

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

ĐINH NGỌC SANG

NGHIÊN CỨU NÂNG CAO LỢI NHUẬN ĐIỆN GIÁO TRONG THỊ
TRƯỜNG ĐIỆN

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện
Mã số chuyên ngành: 62520202

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH – NĂM 20...

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

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

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS. TS. Dương Thanh Long

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Cơ sở
hợp tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM vào ngày ...
tháng ... năm 2025.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

1. Bối cảnh xu hướng phát triển năng lượng thế giới

Tổng quan từ các báo cáo đến 2024 thế giới vẫn phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch, mặc dù thời gian gần đây NLTT tăng mạnh, chiếm 30% điện toàn cầu. Dự báo đến 2050, điện gió và mặt trời sẽ dần thay thế nhiên liệu hóa thạch, trở thành nguồn năng lượng chính.

2. Bối cảnh phát triển năng lượng tại Việt Nam

Việt Nam đã ban hành Quy hoạch điện VIII nhấn mạnh phát triển điện gió, dự kiến chiếm 13% năm 2030 để đạt mục tiêu "Net Zero" 2050. Tuy nhiên, đối mặt nhiều thách thức về hạ tầng truyền tải, chính sách hỗ trợ và cạnh tranh với các nguồn năng lượng khác.

3. Xu hướng nghiên cứu gần đây

Các nghiên cứu gần đây tập trung vào: (1) Dự báo sản lượng điện gió bằng AI; (2) Tích hợp lưu trữ năng lượng; (3) Tối ưu hóa hệ thống điện kết hợp NLTT; (4) Mô hình khai thác tài chính để giảm rủi ro đầu tư.

Nhìn chung trong thời gian qua, xu hướng nghiên cứu tập trung vào việc ứng dụng AI và các thuật toán tối ưu nhằm giải quyết thách thức bất định điện gió. Sự kết hợp giữa dự báo bằng AI và tối ưu hóa meta-heuristic đang trở thành hướng đi chủ đạo. Trong khi đó, nghiên cứu các mô hình tài chính kinh tế để cải thiện thiệt hại cho các bên vẫn còn hạn chế.

4. Tính cấp thiết và đề xuất nội dung nghiên cứu

Tính bất định của điện gió và sự cạnh tranh trong thị trường điện đã làm gia tăng rủi ro tài chính cho nhà đầu tư, do đó, việc nghiên cứu nâng cao hiệu quả sử dụng điện gió là cấp thiết để đảm bảo lợi ích kinh tế và phát triển bền vững. Hiện nay, nghiên cứu tập trung vào hai hướng chính: dự báo chính xác tốc độ gió và giá điện nhằm tối ưu hóa kế hoạch vận hành, cũng như tối ưu hóa hệ thống điện khi tích hợp năng lượng gió. Tuy nhiên, vẫn còn khoảng trống trong việc phân tích tổng thể hành vi và lợi ích khi kết hợp điện gió với các nguồn năng lượng khác trong một bài toán kinh tế. Bên cạnh đó, xu hướng kết hợp giữa AI và thuật

toán meta-heuristic để tối ưu hóa hệ thống điện đang phát triển mạnh, nhưng hướng nghiên cứu theo chiều sử dụng AI để cải tiến thuật toán tối ưu hóa vẫn chưa được khai thác nhiều. Việc phát triển các phương pháp tối ưu hóa hiệu quả hơn để xử lý khối lượng tính toán lớn và hạn chế tính bất định của điện gió là một thách thức lớn, đòi hỏi sự quan tâm từ cộng đồng nghiên cứu. Chính vì vậy, “nghiên cứu nâng cao lợi nhuận điện gió trong thị trường điện” được đề xuất các nội dung để đạt được hai mục tiêu chính:

(1) Nghiên cứu mô hình phối hợp nguồn điện gió với các nguồn điện truyền thống và hệ thống lưu trữ năng lượng để nâng cao hiệu quả, giúp giảm thiểu rủi ro và tối đa hóa lợi ích kinh tế cho nhà đầu tư.

(2) Phát triển phương pháp tối ưu hóa chiến lược đấu thầu điện gió trong thị trường điện cạnh tranh.

5. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu trong phạm vi nâng cao hiệu quả đầu tư vào nguồn điện gió, trong điều kiện bất định của sản xuất điện gió và thị trường điện. Cụ thể hơn các thử nghiệm trong phạm vi:

- Nguồn năng lượng gió trong một hệ thống điện bao gồm nguồn nhiệt điện, một dạng năng lượng hóa thạch vẫn chiếm tỷ trọng ưu thế trên phần lớn các thị trường điện mà chiến lược cần thay thế trong tương lai.

- Các thử nghiệm cũng giới hạn trong phạm vi các mô hình hệ thống điện chuẩn được công bố trên tạp chí IEEE.

CHƯƠNG 2: Nghiên Cứu Mô Hình Liên Kết Nguồn Điện Có Điện Gió

2.1. Đặt vấn đề

Để nâng cao hiệu quả đầu tư và giảm rủi ro từ tính bất định của điện gió, nghiên cứu đề xuất tích hợp vận hành nhà máy điện gió với nhiệt điện và hệ thống lưu trữ năng lượng.

2.1.1. Tính bất định của điện gió trong thị trường điện

Thị trường điện vận hành theo nhiều mô hình, từ độc quyền đến cạnh tranh, mỗi loại có ưu nhược điểm riêng. Xu hướng tương lai tập trung vào tự do hóa, số hóa và tích hợp năng lượng tái tạo, trong đó dự báo sản lượng và cơ chế đấu thầu đóng vai trò quan trọng như đã nêu trong tổng quan.

2.1.2. Bài toán liên kết nguồn điện

Hệ thống điện gồm hai nhóm chính: nguồn chủ động (AE) như nhiệt điện, thủy điện có hồ điều tiết; còn nguồn thụ động (UE) như ĐG, ĐMT bất định sản lượng. Việc điều phối hợp lý giữa các nguồn AE và UE kiểm soát rủi ro và cân bằng cung - cầu. Chương này nghiên cứu các giải pháp tối ưu kết hợp UE với AE và ESS để tăng độ ổn định cho lưới điện.

2.1.3. Liên kết trang trại điện gió

Hình 2.1 minh họa năm mô hình đầu tư điển hình được phân tích và so sánh trong chương này.

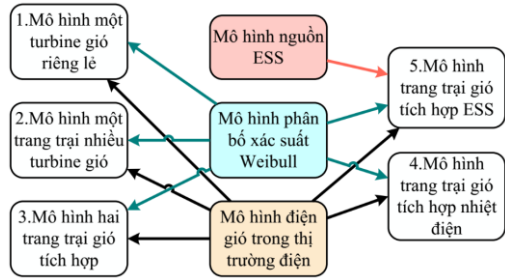
2.2. Lý thuyết cơ sở mô hình hóa

2.2.1. Mô hình hóa xác suất công suất phát điện gió

2.2.1.1. Xác suất của một tua-bin gió

Phân bố xác suất Weibull theo [69], sản lượng điện theo [37], mô tả như sau:

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2-1)$$



Hình 2.1: Năm mô hình

$$P_w(v) = \begin{cases} 0, & v < v_{in} \text{ and } v > v_{out} \\ P_{wr} \left(\frac{v-v_{in}}{v_r-v_{in}} \right), & v_{in} \leq v \leq v_r \\ P_{wr}, & v_r < v \leq v_{out} \end{cases} \quad (2-2)$$

2.2.1.2. Tích hợp nhiều xác suất đơn lẻ

Khi có nhiều tua-bin gió hoặc nhiều trang trại gió cộng tác với nhau thành một liên kết thống nhất, phân bố xác suất tổ hợp:

$$f_{\Sigma w}(P_{\Sigma w}) = \prod_{i=1}^{N_w} f_{w,i}(P_{w,i}) \quad (2-3)$$

$$P_{\Sigma w} = \sum_{i=1}^{N_w} P_{w,i} \quad (2-4)$$

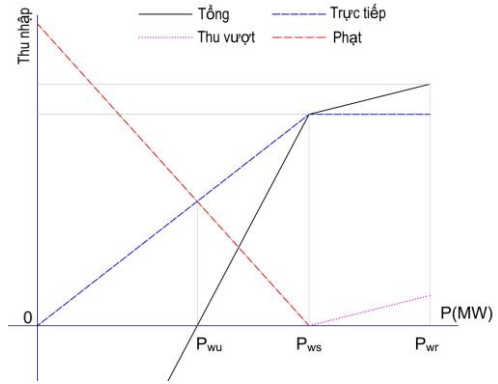
2.2.2. Mô hình hóa đầu thầu điện gió trong thị trường điện

Đa số các nghiên cứu gần đây hướng tới đầu thầu điện tái tạo trên thị trường điện. Với mô hình đầu thầu giá công suất phát điện mô tả: Công suất phát điện P_{ws} , Công suất sur P_{wr} , và công suất thiếu hụt P_{wu} .

