

# TỐI ƯU HOÁ CÔNG SUẤT TUABIN GIÓ SỬ DỤNG ĐỊNH LUẬT CORIOLIS VÀ TỐC ĐỘ GIÓ THEO THỜI GIAN THỰC

Lê Quyết Thắng<sup>1,\*</sup>, Trần Thị Thơm<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

\*Email: lequyetthang5282@qui.edu.vn

## TÓM TẮT

Tuabin gió là một thành phần quan trọng trong việc tận dụng năng lượng gió để sản xuất điện sạch, giúp giảm thiểu ô nhiễm môi trường. Nghiên cứu này chú trọng vào việc tích hợp Định luật Coriolis, mô tả ảnh hưởng của quay của Trái Đất, vào thuật toán điều khiển. Thêm vào đó, dữ liệu vận tốc gió thực tế từ cảm biến vận tốc gió, cảm biến hướng gió và từ nguồn OpenWeatherMap được sử dụng để có một biểu diễn chính xác hơn về điều kiện môi trường...

**Từ khóa:** Tuabin gió, Điều khiển công suất, Định luật Coriolis, lập trình Python.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

### 1.1. Khái quát

Nghiên cứu về tối ưu hóa công suất của tuabin gió là một phần quan trọng trong lĩnh vực năng lượng tái tạo và bảo vệ môi trường. Đây là một vấn đề có tầm quan trọng lớn vì nó liên quan trực tiếp đến việc tăng hiệu suất và giảm chi phí của việc sản xuất điện từ nguồn năng lượng gió. Bằng cách tối ưu hóa các tham số của tuabin gió như vận tốc gió, hệ số công suất và hướng quay, chúng ta có thể tăng hiệu suất hoạt động của tuabin gió, từ đó giảm thiểu sự lãng phí năng lượng và tăng tỷ lệ sản xuất điện sạch.

Nghiên cứu này tập trung vào việc mô phỏng điều khiển tối ưu của tuabin gió công suất nhỏ, tích hợp Định luật Coriolis và dữ liệu vận tốc gió thực tế từ 2 nguồn song song là giá trị cảm biến vận tốc gió, cảm biến hướng gió và dữ liệu của trang web: OpenWeatherMap.

Mục tiêu là tăng cường hiệu suất của tuabin gió bằng cách điều chỉnh động cơ bước mở các góc quay khác nhau, và đóng mở máy phát điện theo điều kiện tự nhiên, từ đó cho ra công suất phát điện cao nhất.

Hiện nay, nghiên cứu về tối ưu hóa tuabin gió đang thu hút sự quan tâm lớn từ cộng đồng khoa học và ngành công nghiệp năng lượng tái tạo. Các nhà nghiên cứu và các doanh nghiệp đều đang nỗ lực phát triển các phương pháp và công nghệ mới để tối ưu hóa hiệu suất của

tuabin gió. Các vấn đề nghiên cứu hiện nay bao gồm:

Tối ưu hóa vận tốc gió [1], tối ưu trong điều khiển dự báo [2]. Nghiên cứu về cách tối ưu hóa vận tốc gió, tối ưu trong điều khiển dự báo đang tập trung vào việc phát triển các thuật toán và mô hình dự báo vận tốc gió chính xác hơn, từ đó giúp tuabin gió hoạt động ổn định hơn và có hiệu suất cao hơn.

Tối ưu hóa hình dạng và kích thước cánh quạt [3]. Nghiên cứu về cách tối ưu hóa hình dạng và kích thước của cánh quạt nhằm tối đa hóa hiệu suất thu sóng gió và giảm tổn thất năng lượng.

Tối ưu hóa hướng quay [4]: Nghiên cứu về cách điều chỉnh hướng quay của tuabin gió để tối ưu hóa hiệu suất hoạt động trong điều kiện gió biến đổi.

Tối ưu hóa vận hành và bảo dưỡng [5]: Nghiên cứu về cách tối ưu hóa vận hành và bảo dưỡng tuabin gió để giảm chi phí vận hành và bảo dưỡng cũng như tăng tuổi thọ và độ tin cậy của hệ thống.

Tương tác với môi trường [6]: Nghiên cứu về cách giảm thiểu tác động của tuabin gió đối với môi trường và đồng thời tối ưu hóa hiệu suất năng lượng.

### 1.2. Công cụ mô phỏng và nguồn dữ liệu

Việc sử dụng ngôn ngữ lập trình Python và nguồn dữ liệu mở đóng vai trò quan trọng trong việc mô phỏng, tính toán, và thiết kế hệ thống

