

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM
HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**



ĐẶNG THÀNH TRUNG

**NGHIÊN CỨU ĐIỀU KHIỂN, VẬN HÀNH TỐI ƯU
HỆ THỐNG ĐIỆN PHÂN PHỐI CÓ SỰ THAM GIA CỦA
CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG GIÓ, NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ NGÀNH KỸ THUẬT ĐIỆN, ĐIỆN
TỬ VÀ VIỄN THÔNG
MÃ SỐ: 952 02 16**

HÀ NỘI – 2022

**Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ-
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. Thái Quang Vinh

Người hướng dẫn khoa học 2: TSKH. Trần Kỳ Phúc

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án tiến sĩ cấp Học viện, họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi ... giờ ..', ngày ... tháng ... năm 202....

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
- Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Các nguồn điện mặt gió, điện mặt trời phát triển rất mạnh mẽ đặc biệt ở lưới điện hạ áp. Do tính biến thiên liên tục của các nguồn điện này làm cho điện áp nút, dòng điện nhánh nằm ngoài giới hạn cho phép. Khi đó, hệ thống sẽ ngắt kết nối với các nguồn điện gió, điện mặt trời này và không phát được công suất lên lưới điện gây ảnh hưởng đến hiệu quả đầu tư, hỏng thiết bị. Do đó, rất cần một giải pháp để điều khiển, vận hành hệ thống điện phân phối để đảm bảo sử dụng tối đa nguồn điện gió, điện mặt trời và tối ưu kinh tế.

2. Mục tiêu, phạm vi, đối tượng và phương pháp nghiên cứu

a, Mục tiêu của đề tài

+ Đề xuất các giải pháp nhằm điều khiển, vận hành tối ưu hệ thống điện phân phối khi có sự tham gia của nguồn điện gió, điện mặt trời nhằm đảm bảo tận dụng tối đa công suất phát của các nguồn điện này và đảm bảo điện áp nút, dòng điện nhánh nằm trong giới hạn cho phép.

b, Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

+ Phạm vi nghiên cứu: Nghiên cứu các giải pháp điều khiển vận hành hệ thống điện phân phối có sự tham gia của nguồn điện gió, điện mặt trời.

+ Đối tượng nghiên cứu: 1 pha của lưới điện hạ áp

c, Phương pháp nghiên cứu

+ Nghiên cứu lý thuyết: Phân tích, xây dựng cơ sở lý thuyết áp dụng cho bài toán

+ Công cụ: Thuật toán di truyền (GA), thuật toán bầy đàn (PSO), thuật toán tính 1 pha lưới điện hạ áp, tính trào lưu công suất tối ưu sử dụng phương pháp hàm chẵn, thuật toán Monte Carlo, mạng nơ ron nhân tạo cho bài toán dự báo.

3. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

+ Ý nghĩa khoa học: Khẳng định lại đúng đắn của một số lý thuyết được xem xét và áp dụng vào nghiên cứu tính toán trong dự báo, điều khiển và tính toán độ tin cậy. Đề xuất giải pháp điều khiển vận hành tối ưu lưới điện hạ áp có sự tham gia của nguồn điện gió, điện mặt trời.

+ Ý nghĩa thực tiễn: Áp dụng cho lưới điện hạ áp giúp tăng chất lượng vận hành hệ thống điện có sự tham gia của nguồn năng lượng mới.

4. Cấu trúc luận án

Nội dung nghiên cứu của luận án được trình bày trong ba chương

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐIỀU KHIỂN VẬN HÀNH TỐI ƯU HỆ THỐNG ĐIỆN PHÂN PHỐI CÓ SỰ THAM GIA CỦA NGUỒN NĂNG LƯỢNG GIÓ, NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

1.1. Đặc điểm của hệ thống điện và bài toán điều khiển vận hành tối ưu hệ thống điện

Với hệ thống điện ngày nay, do nguồn điện cũng biến thiên liên tục nên ngoài việc điều khiển phân bố công suất của các nguồn điện truyền thống thì hệ thống còn phải điều khiển phụ tải, điều khiển sạc/xả bộ tích trữ năng lượng để cân bằng công suất và sử dụng tối đa nguồn điện gió, điện mặt trời.

1.2. Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước về điều khiển, vận hành tối ưu hệ thống điện có sự tham gia của nguồn năng lượng gió, năng lượng mặt trời

Luận án phân tích 12 tài liệu, nghiên cứu trong nước và 85 tài liệu, nghiên cứu nước ngoài về điều khiển vận hành tối ưu hệ thống điện có sự tham gia của các nguồn năng lượng gió và năng lượng mặt trời.

1.3. Nhận định về tình hình nghiên cứu liên quan đến đề tài và đề xuất mục tiêu nghiên cứu của luận án

Từ những nghiên cứu trên, luận án nhận thấy rằng các nghiên cứu trên chưa đề xuất đến tính công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới điện hạ áp khi xét tới điện áp nút và dòng điện nhánh nằm trong giá trị cho phép và chưa xét đến giải tỏa công suất của các nguồn điện gió, điện mặt trời. Các nghiên cứu trên cũng không xét đến điều khiển phân bố lại công suất phát của các nguồn điện truyền thống (trào lưu công suất tối ưu) và hệ số có lợi tại vị trí xây dựng nguồn điện gió, điện mặt trời. Các nghiên cứu điều khiển lưới điện thường sử dụng bộ tích trữ năng lượng để cân bằng công suất và cung cấp điện cho phụ tải khi mất nguồn điện từ máy biến áp hạ áp. Nhưng chi phí đầu tư và vận hành bộ tích trữ năng lượng là rất lớn.

Từ những phân tích trên, luận án đề xuất những nội dung chính sau:

+ Xây dựng phương pháp tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên 1 pha lưới điện hạ áp (bao gồm các nguồn điện kết nối 1 pha và các nguồn kết nối 3 pha và phát pha đó) với ràng buộc điện áp nút và dòng điện nhánh luôn nằm trong giá trị cho phép khi xét đến khả năng giải tỏa công suất lên lưới điện cao

áp, điều khiển phân bố tối ưu công suất phát của các nguồn điện truyền thống và hệ số có lợi vị trí.

+ Dự báo, điều khiển phụ tải nhằm giảm ảnh hưởng xấu của nguồn điện gió, điện mặt trời, tối ưu kinh tế. Mở rộng giải pháp điều khiển phụ tải khi sử dụng trạm sạc xe điện để cấp điện cho phụ tải trong trường hợp mất nguồn điện từ máy biến áp hạ áp.

1.4. Kết luận chương 1

Trong chương 1, luận án đã nêu đặc điểm của lưới điện khi có sự tham gia của nguồn điện gió, điện mặt trời, phân tích các tài liệu tham khảo và đề xuất nội dung chính của luận án.

