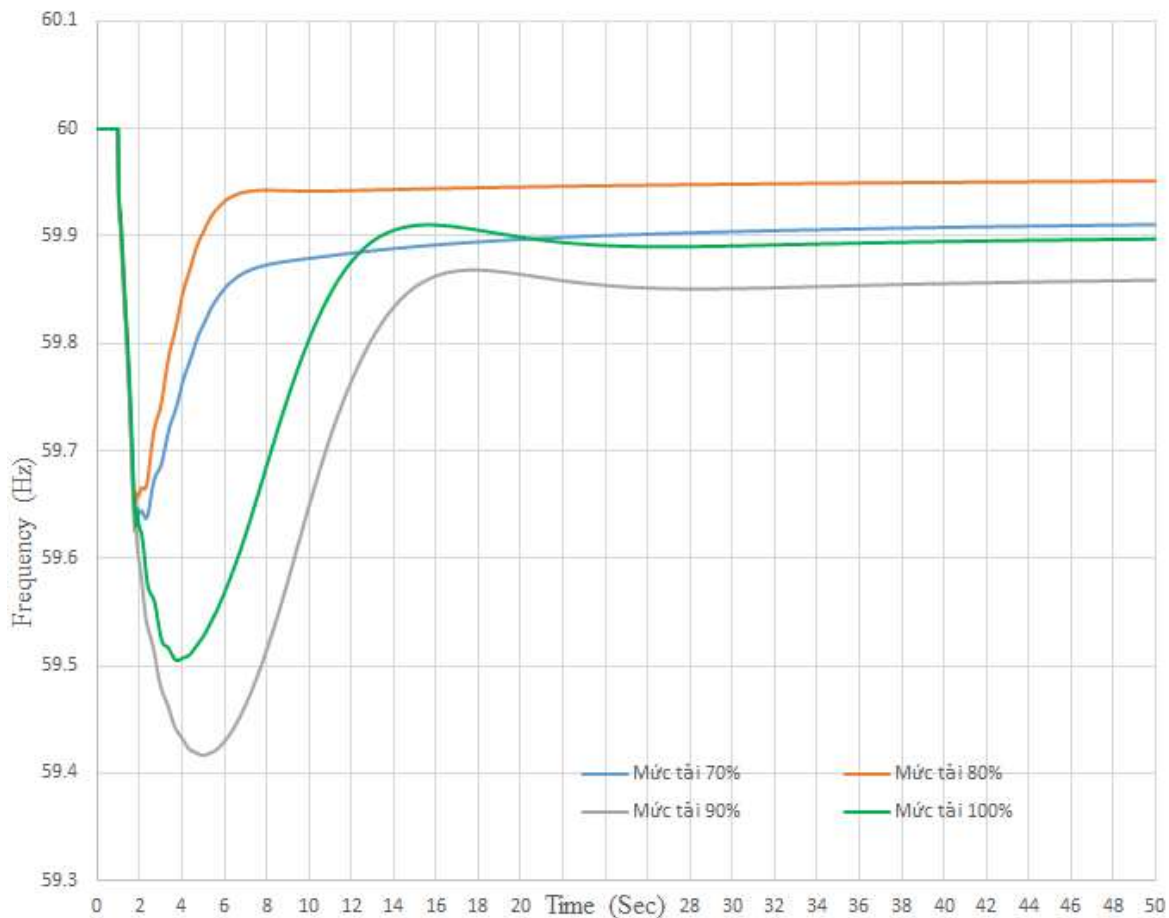
Hình 3.7: Kỹ thuật mờ hóa mức phụ tải

Giả sử trường hợp phụ tải đang vận hành ở mức 83% phụ tải cực đại, kết quả mờ hóa mức phụ tải cho thấy giá trị $\mu_2 > \mu_3$ do đó chọn mức tải 2 và chiến lược điều khiển CL₂. Kết quả mô phỏng đồ thị tần số được trình bày ở Hình 3.8.

Bảng 3.34: Kết quả tính toán tổng hợp các trường hợp mờ hóa đồ thị phụ tải

Giá trị phần trăm tải cực đại	Chiến lược điều khiển	Phụ tải sa thải theo thứ tự trọng số tải dựa trên AHP	Phụ tải sa thải theo thứ tự trọng số tải dựa trên Fuzzy-AHP
70%-75%	CL ₁	L ₂ , L ₄ , L ₂₅ , L ₅	L ₃ , L ₂ , L ₄ , L ₈
75%-85%	CL ₂	L ₂ , L ₄ , L ₂₅ , L ₅	L ₃ , L ₂ , L ₄ , L ₈
85%-95%	CL ₃	L ₂ , L ₄ , L ₂₅	L ₃ , L ₂ , L ₄
>95%	CL ₄	L ₂ , L ₄ , L ₂₅	L ₃ , L ₂ , L ₄

Đồ thị tần số khi sa thải phụ tải ứng với các trường hợp vận hành 70%, 80%, 90% và 100% phụ tải cực đại được trình bày ở Hình 3.8.



Hình 3.8: Tần số hệ thống khi sa thải phụ tải theo phương pháp Fuzzy-AHP với trường hợp vận hành ở các mức tải khác nhau

Kết quả mô phỏng cho thấy tần số trước khi thực hiện chương trình sa thải phụ tải đề xuất là 59,6 Hz, sau khi áp dụng chương trình sa thải đề xuất, tần số đã cải thiện trên giá trị cho phép, giá trị tần số phục hồi ổn định từ 59,86Hz đến 59,95Hz trong thời gian từ 35s đến 45s.

So sánh phương pháp sa thải đề xuất với trường hợp sa thải phụ tải theo thuật toán AHP cho hệ thống điện IEEE 37 bus 9 máy phát, thì cả hai trường hợp tần số đều phục hồi đến giá trị cho phép và đạt giá trị gần bằng với tần số định mức. Tuy nhiên, phương pháp sa thải theo Fuzzy-AHP có tổng công suất phải sa thải ít hơn, nguyên nhân là do thuật toán Fuzzy-AHP giúp cho việc lựa chọn trọng số chính xác hơn và lượng công suất sa thải vừa đủ. Cụ thể, lượng công suất sa thải giảm từ 9,44% đến 10,5%. Trong thị trường điện cạnh tranh, việc giảm lượng công suất sa thải này giúp làm giảm thiệt hại do cắt điện gây ra và có ý nghĩa về mặt kinh tế rất lớn. Ở đây, các quá trình điều chỉnh tần số của máy phát đều được xem xét. Chi tiết của quá trình điều chỉnh tần số hệ thống điện được trình bày ở Chương 4. Kết quả so sánh giữa phương pháp sa thải phụ tải theo AHP và Fuzzy-AHP trình bày ở Bảng 3.38.

Bảng 3.38: Kết quả so sánh giữa phương pháp sa thải phụ tải theo AHP và Fuzzy-AHP

Phương pháp sa thải	Thuật toán AHP				Thuật toán Fuzzy-AHP			
	Chiến lược điều khiển 1	Chiến lược điều khiển 2	Chiến lược điều khiển 3	Chiến lược điều khiển 4	Chiến lược điều khiển 1	Chiến lược điều khiển 2	Chiến lược điều khiển 3	Chiến lược điều khiển 4
Phụ tải sa thải	L ₂ , L ₄ , L ₂₅ , L ₅	L ₂ , L ₄ , L ₂₅ , L ₅	L ₂ , L ₄ , L ₂₅	L ₂ , L ₄ , L ₂₅	L ₃ , L ₂ , L ₄ , L ₈	L ₃ , L ₂ , L ₄ , L ₈	L ₃ , L ₂ , L ₄	L ₃ , L ₂ , L ₄
Công suất sa thải (MW)	127,35	143,69	161,64	179,62	113,98	130,11	146,38	162,65
Tần số phục hồi (Hz)	59,94	59,99	59,95	60	59,91	59,95	59,86	59,89
Thời gian phục hồi (s)	35s	40s	44s	50s	35s	40s	40s	45s

Về thời gian phục hồi tần số, cả hai phương pháp đều có đặc điểm là mức tải càng cao thì thời gian phục hồi tần số càng lâu. Tuy nhiên, phương pháp Fuzzy-AHP có thời gian khôi phục tần số nhanh hơn so với phương pháp AHP.

Nhận xét và kết luận chương 3

Chương 3 đã đề xuất việc áp dụng thuật toán Fuzzy-AHP cho phép xác định hệ số tầm quan trọng của các nút tải trong hệ thống điện. Việc xác định hệ số tầm quan trọng của các nút tải giúp cho việc xếp hạng thứ tự ưu tiên sa thải phụ tải có hệ số tầm quan trọng từ thấp đến cao. Thuật toán Fuzzy-AHP giúp việc xây dựng ma trận phán đoán giữa các trung tâm tải và giữa các phụ tải trong các trung tâm tải trở nên linh hoạt hơn khi các chuyên gia vận hành hệ thống điện đưa ra các phán đoán tầm quan trọng. Bên cạnh đó, việc mờ hóa đồ thị tải đã giúp giảm số chiến lược điều khiển sa thải phụ tải khi hệ thống vận hành ở nhiều mức tải khác nhau. Điều này có ý nghĩa trong việc đơn giản hóa việc vận hành và điều khiển sa thải phụ tải khi hệ thống bị sự cố và phụ tải biến đổi liên tục.

Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất rất phù hợp với thực tiễn của các nước trong điều kiện chưa có sự khảo sát chuyên sâu về chi phí phụ tải điện, các chi phí thiệt hại khi sa thải phụ tải, sự đánh giá còn mang tính kinh nghiệm và cảm tính. Mô hình sa thải phụ tải đề xuất thể hiện sự mềm dẻo và linh hoạt với việc áp dụng biến ngôn ngữ.

Tuy nhiên, khi xây dựng các ma trận phán đoán phụ tải phụ thuộc rất nhiều vào ý kiến chuyên gia. Do đó, trong quá trình lựa chọn các chuyên gia cho ý kiến, cần phải lựa chọn các chuyên gia am hiểu sâu về hệ thống và là những chuyên gia đầu ngành khi xem xét để lấy ý kiến nhằm giảm thiểu sai sót khi ý kiến không hoàn hảo.

Nội dung chương tiếp theo sẽ trình bày phương pháp xác định lượng công suất sa thải phụ tải. Quá trình tính toán này có xét đến các yếu tố điều khiển tần số sơ cấp và điều khiển tần số thứ cấp của máy phát điện nhằm tối thiểu lượng công suất sa thải phụ tải.

Chương 4

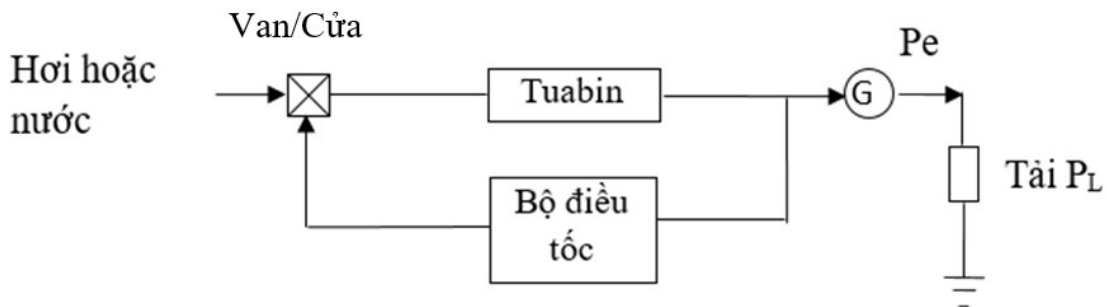
TÍNH TOÁN LƯỢNG CÔNG SUẤT SA THẢI TỐI THIỂU CÓ XÉT ĐẾN ĐIỀU KHIỂN SƠ CẤP VÀ THỨ CẤP TỔ MÁY PHÁT ĐIỆN

4.1 Đặt vấn đề

Các nghiên cứu về sa thải phụ tải trước đây [9], [10], [19] chủ yếu tính toán lượng công suất sa thải phụ tải dựa trên phương trình chuyển động quay của rotor hay được thực hiện tại các phát tuyến đường dây trung thế đã được cài đặt sẵn và khi tần số giảm xuống đến ngưỡng quy định thì các relay sa thải phụ tải phát tuyến sẽ ra lệnh cắt toàn bộ phát tuyến. Điều này có thể làm cho lượng công suất sa thải phụ tải không chính xác trong việc khôi phục tần số về giá trị cho phép. Chương 4 trình bày phương pháp tính toán lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu để phục hồi tần số về giá trị cho phép trên cơ sở xem xét các yếu tố điều khiển sơ cấp và điều khiển thứ cấp tổ máy phát điện.

4.2 Tổng quan về đáp ứng tần số của hệ thống điện

Xét mạng điện gồm một máy phát cung cấp cho một tải độc lập được trình bày ở Hình 4.1.



Hình 4.1: Máy phát cung cấp cho phụ tải độc lập

Khả năng biến đổi công suất theo tần số hay khả năng ổn định tần số của tuabin được xác định bởi độ dốc của đặc tính điều chỉnh của bộ điều chỉnh tốc độ [77]. Độ dốc của đặc tính điều chỉnh được xác định bằng biểu thức:

$$K_F = \frac{-\Delta P_G}{P_{G_n}} \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \quad (4.1)$$

Ở đây: P_{G_n} là công suất định mức của máy phát, f_0 là tần số định mức, $\Delta f = f - f_0$ là độ thay đổi tần số, ΔP_G là độ thay đổi công suất phát.

Công thức (4.1) cho biết một sự thay đổi 1% (so với định mức) của tần số sẽ kéo theo một sự thay đổi K_F % của công suất phát (so với công suất định mức của máy phát).

Đặt $R = \frac{1}{K_F}$ là hệ số điều chỉnh tốc độ. Công thức (4.1) được viết lại:

$$\Delta P_G = \frac{-P_{G_n}}{R} \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \quad (4.2)$$

Phụ tải trong hệ thống điện là tổng hợp đa dạng các thiết bị điện khác nhau. Đối với các phụ tải điện trở, chẳng hạn như tải chiếu sáng và sưởi ấm, công suất điện không phụ thuộc vào tần số. Trong trường hợp phụ tải động cơ, chẳng hạn như quạt và máy bơm, công suất điện thay đổi theo tần số làm thay đổi tốc độ động cơ. Theo [78], công suất của phụ tải tổng hợp có thể được biểu thị theo biểu thức:

$$P_L = P_{ID} + P_D \quad (4.3)$$

Ở đây: P_L là thành phần phụ tải tổng hợp, P_{ID} là thành phần phụ tải không phụ thuộc tần số, ví dụ: tải nhiệt, chiếu sáng,...; P_D là thành phần của phụ tải phụ thuộc vào sự thay đổi của tần số, ví dụ: động cơ, máy bơm.

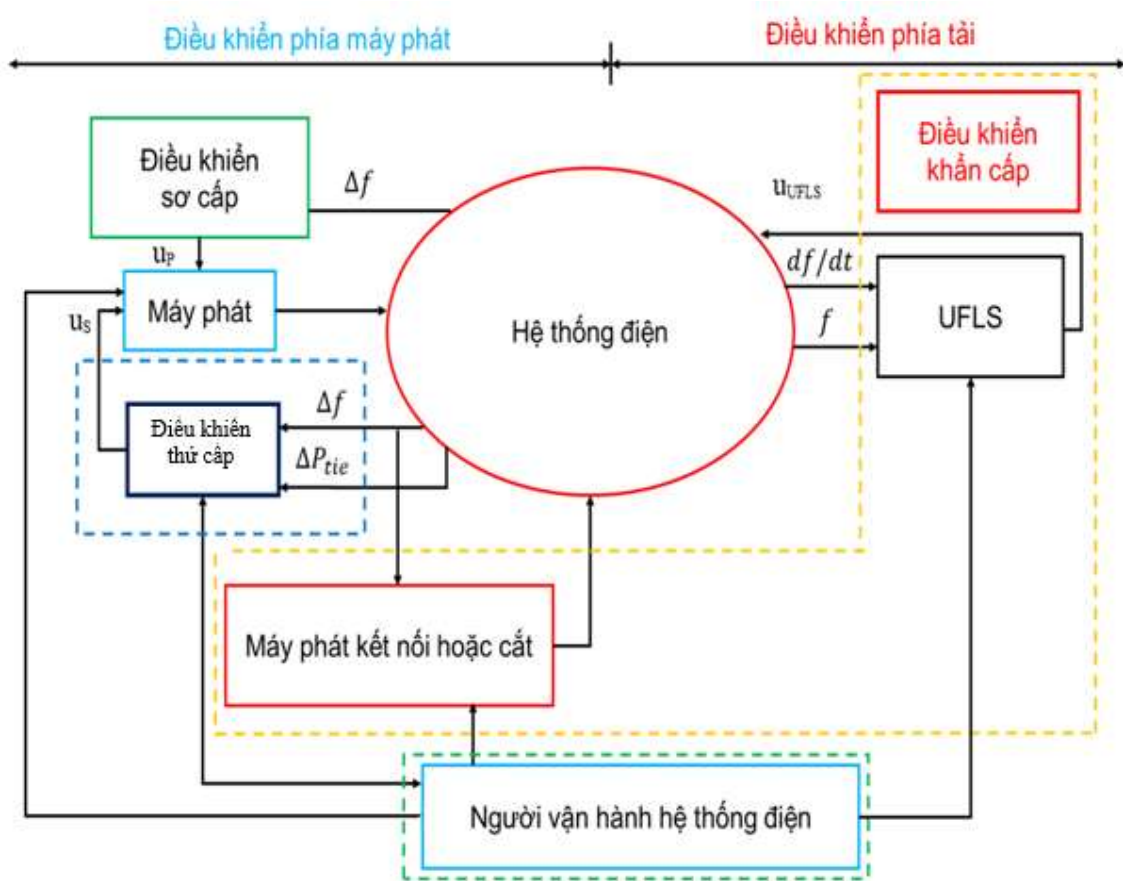
Theo [77], quan hệ giữa độ biến đổi công suất phụ tải theo độ biến đổi tần số được xác định theo biểu thức:

$$\Delta P_D = \frac{\Delta f}{f_0} \cdot P_L \cdot D \quad (4.4)$$

Ở đây, P_L là công suất phụ tải của hệ thống, ΔP_D là độ biến đổi công suất phụ tải theo độ biến đổi tần số, D là hệ số đặc tính phần trăm thay đổi của tải theo phần trăm tần số thay đổi, giá trị D từ 1% đến 2% và xác định bằng thực nghiệm trong hệ thống điện [78]. Ví dụ, giá trị $D=2\%$ có nghĩa là một sự thay đổi 1% của tần số sẽ gây ra sự thay đổi 2% ở tải.

4.3 Quá trình điều chỉnh tần số khi có sự cố trong hệ thống điện

Quá trình điều chỉnh tần số khi có sự cố trong hệ thống điện gồm các giai đoạn: điều chỉnh cấp 1 hay điều chỉnh tần số sơ cấp, điều chỉnh cấp 2 hay điều chỉnh tần số thứ cấp [79]. Trường hợp sau khi thực hiện điều chỉnh cấp 2 mà tần số vẫn chưa quay về giá trị cho phép thì phải thực hiện điều khiển sa thải phụ tải để khôi phục tần số về giá trị cho phép. Quá trình điều chỉnh tần số trong hệ thống điện được trình bày ở Hình 4.2 [8].



Hình 4.2: Sơ đồ điều chỉnh tần số trong hệ thống điện

4.4 Điều chỉnh tần số sơ cấp trong hệ thống điện

Điều chỉnh tần số sơ cấp là quá trình điều chỉnh tức thời được thực hiện bởi số lượng lớn các tổ máy có bộ phận điều chỉnh công suất tuabin theo sự biến đổi của tần số [11].

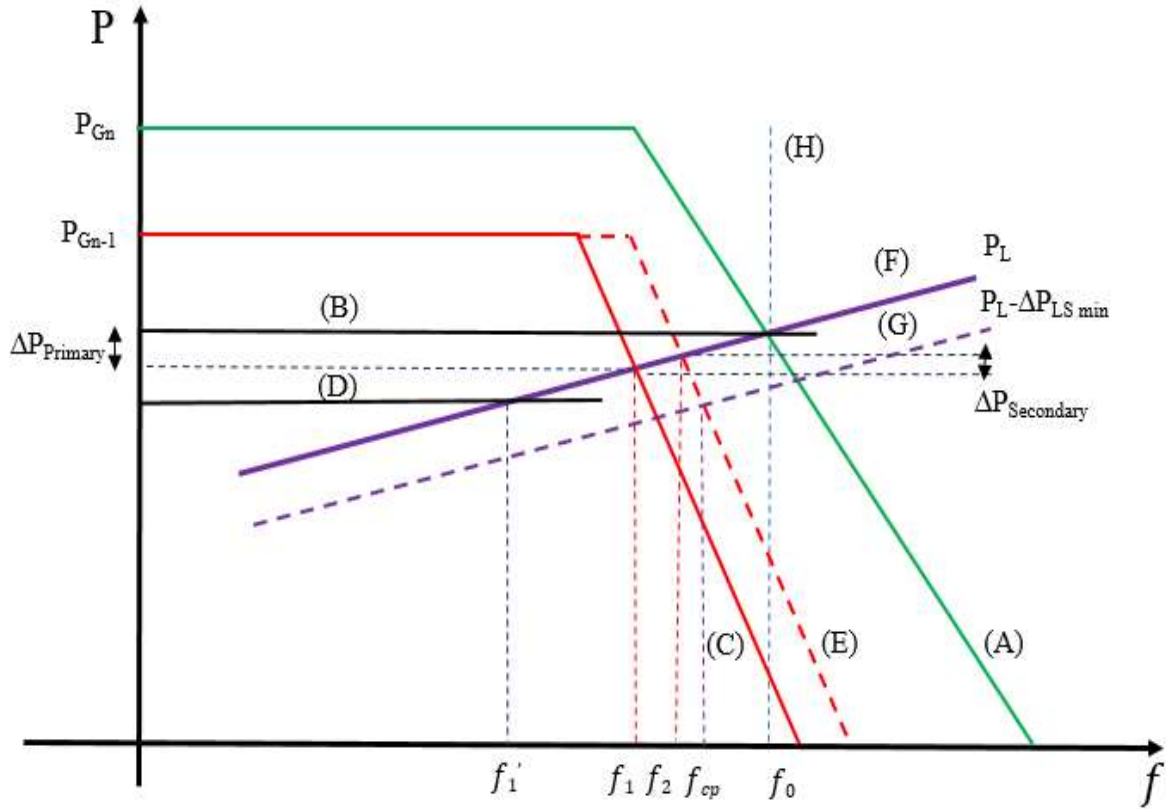
Trường hợp tổ máy không có trang bị bộ điều tốc, đặc tính phát công suất được trình bày ở đặc tuyến (B) Hình 4.3. Trường hợp tổ máy có trang bị bộ điều tốc, đặc tính phát công suất được trình bày ở đặc tuyến (A) Hình 4.3.

Trong chế độ vận hành ổn định, cân bằng, điểm giao nhau của đặc tính máy phát (A) với đặc tính tần số của phụ tải (F) xác định tần số f_0 . Giả thiết rằng đó là tần số chuẩn, bằng 50Hz hoặc 60Hz.

Trong trường hợp sự cố máy phát, tổng công suất phát giảm từ P_{Gn} xuống còn P_{Gn-1} , tương ứng sẽ là đường đặc tính mới (C). Tần số mới f_1 là giao điểm của đặc tính máy phát có trang bị bộ điều tốc (C) với đặc tính của phụ tải (F). Đường đặc tính (C) cho thấy tác động của bộ điều tốc thay đổi công suất turbine theo sự thay đổi của tần số.

Trường hợp này có thể thấy $f_1 < f_0$, bộ điều tốc không cản trở được sự suy giảm tần số. Tuy nhiên, nhờ có bộ điều tốc đã hạn chế được độ lệch lớn của tần số. So sánh với trường hợp máy phát không có bộ điều tốc (đặc tính (D)) thì giao điểm với đặc tính mới của phụ tải P_L sẽ xác định tần số f_1' , lúc này $f_1' < f_1$.

Như vậy, bộ điều tốc của tổ máy phát đã có tác dụng điều chỉnh tần số và được gọi là bộ điều chỉnh tần số sơ cấp. Quá trình này được gọi tương ứng là quá trình điều chỉnh sơ cấp. Hiệu quả của quá trình điều chỉnh tần số sơ cấp phụ thuộc vào độ dốc đặc tính điều chỉnh của tổ máy. Trong trường hợp lý tưởng, đặc tính điều chỉnh của tổ máy thẳng đứng (đặc tính (H)), tần số sẽ không thay đổi cho đến giới hạn công suất của tổ máy điều tần. Chính đặc điểm trên của quá trình điều chỉnh sơ cấp dẫn đến sự cần thiết can thiệp từ bên ngoài (do thiết bị điều khiển tự động thực hiện hoặc do người vận hành tác động) - đó là quá trình điều chỉnh thứ cấp.



Hình 4.3: Đặc tính điều chỉnh tần số sơ cấp-thứ cấp trong mối quan hệ giữa công suất và tần số

4.5 Điều chỉnh tần số thứ cấp trong hệ thống điện

Điều chỉnh tần số thứ cấp là quá trình điều chỉnh tiếp theo của điều chỉnh tần số sơ cấp thực hiện thông qua một số các tổ máy được quy định cụ thể trong hệ thống, hoặc theo lệnh điều độ [11].

Trên đồ thị điều chỉnh tần số thứ cấp ở Hình 4.3 được thể hiện bằng cách dịch chuyển song song đường đặc tính (C) sang thành đặc tính (E) của tổ máy, với độ dốc vẫn không thay đổi. Điểm giao nhau của đường đặc tính (E) và đường đặc tính của phụ tải (F) xác định tần số mới f_2 . Trong trường hợp giá trị tần số f_2 này nhỏ hơn giá trị tần số cho phép f_{cp} thì phải tiến hành xả tải phụ tải, đặc tính phụ tải ban đầu (F) chuyển thành đặc tính mới của phụ tải (G). Điểm giao nhau của đường đặc tính (E) và đường đặc tính mới của phụ tải (G) xác định giá trị tần số cho phép f_{cp} .

