

LỰA CHỌN MÁY PHÁT ĐIỆN CHO TURBINE GIÓ CÔNG SUẤT NHỎ CHOICE OF ELECTRICAL GENERATOR FOR SMALL WIND TURBINES

*ThS Bùi Văn Hồng
ĐH Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. HCM*

TÓM TẮT

Máy phát điện kích từ bằng nam châm vĩnh cửu có cấu tạo đơn giản và vận hành dễ rất thích hợp với các turbine gió hoạt động độc lập. Vì tốc độ làm việc luôn thay đổi, nên năng lượng cần được lưu trữ vào ắc quy để đảm bảo chất lượng điện năng. Kết quả thí nghiệm trên mô hình vật lý cho thấy hiệu suất phát điện phụ thuộc vào số vòng, đường kính dây quấn stator và chế độ vận hành của máy phát.

ABSTRACT

A permanent magnet generator has a simple structure, easy to operate, and is used for small wind turbines. Because their speed is always changing, so the energy is stored in the battery to ensure quality of power. Experiments on the physical model have shown that the energy performance depends on the number and diameter of the wires, and the operation mode of the generators.

I. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh năng lượng hóa thạch ngày càng khan hiếm, gió được xem là một trong những nguồn năng lượng tự nhiên thích hợp để sản xuất điện năng. Với ưu điểm không tốn nhiên liệu, không làm ảnh hưởng đến môi trường tự nhiên, máy phát điện gió ngày càng phát triển từ quy mô hộ gia đình đến hệ thống điện quốc gia. Máy phát điện trong turbine gió làm nhiệm vụ chuyển năng lượng gió sang điện năng. Chính vì vậy, việc lựa chọn và sử dụng máy phát điện phù hợp giúp nâng cao hiệu suất và tăng tuổi thọ cho các turbine gió có ý nghĩa rất quan trọng.

Trong các loại máy phát điện, máy phát kích từ bằng nam châm vĩnh cửu được sử dụng thích hợp nhất cho các turbine gió công suất nhỏ hoạt động độc lập. Hạn chế của turbine gió hoạt động độc lập là tốc độ luôn thay đổi, dẫn đến máy phát điện làm việc không ổn định. Khi tốc độ thấp, máy phát điện không đủ công suất, nhưng khi tốc độ cao lại bị quá tải. Do đó máy phát điện sử dụng trong turbine gió hoạt động độc lập cần phải khắc phục được hạn chế trên.

Mục tiêu nghiên cứu là lựa chọn máy phát điện thích hợp với các turbine gió công suất nhỏ hoạt động độc lập. Trong bài viết này sẽ trình bày đặc điểm năng lượng gió, lựa chọn máy phát điện kích từ bằng nam châm vĩnh cửu, và kết quả thực nghiệm trên mô hình vật lý máy phát điện đã lựa chọn.

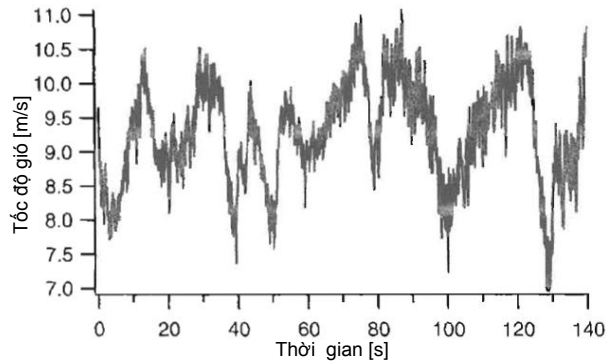
II. ĐẶC ĐIỂM NĂNG LƯỢNG GIÓ

Công suất của năng lượng gió thay đổi theo lập phương lần tốc độ gió. Do đó, nghiên cứu đặc điểm năng lượng gió có ý nghĩa quan trọng trong việc thiết kế các turbine gió, cũng như nâng cao hiệu suất phát điện của các máy phát điện gió.

