

THIẾT KẾ TỐI ƯU MÁY PHÁT ĐỒNG BỘ NAM CHÂM NỔ

OPTIMAL DESIGN OF SURFACE PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR

Phan Hoài Nam¹, Hoàng Việt Đại²

¹Khoa Điện - Tự động hóa, Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật - Công nghiệp

²Trường Điện - Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội

Đến Tòa soạn ngày 26/03/2024, chấp nhận đăng ngày 11/06/2024

Tóm tắt: Việc sử dụng dầu mỏ và năng lượng gió để phát triển hệ thống điện là một xu thế cho các nhà nghiên cứu trên thế giới. Đặc biệt, nguồn năng lượng hóa thạch là nguồn năng lượng không phải là vô tận, khi tiêu thụ sẽ gây ô nhiễm môi trường, ảnh hưởng tới sức khỏe của con người. Bài báo này tập trung vào thiết kế và tối ưu hóa máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (SPM) cho hệ thống tuabin gió, sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với phần mềm ANSYS Maxwell. Máy phát điện SPM này được so sánh với các loại máy phát điện khác như SCIG, WRIG, SG, DFIG và SRG. Qua việc phân tích và thiết kế, bài báo đưa ra các ưu điểm nổi bật của máy phát điện SPM trong việc cải thiện hiệu suất và độ tin cậy, đồng thời giảm chi phí sản xuất. Kết quả nghiên cứu cho thấy máy phát điện SPM có thể đáp ứng các yêu cầu về hiệu suất cao và chi phí thấp, giúp thúc đẩy phát triển năng lượng tái tạo ở Việt Nam.

Từ khóa: Tuabin gió, máy phát đồng bộ, năng lượng, hóa thạch.

Abstract: Mining and using wind energy to develop electrical source is a trend which is famous for researchers over the world. Especially, The more fossil energy product, the less fossil energy source and fossil energy is to cause pollution of environment. This paper focuses on the design and optimization of a Permanent Magnet Synchronous Generator (SPM) for wind turbine systems using the finite element method with ANSYS Maxwell software. This SPM is compared with other types of generators such as SCIG, WRIG, SG, DFIG, and SRG. Through analysis and design, the paper highlights the significant advantages of SPM in improving efficiency and reliability while reducing production costs. The research results show that SPM can meet the requirements for high efficiency and low cost, helping to promote the development of renewable energy in Vietnam.

Keywords: Wind turbine, synchronous generator, energy, mine.

1. GIỚI THIỆU

Công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước yêu cầu và đòi hỏi việc sử dụng các nguồn năng lượng sạch và vĩnh cửu. Trong quý I năm 2021 của EVN, các yêu cầu sử dụng năng lượng điện tăng 7,93%. Tuy nhiên, các nguồn năng lượng truyền thống như nhiệt điện, thủy điện không thể đáp ứng đủ yêu cầu của người tiêu dùng, dẫn đến việc giới hạn tải gây ảnh

hưởng xấu đến người dân. Do đó, việc phát triển nguồn năng lượng tái tạo là câu trả lời chính cho điều này và nguồn năng lượng tái tạo có thể tập trung khai thác một cách mạnh mẽ trong tương lai. Việc phát triển nguồn năng lượng gió yêu cầu các thiết bị có hiệu suất cao, giá thành thấp và độ tin cậy. Bên cạnh đó, máy phát điện nam châm vĩnh cửu (SPM) đang chỉ ra những ưu điểm nổi bật như

khả năng cải tiến trong thiết kế để áp dụng vào nguồn năng lượng tái tạo. Bài báo này sẽ trình bày mô hình máy phát điện gió bao gồm hệ thống máy phát SPM.