Như vậy, trong trường hợp sự cố thiếu hụt nguồn phát hay mất cân bằng công suất giữa phụ tải và nguồn phát thì hệ thống điện sẽ trải qua các giai đoạn: điều chỉnh tần số sơ cấp và tần số thứ cấp. Sau khi thực hiện quá trình điều chỉnh tần số thứ cấp mà tần số hệ thống điện vẫn chưa phục hồi về giá trị cho phép thì phải thực hiện xả thải phụ tải nhằm khôi phục tần số. Đây được xem như là giải pháp bắt buộc cuối cùng để tránh rủi ro và sụp đổ hệ thống điện.

4.6 Tính toán lượng công suất xả thải phụ tải tối thiểu để phục hồi tần số về giá trị cho phép

4.6.1. Mục đích của việc tính toán lượng công suất xả thải phụ tải tối thiểu

Việc tính toán lượng công suất xả thải phụ tải tối thiểu $P_{LS \min}$ nhằm đảm bảo xả thải lượng công suất ít nhất mà vẫn phục hồi tần số hệ thống điện về giá trị cho phép đồng thời giảm thiệt hại ít nhất cho khách hàng tiêu thụ điện. Việc tính toán có xem xét đến các yếu tố điều khiển sơ cấp và điều khiển thứ cấp tổ máy phát điện phù hợp với thực tế vận hành.

4.6.2. Xây dựng công thức tính toán lượng công suất xả thải phụ tải tối thiểu

Trong hệ thống điện có n máy phát, khi hệ thống điện xuất hiện sự cố mất máy phát điện, việc điều chỉnh tần số sơ cấp của $(n-1)$ máy phát còn lại được thực hiện với sự điều chỉnh lượng công suất theo biểu thức sau:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \Delta P_{\text{Primary control}} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{-P_{G_{n,i}}}{R_i} \cdot \frac{\Delta f_1}{f_0} \quad (4.5)$$

Ở đây, $\Delta P_{\text{Primary control}}$ là công suất điều chỉnh sơ cấp của máy phát thứ i ; $P_{G_{n,i}}$ công suất phát của máy phát thứ i ; $\Delta f_1 = f_1 - f_0$ độ suy giảm tần số; f_0 là tần số định mức của hệ thống.

Khi xảy ra sự cố mất máy phát, sự chênh lệch giữa công suất phát và công suất phụ tải P_L sẽ dẫn đến sự chênh lệch tần số, cụ thể là tần số bị suy giảm. Lượng công suất của tải phụ thuộc tần số sẽ giảm một lượng ΔP_D được trình bày ở biểu thức (4.4).

Trạng thái cân bằng công suất được trình bày theo biểu thức sau:

$$P_L - \Delta P_D = \sum_{i=1}^{n-1} P_{G_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta P_{\text{Primary control}} \quad (4.6)$$

$$P_L - \sum_{i=1}^{n-1} P_{G_i} = \Delta P_D + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{-P_{G_{n,i}}}{R_i} \cdot \frac{\Delta f_1}{f_0} \quad (4.7)$$

$$P_L - \sum_{i=1}^{n-1} P_{G_i} = -\left(\frac{\Delta f_1}{f_0}\right) \cdot P_L \cdot D + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{-P_{G_{n,i}}}{R_i} \cdot \frac{\Delta f_1}{f_0} \quad (4.8)$$

$$P_L - \sum_{i=1}^{n-1} P_{G_i} = -\left(\frac{\Delta f_1}{f_0}\right) \left(P_L \cdot D + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{P_{G_{n,i}}}{R_i}\right) \quad (4.9)$$

Đặt $\Delta P_L = P_L - \sum_{i=1}^{n-1} P_{G_i}$ và $\beta = P_L \cdot D + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{P_{G_{n,i}}}{R_i}$

Từ biểu thức (4.9), suy ra: $\Delta P_L = \frac{-\Delta f_1}{f_n} \cdot \beta \quad (4.10)$

Trong trường hợp có xét đến công suất điều khiển thứ cấp để khôi phục tần số, trạng thái cân bằng công suất mới với giá trị tần số mới f_2 , biểu thức (4.6) trở thành:

$$P_L - \Delta P_D = \sum_{i=1}^{n-1} P_{G_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta P_{\text{Primary control}} + \Delta P_{\text{Secondary control max}} \quad (4.11)$$

Ở đây, $\Delta P_{\text{Secondary control max}}$ là lượng công suất điều khiển thứ cấp tối đa phát lên hệ thống điện. Lượng công suất điều khiển thứ cấp này được xác định theo biểu thức (4.12).

$$\Delta P_{\text{Secondary control max}} = \sum_{j=1}^k (P_{G_{m,j}} - \Delta P_{\text{Primary control, j}}) \quad (4.12)$$

Ở đây, $P_{G_{m,j}}$ là công suất phát tối đa của máy điều khiển tần số thứ cấp j , $\Delta P_{\text{Primary control, j}}$ là công suất điều khiển sơ cấp của máy phát điều khiển thứ cấp j .

Sau khi thực hiện quá trình điều khiển thứ cấp mà tần số hệ thống vẫn chưa khôi phục về giá trị cho phép f_{cp} thì việc sa thải phụ tải là điều bắt buộc phải thực hiện để phục hồi tần số, lượng công suất sa thải $P_{LS\min}$ được tính theo biểu thức sau:

$$P_L - \Delta P_D - P_{LS\min} = \sum_{i=1}^{n-1} P_{G_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta P_{\text{Primary control}} + \Delta P_{\text{Secondary control max}} \quad (4.13)$$

$$\Delta P_{LS\min} = P_L - \Delta P_D - \sum_{i=1}^{n-1} P_{G_i} - \sum_{i=1}^{n-1} \Delta P_{\text{Primary control}} - \Delta P_{\text{Secondary control max}} \quad (4.14)$$

$$\Delta P_{LS\min} = P_L - \sum_{i=1}^{n-1} P_{G_i} + \frac{\Delta f_{cp}}{f_0} \cdot P_L \cdot D + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{P_{G_{n,i}}}{R_i} \cdot \frac{\Delta f_{cp}}{f_0} - \Delta P_{\text{Secondary control max}} \quad (4.15)$$

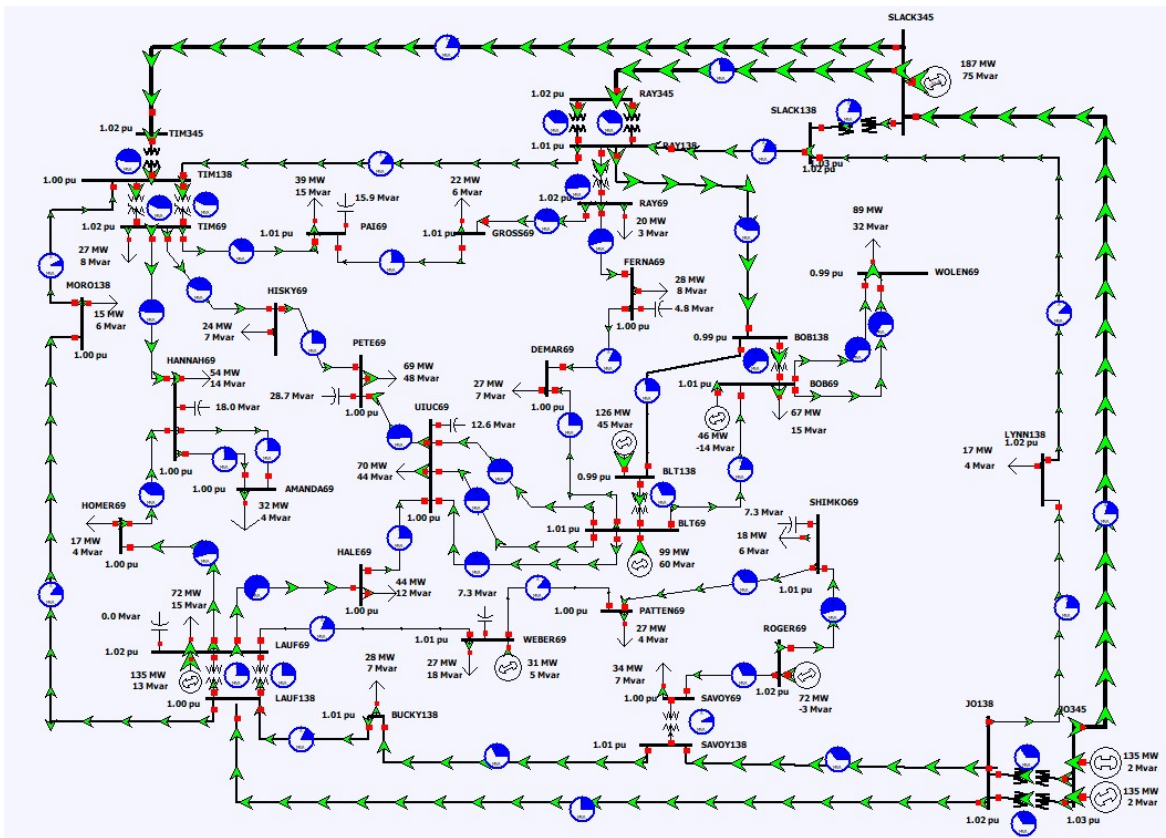
Ở đây: $\Delta f_{cp} = f_0 - f_{cp}$ là độ suy giảm tần số cho phép.

Biểu thức (4.14) được viết gọn lại theo biểu thức sau:

$$\Delta P_{LS \min} = \Delta P_L + \frac{\Delta f_{cp}}{f_0} \cdot \beta - \Delta P_{\text{Secondary control max}} \quad (4.16)$$

4.7 Tính toán kiểm tra trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn

Phương pháp tính toán lượng công suất sa thải phụ tải đề xuất được kiểm nghiệm trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn IEEE 37 bus 9 máy phát [75]. Sơ đồ đơn tuyến của hệ thống được trình bày ở Hình 4.4. Máy phát điện tại Bus-31 được xem là nút cân bằng. Tổng công suất tác dụng và công suất phản kháng cực đại của các máy phát tương ứng là 1087MW và 449Mvar và $S_{\text{base}}=100\text{MVA}$ cho hệ thống thử nghiệm này. Công suất tác dụng phụ tải của hệ thống là 1010,75MW. Các giải pháp điều khiển để giữ tần số ở trạng thái ổn định và giảm thiểu giá trị tải sa thải với mục tiêu là duy trì được tần số ổn định từ 59,7Hz đến 60Hz.



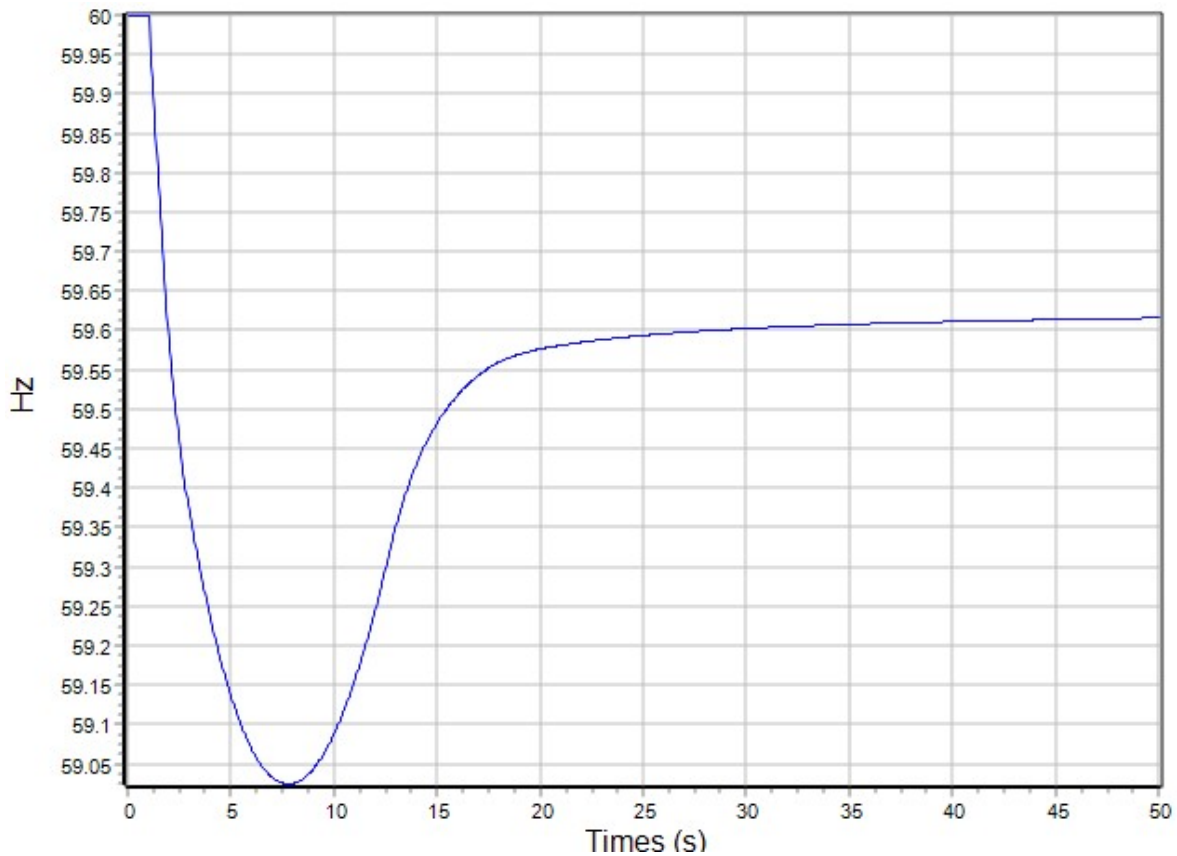
Hình 4.4: Sơ đồ hệ thống điện chuẩn IEEE 37 bus 9 máy phát

Để kiểm tra hiệu quả của phương pháp đề xuất, các tình huống ngừng hoạt động hay ngắt kết nối với hệ thống điện của các đơn vị máy phát điện được tính toán, mô phỏng và kiểm tra các thông số như: độ suy giảm tần số, lượng công suất điều khiển sơ cấp, lượng

công suất điều khiển thứ cấp, và lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu. Trong các trường hợp tính toán và mô phỏng thì công suất để điều khiển tần số sơ cấp và thứ cấp được xem xét. Tất cả các trường hợp thử nghiệm được mô phỏng trên phần mềm PowerWorld GSO19.

Trường hợp nghiên cứu xem xét máy phát JO345#1 (bus 28) ngừng hoạt động và ngắt kết nối với lưới điện.

Áp dụng biểu thức (4.10) tính toán được giá trị tần số ổn định khi máy phát JO345#1 (bus 28) ngừng hoạt động là 59,6Hz, kết quả đồ thị tần số mô phỏng được trình bày ở Hình 4.5.



Hình 4.5: Tần số của hệ thống khi máy phát JO345#1 ngắt ra khỏi hệ thống điện

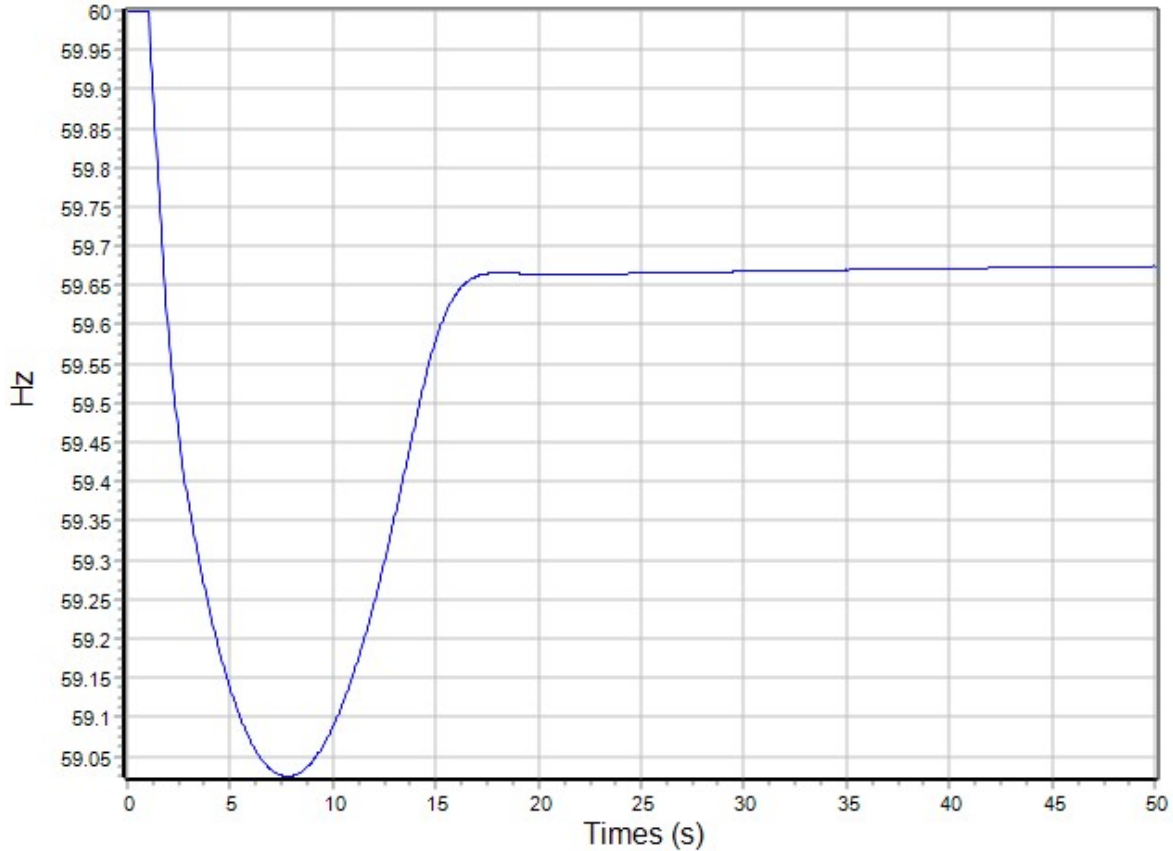
Quan sát đồ thị Hình 4.5 cho thấy giá trị tần số sau khi sự cố ngừng máy phát JO345#1 (bus 28) nhỏ hơn giá trị cho phép. Do đó, cần tiến hành quá trình điều khiển tần số sơ cấp và điều khiển tần số thứ cấp đã trình bày ở mục 4.4 và mục 4.5 để phục hồi tần số. Việc điều chỉnh tần số sơ cấp được thực hiện tự động. Phản ứng của bộ điều tốc turbine thực

hiện ngay sau khi máy phát JO345#1 (bus 28) ngừng hoạt động. Giá trị công suất điều khiển sơ cấp của mỗi turbine máy phát được trình bày ở Bảng 4.1.

Bảng 4.1: Giá trị các thông số và công suất điều khiển sơ cấp của các máy phát

STT máy phát	Máy phát	P_G (MW)	P_G (pu)	R	$\Delta P_{\text{Primary control}}$ (pu)	$\frac{P_{G,n}}{R}$
1	WEBER69	31,5	0,315	0,05	0,035	7
2	JO345#1	0	0	0,05	0	0
3	JO345#2	135	1,35	0,05	0,15	30
4	SLACK345	187,28	1,8728	0,05	0,22	44
5	LAUF69	135	1,35	0,05	0,15	30
6	BOB69	46	0,46	0,05	0,052	10,4
7	ROGER69	72	0,72	0,05	0,08	16
8	BLT138	126	1,26	0,05	0,14	28
9	BLT69	99	0,99	0,05	0,11	22
Tổng		831,78	8,3178		0,937	187,4

Do tần số phục hồi nhỏ hơn giá trị cho phép nên quá trình điều khiển tần số thứ cấp được thực hiện sau khi thực hiện điều khiển sơ cấp. Công suất dự phòng máy phát điều tần sẽ được huy động để thực hiện điều khiển thứ cấp. Trong hệ sơ đồ hệ thống điện IEEE 37 bus 9 máy phát, máy SLACK 345 (máy SLACK bus) được chọn làm máy điều khiển tần số thứ cấp. Trong trường hợp này, áp dụng biểu thức (4.12) tính được lượng công suất điều khiển thứ cấp huy động được là 10,72MW. Đồ thị mô phỏng tần số của hệ thống sau khi thực hiện điều khiển thứ cấp trình bày ở Hình 4.6.



Hình 4.6: Tần số của hệ thống sau khi thực hiện quá trình điều khiển sơ cấp và thứ cấp

Như vậy, sau khi thực hiện quá trình điều khiển thứ cấp thì tần số phục hồi là 59,66Hz và vẫn chưa trở về giá trị cho phép. Do đó, giải pháp cuối cùng là phải thực hiện sa thải phụ tải để khôi phục tần số về giá trị cho phép. Áp dụng biểu thức (4.16) tính toán được lượng công suất sa thải tối thiểu để phục hồi tần số về giá trị cho phép.

Trong hệ thống điện tần số 60Hz thì độ suy giảm tần số cho phép Δf_{cp} là 0,3Hz ($\Delta f_{cp} = -0.3\text{Hz}$) [9], [80]. Do đó, khi tính trong hệ đơn vị tương đối (pu) thì $\Delta f_{cp} = \frac{-0.3}{60} (pu)$.

$$\Delta P_{LS \min} = \Delta P_L + \frac{\Delta f_{cp}}{f_0} \cdot \beta - \Delta P_{\text{Secondary control max}}$$

$$\Delta P_L = P_L - \sum_{i=1}^{n-1} P_{G_i} = 9,5394 - 8,31780 = 1,2216$$

$$\beta = P_L \cdot D + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{P_{G_i}}{R_i} = 9,5394 \cdot 0,02 + 187,4 = 187,590788$$

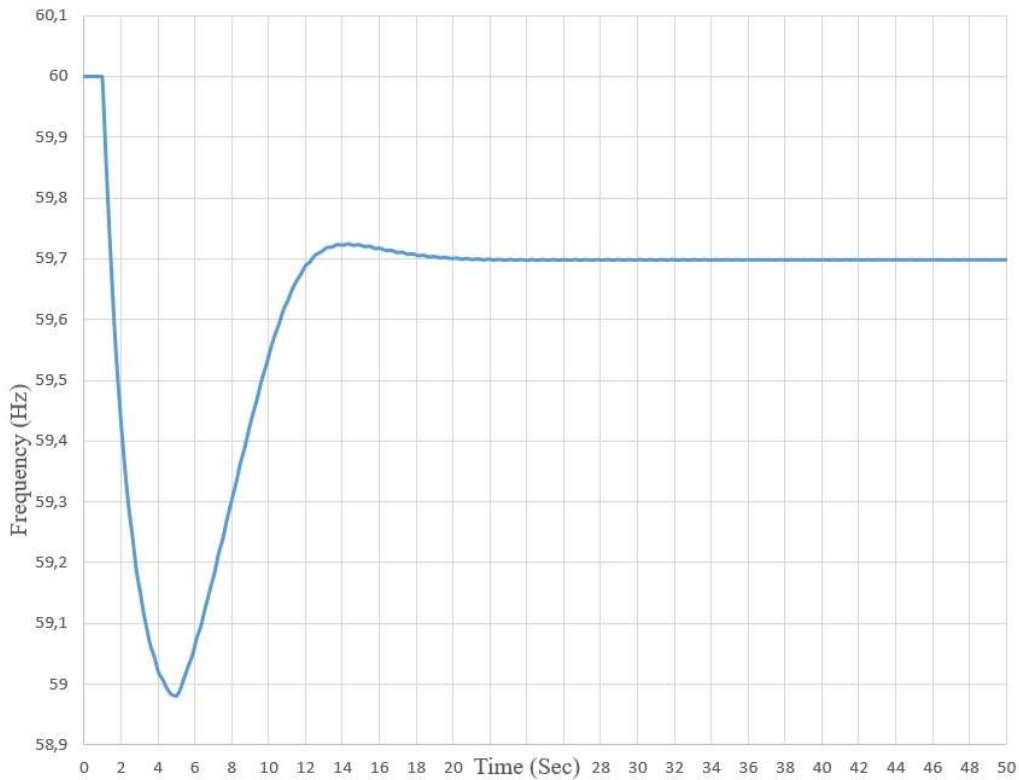
$$\Delta P_{LS\min} = 1,2216 + \frac{(-0.3)}{60} \cdot 187,590788 - 0,1072 = 0,1764 pu$$

Vậy lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu $P_{Load\ shedding\ min}$ là 17,64MW.

Để kiểm tra hiệu quả của phương pháp, lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu này được phân bố đều cho các nút tải và được trình bày ở Bảng 4.2. Kết quả mô phỏng tần số của hệ thống điện khi sa thải phụ tải dựa trên lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu tính toán được trình bày ở Hình 4.7.

Bảng 4.2: Phân bố công suất sa thải tại các nút tải

Nút tải	Lượng công suất sa thải (MW)
L ₂	0,7056
L ₃	0,7056
L ₄	0,7056
L ₅	0,7056
L ₆	0,7056
L ₇	0,7056
L ₈	0,7056
L ₉	0,7056
L ₁₀	0,7056
L ₁₁	0,7056
L ₁₂	0,7056
L ₁₃	0,7056
L ₁₄	0,7056
L ₁₅	0,7056
L ₁₆	0,7056
L ₁₉	0,7056
L ₂₂	0,7056
L ₂₃	0,7056
L ₂₅	0,7056
L ₃₀	0,7056
L ₃₂	0,7056
L ₃₄	0,7056
L ₃₅	0,7056
L ₃₆	0,7056
L ₃₇	0,7056
Tổng	17,64



Hình 4.7: Tần số của hệ thống sau khi thực hiện sa thải phụ tải

Như vậy phương pháp tính toán lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu đã đảm bảo giúp cho tần số hệ thống điện phục hồi về giá trị cho phép 59,7Hz và cho thấy hiệu quả của phương pháp đề xuất.

Nhận xét và kết luận chương 4

Phương pháp tính toán lượng công suất sa thải phụ tải đề xuất có xét đến các yếu tố điều khiển sơ cấp và điều khiển thứ cấp tổ máy phát điện, điều này phù hợp với thực tế vận hành của hệ thống điện. Phương pháp này có công suất sa thải phụ tải đảm bảo phục hồi tần số về giá trị cho phép giúp giảm thiểu thiệt hại gây ra khi phải cắt điện. Kết quả tính toán của chương này làm cơ sở cho việc phân bố lượng công suất sa thải tại các nút tải dựa trên việc phối hợp nhiều phương pháp sa thải phụ tải khác nhau sẽ được trình bày ở chương 5.

