

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO TUA-BIN GIÓ CÔNG SUẤT NHỎ VỚI MÁY PHÁT ĐIỆN CÓ NAM CHÂM VĨNH CỬU ĐẶT NGHIÊNG

STUDYING, DESIGNING AND MANUFACTURING SMALL WIND TURBINE WITH SKEWED MOUNTED PERMANENT MAGNET GENERATOR

Đinh Ngọc Sơn, Ngô Văn Minh, Nguyễn Thế Bảo
Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Ở Việt Nam, tiềm năng về năng lượng tái tạo rất dồi dào và cần được khai thác một cách hiệu quả. Không những thế, Việt Nam là một quốc gia gần biển cho nên năng lượng gió chiếm ưu thế trong lĩnh vực năng lượng tái tạo. Trong thiết kế và chế tạo tua-bin gió, ngoài yếu tố về cánh ra thì yếu tố về máy phát điện sử dụng nam châm vĩnh cửu được đặt nghiêng cần được xem xét và phân tích. Việc đặt nghiêng thanh nam châm so với việc đặt thẳng nam châm có sự khác nhau giữa mô-men khởi động của hai trường hợp. Trường hợp nam châm đặt nghiêng sẽ giúp giảm thiểu được mô-men xoắn khởi động của máy phát điện. Đồng thời, Việt Nam là quốc gia có vận tốc gió không được cao so với các nước khác nên việc sử dụng nam châm đặt nghiêng trong máy phát điện sẽ hữu dụng hơn cho phát triển điện gió ở nước ta.

Từ khóa: *Máy phát điện đồng bộ sử dụng nam châm vĩnh cửu; Giảm thiểu mô-men xoắn khởi động; Tua-bin gió công suất nhỏ; Nam châm đặt nghiêng.*

ABSTRACT

In Vietnam, potential of renewable energy is profusion and need to exploited one effective. Not only that, Vietnam is a country near the sea so wind energy is dominant in the field of renewable energy. In design and manufacturing wind turbine, in addition to the blade, the generator using skewed permanent magnets needs to be considered and analyzed. Tilting the magnet bar compared to placing the magnet straight has a difference between the starting torque of the two cases. In case the magnet is skewed, it will help diminish the starting torque of the generator. At the same time, Vietnam is a country with wind speeds thats are not high compared to other countries, so using tilted magnets in generator will be more useful for developing wind power in our country.

Keywords: *Synchronous generators use permanent magnets; Minimizing starting torque; Small capacity wind turbines; Skewed permanent magnet.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Như chúng ta đã biết thì biến đổi khí hậu trong thời gian gần đây đang có xu hướng gia tăng, mà phần lớn nguyên nhân là do các hoạt động sản xuất năng lượng từ nhiên liệu hóa thạch. Tại hội nghị COP 28, Thủ tướng Phạm Minh Chính dự và đưa ra một bài phát biểu khẳng định quyết tâm của Việt Nam trong việc thực hiện cam kết giảm phát thải ròng đạt mức bằng không vào năm 2050. Để thực hiện được điều đó thì việc thúc đẩy phát triển năng lượng tái tạo là hết sức cần thiết.

Một điều may mắn cho nước ta là có đường bờ biển dài và các hải đảo, cho nên chuyển đổi từ năng lượng hóa thạch sang năng lượng gió là một trong những chiến lược quan trọng để phát triển bền vững. Mặc dù điện gió có tiềm năng như thế nhưng vẫn còn hạn chế ở nước ta chủ yếu là do chưa có đủ nguồn vốn để xây dựng và thường là nhập từ nước ngoài về.

Trong tua-bin gió gồm hai phần quan trọng nhất là cánh được thiết kế theo biên dạng của khí động lực học và máy phát điện. Máy phát điện có thể được coi là trái tim của tua-bin gió bởi vì nó là nơi chuyển đổi năng lượng gió thành năng lượng điện. Để quay được máy phát điện thì yếu tố mô-men xoắn giữa cánh và máy phát điện cần được quan tâm.