Tốc độ gió thay đổi liên tục trong một phạm vi rộng và phụ thuộc vào các yếu tố như: vùng khí hậu, đại lý; sự thay đổi theo mùa, theo năm, theo ngày, theo giờ, ... Trong đó tốc độ gió thay đổi trong thời gian ngắn từ dưới một giây đến khoảng 10 phút được gọi

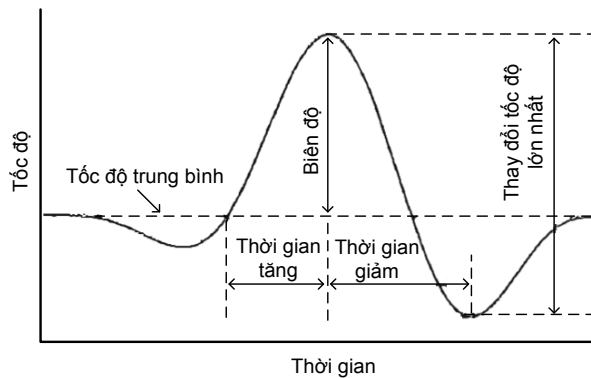
là nhiễu loạn gió và lốc, có ảnh hưởng rất lớn đến việc thiết kế turbine, hệ thống điện, chất lượng điện năng và nâng cao hiệu suất phát điện, *hình 1*.

- Hiện tượng nhiễu loạn gió có tác động ngẫu nhiên đến sự thay đổi của tốc độ gió. Sự thay đổi này được tác động theo ba hướng là: hướng dọc, hướng ngang, và hướng thẳng đứng.



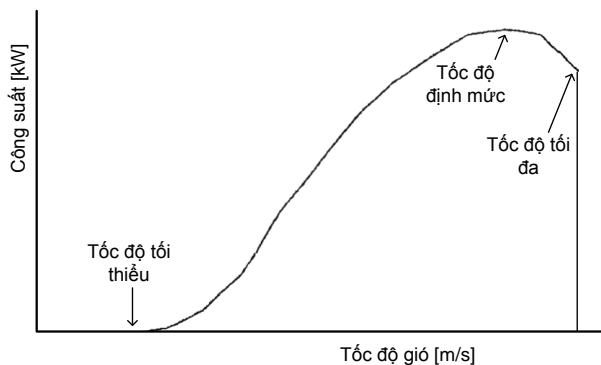
Hình 1. Sự thay đổi tốc độ gió trong khoảng thời gian ngắn

- Lốc là một hiện tượng tách rời với trường gió nhiễu loạn. Phương pháp mô tả các thuộc tính của một cơn lốc là đo các đại lượng: biên độ, thời gian tăng tốc, sự thay đổi lớn nhất của lốc, thời gian giảm tốc, *hình 2*.



Hình 2. Mô tả thuộc tính lốc

Như vậy, nếu xét tại một vị trí địa lý và ở một độ cao nhất định, tốc độ gió luôn thay đổi theo thời gian, làm cho tốc độ của máy phát điện trong turbine gió cũng sẽ luôn thay đổi, ảnh hưởng trực tiếp đến công suất phát điện, *hình 3*.

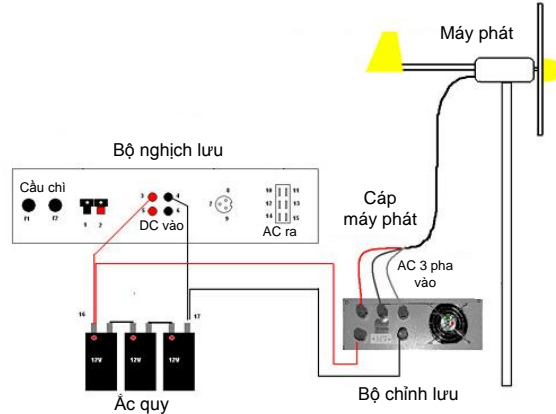


Hình 3. Đặc tính công suất của turbine gió

III. MÁY PHÁT ĐIỆN TRONG TURBINE GIÓ HOẠT ĐỘNG ĐỘC LẬP

1. Lựa chọn máy phát điện

Từ đặc điểm của năng lượng gió và quan hệ giữa công suất phát điện với tốc độ gió, các turbine gió hoạt động độc lập thường phải lưu trữ năng lượng điện vào ắc quy và sau đó nghịch lưu thành điện xoay chiều cung cấp cho tải để đảm bảo chất lượng điện năng, hình 4.