Chương 5

PHƯƠNG PHÁP SA THẢI PHỤ TẢI CÓ XÉT ĐẾN VIỆC PHỐI HỢP NHIỀU PHƯƠNG PHÁP

5.1 Đặt vấn đề

Phần lớn các công trình nghiên cứu về tối ưu hóa sa thải phụ tải [29], [51-54], [59], [61], [62] có xét đến các ràng buộc đa mục tiêu chủ yếu là để giải quyết bài toán tối thiểu lượng công suất sa thải phụ tải. Các ràng buộc đa mục tiêu đa phần đều là các ràng buộc về mặt kỹ thuật, ví dụ như: ràng buộc về công suất phát của các tổ máy, khả năng mang tải của đường dây, điện áp tại các nút,... Tuy nhiên, trong thực tế hiện nay, việc sa thải phụ tải phải thỏa mãn nhiều mục tiêu khác nhau bao gồm cả việc đạt được các yêu cầu ràng buộc về khía cạnh kỹ thuật lẫn mục tiêu về khía cạnh kinh tế: khôi phục tần số, hệ số tầm quan trọng của phụ tải, thiệt hại gây ra do cắt điện, mức độ ưu tiên, phân bố lượng công suất cần sa thải tại mỗi tải sao cho tối ưu và giảm thiệt hại cho bên cung cấp điện, cũng như bên khách hàng tiêu thụ điện,... Việc giải bài toán sa thải phụ tải đa mục tiêu này cần phải áp dụng các giải thuật, hệ chuyên gia để giải quyết.

Ngoài ra, trong thị trường điện cạnh tranh, các hệ thống hỗ trợ ra quyết định và phân bố lượng công suất sa thải phụ tải hợp lý trên cơ sở phối hợp nhiều tiêu chí là cần thiết để tìm ra phương án sa thải phụ tải đáp ứng cả về điều kiện kinh tế lẫn yêu cầu kỹ thuật.

Do đó, nội dung chương này sẽ trình bày các phương pháp phân bố lượng công suất sa thải phụ tải tại các nút tải và phương pháp để phối hợp nhiều mục tiêu khác nhau khi thực hiện sa thải phụ tải.

5.2 Phân bố lượng công suất sa thải tại các bus tải dựa trên khái niệm PED

5.2.1 Khái niệm khoảng cách pha PED

Mục tiêu của việc phân bố lượng công suất sa thải phụ tải tại các bus tải là tập trung ưu tiên sa thải tại các nút tải xung quanh hoặc gần các máy phát bị ngừng hoạt động. Để thực hiện điều này, khái niệm khoảng cách điện theo góc pha giữa 2 bus được sử dụng.

Lagonotte Patrick đã đưa ra phương pháp tính khoảng cách điện trên lưới điện [81] dựa trên việc xem xét thông số của các ma trận $[X_{bus}]$, $[Z_{bus}]$ và $[\delta\theta/\delta P]$ dùng để xác định độ gần nhau giữa các nút về pha. Gọi $D_p(i,j)$ là khoảng cách điện theo góc pha giữa hai nút i và nút j . Biểu thức tính $D_p(i,j)$ được xác định như sau:

$$D_p(i,j)=D_p(j,i)= X_{ii}+X_{jj}-2.X_{ij} \quad (5.1)$$

Ở đây: X_{ii} , X_{jj} , X_{ij} lần lượt là các phần tử của ma trận X_{bus} .

Biểu thức trên định nghĩa PED giữa các nút là khoảng cách vật lý của điện kháng. Khi xem xét thành phần tổng trở lưới, sử dụng các phần tử của ma trận $[Z_{bus}]$, định nghĩa về khoảng cách điện pha có thể được viết lại dưới dạng [81], [82]:

$$D_p(i,j) = Z_{ii} + Z_{jj} - 2.Z_{ij} \quad (5.2)$$

Ở đây: Z_{ii} , Z_{jj} , Z_{ij} lần lượt là các phần tử của thành phần ma trận Z_{bus} .

Nếu xét thêm sự tham gia của công suất tác dụng và góc lệch pha trên lưới, một định nghĩa tốt hơn được đưa ra, sử dụng các phần tử của ma trận $[\delta\theta/\delta P]$. Ma trận $[\delta\theta/\delta P]$ được viết tắt là $[J_{P\theta}^{-1}]$ [82], một thành phần của ma trận Jacobian trong phương pháp Newton-Raphson khi tính phân bố công suất. Trong trường hợp này, khái niệm khoảng cách điện theo góc pha giữa hai bus được định nghĩa như sau [81]-[85]:

$$D_p(i,j) = (J_{P\theta}^{-1})_{ii} + (J_{P\theta}^{-1})_{jj} - (J_{P\theta}^{-1})_{ji} - (J_{P\theta}^{-1})_{ij} \quad (5.3)$$

Biểu thức (5.3) viết cách khác:

$$D_p(i,j) = (\delta\theta_i/\delta P_i) + (\delta\theta_j/\delta P_j) - (\delta\theta_j/\delta P_i) - (\delta\theta_i/\delta P_j) \quad (5.4)$$

Biểu thức (5.4) có thể được viết lại như sau:

$$D_p(i,j) = \underbrace{\frac{\delta\theta_j}{\delta P_j} - \frac{\delta\theta_j}{\delta P_i}} + \underbrace{\frac{\delta\theta_i}{\delta P_i} - \frac{\delta\theta_i}{\delta P_j}} \quad (5.5)$$

Ở đây:

$\left(\frac{\delta\theta_j}{\delta P_j} - \frac{\delta\theta_j}{\delta P_i} \right)$ là sự thay đổi góc pha giữa 2 nút j và i do công suất P bơm vào nút j .

$\left(\frac{\delta\theta_i}{\delta P_i} - \frac{\delta\theta_i}{\delta P_j} \right)$ là sự thay đổi góc pha giữa 2 nút i và j do công suất P bơm vào nút i .

Biểu thức (5.4) có thể viết theo cách khác:

$$D_p(i, j) = \underbrace{\frac{\delta\theta_j}{\delta P_j} - \frac{\delta\theta_j}{\delta P_i}} + \underbrace{\frac{\delta\theta_i}{\delta P_i} - \frac{\delta\theta_i}{\delta P_j}} \quad (5.6)$$

Ở đây:

$\left(\frac{\delta\theta_j}{\delta P_j} - \frac{\delta\theta_j}{\delta P_i} \right)$ là sự thay đổi góc pha tại j do công suất tác dụng truyền từ j đến i .

$\left(\frac{\delta\theta_i}{\delta P_i} - \frac{\delta\theta_i}{\delta P_j} \right)$ là sự thay đổi góc pha tại i do công suất tác dụng truyền từ i đến j .

Hai nút điện gần nhau sẽ luôn có một PED giữa 2 nút rất nhỏ. PED giữa nút tải và máy phát càng nhỏ thì nút tải càng gần máy phát bị sự cố. Do đó, khi xuất hiện sự cố tại một vùng trên lưới điện, việc điều chỉnh lưới điện tại vùng sự cố sẽ đạt được hiệu quả tốt nhất. Vì vậy, việc làm tối thiểu sai số điều khiển tại vùng xuất hiện sự cố sẽ ít ảnh hưởng tới các vùng khác trên hệ thống. Trong sa thải phụ tải cũng vậy, khoanh vùng sự cố nghiêm trọng và sa thải tải xung quanh vùng sự cố sẽ làm cho ảnh hưởng của sự cố tới hệ thống nhỏ hơn, phương án sa thải tải hiệu quả hơn.

Việc tính toán PED được thực hiện theo các Bước sau:

Bước 1: Trích xuất ma trận Jacobian $[J_{P\theta}]$.

Bước 2: Nghịch đảo các phần tử trong ma trận Jacobian $[J_{P\theta}]$, tính được ma trận $[J_{P\theta}^{-1}]$

Bước 3: Áp dụng công thức (5.4) tính được $D_p(i,j)$

Bước 4: Lọc lại ma trận để tìm quan hệ giữa các nút máy phát với các nút tải

Bước 5: Xếp sếp thứ tự các nút tải theo ưu tiên PED tăng dần giữa nút tải và máy phát bị sự cố tương ứng.

Khi một máy phát bị sự cố xảy ra tại nút n , lượng tải sa thải tại m nút tải khác nhau dựa trên PED có thể được phân bố theo nguyên tắc: nút tải càng gần máy phát bị sự cố thì lượng công suất sa thải càng nhiều và ngược lại. Biểu thức tính toán lượng công suất sa thải tại các nút tải theo PED trình bày ở biểu thức (5.7) [86]:

$$P_{LSi} = \frac{D_{P,eq}}{D_{P,mi}} \cdot P_{LSmin} \quad (5.7)$$

Với

$$D_{P,eq} = \frac{1}{\sum_{i \neq m} \frac{1}{D_{P,mi}}} \quad (5.8)$$

Ở đây: m là thứ tự bus máy phát; i là thứ tự bus tải; P_{LSi} là lượng công suất sa thải phụ tải cho nút tải thứ i (MW); P_{LSmin} là lượng công suất sa thải tối thiểu để phục hồi tần số về giá trị cho phép (MW); $D_{P,mi}$ là PED của tải tương ứng tới máy phát bị sự cố m; $D_{P,eq}$ là PED tương đương của tất cả các nút tải và máy phát.

5.2.2 Thử nghiệm – kiểm tra phương pháp đề xuất trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn

Hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm nghiệm trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn IEEE 37 bus 9 máy phát [75]. Sơ đồ đơn tuyến của hệ thống được trình bày ở Hình 4.4. Các giải pháp điều khiển và phân bố lượng công suất sa thải phụ tải để khôi phục tần số về giá trị cho phép với mục tiêu là duy trì được tần số ổn định từ 59,7Hz đến 60Hz.

Trường hợp nghiên cứu xem xét máy phát JO345#1 ngắt kết nối với lưới điện. Áp dụng biểu thức (4.15) để tính lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu và dựa trên kết quả tính toán của ví dụ trường hợp nghiên cứu ở chương 4, tính được lượng công suất sa thải phụ tải $P_{Load shedding min}$ là 17,64MW.

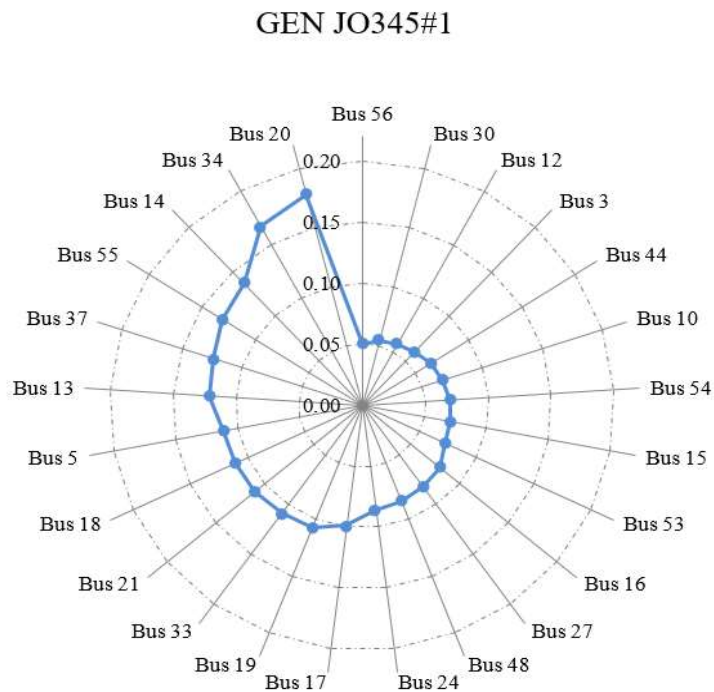
Sau khi tính toán được lượng công suất sa thải tối thiểu, tiến hành phân bố lượng công suất sa thải tại các bus tải. Việc phân bố công suất sa thải được thực hiện dựa trên giá trị PED giữa máy phát JO345#1 và các nút tải. Áp dụng các bước tính toán mục 5.2.1 và biểu thức (5.4), tính được PED giữa các máy phát sự cố và các nút tải. Kết quả sắp xếp thứ tự PED giữa các máy phát sự cố và các nút tải trình bày ở Bảng 5.1.

Quan hệ PED giữa máy phát JO345#1 và các bus tải được trình bày ở Hình 5.1. Quan sát Hình 5.1, cho thấy các bus tải càng gần máy phát bị sự cố thì có PED càng nhỏ, càng xa PED càng lớn. Sau khi tính toán PED giữa máy phát bị ngừng hoạt động JO345#1 và các nút tải, việc ưu tiên phân bố lượng công suất sa thải cho từng nút tải được tính toán dựa trên nguyên tắc: bus tải càng gần máy phát bị sự cố thì ưu tiên lượng công suất sa thải càng

hiều. Áp dụng biểu thức (5.7) tính được giá trị công suất sa thải tại các bus tải. Kết quả tính toán được trình bày ở Bảng 5.2.

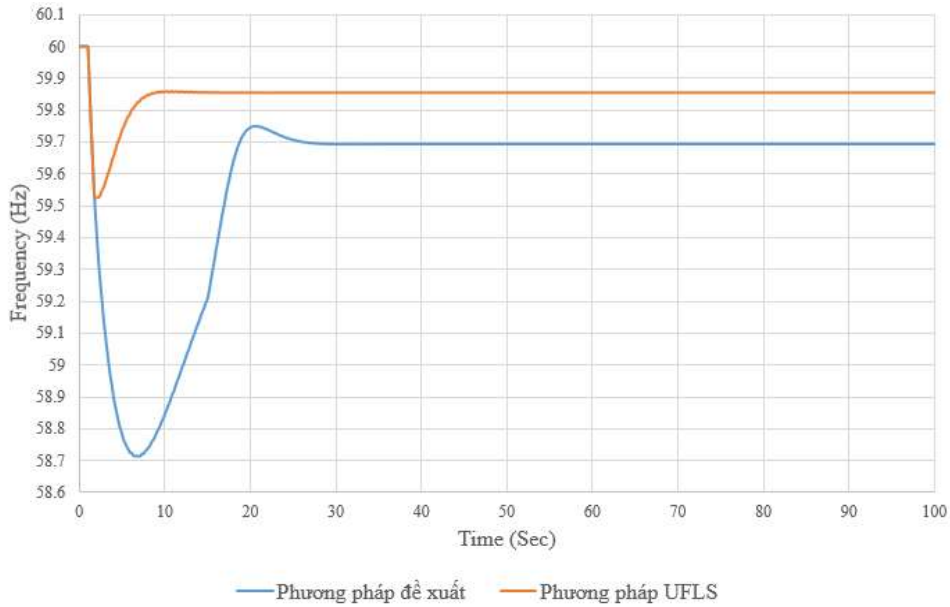
Bảng 5.1: Sắp xếp thứ tự PED giữa các máy phát sự cố và các nút tải

Thứ tự theo PED tăng dần	Máy phát WEBER69 BUS(14)	Máy phát JO345#1 (BUS 28)	Máy phát JO345#2 (BUS 28)	Máy phát LAUF69 (BUS 44)	Máy phát BOB69 (BUS 48)	Máy phát ROGER69 (BUS 50)	Máy phát BLT138 (BUS 53)	Máy phát BLT69 (BUS 54)
1	Bus 14	Bus 56	Bus 56	Bus 44	Bus 48	Bus 20	Bus 53	Bus 54
2	Bus 34	Bus 30	Bus 30	Bus 30	Bus 21	Bus 33	Bus 54	Bus 15
3	Bus 44	Bus 12	Bus 12	Bus 3	Bus 54	Bus 34	Bus 48	Bus 53
4	Bus 20	Bus 3	Bus 3	Bus 12	Bus 53	Bus 30	Bus 15	Bus 48
5	Bus 30	Bus 44	Bus 44	Bus 24	Bus 15	Bus 14	Bus 16	Bus 16
6	Bus 3	Bus 10	Bus 10	Bus 15	Bus 16	Bus 44	Bus 21	Bus 27
7	Bus 12	Bus 54	Bus 54	Bus 54	Bus 27	Bus 3	Bus 27	Bus 24
8	Bus 33	Bus 15	Bus 15	Bus 5	Bus 24	Bus 12	Bus 12	Bus 12
9	Bus 15	Bus 53	Bus 53	Bus 16	Bus 12	Bus 56	Bus 24	Bus 21
10	Bus 54	Bus 16	Bus 16	Bus 53	Bus 10	Bus 15	Bus 10	Bus 10
11	Bus 24	Bus 27	Bus 27	Bus 27	Bus 44	Bus 54	Bus 3	Bus 44
12	Bus 5	Bus 48	Bus 48	Bus 10	Bus 3	Bus 24	Bus 44	Bus 3
13	Bus 16	Bus 24	Bus 24	Bus 56	Bus 30	Bus 53	Bus 30	Bus 30
14	Bus 53	Bus 17	Bus 17	Bus 48	Bus 56	Bus 10	Bus 56	Bus 55
15	Bus 27	Bus 19	Bus 19	Bus 14	Bus 55	Bus 16	Bus 17	Bus 56
16	Bus 56	Bus 33	Bus 33	Bus 18	Bus 17	Bus 27	Bus 55	Bus 17
17	Bus 10	Bus 21	Bus 21	Bus 37	Bus 13	Bus 48	Bus 13	Bus 13
18	Bus 48	Bus 18	Bus 18	Bus 33	Bus 19	Bus 5	Bus 19	Bus 19
19	Bus 18	Bus 5	Bus 5	Bus 17	Bus 18	Bus 18	Bus 18	Bus 18
20	Bus 37	Bus 13	Bus 13	Bus 21	Bus 5	Bus 17	Bus 5	Bus 5
21	Bus 17	Bus 37	Bus 37	Bus 19	Bus 37	Bus 37	Bus 37	Bus 37
22	Bus 21	Bus 55	Bus 55	Bus 34	Bus 33	Bus 21	Bus 33	Bus 33
23	Bus 19	Bus 14	Bus 14	Bus 13	Bus 14	Bus 19	Bus 14	Bus 14
24	Bus 13	Bus 34	Bus 34	Bus 55	Bus 34	Bus 13	Bus 34	Bus 34
25	Bus 55	Bus 20	Bus 20	Bus 20	Bus 20	Bus 55	Bus 20	Bus 20

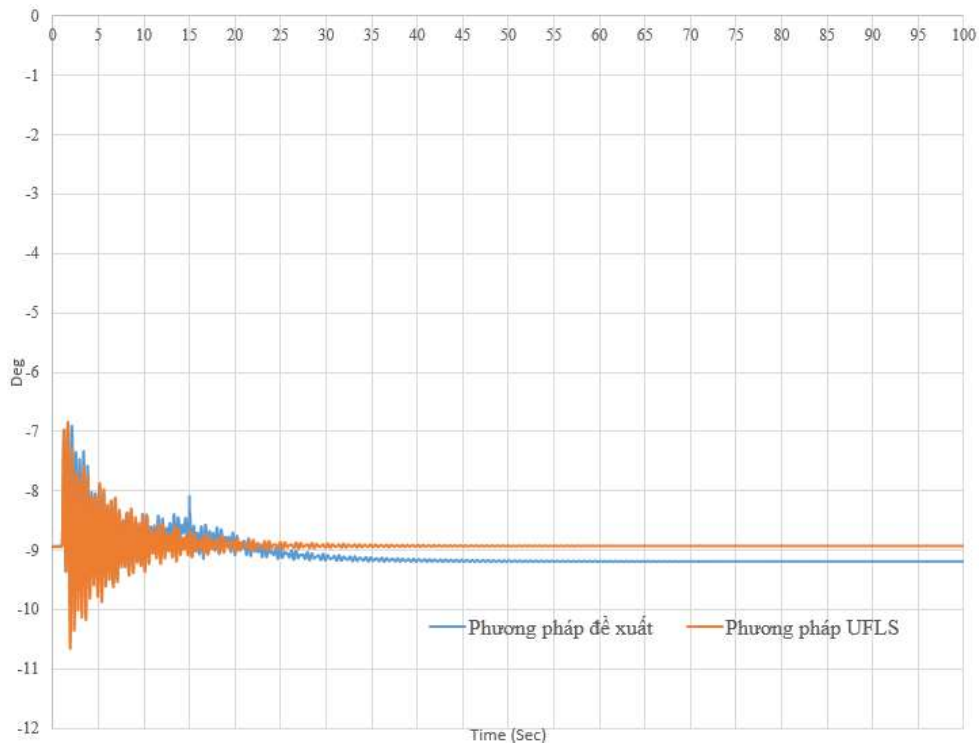


Hình 5.1: Quan hệ PED giữa máy phát JO345#1 và các nút tải

So sánh hiệu quả của phương pháp sa thải phụ tải đề xuất với phương pháp sa thải phụ tải dưới tần số UFLS [9]. Kết quả so sánh đồ thị tần số và góc pha của phương pháp đề xuất và phương pháp UFLS được trình bày ở Hình 5.2 và Hình 5.3.



Hình 5.2: Tần số sau khi sa thải phụ tải của phương pháp sa thải phụ tải đề xuất và phương pháp sa thải phụ tải truyền thống



Hình 5.3: Góc lệch rotor sau khi sa thải phụ tải của phương pháp sa thải phụ tải đề xuất và phương pháp sa thải phụ tải truyền thống

Bảng 5.2: Giá trị công suất sa thải phân bố tại các nút tải

Tên bus tải	Khoảng các pha	Công suất sa thải tại nút tải (MW)
Bus 56	0,04985	1,21305
Bus 30	0,05542	1,09107
Bus 12	0,05650	1,07027
Bus 03	0,06046	1,00017
Bus 44	0,06433	0,93999
Bus 10	0,06680	0,90529
Bus 54	0,07037	0,85934
Bus 15	0,07069	0,85538
Bus 53	0,07244	0,83482
Bus 16	0,08001	0,75577
Bus 27	0,08158	0,74127
Bus 48	0,08365	0,72289
Bus 24	0,08637	0,70012
Bus 17	0,09936	0,60859
Bus 19	0,10774	0,56128
Bus 33	0,10895	0,55502
Bus 21	0,10988	0,55032
Bus 18	0,11118	0,54392
Bus 05	0,11244	0,53780
Bus 13	0,12095	0,49995
Bus 37	0,12353	0,48953
Bus 55	0,13139	0,46022
Bus 14	0,13660	0,44269
Bus 34	0,16743	0,36117
Bus 20	0,17781	0,34008
Tổng công suất sa thải phụ tải		17,640

Như vậy, phương pháp sa thải đề xuất có lượng công suất sa thải ít hơn rất nhiều so với phương pháp UFLS, cụ thể lượng công suất sa thải giảm được từ 82,93MW xuống còn 17,64MW. Ở đây, giá trị tần số phục hồi của phương pháp đề xuất thấp hơn so với phương pháp UFLS. Tuy nhiên, giá trị này vẫn trong phạm vi cho phép và chấp nhận được (59,7Hz). Đặc biệt khi xem xét góc pha phục hồi thì thời gian phục hồi góc pha của phương pháp đề xuất tương đương so với phương pháp UFLS mặc dù lượng công suất sa thải ít hơn rất nhiều. Nguyên nhân là do sa thải lượng lớn tải tại các nút tải gần với máy phát bị ngừng hoạt động làm cho góc pha phục hồi nhanh hơn. Qua đó chứng minh hiệu quả của phương pháp đề xuất.

Bên cạnh đó, công nghệ trí tuệ nhân tạo đã được ứng dụng để nhận dạng sự cố và phân bố lượng công suất sa thải phụ tải áp dụng phương pháp sa thải đề xuất khi hệ thống vận hành ở các mức tải khác nhau. Các công trình nghiên cứu liên quan đến vấn đề này trình bày ở mục công trình nghiên cứu liên quan.

5.3 Phân bố lượng công suất sa thải tại các nút tải dựa trên khái niệm VED

5.3.1 Khái niệm khoảng cách điện áp (Voltage Electrical Distance - VED)

Gọi α_{ij} là các phần tử của ma trận suy giảm giữa tất cả các nút của hệ thống điện. Giá trị này cung cấp thông tin phép đo độ suy giảm điện áp tại nút i khi một nhiễu xảy ra tại nút j. Độ suy giảm này trình bày ở biểu thức (5.9):

$$\Delta V_i = \alpha_{ij} * \Delta V_j \text{ với } \alpha_{ij} = (X_{ij} / X_{jj}) \quad (5.9)$$

Có thể nhận thấy rằng, ma trận suy giảm $[\alpha]$ thì không đối xứng, vì :

$$\alpha_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_{jj}} \neq \alpha_{ji} = \frac{X_{ji}}{X_{ii}} \quad (5.10)$$

Để chuyển đổi từ một tích thành một tổng, có thể lấy log của sự suy giảm như một định nghĩa về khoảng cách giữa hai nút.

$$D_V(i, j) = -\log(\alpha_{ij}) \quad (5.11)$$

Tuy nhiên, để thu được khoảng cách đối xứng, biểu thức (5.12) có thể xem như một định nghĩa về VED giữa hai nút i và j [81], [87].

$$D_V(i, j) = D_V(j, i) = -\text{Log}(\alpha_{ij} * \alpha_{ji}) \quad (5.12)$$

Biểu thức $\Delta V_i = \alpha_{ij} * \Delta V_j$ thể hiện sự suy giảm điện áp tại nút i khi xảy ra nhiễu tại nút j. Từ biểu thức (5.9) cho thấy khoảng cách càng gần tương ứng với D_V càng nhỏ hay α_{ij} càng lớn. Mặc khác α_{ij} càng lớn thì độ suy giảm điện áp tại nút i khi xảy ra nhiễu tại nút j càng lớn. Vì vậy, khi xảy ra sự cố mất máy phát, biên độ dao động điện áp gần nút sự cố lớn, dẫn đến độ suy giảm điện áp tại những nút có VED gần cũng tăng theo, do đó sẽ ưu tiên sa thải những nút tải có VED nhỏ nhất trước hay sự suy giảm điện áp lớn nhất (bus yếu hơn khi xảy ra sự cố). Để đảm bảo điều này, lượng công suất tải sa thải tại các bus tải có thể được tính theo nguyên tắc phụ tải có VED càng nhỏ thì lượng công suất sa thải càng lớn và ngược lại. Biểu thức tổng quát tính toán phân bố lượng sa thải tại các nút theo VED [88]:

$$P_{LSi} = \frac{D_{V,eq}}{D_{V,mi}} \cdot P_{LS\min} \quad (5.13)$$

Ở đây: m là máy phát thứ m; i là bus tải thứ i; P_{LSi} lượng công suất sa thải phụ tải cho nút tải i (MW); $P_{LS\min}$ lượng công suất sa thải tối thiểu để phục hồi tần số về giá trị cho phép (MW); $D_{V,mi}$ VED của tải thứ i tương ứng tới máy phát bị sự cố; $D_{V,eq}$ là VED tương đương của tất cả các nút tải và máy phát.

