

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP.HCM

LÊ TRỌNG NGHĨA

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

Chuyên ngành: KỸ THUẬT ĐIỆN

Mã số chuyên ngành: 9520201

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH – NĂM 2020

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

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:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án Cấp Trường họp tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM

vào ngày tháng năm

DANH MỤC 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.
10. **Le Trong Nghia**, Huy Anh Quyen, Huu Kiet. 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. 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; ISSN: 1859 –1272.
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).

CHƯƠNG 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.

Khi xảy ra các sự cố lớn, 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 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.

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

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

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

6. Cấu trúc của luận án

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ SA THẢI PHỤ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

1.1 Tổng quan về các sự cố hệ thống điện

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

1.3 Yếu tố lựa chọn sa thải tải

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) [2].

1.4.1 Sa thải phụ tải truyền thống

a. Sa thải phụ tải dưới tần số (UFLS) [9], [10] [11]

b. Sa thải phụ tải dưới điện áp (UVLS) [16], [17] [18]

1.4.2 Sa thải phụ tải thích nghi [19], [21]

1.4.3 Phương pháp sa thải phụ tải thông minh

Sa thải phụ tải thông minh ILS (Intelligent Load Shedding) 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: các cơ sở tri thức, danh sách nhiễu và các công cụ tính toán ILS [22] - [29].

a. Phương pháp ứng dụng mạng neural (ANN) trong sa thải phụ tải [25], [30], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42].

b. Ứng dụng điều khiển mờ trong sa thải phụ tải [43], [44], [45], [46], [47]

c. Ứng dụng hệ thống suy luận neural-mờ thích nghi (ANFIS) trong sa thải phụ tải [48], [43], [49]

d. Ứng dụng thuật toán di truyền (GA) trong sa thải phụ tải [51], [52] [53], [54], [55], [56], [57], [58], [59].

e. Ứng dụng thuật toán PSO trong sa thải phụ tải [61], [62]

CHƯƠNG 2 PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN KHẨN CẤP SA THẢI PHỤ TẢI TRONG HỆ THỐNG ĐIỆN

2.1 Đặt vấn đề

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

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.

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

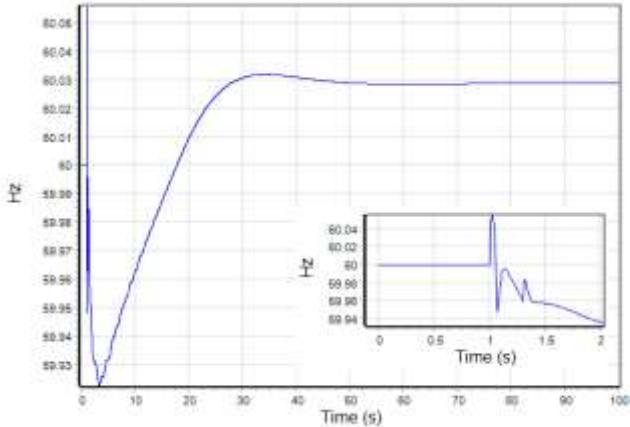
2.2.3 Xây dựng chiến lược điều khiển sa thải phụ tải dựa trên thuật toán AHP

2.2.4 Huấn luyện mạng nơ-ron ANN2

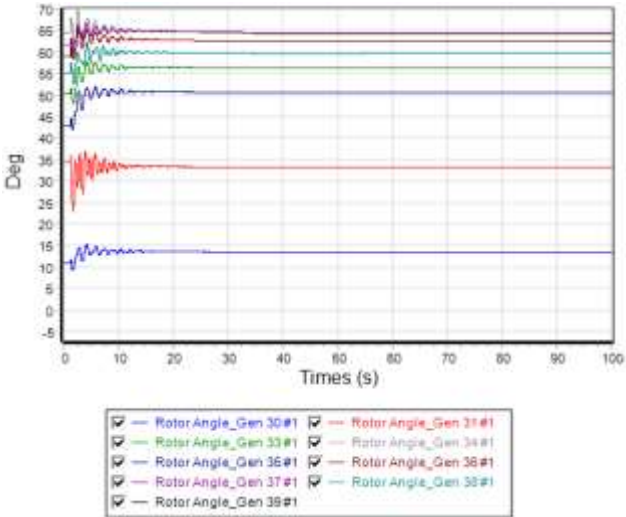
2.2.5 Mô phỏng – Kiểm nghiệm phương pháp sa thải phụ tải đề xuất trên sơ đồ hệ thống điện chuẩn

Phương pháp sa thải phụ tải đề xuất được mô phỏng 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. Kết quả mô phỏng tần số và góc lệch rotor khi thực hiện sa thải phụ tải theo phương pháp sa thải phụ tải đề xuất được trình bày ở Hình 2.9 và Hình 2.10.



