

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA CƠ - ĐIỆN
BỘ MÔN ĐIỆN KHÍ HÓA

BÁO CÁO HỌC THUẬT

**MÔ PHỎNG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG HAI
KHỐI LƯỢNG/BỘ TRUYỀN BÁNH RĂNG CHO
HỆ THỐNG CHUYỂN ĐỔI NĂNG LƯỢNG GIÓ SỬ
DỤNG MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH
CỬU (PMSG-WECS)**

Người báo cáo: Ngô Thanh Tuấn

HÀ NỘI, 2025

MÔ PHỎNG HỆ THỐNG TRUYỀN ĐỘNG HAI KHỐI LƯỢNG/BỘ TRUYỀN BÁNH RĂNG CHO HỆ THỐNG CHUYỂN ĐỔI NĂNG LƯỢNG GIÓ SỬ DỤNG MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ NAM CHÂM VĨNH CỬU (PMSG-WECS)

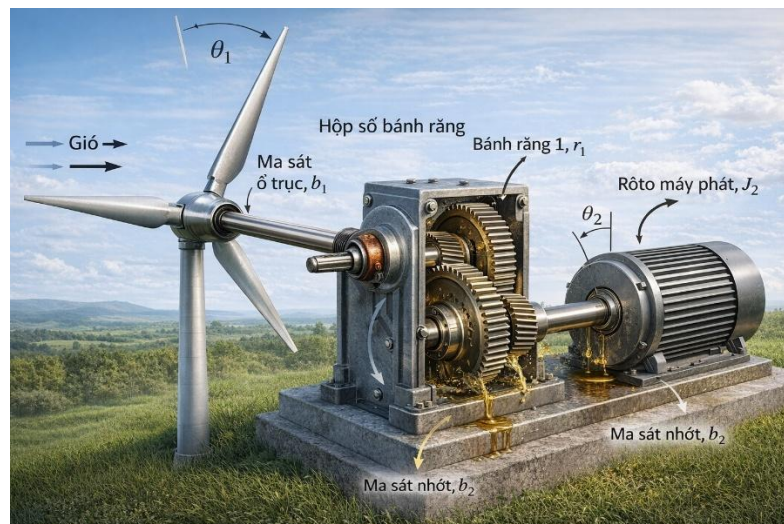
1. Giới thiệu

Trong bối cảnh nguồn nhiên liệu hóa thạch đang dần cạn kiệt và tác động của nóng lên toàn cầu ngày càng nghiêm trọng, thế giới đang chuyển dịch mạnh mẽ sang các nguồn năng lượng tái tạo, trong đó năng lượng gió được coi là dạng năng lượng thuần khiết và hiệu quả nhất. Đối với các quốc gia có tài nguyên hạn chế, việc khai thác tiềm năng năng lượng gió có thể giúp giải quyết cuộc khủng hoảng điện năng là điều cần thiết.

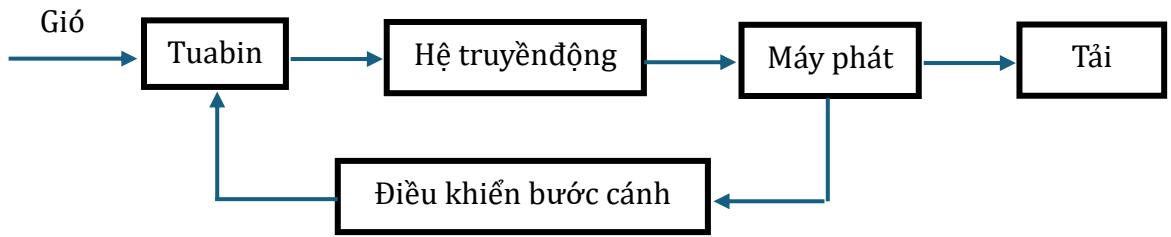
Mục tiêu của nghiên cứu này là thiết kế một hệ thống tua-bin gió sử dụng Máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG) kết hợp với chiến lược điều khiển góc nghiêng cánh (pitch angle) và kiểm soát vận hành tua-bin. Các phương pháp điều khiển này giúp hệ thống vận hành với hiệu suất và độ tin cậy cao hơn trong điều kiện thời tiết hỗn loạn.

