

## PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG THU HỒI NĂNG LƯỢNG GIÓ THÔNG QUA BỘ CHUYỂN ĐỔI THỦY LỰC

### DEVELOPMENT OF WIND ENERGY HARVESTING SYSTEM THROUGH HYDRAULIC CONVERTER

**Đỗ Trí Cường, Đặng Trí Dũng\***

Viện Công nghệ Thông minh và Tương tác, Trường Công nghệ và Thiết kế, Đại học Kinh tế  
Thành phố Hồ Chí Minh

#### TÓM TẮT

Bài báo này trình bày về việc phát triển một hệ thống thu hồi năng lượng gió sử dụng bộ chuyển đổi thủy lực, với mục tiêu chuyển đổi động năng của gió thành điện năng. Cụ thể, động năng từ gió được truyền qua trục quay đến bộ chuyển đổi năng lượng. Trong hệ thống thủy lực, bơm thủy lực có vai trò chuyển đổi năng lượng cơ học từ trục quay thành năng lượng thủy lực. Nguồn năng lượng thủy lực này sau đó được tích trữ trong các bình tích năng, giúp duy trì mức năng lượng ổn định ngay cả khi tốc độ gió thay đổi. Tiếp theo, năng lượng từ hệ thống thủy lực được truyền tới động cơ thủy lực, nơi năng lượng thủy lực được chuyển đổi thành năng lượng cơ học để truyền động cho máy phát điện. Máy phát điện tiếp tục biến đổi năng lượng cơ học này thành điện năng, có thể được sử dụng để sạc pin hoặc cung cấp trực tiếp cho lưới điện. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống có khả năng thu hồi năng lượng hiệu quả, với hiệu suất đạt khoảng 60%, khẳng định tiềm năng ứng dụng lớn trong các hệ thống năng lượng tái tạo.

**Từ khóa:** Turbin gió; Bộ chuyển đổi thủy lực.

#### ABSTRACT

*This paper presents the development of a wind energy harvesting system using a hydraulic converter, aimed at converting wind kinetic energy into electrical energy. Specifically, the kinetic energy from the wind is transmitted through a rotating shaft to the energy conversion unit. In the hydraulic system, the hydraulic pump plays a role in converting mechanical energy from the rotating shaft into hydraulic energy. This hydraulic energy is then stored in accumulators, ensuring a stable energy level even when wind speed fluctuates. Subsequently, the energy from the hydraulic system is transmitted to a hydraulic motor, where hydraulic energy is converted into mechanical energy to drive the generator. The generator then converts this mechanical energy into electrical energy, which can either charge batteries or be supplied directly to the power grid. Simulation results show that the system is capable of recovering energy efficiently, with a recovery efficiency of approximately 60%, highlighting its significant potential for application in renewable energy systems.*

**Keywords:** Wind turbine; Hydraulic energy converter.

## 1. TỔNG QUAN

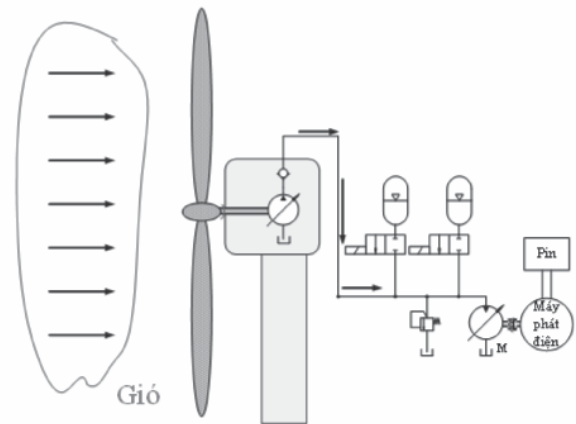
Năng lượng gió đóng vai trò quan trọng trong việc giảm phụ thuộc vào nhiên liệu hóa thạch và giảm khí thải nhà kính. Đến năm 2020, công suất lắp đặt năng lượng gió toàn cầu đã vượt 700 GW và dự kiến tiếp tục tăng [1]. Mặc dù tua-bin gió đã cải thiện về hiệu suất và độ tin cậy, việc chuyển đổi năng lượng gió thành điện năng hiệu quả vẫn gặp nhiều thách thức, đặc biệt trong việc nâng cao hiệu suất làm việc của hệ thống thu hồi năng lượng và giảm tổn thất [2]. Biến đổi tốc độ và hướng gió gây ra sự không ổn định trong chuyển đổi năng lượng. Các hệ thống truyền động cơ khí truyền thống như hộp số và trục truyền động hạn chế về độ bền và hiệu suất trong điều kiện biến đổi liên tục, ảnh hưởng đến hiệu suất tổng thể và tăng chi phí bảo trì. Do đó, cần tìm giải pháp truyền động hiệu quả và linh hoạt [3].