điều khiển. Dưới đây là một số điểm nổi bật về việc sử dụng trong nghiên cứu:

```

step_motor_resolution = 1.8
gear_ratio = 50

# OpenWeatherMap API key
api_key = "3d596f2e83f049f770102438387383" # Vui lòng thay thế YOUR_API_KEY bằng API key của bạn

# Ràng buộc về tốc độ gió
constraints_power = [
    {"type": "ineq", "fun": lambda x: x[0] - 5}, # v_min
    {"type": "ineq", "fun": lambda x: 25 - x[0]}, # v_max
    {"type": "ineq", "fun": lambda x: x[0] - 3} # v_min_no_wind
]

# Ràng buộc về hiệu suất
bounds_power = [(0, 40), (0, 1), (0, 360)] # v, Cp và theta nằm trong khoảng từ 0 đến 40, 0 đến 1, và 0 đến 360, tur

# Hàm mô phỏng cảm biến tốc độ gió, cảm biến hướng gió và cảm biến tốc độ gió
def simulate_sensor_data(num_points):
    wind_speeds = np.linspace(3, 25, num_points)
    wind_directions = np.random.uniform(0, 360, num_points)

    sensor_speed_data = np.random.uniform(0, sensor_speed_max_pulse, num_points) * sensor_speed_resolution
    sensor_direction_data = np.random.uniform(-sensor_direction_max_error, sensor_direction_max_error, num_points) + 1

    return wind_speeds, wind_directions, sensor_speed_data, sensor_direction_data

# Hàm điều khiển động cơ dựa trên góc quay tối ưu
def step_motor_control(optimal_angle):
    step_motor_angle = optimal_angle * gear_ratio
    # TODO: Điều khiển động cơ dựa trên góc quay (sử dụng API của động cơ bước)
  
```

**Hình 1: Sử dụng công cụ trên colab viết lập trình python và lấy dữ liệu từ OpenWeatherMap**

Python là một ngôn ngữ lập trình có cú pháp đơn giản và dễ đọc, có nhiều thư viện nguồn mở mạnh mẽ như NumPy, SciPy, Matplotlib, giúp trong việc thực hiện các phép toán số học, tối ưu hóa, và vẽ đồ thị. Phần mềm tương thích tốt với API, Python kết nối và gửi yêu cầu đến API của OpenWeatherMap là phương pháp thuận tiện, các chức năng trên thư viện như requests có thể được sử dụng để thực hiện các yêu cầu HTTP(\*) và lấy dữ liệu vận tốc gió thực tế.

Sử dụng thêm thư viện Matplotlib, Python cho phép việc minh họa kết quả mô phỏng và điều khiển một cách trực quan.

Qua đó cho thấy, sự linh hoạt và khả năng tích hợp của Python làm cho nó trở thành một công cụ mạnh mẽ trong việc nghiên cứu và phát triển các ứng dụng trong lĩnh vực điều khiển và năng lượng tái tạo.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Xác định bài toán

Trong bài viết này, Bài toán là nghiên cứu và phát triển một hệ thống tuabin gió có khả năng phát điện 1KW với sự điều khiển tối ưu, đặc biệt

là dựa trên định luật Coriolis [2] và các yếu tố chính như tốc độ gió, hướng gió, động cơ bước, cảm biến tốc độ gió, cảm biến hướng gió, và dữ liệu vận tốc gió thực tế từ OpenWeatherMap. Bằng cách kết hợp các thông số này và sử dụng các phương pháp tối ưu hóa, đề tài đặt ra mục tiêu điều khiển tuabin gió sao cho đạt được công suất phát điện lớn nhất trong điều kiện mô phỏng [3]. Lưu đồ bài toán được thể hiện trên hình 2.

Tính công suất của tuabin gió, công suất được tính dựa trên nguyên tắc vật lý cơ bản về năng lượng gió. Công suất (P) được xác định bằng công thức:

$$P = 0,5 \rho A V^3 C_p. \quad (1)$$

Ở đây:

P là công suất của tuabin gió (Watt)

$\rho$  là khối lượng riêng của không khí (kg/m<sup>3</sup>)

A là diện tích cánh quạt của tuabin gió (m<sup>2</sup>)

v là tốc độ gió (m/s)

$C_p$  là hệ số hiệu suất của tuabin gió

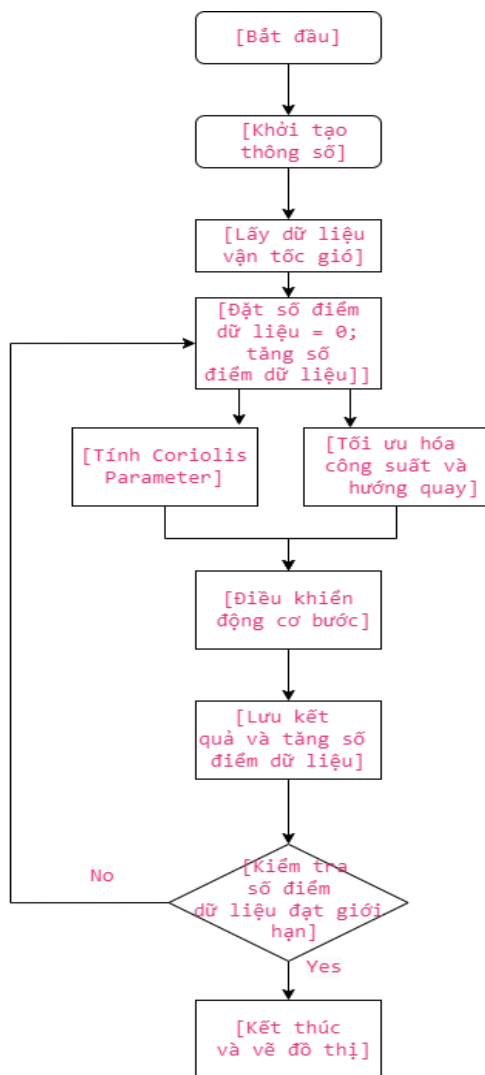
Trong chương trình này, Định luật Coriolis được áp dụng để tính toán ảnh hưởng của quay trái đất đối với hướng gió. Cụ thể, công suất (P) đã được điều chỉnh bằng cách thêm vào ảnh hưởng Coriolis, theo công thức:

$$P = 0,5 \rho A (v + f \cdot \sin(\theta))^3 C_p. \quad (2)$$

Ở đây:

f: là tham số Coriolis, được xác định bằng cách gọi API OpenWeatherMap để lấy vận tốc gió thực tế và tính toán dựa trên dữ liệu này,  $\theta$  là hướng gió (độ). Thêm vào công thức, thành phần  $f \cdot \sin(\theta)$  thể hiện sự thay đổi của hướng gió dưới ảnh hưởng của Coriolis, và nó được tích hợp vào công thức tính công suất.