Hệ thống chuyển đổi năng lượng gió (WECS) bao gồm tua-bin gió, phương pháp điều khiển, máy phát điện và bộ biến đổi công suất. Trong đó, Máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu PMSG được sử dụng rộng rãi nhờ hiệu suất cao, khả năng điều khiển linh hoạt, kích thước nhỏ gọn và độ bền cao. Nghiên cứu này tập trung vào hai vấn đề điều khiển chính:

- Điều khiển góc nghiêng cánh (Pitch Angle Control): Cho phép tua-bin hoạt động khi tốc độ gió vượt quá giá trị định mức.
- Điều khiển vận hành (Operation Control): Ngắt hệ thống khi tốc độ gió vượt quá giới hạn trên để bảo vệ máy phát và rotor khỏi hư hỏng.



Hình 1.1 Mô hình chuyển đổi



Hiện nay, mô hình cơ bản được sử dụng để chuyển đổi năng lượng gió thành điện năng bao gồm.

- **Tuabin gió:** Có nhiệm vụ chuyển đổi động năng từ gió thành cơ năng.
- **Hệ truyền động:** Kết nối tuabin với máy phát điện và đảm bảo tốc độ quay ổn định trong quá trình làm việc.
- **Máy phát điện Đồng bộ Nam châm Vĩnh cửu (PMSG):** Chuyển đổi cơ năng từ hệ truyền động thành điện năng
- **Bộ điều khiển góc cánh:** Điều khiển góc cánh để tối ưu hóa hiệu suất tuabin và bảo vệ hệ thống bằng cách duy trì góc cánh ở mức bằng 0 trong điều kiện vận hành bình thường.

Trong thư viện Simlink/Matlab hiện nay đã phát triển, tích hợp mô hình Tuabin gió, Máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu để đáp ứng mô hình trên. Chúng ta đang thiếu mô hình hệ truyền động cũng như mô hình điều khiển góc cánh.

2. Mô hình Toán học và Cơ sở Động lực học

Sự chính xác của các phương trình toán học quyết định khả năng dự báo hành vi hệ thống và tính ổn định của các vòng lặp điều khiển. Việc thiết lập mô hình được phân tách thành ba thành phần động lực học.

3. Mô hình Khí động học Tuabin gió

Năng lượng và công suất khai thác từ dòng khí được xác định bởi các phương trình:

- Năng lượng gió (E_w): $E_w = \frac{1}{2} m \cdot v^2$, với m là khối lượng không khí và v là tốc độ gió.

- Công suất gió (P_w): $P_w = \frac{1}{1} \rho S v^3$, với ρ là mật độ không khí và S là diện tích quét của rotor.

- Hệ số công suất (C_p): Đây là thông số đại diện cho hiệu suất khí động học, phụ thuộc vào bước góc cánh (β) và tỷ số tốc độ đầu cánh (λ).

Theo định luật Betz, giới hạn lý thuyết tối đa của C_p là 0.593. Tuy nhiên, thực tế thiết kế này đạt giá trị C_p cực đại xấp xỉ 0.48 tại $\beta = 0$ và $\lambda = 1$. Việc nắm rõ giới hạn này

giúp xác định ngưỡng khai thác năng lượng thực tế, đảm bảo không thiết kế quá tải cho máy phát trong điều kiện gió mạnh.