Việt Nam là quốc gia đang phát triển với tốc độ cao, do vậy nhu cầu sử dụng năng lượng tăng cao. Với các giới hạn về nguồn năng lượng, dầu mỏ có chi phí tăng cao và đòi hỏi việc tìm kiếm nguồn năng lượng mới là cần thiết. Lợi ích của năng lượng gió ở Việt Nam là rất lớn do có chiều dài bờ biển hơn 3000 km.

Các nhà nghiên cứu chỉ ra rằng việc tối ưu các thiết bị với mục đích tạo ra nguồn công suất yêu cầu hiệu suất cao và kinh tế. Cách tốt nhất để tối ưu là đưa ra các nghiên cứu các thiết bị được mô phỏng trước khi sản xuất để đánh giá các đặc tính của máy phát điện.

Cuối cùng, thiết kế và tối ưu máy phát điện đồng bộ nam châm nổi (SPM) sẽ đưa ra các đặc tính như dòng điện, điện áp, momen, công suất, hiệu suất. Bên cạnh đó, tài liệu [3] đã thiết kế nhưng cũng chưa so sánh với máy phát điện SPM sử dụng nam châm halbach.

Máy phát điện dùng cho hệ thống tuabin gió khác biệt so với các loại máy phát điện khác như sau [5]:

- SCIG (Squirrel Cage Induction Generator): Máy phát điện cảm ứng lồng sóc có độ bền cao nhưng hiệu suất không cao và khó điều khiển.
- WRIG (Wound Rotor Induction Generator): Máy phát điện cảm ứng roto dây quấn có khả năng điều khiển tốt hơn SCIG nhưng phức tạp hơn trong thiết kế.
- SG (Synchronous Generator): Máy phát điện đồng bộ thường yêu cầu hệ thống kích từ phức tạp và có thể không hiệu quả cho các ứng dụng có công suất thay đổi liên tục.

DFIG (Doubly-Fed Induction Generator): Máy phát điện cảm ứng hai nguồn cấp có hiệu suất cao và khả năng điều khiển linh hoạt nhưng chi phí cao.

- SRG (Switched Reluctance Generator): Máy phát điện từ trở chuyển mạch có cấu trúc đơn giản và độ bền cao nhưng tạo ra nhiều nhiễu từ và rung động.

Máy phát điện SPM có ưu điểm nổi bật như:

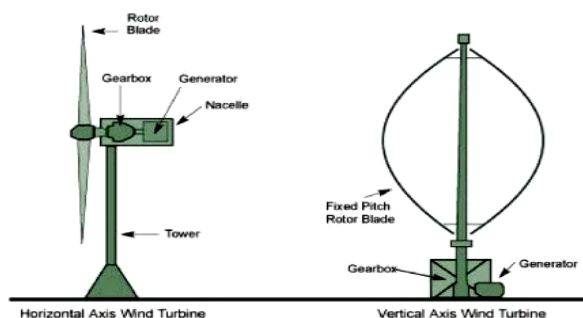
- Khả năng tạo ra mật độ công suất cao và hiệu suất cao tại thời điểm tốc độ gió thấp.
- Cấu trúc đơn giản và dễ sản xuất.
- Độ tin cậy cao và ít cần bảo trì.
- Giảm kích thước và trọng lượng của máy phát điện.

2. CÁC VẤN ĐỀ

2.1. Cơ sở lý thuyết

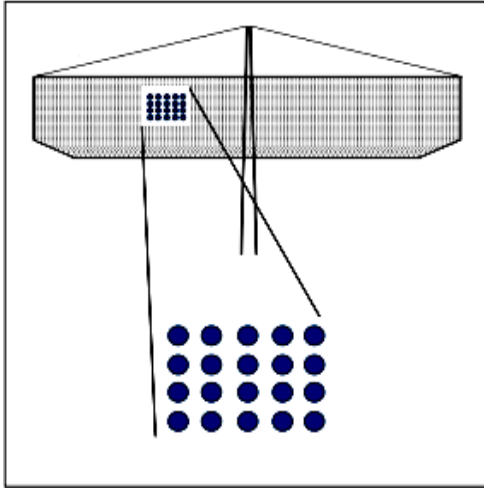
Việt Nam về địa lý là một nước có đồi phía tây và thấp dần về phía đông, do vậy có địa hình dốc. Ngoài ra, Việt Nam có bờ biển dài và nhiều đảo nên việc xây dựng hệ thống tuabin gió cả trên bờ và ngoài khơi là khả thi. Việt Nam nằm gần xích đạo, có vùng khô hạn nên gió ổn định ở duyên hải Nam Trung Bộ