CHƯƠNG 2: TÍNH TỔNG CÔNG SUẤT LỚN NHẤT CỦA NGUỒN ĐIỆN GIÓ, ĐIỆN MẶT TRỜI PHÁT LÊN LƯỚI ĐIỆN

2.1. Đặt vấn đề

Sau khi phân tích các tài liệu tham khảo, ta thấy rằng việc giới hạn công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời là rất quan trọng. Thuật toán phù hợp để tính tổng công suất lớn nhất là thuật toán di truyền (GA) hoặc thuật toán bầy đàn (PSO).

2.2. Tìm hiểu về các thuật toán cực trị có ràng buộc

Hiện nay, có nhiều thuật toán tìm cực trị có ràng buộc, nhưng qua phân tích các nghiên cứu ta sẽ sử dụng thuật toán di truyền (GA) và thuật toán bầy đàn (PSO) cho bài toán tìm tổng công suất lớn nhất.

2.2.1. Thuật toán di truyền (GA)

Thuật toán di truyền dựa trên cơ chế chọn lọc tự nhiên của ngành di truyền học gồm các bước: Mã hóa cá thể, xác định hàm độ phù hợp, phép toán chọn lọc, lai ghép, đột biến và lựa chọn các thế mới.

2.2.2. Thuật toán bầy đàn (PSO)

Thuật toán bầy đàn dựa trên mô hình đàn chim đi tìm kiếm thức ăn nhằm đạt được giá trị tối ưu trong miền tìm kiếm. Thuật toán bầy đàn bao gồm việc xác định vị trí hiện tại, tốc độ di chuyển và vị trí mới dựa trên cực trị tốt nhất mà cá thể đó tìm được và cực trị tốt nhất mà các cá thể khác chia sẻ với cá thể đó.

2.3. Tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên 1 pha lưới điện hạ áp

2.3.1. Đặt vấn đề

Từ việc phân tích những nghiên cứu, luận án sử dụng thuật toán di truyền (GA) để tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên 1 pha lưới điện hạ áp (bao gồm các nguồn điện kết nối 1 pha và các nguồn kết nối 3 pha và phát pha đó) nhằm sử dụng tối đa nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới điện và đảm bảo điện áp nút, dòng điện nhánh nằm trong giá trị cho phép.

2.3.2. Tính toán gần đúng cho 1 pha lưới điện hạ áp

Luận án trình bày các công thức tính gần đúng điện áp nút, dòng điện nhánh của 1 pha lưới điện hạ áp theo tài liệu tham khảo số 13.

2.3.3. Sử dụng thuật toán di truyền để tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên 1 pha lưới điện hạ áp

2.3.3.1. Bài toán tổng công suất phát lớn nhất

Hàm mục tiêu: tổng công suất nguồn điện gió, mặt trời phát lên lưới lớn nhất

$$f_{PVWTi} = \max(\sum P_{PVWTi}) \quad (2.21)$$

Các ràng buộc:

+ Điện áp tại các nút:

$$U_{min} \leq U_i \leq U_{max} \quad (2.22)$$

+ Cường độ dòng điện chạy trên đường dây:

$$I_{i-1 \rightarrow i} \leq I_{maxi} \rightarrow i \quad (2.23)$$

Từ công suất phụ tải và công suất phát của giàn pin mặt trời, tua bin gió tại các nút ta tính được dòng điện trên các nhánh và điện áp các nút. Dòng điện và điện áp phải thỏa mãn công thức 2.22, 2.23

2.3.3.2. Sử dụng thuật toán di truyền cho bài toán tính tổng công suất lớn nhất của giàn pin mặt trời, tua bin gió phát lên lưới điện hạ áp: Sơ đồ thuật toán như trong hình 2.2

2.3.4. Tính toán thử nghiệm cho 1 pha lưới điện hạ áp

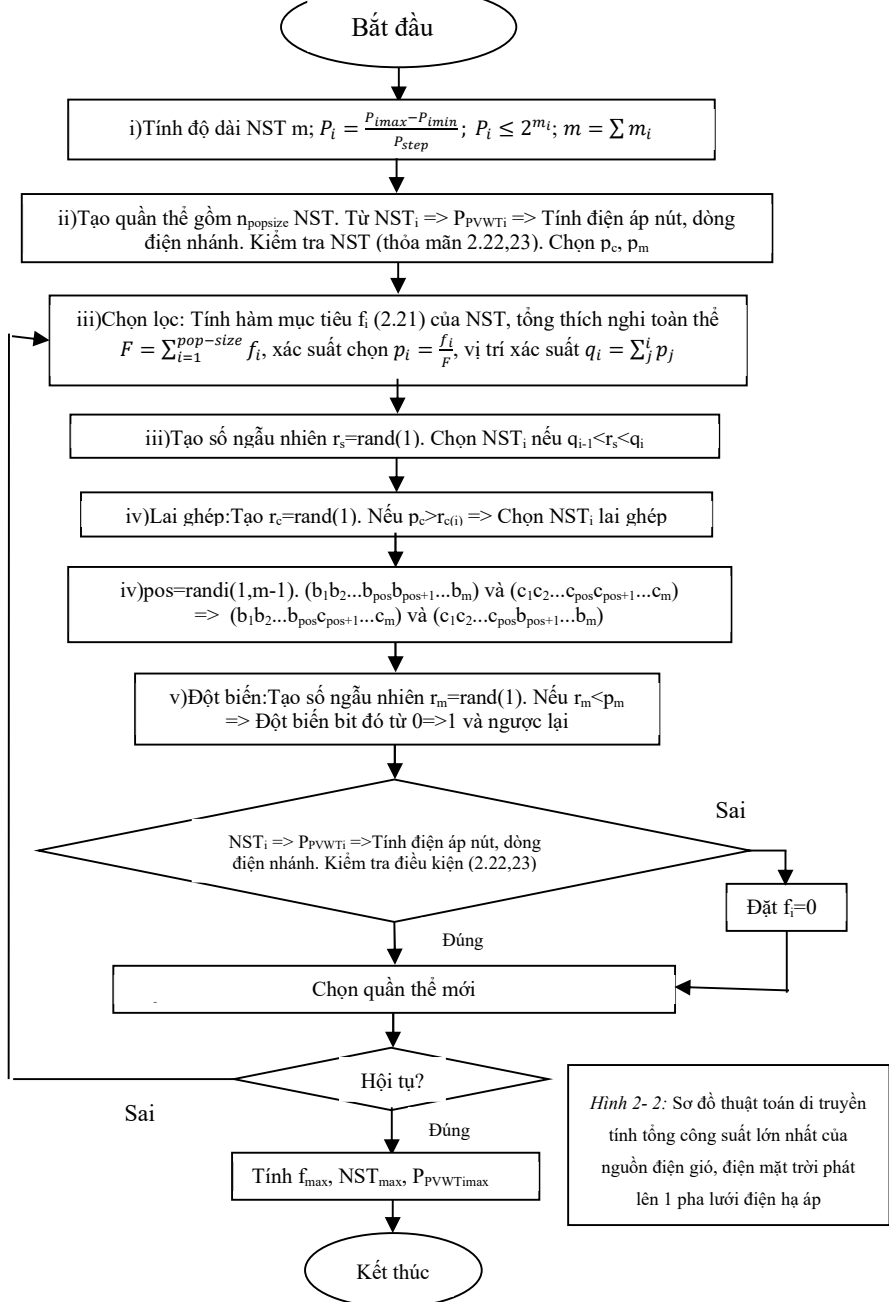
Sơ đồ lưới điện và công suất phụ tải, điện trở, điện kháng các nhánh ở mục 2.3.4 trong luận án. Kết quả tính toán cho bài toán tối ưu công suất đặt nguồn điện gió, mặt trời tại các nút như bảng 2.3