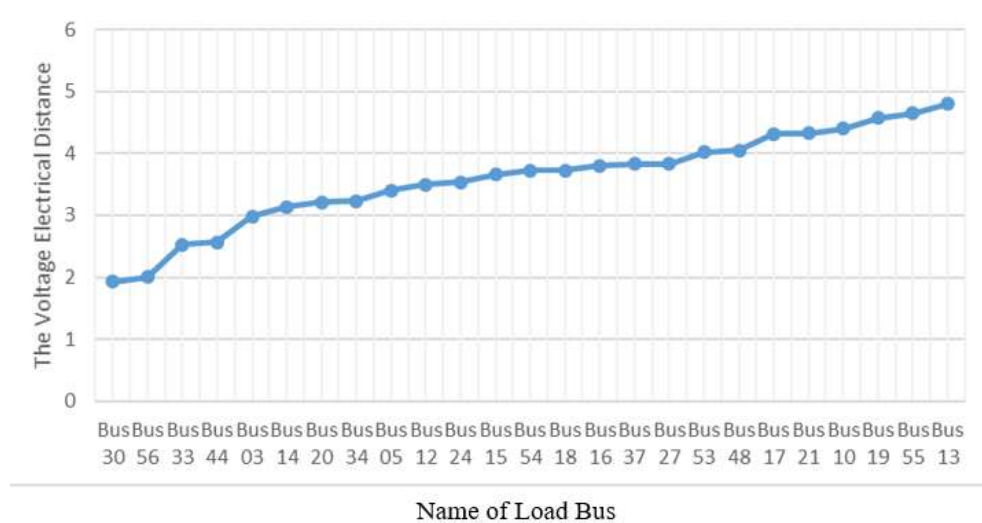
$$D_{V,eq} = \frac{1}{\sum_{i \neq m} \frac{1}{D_{V,mi}}} \quad (5.14)$$

5.3.2 Thử nghiệm – kiểm tra phương pháp đề xuất trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn

Hiệu quả của phương pháp đề xuất được kiểm nghiệm trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn IEEE 37 bus 9 máy phát [75] được trình bày ở Hình 4.4. Trường hợp nghiên cứu xem xét máy phát JO345#1 ngắt kết nối với lưới điện. Dựa trên kết quả tính toán của ví dụ trường hợp nghiên cứu chương 4 tính được lượng công suất sa thải phụ tải là 17,64MW.

Áp dụng biểu thức (5.12) tính được VED giữa các bus tải với bus máy phát bị sự cố JO345#1. Kết quả tính toán trình bày ở Bảng 5.3.

Mối quan hệ theo VED giữa máy phát bị sự cố JO345#1 và các nút tải được trình bày ở Hình 5.4.



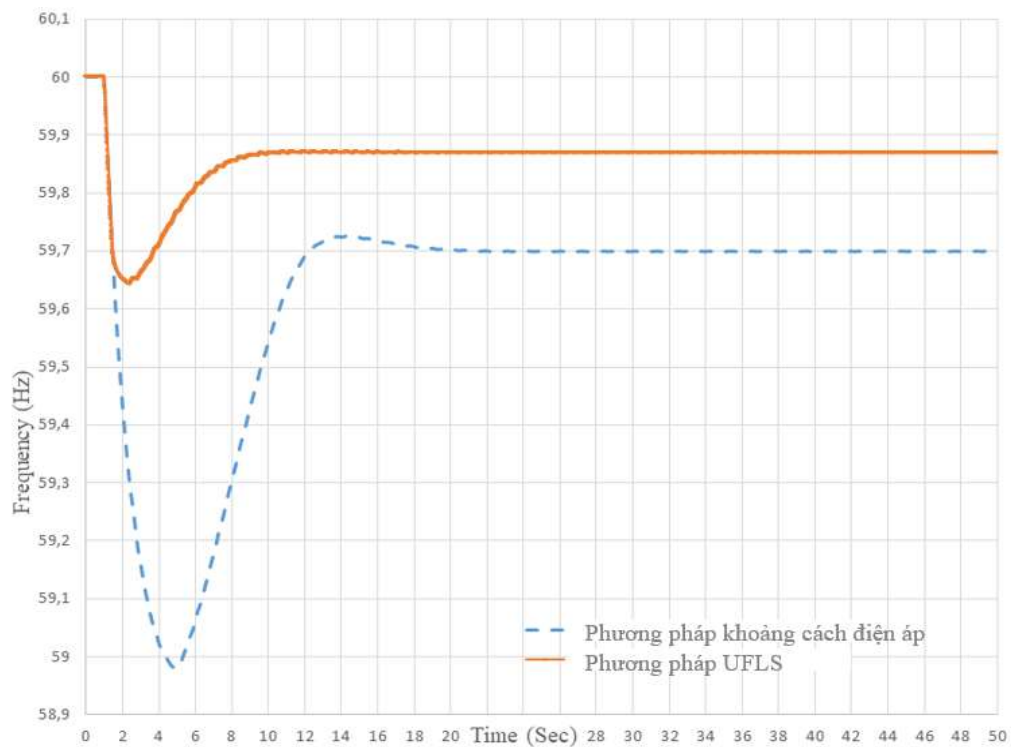
Hình 5.4: Quan hệ VED giữa máy phát JO345#1 và các bus tải

Bảng 5.3: VED và lượng công suất sa thải khi bị sự cố máy phát JO345#1

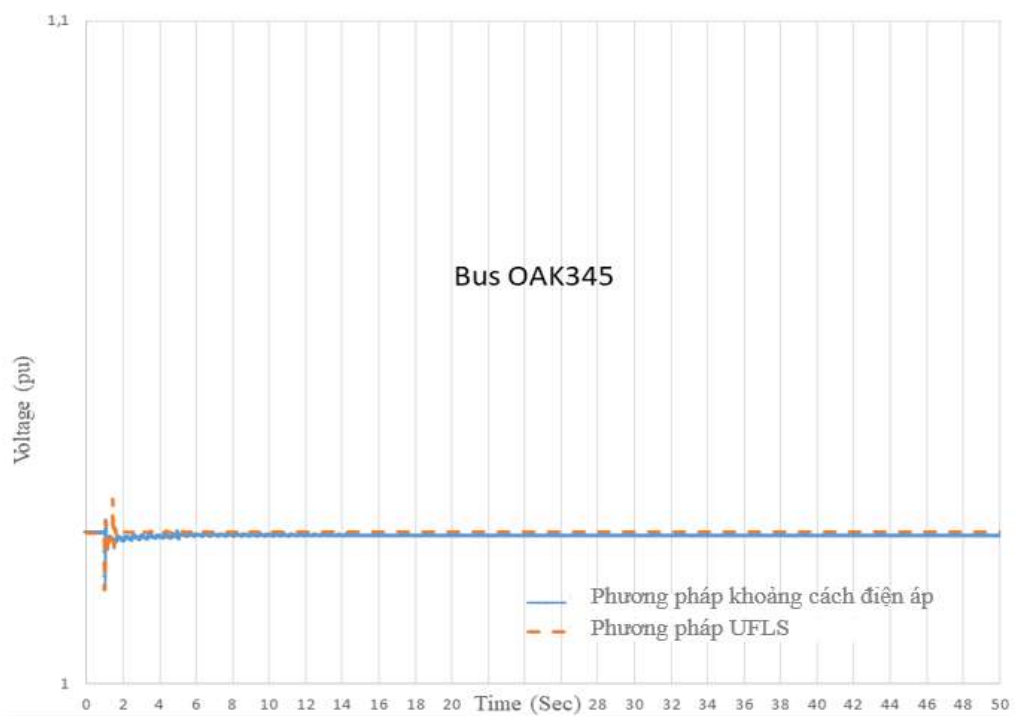
Bus tải	VED	Công suất sa thải (MW)
Bus 30	1,93331	1,23945
Bus 56	2,00815	1,19326
Bus 33	2,52799	0,94789
Bus 44	2,56398	0,93458
Bus 03	2,98914	0,80165
Bus 14	3,13791	0,76365
Bus 20	3,21071	0,74633
Bus 34	3,22803	0,74233
Bus 05	3,39848	0,70510
Bus 12	3,49661	0,68531
Bus 24	3,53451	0,67796
Bus 15	3,66261	0,65425
Bus 54	3,72225	0,64376
Bus 18	3,72396	0,64347
Bus 16	3,80214	0,63024
Bus 37	3,82862	0,62588
Bus 27	3,83314	0,62514
Bus 53	4,01952	0,59615
Bus 48	4,05141	0,59146
Bus 17	4,31684	0,55509
Bus 21	4,32333	0,55426
Bus 10	4,40264	0,54428
Bus 19	4,56991	0,52435
Bus 55	4,64896	0,51544
Bus 13	4,80471	0,49873
Tổng công suất sa thải phụ tải		17,64

Áp dụng biểu thức (5.13) tính toán lượng phân bố lượng công suất cần sa thải tại các nút tải. Kết quả tính toán trình bày ở Bảng 5.3.

Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất được so sánh với kết quả sa thải phụ tải bằng kỹ thuật sa thải phụ tải truyền thống sử dụng relay sa thải phụ tải dưới tần số UFLS[9]. Kết quả so sánh đồ thị tần số và điện áp của phương pháp đề xuất và phương pháp UFLS được trình bày ở Hình 5.5 và Hình 5.6.



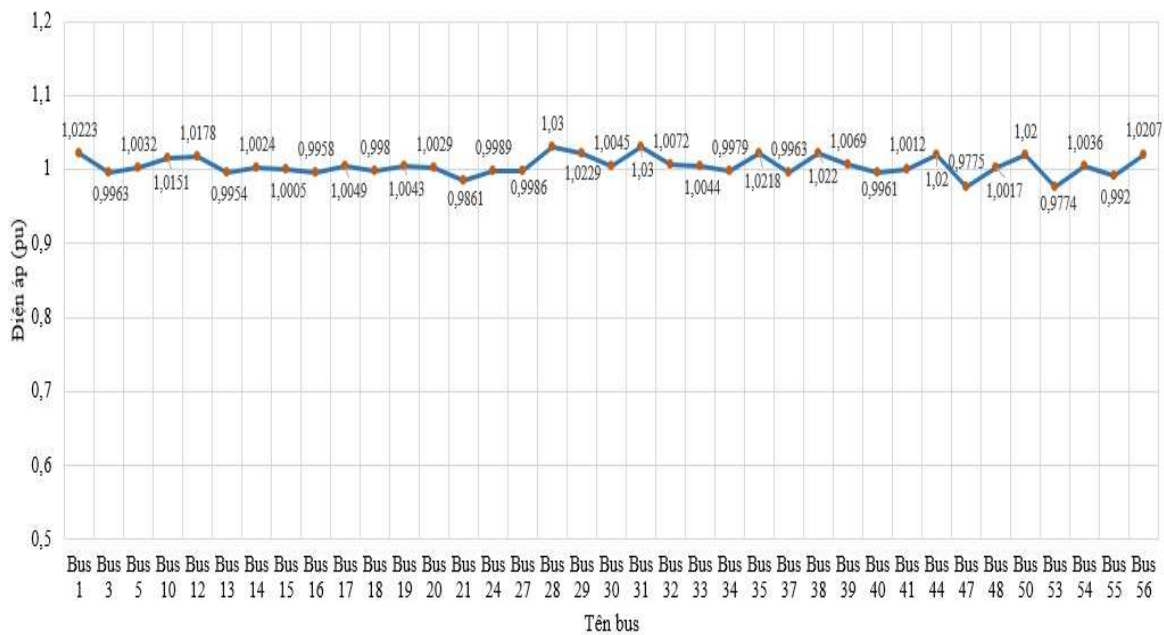
Hình 5.5: Tần số phục hồi của phương pháp VED và phương pháp truyền thống UFLS



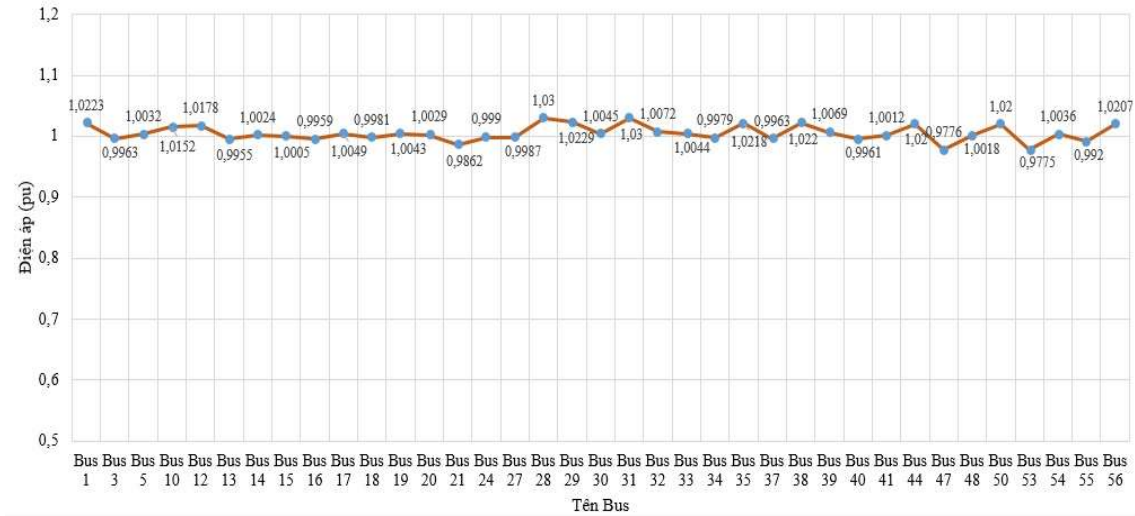
Hình 5.6: So sánh điện áp phục hồi của phương pháp sa thải VED và phương pháp sa thải truyền thống UFLS

Quan sát kết quả mô phỏng ở Hình 5.5 và Hình 5.6, có thể thấy rằng phương pháp sa thải phụ tải đề xuất có lượng công suất sa thải ít hơn rất nhiều so với phương pháp UFLS. Cụ thể, lượng công suất sa thải giảm được 65,19MW. Ở đây, giá trị tần số phục hồi tương đối nhỏ hơn so với phương pháp UFLS truyền thống. Tuy nhiên, giá trị này không đáng kể và vẫn nằm trong phạm vi cho phép. Bên cạnh đó, giá trị điện áp phục hồi tương đương với phương pháp UFLS, độ vọt lố của phương pháp đề xuất thấp hơn, mặc dù lượng công suất sa thải ít hơn rất nhiều.

Kết quả so sánh về điện áp, tần số và góc pha giữa phương pháp sa thải phụ tải dựa trên PED và phương pháp sa thải phụ tải dựa trên VED trình bày ở các hình từ Hình 5.7 đến Hình 5.10.

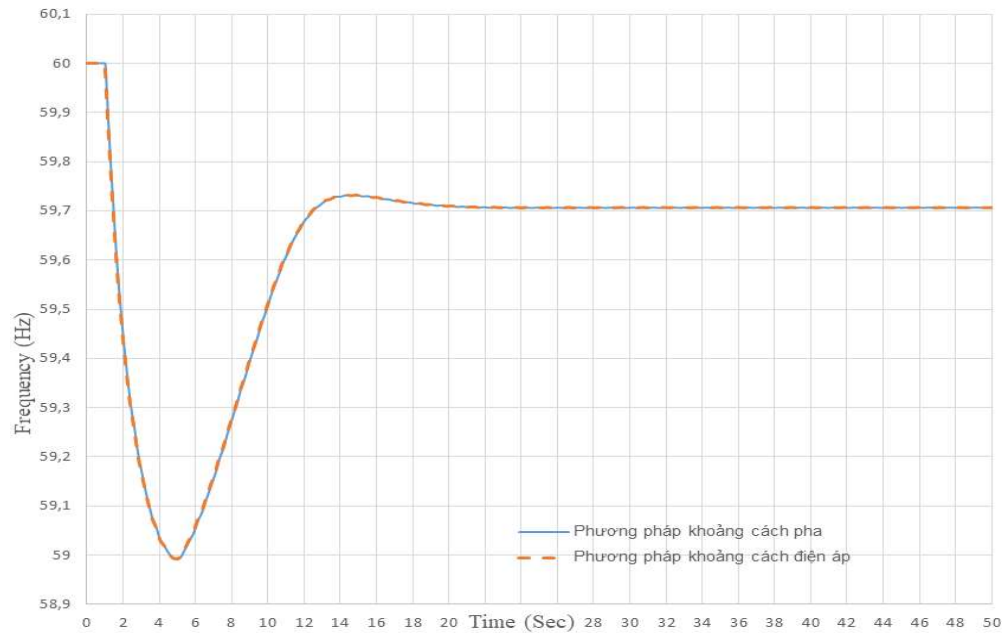


Hình 5.7: Điện áp tại các nút tải khi sa thải phụ tải dựa trên PED



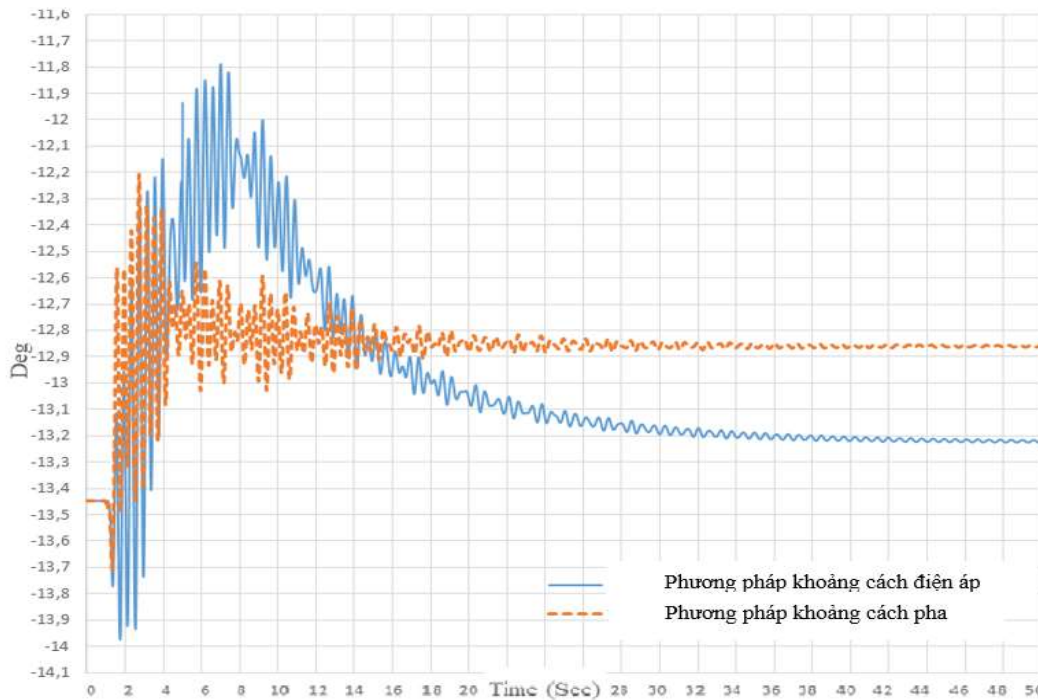
Hình 5.8: Điện áp tại các nút tải khi sa thải phụ tải dựa trên VED

Quan sát giá trị điện áp phục hồi tại các nút tải Hình 5.7 và Hình 5.8 nhận thấy phương pháp sa thải dựa trên VED có giá trị điện áp phục hồi tại các nút luôn lớn hơn hoặc bằng giá trị điện áp tại các nút tải khi sa thải dựa trên PED. Ở vị trí một số nút tải Bus 10, Bus 13, Bus 16, Bus 18, Bus 21, bus 27, Bus 47, Bus 48, Bus 53 các giá trị điện áp phục hồi có giá trị cao hơn so với phương pháp sa thải dựa trên PED. Qua đó, cho thấy hiệu quả về mặt giá trị điện áp hồi phục của phương pháp sa thải dựa trên VED.



Hình 5.9: So sánh tần số giữa phương pháp sa thải phụ tải dựa trên PED và phương pháp sa thải phụ tải dựa trên VED

Quan sát Hình 5.9 nhận thấy đáp ứng tần số và giá trị tần số phức hồi của phương pháp sa thải dựa trên PED và VED gần như tương đương nhau. Nguyên nhân có thể giải thích là do tổng lượng công suất sa thải của 2 phương pháp bằng nhau.



Hình 5.10: So sánh góc lệch rotor phức hồi giữa phương pháp sa thải phụ tải dựa trên PED và phương pháp sa thải phụ tải dựa trên VED

Quan sát Hình 5.10 nhận thấy góc lệch rotor của phương pháp sa thải phụ tải dựa trên PED có đáp ứng quá độ tốt hơn, độ vọt lố thấp hơn và thời gian phức hồi nhanh hơn so với phương pháp sa thải phụ tải dựa trên VED.

Các kết quả so sánh cho thấy trong cả hai phương pháp sa thải phụ tải, giá trị tần số phức hồi của hai phương pháp sa thải gần như tương đương nhau do cùng một lượng công suất sa thải. Tuy nhiên, thông số giá trị điện áp phức hồi của phương pháp sa thải phụ tải dựa trên VED tốt hơn so với phương pháp sa thải phụ tải dựa trên PED, thông số góc pha của phương pháp sa thải phụ tải dựa trên PED hồi phục sớm và nhanh hơn so với phương pháp sa thải phụ tải dựa trên VED. Do đó, tùy vào trường hợp mong muốn phức hồi điện áp hay góc pha tốt hơn mà lựa chọn một trong hai phương pháp sa thải phụ tải.

5.4 Phương pháp sa thải phụ tải có xét đến các yếu tố phối hợp nhiều phương pháp áp dụng thuật toán AHP và hệ chuyên gia

Giả sử có n tải trong sơ đồ hệ thống điện nghiên cứu được xếp theo các tiêu chí/khía cạnh: hệ số tầm quan trọng của tải, PED, VED. Xét một phụ tải khi sa thải phụ tải cần phải thỏa mãn 3 khía cạnh/tiêu chí: Tiêu chí về mức độ quan trọng đứng thứ i khi sa thải; tiêu chí về PED đứng thứ j khi sa thải; tiêu chí về VED đứng thứ k khi sa thải.

Bài toán đặt ra là trong trường hợp mất máy phát điện và phải thực hiện sa thải phụ tải, việc xếp hạng và phân bố lượng công suất cắt các phụ tải này yêu cầu phải thỏa mãn đồng thời nhiều tiêu chí. Để đạt được điều đó, đòi hỏi phải có sự phân tích hậu quả kinh tế - kỹ thuật. Tuy nhiên, việc tính toán, phân tích này rất phức tạp và tốn kém nhiều thời gian. Do đó, cần phải lấy ý kiến đánh giá của các chuyên gia hệ thống điện trong vấn đề này. Các chuyên gia dễ dàng cho một nhận xét bằng lời khi so sánh từng cặp tiêu chí và sử dụng ngôn ngữ thông thường như tiêu chí số 1 quan trọng hơn tiêu chí số 2. Trong nội dung chương này, thuật toán AHP được áp dụng để tính toán trọng số của các tiêu chí dựa trên việc tham khảo ý kiến các chuyên gia khi thể hiện bằng lời. Lưu đồ thực hiện việc phối hợp nhiều phương pháp để xếp hạng và phân bố lượng công suất cắt các phụ tải trình bày ở Hình 5.11.

Quy trình các bước thực hiện như sau:

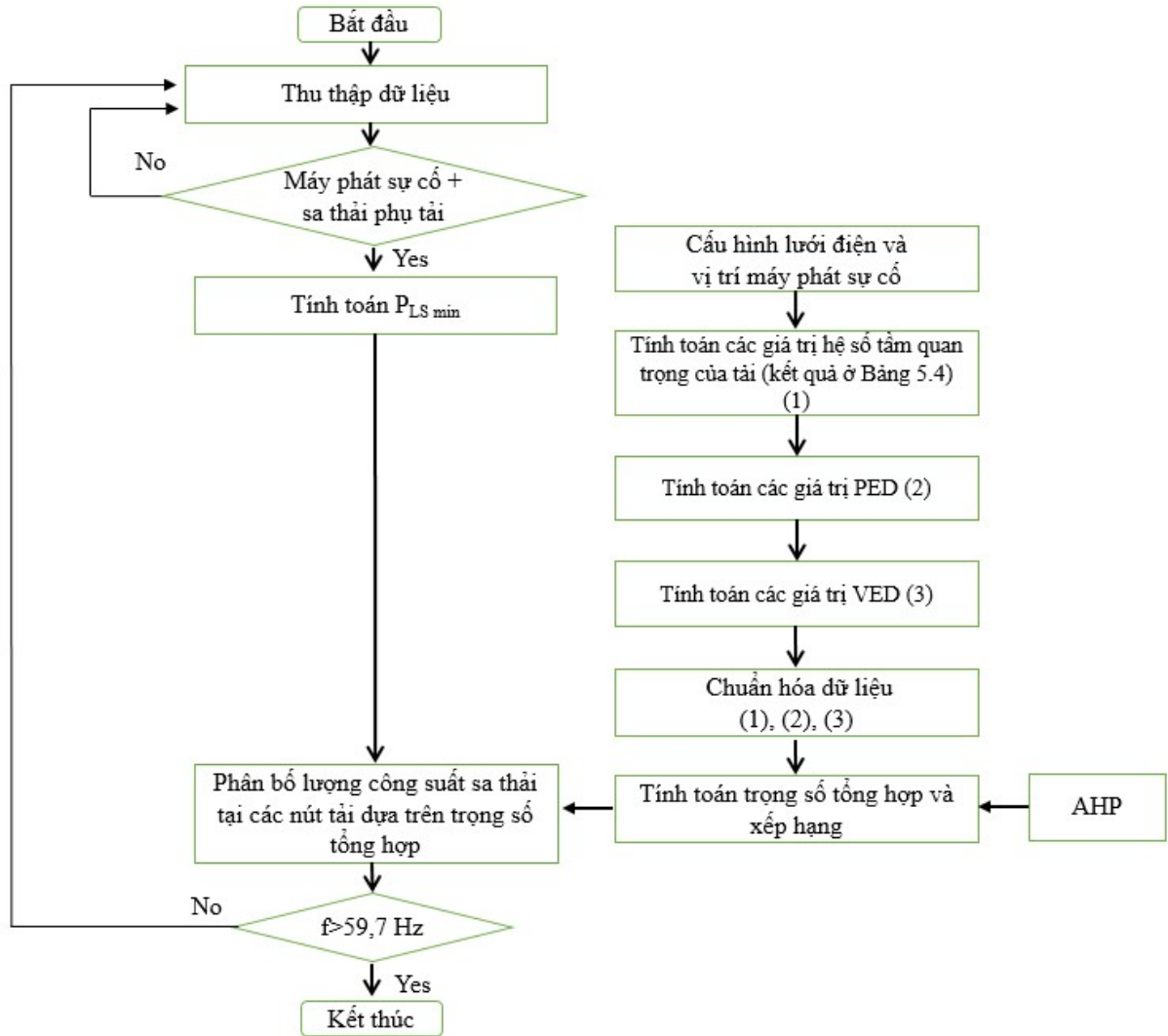
Bước 1: Xác định số lượng các tiêu chí cần thỏa mãn khi sa thải phụ tải.