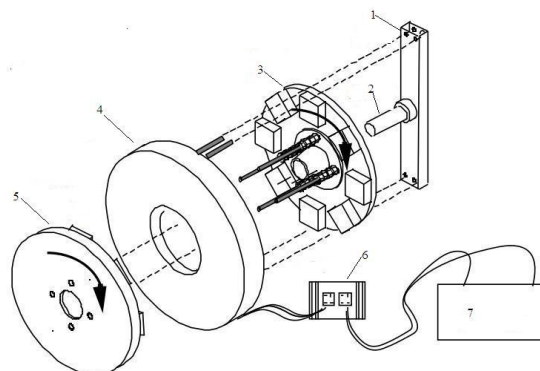


Hình 4. Kết cấu máy phát điện gió công suất nhỏ hoạt động độc lập

Turbine gió công suất nhỏ hoạt động độc lập chủ yếu cấp điện cho các hộ gia đình, cần thiết phải vận hành đơn giản và hiệu suất phát điện cao, nên máy phát xoay chiều kích từ bằng nam châm vĩnh cửu (Permanent Magnet Generator, PMG) được cho là thích hợp nhất vì không cần dòng điện kích từ khi hoạt động, cấu tạo không có chổi than và không tổn hao năng lượng trên cuộn dây kích từ. Ngoài ra, vì hoạt động độc lập nên tốc độ làm việc của turbine luôn thay đổi. Do đó, để phát điện được ở tốc độ gió thấp và không bị quá tải khi tốc độ gió cao vì dòng nạp ắc quy lớn, máy phát điện được chọn thường là máy phát xoay chiều 3 pha có thể chuyển đổi được chế độ hoạt động từ sao sang tam giác. Khi tốc độ thấp máy phát làm việc ở chế độ sao để điện áp phát ra lớn và khi tốc độ cao chuyển sang chế độ tam giác để giảm điện áp đặt vào ắc quy đồng thời tăng công suất phát điện.

2. Nâng cao hiệu suất máy phát PMG

Máy phát điện kích từ bằng nam châm vĩnh cửu (Permanent Magnet Generator, PMG) có cấu tạo bao gồm rotor và stator. Trong đó rotor (*phần kích từ*) được làm bằng nam châm vĩnh cửu, stator (*phần ứng*) có lõi sắt làm bằng thép kỹ thuật điện và dây quấn làm bằng dây điện từ, hình 5.



Hình 5. Cấu tạo máy phát điện nam châm vĩnh cửu
1. Cánh tay đòn, 2. Trục truyền động, 3 và 5. Rotor, 4. Stator, 6. Bộ chỉnh lưu, 7. Ắc quy.

- Khi hoạt động, sức điện động một pha dây quấn phần ứng của PMG là:

$$E_A = 4,44 \cdot f \cdot W \cdot \phi \cdot K_{dq} \quad (1)$$

Trong đó: n là tốc độ rotor, p : số đôi cực từ, W : số vòng dây một pha stator, ϕ : từ thông kích từ (ϕ : hằng số)

Với: $K_E = 4,44 \frac{K_{dq}}{60}$: Hệ số sức điện động.

$$X_S = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \cdot \frac{np}{60} \cdot \frac{W^2}{Z_m} = K_X \cdot n \cdot p \cdot W^2$$

$$K_X = 2\pi \frac{1}{60 \cdot Z_m}$$

Z_m : Tổng trở từ của mạch từ stator.

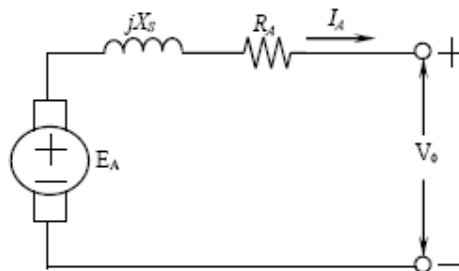
Suy ra, sức điện động một pha dây quấn phân ứng sẽ là:

$$E_A = 4,44 \cdot f \cdot W \cdot \phi \cdot K_{dq} = 4,44 \cdot \frac{np}{60} K_{dq} \cdot W \cdot \phi = K_E \cdot n \cdot p \cdot W \cdot \phi \quad (2)$$

Từ biểu thức (2), để tăng sức điện động khi làm việc ở tốc độ thấp, máy phát điện nên có nhiều số cực từ, $2p$.