Bảng 2- 3: Công suất phát của giàn pin và tua bin gió tại các nút

f_{max} (kW)	Công suất giàn pin (PV) và tua bin gió (WT) nối vào phụ tải									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
66	44	6	7	0	2	2	1	0	4	0
....
89	14	65	6	2	2	0	0	0	0	0

Tổng công suất phát của các giàn pin mặt trời và tuabin gió lên lưới điện tối đa là 89 kW với công suất phát tương ứng tại các nút như trong bảng 2.3 để đảm bảo cho điện áp nút không lớn hơn 231V và không nhỏ hơn 209V. Công suất truyền tải lớn nhất của nhánh là 82,5 kW nhưng tổng công suất phát có thể đạt được 89 kW do phát qua máy biến áp lên lưới cao áp 3 pha và cung cấp điện cho phụ tải. Kết quả của nghiên cứu đã được công bố trong tài liệu số 03 danh mục

các công trình khoa học đã công bố.



2.4. Tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới điện 3 pha khi xét đến điều khiển tối ưu hệ thống điện và hệ số có lợi vị trí

2.4.1. Đặt vấn đề

Công suất thừa của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên 1 pha lưới điện hạ áp sẽ được đưa qua máy biến áp tăng áp và giải tỏa lên lưới điện cao áp 3 pha. Lúc này công suất giải tỏa sẽ bị ràng buộc bởi khả năng của lưới điện cao áp và sẽ được giải quyết qua 2 bài toán:

+ Bài toán 1: Tính trào lưu công suất tối ưu. Luận án sẽ sử dụng phương pháp hàm chặn để tính công suất phát của các nguồn điện truyền thống trong hệ thống sao cho tổng chi phí phát điện trong hệ thống nhỏ nhất và điện áp nút, dòng điện nhánh, công suất phát của các nhà máy nằm trong giới hạn cho phép.

+ Bước 2: Tính tổng công suất phát của các nguồn điện gió, điện mặt trời khi xét đến hệ thống tự điều khiển công suất phát của nguồn điện truyền thống (tính trào lưu công suất tối ưu). Luận án sẽ sử dụng thuật toán di truyền để tìm tổng công suất phát lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời. Luận án còn mở rộng khi xét đến hệ số có lợi tại vị trí xây dựng nguồn điện gió, điện mặt trời và có sử dụng thêm thuật toán bầy đàn để tính toán và so sánh kết quả. Hệ số có lợi vị trí phản ánh hiệu quả đầu tư dự án tại các vị trí xây dựng do ảnh hưởng của tổng thời gian cung cấp, mật độ năng lượng gió, năng lượng mặt trời, chi phí kết nối phát điện lên lưới, chi phí xây dựng, vận hành, chính sách hỗ trợ của địa phương.

2.4.2. Tính trào lưu công suất tối ưu

Hàm mục tiêu cho bài toán sẽ là tối thiểu hóa chi phí phát điện (tính cho công suất tác dụng):

$$\min f_G = \min \sum_{i=1}^n (c_{Gi} \cdot P_{Gi}^2 + b_{Gi} \cdot P_{Gi} + a_{Gi}) \quad (2.26)$$

Các hàm ràng buộc bao gồm:

+ Tổng công suất tác dụng, công suất phản kháng đi vào và đi ra tại 1 nút phải bằng 0

$$P_{Lk} - P_{Gk} + V_k \cdot \sum_{m=1}^N V_m \cdot [g_{km} \cdot \cos(\theta_k - \theta_m) + b_{km} \cdot \sin(\theta_k - \theta_m)] = 0 \quad (2.27)$$

$$Q_{Lk} - Q_{Gk} + V_k \cdot \sum_{m=1}^N V_m \cdot [g_{km} \cdot \sin(\theta_k - \theta_m) + b_{km} \cdot \cos(\theta_k - \theta_m)] = 0 \quad (2.28)$$

+ Giới hạn công suất tác dụng và công suất phát kháng phát ra tại máy phát

$$P_{Gimin} \leq P_{Gi} \leq P_{Gimax} \quad (2.29)$$

$$Q_{Gimin} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gimax} \quad (2.30)$$

+ Giới hạn điện áp tại các nút

$$V_{imin} \leq V_i \leq V_{imax} \quad (2.32)$$

+ Giới hạn công suất truyền tải trên đường dây hoặc dòng điện truyền tải trên đường dây

$$S_{km}^2 \leq S_{kmmax}^2 \quad (2.35)$$

Sử dụng phương pháp hàm chặn thay đổi hàm Lagrange kết hợp phép lặp Newton ta tìm được công suất phát tối ưu tại các nhà máy trong hệ thống điện.

2.4.3. Tính công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới khi xét đến điều khiển công suất tối ưu của các nguồn điện truyền thống trong lưới điện 3 pha

Hàm mục tiêu: tổng công suất của nguồn điện mặt trời, điện gió phát lên lưới tại các nút là lớn nhất

$$f = \max \sum_{i=1}^N P_{PVWT} \quad (2.60)$$

Bài toán có xét đến hệ thống tự điều khiển công suất phát tối ưu của các nguồn điện truyền thống trong hệ thống điện như đã trình bày ở mục (2.4.2). Để thực hiện bài toán này, ta tiến hành như sau:

+ Bước 1: Khi công suất phát của các nguồn điện gió, điện mặt trời tại các nút bằng 0, tính trào lưu công suất tối ưu (2.4.2) đảm bảo hội tụ.

+ Bước 2: Sử dụng thuật toán di truyền tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời tại các nút với điều kiện trào lưu công suất tối ưu (2.4.2) luôn hội tụ.