Do sự phát triển của công nghệ điện tử công suất, máy phát điện đồng bộ nam châm vĩnh cửu (PMSG) được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống phát điện gió hiện nay thay vì máy phát điện cảm ứng kích từ. So với máy phát điện cảm ứng kích từ, PMSG có hiệu suất cao hơn và cấu trúc đơn giản hơn vì nó có nam châm vĩnh cửu thay vì cuộn dây từ trường trong rô-to. Tuy nhiên, mô-men xoắn làm giảm hiệu suất và tăng tốc độ khởi động của hệ thống tạo gió được tạo

ra bởi lực hút giữa lõi stato và nam châm rô-to. Các phương pháp thông thường để giảm mô-men xoắn của PMSG bao gồm thay đổi chiều dài khe hở không khí, bố trí nam châm vĩnh cửu không đối xứng, độ lệch của stato hoặc rô-to và thay đổi hình dạng của răng stato [1].

Trong bài báo này, phương pháp được đề xuất sử dụng là tạo ra độ lệch của thanh nam châm đặt trên rô-to so với trục của nó để làm giảm mô-men khởi động, đồng thời so sánh được giữa công suất của máy phát điện khi nam châm đặt thẳng và đặt nghiêng. Kết quả được kiểm chứng bằng phương pháp thực nghiệm thực tế.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

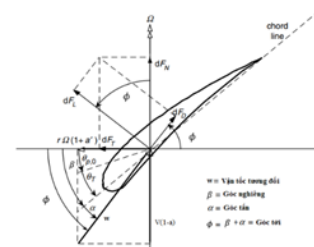
2.1. Thiết kế cánh tua-bin

Tua-bin gió nằm ngang, có 03 cánh; Tốc độ gió $V = 7 \text{ m/s}$; Công suất tua-bin $P = 300 \text{ W}$; Mật độ không khí $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$; Cánh được sử dụng là cánh xoắn có biên dạng NACA 4412.

Bán kính của cánh tua-bin gió được tính toán theo công thức sau:

$$R = \sqrt{\frac{2P}{C_p \cdot \eta \cdot \rho \cdot \pi \cdot V^3}} \quad (1)$$

Trong công thức: P là công suất mà tua-bin phát ra điện; C_p là hiệu suất của cánh; η là hiệu suất của máy phát điện; V là vận tốc gió.



Hình 1. Lực tác dụng lên phân bố cánh [2]

$C_L = 1,2002$ là hệ số lực nâng; $C_D = 0,01536$ là hệ số lực cản tại góc tấn $\alpha = 7^\circ$; w là vận tốc gió tương đối; c là dây cung.

Từ hình trên, góc tới và các lực tác dụng lên mặt cắt cánh được tính toán theo các công thức sau:

$$\tan \phi = \frac{V(1-a)}{\Omega r(1+a')} = \frac{1-a}{\lambda_r(1+a')} \quad (2)$$

$$dF_L = \frac{1}{2} \rho w^2 C_L \cdot c \cdot dr \quad (3)$$

$$dF_D = \frac{1}{2} \rho w^2 C_D \cdot c \cdot dr \quad (4)$$

$$dF_N = dF_L \cdot \cos \phi + dF_D \cdot \sin \phi \quad (5)$$

$$dF_T = dF_L \cdot \sin \phi - dF_D \cdot \cos \phi \quad (6)$$

Bảng 1. Thông số thiết kế cánh NACA 4412

Phần tử thứ i	Dây cung c (mm)	Góc đặt cánh β	Lực dọc trục F_N	Lực vòng F_T
1	181,0	30,82	0,331	0,250
2	164,0	19,06	0,662	0,313
3	131,1	12,19	0,993	0,331
4	106,0	7,99	1,325	0,337
5	88,1	5,24	1,656	0,337
6	75,0	3,32	1,987	0,336
7	65,1	1,91	2,318	0,333
8	57,5	0,83	2,649	0,330
9	51,4	-0,01	2,980	0,327
10	46,5	-0,70	3,311	0,323