Hình 2.4 cho thấy doanh thu trực tiếp và bất định tuyến tính, trong khi đó dòng tiền hầu như tăng ít công suất vượt dự đoán nhưng lại giảm mạnh khi thấp hơn. Đặc biệt, không có thu nhập mà phải bồi thường khi P_w thấp hơn P_{wu} .

2.2.3. Mô hình hóa ESS

Chi phí đầu tư ESS cao nên chỉ triển khai khi không có lựa chọn khác.



Hình 2.4: Doanh thu và chi phí của điện gió trên thị trường điện

$$C_e(P_e) = \lambda_e \cdot P_e + C_{e0,i} \quad (2-5)$$

P_e là công suất ESS bù cho ĐG; λ_e là giá điện; $C_{e0,i}$ là chi phí cố định.

2.3. Lý thuyết cơ sở giải bài toán mục tiêu

2.3.1. Hàm mục tiêu

Mục tiêu đầu tư ĐG là mong muốn đạt được lợi ích cao nhất.

$$\text{maximize } \{F = R_w(P_w) - C_{Pw}(P_p)\} \quad (2-6)$$

R_w là thu nhập; C_{Pw} là chi phí. Trong bối cảnh EMart, doanh thu gồm hai thành phần: trực tiếp (không xác suất) và doanh thu xác suất (gọi là bất định), chi tiết:

$$R_w(P_w) = \sum R_{w,i} = \sum [R_{ws,i}(P_{ws,i}) + R_{wu,i}(\Delta P_{w,i})] \quad (2-7)$$

P_w là công suất gió bán; $R_{w,i}$, $R_{ws,i}$, $R_{wu,i}$ là doanh thu tổng, trực tiếp, và bất định; $P_{ws,i}$ và $\Delta P_{w,i} = P_{wav,i} - P_{ws,i}$ là công suất chào và độ lệch thực tế.

Sự chênh lệch giữa sản lượng điện thực tế và dự báo có thể gây ra rủi ro tài chính do giá bán thấp hoặc chi phí mua bù cao. Nếu sản lượng thấp hơn dự kiến, nhà đầu tư phải mua điện bổ sung với giá cao hoặc chịu phạt hợp đồng.

2.3.2. Doanh thu bán điện trực tiếp

$$R_{ws,i}(P_{ws,i}) = \lambda_{w,i} P_{ws,i} \quad (2-8)$$

Đồng biến với sản lượng ĐG được bán theo kế hoạch đấu thầu và đơn giá, thường xác định bình quân chi phí nguồn nhiệt điện:

$$C_T(P_{TG}) = \sum_{i=1} (a_i + b_i P_{TG,i} + c_i P_{TG,i}^2) \quad (2-9)$$

$$\lambda_{TG,i} = b_i + c_i P_{TG,i} \quad (2-10)$$

2.3.3. Chi tiết nguồn thu bất định

2.3.3.1. Xét điện gió độc lập

Thu nhập bán điện dư R_{RW} và bồi thường thiếu hụt C_{Pw} , được tính,

$$R_{wu,i}(\Delta P_{w,i}) = \begin{cases} R_{RW,i}(\Delta P_{w,i}), & \text{if } P_{wav,i} \geq P_{ws,i} \\ C_{Pw,i}(\Delta P_{w,i}), & \text{if } P_{wav,i} \leq P_{ws,i} \end{cases} \quad (2-11)$$

$$\begin{aligned} R_{RW,i}(\Delta P_{w,i}) &= k_{R,i} \lambda_{w,i} (P_{wav,i} - P_{ws,i}) \\ &= k_{R,i} \lambda_{w,i} \int_{P_{ws,i}}^{P_{wav,i}} (p_{w,i} - P_{ws,i}) f_w(p_{w,i}) dp_{w,i} \end{aligned} \quad (2-12)$$

$$\begin{aligned} C_{Pw,i}(\Delta P_{w,i}) &= k_{P,i} \lambda_{w,i} (P_{wav,i} - P_{ws,i}) = k_{P,i} \lambda_{w,i} \int_0^{P_{ws,i}} (p_{w,i} - \\ P_{ws,i}) f_w(p_{w,i}) dp_{w,i} \end{aligned} \quad (2-13)$$

P_{wav} và P_{ws} CS thực tế và chào; xác suất $f_w(p_{w,i})$. $k_{R,i}$, $k_{P,i}$ HS dư và phạt.

2.3.3.2. Xét bù đắp của nguồn nhiệt điện

Việc ĐG chi trả chi phí cho nhiệt điện có thể được tính trong biểu thức sau đây,

$$C_{Tp}(P_{Tp}) = \lambda_T P_{Tp}; \quad P_p \in (0 \div P_{TR}) \quad (2-14)$$

P_{Tp} là sản lượng nhiệt điện bù ĐG; Khả năng bù tối đa,

$$P_{TR} = P_{Tr} - P_{Ts} \quad (2-15)$$

Doanh thu bất định được tính:

$$R_{wu}(P_p) = \begin{cases} R_w(P_p), & \text{if } P_p \geq 0 \\ C_{Tp}(P_{Tp}), & \text{if } P_{TR} \geq -P_p > 0 \\ C_{Pw}(P_p), & \text{if } -P_p > P_{TR} \end{cases} \quad (2-16)$$

2.3.3.3. Xét bổ sung nguồn trữ năng

Chi phí phải trả cho cả nhiệt điện và ESS khi đó được tính,

$$C_p(P_p) = C_{Tp}(P_{Tp}) + C_e(P_e) \quad (2-17)$$

Và khi đó chi phí trong doanh thu bất định thay đổi như sau,

$$C_{wu}(P_p) = \begin{cases} R_w(P_p), & \text{if } P_p \geq 0 \\ C_{Tp}(P_{Tp}), & \text{if } P_{TR} \geq -P_p > 0 \\ C_{Tp}(P_{TR}) + C_e(P_e), & \text{if } P_e + P_{TR} \geq -P_p > P_{TR} \\ C_{Pw}(P_p), & \text{if } -P_p > P_e + P_{TR} \end{cases} \quad (2-18)$$

2.3.4. Mô tả các mô hình khảo sát

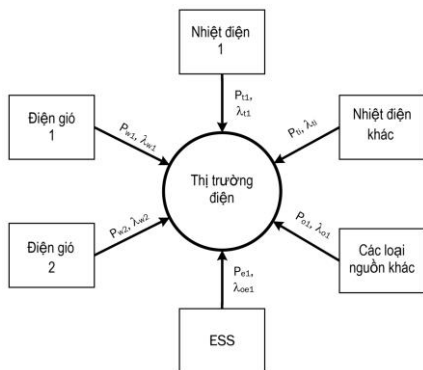
2.3.4.1. Mô hình STM: Mô hình EMart kết hợp nhiều nguồn năng lượng như gió, nhiệt điện và ESS, trong đó mỗi tua-bin điện gió được đặt ở vị trí phù hợp. Các nguồn điện hoạt động độc lập, giá bán và sản lượng theo chiến lược riêng. Riêng công suất chào thầu ĐG theo dự đoán.

2.3.4.2. Mô hình AWF: Mô hình này giống STM như Hình 2.5, thay thế một tua-bin đơn lẻ bằng trang trại điện gió nhiều tua-bin.

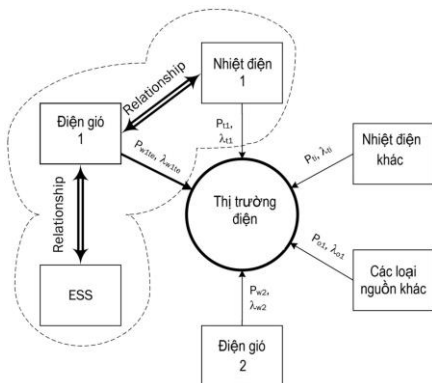
2.3.4.3. Mô hình WFI: Mô hình WFI kết nối nhiều trang trại điện gió để giảm rủi ro do biến động sản lượng riêng lẻ, giúp ổn định vận hành và tối ưu chi phí bù đắp thiếu hụt điện.

2.3.4.4. Mô hình WTI: Liên kết giữa điện gió và nhiệt điện.

2.3.4.5. Mô hình WEI



Hình 2.5: Mô hình STM



Hình 2.8: Mô hình liên kết WEI

Hình 2.8 thể hiện mô hình liên kết các nguồn với ESS để khai thác tối đa hiệu quả ĐG, mặc dù giới hạn của nhiệt điện vẫn còn bị ràng buộc và giá đầu tư ESS vẫn còn khá cao như đã trình bày. ESS có nhiệm vụ bù đắp cho thiếu hụt của ĐG sau khi nhiệt điện đã hỗ trợ tối đa.

2.3.5. Lưu đồ chu trình khảo sát và đánh giá: trình bày trên Hình 2.9

2.3.6. Thí nghiệm

2.3.6.1. Dữ liệu đầu vào

PSS IEEE 30-bus được sử dụng để thực nghiệm thông số chuẩn, bốn nhiệt điện tại bus 1, 2, 8 và 13, tham số tại [75, 76]. Riêng hai nguồn ĐG thay thế bus 5 và 11, với 25 và 20 tua-bin công suất 3 MW.