Sử dụng thuật toán di truyền để tính hàm mục tiêu (2.60) lớn nhất khi xét hệ thống luôn hội tụ (2.4.2) ta tìm được tổng công suất phát lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới điện.

2.4.4. Tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới điện khi xét đến tiềm năng và lợi thế lắp đặt

Hàm mục tiêu: tổng công suất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới của tất cả các nút (P_{PVWTi}) là lớn nhất khi xét đến hệ số có lợi vị trí (α_i)

$$f = \max \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot P_{PVWTi} \quad (2.63)$$

Các ràng buộc của bài toán theo 2 bước như trong mục 2.4.3

Sử dụng thuật toán di truyền để tính hàm mục tiêu (2.63) lớn nhất khi xét hệ thống luôn hội tụ (2.4.2) ta tìm được tổng công suất phát lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới điện.

Sử dụng thuật toán bầy đàn để tính hàm mục tiêu (2.63) lớn nhất khi xét hệ thống luôn hội tụ (2.4.2) ta tìm được tổng công suất phát lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới điện.

2.4.5. Tính toán thử nghiệm cho lưới điện 3 pha

2.4.5.1. Tính tối ưu trào lưu công suất

+ Tính toán so sánh hiệu quả phần mềm cho lưới điện 5 nút, 23 nút

Luận án sử dụng số liệu của lưới điện 5 nút trong tài liệu tham khảo số 13 và lưới điện 23 nút trong tài liệu tham khảo số 93 để so sánh hiệu quả của phần mềm lập trình. Tính toán thử nghiệm cho thấy kết quả hội tụ tốt hơn kết quả tính toán trong tài liệu tham khảo.

+ Tính toán thử nghiệm cho lưới điện IEEE-24 nút, IEEE-30 nút

Sơ đồ và thông số lưới điện, hệ số chi phí giá được thể hiện ở mục 2.4.5.1 và phụ lục trong luận án. Kết quả tính toán cho lưới điện IEEE-24 nút: Hội tụ trong thời gian 0,85s với chi phí phát điện thấp nhất của hệ thống là 1128789122 VNĐ. Điện áp nút, dòng điện nhánh được thể hiện trong bảng 2-21, 2-22 trong luận án. Kết quả tính toán cho lưới điện IEEE-30 nút được trình bày chi tiết trong mục 2.4.5.1 và phụ lục 1

Bảng 2- 20: Công suất phát tại các nguồn lưới điện IEEE-24 nút

Nút	1	2	7	13	15	16	18	21	22
P(MW)	78,97	70	50	40	30	40	43,62	30	40
Q(MVAr)	0	20,09	20,33	0	0	0	0	0	0

2.4.5.2. Sử dụng thuật toán di truyền tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới điện

Tính toán thử nghiệm cho lưới điện IEEE 30 với các số liệu trong mục 2.4.5 của luận án ta được kết quả trong bảng 2.26.

Bảng 2- 26: Bảng kết quả tìm giá trị tối ưu của tổng công suất phát của nguồn điện gió, điện mặt trời

I	f_{max}	Công suất phát của nguồn điện mặt trời và nguồn điện gió tại các nút				
		2	6	7	11	20
1	65	0,2	0,9	4,3	53,9	5,7

I	f_{max}	Công suất phát của nguồn điện mặt trời và nguồn điện gió tại các nút				
		2	6	7	11	20
.....						
1420	106	18,2	10,5	7,2	1,3	68,8

Tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời cho lưới điện cao áp có điều chỉnh công suất từ các nguồn điện truyền thống là 106 MW (công suất các nút như bảng 2.26) để đảm bảo khi các nguồn điện gió điện mặt trời thay đổi công suất phát từ 0% đến 100% thì các nguồn điện truyền thống (thủy điện, nhiệt điện) có thể thay đổi công suất để đảm bảo điện áp nút, dòng điện nhánh nằm trong giới hạn cho phép. Kết quả của nghiên cứu đã được công bố trong tài liệu số 05 danh mục các công trình khoa học đã công bố.

2.4.5.3. Tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên lưới điện khi xét đến hệ số có lợi vị trí

Áp dụng tính toán cho lưới điện IEEE 30 nút với 6 nút nguồn nhà máy thủy điện và nhiệt điện, 24 nút tải được kết nối với các nguồn qua 42 nhánh với số liệu tương ứng ở mục 2.4.5.1 của luận án và hệ số có lợi vị trí như bảng 2.28

Giá trị tối ưu là $f = 164,43$ (.MW) (thuật toán di truyền), công suất tương ứng của nguồn điện gió, điện mặt trời tại các nút (bảng 2.28) và giá trị tối ưu là $f = 164,645$ (.MW) (thuật toán bầy đàn (PSO)).

Bảng 2- 28: Công suất phát của nguồn điện gió, điện mặt trời tại các nút khi sử dụng thuật toán di truyền

Nút	4	6	10	12	15	17	20	28	29	30
Hệ số vị trí α	1	1,5	1	1,3	1	1,2	1,4	1	1,5	1
P (MW)	0,2	0,8	0,1	1,9	0,5	0,5	37,9	0,2	70,4	0,5

Từ bảng kết quả công suất lắp đặt tại các nút ta thấy rằng với nút có hệ số vị trí cao thì thường được phân bổ công suất lớn (nút 29).

Khi không xét đến hệ số có lợi (đặt bằng 1 cho các nút), kết quả tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời tại các nút là $f = 113,4$ MW (thuật toán di truyền) và $f = 113,339$ MW (thuật toán bầy đàn). So với khi đặt hệ số có lợi, tổng công suất là 113 MW thì tổng công suất phát của nguồn điện gió, điện mặt trời không thay đổi nhiều nhưng đã ưu tiên được những khu vực có tiềm năng và có nhiều điều kiện thuận lợi để xây dựng nguồn năng lượng gió, năng lượng mặt trời. Kết quả của nghiên cứu đã được công bố trong tài liệu số 02 danh mục các công trình khoa học đã công bố.

2.5. Kết luận chương 2

+ Thuật toán di truyền (GA), thuật toán bầy đàn (PSO) giúp giải quyết rất tốt vấn đề tìm công suất phát lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên 1 pha lưới điện hạ áp với các ràng buộc về điện áp nút, cường độ dòng điện nhánh và cân bằng công suất khi xét đến giải tỏa công suất phát và điều khiển phân bố công suất nguồn điện truyền thống và hệ số có lợi vị trí. Nhờ có hệ số có lợi vị trí nên địa điểm có hiệu quả kinh tế sẽ được ưu tiên phát công suất lớn hơn và không ảnh hưởng nhiều đến tổng công suất phát của nguồn điện gió, điện mặt trời.