Từ bảng 1, tổng lực dọc trục và tổng mô-men tác dụng trên ba cánh được tính toán như sau:

$$F_N = 3 \cdot \sum_{x=i}^{10} (dF_{Ni}) \quad (7)$$

$$T = 3 \cdot \sum_{x=i}^{10} (r_i \cdot dF_{Ti}) \quad (8)$$

2.2. Thiết kế máy phát điện

Thiết kế máy phát điện nam châm vĩnh cửu (PMSG) bằng các phương trình dưới đây: Hằng số Arnold:

$$C_A = \frac{60}{\pi^2 \cdot \alpha_\delta \cdot k_B \cdot k_0 \cdot A \cdot B_\delta} \quad (9)$$

Công suất máy phát điện:

$$S = D^2 \cdot L \cdot \frac{n}{C_A} \quad (10)$$

Trong đó: α_δ là hệ số tính toán cung cực từ; k_B là hệ số sóng; k_0 là hệ số dây quấn; A là mật độ dòng điện dài; B_δ là mật độ từ thông trong khe hở không khí; D là đường kính trong của stato; L là bề ngang của stato.

Số vòng dây trong một pha:

$$N = \frac{U_{pha}}{4 \cdot k_B \cdot k_0 \cdot f \cdot \phi_\delta} \quad (11)$$

Công suất biểu kiến định mức của máy phát được tính theo công thức:

$$S_{dm} = \sqrt{3} \cdot U_d \cdot I_d \quad (12)$$

Trong đó: n là tốc độ quay; f là tần số; ϕ_δ là từ thông khe hở không khí; U_d là điện áp trên dây; I_d là dòng điện trên dây.

Máy phát được sử dụng trong nghiên cứu này là bộ truyền động trực tiếp, rô-to bên trong, từ thông hướng tâm và cấu trúc nam châm vĩnh cửu. PMSG là máy có hiệu suất cao, sản xuất dễ dàng, dao động mô-men xoắn thấp và mật độ công suất cao. Máy phát được kết nối trực tiếp với tua-bin gió mà không cần bất kỳ hệ thống bánh răng nào và tính ưu việt đó khiến PMSG thường được sử dụng trong tua-bin gió [3]. Các thông số thiết kế của máy phát điện được tóm tắt trong Bảng 2.

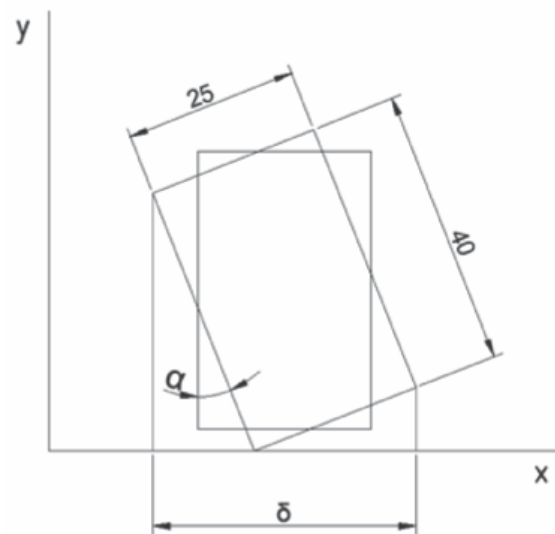
Bảng 2. Thông số thiết kế của PMSG

Thông số	Giá trị	Đơn vị	Ghi chú
Kiểu máy phát điện	3 pha, đầu Y		
Công suất định mức	300	W	Chọn trước
Tốc độ định mức	365	vg/phút	Chọn trước
Điện áp dây định mức	48	V	Chọn trước
Nam châm	N42		40x25x10mm
Lõi stato	M19		
Đường kính ngoài của stato	225	mm	Tính toán
Đường kính trong của stato	145	mm	Chọn trước
Bề ngang của stato	40	mm	Tính toán
Khoảng hở không khí	2	mm	
Số cực	12		
Số rãnh của stato	36		Chọn trước

