

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN MÁY PHÁT ĐIỆN GIÓ TRỤC ĐỨNG CÔNG SUẤT NHỎ TỰ ĐIỀU CHỈNH CÁNH THEO HƯỚNG GIÓ

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE SMALL VERTICAL AXIS WIND TURBINE WITH MOVING BLADES RELATED TO WIND DIRECTION

Đặng Thiệp Ngôn, Phùng Tấn Lộc

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh

Ngày tòa soạn nhận bài 18/8/2016, ngày phản biện đánh giá 19/8/2016, ngày chấp nhận đăng 25/8/2016

TÓM TẮT

Máy phát điện gió trục đứng công suất nhỏ có thể hoạt động với tốc độ gió nhỏ ($v < 6$ m/s) là một vấn đề đang được quan tâm nghiên cứu phát triển. Đã có nhiều giải pháp được đưa ra như tối ưu biên dạng cánh, sử dụng vật liệu nhẹ cho cánh và các kết cấu liên quan, tăng hiệu suất dynamo, sử dụng các ổ trục có ma sát nhỏ, tự điều chỉnh cánh theo hướng gió, ... Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu về giải pháp tự điều chỉnh cánh theo hướng gió dựa vào độ lệch tâm của trục mang chong chóng gió và trục quay của tuabin máy phát điện gió trục đứng. Một cơ cấu tự điều chỉnh cánh theo hướng gió với các độ lệch tâm tính toán 45, 50, 55, 60 mm đã được thiết kế và thử nghiệm. Các thí nghiệm cho thấy, cơ cấu tự điều chỉnh cánh theo hướng gió với độ lệch tâm 50 mm giúp máy phát điện gió trục đứng công suất nhỏ với biên dạng cánh NACA có thể hoạt động ở tốc độ gió vào khoảng 2,5 m/s.

Từ khóa: VAWT; NACA; tốc độ gió; độ lệch tâm; hướng gió.

ABSTRACT

Small vertical axis wind turbine (VAWT), which can operate under small velocity ($v < 6$ m/s), is an issue that is being researched to develop further. A lot of solutions have been suggested such as using light material for blades and other structures, increasing efficiency of dynamo, using bearings having small friction coefficient, moving blades related to wind direction, etc. This study aims at the solution of moving blades related to wind direction, which bases on the eccentricity of wind vane's axis and VAWT's rotating axis. A moving blade structure automatically adjustable to follow wind direction with calculated eccentricities 45, 50, 55 and 60 mm are designed and experimented. The results show that in eccentricity value of 50 mm which makes the small VAWT utilizing NACA airfoil type operate at wind velocity of about 2.5 m/s.

Keywords: VAWT; NACA; wind velocity; eccentricity; wind direction.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

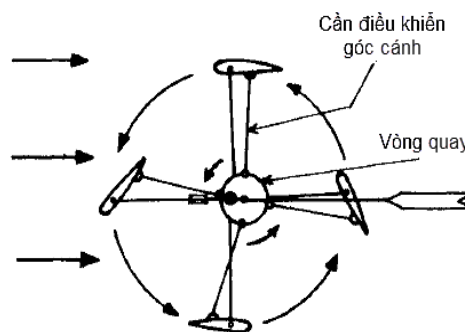
Nhu cầu sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo, đặc biệt là nguồn năng lượng gió, để chuyển đổi thành năng lượng điện phục vụ cho nhu cầu điện sinh hoạt ở các khu vực vùng sâu vùng xa, miền núi chưa có nguồn điện lưới quốc gia hiện đang được quan tâm

rộng rãi. Bên cạnh đó, ở các thành phố lớn việc nghiên cứu ứng dụng năng lượng gió cũng đang được đầu tư để tăng tỉ lệ nguồn điện sạch góp phần bảo vệ môi trường. Tuy nhiên, ngoài các trạm phát điện gió công suất lớn có thể được lắp đặt ở một số nơi xác

định, việc ứng dụng năng lượng gió ở các thành phố lớn gặp phải một khó khăn lớn là gió trong thành phố có vận tốc nhỏ ($v < 6$ m/s). Do vậy, việc nghiên cứu, phát triển các máy phát điện gió công suất nhỏ có thể hoạt động với vận tốc dưới 6 m/s là chủ đề nóng trong những năm gần đây trên thế giới cũng như ở trong nước.