2.3.6.2. Thử nghiệm trên mô hình STM

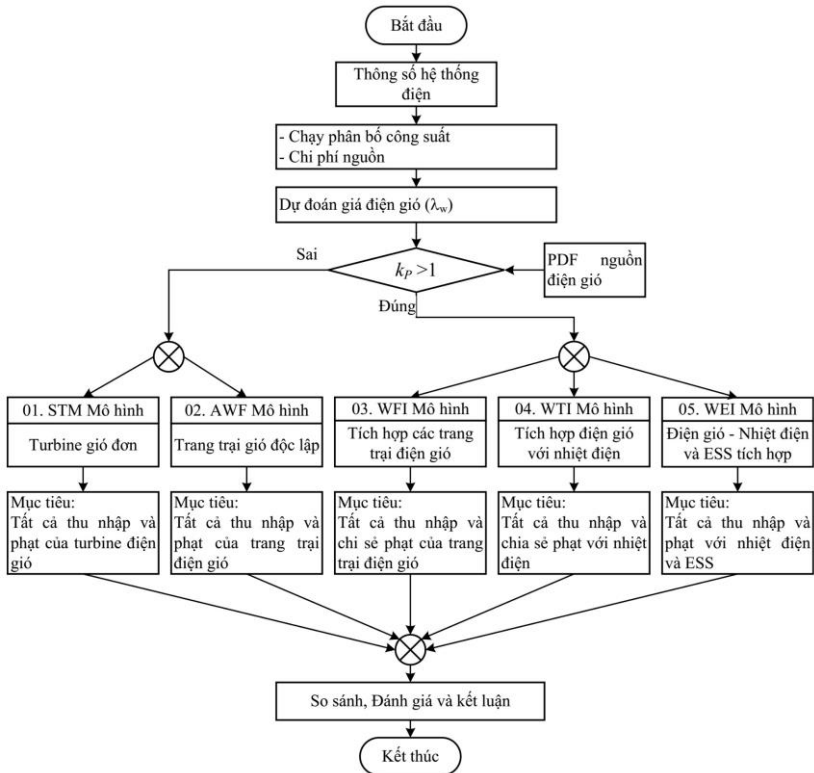
Một tua-bin gió 3MW được lắp đặt tại bus 5 của hệ thống. Kết quả doanh thu trên Bảng 2.3 giảm liên tục theo tỷ lệ bồi thường và có giá trị âm.

Bảng 2.3: Doanh thu điện gió một tuabin

k_p	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
Doanh thu	2.6	2.1	1.5	0.9	0.4	-0.2	-0.7	-1.3

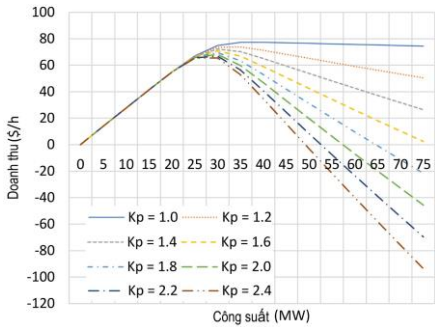
2.3.6.3. Thử nghiệm trong mô hình AWF: phân tích một trang trại gió tại bus 5, với phân bố Weibull từ 25 tua-bin tạo ra công suất đỉnh khoảng 30–32 MW. Kết quả trong Hình 2.13 doanh thu tăng tuyến tính dưới 25 MW nhưng giảm khi vượt 40 MW, với đỉnh trong khoảng 30–40 MW do tác động của bồi thường. Khi bồi

thường tăng, doanh thu giảm đáng kể, thậm chí âm ở mức công suất cao, đồng thời đỉnh doanh thu cũng dịch chuyển từ 45 MW xuống 30 MW.



Hình 2.9: Lưu đồ cực đại lợi nhuận

2.3.6.3. Thử nghiệm trong mô hình AWF: phân tích một trang trại gió tại bus 5, với phân bố Weibull từ 25 tua-bin tạo ra công suất đỉnh khoảng 30–32 MW. Kết quả trong Hình 2.13 doanh thu tăng tuyến tính dưới 25 MW nhưng giảm khi vượt 40 MW, với đỉnh trong khoảng 30–40 MW do tác động của bồi thường. Khi bồi

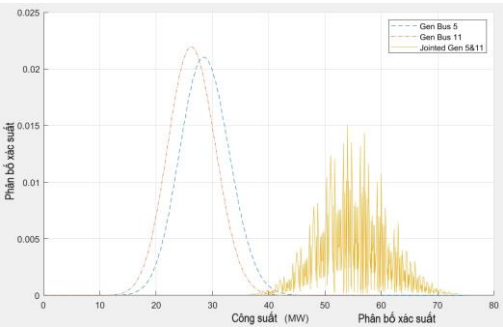


Hình 2.13: Doanh thu điện gió tại Bus 5

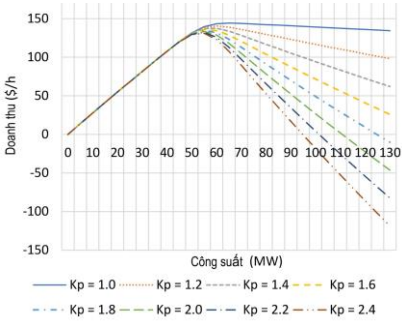
thường tăng, doanh thu giảm đáng kể, thậm chí âm ở mức công suất cao, đồng thời đỉnh doanh thu cũng dịch chuyển từ 45 MW xuống 30 MW.

2.3.6.4. *Thử nghiệm trong mô hình WFI*: tổ hợp xác suất hai trang trại tại bus 5 và 11 cho ở Hình 2.14, có đỉnh thấp hơn và dịch chuyển về mức công suất cao hơn, phản ánh sự kết hợp công suất. Doanh thu từ hai nguồn điện gió Hình 2.15 cũng thay đổi theo PDF, đạt giá trị tối đa khi công suất trong khoảng 55-65 MW.

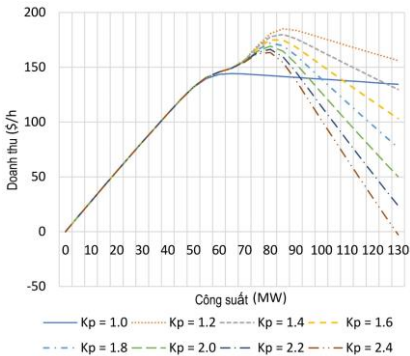
2.3.6.5. *Thử nghiệm trong mô hình WTI*: mô phỏng quan hệ giữa nhiệt điện và các trang trại điện gió, cho thấy doanh thu tăng khi tỷ lệ đền bù vượt chi phí sản xuất. Khi hệ số đền bù lớn hơn 1.1, doanh thu tối đa tăng từ dưới 150 USD/h lên hơn 180 USD/h, nhưng tỷ lệ cao hơn có thể giới hạn mức trần doanh thu, Hình 2.16. Ngoài ra, công suất đầu thầu đỉnh của điện gió cũng tăng từ 60 MW lên gần



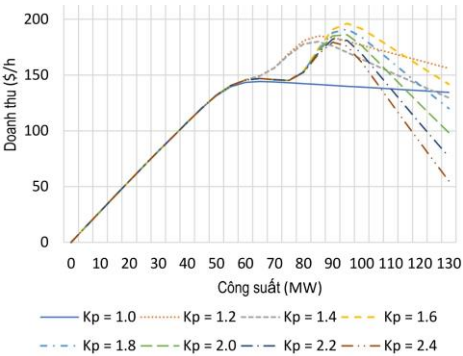
Hình 2.14: PDF tích hợp hai DG



Hình 2.15: Doanh thu tổ hợp DG



Hình 2.16: Doanh thu WTI



Hình 2.17: Doanh thu WEI

90 MW nhờ sự hỗ trợ của nhà máy nhiệt điện, giúp giảm rủi ro thiếu điện và khuyến khích các chủ đầu tư đặt giá thầu cao hơn.

2.3.6.6. Thử nghiệm trong mô hình WEI

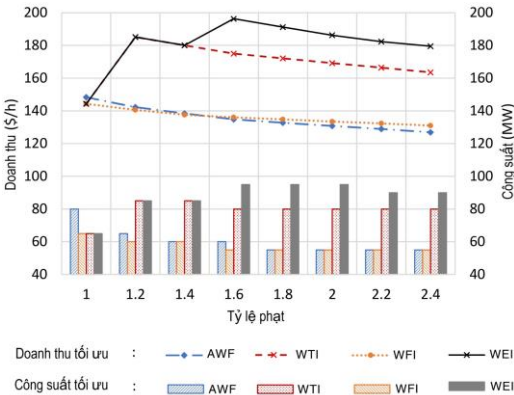
Hệ thống ESS với công suất xả 10 MW giúp tối ưu doanh thu cho ĐG khi chi phí sản xuất điện cao hơn giá bán trung bình. Đường cong doanh thu có ba giai đoạn, Hình 2.17: không đổi khi đền bù thấp, hưởng lợi khi đền bù từ 1.2-1.4, và tối đa hóa lợi nhuận khi đền bù vượt 1.5. Mô hình này giúp doanh thu ĐG tăng lên 200 USD/h và công suất chào thầu đạt gần 100 MW, cao hơn so với mô hình WTI.