Bước 2: Tính giá trị của mỗi tiêu chí và thực hiện chuẩn hóa dữ liệu.

Bước 3: Áp dụng thuật toán AHP để tính toán trọng số quan trọng của mỗi tiêu chí.

Bước 4: Tính toán trọng số tổng hợp của từng phụ tải. Giá trị này được tính toán bằng cách lấy trọng số quan trọng của mỗi tiêu chí nhân với giá trị của mỗi tiêu chí đã được chuẩn hóa.

Bước 5: Sắp xếp thứ hạng và phân bố lượng công suất sa thải phụ tải tại các nút tải dựa trên trọng số tổng hợp vừa tính toán.



Hình 5.11: Lưu đồ thực hiện việc phối hợp nhiều phương pháp để xếp hạng và phân bố lượng công suất cắt các phụ tải

Trong trường hợp nghiên cứu của đề tài, xem xét sơ đồ hệ thống điện IEEE 37 nút 9 máy phát, với trường hợp mất máy phát điện JO345#1. Việc xếp hạng các phụ tải này có yêu cầu phải thỏa mãn đồng thời nhiều tiêu chí như sau:

5.4.1 Tiêu chí 1: Hệ số tầm quan trọng của phụ tải

Các phụ tải trong sơ đồ hệ thống điện khảo sát có các hệ số tầm quan trọng của phụ tải được tính toán và trình bày kết quả ở Bảng 5.4. Kết quả bảng này được trích xuất từ kết quả tính toán hệ số tầm quan trọng của phụ tải dựa trên thuật toán Fuzzy AHP đã trình bày ở Chương 3.

Bảng 5.4: Hệ số tầm quan trọng của phụ tải

Bus	Hệ số tầm quan trọng (W_{FAHP})
Bus 03	0,00012
Bus 05	0,00012
Bus 10	0,00164
Bus 12	0,00211
Bus 13	0,00388
Bus 14	0,00359
Bus 15	0,00236
Bus 16	0,00427
Bus 17	0,05642
Bus 18	0,18097
Bus 19	0,09891
Bus 20	0,19005
Bus 21	0,19508
Bus 24	0,00418
Bus 27	0,02274
Bus 30	0,01184
Bus 33	0,00337
Bus 34	0,02305
Bus 37	0,00339
Bus 44	0,03384
Bus 48	0,02334
Bus 50	0,01916
Bus 54	0,04441
Bus 55	0,04441
Bus 56	0,02675

5.4.2 Tiêu chí 2: PED

Mục đích là tập trung ưu tiên sa thải tại các nút tải xung quanh hoặc gần các máy phát bị sự cố ngừng hoạt động. PED giữa 2 bus được tính toán sử dụng quy trình đề xuất trong mục 5.2.1. PED của mỗi nút tải được chuẩn hóa theo biểu thức (5.15):

$$W_{D_p(i,j)} = \frac{D_p(i,j)}{\sum_1^{25} D_p(i,j)} \quad (5.15)$$

Trong đó, $W_{S_p(i,j)}$ là độ nhạy tương hỗ góc pha của bus thứ i đến máy phát bị sự cố thứ j sau khi chuẩn hóa; $D_p(i,j)$ là PED từ bus tải thứ i đến máy phát bị sự cố thứ j .

Kết quả tính toán PED của mỗi nút tải sau khi được chuẩn hóa trình bày ở Bảng 5.5.

Bảng 5.5: PED của các nút tải với máy phát JO345#1

Tên Bus tải	PED sau khi chuẩn hóa $W_{D_p(i,j)}$
Bus 03	0.02513
Bus 05	0.04674
Bus 10	0.02777
Bus 12	0.02349
Bus 13	0.05028
Bus 14	0.05678
Bus 15	0.02939
Bus 16	0.03326
Bus 17	0.04130
Bus 18	0.04621
Bus 19	0.04478
Bus 20	0.07391
Bus 21	0.04568
Bus 24	0.03590
Bus 27	0.03391
Bus 30	0.02304
Bus 33	0.04529
Bus 34	0.06960
Bus 37	0.05135
Bus 44	0.02674
Bus 48	0.03477
Bus 53	0.03011
Bus 54	0.02925
Bus 55	0.05462
Bus 56	0.02072

5.4.3 Tiêu chí 3: VED

VED giữa 2 bus được tính toán sử dụng quy trình đề xuất trong mục 5.3.1 và kết quả tính toán VED được trình bày ở Bảng 5.6. VED của mỗi nút tải được chuẩn hóa theo biểu thức (5.16):

$$W_{D_v(i,j)} = \frac{D_v(i,j)}{\sum_1^{25} D_v(i,j)} \quad (5.16)$$

Trong đó, $W_{D_v(i,j)}$ là VED của bus thứ i đến máy phát bị sự cố sau khi được chuẩn hóa; $D_v(i,j)$ là VED từ bus tải thứ i đến máy phát bị sự cố.

Kết quả tính toán VED của mỗi nút tải sau khi được chuẩn hóa trình bày ở Bảng 5.6.

Bảng 5.6: VED sau khi được chuẩn hóa giữa các bus tải với máy phát JO345#1

Tên Bus tải	VED sau khi được chuẩn hóa $W_{D_v(i,j)}$
Bus 03	0,03331
Bus 05	0,03787
Bus 10	0,04906
Bus 12	0,03896
Bus 13	0,05354
Bus 14	0,03497
Bus 15	0,04081
Bus 16	0,04237
Bus 17	0,04810
Bus 18	0,04150
Bus 19	0,05092
Bus 20	0,03578
Bus 21	0,04818
Bus 24	0,03939
Bus 27	0,04271
Bus 30	0,02154
Bus 33	0,02817
Bus 34	0,03597
Bus 37	0,04266
Bus 44	0,02857
Bus 48	0,04515
Bus 53	0,04479
Bus 54	0,04148
Bus 55	0,05181
Bus 56	0,02238

Kết quả tổng hợp hệ số tầm quan trọng của phụ tải, PED, VED sau khi chuẩn hóa trong quá trình xem xét các tiêu chí mỗi tải khi sa thải phụ tải trình bày ở Bảng 5.7.

Bảng 5.7: Giá trị của các khía cạnh/tiêu chí sau khi được chuẩn hóa

Tên Bus tải	Hệ số tầm quan trọng W_{FAHP}	PED $W_{D_p(i,j)}$	VED $W_{D_v(i,j)}$
Bus 03	0,00012	0,02513	0,03331
Bus 05	0,00012	0,04674	0,03787
Bus 10	0,00164	0,02777	0,04906
Bus 12	0,00211	0,02349	0,03896
Bus 13	0,00388	0,05028	0,05354
Bus 14	0,00359	0,05678	0,03497
Bus 15	0,00236	0,02939	0,04081
Bus 16	0,00427	0,03326	0,04237
Bus 17	0,05642	0,04130	0,04810
Bus 18	0,18097	0,04621	0,04150
Bus 19	0,09891	0,04478	0,05092
Bus 20	0,19005	0,07391	0,03578
Bus 21	0,19508	0,04568	0,04818
Bus 24	0,00418	0,03590	0,03939
Bus 27	0,02274	0,03391	0,04271
Bus 30	0,01184	0,02304	0,02154
Bus 33	0,00337	0,04529	0,02817
Bus 34	0,02305	0,06960	0,03597
Bus 37	0,00339	0,05135	0,04266
Bus 44	0,03384	0,02674	0,02857
Bus 48	0,02334	0,03477	0,04515
Bus 53	0,01916	0,03011	0,04479
Bus 54	0,04441	0,02925	0,04148
Bus 55	0,04441	0,05462	0,05181
Bus 56	0,02675	0,02072	0,02238
Tổng	1,000	1,000	1,000

Bài toán sa thải phụ tải ở đây có xét đến việc phối hợp 3 tiêu chí như sau:

Tiêu chí 1: Tầm quan trọng của phụ tải

Tiêu chí 2: PED của các tải đến máy phát bị sự cố

Tiêu chí 3: VED của các tải đến máy phát bị sự cố.

Trên thực tế thì các tiêu chí này không thể có vai trò bình đẳng như nhau và sẽ có trọng số khác nhau: $W=(W_1, W_2, W_3)$ với $W_1+W_2+W_3=1$ tùy thuộc vào tình hình cụ thể. Việc xác định các trọng số có thể tiến hành trên ý kiến của các chuyên gia khi so sánh mức độ ý nghĩa (quan tâm) của các tiêu chí: tiêu chí i được chú trọng hơn tiêu chí j .

Áp dụng thuật toán AHP đã trình bày ở mục 2.2.3 để xây dựng ma trận phán đoán thể hiện tầm quan trọng của các tiêu chí với nhau. Việc xây dựng ma trận phán đoán dựa trên phương pháp tỷ lệ như sau: tiêu chí i quan trọng hơn nhiều so với tiêu chí j, tiêu chí i tuyệt đối quan trọng hơn tiêu chí j, tiêu chí i quan trọng hơn chút ít so với tiêu chí j. Vì vậy sẽ cho phép một sự đánh giá trọng số W của các khía cạnh chính xác hơn.

Tiêu chí i quan trọng như tiêu chí j: $m_{ij}=1$

Tiêu chí i không quan trọng bằng tiêu chí j: $m_{ij}=1/3$

Tiêu chí i kém quan trọng hơn nhiều so với tiêu chí j: $m_{ij}=1/5$

Tiêu chí i rõ ràng là kém quan trọng so với tiêu chí j: $m_{ij}=1/7$

Tiêu chí i tuyệt đối kém quan trọng so với tiêu chí j: $m_{ij}=1/9$

Các trường hợp so sánh ngược lại: tiêu chí j so với tiêu chí i sẽ có giá trị nghịch đảo tương ứng với các trị nêu trên. Kết quả là sẽ có được một ma trận M với các thành phần tương ứng với các hàng và cột là các tiêu chí so sánh.

Nếu ý kiến của các chuyên gia là hoàn hảo và M được xây hoàn toàn đúng với đề cập, bằng phương pháp khảo sát trị riêng của ma trận M sẽ cho ra các trị W:

$$MW=nW, W=(w_1, w_2, w_3), n\text{-trị riêng của } M \quad (5.17)$$

Áp dụng lý thuyết trên và ý kiến của chuyên gia, xây dựng được ma trận M như sau:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Áp dụng các bước tính toán của phương pháp lấy căn số như sau:

Bước 1: Nhân tất cả các yếu tố của mỗi hàng trong ma trận phán đoán

$$M_1 = 1 \times 3 \times 2 = 6$$

$$M_2 = \frac{1}{3} \times 1 \times \frac{1}{2} = 0,16667$$

$$M_3 = \frac{1}{2} \times 2 \times 1 = 1$$

Bước 2: Tính căn bậc n của M_i

$$\begin{aligned}
W_1^* &= \sqrt[3]{M_1} = \sqrt[3]{6} = 1,81712 \\
W_2^* &= \sqrt[3]{M_2} = \sqrt[3]{0,16667} = 0,55032 \\
W_3^* &= \sqrt[3]{M_3} = \sqrt[3]{1} = 1
\end{aligned}$$

Thực hiện xong bước 2 có được vector sau:

$$W^* = [W_1^*, W_2^*, W_3^*]^T = [1,81712; 0,55032; 1]^T$$

Bước 3: Chuẩn hóa vector W^*

$$\begin{aligned}
\sum_{j=1}^3 W_j^* &= 1,81712 + 0,55032 + 1 = 3,36744 \\
W_1 &= \frac{W_1^*}{\sum_{j=1}^3 W_j^*} = \frac{1,81712}{3,36744} = 0,53962 \\
W_2 &= \frac{W_2^*}{\sum_{j=1}^3 W_j^*} = \frac{0,55032}{3,36744} = 0,16342 \\
W_3 &= \frac{W_3^*}{\sum_{j=1}^3 W_j^*} = \frac{1}{3,36744} = 0,29696
\end{aligned}$$

Vector riêng của ma trận phán đoán M thu được là:

$$W = [W_1, W_2, W_3]^T = [0,53962; 0,16342; 0,29696]^T$$

Như vậy, có 3 tiêu chí để xem xét một tải. Nếu có tầm quan trọng của các tiêu chí là khác nhau, với mỗi tải áp dụng lý thuyết [89]: Từ các giá trị trọng số cho từng tiêu chí W_i của ma trận W , tính toán lại các giá trị trọng số trong từng phụ tải bằng cách nhân phân phối vào, sau đó cộng các trọng số của các khía cạnh lại theo từng bus tải sẽ được trọng số cuối cùng, biểu thức tính như sau:

$$\mu_{A^-}(\mu_1, \dots, \mu_n) = \sum_{i=1}^n W_i \cdot W_{D,j} \quad (5.18)$$

Ở đây, μ_i là giá trị trọng số tổng hợp của mỗi phụ tải, W_i là các giá trị trọng số của ma trận W , $W_{D,j}$ là các giá trị đại diện cho $W_{FAHP} W_{D_v(i,j)} W_{D_p(i,j)}$.

Kết quả tính toán trọng số tổng hợp và phân hạng phụ tải được trình bày ở Bảng 5.8.

Bảng 5.8: Trọng số tổng hợp và phân hạng sa thải của các nút tải

Bus	Trọng số tầm quan trọng của tải $\mu_{A_1^-}$	Trọng số PED $\mu_{A_2^-}$	Trọng số VED $\mu_{A_3^-}$	Trọng số tổng hợp $\mu_{A_i^-}$	Phân hạng sa thải
Bus 03	0,00006	0,00411	0,00989	0,01406	1
Bus 05	0,00006	0,00764	0,01125	0,01895	6
Bus 10	0,00088	0,00454	0,01457	0,01999	8
Bus 12	0,00114	0,00384	0,01157	0,01655	2
Bus 13	0,00209	0,00822	0,01590	0,02621	13
Bus 14	0,00194	0,00928	0,01038	0,02160	10
Bus 15	0,00128	0,00480	0,01212	0,01820	5
Bus 16	0,00230	0,00544	0,01258	0,02032	9
Bus 17	0,03045	0,00675	0,01429	0,05148	21
Bus 18	0,09766	0,00755	0,01232	0,11753	23
Bus 19	0,05337	0,00732	0,01512	0,07581	22
Bus 20	0,10255	0,01208	0,01062	0,12526	24
Bus 21	0,10527	0,00746	0,01431	0,12704	25
Bus 24	0,00226	0,00587	0,01170	0,01982	7
Bus 27	0,01227	0,00554	0,01268	0,03050	15
Bus 30	0,00639	0,00376	0,00640	0,01655	3
Bus 33	0,00182	0,00740	0,00837	0,01758	4
Bus 34	0,01244	0,01137	0,01068	0,03450	18
Bus 37	0,00183	0,00839	0,01267	0,02289	11
Bus 44	0,01826	0,00437	0,00848	0,03112	16
Bus 48	0,01260	0,00568	0,01341	0,03169	17
Bus 50	0,01034	0,00492	0,01330	0,02856	14
Bus 54	0,02396	0,00478	0,01232	0,04106	19
Bus 55	0,02396	0,00893	0,01538	0,04827	20
Bus 56	0,01444	0,00339	0,00665	0,02447	12

Như vậy, dựa vào trọng số tổng hợp ở bảng phân hạng sa thải, lượng công suất sa thải tại các bus sẽ được tính như sau:

$$P_{LSi} = \frac{\mu_{eq}}{\mu_{A_i^-}} \cdot P_{LS\min} \quad (5.19)$$

Ở đây,

$$\mu_{eq} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\mu_{A_i^-}}}$$

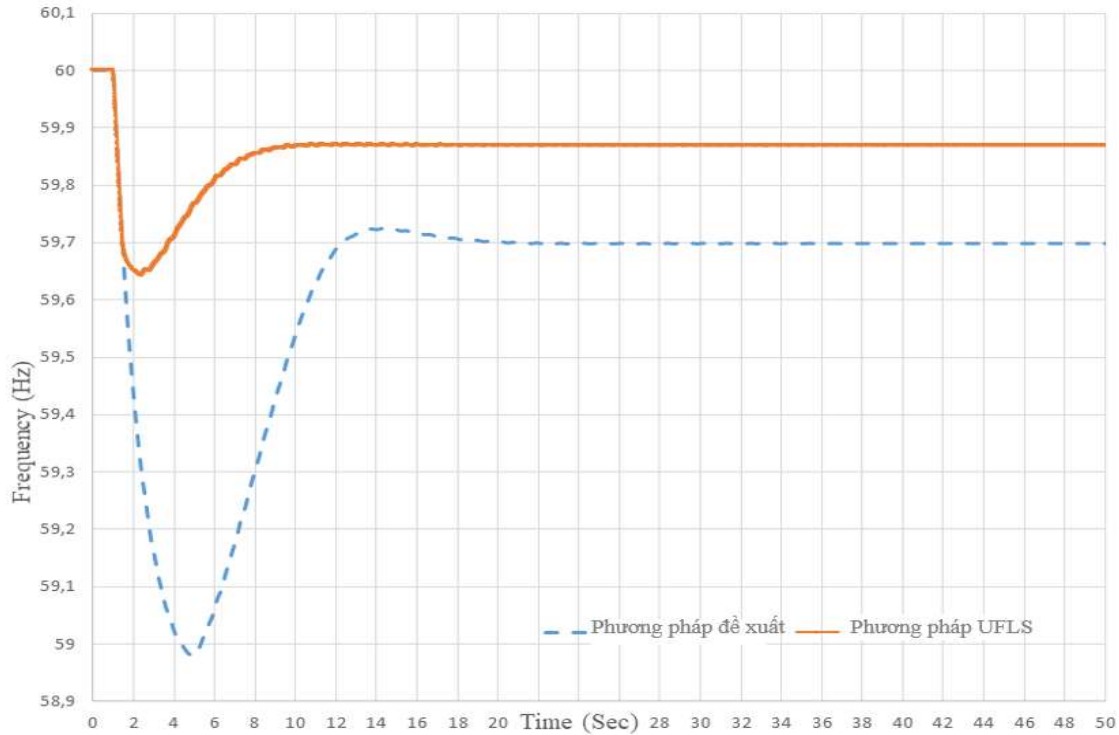
Trong đó, P_{LSi} là lượng công suất sa thải tại các bus; μ_{eq} là trọng số tương đương của tất cả các nút tải, μ_{A_i} là trọng số tổng hợp tại bus thứ i ; P_{LSmin} là tổng công suất sa thải phụ tải tối thiểu;

Từ biểu thức (5.19), tính được bảng công suất sa thải tại các bus như sau:

Bảng 5.9: Lượng công suất sa thải tại các bus khi mất máy phát JO345#1

STT	Bus	Lượng công suất sa thải (MW)
1	Bus 03	1,33759
2	Bus 05	0,99271
3	Bus 10	0,94090
4	Bus 12	1,13679
5	Bus 13	0,71773
6	Bus 14	0,87077
7	Bus 15	1,03365
8	Bus 16	0,92565
9	Bus 17	0,36537
10	Bus 18	0,16004
11	Bus 19	0,24810
12	Bus 20	0,15017
13	Bus 21	0,14806
14	Bus 24	0,94898
15	Bus 27	0,61677
16	Bus 30	1,13661
17	Bus 33	1,06978
18	Bus 34	0,54529
19	Bus 37	0,82173
20	Bus 44	0,60451
21	Bus 48	0,59364
22	Bus 50	0,65857
23	Bus 54	0,45812
24	Bus 55	0,38967
25	Bus 56	0,76880
Tổng công suất sa thải		17,64

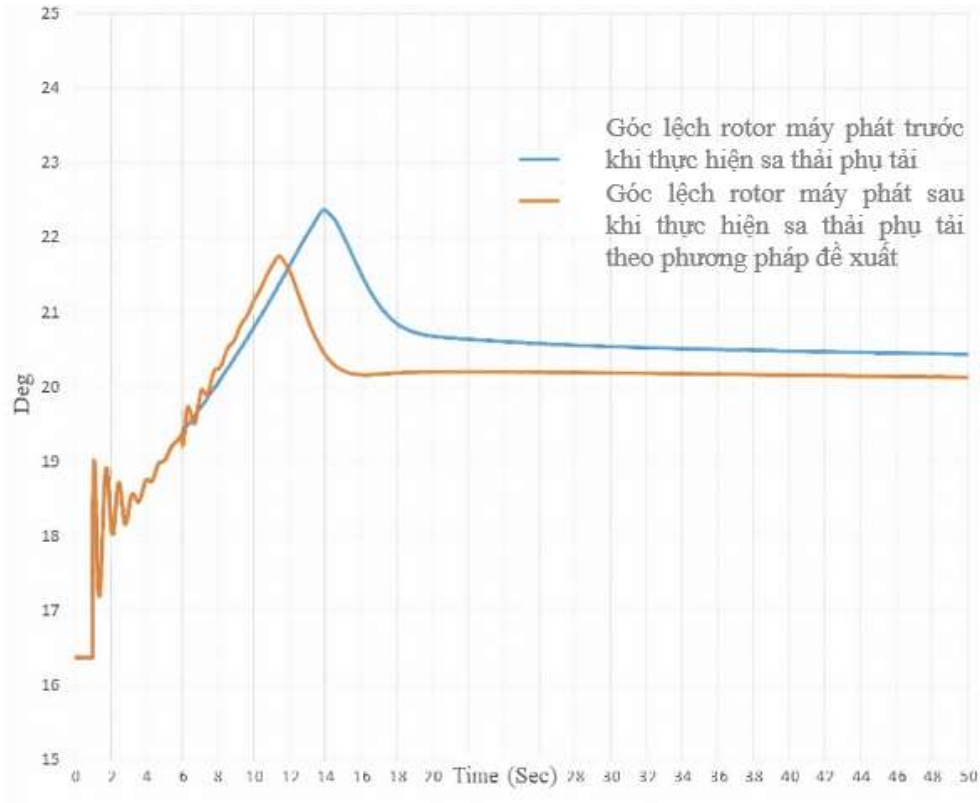
Kết quả so sánh tần số của phương pháp đề xuất và phương pháp UFLS được trình bày ở Hình 5.12.



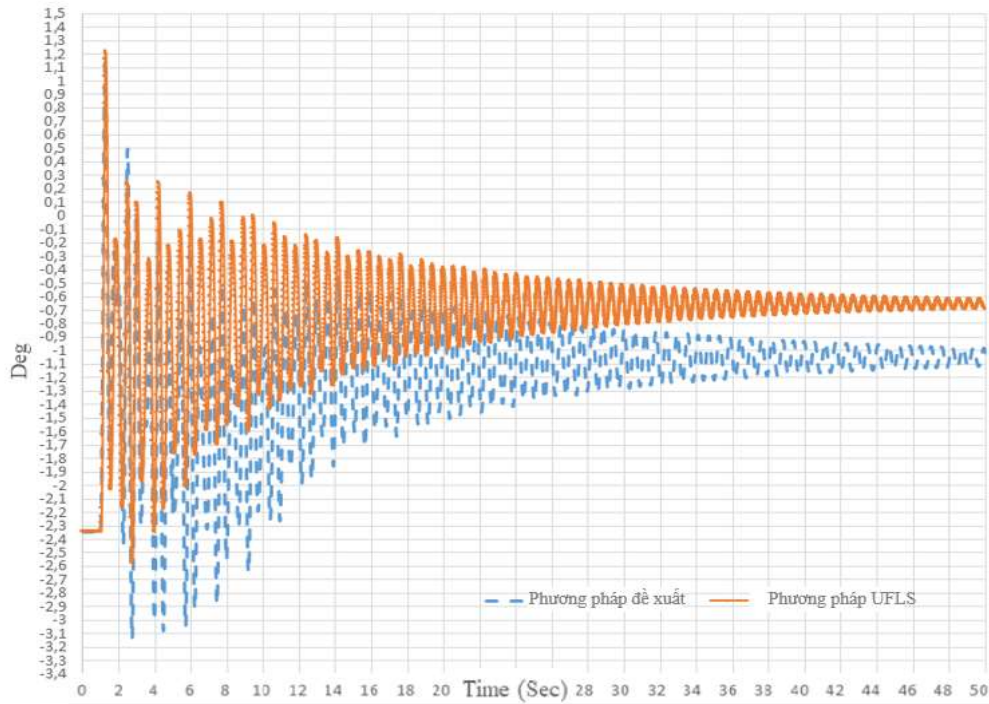
Hình 5.12: Tần số sau khi sa thải phụ tải của phương pháp đề xuất và phương pháp truyền thống UFLS

Phương pháp sa thải phụ tải UFLS có đáp ứng tần số tốt hơn so với phương pháp sa thải phụ tải đề xuất. Tuy nhiên, giá trị tần số phục hồi của phương pháp sa thải phụ tải đề xuất vẫn nằm trong giá trị cho phép.

Kết quả so sánh độ phục hồi góc lệch rotor máy phát trước và sau khi thực hiện sa thải, cũng như so sánh độ phục hồi góc lệch rotor máy phát của phương pháp đề xuất và phương pháp UFLS được trình bày ở Hình 5.13 và Hình 5.14.



Hình 5.13: Góc lệch rotor máy phát trước và sau khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất



Hình 5.14: Góc lệch rotor máy phát sau khi sa thải phụ tải theo phương pháp đề xuất và phương pháp truyền thống UFLS

Kết quả so sánh các giá trị của 2 phương pháp sa thải phụ tải được trình bày trong Bảng 5.10.