Điều này giúp chương trình mô phỏng và điều khiển tuabin gió dựa trên dữ liệu thực tế và các yếu tố ảnh hưởng từ Định luật Coriolis

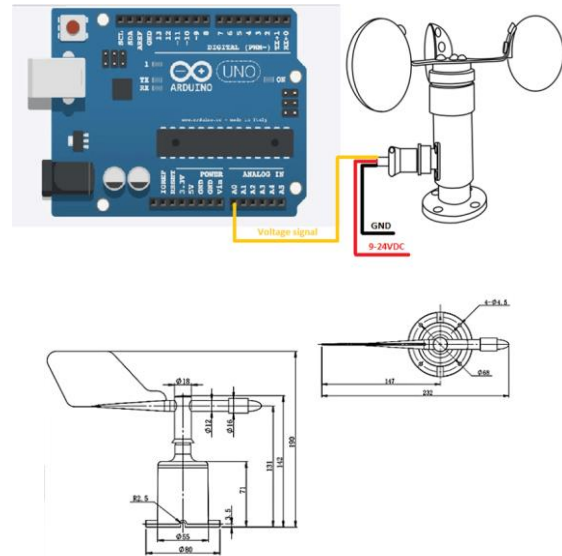


Hình 2. Lưu đồ thuật toán

### 2.2. Tính toán thông số và tối ưu đối với dữ liệu từ cảm biến tốc độ gió và cảm biến hướng gió

Trong hàm control\_program, thông tin từ cảm biến tốc độ gió (wind\_speed và sensor\_speed\_value) và cảm biến hướng gió (wind\_direction và sensor\_direction\_value) được sử dụng để tối ưu hóa các tham số của tuabin gió:

*“Optimal\_speed, optimal\_cp, optimal\_angle = control\_program(wind\_speed, wind\_direction, sensor\_speed\_value, sensor\_direction\_value).”*



Hình 3. Thu thập và xử lý tín hiệu từ cảm biến, tốc độ và hướng gió.

Từ các thông số trên tính toán hướng quay của tuabin gió qua các góc mở của động cơ bước. Ta có hàm điều khiển động cơ bước dựa trên góc quay tối ưu:

```
def step_motor_control(optimal_angle):
    step_motor_angle = optimal_angle * gear_ratio
    # TODO: Điều khiển động cơ bước dựa trên góc quay (sử dụng API của động cơ bước)
    # Điều khiển động cơ bước
    step_motor_control(optimal_angle)
    return optimal_speed, optimal_cp, optimal_angle.”
```

### 2.3 Xây dựng thuật toán tối ưu hoá công suất

#### Tối ưu hóa Công Suất

Minimize được sử dụng để tối ưu hóa hai biến là tốc độ gió và hệ số công suất của tuabin gió. Hàm mục tiêu để tối ưu hóa là power\_output, đại diện cho công suất phát ra của tuabin gió, được tính dựa trên các tham số đầu vào như vận tốc gió, hệ số công suất, và góc quay. Biến wind\_speed, optimal\_cp, và coriolis\_parameter được truyền vào hàm power\_output thông qua đối số args để tính toán công suất. Phương pháp tối ưu hóa được sử dụng là Sequential Least Squares Quadratic Programming (SLSQP). Ràng buộc về tốc độ gió được xác định bởi giá trị từ bounds\_power, trong khi ràng buộc về hiệu suất và hướng gió được xác định bởi giá trị từ constraints\_power.

#### Tối Ưu Hóa Hướng Quay:

Minimize cũng được sử dụng tối ưu hóa

góc quay của tuabin gió mục đích hướng tuabin vào hướng gió thực tế. Hàm mục tiêu là `loss_function`, biểu diễn sự chênh lệch giữa góc quay hiện tại và hướng gió thực tế. Biến `wind_direction` được truyền vào hàm `loss_function` thông qua đối số `args` để tính toán sự chênh lệch. Phương pháp tối ưu hóa vẫn là SLSQP. Ràng buộc về tốc độ gió được sử dụng lại từ giá trị `constraints_power`.

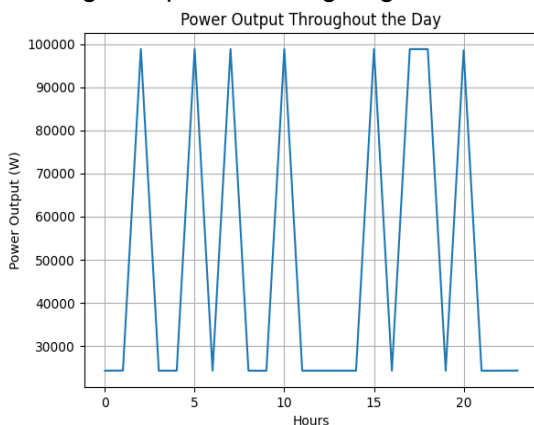
Cuối cùng, kết quả tối ưu được trích xuất từ các hàm `result_power` và `result_direction`, bao gồm tốc độ gió tối ưu, hệ số công suất tối ưu và góc quay tối ưu.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Giá trị tốc độ gió đọc được từ nguồn OpenWeatherMap

Coriolis Parameter: 5.66 m/s

Dựa trên dữ liệu này chạy chương trình cho mỗi khoảng thời gian trong một ngày và tính toán công suất phát ra tương ứng.