Mô-men xoắn trong máy phát nam châm vĩnh cửu là do tương tác từ giữa stato và nam châm đặt trên rô-to. Hiệu ứng này là không mong muốn vì nó tạo ra tiếng ồn và độ rung trong máy. Giá trị cao của mô-men xoắn ngăn cản rô-to quay và do đó tua-bin gió không thể khởi động ở tốc độ gió thấp. Mô-men xoắn có thể được viết dưới dạng hàm của từ trở, từ thông khe hở không khí và vị trí rô-to [4]:

$$T_{cog} = -\frac{1}{2} \phi_g^2 \frac{dR}{d\theta} \quad (13)$$

Trong đó: ϕ_g là từ thông khe hở không khí; R là từ kháng trên khe hở không khí; θ là vị trí góc của rô-to. Từ công thức (13), ta có thể giảm mô-men xoắn bằng cách giảm từ thông khe hở không khí hoặc là giảm từ kháng trên khe hở không khí.



Hình 2. Góc nghiêng của nam châm N42

Góc nghiêng α được tính sao cho đoạn thẳng δ nhỏ hơn hoặc bằng bước cực.

Từ hình 2, công thức sau được suy ra:

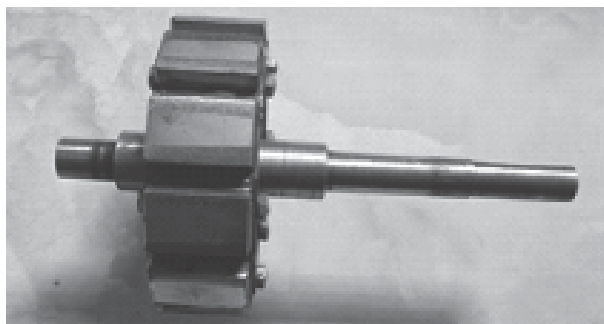
$$\delta = 40 \cdot \sin(\alpha) + 25 \cdot \cos(\alpha) \quad (14)$$

Bước cực được tính theo công thức:

$$t = \frac{\pi \cdot D}{2p} \quad (15)$$

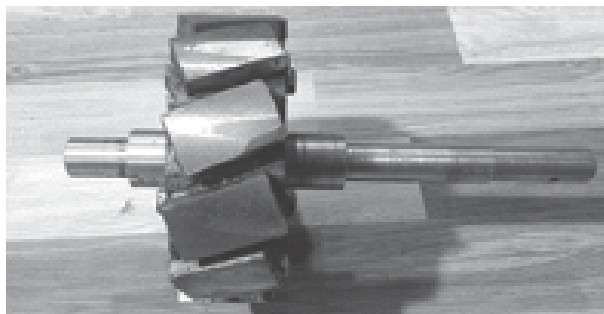
3. THỰC NGHIỆM

Địa điểm chế tạo là xưởng gia công cơ khí, chế tạo máy phát điện và được đo đặc số liệu trên máy tiện có thể thay đổi được tốc độ quay, số liệu được đo đặc bằng đồng hồ VOM.



Hình 3. Nam châm đặt thẳng

Sau khi tiến hành đo đặc nam châm thẳng xong, tiến hành gỡ nam châm ra và dán lại theo góc nghiêng như hình dưới đây, góc nghiêng được đặt nghiêng trong bài nghiên cứu này là $21,6^\circ$.



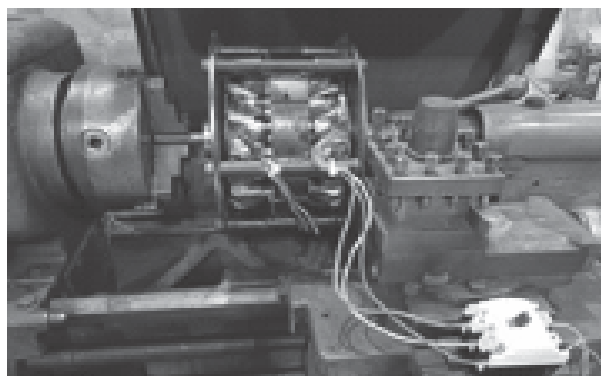
Hình 4. Nam châm đặt nghiêng

Góc nghiêng trong hình 4 được đặt sao cho khoảng cách điểm đầu đến điểm cuối phải nằm trong một cực của cuộn dây ở stato.