Bảng 2.4: So sánh công suất đỉnh và doanh thu

Tỷ lệ đền bù	AWF		WFI		WTI		WEI	
	CS đỉnh	Doanh thu	CS đỉnh	Doanh thu	CS đỉnh	Doanh thu	CS đỉnh	Doanh thu
1.0	80	148.3	65	144.3	65	144.3	65	144.3
1.2	65	142.2	60	140.6	85	185.1	85	185.1
1.4	60	138.4	60	137.6	85	180.0	85	180.0
1.6	60	134.8	55	136.0	80	175.0	95	196.3
1.8	55	132.7	55	134.8	80	172.1	95	191.2
2.0	55	130.8	55	133.5	80	169.2	95	186.2
2.2	55	128.9	55	132.3	80	166.4	90	182.3
2.4	55	126.9	55	131.0	80	163.5	90	179.5

2.3.7. Nhận xét và đánh giá kết quả thực nghiệm

Kết quả mô phỏng cho thấy doanh thu tăng dần khi kết hợp nhiều nguồn điện, trong đó mô hình tích hợp WEI đạt cao nhất. Mô hình này giúp giảm rủi ro từ nguồn gió và tối ưu hóa chiến lược đấu thầu, với doanh thu 196,3 USD/giờ, tăng 132% so với WFI. Tỷ lệ phạt cao làm giảm doanh thu các trang trại gió, nhưng phối hợp các nguồn điện có thể giảm rủi ro, Hình 2.18, Khi phạt 1,6 thì doanh thu đỉnh WEI cao nhất gần 200 USD/giờ. Chiến lược đấu thầu hiệu quả và kết hợp linh hoạt các nguồn năng lượng là yếu tố quan trọng để tối ưu hóa vận hành và lợi ích kinh tế đã kết luận trong chương này.



Hình 2.18: Doanh thu và công suất đỉnh ĐG

CHƯƠNG 3: Phương Pháp Lai AI-MH Để Tối Ưu Hóa

3.1. Giới thiệu

Nghiên cứu đề xuất hai mô hình lai LSTM-GA và LSTM-PSO nhằm OPZ đầu thầu điện gió, kết hợp dự báo AI và thuật toán tối ưu như trình bày trong tổng quan.

3.2. Lý thuyết mô hình toán học

3.2.1. Mô tả bài toán

Mục tiêu: OPZ mô hình liên kết WTEM1 đề xuất Chương 2.

Quá trình: tích hợp và lai hóa LSTM-GA, và LSTM-PSO.

Kết quả: (1) đánh giá so với nghiên cứu Chương 2; (2) so sánh với các thuật toán truyền thống và một số cải tiến gần đây theo [77].

3.2.2. Hàm mục tiêu

Tô đa lợi ích: thu nhập tiếp khi chào thầu và doanh thu bất định:

$$\max \{F = R_w + IC_w\} \quad (3-1)$$

3.2.2.1. Doanh thu trực tiếp

$$R_w = R_w^d(P_{ws}) + R_T^d(P_{Ts}) \quad (3-2)$$

Doanh thu trực tiếp R_w gồm ĐG R_w^d và nhiệt điện liên doanh R_T^d , theo giá chào.

$$R_w^d = \lambda_w x P_{ws} \quad (3-3)$$

$$R_T^d = \lambda_T x P_{Ts} \quad (3-4)$$

3.2.2.2. Thu nhập bất định

$$IC_w = R_w^u(\Delta P_w) - (C_E + C_T + C_P) \quad (3-5)$$

Chi tiết các thành phần tham số tính theo các biểu thức sau:

$$C_E = \eta_E(\lambda_C - \lambda_B)P_E \quad (3-6)$$

$$C_T = R_T^d(P_{Ts}) + R_T^u(\Delta P_T) \quad (3-7)$$

$$C_P = \lambda_P \Delta P_P \quad (3-8)$$

$$\Delta P_w = P_{wav} - P_{ws} \quad (3-9)$$

$$R_w^u = \begin{cases} R_{Rw}(\tau_{out}), & \text{khi } \tau_{out} > 0 \\ -C_{Pw}(\tau_{out}), & \text{khi } \tau_{out} < 0 \end{cases} \quad (3-13)$$

τ_{out} là độ lệch công suất thời gian thực. Lưu ý các doanh thu và chi phí là đại lượng ngẫu nhiên theo xác suất biến động công suất, ở đây dùng phân bố Weibull

3.2.2.3. Chỉ số giá điện trong thị trường điện

Nguyên lý giá điện biến động và phát thị trường xác định theo [78].

3.2.3. Các ràng buộc

3.2.3.1. Giới hạn của hệ thống điện

Các ràng buộc vận hành ổn định PSS truyền tải tương tự nghiên cứu [79].

3.2.3.2. Giới hạn vận tốc tua-bin gió

Vận tốc gió để tua-bin có thể làm việc bị giới hạn trên và dưới.

3.2.3.3. Giới hạn vận hành ESS

Hệ thống ESS bị ràng buộc doanh thu và chi phí như trong [80] để tồn tại.

3.3. Lý thuyết phương pháp tối ưu

3.3.1. Tóm lược các thuật toán gốc

3.3.1.1. GA

Thuật toán tiến hóa tham khảo [81] và [82], trình bày trong 5 bước. Các vòng lặp tiến hóa gen cho đến khi đạt mục tiêu.

3.3.1.2. PSO

Thuật toán PSO tham khảo nghiên cứu [89], mô tả di chuyển của đàn sinh vật đến khi tìm được mục đích.

3.3.1.3. LSTM

LSTM mạng nơ-ron hồi tiếp tham khảo [95], phù hợp dự báo chuỗi thời gian. Có cấu trúc nơ-ron 3 lớp chính: Input – nhiều lớp ẩn tương tác – Output. Có các hình mô tả kiến trúc và Cell. Mỗi Cell biểu diễn bởi các hàm toán học biến đổi và liên kết. Quá trình học cần thực thi để xây dựng các tham số kiến trúc, dựa vào đó để dự đoán.

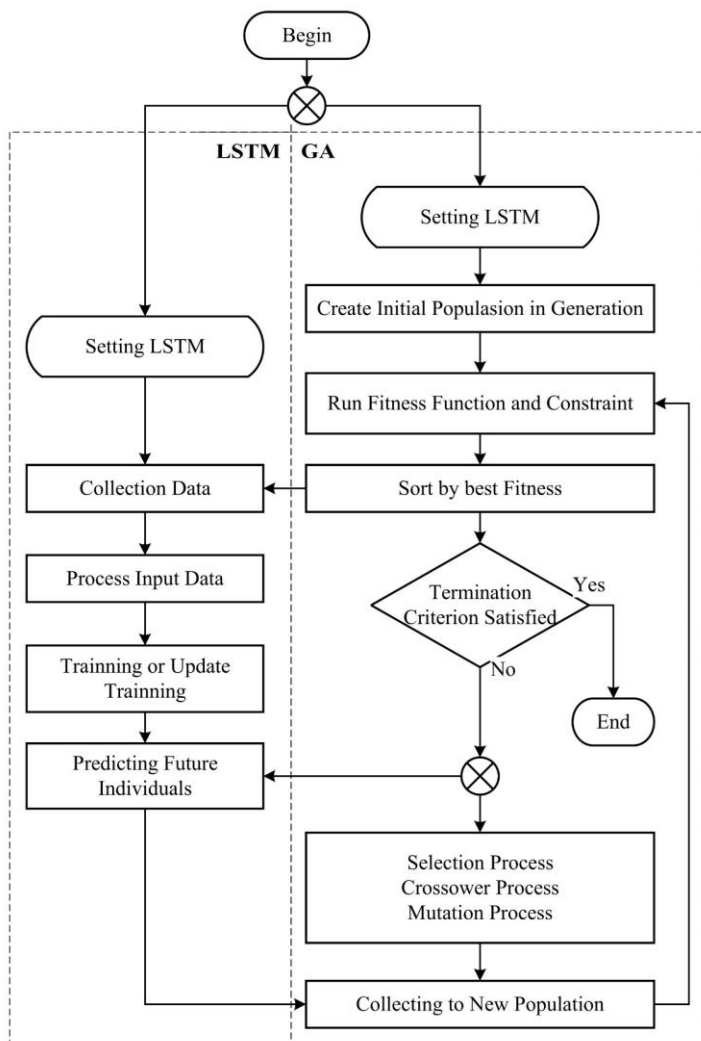
3.3.2. Thuật toán lai AI-MH đề xuất

3.3.2.1. Nguyên lý chung

GA và PSO hoạt động dựa trên sự kết hợp giữa cạnh tranh và hợp tác, giúp các thể hệ sau tiệm cận nghiệm tối ưu hơn. Nếu có cá thể mang đặc tính vượt trội, chúng sẽ thúc đẩy quá trình tiến hóa trong GA và tăng tốc độ hội tụ trong PSO. Bằng cách ứng dụng LSTM để dự đoán đặc tính ưu việt, thuật toán đề xuất có thể đẩy mạnh tốc độ tối ưu và cải thiện độ chính xác.