Máy phát tuabin gió được thiết kế có roto được gắn với quạt gió như hình dưới để biến đổi năng lượng gió từ động năng thành cơ năng trên trục tuabin nối với các hộp số hoặc không. Tùy theo tốc độ gió mà chúng ta có thể lựa chọn đồng ý với nó.



Hình 1. Một vài kiểu tuabin gió được sử dụng phổ biến

Hệ thống tuabin gió như Hình 2.



Hình 2. Đặc điểm của hệ thống tuabin gió

2.2. Công thức

Với công suất của tuabin gió lấy số lượng cánh quạt là $Z = 3$ (1–4)

Tốc độ gió $V = 2-8$ m/s

Công suất tuabin gió là [4]:

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

Trong đó:

ρ : mật độ gió;

A : tiết diện.

Tỉ lệ đầu quạt gió:

$$\lambda = \omega \frac{R}{V} \quad (2)$$

Trong đó:

ω : tốc độ quay, $\omega = \frac{\pi \times n}{30}$

R : bán kính;

V : tốc độ gió;

n : tốc độ roto.

Chiều dài đường kính trong và đường kính ngoài roto [1]:

$$D = 3 \sqrt{\frac{2p_1}{\pi\lambda} \times \frac{p_1}{f_1} \times \frac{S_{gap}}{C_0}} \quad (3)$$

Chiều dài roto

$$L = \frac{\pi\lambda D_{is}}{2p_1} \quad (4)$$

Kích thước nam châm [2]

$$d_m = g \frac{B_e / B_g}{1 - B_e / B_g} \quad (5)$$

Trong đó:

$$B_v = \frac{4}{\pi} \times \frac{p}{v} \times B_\delta \times \sin\left(\frac{\alpha\pi}{2p}\right) \times \sin\left(v \frac{\pi}{2p}\right)$$

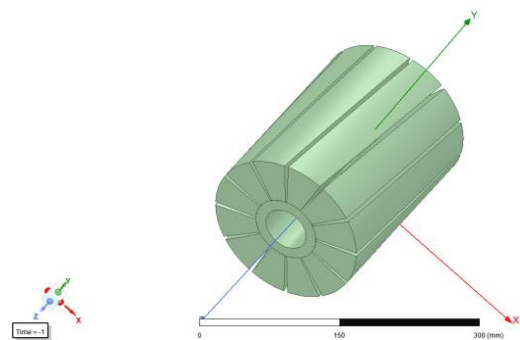
$$A_p = \xi_p \times \sqrt{2} \times \frac{W_{coil} \times I_{coil}}{\tau_s}$$

$$V = \pi \left(\frac{D_a}{2} \right)^2$$

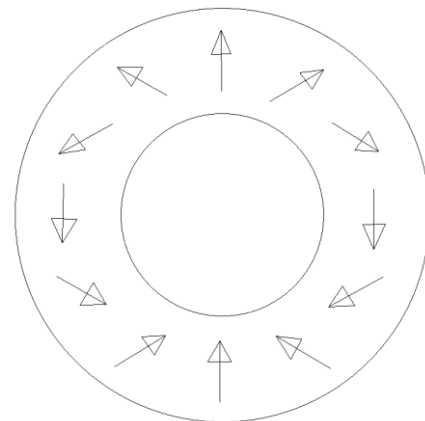
α : chiều rộng của nam châm;

v : sóng hài $p=v$.