Bộ chuyển đổi thủy lực nổi lên như giải pháp tiềm năng, có khả năng hấp thu và truyền tải năng lượng từ tua-bin gió hiệu quả, thích nghi với biến đổi tốc độ và tải trọng [4-5]. Hệ thống thủy lực còn có ưu điểm truyền tải năng lượng qua khoảng cách lớn mà không tổn thất đáng kể, giúp giảm tổn thất năng lượng và tăng tuổi thọ hệ thống. Nhiều nghiên cứu đã tích hợp công nghệ thủy lực vào tua-bin gió [6-7]. Sử dụng hệ thống thủy lực cũng mở ra khả năng tích hợp với công nghệ lưu trữ năng lượng, như tích trữ thủy lực, giúp cân bằng tải và cải thiện ổn định lưới điện. Công nghệ thủy lực trong tua-bin gió ngoài khơi có thể giảm chi phí lắp đặt và bảo trì.

Bài báo này giới thiệu một hệ thống thu hồi năng lượng gió sử dụng bộ chuyển đổi thủy lực, chuyển đổi động năng của gió thành điện năng. Hệ thống hoạt động bằng cách truyền động năng từ gió qua trục quay tới bơm thủy

lực, chuyển đổi thành năng lượng thủy lực và tích trữ trong bình tích năng để duy trì mức năng lượng ổn định. Năng lượng thủy lực sau đó được chuyển đổi thành năng lượng cơ học bởi động cơ thủy lực, truyền động cho máy phát điện để tạo ra điện năng cung cấp cho pin hoặc lưới điện.

## 2. THIẾT KẾ BỘ CHUYỂN ĐỔI THỦY LỰC



Hình 1. Hệ thống được đề xuất.

### 2.1. Nguyên lý làm việc

Hệ thống thu hồi năng lượng gió thông qua bộ chuyển đổi thủy lực hoạt động theo nguyên lý chuyển đổi năng lượng động của gió thành năng lượng điện một cách hiệu quả và ổn định. Khi gió thổi, các cánh quạt gió sẽ quay, chuyển đổi năng lượng động của gió thành năng lượng cơ học. Chuyển động quay này được truyền qua trục quay đến bộ chuyển đổi năng lượng. Trong hệ thống thủy lực, bơm thủy lực chuyển đổi năng lượng cơ học từ trục quay thành năng lượng thủy lực. Năng lượng thủy lực này được tích trữ trong các bình tích năng, giúp duy trì mức năng lượng ổn định dù tốc độ gió có thay đổi. Nhờ cơ chế này, hệ thống có khả năng giảm thiểu dao động năng lượng do sự biến đổi của tốc độ gió. Tiếp theo, năng lượng từ hệ thống thủy lực được dẫn tới động

cơ thủy lực. Động cơ này chuyển đổi năng lượng thủy lực trở lại thành năng lượng cơ học, truyền động cho máy phát điện. Máy phát điện sau đó biến đổi năng lượng cơ học này thành năng lượng điện, có thể sạc vào pin hoặc cung cấp trực tiếp cho lưới điện như thể hiện ở Hình 1.

## 2.2. Mô hình toán hệ thống thu hồi năng lượng gió

### a) Mô hình tua-bin

Công suất mà tua-bin có thể tạo ra được tính bằng công thức:

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A V_w^3 C_p(\beta, \lambda) \quad (1)$$

Trong đó,  $\rho$  là khối lượng riêng của không khí.  $A$  là diện tích quét của cánh quạt.  $V_w$  là vận tốc gió.  $C_p$  là hệ số công suất, phụ thuộc vào góc nghiêng  $\beta$  và tỉ số tốc độ đầu cánh  $\lambda$ . Tỉ số tốc độ đầu cánh  $\lambda$  được định nghĩa là tỉ lệ giữa tốc độ tuyến tính của đầu cánh quạt và tốc độ gió:

$$\lambda = \frac{\omega_t \times R}{V_w} \quad (2)$$

Trong đó,  $R$  là chiều dài cánh quạt;  $\omega_t$  là tốc độ quay của cánh quạt. Hệ số công suất  $C_p$  là thước đo hiệu suất chuyển đổi năng lượng gió thành năng lượng cơ học, được xác định bởi công thức:

$$C_p(\beta, \lambda) = c_1(c_2 - c_3\beta - c_4\beta^x - c_5)e^{-c_6} \quad (3)$$