4. Hệ thống truyền động hai khối lượng

Mô tả sự tương tác cơ khí giữa tuabin và máy phát. Theo [1] S. Heier, mô hình toán học của hệ truyền động của hệ thống tuabin gió và máy phát được cho bởi:

$$2H_t \frac{d\omega_t}{dt} = T_m - T_s \quad (1)$$

$$\frac{1}{\omega_b} \frac{d\theta_{sta}}{dt} = \omega_t - \omega_r \quad (2)$$

$$T_s = K_s \theta_{sta} + D_t \frac{d\theta_{sta}}{dt} \quad (3)$$

Trong đó:

H_t : Hằng số quán tính của tuabin;

T_m : Mômen xoắn cơ học từ cánh quạt tuabin ở hệ tương đối (pu);

T_s : Mômen xoắn trục ở hệ tương đối (pu);

ω_b : Tốc độ góc của dòng điện máy phát ở hệ tương đối (pu);

θ_{sta} : Góc xoắn trục ở hệ tương đối (pu);

ω_t : Tốc độ góc quay của tuabin gió ở hệ tương đối (pu);

ω_r : Tốc độ góc quay của rotor ở hệ tương đối (pu);

K_s : Độ cứng trục (Nm/rad);

D_t : Hệ số giảm chấn

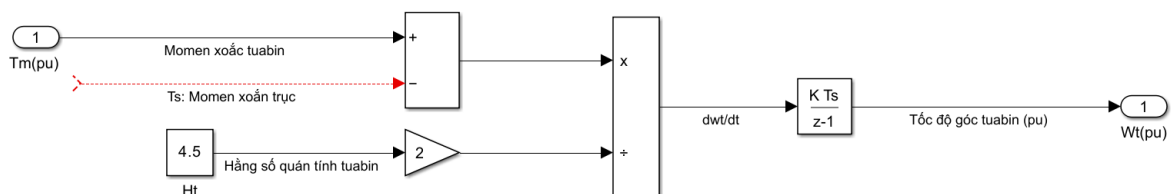
Đây là mô hình toán học, ta có thể mô phỏng được trong Matlab.

Từ phương trình 1, ta có: $\frac{d\omega_t}{dt} = \frac{T_m - T_s}{2H_t}$

Ở đây, hằng số quán tính $H_t = 4,5$

5. Mô hình mô phỏng trong Simulink/Matlab

Từ phương trình (1), ta có: $\frac{d\omega_t}{dt} = \frac{T_m - T_s}{2H_t}$, thực hiện mô hình biến đổi trong Simulink như sau:



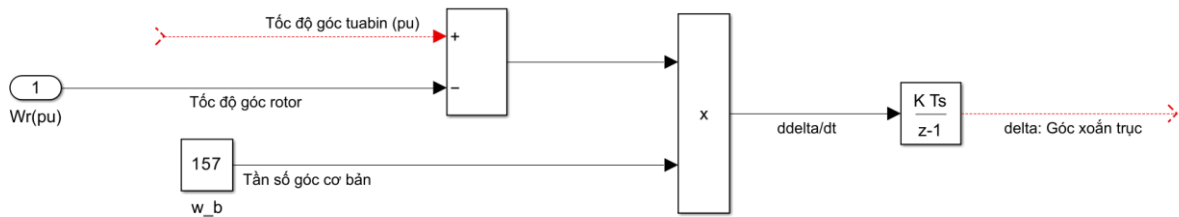
Từ phương trình 2, ta có: $\frac{d\theta_{sta}}{dt} = (\omega_t - \omega_r) \cdot \omega_b$

Với: $\omega_b = \frac{2\pi \cdot n}{60}$ (rad/s): là tốc độ góc quay định mức thiết kế của tuabin

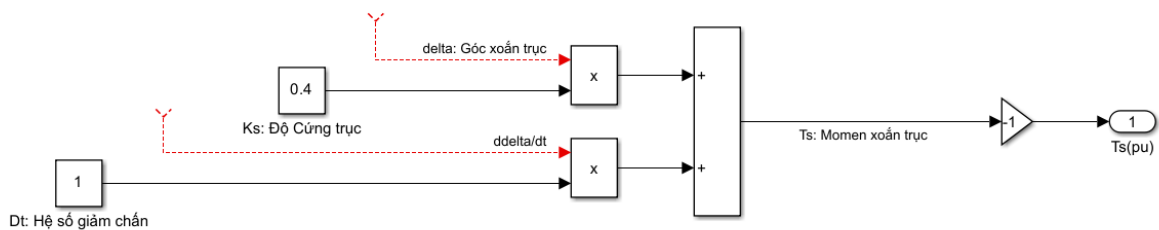
n (vg/ph): tốc độ quay định mức của tuabin.