Trình bày nghiên cứu



Hình 3. Roto của máy phát



Hình 4. Từ tính của roto với nam châm halbach

Roto của máy phát điện gió có các bề mặt. Cách để gắn loại nam châm này: Trên roto cắt 12 khe hở trên thép của roto và trên nam châm cắt 2 đường khe hở để gắn nam châm vào (sẽ cắt trước khi nạp từ tính nam châm). Khi lắp đặt thao tác gắn nam châm cẩn thận, tránh vỡ nam châm. Trong mô phỏng tác giả bỏ qua các khe hở để gắn nam châm. Trong mô phỏng sử dụng nam châm Ndfe30.

3. CÁC KẾT QUẢ

Dữ liệu đầu vào:

Bảng 1. Các thông số chính

Ký hiệu	Thông số	Nam châm bình thường	Nam châm Halbach	Unit
n_N	Tốc độ quay đồng bộ	3000	3000	Rpm
P_{gen}	Công suất phát	1,274	74,906	kW
T_N	Momen	12,5	360	Nm
$E_{PM} = U_{rms}$	Điện áp	64	500	V
L	Chiều dài lõi	230	230	mm
N_{ph}	Số lượng sợi dây trong một rãnh	84	84	-
N_s	Số lượng rãnh stato	18	18	-
B_r	Từ dư của nam châm	1,3	1,3	T
D_i	Đường kính trong stato	175	175	mm
D_o	Đường kính ngoài roto	253	253	mm
h_{PM}	Chiều dày nam châm	50	50	mm
W_{PM}	Chiều rộng nam châm	41,09	41,09	mm
p	Số cặp cực	1	1	-

Việc áp dụng các phương pháp để tính toán và thiết kế máy phát, phương pháp phần tử hữu hạn có độ tin cậy cho việc mô phỏng tuabin gió. Ansys Maxwell là một phần mềm để mô phỏng máy điện bằng việc phân tích phần tử hữu hạn tuân theo các phương trình của Maxwell:

Định luật cảm ứng Faraday

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

Định luật Gauss về từ trường

$$\nabla \cdot B = 0$$

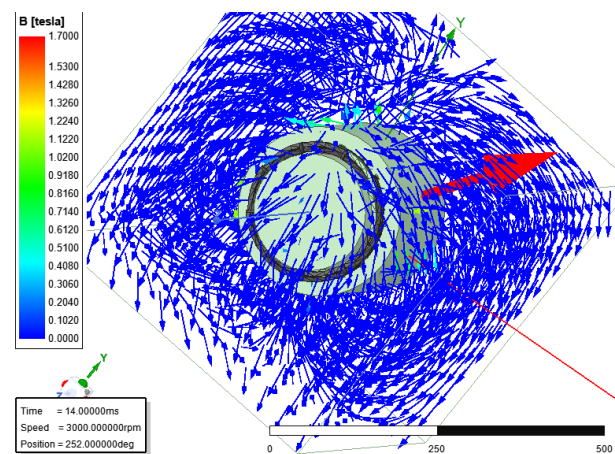
Định luật Ampere

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

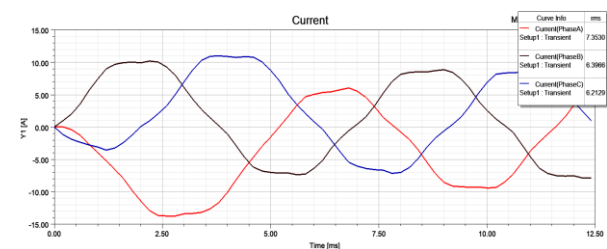
Định luật Gauss về điện trường

$$\nabla \cdot D = \rho$$

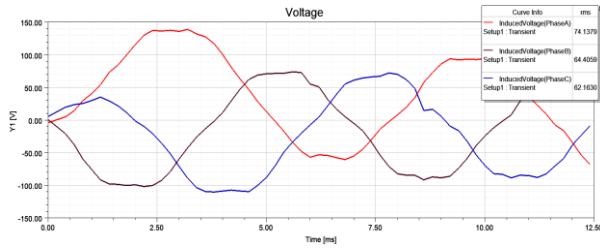
Trường hợp 1: Roto sử dụng nam châm vĩnh cửu.