Hình 5. Rô-to được đặt vào trong stato

Sau khi lắp xong, máy phát được đưa vào máy tiện để đo dòng điện và điện áp của hai trường hợp nam châm đặt thẳng và đặt nghiêng. Tốc độ quay đo đặc được đo từ 100 vòng/phút tới 650 vòng/phút.

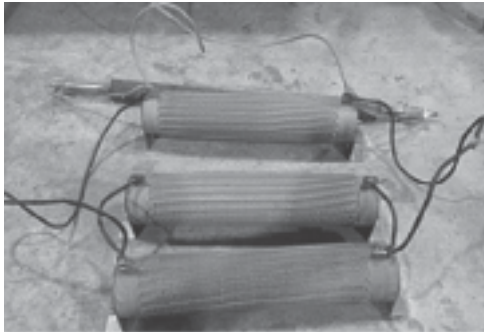


Hình 6. Máy phát được đặt lên máy tiện



Hình 7. Đồng hồ đo tốc độ quay của máy tiện

Ở đây, cầu diode được sử dụng để chuyển từ điện xoay chiều về một chiều và sử dụng tải là điện trở 9Ω thuộc loại điện trở công suất để thực nghiệm máy phát.



Hình 8. Điện trở công suất

Các số liệu được đo trên đồng hồ VOM, Đồng hồ bên trái dùng để đo cường độ dòng điện và đồng hồ bên phải dùng để đo điện áp (hình 9).



Hình 9. Đồng hồ đo số liệu

Đối với việc đo đặc mô-men xoắn, do không đủ thiết bị đo đặc mô-men cần khi mang tải nên chỉ có thông số của mô-men khởi động được đo đặc. Phương pháp để đo là sử dụng đồng hồ để đo trọng lượng và từ đó tìm ra được mô-men khởi động. Khoảng cách cánh tay đòn được chọn trước là 0,5 mét.



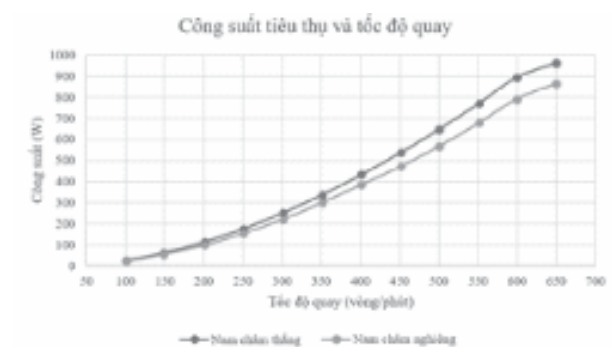
Hình 10. Gắn cánh để đo mô-men khởi động



Hình 11. Đồng hồ đo trọng lượng

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả đo công suất của máy phát



Hình 12. Kết quả thực nghiệm theo công suất tiêu thụ

Kết quả đo đặc thu được công suất trên tải từ điện áp và dòng điện khi đã được chuyển về điện một chiều được thể hiện trên hình 12 🖱️

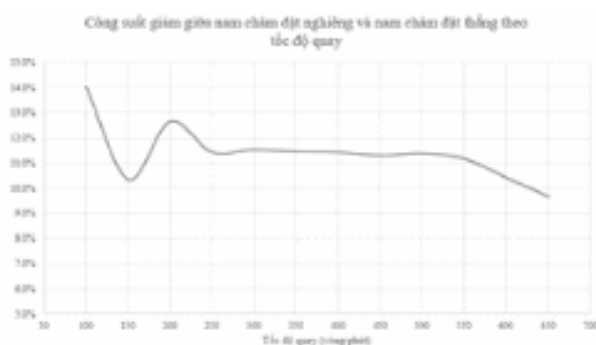
cho thấy được sự chênh lệch giữa nam châm đặt thẳng và nam châm đặt nghiêng. Công suất tiêu thụ trên tải giảm khi nam châm đặt nghiêng.