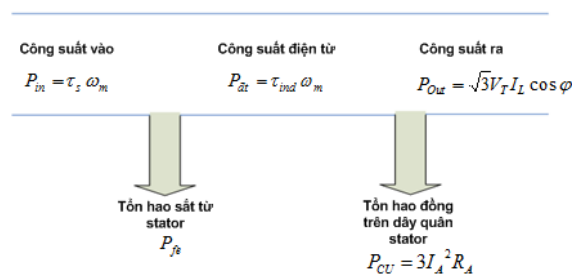
- Khi nối tải vào máy phát, điện áp trên tải là: $V_\phi = E_A - jX_S I_A - R_A I_A$ (3)

Trong đó: X_S : trở kháng một pha dây quấn stator, R_A : điện trở một pha dây quấn stator, I_A : dòng điện tải.



Hình 6. Sơ đồ tương đương một pha dây quấn stator

- Vì rotor của PMG làm bằng nam châm vĩnh cửu nên tổn hao công suất ở rotor bằng không. Do đó quá trình năng lượng của máy phát điện nam châm vĩnh cửu được biểu diễn như hình 7:



Hình 7. Quá trình năng lượng của PMG

Từ giản đồ năng lượng cho thấy, nếu xem tổn hao sắt từ stator P_{fe} không đổi, thì hiệu suất của PMG phụ thuộc vào công suất điện từ P_{dt} và tổn hao đồng trên dây quấn stator P_{CU} .

- Công suất điện từ:

$$P_{dt} = \tau_{ind} \cdot \omega_m = 3 \frac{V_\phi E_A \sin \delta}{X_s} = 3 \frac{E_A \sqrt{E_A^2 - (I_A X_s)^2}}{X_s} \sin \delta \quad (4)$$

Trong đó: E_A : sức điện động pha, V_ϕ : điện áp pha, δ : góc lệch pha giữa sức điện động và điện áp, X_s : trở kháng một pha dây quấn stator.

Khi thế: E_A và V_ϕ vào, ta có:

$$P_{dt} = 3 \cdot \frac{K_E \cdot n \cdot p \cdot \phi \cdot W \sqrt{(K_E \cdot n \cdot p \cdot \phi \cdot W)^2 - (I_A \cdot K_X \cdot n \cdot p \cdot W^2)^2}}{K_X \cdot n \cdot p \cdot W^2}$$

$$P_{dt} = 3 \cdot \frac{K_E \cdot \phi \cdot \sqrt{(K_E \cdot \phi)^2 - (I_A \cdot K_X \cdot W)^2}}{K_X} = f(W) \quad (5)$$

Vì ϕ là hằng số, từ theo (5), nếu dòng trong dây quấn stator I_A không đổi, công suất điện từ tỷ lệ nghịch với số vòng dây quấn stator W . Do đó để tăng công suất điện từ P_{dt} của máy phát, cần phải giảm số vòng dây quấn stator.

- **Tổn hao đồng trên dây quấn stator:**

$$\Delta P_{cu} = 3 I_A^2 R_A = 3 I_A^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (6)$$

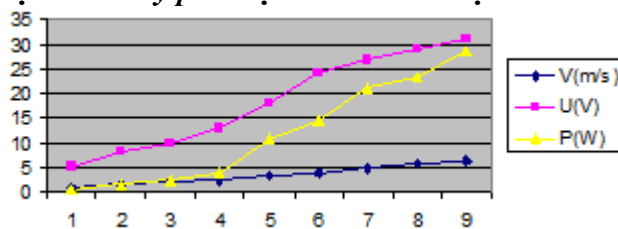
Nếu xem điện trở suất ρ là hằng số và giá trị dòng tải I_A cố định, theo (6) để giảm tổn hao đồng P_{cu} cần phải giảm chiều dài dây l (tức là giảm số vòng dây quấn stator W) và tăng tiết diện S của dây quấn stator.