Ở đây, lấy n = 1500vg/ph => $\omega_b = 157$ rad/s

Từ đó, thực hiện mô hình biến đổi trong Similink như sau:



Từ phương trình 3, ta có: $T_s = K_s \theta_{sta} + D_t \frac{d\theta_{sta}}{dt}$, thực hiện mô hình biến đổi trong Similink như sau:

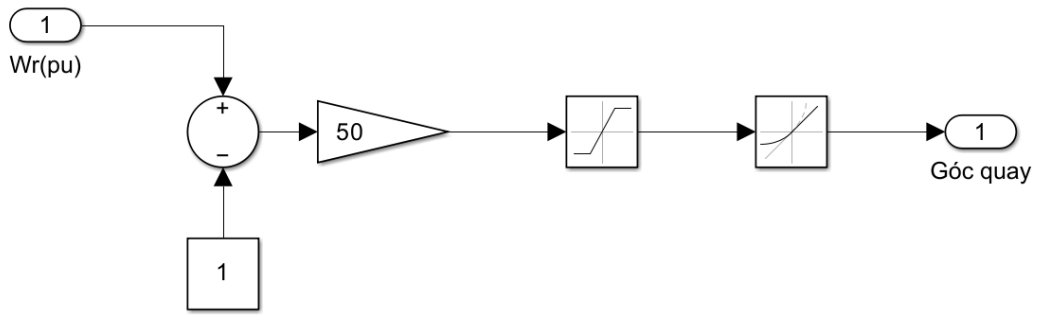


Bộ điều khiển Góc nghiêng cánh: Đây là một bộ điều khiển quan trọng để giữ cho góc nghiêng cánh (beta) luôn bằng không. Việc điều khiển này được áp dụng để kiểm soát công suất cơ học đầu vào ở giá trị định mức và cũng ngăn công suất điện đầu ra trở nên quá cao.