CHƯƠNG 3: ĐIỀU KHIỂN TỐI ƯU PHỤ TẢI ĐIỆN

3.1. Đặt vấn đề

Phụ tải điện có thể được chia thành 2 loại là phụ tải dịch chuyển được thời điểm sử dụng (bơm nước, sạc xe điện, bình nóng lạnh...) và phụ tải không dịch chuyển được thời điểm sử dụng (chiếu sáng, bếp từ...). Khi thêm bộ kết nối Internet điều khiển từ hệ thống điện vào phụ tải dịch chuyển được thời điểm sử dụng sẽ thành phụ tải điều khiển được giúp ổn định hệ thống điện. Các phụ tải này cho phép

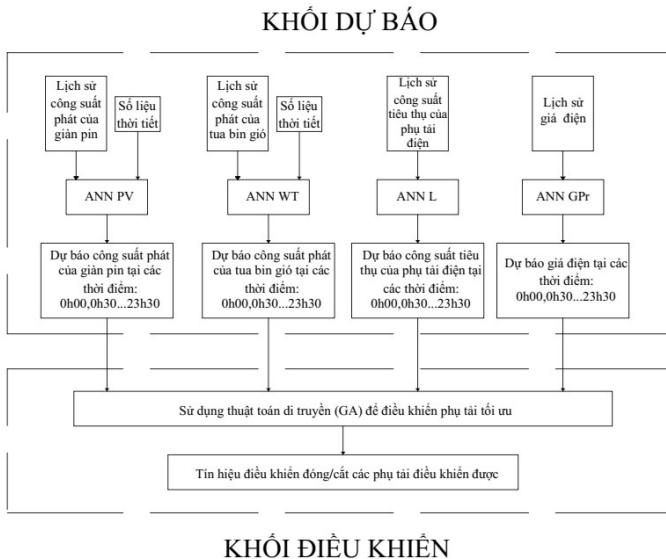
dịch chuyển thời gian sử dụng (Δt) từ thời điểm bắt đầu (t_{start}) đến thời điểm kết thúc (t_{end}). Trong chương này, luận án xây dựng phương pháp điều khiển đóng/cắt tối ưu phụ tải gồm 2 bài toán:

+ Bài toán dự báo: Sử dụng mạng nơ ron nhân tạo dự báo công suất phát của giàn pin mặt trời, tua bin gió, công suất tiêu thụ của phụ tải, giá điện trong ngày tiếp theo.

+ Bài toán điều khiển tối ưu: Sử dụng thuật toán di truyền để điều khiển đóng/cắt phụ tải đảm bảo mục tiêu kinh tế và ràng buộc điện áp nút, dòng điện nhánh, thời gian đóng/cắt.

Khối điều khiển có 2 chức năng điều khiển chính hỗ trợ đảm bảo an toàn hệ thống điện gồm:

+ Tự động điều khiển đóng/cắt phụ tải trực tiếp theo điện áp tại nút kết nối nếu điện áp vượt ra ngoài giá trị cho phép. Chức năng này chỉ tác động do sai số dự báo hoặc người sử dụng điều khiển bằng tay các thiết bị.



Hình 3.3: Mô hình điều khiển phụ tải trong lưới điện hạ áp

+ Điều khiển từ xa nhờ mạng Internet từ máy chủ của hệ thống kết nối với phụ tải qua bài toán điều khiển tối ưu kinh tế và đảm bảo điều kiện ổn định điện áp và dòng điện.

Ngoài ra, luận án cũng đề xuất phương án kết hợp trạm sạc xe điện và giàn pin mặt trời cấp điện cho phụ tải khi mất nguồn điện từ máy biến áp hạ áp.

3.2. Sử dụng mạng nơ ron nhân tạo cho bài toán dự báo

3.2.1. Nghiên cứu về mạng nơ ron nhân tạo sử dụng cho dự báo

Mạng nơ ron nhân tạo (Artificial Neural Networks) được xây dựng dựa trên cấu trúc của bộ não con người. Mạng nơ ron nhân tạo có thể thực hiện các bài toán nhận mẫu, tối ưu, nhận dạng, điều khiển các đối tượng tuyến tính và phi tuyến và dự báo đạt hiệu quả cao hơn so với các phương pháp tính toán truyền thống.

3.2.2. Sử dụng mạng nơ ron truyền thẳng nhiều lớp và thuật toán Levenberg-Marquardt để đào tạo mạng nơ ron truyền thẳng

Sơ đồ thuật toán sử dụng mạng thuật toán Levenberg-Marquardt để đào tạo mạng nơ ron truyền thẳng cho bài toán dự báo như trong hình 3.5

3.2.3. Dự báo công suất phát của giàn pin mặt trời, tua bin gió

Luận án đề xuất 4 mô hình với số lượng mạng nơ ron và đầu vào khác nhau để dự báo công suất phát của giàn pin mặt trời và tua bin gió như trong hình 3.6-3.9. Trong đó ở mô hình 4, khối hiệu chỉnh dựa vào số liệu công suất phát trung bình, công suất phát lớn nhất, công suất phát nhỏ nhất của cùng thời điểm và có cùng trạng thái thời tiết của bộ số liệu sử dụng cho đào tạo để hiệu chỉnh giá trị dự báo.

3.2.4. Dự báo công suất tiêu thụ của phụ tải điện, giá điện

Luận án đề xuất 3 mô hình với số lượng mạng nơ ron và đầu vào khác nhau để dự báo công suất tiêu thụ của phụ tải điện và giá điện như trong hình 3.10-3.12.

3.3. Điều khiển tối ưu phụ tải điện

3.3.1. Xây dựng bài toán

Mục tiêu là điều khiển thời điểm đóng/cắt tải để tổng chi bán điện lên lưới từ giàn pin mặt trời và tua bin gió trừ đi tổng chi phí mua điện mua điện từ lưới trong 1 ngày lớn nhất.

$$f = \max \left(\sum_{t=1}^{48} \sum_{i=1}^{10} \left(PR_{PV}(t) \cdot P_{IPV}(t) + PR_{WT}(t) \cdot P_{IWT}(t) \right) - PR_{GR}(t) \cdot (P_{ILUC}(t) + P_{LC}(t)) + C \right) \quad (3.26)$$

Các ràng buộc:

+ Điện áp tại các nút ở tất cả các thời điểm trong ngày:

$$U_{min} \leq U_i \leq U_{max} \quad (3.27)$$

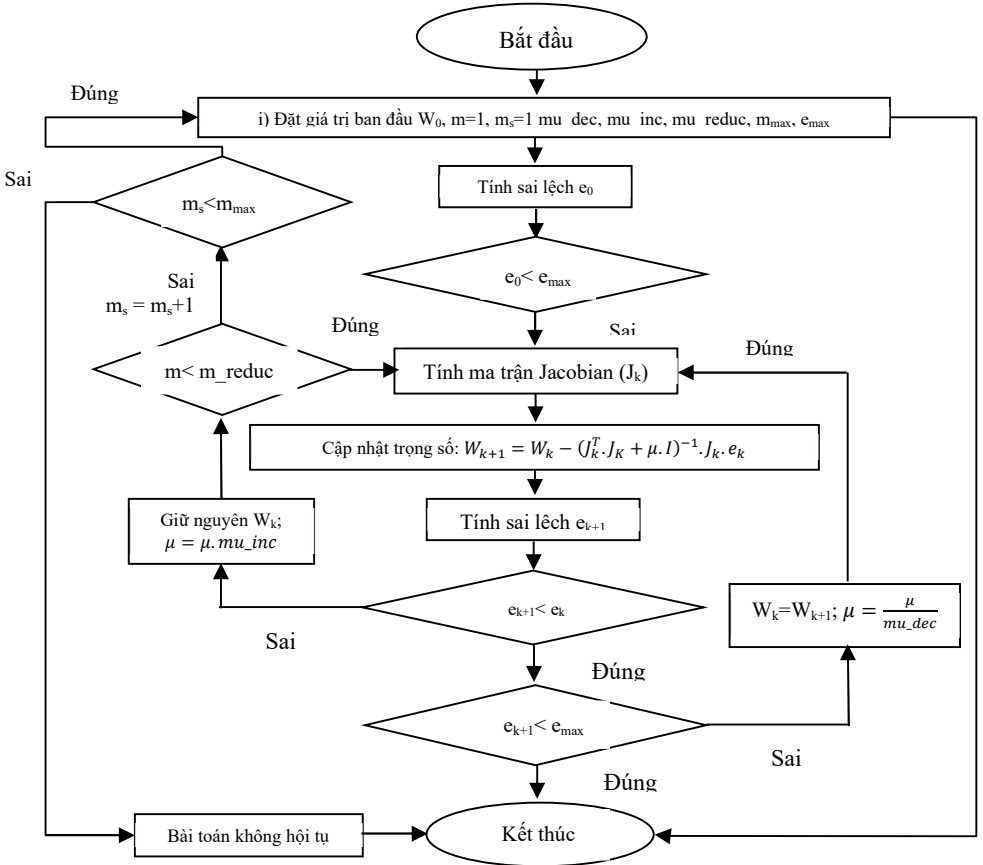
+ Cường độ dòng điện chạy trên đường dây ở tất cả các thời điểm trong ngày:

$$I_{i-1 \rightarrow i} \leq I_{maxi-1 \rightarrow i} \quad (3.28)$$

+ Thời điểm đóng phụ tải phải nằm trong giới hạn thời điểm đóng/cắt của phụ tải điện:

$$t_{istart} \leq t_i \leq t_{iend} \quad (3.29)$$

3.3.2. Sử dụng thuật toán di truyền điều khiển tối ưu phụ tải điện: Thuật toán di truyền giúp tìm được thời điểm đóng tải tối ưu để hàm mục tiêu (3.26) lớn nhất và đảm bảo điều kiện 3.27-3.29.



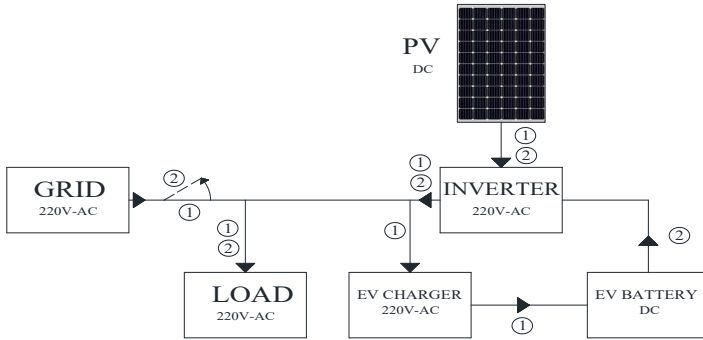
Hình 3. 5: Đào tạo mạng nơ ron truyền thẳng sử dụng thuật toán Levenberg- Marquadt

3.4. Tích hợp sạc xe điện và giàn pin mặt trời nổi lưới để cung cấp điện cho phụ tải

3.4.1. Đề xuất sơ đồ nguyên lý và điều kiện cấp điện cho phụ tải

Sơ đồ nguyên lý được đề xuất như trong hình 3.15. Khi mất điện từ máy biến áp hạ áp, bộ sạc sẽ lấy điện từ pin của xe điện cấp điện cho phụ tải. Ngay khi có nguồn điện, bộ sạc lại lấy điện lưới để

sạc cho pin xe điện để đảm bảo vào thời điểm lấy xe khỏi bộ sạc đã đặt trước, pin của xe điện luôn đạt 100% dung lượng.



Hình 3.15: Sơ đồ nguyên lý hệ thống tích hợp sạc xe điện và pin mặt trời kết nối lưới

Hệ thống đảm bảo điều kiện cung cấp điện cho phụ tải khi:

$$\begin{cases} A_{fba} \geq 1,05 \cdot A_{PVL} \\ P_{fba} \geq 1,05 \cdot P_{PVL} \end{cases} \quad (3.38)$$

A_{fba} : Điện năng cung cấp từ pin xe điện, A_{PVL} : điện năng sử dụng của phụ tải trừ đi điện năng cung cấp từ giàn pin mặt trời, P_{fba} : Công suất xả từ pin, P_{PVL} : Công suất sử dụng của phụ tải trừ đi công suất giàn pin mặt trời

3.4.2. Đánh giá hiệu quả của mô hình tích hợp trạm sạc xe điện và giàn pin mặt trời nối lưới

Luận án sử dụng thuật toán Monte Carlo lấy mẫu ngẫu nhiên theo phân bố đều thời điểm mất điện và dung lượng pin xe điện lúc mất điện và ràng buộc 3.38 để tính thời gian mất điện trung bình 1 năm khi tích hợp bộ sạc vào lưới.

3.4.3. Điều khiển phân bố nguồn cấp cho sạc xe điện

Điều khiển bộ xả ở nút 1 là nút cân bằng công suất, phân bố công suất cho các nút còn lại với điều kiện số trạm xe điện phải sử dụng là ít nhất.