Trong đó,  $\beta$  là góc nghiêng cánh quạt;  $c_1$  đến  $c_6$  là các hệ số đặc trưng cho tua-bin. Giá trị điều chỉnh của  $\lambda$  được tính như sau:

$$\lambda_t = \left( \frac{1}{\lambda + 0.08\beta - 0.035\beta^3 + 1} \right)^{-1} \quad (4)$$

Mô-men xoắn  $T_t$  được tạo bởi tua-bin được tính như sau:

$$T_t = \frac{P_t}{\omega_t} \quad (5)$$

Theo định luật II Newton, chuyển động quay của tua-bin được mô tả bằng phương trình:

$$\dot{\omega}_t = \frac{T_t - C_t \omega_t - T_p}{J_t} \quad (6)$$

Trong đó,  $T_p$  là mô-men tải do bơm thủy lực tạo ra;  $J_t$  là mô-men quán tính của hệ thống;  $C_t$  là hệ số cản.

### b) Mô hình bơm thủy lực

Bơm thủy lực đóng vai trò chuyển đổi năng lượng cơ học từ tua-bin thành năng lượng thủy lực. Lưu lượng của bơm thủy lực được tính bởi:

$$Q_{Pi} = \alpha_p \omega_p D_{Pmax} \quad (7)$$

Trong đó,  $\alpha_p$  là góc nghiêng của bơm;  $\omega_p$  là tốc độ quay;  $D_{Pmax}$  là lưu lượng riêng tối đa của bơm. Hiệu suất thể tích và cơ học của bơm được biểu diễn bởi:

$$\eta_{vP} = \frac{Q_{Pi} - Q_l}{Q_{Pi}} \quad (8)$$

$$\eta_{LP} = \frac{\alpha_p D_{Pmax} \Delta p}{\alpha_p D_{Pmax} \Delta p + T_l} \quad (9)$$

### c) Mô hình động cơ thủy lực

Động cơ thủy lực chuyển đổi năng lượng thủy lực thành năng lượng cơ học. Hiệu suất thể tích và cơ học của động cơ được tính bằng:

$$\eta_{vM} = \frac{\alpha_M D_{M_{max}} \omega_M}{\alpha_M D_{M_{max}} \omega + Q_{loss}} \quad (10)$$

$$\eta_{tM} = \frac{\alpha_M D_{M_{max}} \Delta p - T_{loss}}{\alpha_M D_{M_{max}} \Delta p} \quad (11)$$

Lưu lượng thực tế và mô-men xoắn đầu ra của động cơ được tính như sau:

$$Q_M = \frac{Q_i}{\eta_{vM}} \quad (12)$$

$$T_M = \alpha_M \Delta p D_{M_{max}} \eta_{tM} \quad (13)$$

#### d) Mô hình tính toán bình tích năng thủy lực

Áp suất trong bình tích năng thủy lực được giả định tuân theo quá trình đoạn nhiệt, với phương trình:

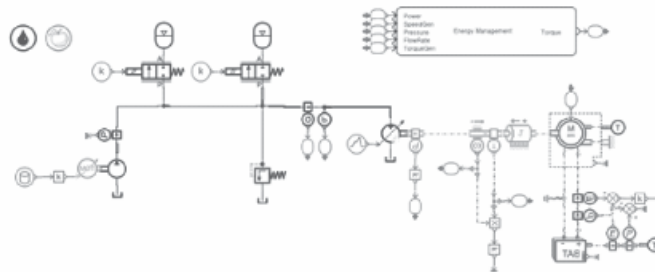
$$pV^n = p_0V_0^n = p_{max}V_{min}^n \quad (14)$$

Thể tích dầu thủy lực trong bình tích năng được tính bởi:

$$V_f = V_0 \left( 1 - \left( \frac{p_0}{p_i} \right)^{\frac{1}{n}} \right), \text{ nếu } p_i > p_0 \quad (15)$$

### 3. MÔ PHỎNG

#### 3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng



Hình 2. Mô hình mô phỏng hệ thống thu hồi năng lượng bằng phần mềm AMESim.