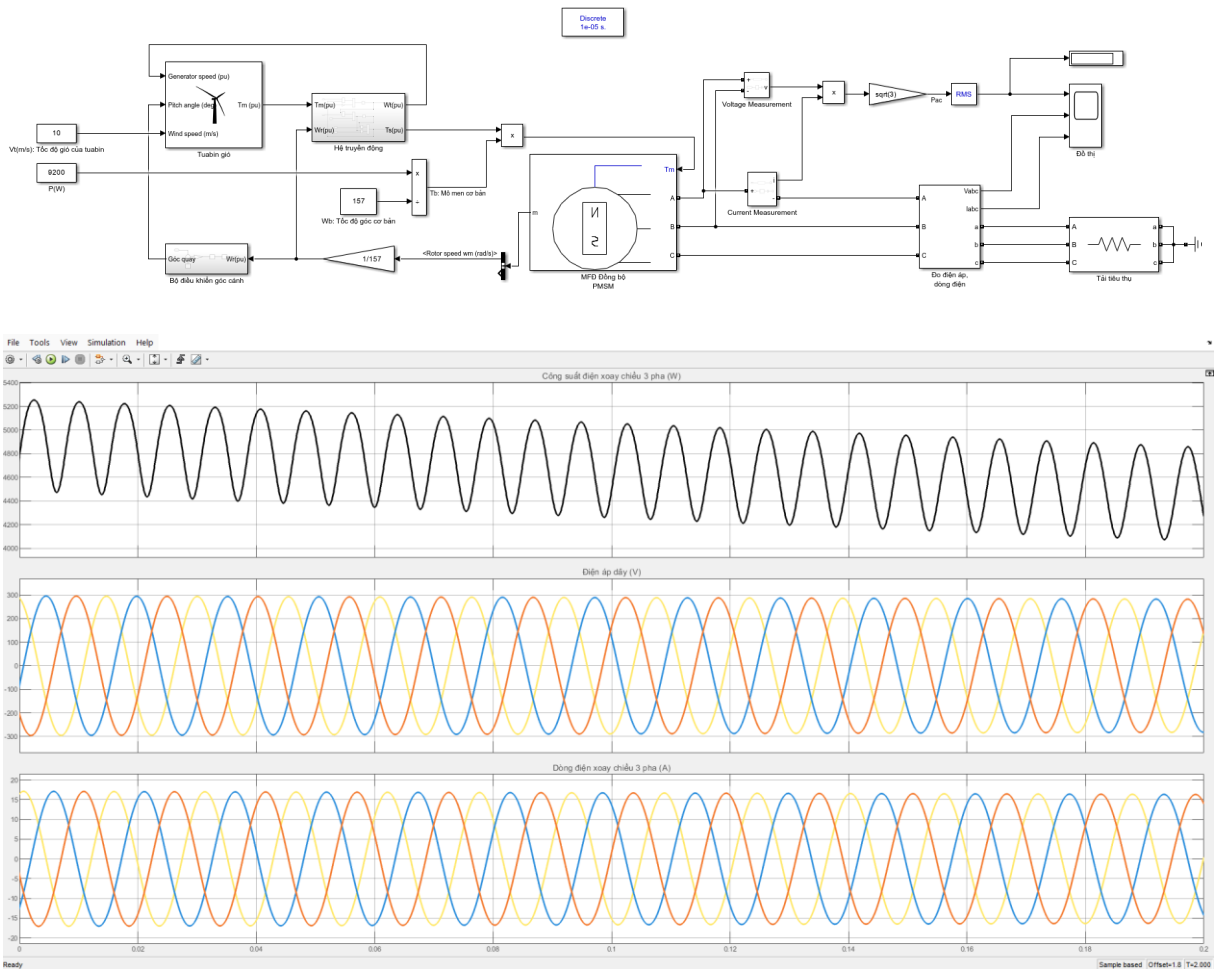
Nó thường hoạt động trong điều kiện tốc độ gió cao. Trong những tình huống đó, tốc độ quay của rôto không thể được kiểm soát sẽ gây quá tải cho máy phát điện. Đó là lý do tại sao góc nghiêng cánh quạt được điều chỉnh để hạn chế hiệu suất khí động học của rôto, giúp kiểm soát tốc độ quay của rôto không bị cao. Khi đó, các cánh tuabin được quay ra xa hướng gió để nhận công suất tối thiểu.

Nếu tốc độ quay của rôto thấp hơn giá trị tham chiếu thì bộ điều khiển góc nghiêng sẽ không hoạt động và sẽ đưa ra giá trị là $\beta = 0$ đối với tuabin để khởi động quá trình sản sinh công suất tối đa.

Sau khi khắc phục sự cố, góc nghiêng lại giữ nguyên giá trị tối ưu để đạt công suất đầu ra tối đa. Thực hiện mô hình biến đổi trong Similink như sau:



6. Kết quả chạy trên mô hình.



7. Kết luận và Khuyến nghị Kỹ thuật

Đặc tả kỹ thuật cho hệ thống WECS-PMSG 10kW đã hoàn thiện và đạt được các mục tiêu thiết kế đề ra mô phỏng:

- Hiệu suất: Tối ưu hóa khai thác năng lượng trong dải tốc độ gió 3-11 m/s'
- Độ ổn định: Thời gian xác lập trạng thái ổn định nhanh (0.25s) chứng minh tính bền vững của vòng lặp điều khiển PI.
- An toàn: Cơ chế Operation Control đảm bảo dừng hệ thống chính xác tại ngưỡng 11 m/s, loại bỏ nguy cơ hư hại cơ khí do gió bão.