3.5. Tính toán cho lưới điện hạ áp

3.5.1. Áp dụng cho bài toán dự báo

+ Dự báo công suất phát của giàn pin mặt trời: Số liệu được chia thành 458 ngày đào tạo và 150 ngày kiểm tra. Kết quả sai số các mô hình như trong bảng 3.3

Bảng 3- 3: Sai số trung bình kết quả dự báo công suất phát giàn pin mặt trời của các mô hình đề xuất

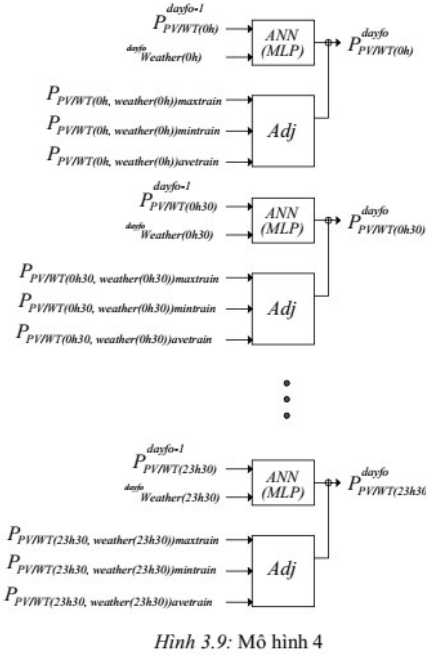
Mô hình	1	2	3 (4 số liệu thời tiết)	4(4 số liệu thời tiết)	3 (9 số liệu thời tiết)	4(9 số liệu thời tiết)
Sai số %	57,4	41,75	19,97	19,63	8,15	7,51

+ Dự báo công suất phát của tuabin gió: Số liệu được chia thành 565 ngày đào tạo và 150 ngày kiểm tra. Kết quả sai số các mô hình như trong bảng 3.4

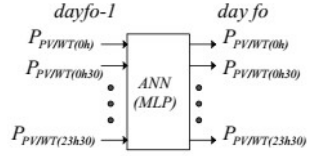
Bảng 3- 4: Sai số trung bình kết quả dự báo công suất phát tua bin gió của các mô hình đề xuất

Mô hình	1	2	3 (4 số liệu thời tiết)	4(4 số liệu thời tiết)
Sai số %	34,08	31,32	18,74	18,37

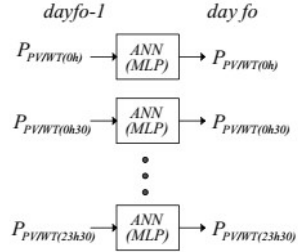
+ Dự báo công suất tiêu thụ của phụ tải điện: Số liệu được chia thành 458 ngày đào tạo và 150 ngày kiểm tra. Kết quả sai số các mô hình như trong bảng 3.5



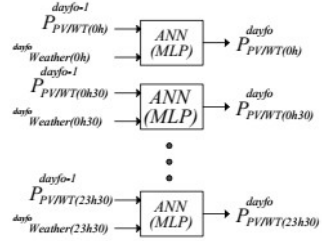
Hình 3.9: Mô hình 4



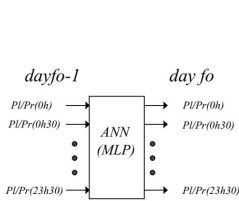
Hình 3.6: Mô hình 1



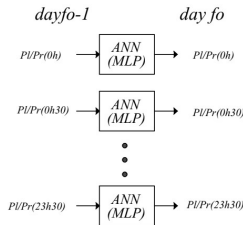
Hình 3.7: Mô hình 2



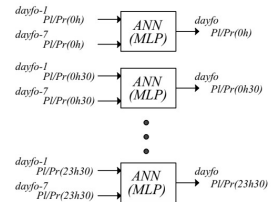
Hình 3.8: Mô hình 3



Hình 3.10: Mô hình 1



Hình 3.11: Mô hình 2



Hình 3.12: Mô hình 3

Bảng 3- 5: Sai số trung bình kết quả dự báo công suất phụ tải tiêu thụ của các mô hình đề xuất

Mô hình	1	2	3
Sai số %	24,53	17,8	10,42

+ Dự báo giá bán điện từ lưới: Số liệu được chia thành 520 ngày đào tạo và 150 ngày kiểm tra. Kết quả sai số các mô hình như trong bảng 3.5

Bảng 3- 5: Sai số trung bình kết quả dự báo giá bán điện từ lưới của các mô hình đề xuất

Mô hình	1	2	3
Sai số %	8,95	7,96	5,62

Khi sử dụng mạng nơ ron nhân tạo để dự báo công suất phát của tuabin gió, giàn pin mặt trời thì sử dụng mô hình 4 cho sai số nhỏ nhất. Số liệu thời tiết càng chi tiết thì sai số càng nhỏ. Khi dự báo công suất tiêu thụ của giàn pin mặt trời, giá điện thì mô hình 3 cho sai số nhỏ nhất.

3.5.2. Điều khiển tối ưu phụ tải điện

3.5.2.1. Các thông số của lưới điện

Thông số của lưới điện được miêu tả chi tiết trong mục 3.5.2.1 trong luận án.

3.5.2.2. Sử dụng thuật toán di truyền để điều khiển đóng/cắt phụ tải điện.

Từ các số liệu dự báo, ta tiến hành sử dụng thuật toán di truyền để tính toán điều khiển đóng/cắt phụ tải. Kết quả như trong bảng 3.11

Bảng 3.11: Bảng thời điểm đóng tải tối ưu và giá trị hàm mục tiêu

Fmax	Công suất phụ tải điều khiển được và thời điểm đóng tải							
	Phụ tải	1	2	4	7	8	9	10
103938	P	5	7	5	7	10	4	6
	t	1	22	14	14	21	13	0

Hàm mục tiêu đạt giá trị tối ưu là 103938 (đồng) với thời điểm đóng các phụ tải như bảng 3.11. Kết quả của nghiên cứu đã được công bố trong tài liệu số 01, 04 danh mục các công trình khoa học đã công bố.

3.5.3. Tích hợp sạc xe điện và giàn pin mặt trời nối lưới để cung cấp điện cho phụ tải

Với các thông số của lưới điện về hiệu suất sạc/xả, thời gian mất điện và thời gian đặt lấy xe, dung lượng pin 1 xe, thời gian mất điện 1 năm: $\eta_{ch} = 98\%$, $\eta_{disch} = 97\%$, $\Delta t = 0,5$ (h), $t_{endset} = 8$ (h-AM), $t_{end} = 5$ (h-AM). $A_{lb} = 42$ kWh, $P_{ch} = 11$ kW. $A_{min} = 30\%$ A_{max} , $t = 336$ (h) ta tính được số giờ mất điện có thể giảm 100 lần khi có giàn pin mặt trời và 50 lần khi không có giàn pin mặt trời. Kết quả của nghiên cứu đã được công bố trong tài liệu số 01 danh mục các công trình khoa học đã công bố.