Bảng 1. Thông số của hệ thống

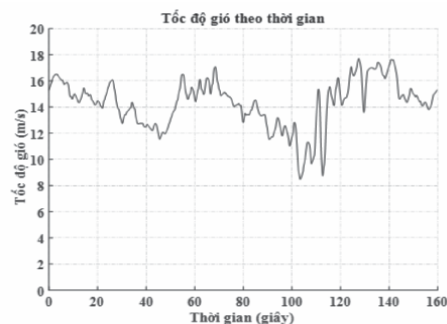
| Thiết bị         | Thông số kỹ thuật | Giá trị                  | Thiết bị      | Thông số kỹ thuật              | Giá trị                |
|------------------|-------------------|--------------------------|---------------|--------------------------------|------------------------|
| Bơm thủy lực     | Lưu lượng riêng   | 50 cm <sup>3</sup> /vòng | Tua-bin       | Bán kính                       | 50 m                   |
| Động cơ thủy lực | Lưu lượng riêng   | 28 cm <sup>3</sup> /vòng |               | Vận tốc gió                    | 10m/s                  |
| Bình tích áp 1   | Thể tích          | 90 bar                   |               | Hệ số công suất                | 0,4                    |
|                  | Áp suất ban đầu   | 20 lít                   |               | Khối lượng riêng của không khí | 1,225kg/m <sup>3</sup> |
| Bình tích áp 2   | Thể tích          | 70 bar                   | Máy phát điện | Công suất                      | 10 kW                  |
|                  | Áp suất ban đầu   | 20 lít                   |               |                                |                        |



Hệ thống mô phỏng thu hồi năng lượng gió qua bộ chuyển đổi thủy lực được xây dựng bằng cách kết hợp AMESim và MATLAB/Simulink, tạo nên một phương pháp tích hợp đa miền để tối ưu hóa và phân tích hiệu suất hệ thống trong điều kiện thực tế như thể hiện ở Hình 2. Mô hình bao gồm hệ thống thủy lực, hệ thống điện và hệ thống điều khiển với các thông số mô phỏng được liệt kê trong Bảng 1. Trong đó, MATLAB/Simulink chịu trách nhiệm cho hệ thống điều khiển, quản lý các thông số quan trọng như công suất, tốc độ, áp suất, lưu lượng và mô-men xoắn. Bộ quản lý năng lượng trong MATLAB thu thập dữ liệu từ AMESim để tính toán, tối ưu hóa và điều chỉnh các tín hiệu điều khiển nhằm cải thiện hiệu suất tổng thể. AMESim mô phỏng chính xác các hiện tượng vật lý trong hệ thống thủy lực, như rò rỉ, mất mát áp suất và động lực học chất lỏng; dữ liệu đầu ra được chuyển sang MATLAB để xử lý và phân hồi.

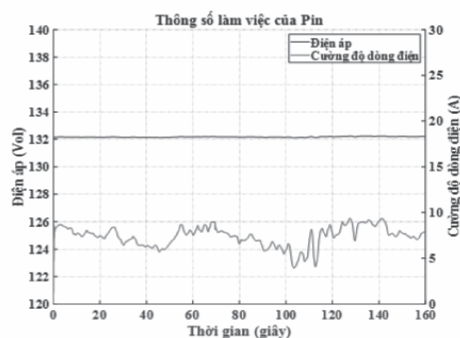
## 3.2. Phân tích kết quả mô phỏng

Dữ liệu gió được trình bày trong Hình 3 minh họa cho thấy sự biến động của vận tốc gió theo thời gian trong khoảng 160 giây, dao động từ 8 m/s đến 18 m/s [8]. Đặc điểm nổi bật của dữ liệu này là tính không ổn định, thể hiện qua các biến đổi lớn tại một số thời điểm. Đặc biệt, từ giây thứ 100 đến giây thứ 130, vận tốc gió giảm mạnh và sau đó tăng trở lại nhanh chóng. Những biến đổi này phản ánh điều kiện gió thực tế, đặc biệt ở những khu vực có địa hình phức tạp hoặc thời tiết thay đổi liên tục. Dữ liệu này rất hữu ích trong việc phân tích hiệu suất của hệ thống tua-bin gió và kiểm tra khả năng thích ứng của hệ thống thủy lực.



Hình 3. Dữ liệu gió.

Hình 4 thể hiện sự biến đổi của điện áp và cường độ dòng điện nạp vào pin sau khi động năng được chuyển đổi thành điện năng thông qua hệ thống thu hồi năng lượng trong 160 giây. Điện áp duy trì ổn định, dao động rất nhỏ quanh giá trị trung bình cố định. Cường độ dòng điện biến động đáng kể, phản ánh sự thay đổi của gió trong quá trình thu hồi năng lượng. Kết quả này cho thấy hệ thống có khả năng duy trì khả năng ổn định trong quá trình thu hồi năng lượng góp phần nâng cao hiệu suất và độ tin cậy trong vận hành.