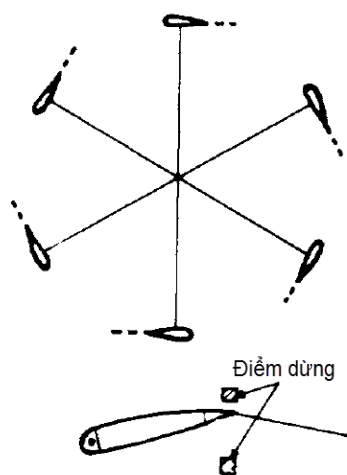
Các máy phát điện gió công suất nhỏ hiện nay đều có ở dạng trục ngang và trục đứng. Xét theo các giới hạn như: diện tích không gian nhỏ, vận tốc gió tương đối thấp, hướng gió không ổn định thì máy phát điện gió trục đứng phù hợp hơn vì có kết cấu đơn giản, nhỏ gọn, dễ lắp ráp và sửa chữa cũng như lợi thế về giá thành [1-3]. Về hiệu suất thì máy phát điện gió trục ngang có cao hơn nhưng lại phụ thuộc lớn vào hướng gió và tốc độ gió. Trong thành phố với nhiều nhà cao tầng, khoảng không gian chật hẹp, gió quẩn thì máy phát điện gió công suất nhỏ dạng trục đứng là lựa chọn phù hợp. Vấn đề đặt ra là làm thế nào để các máy phát điện này có hiệu suất cao hơn và hoạt động được ở vận tốc gió thấp. Đã có nhiều giải pháp được đưa ra như tối ưu biên dạng cánh [4], sử dụng vật liệu nhẹ cho cánh và các kết cấu liên quan [5], tăng số lượng cánh, tăng hiệu suất dynamo [6], sử dụng các ổ trục có ma sát nhỏ [7], tự điều chỉnh cánh theo hướng gió,... [8]. Trong các giải pháp đã nêu, giải pháp tự điều chỉnh cánh theo hướng gió là một trong các giải pháp cho hiệu suất phát điện lớn do giúp tuabin gió có mômen lớn nên có thể hoạt động ở vận tốc gió nhỏ.

Một giải pháp tự điều chỉnh cánh là nguyên lý “vòng quay lệch tâm” (cam lệch tâm) [8]. Khi luồng gió tác dụng lên chong chóng gió làm quay trục mang chong chóng gió được đặt lệch tâm với trục tuabin làm cánh tuabin được điều chỉnh luôn hướng vuông góc với luồng gió (hình 1).



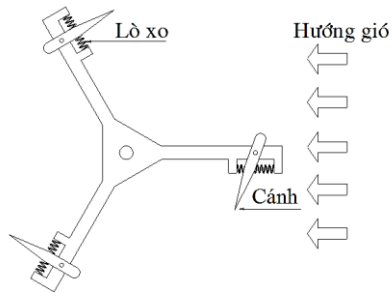
Hình 1. Phương pháp điều chỉnh cánh theo nguyên lý vòng quay lệch tâm

Một giải pháp tự điều chỉnh cánh khác là phương pháp ly tâm của khối lượng quay để thay đổi góc cánh [8, 9]. Khi tốc độ gió thay đổi sẽ làm tốc độ quay của tuabin thay đổi dẫn đến lực ly tâm của vật quay cũng thay đổi tác dụng lên cơ cấu xoay cánh tuabin (hình 2).



Hình 2. Phương pháp điều chỉnh cánh bằng ly tâm của khối lượng quay

Nguyên lý điều chỉnh cánh bằng đòn bẩy lò xo cũng là một giải pháp có thể áp dụng cho các tuabin gió trục đứng công suất nhỏ. Khi luồng gió tác dụng vào làm cánh làm xoay cánh đi một góc để đón gió làm tuabin quay. Cơ cấu điều chỉnh này khá đơn giản nhưng có nhược điểm là góc xoay cánh phụ thuộc vào vận tốc gió và lực kéo lò xo, đáp ứng khá chậm khi hướng gió thay đổi. Ngoài ra yêu cầu vận tốc gió phải lớn hơn lực kéo lò xo (hình 3).



Hình 3. Phương pháp điều chỉnh cánh
 đòn bẩy - lò xo [8]

Một số kết cấu điều chỉnh cánh tuabin bằng động cơ bước, động cơ servo cũng đã được nghiên cứu đề xuất [8]. Ngoài ra, điều chỉnh cánh bằng động cơ bước, động cơ servo còn được sử dụng để điều chỉnh các cánh của tuabin nhằm mục đích giảm bề mặt hứng gió giúp tuabin giảm tốc độ quay khi gió lớn hơn tốc độ thiết kế. Tuy nhiên, giải pháp sử dụng động cơ bước, động cơ servo chỉ phù hợp cho các hệ thống tuabin gió có công suất lớn.