Bảng 5.10: Kết quả so sánh 2 phương pháp sa thải

	Thời gian hồi phục (s)	Giá trị tần số hồi phục (Hz)	Lượng tổng công suất sa thải (MW)
Phương pháp dưới tần số UFLS	10	59,87	82,83
Phương pháp đề xuất	18	59,7	17,64

Ở đây, đáp ứng tần số của phương pháp UFLS tốt hơn phương pháp đề xuất. Tuy nhiên, giá trị tần số của phương pháp đề xuất vẫn trong phạm vi cho phép và chấp nhận được (59,7Hz). Ngoài ra, phương pháp đề xuất có lượng công suất sa thải phụ tải ít hơn (65,19MW) so với phương pháp UFLS, qua đó giảm thiểu thiệt hại gây ra do mất điện rất nhiều, đồng thời thỏa mãn được các tiêu chí ràng buộc về kinh tế - kỹ thuật: tầm quan trọng của phụ tải (kinh tế), hệ số theo độ nhạy tương hỗ góc pha, hệ số theo VED. Bên cạnh đó, mặc dù giá trị tần số phục hồi của phương pháp đề xuất thấp hơn so với phương pháp UFLS nhưng khi xem xét góc pha phục hồi thì thời gian phục hồi góc pha của phương pháp đề xuất tương đương so với phương pháp UFLS mặc dù lượng công suất sa thải ít hơn rất nhiều. Nguyên nhân là do sa thải lượng lớn tải tại các nút tải gần với máy phát bị ngừng hoạt động làm cho góc pha phục hồi nhanh hơn. Qua đó chứng minh hiệu quả của phương pháp đề xuất.

Nhận xét và kết luận chương 5

Chương 5 trình bày các phương pháp phân bố lượng công suất sa thải phụ tải tại các nút tải dựa trên các tiêu chí: PED, VED, và đa mục tiêu. Mỗi phương pháp có ưu nhược điểm khác nhau. Các phương pháp này có cùng một lượng công suất sa thải phụ tải và lượng công suất sa thải này ít hơn so với việc áp dụng phương pháp sa thải phụ tải sử dụng relay sa thải phụ tải dưới tần số. Nếu áp dụng phương pháp phân bố sa thải dựa trên PED sẽ giúp thời gian phục hồi góc pha nhanh hơn so với các phương pháp khác, tương tự cho trường hợp áp dụng phương pháp phân bố dựa trên VED. Trong trường hợp muốn kết hợp

nhiều tiêu chí thì áp dụng phương pháp phân bổ sa thải phụ tải dựa trên đa mục tiêu giúp thỏa mãn nhiều tiêu chí kinh tế kỹ thuật.

Chương 6

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI

6.1 Các kết luận

Trên cơ sở mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu, luận án đã hoàn thành những nội dung khoa học sau:

- Phân tích và đánh giá các công trình nghiên cứu sa thải phụ tải trước đây. Qua đó thấy được các vấn đề tồn tại nhằm đề ra các phương pháp cải tiến sa thải phụ tải trong hệ thống điện.

- Đề xuất phương pháp sa thải phụ tải trong các tình huống khẩn cấp như: sự cố ngắn mạch trên các thanh góp và đường dây liên kết hệ thống điện trên cơ sở xây dựng hệ thống nhận dạng nhanh có/không sa thải phụ tải và phân lớp chiến lược sa thải phụ tải trên cơ sở áp dụng mạng nơron và thuật toán AHP. Các kết quả khảo sát và mô phỏng trên hệ thống điện chuẩn IEEE 39 bus 10 máy phát cho thấy việc thực hiện chiến lược sa thải phụ tải đề xuất giúp hệ thống điện giữ được ổn định tần số sau sự cố và các nút tải được xếp hạng dựa trên hệ số tầm quan trọng được tính toán theo thuật toán AHP. So sánh với phương pháp sa thải phụ tải truyền thống sử dụng relay sa thải phụ tải dưới tần số, phương pháp này có lượng công suất sa thải phụ tải ít hơn, tần số của hệ thống điện phục hồi về giá trị cho phép và giữ được trạng thái ổn định và thời gian phục hồi tần số nhanh hơn.

- Nghiên cứu và trình bày phương pháp sa thải phụ tải trên cơ sở xem xét hệ số tầm quan trọng của phụ tải. Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất áp dụng thuật toán Fuzzy-AHP để xác định hệ số tầm quan trọng của phụ tải và thực hiện ưu tiên sa thải phụ tải có hệ số tầm quan trọng nhỏ trước. Qua đó giúp giảm thiểu thiệt hại về kinh tế gây ra khi cắt điện. Ngoài ra, việc mờ hóa đồ thị phụ tải giúp giảm số chiến lược điều khiển khi thực hiện sa thải phụ tải. Các kết quả mô phỏng trên sơ đồ hệ thống điện IEEE 37 bus 9 máy phát cho thấy các trường hợp tần số đều phục hồi đến giá trị cho phép.

- Đề xuất phương pháp tính toán lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu có xét đến các yếu tố điều khiển sơ cấp và điều khiển thứ cấp tổ máy phát điện để phục hồi tần số về giá trị cho phép. Phương pháp đề xuất có lượng công suất sa thải ít hơn so với phương pháp UFLS truyền thống khi thử nghiệm trên sơ đồ hệ thống IEEE 37 bus 9 máy phát.

- Đề xuất phương pháp phân bố lượng công suất sa thải phụ tải tại các nút tải dựa trên các khái niệm PED và VED. Các kết quả thử nghiệm trên sơ đồ hệ thống điện IEEE 37 bus 9 máy phát cho thấy thời gian phục hồi góc pha cũng như điện áp của phương pháp đề xuất tương đương so với phương pháp UFLS truyền thống mặc dù lượng công suất sa thải ít hơn.

- Đề xuất phương pháp sa thải phụ tải trên cơ sở xem xét nhiều tiêu chí: hệ số tầm quan trọng của phụ tải, PED, VED. Việc áp dụng thuật toán AHP để tính toán trọng số của từng tiêu chí và tính toán trọng số tổng hợp khi kết hợp nhiều mục tiêu. Các kết quả tính toán và mô phỏng cho thấy phương pháp sa thải phụ tải đề xuất giúp phục hồi tần số về giá trị cho phép và có lượng công suất sa thải ít hơn so với phương pháp UFLS truyền thống, qua đó giảm thiểu thiệt hại gây ra do mất điện, đồng thời thỏa mãn được các tiêu chí ràng buộc về kinh tế - kỹ thuật.

6.2 Hướng nghiên cứu phát triển của đề tài

- Trong giới hạn đề tài chỉ xem xét đến trường hợp phụ tải tăng đều nhau, chưa xét đến phụ tải thay đổi liên tục theo thời gian. Hướng nghiên cứu phát triển tiếp theo nên xem xét các mô hình tải thay đổi liên tục theo thời gian để bài toán đa dạng hơn.

- Việc xem xét phụ tải trong phạm vi đề tài chưa xét đến thành phần phần trăm của phụ tải theo độ tin cậy cung cấp điện. Hướng nghiên cứu phát triển nên xem xét thành phần phần trăm phụ tải loại 1, phụ tải loại 2, và phụ tải loại 3.

- Việc xem xét thiệt hại trong giới hạn của đề tài chỉ xem xét thiệt hại phía phụ tải. Hướng nghiên cứu tiếp theo của đề tài nên xem xét đến tất cả các chi phí: phát điện, huy động nguồn dự phòng, cũng như xét đến ảnh hưởng của các thiết bị FACT.

- Xây dựng mạng nơ-ron có khả năng tự học và tự cập nhật dữ liệu huấn luyện để đáp ứng sự thay đổi không ngừng của hệ thống điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P. Kundur, J. Paserba, V. Ajjarapu, G. Andersson, A. Bose, C. Canizares, N. Hatziargyriou, D. Hill, A. Stankovic, C. Taylor, T. Van Cutsem, V. Vittal. Definition and Classification of Power System Stability. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, Issue 3, pp.1387-1401, August 2004.
- [2] J.A. Laghari; H. Mokhlis; A.H.A. Bakar; Hasmaini Mohamad. Application of computational intelligence techniques for load shedding in power systems: A review. *Energy Conversion and Management*, Vol.75, pp.130-140, November 2013.
- [3] India Blackout. Internet: https://en.wikipedia.org/wiki/2012_India_blackouts, 05/04/2020.
- [4] Sự cố mất điện miền Nam Việt Nam 2013 - Wikipedia," Wikimedia Foundation. Internet:
https://vi.wikipedia.org/wiki/Sự_cố_mất_điện_miền_Nam_Việt_Nam_2013, 23/05/2019.
- [5] TP.HCM mất điện trên diện rộng. Internet: <https://baodatviet.vn/kinh-te/doanh-nghiep/tphcm-mat-dien-tren-dien-rong-khong-ro-su-co-gi-3380730/> , 26/05/2019.
- [6] Utility frequency - Wikipedia, Wikimedia Foundation. Internet: https://en.wikipedia.org/wiki/Utility_frequency, 20/09/2017.
- [7] P. Kundur. *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, 1994.
- [8] H. Bevrani. *Robust Power System Frequency Control* (Second Edition). Springer, 2014.
- [9] IEEE Standard. *IEEE guide for the application of protective relays used for abnormal frequency load shedding and restoration*. IEEE Std C37117-2007, p.41–43.
- [10] ENTSOE operation handbook. Internet:
<https://www.entsoe.eu/publications/systemoperations-reports/operation-handbook>,

26/09/2017.

- [11] Bộ công thương Việt Nam - Cục Điều Tiết Điện Lực, *Quy trình lập kế hoạch, huy động dịch vụ điều tần và dự phòng quay*. Bộ công thương Việt Nam, 2015.
- [12] Barnabé Potel; Vincent Debusschere; Florent Cadoux; Leticia de Alvaro Garcia. Under-frequency load shedding schemes characteristics and performance criteria. *IEEE Manchester PowerTech*, 2017.
- [13] Lukas Sigrist, Luis Rouco, Francisco Miguel, Echavarren. A review of the state of the art of UFLS schemes for isolated power systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 99, pp.525-539, July 2018.
- [14] *IEEE guide for abnormal frequency protection for power generating plants*, ANSI/IEEE Std C37106-1987.
- [15] Trần Thị Kim Hồng. Mạch sa thải phụ tải đặc biệt khi tần số thấp cho hệ thống điện miền bắc. *Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên năm 2014*, 2014 , pp. 405-407.
- [16] Yun Hwan Lee, Seung Chan Oh, Hwan Ik Lee, Sang Geon Park, Byong Jun Lee. Utilizing under voltage load shedding strategy to prevent delayed voltage recovery problem in korean power system. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, Vol. 13, Issue 1, pp.60-67, 2018.
- [17] Géssica Michelle dos Santos Pereira, Alan Naoto Tabata, Felipe José Lachovicz, Carolina Corrêa Durce, Romão Kowaltschuk. Electrical Power Quality Analysis of Under Voltage Load Shedding with a Battery Energy Storage System Support in the Brazilian Context. *IEEE 9th Power, Instrumentation and Measurement Meeting (EPIM)*, 2018.
- [18] Junjie Tang, Junqi Liu, Ferdinanda Ponci, Antonello Monti. Adaptive load shedding based on combined frequency and voltage stability assessment using synchrophasor measurements. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 28 , Issue 2, pp.2035-2047, May 2013.

- [19] V. V. Terzija. Adaptive Under Frequency Load Shedding Based on the Magnitude of the Disturbance Estimation, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 21, Issue 3, pp.1260 – 1266, 2006.
- [20] Asja Derviškadić, Yihui Zuo, Guglielmo Frigo, Mario Paolone. Under Frequency Load Shedding based on PMU Estimates of Frequency and ROCOF. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, 2018.
- [21] H. Seyedi, M. Sanaye-Pasand. Design of new load shedding special protection schemes for a double area power system. *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 6, Issue 2, pp.317–327, 2009.
- [22] Jizhong Zhu. *Optimization of Power System Operation*, 2015.
- [23] Youming Wang, Yong Wang, Ying Ding, Yingjian Zhou, Zhewen Zhang. A Fast Load-shedding Algorithm for Power System based on Artificial Neural Network. *International Conference on IC Design and Technology (ICICDT)*, 2019.
- [24] Ahmed M.A.Haidar, Azah Mohamed, AiniHussain, Norazila Jaalam. Artificial intelligence application to Malaysian electrical power system. *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, Issue 7, pp. 5023–5031, 2010.
- [25] R. Hooshmand and M. Moazzami. Optimal design of adaptive under frequency load shedding using artificial neural networks in isolated power system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 42, Issue 1, pp. 220–228, 2012.
- [26] Cheng-TingHsu, Hui-JenChuang, Chao-ShunChen. Adaptive load shedding for an industrial petroleum cogeneration system. *Expert Systems with Applications*, Vol 38, pp. 13967–13974, 2011.
- [27] Yuan-Kang Wua, Shih Ming Changa, Yi-LiangHua. Literature Review of Power System Blackouts. *Energy Procedia*, Vol. 141, pp.428-431, December 2017.
- [28] Jiongcheng Yan, Changgang Li, Yutian Liu. Adaptive load shedding method based on power imbalance estimated by ANN. *TENCON 2017 - 2017 IEEE Region 10 Conference*, 2017.

- [29] Lopes JAP, Wong Chan W, Proenca LM. Genetic algorithms in the definition of optimal load shedding strategies. *Int Conf Electr Power Eng*, 1999.
- [30] Nur Najihah Abu Bakar, Mohammad Yusri Hassan, Mohamad Fani Sulaima, Mohamad Na'im Mohd Nasir, Aziah Khamis. Microgrid and load shedding scheme during islanded mode: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 71, pp.161-169, May 2017.
- [31] D. Kottick, O. Or. Neural-networks for predicting the operation of an underfrequency load shedding system. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 11, Issue: 3, pp. 1350–1358, 1996.
- [32] M. Djukanovic, D.J. Sobajic, Y.-H. Pao. Neural net based determination of generator-shedding requirements in electric power systems. *IEE Proceedings C - Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 139 , Issue 5, pp.427-436, 1992.
- [33] CT Hsu, MS Kang, CS Chen. Design of adaptive load shedding by artificial neural networks. *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 152, Issue 3, pp.415–421, 2005.
- [34] C.H Lee, S.C Hsieh. Lessons learned from the power outages on 29 July and 21 September 1999 in Taiwan. *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 149, Issue 5, pp. 543–549, 2002.
- [35] Chien-Hsing Lee, Shih-Chieh Hsieh. A technical review of the power outage on July 29,1999 in Taiwan. *2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting - Columbus, OH, United States*, 2001, pp. 1353-1358.
- [36] J-J Wong, C-T Su, C-S Liu, C-L Chang. Study on the 729 blackout in the Taiwan power system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 29, Issue 8, pp. 589–599, 2007.
- [37] MH Purnomo, CA Patria, E Purwanto. Adaptive load shedding of the power system based on neural network. *2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering (TENCOM 02)*, 2002.

- [38] MA Mitchell, JAP Lopes, JN Fidalgo, JD McCalley. Using a neural network to predict the dynamic frequency response of a power system to an underfrequency load shedding scenario. *Power Engineering Society Summer Meeting*, 2000, pp. 346–351.
- [39] Joko Hartono, Putu Agus Aditya Pramana, Handrea Bernando Tambunan, Buyung Sofiarto Munir. Disturbance Magnitude Estimation using Artificial Neural Network Method. *International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, 2019.
- [40] SAM Javadian, MR Haghifam, SMT Bathaee, M Fotuhi Firoozabad. Adaptive centralized protection scheme for distribution systems with DG using risk analysis for protective devices placement. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 44, Issue 1, pp. 337–345, 2013.
- [41] SK Tso, TX Zhu, QY Zeng, KL Lo. Investigation of extended fuzzy reasoning and neural classification for load-shedding prediction to prevent voltage instability. *Electric Power Systems Research*; Vol. 43, Issue 2, pp. 81–87, 1997.
- [42] E Hobson, GN Allen. Effectiveness of artificial neural networks for first swing stability determination of practical systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 9 , Issue 2, pp. 1062–1068, 1994.
- [43] AMA Haidar, A Mohamed, A Hussain. Vulnerability control of large scale interconnected power system using neuro-fuzzy load shedding approach. *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, Issue 4, pp. 3171-3176, April 2010.
- [44] J Sasikala, M Ramaswamy. Fuzzy based load shedding strategies for avoiding voltage collapse. *Applied Soft Computing*, Vol. 11, Issue 3, pp. 3179–3185, 2011.
- [45] AA Sallam, AM Khafaga. Fuzzy expert system using load shedding for voltage instability control. *2002 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering (LESCOPE 02)*, 2002.

- [46] Ankur Kumar, Ritula Thakur. A Fuzzy Logic Based Load Shedding Technique for Operation of DG in Islanding Mode. *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC)*, 2017.
- [47] Athila Quaresma Santos, Hamid Reza Shaker, Bo Nørregaard Jørgensen. A Holistic Fuzzy Measure for Load Priority in Under Frequency Load Shedding Schemes. *International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT)*, 2018.
- [48] Paul Joshua, K., Mohanalin, J. & Jaya Christa, S.T. Adaptive neuro-fuzzy inference system based under-frequency load shedding for Tamil Nadu. *The Journal of Supercomputing*, 2018.
- [49] AK Bikas, EM Voumvoulakis, ND Hatziargyriou. Neuro-fuzzy decision trees for dynamic security control of power systems. *Intelligent System Applications to Power Systems*, 2009.
- [50] Holland John Henry. *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence 5th ed.* United States of America: University of Michigan Press, 1975.
- [51] M Sanaye-Pasand, M Davarpanah. A new adaptive multidimensional load shedding scheme using genetic algorithm. *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2005, pp. 1974-1977.
- [52] Marven E. Jabian, Ryohei Funaki, Junichi Murata. Load Shedding Optimization Considering Consumer Appliance Prioritization Using Genetic Algorithm for Real-time Application. *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 51 , Issue 28, pp.486-491, 2018.
- [53] BF Rad, M Abedi. An optimal load-shedding scheme during contingency situations using meta-heuristics algorithms with application of AHP method. *International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*, 2008.

- [54] Chao-Rong C, Wen-Ta T, Hua-Yi C, Ching-Ying L, Chun-Ju C, Hong-Wei L. Optimal load shedding planning with genetic algorithm. *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 2011.
- [55] WP Luan, MR Irving, JS Daniel. Genetic algorithm for supply restoration and optimal load shedding in power system distribution networks. *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 149 , Issue 2, pp. 145–151, 2002.
- [56] Ying-Yi H, Po-Hsuang C. Genetic-based underfrequency load shedding in a stand-alone power system considering fuzzy loads. *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 27 , Issue 1, pp. 87–95, 2012.
- [57] Ying-Yi Hong, Manh-Tuan Nguyen. Multiobjective Multiscenario Under-Frequency Load Shedding in a Standalone Power System. *IEEE Systems Journal (Early Access)*, pp.1-11, August 2019.
- [58] JM Arroyo, FJ Fernández. Application of a genetic algorithm to n–K power system security assessment. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol 49, pp. 114–121, 2013.
- [59] WM Al-Hasawi, KM El Naggar. Optimum steady-state load-shedding scheme using genetic based algorithm. *11th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)*, 2002, pp. 605-609.
- [60] J Kennedy, R Eberhart. Particle swarm optimization. *International Conference on Neural Networks (ICNN 95)*, 1995, pp. 1942–1948.
- [61] Abbas Ketabi, Masoud Hajiakbari Fini. Adaptive underfrequency load shedding using particle swarm optimization algorithm. *Journal of Applied Research and Technology*, Vol. 15, Issue 1, pp.54-60, February 2017.
- [62] A Khotanzad, Enwang Z, H Elragal. A neuro-fuzzy approach to short-term load forecasting in a price-sensitive environment. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.17, Issue 4, pp.1273–1282, 2002.

- [63] Nguyen Ngoc Au, Le Trong Nghia, Quyen Huy Anh, Phan Thi Thanh Binh. Sa thải phụ tải dựa trên nhận dạng nhanh ổn định động hệ thống điện. *Tạp chí khoa học công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, ISSN 1859-1531 – Số 11(129).2017 Quyển 2, 11-2017.
- [64] Nghia. T. Le, Anh. Huy. Quyen, Au. N. Nguyen, Binh. T. T. Phan, An. T. Nguyen, Tan. T. Phung. Application of Dual Artificial Neural Networks for Emergency Load Shedding Control. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, Vol. 11, No. 4, pp.74-82, 2020. ISSN: 2158-107X (Print) ISSN: 2156-5570 (Online).
- [65] Tohid Sheraki, Farrokh Aminifar, Majid Sanaye-Pasand. An analytical adaptive load shedding scheme against severe combinational disturbances. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 31, Issue 5, pp. 4135 - 4143, 2015.
- [66] *Matlab user guide*. MathWorks, 2019.
- [67] T.L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 1980.
- [68] Moein Abedini, Majid Sanaye-Pasand, Sadegh Azizi. Adaptive load shedding scheme to preserve the power system stability following large disturbances. *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 8 , Issue 12, pp. 2124-2133, 2014.
- [69] Y.C. Erensal, T. O. zcan, M.L. Demircan. Determining key capabilities in technology management using fuzzy analytic hierarchy process: A case study of Turkey. *Information Sciences*, Vol. 176, Issue 18, pp. 2755–2770, 2006.
- [70] C. Kahraman, T. Ertay, G. Bu"yu"ko"zkan. A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, Issue 2, pp. 390–411, 2006.
- [71] E. Tolga, M.L. Demircan, C. Kahraman. Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*. Vol. 97, Issue 1, pp. 89–117, 2005.
- [72] P.J.M. Van Laarhoven, W. Pedrycz. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 11, Issue 1-3, pp. 229–241, 1983.

- [73] D.Y. Chang. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, Vol. 95, Issue 3, pp. 649–655, 1996.
- [74] D.Y. Chang. Extent Analysis and Synthetic Decision. *Optimization Techniques and Applications*, Vol. 1, pp. 352-355, 1992.
- [75] J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, Thomas J. Overbye. *Power System Analysis and Design Sixth Edition*. Cengage Learning, 2017, pp. 718.
- [76] Trong Nghia Le, Huy Anh Quyen, Ngoc Au Nguyen. Application of fuzzy-analytic hierarchy process algorithm and fuzzy load profile for load shedding in power systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 77, pp. 178-184, May 2016.
- [77] Trần Bách. *Lưới điện & Hệ thống điện*. NXB Khoa học kỹ thuật, 2004.
- [78] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, Gerald B. Sheblé. *Power Generation, Operation and Control, Third Edition*. John Wiley & Sons, 2014, pp. 473 – 481.
- [79] Sam Weckx, Reinhilde D'Hulst, Johan Driesen. Primary and Secondary Frequency Support by a Multi-Agent Demand Control System. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 30, Issue 3, pp. 1394 – 1404, 2015.
- [80] John Undrill. *Primary Frequency Response and Control of Power System Frequency*. Energy Analysis and Environmental Impacts Division Lawrence Berkeley National Laboratory, 2018.
- [81] L. Patrick. *The different electrical distance*. 1990.
- [82] Paul Cuffe, Andrew Keane. Visualizing the Electrical Structure of Power Systems. *IEEE Systems Journal*, Vol. 11, Issue 3, pp. 1810 - 1821, 2017.
- [83] T.N.E.Greville. Some applications of the pseudoinverse of a matrix. *Some applications of the pseudoinverse of a matrix (SIAM)*, Vol. 2, Issue 1, pp. 15–22, Jan 1960.

- [84] E. Cotilla-Sanchez, P. D. H. Hines, C. Barrows, S. Blumsack, and M. Patel. Multi-attribute partitioning of power networks based on electrical distance. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 28, Issue 4, pp. 4979–4987, Nov 2013.
- [85] D. J. Klein and M. Randić. Resistance distance. *Journal of Mathematical Chemistry*, Vol. 12, Issue 1, pp. 81-95, 1993.
- [86] Nghia. T. Le, Anh. Huy. Quyen, Binh. T. T. Phan, An. T. Nguyen, and Hau. H. Pham. Minimizing Load Shedding in Electricity Networks using the Primary, Secondary Control and the Phase Electrical Distance between Generator and Loads. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, Vol. 10, No. 2, pp.293-300, 2019.
- [87] Sung-Hwan Song, Ho-Chul Lee, Yong Tae Yoon, Seung-Il Moon. Cluster design compatible with market for effective reactive power management. *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2006.
- [88] Le Trong Nghia, Quyen Huy Anh, Phan Thi Thanh Binh, N Thai An, P H Hau. A voltage electrical distance application for power system load shedding considering the primary and secondary generator controls. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 9, No. 5, pp. 3000-3009, October 2019.
- [89] Timothy Ross. *Fuzzy logic with engineering applications*. McGraw-Hill, Inc, 1997.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Trong Nghĩa Le**, Huy Anh Quyen, Ngoc Au Nguyen. Application of fuzzy-analytic hierarchy process algorithm and fuzzy load profile for load shedding in power systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 77, pp. 178-184, May 2016. ISSN: 0142-0615. (SCIE).
2. **Trong Nghĩa Le**, Ngoc Au Nguyen, and Huy Anh Quyen. Emergency Control of Load Shedding Based on Coordination of Artificial Neural Network and Analytic Hierarchy Process Algorithm. *Proc of IEEE Conferences on System Science and Engineering (ICSSE)*, pp. 57-60, September – 2017; ISSN: 2325-0925 (Online) (IEEE Xplore).
3. Nguyen Ngoc Au, **Le Trong Nghĩa**, Quyen Huy Anh, Phan Thi Thanh Binh. Sa thải phụ tải dựa trên nhận dạng nhanh ổn định động hệ thống điện. *Tạp chí khoa học công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, ISSN 1859-1531 – Số 11(129).2017 Quyển 2, 11-2017.
4. **L.T. Nghĩa**, T.T. Giang, N.N. Au, Q.H. Anh, Do. Ngoc. An. Emergency Control of Load Shedding Based on Fuzzy- AHP Algorithm. *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 6 Issue 09, pp. 185-191, September – 2017; ISSN: 0974 – 3154 (Print).
5. **Nghia. T. Le**, Anh. Huy. Quyen, Au. N. Nguyen, Binh. T. T. Phan, An. T. Nguyen, Tan. T. Phung. Application of Dual Artificial Neural Networks for Emergency Load Shedding Control. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, Vol. 11, No. 4, pp.74-82, 2020. ISSN: 2158-107X (Print) ISSN: 2156-5570 (Online). (ESCI).
6. **Nghia. T. Le**, Anh. Huy. Quyen, Binh. T. T. Phan, An. T. Nguyen, and Hau. H. Pham. Minimizing Load Shedding in Electricity Networks using the Primary, Secondary Control and the Phase Electrical Distance between Generator and Loads. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, Vol. 10, No. 2, pp.293-300, 2019. ISSN: 2158-107X (Print) ISSN: 2156-5570 (Online). (ESCI).
7. **Le Trong Nghĩa**, Quyen Huy Anh, Phan Thi Thanh Binh, N Thai An, P H Hau. A voltage electrical distance application for power system load shedding considering the

primary and secondary generator controls. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 9, No. 5, pp. 3000-3009, October 2019. ISSN: 2088-8708. (SCOPUS Indexed Q2).