**Hình 4. Biểu đồ công suất theo ngày**

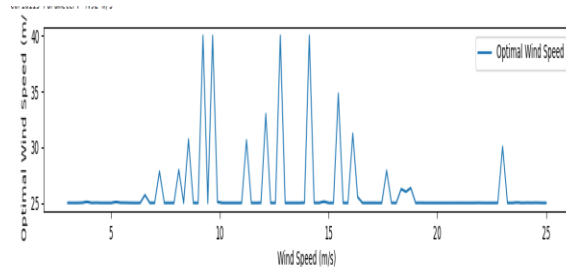
Biểu đồ công suất theo ngày cho thấy biến động của công suất phát ra của tuabin gió trong suốt một ngày. Bằng cách theo dõi biểu đồ này, chúng ta có thể nhận ra các điểm cao và thấp trong sản lượng điện, đồng thời có thể đưa ra các giả định và dự đoán về các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất của tuabin gió.

Theo dõi hiệu suất theo thời gian: Biểu đồ cho phép chúng ta theo dõi hiệu suất của tuabin gió qua các khoảng thời gian khác nhau trong một ngày, từ đó giúp phát hiện ra các mẫu phổ biến hoặc bất thường.

Định rõ xu hướng sản lượng điện: Biểu đồ có thể cho thấy các xu hướng tăng giảm của công suất phát ra theo thời gian, giúp người quản lý hiểu rõ hơn về mức độ biến động và dự đoán sản lượng điện trong tương lai.

#### 3.2. Phân tích kết quả

Dựa trên dữ liệu chúng ta đã lưu lại, chúng ta có thể thực hiện phân tích hiệu suất của các bộ tham số tối ưu. Mục tiêu của phân tích này là hiểu rõ hơn về biến đổi của hiệu suất và xác định bộ tham số cho kết quả tốt nhất.



**Hình 5. Biểu đồ thể hiện tốc độ gió tối ưu**

\* Đồ thị Optimal Wind Speed là biểu đồ thể hiện tốc độ gió tối ưu cần thiết để đạt được hiệu suất cao nhất của tuabin gió. Phân tích chi tiết về đồ thị này cần xem xét thuật toán và các tham số đã sử dụng trong chương trình.

Trong chương trình, thuật toán sử dụng là phương pháp tối ưu hóa đa biến SLSQP (Sequential Least Squares Quadratic Programming), được cung cấp bởi thư viện `scipy.optimize`. Thuật toán này giúp tìm ra giá trị tối ưu của tốc độ gió, hệ số hiệu suất ( $C_p$ ) và góc quay của tuabin gió để tối đa hóa công suất phát ra.

Cụ thể, quá trình tối ưu hóa được thực hiện bằng cách gọi hàm `minimize` của thư viện `scipy.optimize` với các đối số như sau:

```
"result_power = minimize(power_output,
[wind_speed, 0.5, 180], method='SLSQP',
bounds=bounds_power,
constraints=constraints_power,
args=(coriolis_parameter,))"
```

Trong đó:

`power_output` là hàm mục tiêu cần tối ưu hóa, chính là hàm tính công suất của tuabin gió.

`[wind_speed, 0.5, 180]` là giá trị ban đầu của các tham số cần tối ưu: tốc độ gió, hệ số hiệu suất ( $C_p$ ), và góc quay.

`method='SLSQP'` chỉ định sử dụng phương pháp tối ưu hóa SLSQP.

`bounds=bounds_power` và `constraints=constraints_power` là các ràng buộc về giá trị của các tham số.

`args=(coriolis_parameter,)` truyền thêm đối số Coriolis parameter vào hàm `power_output`.

Kết quả tối ưu hóa sẽ trả về giá trị tốc độ gió tối ưu `optimal_speed`, từ đó chúng ta có thể vẽ đồ thị Optimal Wind Speed để hiển thị mối quan hệ giữa tốc độ gió và tốc độ gió tối ưu. Đồ thị này giúp hiểu rõ hơn về cách tốc độ gió ảnh hưởng đến hiệu suất của tuabin gió và giúp xác định ngưỡng tốc độ gió cần thiết để đạt được hiệu suất tối ưu. So sánh với [1] hai nghiên cứu đều tập trung vào việc cải thiện dự đoán vận tốc gió để tối ưu hóa hoạt động của trang trại điện gió. Phương pháp và mục tiêu cụ thể có thể khác nhau, nhưng cả hai nghiên cứu đều xác định rõ về tầm quan trọng của dự đoán chính xác vận tốc gió đối với hiệu suất hoạt động của tuabin gió.