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

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 tải 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.

Chương 3 PHƯƠNG PHÁP SA THẢI PHỤ TẢI TRÊN CƠ SỞ ÁP DỤNG THUẬT TOÁN FUZZY-AHP

3.1 Đặt vấn đề

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

3.3 Tổng quan về thuật toán Fuzzy – AHP [72]-[74].

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.

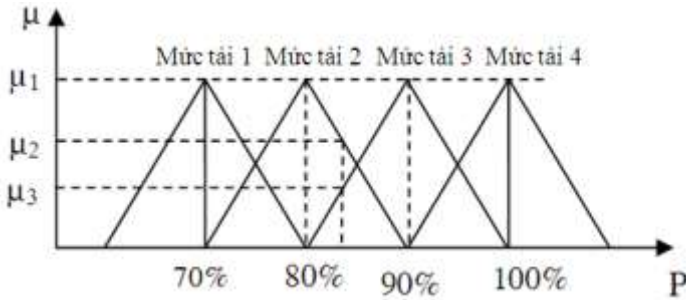
3.4.1 Nghiên cứu phương pháp sa thải phụ tải dựa trên việc áp dụng thuật toán AHP

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.

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.

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 3.1: 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 CL_2 .

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 3.31: So sánh 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.

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

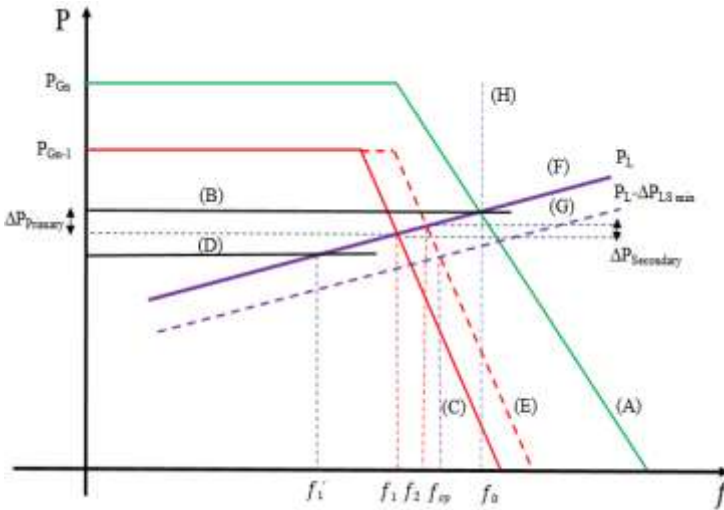
4.1 Đặt vấn đề

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

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

4.4 Điều chỉnh tần số sơ cấp trong hệ thống điện

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.



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

4.6 Tính toán lượng công suất sa 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 sa thải phụ tải tối thiểu

Việc tính toán lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu $P_{LS \min}$ nhằm đảm bảo sa 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.

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

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. Trạng thái cân bằng công suất mới 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: $\Delta P_L = \frac{-\Delta f_1}{f_n} \cdot \beta$ (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_{LSmin} được tính theo biểu thức sau:

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

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

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

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:

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

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]. 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.

Lượng công suất sa thải phụ tải tối thiểu $P_{\text{Load shedding min}}$ tính toán được là 17,64MW.

Kết quả tính toán và 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 đã đảm bảo giúp cho tần số hệ thống điện phục hồi về giá trị cho phép 59,7Hz.

CHƯƠNG 5 PHƯƠNG PHÁP SA THẢI PHỤ TẢI CÓ XÉT ĐẾN VIỆC PHỐI HỢP NHIỀU PHƯƠNG PHÁP

5.1 Đặt vấn đề

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

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: Sắp xếp thứ tự các nút tải theo ưu tiên PED tăng dần giữa nút tải và máy phát bị sự cố tương tương ứng.