3.3.2.2. Lai LSTM-GA

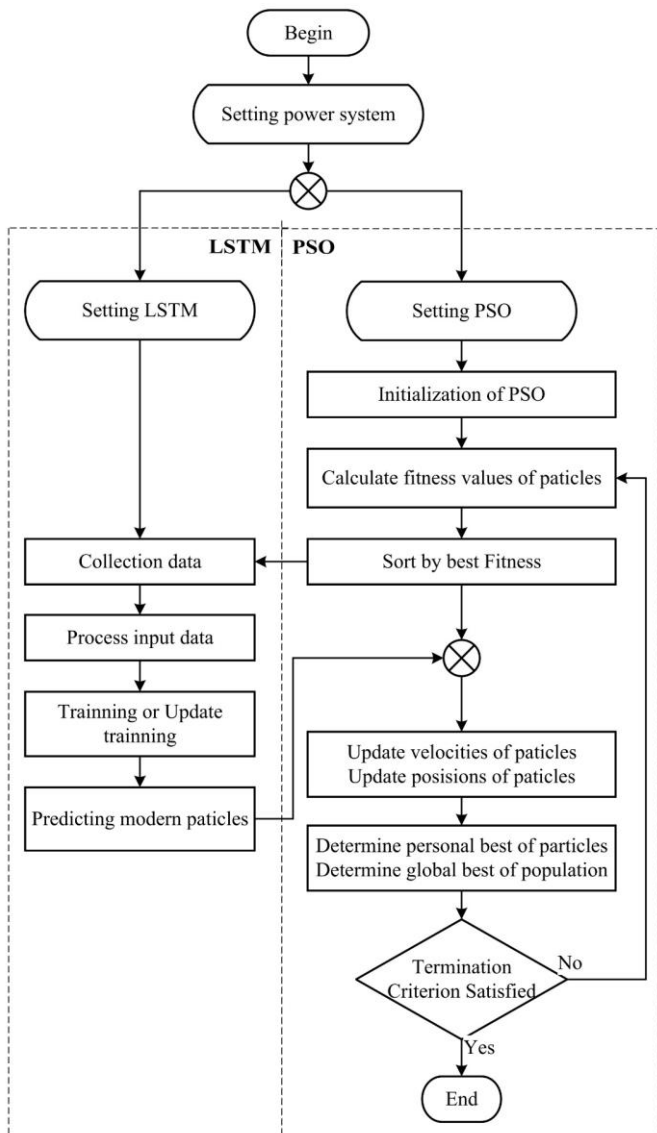
Chi tiết lưu đồ lai hóa LSTM-GA như Hình 3.5. Thực hiện qua 5 bước mô tả chi tiết trong thuyết minh luận án. Mô hình LSTM được huấn luyện từ dữ liệu quần thể trước, sau đó dự đoán cá thể tương lai và cải thiện độ chính xác thông qua lai ghép và đột biến, giúp rút ngắn số vòng lặp tiến hóa liên kết tương lai.



Hình 3.5. Lưu đồ thuật toán LSTM-GA

3.3.2.3. Lai LSTM-PSO

Thuật toán này cũng tích hợp LSTM để dự đoán cá thể tương lai và thực thi 7 bước chi tiết trong thuyết minh luận án. Lưu đồ Hình 3.6. Quá trình dịch chuyển các cá thể tương tác có cả cá thể tương lai được nhiễu loạn trong cộng đồng.

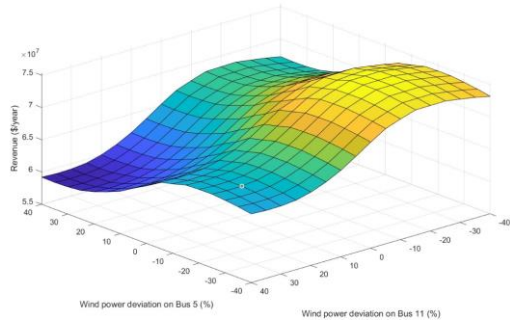


Hình 3.6. Lưu đồ LSTM-PSO

3.4. Thử nghiệm

3.4.1. Xây dựng các kịch bản thử nghiệm

Sáu kịch bản: ACD: Tối ưu toán học truyền thống; GA: Tối ưu GA gốc; LSTM-GA: Lai LSTM-GA; PSO: Tối ưu PSO gốc; LSTM-PSO: Lai LSTM-PSO; và AC: một tối ưu toán học đã công bố [2].



Hình 3.7. Phân bố doanh thu điện gió

3.4.2. Dữ liệu đầu vào

3.4.2.1. Hệ thống điện chuẩn IEEE 30-bus

Như Chương 2.

3.4.2.2. Dữ liệu cài đặt cho thuật toán GA, PSO và kiến trúc LSTM

Theo các Bảng 3.1 và Bảng 3.2. chi tiết trong thuyết minh luận án.

3.4.2.3. Công cụ thí nghiệm

Code viết trên phần mềm Matlab sử dụng các công cụ mã nguồn mở Matpower.

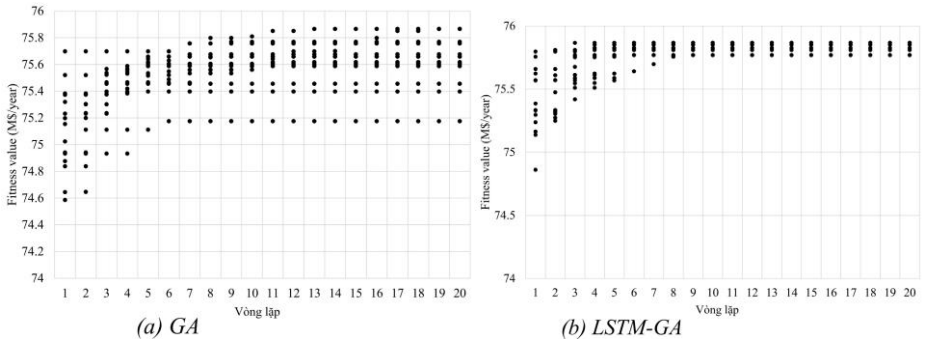
3.4.3. Kết quả thử nghiệm

3.4.3.1. Kịch bản ACD

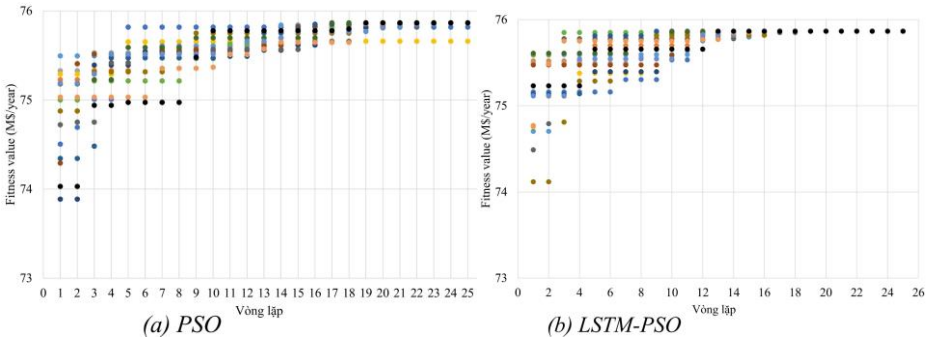
Kết quả như Hình 3.7, đạt đỉnh doanh thu với WPD -10% đến -30%; Cực đại M\$74/năm tại $WPD_5 = -25\%$, $WPD_{11} = -20\%$, $P_{E5} = 5MW$, và $P_{E11} = 5MW$.

3.4.3.2. Kịch bản GA và LSTM-GA: 15 lần chạy liên tục GA và LSTM-GA cho kết quả các quỹ đạo hội tụ thể hiện trên Hình 3.8. Hình (a): GA truyền thống đạt cực trị sau 10-15 thế hệ nhưng đôi khi bị kẹt tại cực trị địa phương, gây phân tán nghiệm. Hình (b): LSTM-GA cải thiện đáng kể khả năng hội tụ toàn cục và độ chính xác.

3.4.3.3. Kịch bản PSO và LSTM-GA: Tương tự 15 lần liên tục chạy PSO và LSTM-PSO, kết quả Hình 3.9. Về cơ bản nhận xét cũng tương tự GA nhưng đường như tốt hơn.