Ưu điểm:

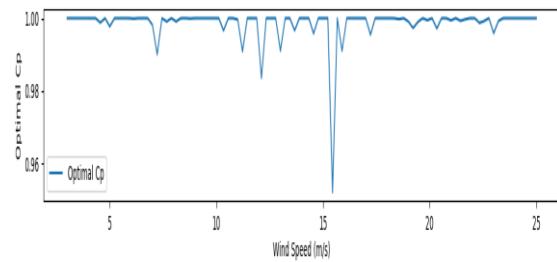
Xác định tốc độ gió tối ưu: Biểu đồ cho thấy tốc độ gió cần thiết để đạt được hiệu suất tối ưu của tuabin gió. Điều này giúp người quản lý hiểu rõ hơn về phạm vi tốc độ gió mà hệ thống có thể hoạt động hiệu quả nhất.

Dễ hiểu và dễ sử dụng: Biểu đồ đơn giản và dễ đọc, cho phép người sử dụng dễ dàng xác định tốc độ gió tối ưu ứng với từng mức độ hiệu suất.

Nhược điểm:

Thiếu chi tiết về nguyên nhân: Biểu đồ không cung cấp thông tin về các yếu tố cụ thể nào trong tốc độ gió tối ưu được ảnh hưởng bởi, như định luật Coriolis hoặc các yếu tố khác.

\* Đồ thị Optimal Cp thể hiện giá trị hệ số hiệu suất (Cp) tối ưu tương ứng với các mức độ tốc độ gió khác nhau. Phân tích đồ thị này giúp hiểu rõ cách mà hệ số hiệu suất của tuabin gió thay đổi theo tốc độ gió và làm thế nào để tối ưu hóa hiệu suất hoạt động của tuabin gió.



**Hình 6. Biểu đồ thể hiện giá trị hệ số hiệu suất (Cp) tối ưu.**

Trong chương trình, quá trình tối ưu hóa Cp được thực hiện thông qua việc sử dụng hàm `minimize` của thư viện `scipy.optimize`, tương tự như quá trình tối ưu hóa tốc độ gió. Cụ thể, chương trình gọi hàm `minimize` như sau:

```
“result_power = minimize(power_output,
[wind_speed, 0.5, 180], method='SLSQP',
bounds=bounds_power,
constraints=constraints_power,
args=(coriolis_parameter,).”
```

Trong đó:

`power_output` là hàm mục tiêu cần tối ưu hóa, trong trường hợp này là hàm tính công suất của tuabin gió.

`[wind_speed, 0.5, 180]` là giá trị ban đầu của các tham số cần tối ưu: tốc độ gió, hệ số hiệu suất (Cp), và góc quay.

`method='SLSQP'` chỉ định sử dụng phương pháp tối ưu hóa SLSQP.

`bounds=bounds_power` và `constraints=constraints_power` là các ràng buộc về giá trị của các tham số.

`args=(coriolis_parameter,)` truyền thêm đối số Coriolis parameter vào hàm `power_output`.

Kết quả tối ưu hóa sẽ trả về giá trị hệ số hiệu suất tối ưu `optimal_cp` tương ứng với các mức độ tốc độ gió. Đồ thị Optimal Cp giúp hiểu rõ hơn về cách hệ số hiệu suất của tuabin gió biến đổi theo tốc độ gió và cho thấy điểm tốt nhất để đạt hiệu suất tối ưu của hệ thống.

Biểu đồ hệ số hiệu suất (Cp) tối ưu thể hiện mối quan hệ giữa vận tốc gió và hệ số hiệu suất tối ưu của tuabin gió. Hệ số hiệu suất (Cp) là một chỉ số quan trọng để đánh giá hiệu suất chuyển đổi của tuabin gió, tức là tỷ lệ giữa công

suất cơ học sinh ra và công suất có thể sinh ra trong điều kiện lý tưởng.

Ưu điểm:

Xác định hiệu suất tối ưu: Biểu đồ giúp xác định hệ số hiệu suất tối ưu của tuabin gió ứng với từng mức độ vận tốc gió. Điều này giúp người quản lý hiểu rõ hơn về cách hiệu suất của hệ thống thay đổi theo tốc độ gió.

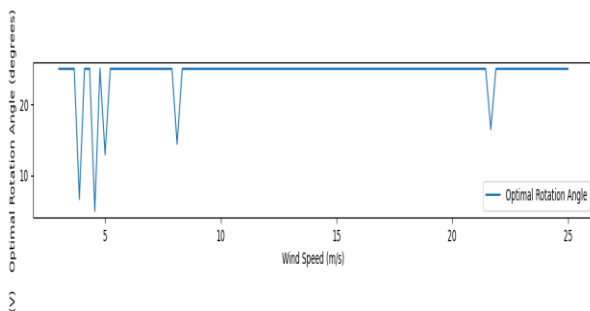
Đánh giá hiệu quả chuyển đổi năng lượng: Biểu đồ cung cấp cái nhìn tổng quan về khả năng chuyển đổi năng lượng của tuabin gió trong các điều kiện vận tốc gió khác nhau.

Nhược điểm:

Thiếu thông tin chi tiết về nguyên nhân: Biểu đồ không cung cấp thông tin về các yếu tố cụ thể nào đã ảnh hưởng đến giá trị  $C_p$  tối ưu, như định luật Coriolis hoặc các yếu tố khác.

Hạn chế trong dự đoán: Biểu đồ chỉ phản ánh dữ liệu đã được tính toán từ chương trình, không dự đoán được hệ số hiệu suất trong các điều kiện thời tiết thực tế.