Biểu thức tính toán lượng công suất sa thải tại các nút tải theo PED trình bày ở biểu thức (5.7) [86]:

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

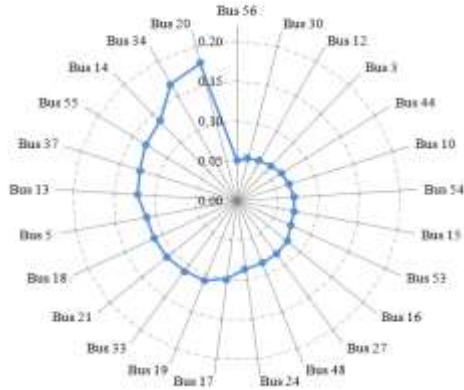
Với

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

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

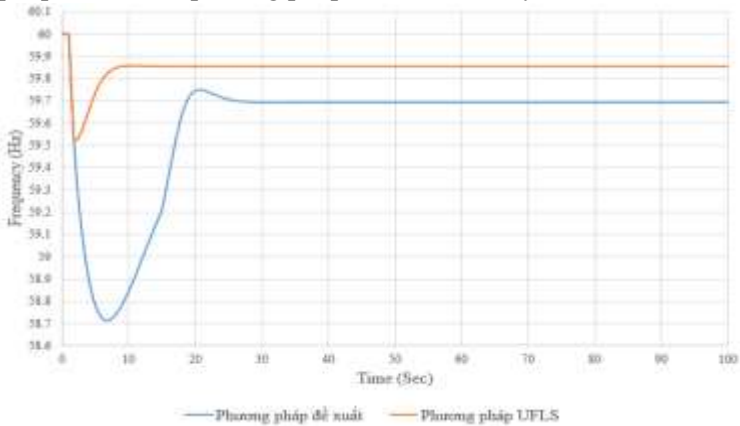
Quan hệ PED giữa máy phát JO345#1 và các bus tải trình bày ở Hình 5.1.

GEN JO345#1

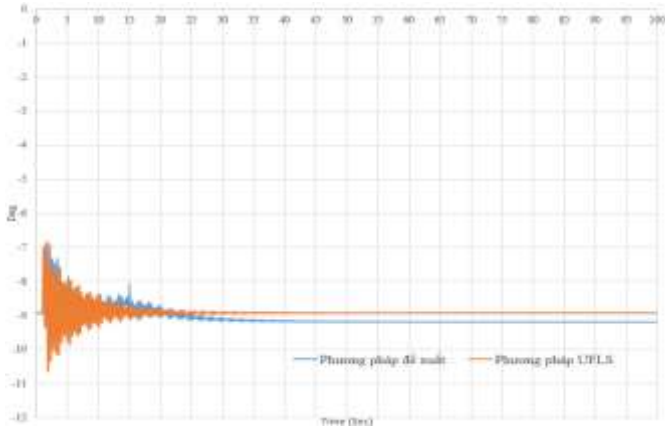


Hình 5.1: Quan hệ PED giữa máy phát JO345#1 và các nút tải

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 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

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.

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)

Biểu thức (5.12) có thể xem như 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 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_{Vmi} 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

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]. Giá trị điện áp phục hồi tại các nút tải của 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.

Các kết quả so sánh cho thấy trong cả hai phương pháp sa thải phụ tải, giá trị tần số phục 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 phục 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 phục 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

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:

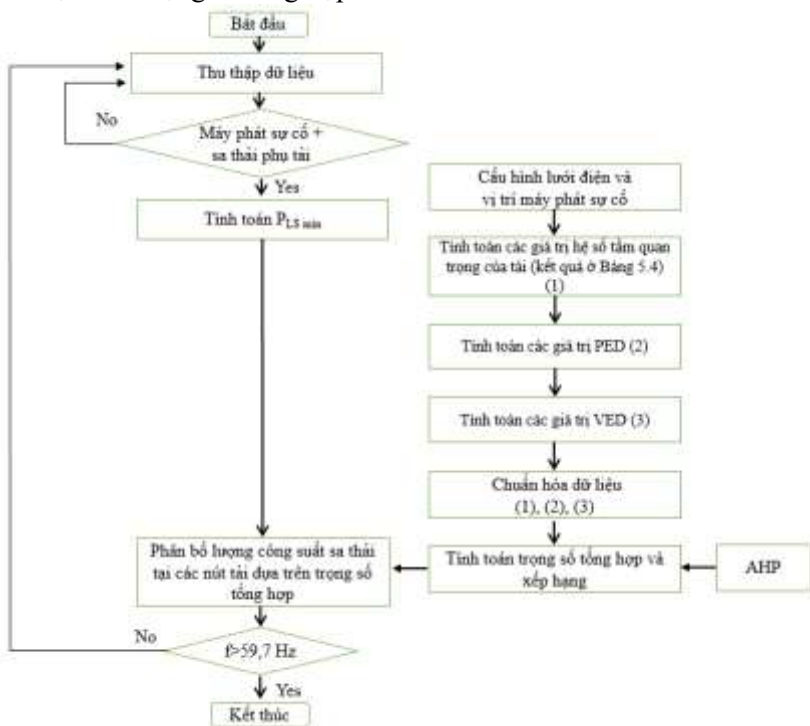
Bước 1: Xác định số lượng các tiêu chí cần thỏa mãn khi sa thải phụ tải.