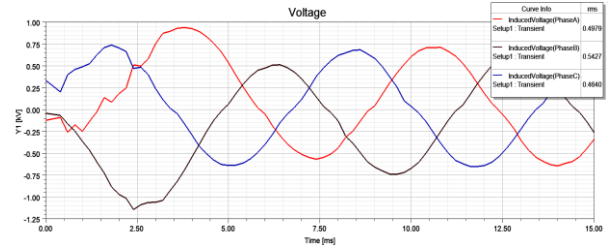
Hình 5. Mật độ từ thông



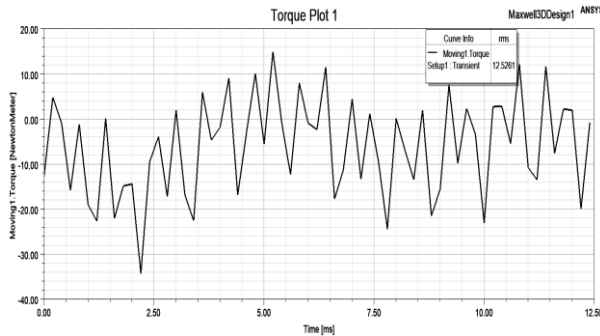
Hình 6. Dòng điện stato



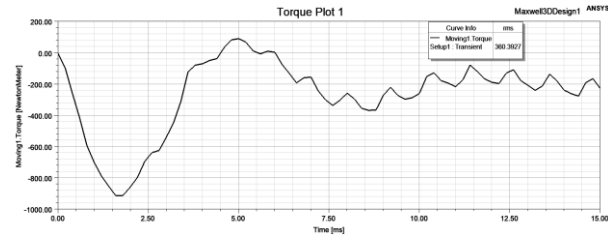
Hình 7. Điện áp stato



Hình 10. Điện áp



Hình 8 Đặc tính momen tốc độ



Hình 11. Đặc tính momen tốc độ

Dựa trên hình 6 và hình 7, $\cos\varphi = 1$ công suất phát là

$$S_{\text{phát}} = S_a + S_b + S_c = 74,7 + 64,6 + 62,6 = 1274 \text{ W} \quad (6)$$

$$P_{\text{gen}} = S_{\text{gen}} \cdot \cos\varphi = 1274 \cdot 1 = 1,274 \text{ kW} \quad (7)$$

Từ hình 8, công suất tuabin là

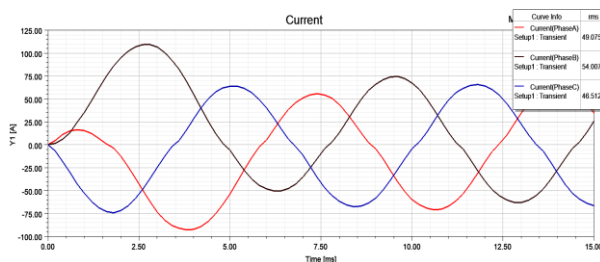
$$P_{\text{shaft}} = \frac{T \times n}{9,55} = \frac{12,5 \times 3000}{9,55} \approx 3926 \text{ W} \quad (8)$$

n : tốc độ quay của tuabin.

Từ (7) và (8), hiệu suất của tuabin là

$$\eta = \frac{P_{\text{gen}}}{P_{\text{shaft}}} = \frac{1274}{3926} \approx 32,4\% \quad (9)$$

Trường hợp 2: Roto gắn nam châm halbach.