\* Đồ thị Optimal Rotation Angle, góc quay tối ưu của tuabin gió thể hiện hướng quay cần thiết để đạt được hiệu suất cao nhất. Góc quay tối ưu có thể biến đổi tùy theo hướng gió thực tế, nằm trong khoảng từ 0 đến 360 độ.



Hình 7. Biểu đồ thể hiện góc quay tối ưu

Thuật toán tối ưu hóa góc quay:

Thuật toán sử dụng phương pháp minimize của thư viện scipy để tối ưu hóa hàm mất mát về hướng quay.

Hàm mất mát được định nghĩa là độ chênh lệch giữa hướng gió thực tế và hướng quay ước lượng của tuabin gió. Mục tiêu là tìm góc quay sao cho sự chênh lệch này là nhỏ nhất.

Phân tích đồ thị Optimal Rotation Angle:

Đồ thị này biểu diễn góc quay tối ưu của tuabin gió qua các điểm dữ liệu tương ứng với tốc độ gió.

Nếu đồ thị có dạng đồng đều và không có biến động lớn, điều này có thể chỉ ra rằng góc quay tối ưu ít biến đổi khi tốc độ gió thay đổi.

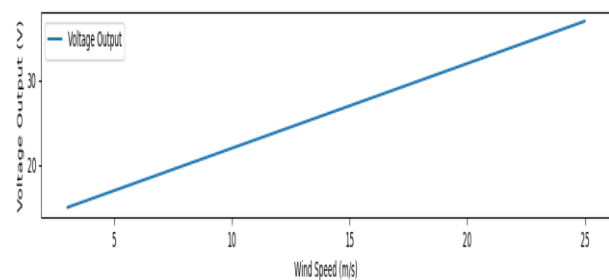
Một biến đổi đột ngột trong đồ thị có thể chỉ ra sự không ổn định trong góc quay, có thể do ảnh hưởng của các ràng buộc hoặc điều kiện biến đổi của gió. Kết quả từ đồ thị Optimal Rotation Angle cung cấp thông tin quan trọng cho việc điều khiển tuabin gió để đạt hiệu suất cao nhất.

Chương trình tập trung vào việc tối ưu hóa hoạt động của tuabin gió thông qua điều khiển hướng quay, tương tự như trong nghiên cứu [4]. Cả hai tiếp cận này đều nhằm mục đích tối ưu hóa công suất của tuabin gió bằng cách điều chỉnh góc quay của cánh quạt, tuy nhiên, có một số khác biệt giữa chương trình và nghiên cứu [4], bao gồm phương pháp điều khiển Sequential Least Squares Quadratic Programming (SLSQP) và cách thu thập dữ liệu thực tế về hướng gió, các điều kiện môi trường tại Quảng Ninh và phạm vi nghiên cứu ở đây chỉ cho 1 tuabin gió.

Ưu điểm của biểu đồ giúp xác định góc quay tối ưu của tuabin gió ứng với từng mức độ vận tốc gió. Điều này cho phép người quản lý điều chỉnh góc quay của tuabin gió để tối ưu hóa hiệu suất hoạt động.

\* Đồ thị Voltage Output:

Điện áp đầu ra của tuabin gió tăng tuyến tính theo tốc độ gió.



Hình 8. Biểu đồ thể hiện điện áp đầu ra.

Đồ thị này biểu diễn điện áp đầu ra của tuabin gió qua các điểm dữ liệu tương ứng với tốc độ gió.

Nếu đồ thị có dạng tăng dần hoặc giảm dần, điều này thể hiện mối quan hệ tuyến tính giữa tốc độ gió và điện áp đầu ra.

Biến động không đều trong đồ thị có thể phản ánh sự biến đổi của công suất đầu ra của tuabin gió khi tốc độ gió thay đổi.

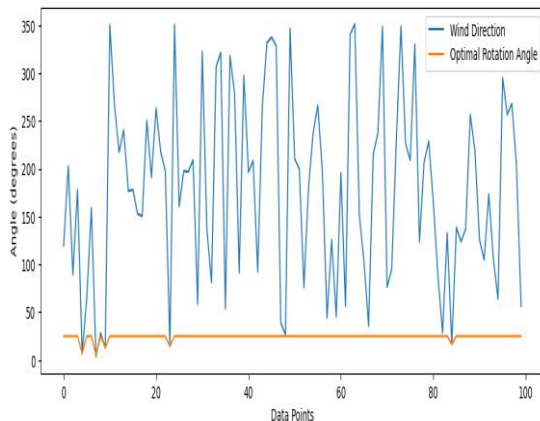
Kết quả từ đồ thị Voltage Output cung cấp thông tin quan trọng về điện áp đầu ra của tuabin gió trong các điều kiện gió khác nhau.

Chúng ta có thể sử dụng thông tin này để

hiểu cách tuabin gió phản ứng với biến đổi của tốc độ gió và điều chỉnh các thiết lập cũng như vận hành hệ thống tuabin gió để đạt được hiệu suất tối ưu.

\* Đồ thị Wind Direction và Optimal Rotation Angle: So sánh giữa hướng gió thực tế và góc quay tối ưu của tuabin gió.

Sự phù hợp giữa hai giá trị này giúp đảm bảo rằng tuabin gió luôn hướng đúng để tối ưu hóa hiệu suất.



**Hình 9. So sánh giữa hướng gió thực tế và góc quay tối ưu.**

Dữ liệu Wind Direction biểu diễn hướng gió thực tế tại các điểm dữ liệu. Optimal Rotation Angle biểu diễn góc quay tối ưu của tuabin gió được tính toán bằng thuật toán tối ưu hóa.