Hình 3.8. Quá trình tiến hóa 15 lần chạy GA và LSTM-GA



Hình 3.9. Quá trình hội tụ của 15 lần chạy PSO và LSTM-PSO

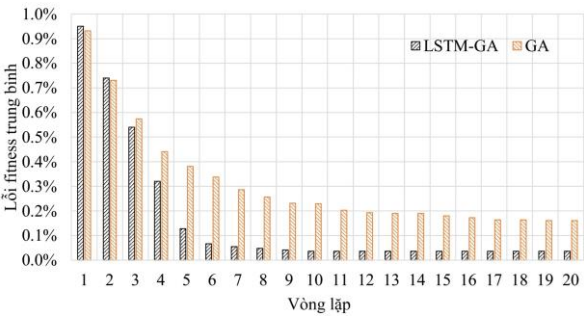
3.4.4. Thảo luận

3.4.4.1. Đánh giá hiệu quả đầu tư điện gió

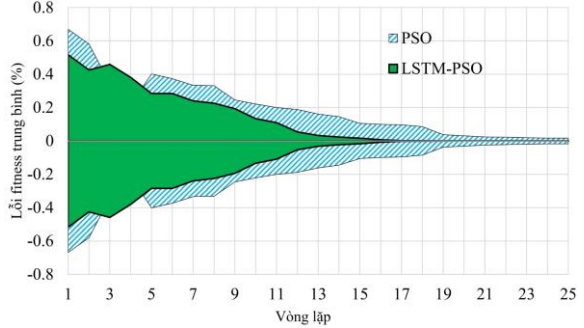
Bảng 3.3. So sánh chỉ tiêu các kịch bản

Kịch bản		AC [2] ¹	ACD	GA	LSTM-GA	PSO	LSTM-PSO
		6	1	2	3	4	5
Độ lệch WPD (%)	Bus 5	-30%	-25%	(-15%)÷ (-28%)	(-15%)÷ (-18%)	(-15.6%)÷ (-16.5%)	(-15.7%)÷ (-16.5%)
	Bus 11	-30%	-20%	(-16%)÷ (-28%)	(-16%)÷ (-17%)	(-15.6%)÷ (-26%)	(-15.6%)÷ (-16.5%)
Công suất điện gió chào thầu cao nhất (MW)		95	104	97÷114	111÷114	100÷114	113÷114
Công suất ESS (MW)		10	10	18	19	16	16
Benefit (M\$/year)		71	74	75.9	75.9	75.9	75.9

Kết quả thử nghiệm sáu kịch bản trong Bảng 3.3 cho thấy phương pháp lai khẳng định mô hình WTEM1 (đề xuất Chương 2) nâng cao hiệu quả đầu tư điện gió. Với lợi nhuận cực đại cao hơn các nghiên cứu khác, đạt 75.9 triệu USD/năm. Chiến lược đầu thầu cũng được các thuật toán mới này đề xuất có độ lệch thấp hơn, nâng công suất đầu thầu tối ưu cao hơn 20%, đạt 114 MW. Điều đó giúp khai thác ĐG nhiều hơn.



Hình 3.10. So sánh quá trình hội tụ GA và LSTM-GA



Hình 3.11. So sánh quá trình hội tụ PSO và LSTM-

3.4.4.2. Đánh giá các thuật toán lai

Hình 3.10 và 3.11 minh họa quá trình hội tụ các thuật toán. Trong giai đoạn đầu, hiệu suất các thuật toán gần như tương đương do LSTM chưa tác động đáng kể. Tuy nhiên, bắt đầu tăng tốc với các thuật toán lai, và ổn định để về đích nhanh hơn. Ba giai đoạn được chia ra như sau: (1) Khởi đầu: Trong 5-10 vòng lặp đầu, do dữ liệu huấn luyện LSTM còn ít, thuật toán lai chưa tối ưu và cải thiện quần thể tương đương thuật toán gốc; (2) Tăng tốc: 5-10 vòng lặp tiếp theo, LSTM dần ổn định, giúp thuật toán lai hội tụ nhanh hơn, rút ngắn 10-15 vòng để đạt cực trị, tối ưu hóa hiệu suất đáng kể; (3) Hội tụ: Các vòng lặp cuối, thuật toán lai hội tụ chặt chẽ hơn, ít phân tán, nhờ LSTM giúp dự đoán và điều chỉnh hiệu quả, tránh bẫy cực trị địa phương.

3.5. Kết luận: Hai nội dung đạt được chi tiết trong thuyết minh luận án

CHƯƠNG 4: Nghiên Cứu Mô Hình Mở Rộng Điện Gió

4.1. Đặt vấn đề

4.1.1. Tổng quan

Tối ưu hóa hiệu quả đầu tư điện gió bằng cách mở rộng các trang trại hiện có thay vì xây dựng mới được đề xuất trong chương này, tăng hoạt động máy biến áp truyền tải sẵn có để giảm chi phí và rủi ro. Hai phương án được so sánh: đầu tư trang trại mới với chi phí cao và rào cản pháp lý, hoặc mở rộng cơ sở hiện có để tối ưu công suất phát. Các giải pháp khai thác tối ưu máy biến áp trong mô hình tích hợp ĐG và ESS được đề xuất đã tăng hiệu suất và khai thác điện gió.

4.1.2. Bài toán

Bài toán nghiên cứu vai trò của máy biến áp trong truyền tải điện gió, tập trung vào tối ưu hiệu suất vận hành thay vì mở rộng hạ tầng. Mô hình liên kết WTEM2 được đề xuất, trong đó giải pháp điều chỉnh linh động theo biểu đồ công suất kết hợp lưu trữ năng lượng giúp tăng hiệu quả kinh tế.

4.2. Lý thuyết toán học

4.2.1. Hàm mục tiêu

Chỉ tiêu NPV và ROI được đánh giá,

$$\max NPV = \sum_{i=1}^n \frac{CashFlow_i}{(1+r)^i} - InitialInvestment \quad (4-1)$$

$$\text{Và } \max ROI = \frac{NPV}{InitialInvestment} \quad (4-2)$$

$$InitialInvestment = C_{tw} + C_{tr} + C_{ESS} \quad (4-3)$$

$$CashFlow_i = Benefits_i - Cost_i + Certificate_i \quad (4-4)$$

$$Cost_i = C_{tur,i}^{O\&M} + C_{tr,i}^{O\&M} + C_{ESS,i}^{O\&M} \quad (4-5)$$

$$Certificate = \sum_{t=1}^T (P_t^{wav} \cdot C_{price}) \quad (4-6)$$

4.2.2. Mô hình máy biến áp truyền tải

Mô phỏng bằng chi phí với các ràng buộc vận hành theo tiêu chuẩn IEC:

$$C_{tr} = RI_{tr} \cdot P_{tr}^r \quad (4-7)$$

4.2.2.1. Giới hạn về công suất truyền tải tối đa

$$I_t^2 \cdot T_{size} \geq P_t^{wav} \quad (4-8)$$

4.2.2.2. Giới hạn nhiệt độ máy biến áp tối đa

Giới hạn nhiệt độ theo tiêu chuẩn có cuộn dây và dầu cách điện,

$$\theta_t^{hst} \leq \theta_t^{hst,max} \quad (4-10)$$

$$\theta_t^{top} \leq \theta_t^{top,max} \quad (4-11)$$

4.2.2.3. Giới hạn tuổi thọ máy biến thế

LOL tính theo tốc độ già máy biến áp,

$$LOL = \sum_t^T V_t \quad (4-17)$$

$$LOL \leq \frac{\text{Transformer's Lifetime}}{\text{Wind Farm's Lifetime}} \cdot 8760 \quad (4-19)$$

4.2.3. Mô hình nguồn trữ năng Mô phỏng bằng lợi ích, gồm doanh thu bán điện và chi phí trữ năng,

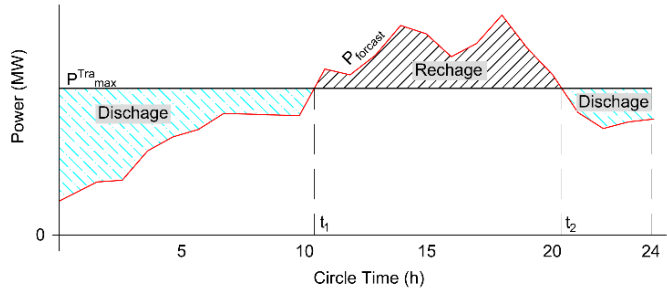
$$C_{ESS} = RI_{ESS} \cdot E_{ESS} \quad (4-20)$$

Năng lượng lưu trữ khi sạc và xả tận dụng hai loại:

4.2.3.1. Năng

lượng trực tiếp

Hình 4.2 ví dụ đồ thị năng lượng sạc và xả trong một ngày. Hai thành phần năng lượng sạc xả trực tiếp tính như sau:



Hình 4.2 Biểu đồ năng lượng sạc và xả dự kiến

$$E_R^D = \int_{t_1}^{t_2} (P_{forecast}(t) - P_{max}^{Tra}) dt \quad (4-22)$$

$$E_D^D = \int_0^{t_1} (P_{max}^{Tra} - P_{forecast}(t)) dt + \int_{t_2}^{24} (P_{max}^{Tra} - P_{forecast}(t)) dt \quad (4-23)$$

4.2.3.2. Năng lượng bất định

Phụ thuộc hai giá trị ngẫu nhiên: vận tốc gió bất định và xác suất công suất phát ĐG vượt quá các giá trị chào thầu, tính như sau,

$$E_R^U = \int_{t_o}^{t_2} \left(\int_{P_{forecast}^{Pwr}}^{P_{max}^{Pwr}} (p_t^w - P_{max}^{Tra}) \cdot f_w(p_t^w) \cdot dp_t^w \right) dt + \int_{t_o}^{t_1} \left(\int_{P_{forecast}^{Pwr}}^{P_{max}^{Pwr}} (p_t^w - P_{forecast}) \cdot f_w(p_t^w) \cdot dp_t^w \right) dt \quad (4-24)$$

$$E_D^U = \int_{t_o}^{t_1} \left(\int_{P_{forecast}^{Pwr}}^{P_{max}^{Pwr}} (p_t^w - P_{forecast}) \cdot f_w(p_t^w) \cdot dp_t^w \right) dt \quad (4-25)$$

4.2.4. Mô hình điện gió trong thị trường điện

Xem chương 2.