8. **Trong Nghia Le**; Huy Anh Quyen; Thi Thanh Binh Phan; Ngoc Au Nguyen; Tan Phung Trieu. Select Location for Load Shedding In Power System. *Proc of IEEE Conferences on Green Technology and Sustainable Development (GTSD)*, pp. 13-17, December 2018. (IEEE Xplore)

9. **Le. Trong. Nghia**, Quyen. Huy. Anh, P.T.T. Binh, Phung. Trieu. Tan. *A New Under-Frequency Load Shedding Method Using the Voltage Electrical Distance and Artificial Neural Networks. International Journal of Advanced Engineering, Management and Science (IJAEMS)*, Vol.5, No 3, pp. 171-179, March 2019. ISSN: 2454-1311.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI

10. **Le Trong Nghia**, Huy Anh Quyen, Huu Kiet Do. Load Shedding based on Fuzzy Logic and AHP Algorithm. *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 5 Issue 04, pp. 395-402, April-2016; ISSN: 0974 –3154 (Print).

11. N.M. Tam, **L.T. Nghia**, N.H. Nhat, Q.H. Anh. The Optimal Location Load Shedding using Electrical Distances. *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 6 Issue 10, pp. 99-103, October – 2017; ISSN: 0974 –3154 (Print).

12. **L.T. Nghia**, T.T. Giang, Q.H. Anh, P.T.T. Binh, Bui.NguyenXuan. Vu. Load Shedding Apply Neural Network and Power Sensitivity Theory. *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 7 Issue 04, pp. 408-413, April-2018; ISSN: 0974 –3154 (Print).

13. **Le Trong Nghia**, Quyen Huy Anh, Phan Thi Thanh Binh, Nguyen Trong Tin. Minimizing The Amount of Load Shedding Considering The Primary Control Of Generator. *Journal of Technical Education Science*, Vol. 49, pp. 58-66, June 2018;

14. Tan. T. Phung, **Nghia. T. Le***, Anh. Huy. Quyen, Hau. H. Pham, and An. T. Nguyen. A Hybrid Artificial Neural Network - Genetic Algorithm for Load Shedding in Power

System. *GMSARN International Journal*, Vol 14, pp. 21-28, 01-2020. ISSN:1905-9094.
(SCOPUS Indexed).

CÁC ĐỀ TÀI NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

<i>TT</i>	<i>Tên đề tài/dự án</i>	<i>Mã số & cấp quản lý</i>	<i>Thời gian thực hiện</i>	<i>Chủ nhiệm /Tham gia</i>
1	Nghiên cứu cải tiến các phương pháp sa thải phụ tải	T2016-11GVT	1 năm	Chủ nhiệm
2	Nghiên cứu sa thải phụ tải có xét đến các yếu tố ảnh hưởng	T2017-64TĐ	1 năm	Chủ nhiệm
3	Nghiên cứu cải tiến phương pháp điều khiển khẩn cấp sa thải phụ tải trong hệ thống điện	T2018-40TĐ	1 năm	Chủ nhiệm
4	Nghiên cứu cải tiến phương pháp sa thải phụ tải để giữ ổn định hệ thống điện	T2018-55TĐ	1 năm	Tham gia
5	Nghiên cứu phương pháp sa thải phụ tải nhằm khôi phục tần số về giá trị cho phép trong hệ thống điện	T2019-41TĐ	1 năm	Chủ nhiệm
6	Nghiên cứu phương pháp sa thải phụ tải có xét đến độ nhạy điện áp giữa các bus	T2019-56TĐ	1 năm	Tham gia

PHỤ LỤC

PHỤ LỤC 1: DANH SÁCH CÁC BẢNG TÍNH TOÁN (BẢNG 2.2 ĐẾN BẢNG 2.8)

Bảng 2.3: Ma trận phán đoán của các trung tâm tải LC_i

LC _i	LC ₁	LC ₂	LC ₃	LC ₄
LC ₁	1/1	2/1	3/1	4/1
LC ₂	1/2	1/1	2/1	3/1
LC ₃	1/3	1/2	1/1	2/1
LC ₄	1/4	1/3	1/2	1/1

Bảng 2.4: Ma trận phán đoán của các tải L_j trong trung tâm tải LC₁

L _j	L ₄	L ₇	L ₈	L ₁₂	L ₃₁	L ₃₉
L ₄	1/1	2/1	1/1	9/1	9/1	1/2
L ₇	1/2	1/1	1/2	8/1	8/1	1/5
L ₈	1/1	2/1	1/1	9/1	9/1	1/2
L ₁₂	1/9	1/8	1/9	1/1	1/1	1/9
L ₃₁	1/9	1/8	1/9	1/1	1/1	1/9
L ₃₉	2/1	5/1	2/1	9/1	9/1	1/1

Bảng 2.5: Ma trận phán đoán của các tải L_j trong trung tâm tải LC₂

L _j	L ₁₅	L ₁₆	L ₂₀	L ₂₁	L ₂₃	L ₂₄
L ₁₅	1/1	1/1	1/2	2/1	2/1	1/1
L ₁₆	1/1	1/1	1/2	2/1	2/1	1/1
L ₂₀	2/1	2/1	1/1	2/1	3/1	2/1
L ₂₁	1/2	1/2	1/2	1/1	1/1	1/1
L ₂₃	1/2	1/2	1/3	1/1	1/1	1/2
L ₂₄	1/1	1/1	1/2	1/1	2/1	1/1

Bảng 2.6: Ma trận phán đoán của các tải L_j trong trung tâm tải LC₃

L _j	L ₂₆	L ₂₇	L ₂₈	L ₂₉
L ₂₆	1/1	1/2	1/2	1/2
L ₂₇	2/1	1/1	2/1	1/1
L ₂₈	2/1	1/2	1/1	1/2
L ₂₉	2/1	1/1	2/1	1/1

Bảng 2.7: Ma trận phán đoán của các tải L_j trong trung tâm tải LC_4

L_j	L_3	L_{18}	L_{25}
L_3	1/1	2/1	2/1
L_{18}	1/2	1/1	1/2
L_{25}	1/2	2/1	1/1

Bảng 2.8: Giá trị M_{LCi} và W_{LCi}^* của trung tâm tải LC_i

M_{LC1}	24,00	W_{LC1}^*	2,21
M_{LC2}	3,00	W_{LC2}^*	1,32
M_{LC3}	0,33	W_{LC3}^*	0,76
M_{LC4}	0,04	W_{LC4}^*	0,45

Bảng 2.9: Giá trị M_{Lj} và W_{Lj}^* của các tải trong trung tâm tải LC_1

M_{L4}	81,00	W_{L4}^*	2,08
M_{L7}	3,20	W_{L7}^*	1,21
M_{L8}	81,00	W_{L8}^*	2,08
M_{L12}	0,00	W_{L12}^*	0,24
M_{L31}	0,00	W_{L31}^*	0,24
M_{L39}	1620,00	W_{L39}^*	3,43

Bảng 2.10: Giá trị M_{Lj} và W_{Lj}^* của các tải trong trung tâm tải LC_2

M_{L15}	2,00	W_{L15}^*	1,12
M_{L16}	2,00	W_{L16}^*	1,12
M_{L20}	48,00	W_{L20}^*	1,91
M_{L21}	0,13	W_{L21}^*	0,71
M_{L23}	0,04	W_{L23}^*	0,59
M_{L24}	1,00	W_{L24}^*	1,00

Bảng 2.11: Giá trị M_{L_j} và $W_{L_j}^*$ của các tải trong trung tâm tải LC₃

M_{L26}	0,13	W_{26}^*	0,59
M_{L27}	4,00	W_{27}^*	1,41
M_{L28}	0,50	W_{28}^*	0,84
M_{L29}	4,00	W_{29}^*	1,41

Bảng 2.12: Giá trị M_{L_j} và $W_{L_j}^*$ của các tải trong trung tâm tải LC₄

M_{L3}	4,00	W_3^*	1,59
M_{L18}	0,25	W_{18}^*	0,63
M_{L25}	1,00	W_{25}^*	1,00

Bảng 2.13: Các giá trị W_{LC_i} của các trung tâm tải LC_i

W_{LC1}	0,47
W_{LC2}	0,28
W_{LC3}	0,16
W_{LC4}	0,10

Bảng 2.14: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm tải LC₁

W_{L4}	0,22
W_{L7}	0,13
W_{L8}	0,22
W_{L12}	0,03
W_{L31}	0,03
W_{L39}	0,37

Bảng 2.15: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm tải LC₂

W_{L15}	0,17
W_{L16}	0,17
W_{L20}	0,30
W_{L21}	0,11
W_{L23}	0,09
W_{L24}	0,16

Bảng 2.16: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm tải LC₃

W_{L26}	0,14
W_{L27}	0,33
W_{L28}	0,20
W_{L29}	0,33

Bảng 2.17: Các giá trị W_{L_j} của các tải ở trung tâm tải LC₄

W_{L3}	0,49
W_{L18}	0,20
W_{L25}	0,31

Bảng 2.18: Hệ số tầm quan trọng của của các trung tâm tải và mỗi phụ tải

Tải	Trung tâm tải	W_{L_j}	W_{LC_i}	Hệ số tầm quan trọng tổng hợp W_{ij}
L ₄	LC ₁	0,224	0,467	0,10473
L ₇	LC ₁	0,131	0,467	0,06112
L ₈	LC ₁	0,224	0,467	0,10473
L ₁₂	LC ₁	0,025	0,467	0,01187
L ₃₁	LC ₁	0,025	0,467	0,01187
L ₃₉	LC ₁	0,370	0,467	0,17254
L ₁₅	LC ₂	0,174	0,278	0,04833
L ₁₆	LC ₂	0,174	0,278	0,04833
L ₂₀	LC ₂	0,296	0,278	0,08208
L ₂₁	LC ₂	0,110	0,278	0,03045
L ₂₃	LC ₂	0,091	0,278	0,02535
L ₂₄	LC ₂	0,155	0,278	0,04306
L ₂₆	LC ₃	0,140	0,160	0,02235
L ₂₇	LC ₃	0,330	0,160	0,05316
L ₂₈	LC ₃	0,200	0,160	0,03161
L ₂₉	LC ₃	0,330	0,160	0,05316
L ₃	LC ₄	0,493	0,100	0,04702
L ₁₈	LC ₄	0,196	0,100	0,01866
L ₂₅	LC ₄	0,311	0,100	0,02962

Bảng 2.19: Thứ tự sa thải phụ tải theo thuật toán AHP

STT sa thải tải	Tải	Trung tâm tải	W_{di}	W_{kj}	Hệ số tầm quan trọng tổng hợp W_{ij}
1	L ₃₁	LC ₁	0,025	0,467	0,01187
2	L ₁₂	LC ₁	0,025	0,467	0,01187
3	L ₁₈	LC ₄	0,196	0,10	0,01866
4	L ₂₆	LC ₃	0,14	0,16	0,02235
5	L ₂₃	LC ₂	0,091	0,278	0,02535
6	L ₂₅	LC ₄	0,311	0,10	0,02962
7	L ₂₁	LC ₂	0,11	0,278	0,03045
8	L ₂₈	LC ₃	0,20	0,16	0,03161
9	L ₂₄	LC ₂	0,155	0,278	0,04306
10	L ₃	LC ₄	0,493	0,10	0,04702
11	L ₁₆	LC ₂	0,174	0,278	0,04833
12	L ₁₅	LC ₂	0,174	0,278	0,04833
13	L ₂₉	LC ₃	0,33	0,16	0,05316
14	L ₂₇	LC ₃	0,33	0,16	0,05316
15	L ₇	LC ₁	0,131	0,467	0,06112
16	L ₂₀	LC ₂	0,296	0,278	0,08208
17	L ₈	LC ₁	0,224	0,467	0,10473
18	L ₄	LC ₁	0,224	0,467	0,10473
19	L ₃₉	LC ₁	0,37	0,467	0,17254

PHỤ LỤC 2: THÔNG SỐ HỆ THỐNG IEEE 37BUS

Bảng PL 2.1: Thông số mô hình máy phát điện đồng bộ GENCLS

STT	Máy phát	Loại	Công suất định mức	H	D	Ra	Xd	Xqp	Xdpp	Xl
1	WEBER69	GENROU	40	3	0	0	2.1	0.5	0.18	0.15
2	JO345	GENROU	180	10	0	0	2.1	0.5	0.18	0.15
3	JO345	GENROU	180	10	0	0	2.1	0.5	0.18	0.15
4	BOB69	GENROU	57	3	0	0	2.1	0.5	0.18	0.15
5	ROGER69	GENROU	85	3	0	0	2.1	0.5	0.18	0.15
6	BLT138	GENROU	150	3	0	0	2.1	0.5	0.18	0.15
7	BLT69	GENROU	115	3	0	0	2.1	0.5	0.18	0.15
8	SLACK345	GENSAL	250	12	0	0	2.1	0.18	0.15	7
9	LAUF69	GENSAL	160	4	0	0	2.1	0.18	0.15	7

Bảng PL 2.2: Thông số thiết bị điều chỉnh tần số

Bus	Máy phát	Loại	R	T1	Vmax	Vmin	T2	T3	Dt
44	LAUF69	TGOV1	0.05	0.5	1	0	3	10	0
48	BOB69	TGOV1	0.05	0.5	1	0	3	10	0
53	BLT138	TGOV1	0.05	0.5	1	0	3	10	0
54	BLT69	TGOV1	0.05	0.5	1	0	3	10	0

Bus	Máy phát	Loại	K	T1	T2	T3	Uo	Uc	Pmax	Pmin	T4	K1
31	SLACK345	IEEEG1	25	0	0	0.1	1	-10	1	0	0	1

Bus	Máy phát	Loại	Rperm	Rtemp	Tr	Tf	Tg	Velm	Gmax	Gmin	Tw	At	Dturb	Qnl	Ttur	Hdam	Tblade
28	JO345	HYGOV	0.04	0.3	5	0.05	0.5	0.2	1	0	1	1.2	0.5	0.05	0.5	1	100
28	JO345	HYGOV	0.04	0.3	5	0.05	0.5	0.2	1	0	1	1.2	0.5	0.05	0.5	1	100

Bus	Máy phát	Loại	R	T1	T2	T3	Lmax	Kt	Vmax	Vmin	Fidle	Rmax	Linc	Tltr	Ltrat	Gv2	Pgv2
14	WEBER69	GAST_GE	0.05	0.4	0.5	3	1	3	1.5	0	0.2	1	0.05	5	0.005	1.3	1.3
50	ROGER69	GAST_GE	0.05	0.4	0.5	3	1	3	1.5	0	0.2	1	0.05	5	0.005	1.3	1.3

Bảng PL 2.3: Thông số thiết bị điều khiển kích từ

Bus	Tr	Ka	Ta	Vrmax	Vrmin	Ke	Te	Kf	Tf	Switch	E1	SE1	E2	SE2	Spdmlt				
14	0	50	0.04	1	-1	-0.06	0.6	0.09	1.46	0	2.8	0.04	3.73	0.33	0				
48	0	50	0.04	1	-1	-0.06	0.6	0.09	1.46	0	2.8	0.04	3.73	0.33	0				
53	0	50	0.04	1	-1	-0.06	0.6	0.09	1.46	0	2.8	0.04	3.73	0.33	0				
54	0	50	0.035	1	-1	-0.06	0.6	0.09	1.46	0	2.8	0.04	3.73	0.33	0				
Bus	Tr	Kpr	Kir	Ta	Vrmax	Vrmin	Kpm	Kim	VmMax	VmMin	Kg	Kp	Theta PDeg	Ki	Kc	Xl	VbMax		
50	0	3.15	3.15	0.035	1	-0.87	1	0	1	-0.87	0	6.5	0	0	0.08	0	8		
Bus	Tr	ViMax	ViMin	Tc	Tb	Ka	Ta	Vrmax	Vrmin	Kc	Kf	Tf	Tc1	Tb1	VaMax	VaMin	Xe	Ilr	Klr
28	0	0.1	-0.1	1	10	200	0.02	5	-5	0.05	0	1	1	1	5	-5	0.04	2.8	5
28	0	0.1	-0.1	1	10	200	0.02	5	-5	0.05	0	1	1	1	5	-5	0.04	2.8	5
31	0	0.1	-0.1	1	10	200	0.02	5	-5	0.05	0	1	1	1	5	-5	0.04	2.8	5
Bus	Tr	Ka	Ta	Tb	Tc	Vrmax	Vrmin	Ke	Te	Kf	Tf1	Tf2	E1	SE1	E2	SE2			
44	0	40	0.1	0	0	1	-1	0.1	0.5	0.05	0.7	0	2.8	0.08	3.7	0.33			

Bảng PL 2.4: Công suất định mức, công suất Pmax, Pmin máy phát, điện áp đầu cực máy phát, công suất định mức tải

Bus	Type	Voltage [pu]	Load		Generator				
			MW	MVar	MW	MVar	Min MW	Max MW	Unit No.
1	PQ	1.02328							
3	PQ	0.99853	14.77	6					
5	PQ	1.00497	16.81	3.84					
10	PQ	1.02291	20.17	3					
12	PQ	1.0206	27.49	7.8					
13	PQ	1.00206	27.61	8.4					
14	PQ	1.01013	26.65	18.25	31.5	5	10	35	
15	PQ	1.00177	69.87	43.58					
16	PQ	0.99785	69.39	48.5					
17	PQ	1.01003	39.38	15.49					
18	PQ	1.00112	54.02	14.41					
19	PQ	1.01034	21.97	6					
20	PQ	1.00619	18.37	6					
21	PQ	0.99212	89.32	32.17					
24	PQ	0.99973	43.58	12.49					
27	PQ	1.0007	24.01	7.2					
28	PV	1.03			270	3.07	0	150	
29	PQ	1.02314							
30	PQ	1.00566	28.09	7.44					
31	Slack	1.03			187.28	75.18	0	220	
32	PQ	1.00818							
33	PQ	1.00425	33.61	7.2					
34	PQ	1.0035	27.29	3.6					
35	PQ	1.02302							
37	PQ	0.99944	32.41	3.6					
38	PQ	1.02359							
39	PQ	1.0106							
40	PQ	0.99873							
41	PQ	1.00258							
44	PV	1.02001	71.79	14.77	135	12.79	0	150	
47	PQ	0.98991							
48	PQ	1.00719	66.99	15.01	46	-14	16	52	
50	PV	1.02001			72	-3.13	38	80	
53	PQ	0.99305	71.43	33.37	126	45	22	140	
54	PQ	1.00544	14.92	6.88	99	60	15	110	
55	PQ	0.99515	27.19	7.38					
56	PQ	1.02146	16.81	4.44					

Bảng PL 2.5: Thông số điện trở R_T , điện kháng X_T và thông số cài đặt đầu phân áp trên các máy biến áp

Line Data			Transformer Tap		
From Bus	To Bus	R_T	X_T	Magnitude	Angle
54	53	0.00134	0.04988	1	0
48	47	0.00101	0.03925	1.05	0
44	41	0.00244	0.06829	1.02125	0
44	41	0.0025	0.07144	1.02125	0
39	38	0.00095	0.05116	1	0
39	38	0.00094	0.05107	1	0
35	31	0.00087	0.051	1	0
33	32	0.0025	0.0723	1	0
28	29	0.00087	0.051	1	0
28	29	0.00087	0.051	1	0
12	40	0.00107	0.04039	1.03125	0
12	40	0.00107	0.04039	1.03125	0
10	39	0.00106	0.03949	1.01875	0
1	40	0.001	0.0623	1	0

Bảng PL 2.6: Thông số điện trở, điện kháng và dung dẫn đường dây

From Bus	To Bus	Branch Device Type	R	X	B
18	37	Line	0.01017	0.00559	0.0253
35	39	Line	0.01028	0.07253	0.0176
20	48	Line	0.02133	0.0521	0.0009
18	37	Line	0.01017	0.00559	0.0253
17	19	Line	0.02703	0.03613	0.002
35	56	Line	0.01243	0.07847	0.0192
1	31	Line	0.00117	0.017	0.182
54	55	Line	0.06246	0.08246	0.0003
48	54	Line	0.01473	0.036	0.0744
47	53	Line	0.00204	0.00692	0.1601
3	40	Line	0.0048	0.0368	0.0182
39	40	Line	0.01161	0.08085	0.0225
16	27	Line	0.00366	0.01312	0.046
13	55	Line	0.02216	0.0904	0.0017
10	19	Line	0.0405	0.0953	0.0021
3	41	Line	0.00902	0.0571	0.0135
15	16	Line	0.00753	0.02582	0.0206
15	24	Line	0.01835	0.02845	0.0221
12	17	Line	0.02172	0.06935	0.0019
5	18	Line	0.03133	0.07675	0.0015
15	54	Line	0.00859	0.00472	0.0214
12	18	Line	0.02747	0.08909	0.0019
12	27	Line	0.0142	0.07557	0.0695
5	44	Line	0.03463	0.08253	0.0016
39	47	Line	0.00775	0.05244	0.0154
20	34	Line	0.02423	0.05862	0.0011
10	13	Line	0.03375	0.0789	0.0012
20	50	Line	0.0424	0.07509	0.0008
21	48	Line	0.01824	0.04236	0.0075
21	48	Line	0.01829	0.04246	0.0078
24	44	Line	0.03993	0.09965	0.002
14	34	Line	0.02625	0.06429	0.0012
14	44	Line	0.04211	0.08545	0.0474
31	28	Line	0.00224	0.03268	0.35
32	29	Line	0.0103	0.05681	0.0164
29	41	Line	0.01868	0.1259	0.0356
56	29	Line	0.00771	0.0544	0.0138
30	32	Line	0.00225	0.0134	0.004
30	41	Line	0.00735	0.04395	0.0123
15	54	Line	0.00846	0.00465	0.021
31	38	Line	0.00075	0.01092	0.117
15	54	Line	0.00855	0.0047	0.0213
33	50	Line	0.0502	0.101	0.0025

54	53	Transformer	0.00134	0.04988	-0.0004
12	40	Transformer	0.00107	0.04039	-0.0042
44	41	Transformer	0.00244	0.06829	-0.006
12	40	Transformer	0.00107	0.04039	-0.0042
44	41	Transformer	0.0025	0.07144	-0.0045
39	38	Transformer	0.00095	0.05116	-0.0124
39	38	Transformer	0.00094	0.05107	-0.0127
33	32	Transformer	0.0025	0.0723	0
48	47	Transformer	0.00101	0.03925	-0.0035
35	31	Transformer	0.00087	0.051	0
10	39	Transformer	0.00106	0.03949	-0.0041
28	29	Transformer	0.00087	0.051	0
28	29	Transformer	0.00087	0.051	0
1	40	Transformer	0.001	0.0623	0

PHỤ LỤC 3: Thông số hệ thống điện 39 bus 10 máy phát

Bảng PL 3.1: Thông số mô hình máy phát điện đồng bộ GENPWTwoAxis

Unit No.	H	R _a	x' _d	x' _q	x _d	x _q	T' _{do}	T' _{qo}
1	500.0	0	0.006	0.008	0.02	0.019	7.0	0.7
2	30.3	0	0.0697	0.170	0.0295	0.282	6.56	1.5
3	35.8	0	0.0531	0.0876	0.2495	0.237	5.7	1.5
4	28.6	0	0.0436	0.166	0.262	0.258	5.69	1.5
5	26.0	0	0.132	0.166	0.67	0.62	5.4	0.44
6	34.8	0	0.05	0.0814	0.254	0.241	7.3	0.4
7	26.4	0	0.049	0.186	0.295	0.292	5.66	1.5
8	24.3	0	0.057	0.0911	0.290	0.280	6.7	0.41
9	34.5	0	0.057	0.0587	0.2106	0.205	4.79	1.96
10	42.0	0	0.031	0.008	0.1	0.069	10.2	0.0

Bảng PL 3.2: Thông số thiết bị điều khiển kích từ IEEE1

Bus	T _r	K _a	T _a	V _{rmax}	V _{rmin}	K _e	T _e	K _f	T _f	E ₁	S _E (E ₁)	E ₂	S _E (E ₂)
39	0	5	0.0 6	1	-1	- 0.0485	0.25	0.04	1	0.7 5	0.08	1. 1	0.26
38	0	6.2	0.0 5	1	-1	-0.633	0.405	0.057	0.5	0.7 5	0.66	1. 1	0.88
37	0	5	0.0 6	1	-1	- 0.0198	0.5	0.08	1	0.7 5	0.13	1. 1	0.34
36	0	5	0.0 6	1	-1	-0.525	0.5	0.08	1	0.7 5	0.08	1. 1	0.314
35	0	40	0.0 2	10	-10	1	0.785	0.03	1	0.7 5	0.67	1. 1	0.91
34	0	5	0.0 2	1	-1	- 0.0419	0.471	0.0754	1.246	0.7 5	0.064	1. 1	0.251
33	0	40	0.0 2	6.5	-6.5	1	0.73	0.03	1	0.7 5	0.53	1. 1	0.74
32	0	5	0.0 2	1	-1	-0.047	0.528	0.0845	1.26	0.7 5	0.072	1. 1	0.282
31	0	40	0.0 2	10. 5	- 10. 5	1	1.4	0.03	1	0.7 5	0.62	1. 1	0.85
30	0	40	0.0 2	10	-10	1	0.785	0.03	1	0.7 5	0.67	1. 1	0.91