2. Kết quả thí nghiệm

Thí nghiệm trên mô hình vật lý của turbine gió hoạt động độc lập có các thông số như sau:

- Rotor turbine: 3 cánh, chiều dài mỗi cánh là 0,58 m.
- Máy phát điện loại PMG 3 pha có: công suất định mức $P_{dm} = 55W$, số vòng một pha $W = 84$ vòng, đường kính dây sator $d = 0,85$ mm, số cực từ $2p = 12$.
- Tỷ số truyền tốc độ từ rotor turbine đến trục máy phát: 1/3

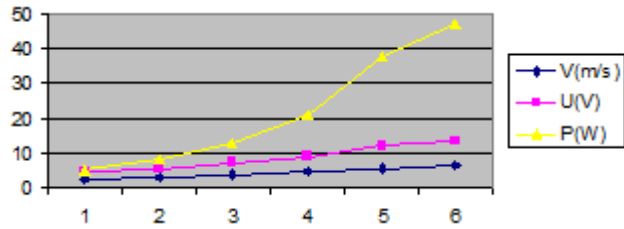
Kết quả thí nghiệm khi máy phát vận hành ở chế độ sao:



V(m/s)	1	1.4	2.1	2.4	3.2	4	4.8	5.6	6.4
U(V)	5	8	10	13	18	24	27	29	31
P(W)	0.5	1.6	2.5	3.9	11	14.4	21	23.2	28.8

Hình 8. Kết quả thí nghiệm khi máy phát vận hành chế độ sao

Kết quả thí nghiệm khi máy phát vận hành ở chế độ tam giác:



V(m/s)	2.4	3.2	4	4.8	5.6	6.4
U(V)	4.6	5.8	7.5	9.2	11.0	13.5
P(W)	5.3	8.3	12.9	19.2	27.3	37.5

Hình 9. Kết quả thí nghiệm khi máy phát vận hành ở chế độ tam giác

Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi cùng một điện áp đặt vào ác quy, nếu máy phát điện vận hành ở chế độ sao có tốc độ làm việc và công suất phát điện thấp hơn so với khi vận hành ở chế độ tam giác. Vì khi mắc sao tổn hao công suất trên dây quấn stator lớn hơn khi mắc tam giác.

Như vậy, máy phát vận hành ở chế độ sao chỉ thích hợp khi turbine làm việc trong điều kiện tốc độ gió thấp, còn ở chế độ tam giác phù hợp khi tốc độ turbine cao. Kết quả thí nghiệm này cũng cho thấy rằng để nâng cao hiệu suất máy phát điện PMG cho turbine gió hoạt động độc lập cần phải giảm số vòng và tăng đường kính dây quấn stator.

IV. KẾT LUẬN

Máy phát điện xoay chiều kích từ bằng nam châm vĩnh cửu, PMG thích hợp cho các turbine gió công suất nhỏ hoạt động độc lập. Với đặc điểm năng lượng gió luôn thay đổi, năng lượng do máy phát tạo ra được chỉnh lưu thành điện một chiều lưu trữ vào ác quy để đảm bảo chất lượng điện năng.

Để nâng cao hiệu suất phát điện, máy phát PMG nên có nhiều số cực từ $2p$, giảm số vòng W và tăng tiết diện S dây stator. Khi tốc độ gió thấp, máy phát vận hành ở chế độ sao và khi tốc độ gió cao chuyển sang chế độ tam giác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Burton T., Sharpe D., Jenkins N. and Bossanyi E. (2001). *Wind energy handbook*, John Wiley & Sons Ltd.
2. Chertok A. and Hablanian D. (2005). *Development of a Direct Drive Permanent Magnet Generator for Small Wind Turbines*, Final Technical Report for the U.S. Department of Energy Grant Number DE-FG36-03G013139.
3. Khennas S. (2001). *PMG construction manual*, Hugh Piggott - Scoraig Wind Electric.
4. Manwell J. F., McGowan J. G. and Rogers A. L. (2002). *Wind energy explained Theory, Dessioning and Application*, John Wiley & Sons Ltd.
5. The McGraw-Hill Companies (2004). *Electrical Equipment Handbook*, www.digital_engineeringlibrary.com
6. www.alternative-energy-news.info/.../wind-power/