Hình 13. Kết quả thực nghiệm theo công suất tiêu kiến của tải

Kết quả đo đặc thu được công suất trên máy phát xoay chiều được thể hiện trên hình 13. Kết quả từ hình 13 cho thấy được việc đặt nam châm nghiêng công suất sẽ bị giảm đi so với khi đặt nam châm thẳng.

Phần trăm công suất bị giảm đi được lấy dữ liệu từ công suất tại từng tốc độ quay khác nhau để so sánh giữa đặt thẳng và đặt nghiêng của nam châm vĩnh cửu được phân tích ở hình 14.



Hình 14. Phần trăm công suất bị giảm

Công suất tiêu thụ khi nam châm đặt nghiêng giảm từ 10-14% so với khi đặt nam châm thẳng theo từng tốc độ quay. Do góc nghiêng của nam châm được đặt ở vị trí nghiêng

nhất có thể nên hình 14 có thể được coi là phần trăm công suất tiêu thụ bị sụt giảm tối đa ứng với từng tốc độ quay khác nhau.

4.2. Kết quả đo mô-men khởi động

Đối với nam châm đặt thẳng, kết quả đo được thể hiện trong hình 15.



Hình 15. Mô-men xoắn khởi động của nam châm đặt thẳng

Đối với nam châm đặt nghiêng, kết quả đo được thể hiện trong hình 16.



Hình 16. Mô-men xoắn khởi động của nam châm đặt nghiêng

Trường hợp nam châm đặt thẳng, mô-men xoắn khởi động được tính như sau:

$$T_1 = 0,385.9,81.0,5 = 1,89 \text{ Nm}$$

Trường hợp nam châm đặt nghiêng:

$$T_2 = 0,035.9,81.0,5 = 0,17 \text{ Nm}$$

Mô-men xoắn giảm khi nam châm đặt nghiêng:

$$\%T_{de} = 100 \left(1 - \frac{0,17}{1,89} \right) = 91\%$$

Như vậy, so sánh mô-men xoắn khởi động giữa hai trường hợp, thì trường hợp nam châm đặt nghiêng thì mô-men xoắn khởi động giảm đi 91% so với nam châm đặt thẳng. Từ thực nghiệm thực tế, nam châm đặt nghiêng rất có lợi cho việc khởi động cũng như hoạt động của tua-bin gió.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu, thiết kế và chế tạo máy phát điện dùng cho tua-bin gió trục ngang công suất nhỏ. Kết quả thực nghiệm cho thấy công suất của máy phát điện nam châm đặt nghiêng thấp hơn công suất của nam châm đặt thẳng khoảng từ 10-14%. Ngược lại, mô-men xoắn khởi động của nam châm đặt nghiêng giảm so với nam châm đặt thẳng là 91%. Cùng với đó, hiện tượng răng cưa trong

máy phát điện do lực hút giữa lõi stato và nam châm giảm một cách rõ rệt. Việc nam châm vĩnh cửu được đặt nghiêng cũng đồng thời làm giảm sự rung động của máy phát khi vận hành và làm cho máy có tuổi thọ cao hơn. Ứng dụng nam châm đặt nghiêng sẽ mang lại một bước tiến lớn trong ngành sản xuất điện gió vừa và nhỏ ở nước ta. ❖

Ngày nhận bài: 17/4/2024

Ngày phản biện: 12/5/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Yoo J.H., Park C.S. and Jung T.U. (2017), “Permanent magnet structure optimization for cogging torque reduction of outer rotor type radial flux permanent magnet generator”, IEEE International Electric Machines and Drives Conference, Miami, FL, USA.
- [2]. J. F. Manwell, J. G. McGowan and A. L. Rogers (2009), “Wind energy explained theory, design and application”, 2nd ed, John Wiley & Sons Ltd.
- [3]. Zala B.O. and Pugachov V. (2017), “Methods to Reduce cogging torque of permanent magnet synchronous generator used in wind power Plants”, Elektronika Ir Elektrotechnika, 23: 43-48.
- [4]. Dosiek L. and Pillay R. (2007), “Cogging torque reduction in permanent magnet machines”, IEEE Transactions on Industry Applications, 43: 1565-1570.