Bảng PL 3.3: Thông số thiết bị điều chỉnh tần số TGOVI

Bus	R	T ₁	V _{max}	V _{min}	T ₂	T ₃	D _t
30	0.05	0.4	1	0	1.5	5	0
31	0.05	0.4	1	-0.05	1.5	5	0
32	0.05	0.4	1	-0.05	1.5	5	0
33	0.05	0.4	1	-0.05	1.5	5	0
34	0.05	0.4	1	-0.05	1.5	5	0
35	0.05	0.4	1	-0.05	1.5	5	0
36	0.05	0.4	1	-0.05	1.5	5	0
37	0.05	0.4	1	-0.05	1.5	5	0
38	0.05	0.4	1.2	-0.05	1.5	5	0
39	0.1	0.8	1.5	-0.05	1.5	5	0

Bảng PL 3.4: Công suất định mức, công suất Pmax, Pmin máy phát, điện áp đầu cực máy phát, công suất định mức tải

Bus	Type	Voltage e [pu]	Load		Generator			Unit No.
			MW	MVar	MW	MVar	Min MW	
1	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
2	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
3	PQ	-	322.0 0	2.40	0.00	0.00		
4	PQ	-	500.0 0	184.0 0	0.00	0.00		
5	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
6	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
7	PQ	-	233.8 0	84.00	0.00	0.00		
8	PQ	-	522.0 0	176.0 0	0.00	0.00		
9	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
10	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
11	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
12	PQ	-	7.50	88.00	0.00	0.00		
13	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
14	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
15	PQ	-	320.0 0	153.0 0	0.00	0.00		
16	PQ	-	329.0 0	32.30	0.00	0.00		
17	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
18	PQ	-	158.0 0	30.00	0.00	0.00		
19	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00		

20	PQ	-	628.0 0	103.0 0	0.00	0.00			
21	PQ	-	274.0 0	115.0 0	0.00	0.00			
22	PQ	-	0.00	0.00	0.00	0.00			
23	PQ	-	247.5 0	84.60	0.00	0.00			
24	PQ	-	308.6 0	-92.00	0.00	0.00			
25	PQ	-	224.0 0	47.20	0.00	0.00			
26	PQ	-	139.0 0	17.00	0.00	0.00			
27	PQ	-	281.0 0	75.50	0.00	0.00			
28	PQ	-	206.0 0	27.60	0.00	0.00			
29	PQ		283.5 0	26.90	0.00	0.00			
30	PV	1.0475	0.00	0.00	250.00	-	0.00	350.00	Gen10
31	PV	0.9820	9.20	4.60	-	-	0.00	1150.0 0	Gen2
32	PV	0.9831	0.00	0.00	650.00	-	0.00	750.00	Gen3
33	PV	0.9972	0.00	0.00	632.00	-	0.00	732.00	Gen4
34	PV	1.0123	0.00	0.00	508.00	-	0.00	608.00	Gen5
35	PV	1.0493	0.00	0.00	650.00	-	0.00	750.00	Gen6
36	PV	1.0635	0.00	0.00	560.00	-	0.00	660.00	Gen7
37	PV	1.0278	0.00	0.00	540.00	-	0.00	640.00	Gen8
38	PV	1.0265	0.00	0.00	830.00	-	0.00	930.00	Gen9
39	PV	1.0300	1104. 0	250.0	1000.0 0	-	0.00	1100.0 0	Gen1

Bảng PL 3.5: Thông số điện trở R_T , điện kháng X_T và thông số cài đặt đầu phân áp trên các máy biến áp

Line Data			Transformer Tap		
From Bus	To Bus	R_T	X_T	Magnitude	Angle
12	11	0.0016	0.0435	1.0060	0.0000
12	13	0.0016	0.0435	1.0060	0.0000
6	31	0.0000	0.0250	1.0700	0.0000
10	32	0.0000	0.0200	1.0700	0.0000
19	33	0.0007	0.0142	1.0700	0.0000
20	34	0.0009	0.0180	1.0090	0.0000
22	35	0.0000	0.0143	1.0250	0.0000
23	36	0.0005	0.0272	1.0000	0.0000
25	37	0.0006	0.0232	1.0250	0.0000
2	30	0.0000	0.0181	1.0250	0.0000
29	38	0.0008	0.0156	1.0250	0.0000
19	20	0.0007	0.0138	1.0600	0.0000

Bảng PL 3.6: Thông số điện trở, điện kháng và dung dẫn đường dây

From Bus	To Bus	Branch Device Type	R	X	B
1	2	Line	0.0035	0.0411	0.6987
1	39	Line	0.0010	0.0250	0.7500
2	3	Line	0.0013	0.0151	0.2572
2	25	Line	0.0070	0.0086	0.1460
2	30	Transformer	0.0000	0.0181	0.0000
3	18	Line	0.0011	0.0133	0.2138
3	4	Line	0.0013	0.0213	0.2214
4	14	Line	0.0008	0.0129	0.1382
4	5	Line	0.0008	0.0128	0.1342
5	8	Line	0.0008	0.0112	0.1476
5	6	Line	0.0002	0.0026	0.0434
6	11	Line	0.0007	0.0082	0.1389
6	7	Line	0.0006	0.0092	0.1130
7	8	Line	0.0004	0.0046	0.0780
8	9	Line	0.0023	0.0363	0.3804
9	39	Line	0.0010	0.0250	1.2000
10	32	Transformer	0.0000	0.0200	0.0000
10	13	Line	0.0004	0.0043	0.0729
10	11	Line	0.0004	0.0043	0.0729
12	13	Transformer	0.0016	0.0435	0.0000
12	11	Transformer	0.0016	0.0435	0.0000
13	14	Line	0.0009	0.0101	0.1723
14	15	Line	0.0018	0.0217	0.3660
15	16	Line	0.0009	0.0094	0.1710

16	24	Line	0.0003	0.0059	0.0680
16	21	Line	0.0008	0.0135	0.2548
16	19	Line	0.0016	0.0195	0.3040
16	17	Line	0.0007	0.0089	0.1342
17	27	Line	0.0013	0.0173	0.3216
17	18	Line	0.0007	0.0082	0.1319
19	33	Transformer	0.0007	0.0142	0.0000
19	20	Transformer	0.0007	0.0138	0.0000
20	34	Transformer	0.0009	0.0180	0.0000
21	22	Line	0.0008	0.0140	0.2565
22	35	Transformer	0.0000	0.0143	0.0000
22	23	Line	0.0006	0.0096	0.1846
23	36	Transformer	0.0005	0.0272	0.0000
23	24	Line	0.0022	0.0350	0.3610
25	37	Transformer	0.0006	0.0232	0.0000
25	26	Line	0.0032	0.0323	0.5130
26	29	Line	0.0057	0.0625	1.0290
26	28	Line	0.0043	0.0474	0.7802
26	27	Line	0.0014	0.0147	0.2396
28	29	Line	0.0014	0.0151	0.2490
29	38	Transformer	0.0008	0.0156	0.0000
31	6	Transformer	0.0000	0.0250	0.0000

PHỤ LỤC 4: Code chương trình

Phụ lục 4.1: Chương trình huấn luyện kết hợp so sánh neural bằng phương pháp lan truyền ngược 4 thuật toán với mạng hồi qui.

```
%===== Xoa cac du lieu cu va load du lieu moi lai
=====

clc,clear;
CP=0;
while max(CP) < 90
clc,clear;
load Tonghop_dulieu_Nghia_1;
%                               Tron                               du                               lieu
=====

M =dulieu;
r = randperm(size(M,1)); % permute row numbers
Mout = M(r,:);
X = (Mout(:,1:104));
Y = (Mout(:,105:109));
%
=====

[n, m] = size(X);
n_test=floor(0.15*n); % 15% test
n_train=n - n_test; % 85% train
j=0;
% train nhieu so bien khac nhau

for l=10:10:104
X1 = [ ]; X2 = [ ];
train_X2= [ ];
test_X2= [ ];
train_Y2= [ ];
test_Y2= [ ];
C=0;D=0;
X1 = X(:,1:l);
X2=zscore(X1); %chuan hoa

% tách du lieu ngõ vào, ra thành phần test và train
train_X2 = transpose(X2(1:n_train,:)); % ngõ vào train
test_X2 = transpose(X2((n_train+1):n,:)); % ngõ vào test
train_Y2 = transpose(Y(1:n_train,:)); % ngõ ra train
test_Y2 = transpose(Y((n_train+1):n,:)); % ngõ ra test
```

```

% huan luyen GRNN voi he so speard 0.1
grnn = newgrnn(train_X2, train_Y2, 0.1);

% lay du dieu ngo ra ung voi du lieu ngo vao phan train va test su dung ham
% grnn vua moi huan luyen
test_K =round( sim(grnn, train_X2));
test_P =round( sim(grnn, test_X2));
if j == 0
% TÍNH ĐỘ CHÍNH XÁC TEST
for k=1:1:n_test
if      (test_Y2(1,k)==test_P(1,k))      &      (test_Y2(2,k)==test_P(2,k))&
(test_Y2(3,k)==test_P(3,k))&      (test_Y2(4,k)==test_P(4,k))&
(test_Y2(5,k)==test_P(5,k))
      C = C + 1;
end;
end;
      CP = (C*100)/n_test;

% TÍNH ĐỘ CHÍNH XÁC TRAIN
for k=1:1:n_train
if      (train_Y2(1,k)==test_K(1,k))      &      (train_Y2(2,k)==test_K(2,k))&
(train_Y2(3,k)==test_K(3,k))&      (train_Y2(4,k)==test_K(4,k))&
(train_Y2(5,k)==test_K(5,k))
      D = D + 1;
end;
end;
      CK = (D*100)/n_train;
else
% TÍNH ĐỘ CHÍNH XÁC TEST
for k=1:1:n_test
if      (test_Y2(1,k)==test_P(1,k))      &      (test_Y2(2,k)==test_P(2,k))&
(test_Y2(3,k)==test_P(3,k))&      (test_Y2(4,k)==test_P(4,k))&
(test_Y2(5,k)==test_P(5,k))
      C = C + 1;
end;
end;
      CP1 = (C*100)/n_test;

% TÍNH ĐỘ CHÍNH XÁC TRAIN
for k=1:1:n_train
if      (train_Y2(1,k)==test_K(1,k))      &      (train_Y2(2,k)==test_K(2,k))&
(train_Y2(3,k)==test_K(3,k))&      (train_Y2(4,k)==test_K(4,k))&
(train_Y2(5,k)==test_K(5,k))
      D = D + 1;
end;
end;

```

```

end;
end;
    CK1 = (D*100)/n_train;

    CP = [CP,CP1]; % tong hop do chinh xac testing cac bien khac nhau
    CK = [CK,CK1]; % tong hop do chinh xac training cac bien khac nhau
end;
    j = j + 1;
end;
end;

% ve do thi kiem tra do chinh xac ung voi nhieu muc bien khac nhau
z=10:10:m;
% do thi test
plot(z, CP, '-or');
hold on
% do thi train
plot(z, CK, '-^r');
%=====
=====
=====
=====

%      INITIALIZE      THE      NEURAL      NETWORK      PROBLEM
%=====
clc,clear
load('Tonghop_dulieu_Nghia_1');
% inputs for the neural net
% targets for the neural net
%              Tron              du              lieu
%=====
=
M =dulieu;
r = randperm(size(M,1)); % permute row numbers
Mout = M(r,:);
X = (Mout(:,1:104));
Y = (Mout(:,105:109));
%
%=====
=====

[n, m] = size(X);
n_test=floor(0.15*n); % 15% test
n_train=n - n_test; % 85% train
j=0;

```

```

% train nhieu so bien khac nhau
%=====
=====
for l= 10:10:m
for nh=8
X1 = [ ]; X2 = [ ];
train_X2= [ ];
test_X2= [ ];
train_Y2= [ ];
test_Y2= [ ];
C=0;D=0;
X1 = X(:,1:l);
X2=zscore(X1); %code chuan hoa

% tách du lieu ngõ vào, ra thành phần test và train
train_X2 = transpose(X2(1:n_train,:)); % ngõ vào train
test_X2 = transpose(X2((n_train+1):n,:)); % ngõ vào test
train_Y2 = transpose(Y(1:n_train,:)); % ngõ ra train
test_Y2 = transpose(Y((n_train+1):n,:)); % ngõ ra test
% huan luyen BPNN voi he so speard 0.1
bpnn=newff(train_X2,train_Y2,[nh],{'tansig','purelin'},'trainlm');
[bpnn,tr] = train(bpnn,train_X2,train_Y2);
% lay du lieu ngo ra ung voi du lieu ngo vao phan train va test su dung ham
% grnn vua moi huan luyen
test_K =round( sim(bpnn, train_X2));
test_P =round( sim(bpnn, test_X2));
if j == 0
% TÍNH DO CHÍNH XÁC TEST
for k=1:1:n_test
if (test_Y2(1,k)==test_P(1,k)) & (test_Y2(2,k)==test_P(2,k))&
(test_Y2(3,k)==test_P(3,k))& (test_Y2(4,k)==test_P(4,k))&
(test_Y2(5,k)==test_P(5,k))
C = C + 1;
end;
end;
CP_1 = (C*100)/n_test;

% TÍNH DO CHÍNH XÁC TRAIN
for k=1:1:n_train
if (train_Y2(1,k)==test_K(1,k)) & (train_Y2(2,k)==test_K(2,k))&
(train_Y2(3,k)==test_K(3,k))& (train_Y2(4,k)==test_K(4,k))&
(train_Y2(5,k)==test_K(5,k))
D = D + 1;
end;

```

```

end;
    CK_1 = (D*100)/n_train;
else
% TÍNH DO CHÍNH XÁC TEST
for k=1:1:n_test
if      (test_Y2(1,k)==test_P(1,k))      &      (test_Y2(2,k)==test_P(2,k))&
(test_Y2(3,k)==test_P(3,k))&      (test_Y2(4,k)==test_P(4,k))&
(test_Y2(5,k)==test_P(5,k))
        C = C + 1;
end;
end;
    CP1_1 = (C*100)/n_test;

% TÍNH DO CHÍNH XÁC TRAIN
for k=1:1:n_train
if      (train_Y2(1,k)==test_K(1,k))      &      (train_Y2(2,k)==test_K(2,k))&
(train_Y2(3,k)==test_K(3,k))&      (train_Y2(4,k)==test_K(4,k))&
(train_Y2(5,k)==test_K(5,k))
        D = D + 1;
end;
end;
    CK1_1 = (D*100)/n_train;

    CP_1 = [CP_1,CP1_1]; % tong hop do chinh xac testing cac bien khac nhau
    CK_1 = [CK_1,CK1_1]; % tong hop do chinh xac training cac bien khac nhau
end;
    j = j + 1;
end;
end;
% ve do thi kiem tra do chinh xac ung voi nhieu muc bien khac nhau
z=10:10:m;
% do thi test
plot(z, CP_1, '-ok');
hold on
% do thi train
plot(z, CK_1, '-^k');
%=====
%=====
%=====
% INITIALIZE THE NEURAL NETWORK PROBLEM
%=====
clc,clear
load('Tonghop_dulieu_Nghia_1');
% inputs for the neural net

```

```

% targets for the neural net
% Tron du lieu
=====
=
M =dulieu;
r = randperm(size(M,1)); % permute row numbers
Mout = M(r,:);
X = (Mout(:,1:104));
Y = (Mout(:,105:109));
%
=====

[n, m] = size(X);
n_test=floor(0.15*n); % 15% test
n_train=n - n_test; % 85% train
j=0;
% train nhieu so bien khac nhau
%=====

for l= 10:10:m
for nh=8
X1 = [ ]; X2 = [ ];
train_X2= [ ];
test_X2= [ ];
train_Y2= [ ];
test_Y2= [ ];
C=0;D=0;
X1 = X(:,1:l);
X2=zscore(X1); %chuan hoa

% tách du lieu ngõ vào, ra thành phần test và train
train_X2 = transpose(X2(1:n_train,:)); % ngõ vào train
test_X2 = transpose(X2((n_train+1):n,:)); % ngõ vào test
train_Y2 = transpose(Y(1:n_train,:)); % ngõ ra train
test_Y2 = transpose(Y((n_train+1):n,:)); % ngõ ra test
% huan luyen BPNN voi he so speard 0.1
bpnn=newff(train_X2,train_Y2,[nh],{'tansig','purelin'},'trainbr');
[bpnn,tr] = train(bpnn,train_X2,train_Y2);
% lay du dieu ngo ra ung voi du lieu ngo vao phan train va test su dung ham
% grnn vua moi huan luyen
test_K =round( sim(bpnn, train_X2));
test_P =round( sim(bpnn, test_X2));
if j == 0
% TÍNH DO CHÍNH XÁC TEST

```

```

for k=1:1:n_test
if      (test_Y2(1,k)==test_P(1,k))      &      (test_Y2(2,k)==test_P(2,k))&
(test_Y2(3,k)==test_P(3,k))&      (test_Y2(4,k)==test_P(4,k))&
(test_Y2(5,k)==test_P(5,k))
      C = C + 1;
end;
end;
      CP_2 = (C*100)/n_test;

% TÍNH DO CHÍNH XÁC TRAIN
for k=1:1:n_train
if      (train_Y2(1,k)==test_K(1,k))      &      (train_Y2(2,k)==test_K(2,k))&
(train_Y2(3,k)==test_K(3,k))&      (train_Y2(4,k)==test_K(4,k))&
(train_Y2(5,k)==test_K(5,k))
      D = D + 1;
end;
end;
      CK_2 = (D*100)/n_train;
else
% TÍNH DO CHÍNH XÁC TEST
for k=1:1:n_test
if      (test_Y2(1,k)==test_P(1,k))      &      (test_Y2(2,k)==test_P(2,k))&
(test_Y2(3,k)==test_P(3,k))&      (test_Y2(4,k)==test_P(4,k))&
(test_Y2(5,k)==test_P(5,k))
      C = C + 1;
end;
end;
      CP1_2 = (C*100)/n_test;

% TÍNH DO CHÍNH XÁC TRAIN
for k=1:1:n_train
if      (train_Y2(1,k)==test_K(1,k))      &      (train_Y2(2,k)==test_K(2,k))&
(train_Y2(3,k)==test_K(3,k))&      (train_Y2(4,k)==test_K(4,k))&
(train_Y2(5,k)==test_K(5,k))
      D = D + 1;
end;
end;
      CK1_2 = (D*100)/n_train;

      CP_2 = [CP_2,CP1_2]; % tong hop do chinh xac testing cac bien khac nhau
      CK_2 = [CK_2,CK1_2]; % tong hop do chinh xac training cac bien khac nhau
end;
      j = j + 1;
end;

```

```

end;
% ve do thi kiem tra do chinh xac ung voi nhieu muc bien khac nhau
z=10:10:m;
% do thi test
plot(z, CP_2, '-ob');
hold on
% do thi train
plot(z, CK_2, '-^b');
%=====
=====
=====
%      INITIALIZE      THE      NEURAL      NETWORK      PROBLEM
%=====
clc,clear
load('Tonghop_dulieu_Nghia_1');
% inputs for the neural net
% targets for the neural net
%              Tron              du              lieu
%=====
=
M =dulieu;
r = randperm(size(M,1)); % permute row numbers
Mout = M(r,:);
X = (Mout(:,1:104));
Y = (Mout(:,105:109));
%
%=====
=====
[n, m] = size(X);
n_test=floor(0.15*n); % 15% test
n_train=n - n_test; % 85% train
j=0;
% train nhieu so bien khac nhau
%=====
=====
for l= 10:10:m
for nh=8
X1 = [ ]; X2 = [ ];
train_X2= [ ];
test_X2= [ ];
train_Y2= [ ];
test_Y2= [ ];
C=0;D=0;

```



```

X1 = X(:,1:l);
X2=zscore(X1); %chuan hoa

% tách du lieu ngõ vào, ra thành phần test và train
train_X2 = transpose(X2(1:n_train,:)); % ngõ vào train
test_X2 = transpose(X2((n_train+1):n,:)); % ngõ vào test
train_Y2 = transpose(Y(1:n_train,:)); % ngõ ra train
test_Y2 = transpose(Y((n_train+1):n,:)); % ngõ ra test
% huan luyen BPNN voi he so speard 0.1
bpnn=newff(train_X2,train_Y2,[nh],{'tansig','purelin'},'trainscg');
[bpnn,tr] = train(bpnn,train_X2,train_Y2);
% lay du lieu ngo ra ung voi du lieu ngo vao phan train va test su dung ham
% grnn vua moi huan luyen
test_K =round( sim(bpnn, train_X2));
test_P =round( sim(bpnn, test_X2));
if j == 0
% TÍNH DO CHÍNH XÁC TEST
for k=1:1:n_test
if (test_Y2(1,k)==test_P(1,k)) & (test_Y2(2,k)==test_P(2,k))&
(test_Y2(3,k)==test_P(3,k))& (test_Y2(4,k)==test_P(4,k))&
(test_Y2(5,k)==test_P(5,k))
C = C + 1;
end;
end;
CP_3 = (C*100)/n_test;

% TÍNH DO CHÍNH XÁC TRAIN
for k=1:1:n_train
if (train_Y2(1,k)==test_K(1,k)) & (train_Y2(2,k)==test_K(2,k))&
(train_Y2(3,k)==test_K(3,k))& (train_Y2(4,k)==test_K(4,k))&
(train_Y2(5,k)==test_K(5,k))
D = D + 1;
end;
end;
CK_3 = (D*100)/n_train;
else
% TÍNH DO CHÍNH XÁC TEST
for k=1:1:n_test
if (test_Y2(1,k)==test_P(1,k)) & (test_Y2(2,k)==test_P(2,k))&
(test_Y2(3,k)==test_P(3,k))& (test_Y2(4,k)==test_P(4,k))&
(test_Y2(5,k)==test_P(5,k))
C = C + 1;
end;
end;

```

```

CP1_3 = (C*100)/n_test;

% TÍNH DO CHÍNH XÁC TRAIN
for k=1:1:n_train
if (train_Y2(1,k)==test_K(1,k)) & (train_Y2(2,k)==test_K(2,k))&
(train_Y2(3,k)==test_K(3,k))& (train_Y2(4,k)==test_K(4,k))&
(train_Y2(5,k)==test_K(5,k))
D = D + 1;
end;
end;
CK1_3 = (D*100)/n_train;

CP_3 = [CP_3,CP1_3]; % tong hop do chinh xac testing cac bien khac nhau
CK_3 = [CK_3,CK1_3]; % tong hop do chinh xac training cac bien khac nhau
end;
j = j + 1;
end;
end;
% ve do thi kiem tra do chinh xac ung voi nhieu muc bien khac nhau
z=10:10:m;
plot(z, CP_3, '-og');
hold on
% do thi train
plot(z, CK_3, '-^g');
%=====
=====
=====
% INITIALIZE THE NEURAL NETWORK PROBLEM
%=====
clc,clear
load('Tonghop_dulieu_Nghia_1');
% inputs for the neural net
% targets for the neural net
% Tron du lieu
%=====
=
M =dulieu;
r = randperm(size(M,1)); % permute row numbers
Mout = M(r,:);
X = (Mout(:,1:104));
Y = (Mout(:,105:109));
%
%=====
=====

```

```

[n, m] = size(X);
n_test=floor(0.15*n); % 15% test
n_train=n - n_test; % 85% train
j=0;
% train nhieu so bien khac nhau
%=====
=====
for l= 10:10:m
for nh=8
X1 = [ ]; X2 = [ ];
train_X2= [ ];
test_X2= [ ];
train_Y2= [ ];
test_Y2= [ ];
C=0;D=0;
X1 = X(:,1:l);
X2=zscore(X1); %chuan hoa

% tách du lieu ngõ vào, ra thành phan test và train
train_X2 = transpose(X2(1:n_train,:)); % ngõ vào train
test_X2 = transpose(X2((n_train+1):n,:)); % ngõ vào test
train_Y2 = transpose(Y(1:n_train,:)); % ngõ ra train
test_Y2 = transpose(Y((n_train+1):n,:)); % ngõ ra test
% huan luyen BPNN voi he so speard 0.1
bpnn=newff(train_X2,train_Y2,[nh],{'tansig','purelin'},'trainrp');
[bpnn,tr] = train(bpnn,train_X2,train_Y2);
% lay du dieu ngo ra ung voi du lieu ngo vao phan train va test su dung ham
% grnn vua moi huan luyen
test_K =round( sim(bpnn, train_X2));
test_P =round( sim(bpnn, test_X2));
if j == 0
% TÍNH ĐỘ CHÍNH XÁC TEST
for k=1:1:n_test
if (test_Y2(1,k)==test_P(1,k)) & (test_Y2(2,k)==test_P(2,k))&
(test_Y2(3,k)==test_P(3,k))& (test_Y2(4,k)==test_P(4,k))&
(test_Y2(5,k)==test_P(5,k))
C = C + 1;
end;
end;
CP_4 = (C*100)/n_test;

% TÍNH ĐỘ CHÍNH XÁC TRAIN
for k=1:1:n_train

```

```

if      (train_Y2(1,k)==test_K(1,k))      &      (train_Y2(2,k)==test_K(2,k))&
(train_Y2(3,k)==test_K(3,k))&          (train_Y2(4,k)==test_K(4,k))&
(train_Y2(5,k)==test_K(5,k))
        D = D + 1;

end;
end;
    CK_4 = (D*100)/n_train;
else
% TÍNH DO CHÍNH XÁC TEST
for k=1:1:n_test
if      (test_Y2(1,k)==test_P(1,k))      &      (test_Y2(2,k)==test_P(2,k))&
(test_Y2(3,k)==test_P(3,k))&          (test_Y2(4,k)==test_P(4,k))&
(test_Y2(5,k)==test_P(5,k))
        C = C + 1;

end;
end;
    CP1_4 = (C*100)/n_test;

% TÍNH DO CHÍNH XÁC TRAIN
for k=1:1:n_train
if      (train_Y2(1,k)==test_K(1,k))      &      (train_Y2(2,k)==test_K(2,k))&
(train_Y2(3,k)==test_K(3,k))&          (train_Y2(4,k)==test_K(4,k))&
(train_Y2(5,k)==test_K(5,k))
        D = D + 1;

end;
end;
    CK1_4 = (D*100)/n_train;

CP_4 = [CP_4,CP1_4]; % tong hop do chinh xac testing cac bien khac nhau
CK_4 = [CK_4,CK1_4]; % tong hop do chinh xac training cac bien khac nhau
end;
j = j + 1;
end;
end;
% ve do thi kiem tra do chinh xac ung voi nhieu muc bien khac nhau
z=10:10:m;
% do thi test
plot(z, CP_4, '-om');
hold on
% do thi train
plot(z, CK_4, '-^m');
%=====
=====
=====

```