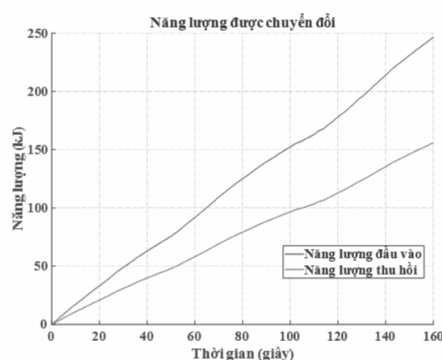


Hình 4. Điện áp và cường độ dòng điện của pin.

Hình 5 thể hiện sự biến đổi của năng lượng đầu vào và năng lượng thu hồi bởi hệ thống được đề xuất theo thời gian. Tại thời điểm cuối cùng, tức 160 giây, năng lượng đầu vào đạt khoảng 250 kJ, trong khi năng lượng thu hồi được là khoảng 150 kJ. Điều này có nghĩa là hệ thống thu hồi được 60% năng lượng



từ tổng năng lượng đầu vào. Phần năng lượng còn lại (40%) bị mất mát, có thể do các nguyên nhân như tổn thất trong chuyển đổi thủy lực, tổn thất ma sát. Kết quả này cho thấy hiệu suất của hệ thống là tương đối tốt, nhưng vẫn có tiềm năng cải thiện để tối đa hóa lượng năng lượng thu hồi.



Hình 5. Năng lượng gió được chuyển đổi sang năng lượng điện.

#### 4. KẾT LUẬN

Hệ thống thu hồi năng lượng gió thông qua bộ chuyển đổi thủy lực đã được phát triển nhằm cải thiện hiệu suất và độ ổn định trong việc chuyển đổi năng lượng gió thành điện năng. Kết quả mô phỏng và thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động hiệu quả trong điều kiện gió không ổn định: áp suất và lưu lượng thủy lực duy trì ổn định, điện áp hệ thống giữ vững mặc dù cường độ dòng điện biến đổi, và trạng thái sạc pin tăng đều đặn. Hiệu suất thu hồi năng lượng đạt khoảng 60%, khẳng định tính khả thi và tiềm năng ứng dụng thực tế của hệ thống. Điều này mở ra hướng phát triển mới cho các giải pháp năng lượng tái tạo bền vững và hiệu quả.

#### Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh (UEH).

Nghiên cứu này được sự hỗ trợ về tài chính của Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh – UEH. Bài báo này là sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp trường có mã số CTD-2024-01 được tài trợ bởi Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh. ♦

Ngày nhận bài: **05/11/2024**

Ngày phản biện: **9/12/2024**

#### Tài liệu tham khảo:

- [1]. Sơn, N. T., Danh, T. H., Trung, Đ. M., & Thịnh, Q. N. (2020), “Nghiên cứu giải pháp kết hợp hiệu quả các tua bin gió PMSG”. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ, 56(5), 1-9. doi: 10.22144/ctu.jvn.2020.106.
- [2]. Nhi, N. T. X., Nguyen, C. N., Tiên, N. N., & Luân, T. T. (2022), “Ứng dụng mạng nơ-ron mờ hồi quy trong điều khiển góc cánh tuabin gió”. Journal of Military Science and Technology, (80), 3-12. doi: : <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.80.2022.3-1>.
- [3]. Truitt, A., & Mahmoodi, S. N. (2013), “A review on active wind energy harvesting designs”. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 14, 1667-1675. doi: <https://doi.org/10.1007/s12541-013-0226-4>.
- [4]. Do, H. T., Dang, T. D., Truong, H. V. A., & Ahn, K. K. (2017), “Maximum power point tracking and output power control on pressure coupling wind energy conversion system”. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 65(2), 1316-1324. doi: 10.1109/TIE.2017.2733424.
- [5]. Ai, C., Zhang, L., Gao, W., Yang, G., Wu, D., Chen, L., ... & Plummer, A. (2022), “A review of energy storage technologies in hydraulic wind turbines”. Energy Conversion and Management, 264, 115584. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115584>.
- [6]. Fan, Y., Mu, A., & Ma, T. (2016), “Design and control of a point absorber wave energy converter with an open loop hydraulic transmission”. Energy Conversion and Management, 121, 13-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.107>.
- [7]. Ha, K., Truong, H. V. A., Dang, T. D., & Ahn, K. K. (2021), “Recent control technologies for floating offshore wind energy system: A review”. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 8, 281-301. doi: <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00269-5>.
- [8]. Sun, W., & Gao, Q. (2019), “Short-term wind speed prediction based on variational mode decomposition and linear-nonlinear combination optimization model”. Energies, 12(12), 2322.