Hình 9. Dòng điện

$$S_{\text{phát2}} = S_a + S_b + S_c = 498,49 + 540,54 + 464,46 = 74906 \text{ W} \quad (9.1)$$

$$P_{\text{gen2}} = S_{\text{gen}} \times \cos\varphi = 74906,1 = 74,906 \text{ kW} \quad (10)$$

Từ hình 11, công suất tuabin là

$$P_{\text{shaft2}} = \frac{T \times n}{9,55} = \frac{360 \times 3000}{9,55} \approx 113089 \text{ W} \quad (11)$$

n : tốc độ quay tuabin.

Từ (10) và (11), Hiệu suất của máy phát là

$$\eta_2 = \frac{P_{\text{gen2}}}{P_{\text{shaft2}}} = \frac{74906}{113089} \approx 66,2\% \quad (12)$$

Các kết quả cho thấy việc sử dụng tuabin gió với kiểu nam châm halbach mang lại các lợi ích đáng kể. Tuabin gió với nam châm bề mặt dễ tìm kiếm vật liệu ở Việt Nam. Bên cạnh đó thì kết cấu máy đơn giản do vậy dễ đưa ra sản xuất đại trà.

Từ hình số 8 và hình số 11 nhận thấy đặc tính momen ở hình số 11 ổn định hơn, Hình số 8 cho thấy máy khá rung và ồn. Với cùng kích máy nhưng khi thay đổi kiểu nam châm thì công suất đưa ra tăng khoảng 70 lần, như vậy

nếu cùng công suất thì sẽ giảm được kích thước máy đáng kể.

Việc thiết kế máy phát điện được trình bày trong bài báo khác biệt so với các máy phát điện hiện có như sau:

- Khả năng cải thiện hiệu suất: Máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (SPM) thiết kế mới có hiệu suất cao hơn nhờ việc tối ưu hóa từ thông và giảm tổn thất năng lượng.
- Độ tin cậy và bảo trì: Cấu trúc đơn giản của SPM giúp giảm yêu cầu bảo trì và tăng độ tin cậy trong vận hành lâu dài.

- Chi phí sản xuất: Sử dụng nam châm đất hiếm với thiết kế tối ưu giúp giảm chi phí sản xuất, làm cho máy phát điện SPM trở thành lựa chọn kinh tế hơn.

4. KẾT LUẬN

Hệ thống tuabin gió với các tuabin được thiết kế theo kiểu halbach nam châm đưa ra nhiều lợi ích. Giá thành vật liệu rẻ bằng việc sử dụng nam châm đất hiếm, mang lại nhiều tiềm năng cho ngành năng lượng tái tạo trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ion Boldea, Syed A. Nasar, "The Induction Machine Handbook (Electric Power Engineering Series)" p447-473, 1st Edition, 2001.
- [2] Hung Vu Xuan, "Modeling of exterior rotor permanent magnet machines with concentrated windings", TU Delft publisher, Thesis, 2012.
- [3] Cornelia Stuebig, Axel Seibel, Klaus Schleicher, Lena Haberjan, Markus Kloeppzig, and Bernd Ponick, "Electromagnetic Design of a 10 MW Permanent Magnet Synchronous Generator for Wind Turbine Application", IEEE International Conference on Electric Machines and Drives, p1202 – 1208, 2015.
- [4] Peter J. Schubel and Richard J. Crossley – "Wind Turbine Blade Design" taylorfrancis publisher, book, p1-34, 1st Edition, 2014.
- [5] Amir Raouf, Kotb B. Tawfiq, Elsayed Tag Eldin, Hossam Youssef and Elwy E. El - Kholly – "Wind Energy Conversion Systems Based on a Synchronous Generator: Comparative Review of Control Methods and Performance" Energies, 16, 2147. 2023.

Thông tin liên hệ: **Phan Hoài Nam**

Điện thoại: 0972892099 - Email: phnam@uneti.edu.vn

Khoa Điện - Tự động hóa, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.