4.2.5. Phân bố xác

suất bất định của điện gió

Xem chương 2.

4.3. Các kịch bản

Ba kịch bản đánh giá: TS: xây dựng ĐG mới; OWS: Tăng ĐG hiện có; EWS: tiếp tục tăng ĐG kết hợp ESS; và cuối cùng là “Case 4”:

kịch bản công bố [98].

4.4. Lưu đồ chu

trình khảo sát và

đánh giá: Hình 4.3.

4.5. Thí nghiệm

4.5.1. Dữ liệu đầu

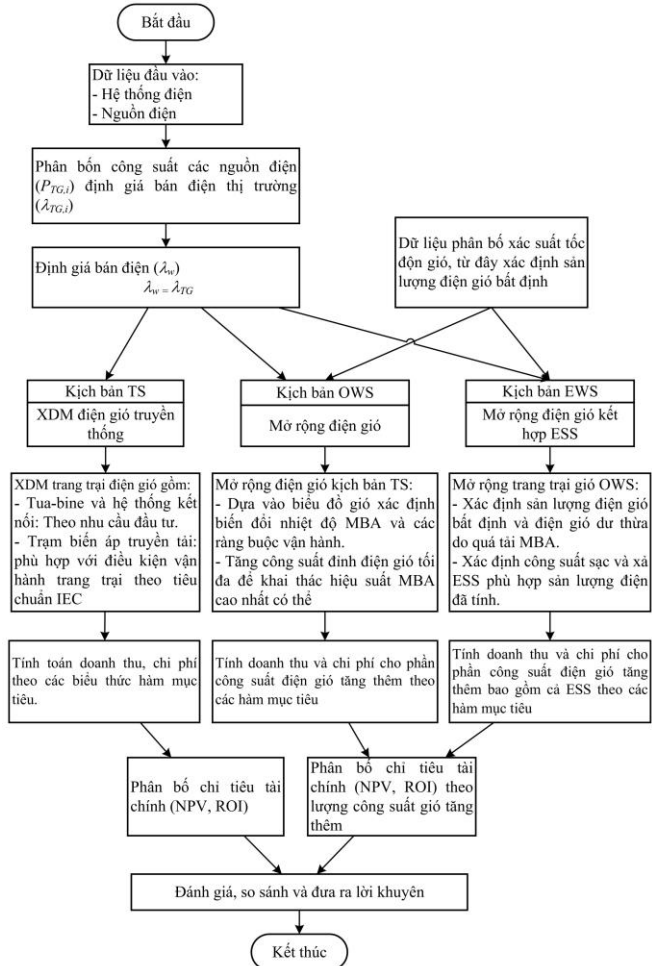
vào

4.5.1.1. Hệ thống

điện chuẩn IEEE 30-

Bus

Như chương 2.



Hình 4.3: Lưu đồ chu trình

4.5.1.2. Nguồn điện gió

Như chương 2. Mô tả thêm khái niệm ba thành phần năng lượng: dự đoán chào thầu (OE hoặc OP), vượt dự đoán (EE hoặc EP) và thấp dự đoán (ES hoặc PS).

4.5.1.3. ESS

Chọn lưu trữ là pin Lithium-ion để thí nghiệm, chi tiết như sau [102], chi tiết trong thuyết minh luận án.

4.5.1.4. TTS

Chi tiết trong thuyết minh luận án.

4.5.2. Giá bán điện thị trường

Tương tự chương 2.

4.6. Kết quả thí nghiệm

4.6.1. Kịch bản TS

Công suất tối ưu của máy biến áp được tính toán là 57 MVA

và chọn chuẩn

63 MVA, dựa

trên công suất

đỉnh 75MW tại

bus 5. Thiết kế

tuân theo tiêu

chuẩn IEC

[101], với kết

quả biến thiên

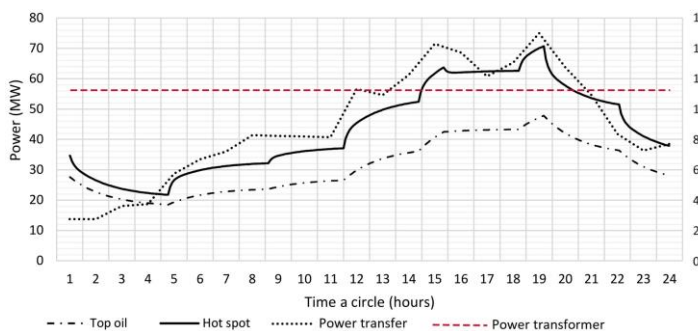
nhiệt và dòng

tiền đầu tư được trình bày trong Hình 4.6 và Bảng 4.2. Kết quả cho thấy NPV dương, xác nhận hiệu quả đầu tư theo kịch bản TS với không phạt, nhưng có giá phạt thì NPV có thể biến động.

4.6.2. Kịch bản OWS

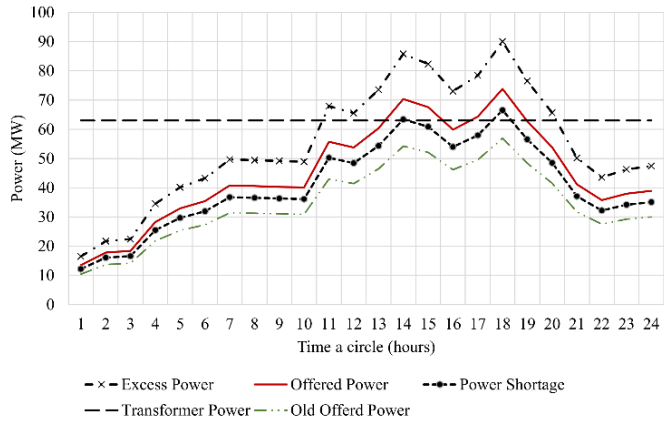
Bảng 4.2. Dòng tiền dự án trong kịch bản TS

Năm	0	1	2	...	20
Dòng tiền (k€)	-58,140	4,271	4,271	4,271	4,271
NPV (k€)	2,562				

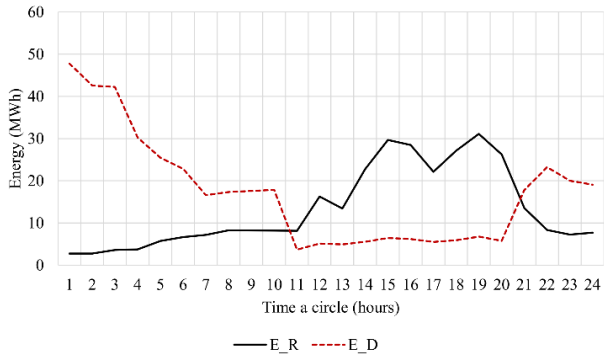


Hình 4.6. Biến thiên nhiệt độ máy biến thế ngày cao điểm

Công suất ĐG bus 5 tăng mà không cần tăng máy biến áp vẫn đạt giới hạn truyền tải. Thiết kế ở đây hai giai đoạn: tối ưu toán học xác định công suất định mới 90 MW (+20%), và sau đó nâng công suất ĐG từ 57 MW lên 74 MW (+30%).



Hình 4.7 Công suất ĐG Bus 5



Hình 4.8 Giới hạn sạc và xả ESS

tiên sạc để tận dụng điện gió dư thừa, ngoài khung giờ này ưu tiên phát điện đáp ứng nhu cầu EMart. Kết quả xác định được ESS 10 MW-140 MWh, xả sâu 20%.