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 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

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

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 .

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.

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.

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:

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

Vectơ 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:

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

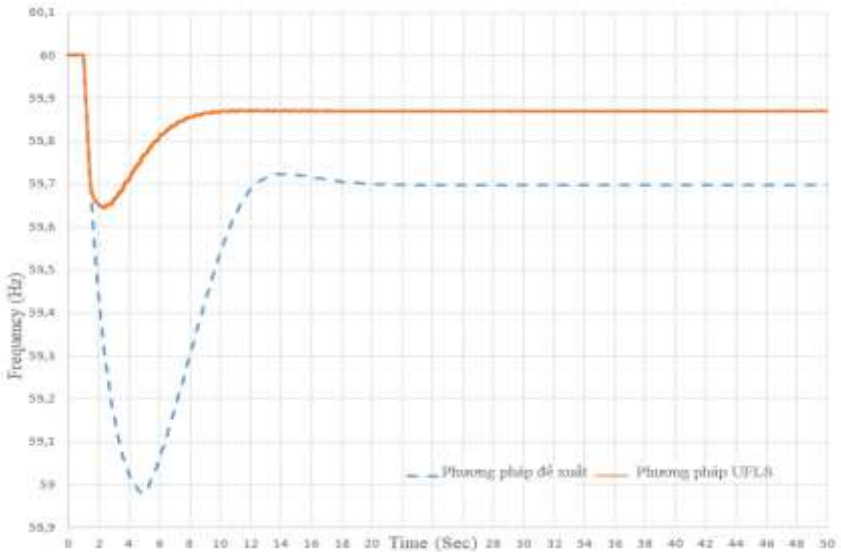
Ở đây, μ_i là giá trị trọng số tổng hợp của mỗi phụ tải, W_i là các giá trị trọng số của ma trận W, $W_{D,j}$ là các giá trị đại diện cho $W_{FAHP} W_{D_v(i,j)} W_{D_p(i,j)}$

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:

$$P_{LSi} = \frac{\mu_{eq}}{\mu_{A_i}} \cdot P_{LSmin} \quad (5.19)$$

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;

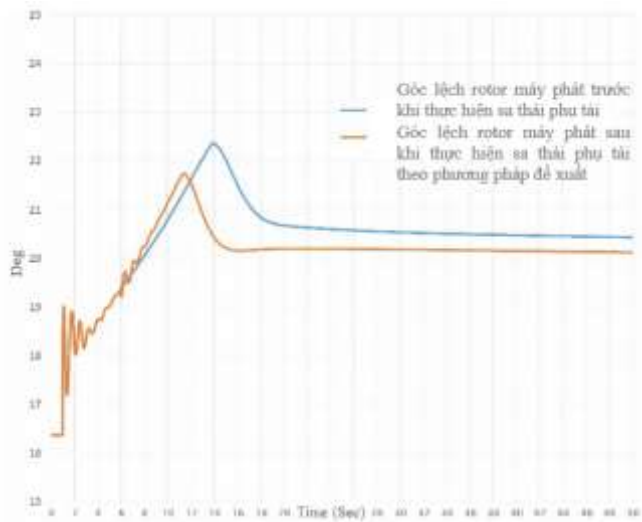
Kết quả so sánh tần số của phương pháp đề xuất và phương pháp UFLS được trình bày ở Hình 5.12.



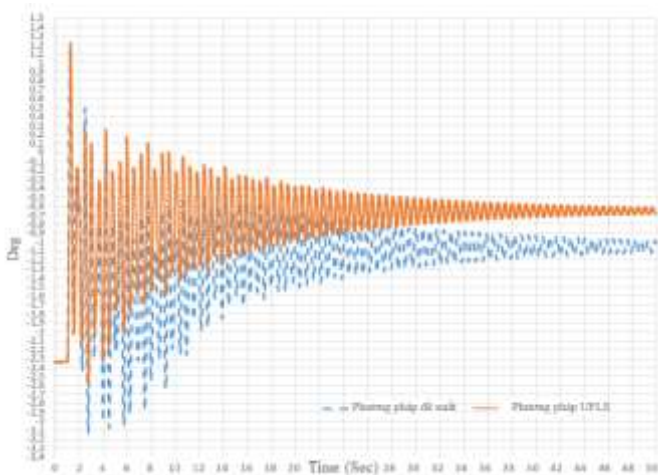
Hình 5.12: Tần số sau khi sa thải phụ tải của phương pháp đề xuất và phương pháp truyền thống UFLS

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.

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.