So sánh giữa hai giá trị này có thể cho thấy mức độ phù hợp giữa hướng gió thực tế và góc quay tối ưu của tuabin gió.

Sự khác biệt giữa hai giá trị có thể phản ánh hiệu quả của thuật toán tối ưu hóa trong việc điều chỉnh góc quay của tuabin gió sao cho phản ứng tốt nhất với hướng gió thực tế.

Kết quả từ phân tích đồ thị có thể hỗ trợ chúng ta trong việc hiểu và dự đoán giá trị hiệu suất tuabin gió dưới tác động của hướng gió.

Biểu đồ so sánh giữa hướng gió thực tế và góc quay tối ưu thể hiện mối liên hệ giữa hướng gió thực tế và góc quay tối ưu của tuabin gió. Biểu đồ này cho thấy sự khác biệt giữa hướng gió mà cảm biến ghi nhận và góc quay tối ưu được tính toán từ thuật toán điều khiển.

Ưu điểm: Đánh giá hiệu suất điều khiển: Biểu đồ giúp đánh giá khả năng của thuật toán điều khiển trong việc định hướng góc quay của tuabin gió để tối ưu hóa hiệu suất hoạt động, dựa trên thông tin về hướng gió thực tế.

ĐỐI CHIẾU HIỆU QUẢ: So sánh giữa hướng gió thực tế và góc quay tối ưu giúp xác định mức độ hiệu quả của thuật toán điều khiển trong

việc điều chỉnh góc quay để phản ứng với điều kiện thực tế.

Các điều chỉnh và quyết định vận hành hệ thống tuabin gió có thể được thực hiện dựa trên thông tin từ đồ thị Optimal Rotation Angle để đảm bảo hiệu suất hoạt động tối ưu trong điều kiện gió khác nhau.

Tổng quan, thông qua phân tích các đồ thị, chúng ta có cái nhìn về hoạt động của hệ thống tuabin gió dưới tác động của các yếu tố môi trường khác nhau. Điều này cung cấp thông tin cần thiết để điều chỉnh và tối ưu hóa vận hành của hệ thống, nhằm đảm bảo hiệu suất và hiệu quả cao nhất trong việc sản xuất năng lượng điện từ gió.

## 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 4.1. Kết luận

Dựa trên phân tích hiệu suất và biểu đồ, chúng ta có thể thực hiện một mô phỏng về việc điều khiển hệ thống tuabin gió để tối ưu hóa công suất phát điện. Việc tích hợp Định luật Coriolis để mô phỏng ảnh hưởng của quay của Trái Đất đối với hướng gió, điều này giúp cải thiện chính xác của dự đoán và tối ưu hóa hoạt động của tuabin gió. Chương trình sử dụng dữ liệu vận tốc gió thực tế từ OpenWeatherMap để đưa ra dự đoán và tối ưu hóa, giúp cải thiện tính chính xác và độ tin cậy của kết quả.

Bài viết sử dụng phương pháp tối ưu hóa đa biến Sequential Least Squares Quadratic Programming (SLSQP) để tối ưu hóa các tham số của tuabin gió, bao gồm vận tốc gió, hệ số công suất và góc quay, dựa trên ràng buộc và hàm mục tiêu được định nghĩa trước.

Chương trình không chỉ tính toán kết quả mà còn mô phỏng và biểu đồ hóa chúng, giúp người dùng dễ dàng hiểu và phân tích kết quả.

Chương trình có thể linh hoạt mở rộng để thêm các tính năng hoặc cải thiện hiệu suất bằng cách sử dụng các dữ liệu và phương pháp tính toán mới chưa có trong các nghiên cứu công bố hiện nay, tuy nhiên bài viết chỉ đề cập đến 1 vấn đề nhỏ là 1 tuabin gió công suất nhỏ, do đó chưa thể đánh giá hết hiệu suất của nghiên cứu cho một hệ thống.

Việc tối ưu hóa thông qua thuật toán minimize của thư viện scipy giúp tìm ra giải pháp gần như tối ưu cho việc điều khiển tuabin gió. Trong tương lai, việc nghiên cứu và phát triển giúp tăng cường hiểu biết về năng lượng tái tạo và phát triển kỹ năng lập trình, mở ra một cánh cửa cho sự nghiên cứu và sáng tạo trong giáo dục và các môn vật lý, đặc biệt là trong việc tối ưu hóa các thông số điều khiển và hiệu suất

của các hệ thống phức tạp.

#### 4.2. Kiến nghị

Từ những phân tích trên có thể thấy:

Ưu điểm: Tính thực tiễn của chương trình giúp người dùng hiểu và áp dụng các nguyên lý vật lý vào thực tiễn thông qua mô hình hóa và mô phỏng hệ thống tuabin gió. Tính tương tác cao khi người dùng có cơ hội tham gia vào quá trình tối ưu hóa và điều khiển hệ thống, từ đó phát triển kỹ năng tư duy logic và giải quyết vấn đề. Ứng dụng đa dạng của chương trình trong các lĩnh vực như năng lượng tái tạo, kỹ thuật máy tính và tự động hóa. Hỗ trợ nghiên cứu bằng việc cung cấp một công cụ hữu ích cho các nhà nghiên cứu và kỹ sư để thử nghiệm và tối ưu hóa các thiết kế tuabin gió.