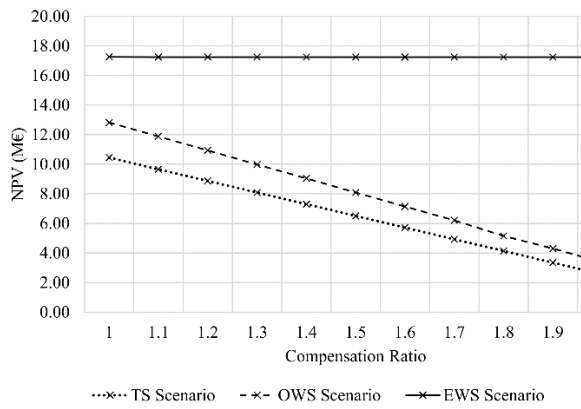
4.7. Nhận xét và đánh giá kết quả thực nghiệm

4.7.1. Xem xét khả năng thu hồi vốn NPV

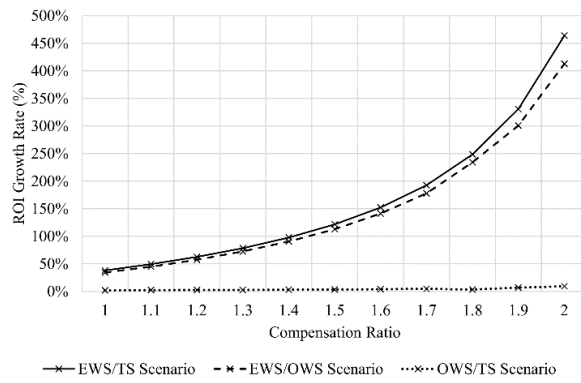
Hình 4.9 cho thấy cả ba kịch bản đều có $NPV > 0$, chứng tỏ dự án khả thi. Kịch bản mở rộng điện gió tích hợp ESS mang lại doanh thu cao nhất và ít bị ảnh hưởng bởi biến động giá điện đền bù. Kịch bản mở rộng không tăng trạm biến áp tăng lợi nhuận đáng kể. Khi có ESS, NPV tăng mạnh hơn nữa nhờ tận dụng điện dư và giảm phạt bởi thị trường.

4.7.2. Đánh giá suất hiệu quả đầu tư

Đầu tư mở rộng ĐG kết hợp ESS tăng lợi ích hơn so với xây dự án tương đương bởi cả NPV và ROI cao, Hình 4.9 và 4.11. Cụ thể so với Case 4, ROI của EWS cao hơn, khẳng định đây là phương án tối ưu cả về tài chính và lợi ích xã hội. So với các kịch bản TS và OWS, Case 4 có lợi thế tài chính đáng kể, nhưng kịch bản EWS vẫn vượt trội với ROI cao đến 24,8%, Bảng 4.3. Tuy vậy, việc triển khai cần xem xét yếu tố bất định thực tế và các ràng buộc kỹ thuật để tránh phát sinh chi phí mở rộng hệ thống truyền tải.



Hình 4.9 Chỉ tiêu NPV các kịch bản



Hình 4.11 Hiệu quả trên giá vốn đầu tư ROI

Bảng 4.3. Đối chiếu chỉ tiêu các kịch bản

Kịch bản	TS	OWS	EWS	Case 4
Wind Power (MW)	75	90	90	75
Xét đến sự bất định	Yes	Yes	Yes	No
NPV (M€)	2.56	3.36	17.28	11.2
NPV/WP (k€/MW)	34.1	37.3	192	149.3
ROI (%)	4.4	4.8	24.8	19.2

CHƯƠNG 5: Kết Luận

5.1. Nội dung đạt được mục tiêu

5.1.1. Nghiên cứu tổng quan phát triển trang trại điện gió

Chương 1 tổng quan về nhu cầu phát triển năng lượng bền vững, thách thức điện gió do biến động và thị trường hóa gây tài chính rủi ro cần tối ưu vận hành và thúc đẩy phát triển. Hai nội dung nghiên cứu đề xuất: (1) Phương pháp nâng cao hiệu quả đầu tư ĐG trong thị trường cạnh tranh, xét đến tính bất định; (2) Ứng dụng AI lai MH để tối ưu chiến lược đầu thầu ĐG.

5.1.2. Nghiên cứu và đề xuất biện pháp nâng hiệu quả đầu tư trang trại gió

Chương 2 và 4 phân tích mô hình nâng cao hiệu quả đầu tư ĐG, gồm đề xuất mô hình WTEM1 trong chương 2 và WTEM2 trong chương 4. Kết quả cả hai mô hình đề xuất khả thi tăng doanh thu và lợi ích đầu tư ĐG cũng nhưng cho xã hội.

5.1.3. Nghiên cứu và đề xuất thuật toán mới tối ưu đầu tư điện gió

Chương 3 trình bày hai thuật toán lai LSTM-GA và LSTM-PSO và thử nghiệm trên mô hình WTEM1 cho thấy nâng tầm đáng giá trong tối ưu đầu thầu ĐG. Ba ưu thế của thuật toán lai: (i) tăng tốc hội tụ; (ii) tránh bẫy cực trị địa phương tốt; (iii) hội tụ ổn định.

5.1.4. Đối chiếu với mục tiêu nghiên cứu đặt ra

Hai định hướng nghiên cứu được đề ra trong chuyên đề tổng quan đã được giải quyết đúng mục tiêu nghiên cứu đề ra.

5.2. Tính mới và các đóng góp của nghiên cứu

Các nghiên cứu đề xuất được công bố trên các bài báo khoa học trong và ngoài nước, tính mới và các nội dung đóng góp được thể hiện cụ thể trong kết luận của luận án, gồm đề xuất mô hình tăng hiệu quả ĐG và thuật toán tối ưu mới lai AI.

5.3. Những khuyến nghị

05 hạn chế và 02 khuyến nghị của được kết luận trong luận án.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Các bài báo đăng trên tạp chí ISI – Scopus

- 01 bài hạng Q1 ISI 2025: V. A. Truong, N. S. Dinh, T. L. Duong, N. T. Le, C. D. Truong và L. T. Nguyen, “Hybrid LSTM-PSO optimization techniques for enhancing wind power bidding efficiency in electricity markets,” *Ain Shams Engineering Journal*, tập 16, số 2, p. 103285, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103285>
- 01 bài hạng Q1 ISI/Scopus 2024: V. A. Truong, N. S. Dinh và T. L. Duong, “Profit Maximization of Wind Power Plants in the Electricity Market Based on Linking Models Between Energy Sources,” *Arabian Journal for Science and Engineering*, tập 49, số 8, p. 6275–6291, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-023-08181-1>
- 01 bài hạng Q2 Scopus 2024: V. A. Truong, T. L. Nguyen và N. S. Dinh, “Controlling Output Power to Enhance the Investment Efficiency of Wind Farms by Maximizing the Capacity of Transmission Transformers and Integrating Energy Storage Systems,” *Engineering, Technology & Applied Science Research*, tập 14, số 4, p. 15751–15756, 2024. DOI: <https://doi.org/10.48084/etasr.7688>
- 01 bài hạng Q4 Scopus 2025: N. S. Dinh và T. L. N. Viet Anh Truong, “Optimal Probability Distribution Models for Wind Speed Prediction: Strategies to Advance Wind Energy Development in Vietnam,” *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, tập 12, số 1, pp. 17-24, 2025. DOI: <https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V12I1P103>

2. Các bài báo hội thảo khoa học quốc tế đăng tạp chí quốc tế có phản biện

- 01 bài Hội nghị 2023: N. S. Dinh, T. L. Nguyen và V. A. Truong, “Enhancing Wind Power Profitability Through Integrated Clusters in the Electricity Market,” trong *2023 Asia Meeting on Environment and Electrical Engineering (EEE-AM)*, Hanoi, Vietnam, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/EEE-AM58328.2023.10395263>
- 01 bài Hội nghị 2022: T. L. Nguyen, N. S. Dinh, V. A. Truong, T. L. Duong, H. D. Dao và A. T. Do, “Enhancing Total Transfer Capability via Optimal

Location of Energy Storage Systems Using a Hybrid Improved Min-Cut Algorithm and Genetic Algorithm,” trong *The International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2022*. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-22200-9_57

3. Các bài báo đăng ký yếu hội nghị quốc tế có phản biện

- 01 bài Hội nghị 2024: X. L. Bui, N. S. Dinh và V. A. Truong, “Initiative for Integrating Wind and Thermal Power to Maximize Social Profit,” trong *Proceedings of 2024 7th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD)*, Hochiminh, Vietnam, 2024.

4. Các bài báo đăng trên tạp chí khoa học trong nước thuộc danh mục hội đồng chức danh Nhà nước

- Đ. N. Sang, N. T. Linh và T. V. Anh, “Nâng cao hiệu quả thiết kế đầu tư mở rộng điện gió trong điều kiện cạnh tranh thị trường điện có xét đến tính bất định,” *TNU Journal of Science and Technology*, tập 229, số 14, pp. 280 - 288, 2024. DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.11135>
- N. S. Dinh, V. A. Truong và T. L. Nguyen, “A robust hybrid algorithm AI and GA for optimizing wind power in electricity market,” *Journal of Military Science and Technology*, tập 99, pp. 24-34, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.99.2024.24-34>
- Đ. N. Sang, T. V. Anh và N. T. Linh, “Tăng cường hiệu quả đầu tư điện gió trong thị trường điện thông qua kết hợp sự bất định của điện gió với vận hành nhà máy nhiệt điện,” *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, tập 22, số 2, pp. 81-87, 2024. <https://jst-ud.vn/jst-ud/article/view/8912>
- T. V. Anh, N. T. Linh và Đ. N. Sang, “Nghiên cứu ứng dụng phương pháp lai trong bài toán lựa chọn hợp lý vị trí và dung lượng hệ thống lưu trữ năng lượng trong hệ thống điện,” *Journal of Science & Technology, Trường ĐH Công nghiệp Hà Nội*, tập 59, số 3, pp. 3-10, 2023. DOI: <https://doi.org/10.57001/huinh5804.2023.100>