Tính toán phân bố công suất cho trạm sạc cung cấp điện cho phụ tải ở bảng 3.7 khi mất nguồn điện từ máy biến áp hạ áp được bảng phân bố công suất phát như trong bảng 3.14

Bảng 3-14: Công suất phát lên lưới của các bộ sạc xe điện

Công suất phát lên lưới của các bộ sạc							
Nút	1	2	4	7	8	9	10
P (kW)	1,99	7	5	7	10	4	6

3.6. Kết luận chương 3

+ Sử dụng mạng nơ ron truyền thẳng 2 lớp kết hợp với thuật toán Levenberg-Marquadt giúp đào tạo, dự báo công suất phát của giàn pin mặt trời, tua bin gió, công suất tiêu thụ của phụ tải điện và giá bán điện. Mô hình 4 (hình 3.9) cho kết quả dự báo tốt nhất khi dự báo công suất phát của giàn pin mặt trời, tua bin gió. Mô hình 3 (hình 3.12) cho kết quả dự báo tốt nhất khi dự báo công suất tiêu thụ của phụ tải điện và giá điện.

+ Từ số liệu dự báo ở trên, sử dụng thuật toán di truyền ta có thể tìm được thời điểm đóng/cắt phụ tải để đảm bảo điện áp nút, dòng điện trong các nhánh nằm trong khoảng cho phép và chi phí tối ưu nhất.

+ Việc tích hợp giàn pin mặt trời và trạm sạc xe điện giúp tiết kiệm chi phí đầu tư bộ tích trữ năng lượng và tăng độ tin cậy cung cấp điện. Khi hệ thống mất nguồn điện từ máy biến áp hạ áp, các bộ xả sẽ cung cấp đủ năng lượng cho phụ tải trong thời gian mất điện.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Đánh giá kết quả nghiên cứu

Nghiên cứu đã đạt được những kết quả khả quan về điều khiển vận hành tối ưu hệ thống điện phân phối có sự tham gia của nguồn điện gió, điện mặt trời. Các giải pháp được sử dụng bao gồm giới hạn công suất phát khi xét đến giải tỏa công suất, điều khiển tối ưu nguồn điện truyền thông và hệ số có lợi vị trí. Dự báo và điều khiển phụ tải, điều khiển bộ sạc xe điện tích hợp giàn pin mặt trời để cấp điện cho phụ tải khi mất nguồn điện từ máy biến áp hạ áp. Các thuật toán được sử dụng là các thuật toán phù hợp với đối tượng 1 pha lưới điện hạ áp và đều được tính toán kiểm tra trên lưới điện thử nghiệm.

2. Hướng phát triển của nghiên cứu

- Áp dụng kỹ thuật tiên tiến, phương pháp mới để thu thập dữ liệu chuẩn xác và tăng độ chính xác của bài toán dự báo.

- Tích hợp thêm các phương pháp, thiết bị điều khiển tối ưu lưới điện nhỏ như hệ thống tụ bù, hệ thống điều áp tự động để tăng khả năng điều khiển của lưới điện hạ áp.

- Xây dựng phương pháp điều khiển tối ưu trạm sạc xe điện kết hợp giàn pin mặt trời trong 1 pha lưới điện hạ áp theo các mục tiêu vận hành khác nhau.

- Áp dụng các chiến lược điều khiển đã đề xuất vào thực tế theo hướng chuyên gia công nghệ hiệu quả.

NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

- Đề xuất phương pháp tính tổng công suất lớn nhất của nguồn điện gió, điện mặt trời phát lên 1 pha lưới điện hạ áp nhằm đảm bảo điện áp nút, dòng điện nhánh nằm trong giới hạn cho phép khi xét đến giải tỏa công suất phát lên lưới điện cao áp, điều khiển tối ưu hệ thống và xét đến hệ số có lợi vị trí giúp tăng công suất phát của nguồn điện gió, điện mặt trời lên 1 pha lưới điện hạ áp.

- Đề xuất mô hình bộ hiệu chỉnh tích hợp vào mạng nơ ron nhân tạo để tăng độ chính xác khi dự báo công suất phát của giàn pin mặt trời, tua bin gió. Từ đó làm dữ liệu đầu vào xây dựng phương pháp điều khiển phụ tải để giảm tác động xấu của giàn pin mặt trời, tua bin gió lên lưới điện, tối ưu kinh tế và đề xuất giải pháp điều khiển trạm sạc xe điện tích hợp giàn pin mặt trời cung cấp điện cho phụ tải trong trường hợp mất nguồn điện từ máy biến áp hạ áp.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ

1. Đặng Thành Trung, Trần Kỳ Phúc, Thái Quang Vinh, Điều khiển tối ưu phụ tải điện khi có sự tham gia của nguồn năng lượng mặt trời, năng lượng gió kết nối lưới, *Special issue on Measurement, Control and Automation*, Volume 26, Issue 2, August-2022.p.37-48
2. Đặng Thành Trung, Thái Quang Vinh, Trần Kỳ Phúc, Phùng Thị Thanh Mai, Phạm Thị Phương Thảo, Tối ưu hóa công suất lắp đặt nguồn năng lượng tái tạo khi xét đến hiệu quả đầu tư và điều độ hệ thống điện, *Tạp chí khoa học và công nghệ năng lượng- Trường đại học Điện lực*, Số 29, tháng 9 năm 2022. p.01-10
3. Dang Thanh Trung, Thai Quang Vinh, Tran Ky Phuc, Pham Thi Phuong Thao, Phung Thi Thanh Mai, Nguyen Thi Loan, Nguyen Thi Linh, Do Thi Loan, Pham Duc Nhan, Calculation the Influence of On-Grid Solar PV, Proposing Load Control Solutions to Reduce the Influence of On-Grid Solar PV and using Genetic Algorithms to Find the Largest Total Installed Capacity of On-Grid Solar PV for Low Voltage Grid in Vietnam, *International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering (IJIEEE)*, Volume-9, Issue-9, Sep.-2021.
4. Đặng Thành Trung, Thái Quang Vinh, Trần Kỳ Phúc, Nghiên cứu ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo (ANN) kết hợp thuật toán di truyền (GA) để dự báo và điều khiển tối ưu phụ tải điện trong lưới điện hạ áp có sự tham gia của tua bin gió và giàn pin mặt trời, *Kỷ yếu Hội nghị - Triển lãm quốc tế lần thứ 6 về Điều khiển và Tự động hoá – VCCA 2021*, Hồ Chí Minh, 08-09/04/2022, Tr.65-73

5. Đặng Thành Trung, Thái Quang Vinh, Trần Kỳ Phúc, Nghiên cứu sử dụng thuật toán di truyền (GA) để tối ưu vị trí và công suất nguồn điện mặt trời, điện gió nối vào lưới điện, *Kỷ yếu Hội nghị - Triển lãm quốc tế lần thứ 6 về Điều khiển và Tự động hoá – VCCA 2021*, Hồ Chí Minh, 08-09/04/2022, Tr.458-463