Nhược điểm:

Phụ thuộc vào dữ liệu thời tiết thực tế từ

OpenWeatherMap, điều này có thể gây ra khó khăn nếu dữ liệu không khả dụng hoặc không chính xác. Chương trình chỉ mô phỏng và tối ưu hóa hệ thống tuabin gió trong một môi trường ảo, không thể phản ánh hoàn toàn các yếu tố thực tế như địa hình, môi trường và điều kiện thời tiết.

Hướng phát triển của bài viết:

Xây dựng giao diện người dùng thân thiện và dễ sử dụng để giúp người dùng thực hiện các thao tác mô phỏng và tối ưu hóa một cách thuận tiện.

Liên tục cập nhật và kiểm tra dữ liệu thời tiết từ OpenWeatherMap để đảm bảo tính chính xác và đáng tin cậy của chương trình.

Nghiên cứu và phát triển các tính năng mới và ứng dụng của chương trình để mở rộng phạm vi sử dụng và tạo ra giá trị thực tiễn cao hơn.

(\* HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) là một giao thức truyền tải siêu văn bản, Trong trường hợp cụ thể của chương trình Python, HTTP được sử dụng để gửi yêu cầu (request) từ chương trình đến một máy chủ, ví dụ như API của OpenWeatherMap. Giao thức HTTP cho phép chương trình gửi các yêu cầu tới máy chủ, máy chủ sẽ phản hồi lại với dữ liệu yêu cầu, chẳng hạn như thông tin về vận tốc gió thực tế, thời tiết, nhiệt độ, và các thông tin khác.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. L Wang, A Xue (2023). "Wind Speed Modeling for Wind Farms Based on Deterministic Broad Learning System" *Atmosphere*•mdpi.com.
2. Nguyễn Thị Mai Hương, Mai Trung Thái, Lê Thị Huyền Linh, Lại Khắc Lãi. (2013) "Nghiên cứu chiến lược tối ưu trong điều khiển dự báo". *Tạp chí KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ* 113(13): 115 – 121
3. Sagidolla Batay, Aigerim Baidullayeva, Yong Zhao, Dongming Wei, Akerke Baigarina, Erkhan Sarsenov và Yerkin Shabdan (2023). "Aerostructural Design Optimization of Wind Turbine Blades"; *Processes*•mdpi.com
4. Majid Bastankhah; Fernando Porté-Agel (2019); "Wind farm power optimization via yaw angle control: A wind tunnel study"; <https://pubs.aip.org/aip/jrse>.
5. ÁM Costa, JA Orosa, D Vergara, P Fernández-Arias (2021); "New tendencies in wind energy operation and maintenance"; *Applied Sciences*, •mdpi.com. <https://doi.org/10.3390/app11041386>
6. [The Environmental Impacts of Wind Energy | EnergySage](#). 27 thg 9, 2019.

#### Thông tin của tác giả:

##### ThS. Lê Quyết Thắng

P.Trường bộ môn KTĐ - ĐT, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84).977.959.186 - Email: lequyetthang5282@qui.edu.vn

##### ThS. Trần Thị Thơm

Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84).987.633.924 - Email: tranthom208@gmail.com



**OPTIMIZATION OF WIND TURBINE POWER USING CORIOLIS EFFECT AND REAL-TIME WIND SPEED.****Information about authors:**

**Le Quyet Thang**, MEng., Deputy Head Subject KTD- ĐT, Quang Ninh University of Industry,  
Email: lequyetthang5282@qui.edu.vn

**Tran Thị Thơm**, MEng., Quang Ninh University of Industry

**ABSTRACT:**

*Wind turbines are essential components in harnessing wind energy for clean electricity production, helping to reduce environmental pollution. This study focuses on integrating the Coriolis Law, which describes the Earth's rotation effects, into the control algorithm. Additionally, real wind speed data from wind speed sensors, wind direction sensors, and the OpenWeatherMap source are used to provide a more accurate representation of environmental conditions...*

**REFERENCES**

1. L Wang, A Xue (2023). "Wind Speed Modeling for Wind Farms Based on Deterministic Broad Learning System" *Atmosphere*•mdpi.com.
2. Huong Nguyen T. M., Thai Mai T., Linh Le T.H., Lai Lai K. (2013), "Study of Optimal Strategies in Predictive Control", *Journal of Science & Technology* 113(13): 115 – 121
3. Sagidolla Batay, Aigerim Baidullayeva, Yong Zhao, Dongming Wei, Akerke Baigarina, Er Khan Sarsenov và Yerkin Shabdan (2023). "Aerostructural Design Optimization of Wind Turbine Blades"; *Processes*•mdpi.com
4. Majid Bastankhah; Fernando Porté-Agel (2019); "Wind farm power optimization via yaw angle control: A wind tunnel study"; <https://pubs.aip.org/aip/jrse>.
5. ÁM Costa, JA Orosa, D Vergara, P Fernández-Arias (2021); "New tendencies in wind energy operation and maintenance"; *Applied Sciences*, •mdpi.com. <https://doi.org/10.3390/app11041386>
6. [The Environmental Impacts of Wind Energy | EnergySage](#). 27 thg 9, 2019.

**Ngày nhận bài:** 28/09/2024;

**Ngày gửi phản biện:** 30/09/2024;

**Ngày nhận phản biện:** 01/10/2024;

**Ngày chấp nhận đăng:** 05/10/2024.