Với định hướng phát triển tuabin phát điện gió công suất nhỏ có thể hoạt động được trong không gian thành phố, máy phát điện tuabin gió trục đứng công suất nhỏ (VAWT) tự điều chỉnh cánh theo nguyên lý cam lệch tâm đã được xem xét, nghiên cứu phát triển với các thông số thiết kế như sau:

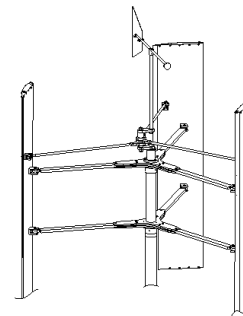
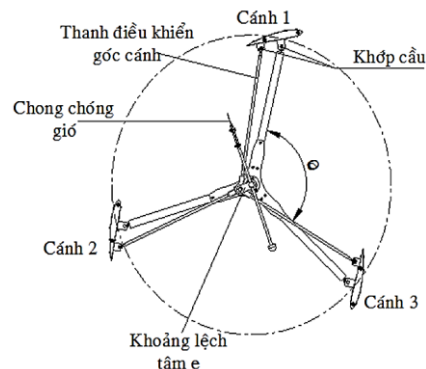
- Tuabin gió kiểu trục đứng (VAWT)
- Biên dạng cánh theo kiểu dáng cánh NACA
- Vận tốc gió máy bắt đầu hoạt động $V_0 = 3,0 \text{ m/s}$
- Công suất nguồn điện phát $P_{mw} < 75 \text{ W}$

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Khi VAWT vận hành xảy ra hiện tượng dao động theo chu kỳ có liên quan đến số cánh. VAWT với 2 cánh có mômen dao động cao hơn VAWT 3 cánh [10]. Vị trí cánh phản ánh sự thay đổi động lực học trên cánh, là nguyên nhân gây ra mômen xoắn thay đổi bất thường [11]. Với VAWT có 3 cánh, góc phương vị $\theta_3 = 120^\circ$ sẽ nhỏ hơn góc phương

vị của VAWT 2 cánh ($\theta_2 = 180^\circ$) nên có mômen xoắn nhỏ, ảnh hưởng tới lực động lực học tương đối đều. Hơn nữa, VAWT 3 cánh có chi phí ít hơn VAWT 4 cánh [11].

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất phương án thiết kế VAWT với cơ cấu điều chỉnh cánh theo hướng gió bằng cam lệch tâm với các cánh có biên dạng cánh NACA (hình 4). Trong đó, trục mang chong chóng gió được đặt lệch tâm với trục của tuabin một khoảng lệch tâm e . Với một hướng gió xác định, chong chóng gió sẽ quay và có chiều theo hướng gió. Lúc đó các cam (cơ cấu điều chỉnh) quay làm góc cánh của từng cánh thay đổi để hứng gió làm quay tuabin. Trong quá trình quay, 3 cánh vừa quay vừa thay đổi góc cánh liên tục kế tiếp nhau đón gió và xếp cánh lại để lướt gió. Quá trình đó được thực hiện theo chu kỳ trong suốt thời gian tuabin hoạt động. Bằng phương thức điều chỉnh bằng cam này, VAWT hoạt động được với mọi hướng gió khác nhau và có được vận tốc quay cao nhất.



Hình 4. Phương thức điều chỉnh cánh
 bằng cơ cấu lệch tâm (cam)

2.1 Công suất và hiệu suất gió tuabin

Công suất gió là công suất cho bởi động năng của gió trong một diện tích được xác định theo công thức [12]:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V_0^3 \quad (1)$$

Trong đó:

ρ - Khối lượng riêng không khí, kg/m³

A - Diện tích quét của cánh, m²

V_0 - Vận tốc gió, m/s

Hiệu suất của tuabin gió ở điều kiện thông thường có hệ số công suất [12]:

$$C_p = \frac{P_m}{P_w} = \frac{P_m}{\frac{1}{2} \rho A V_0^3} \quad (2)$$

Cánh tuabin gió được chia thành hai mặt: mặt cản và mặt nâng. Với mặt cản tuabin sẽ sinh ra chuyển động bởi dòng không khí cản. Và với mặt nâng, tuabin cũng sẽ sinh ra chuyển động do dòng không khí nâng cánh. Tỷ số giữa tốc độ vòng quay tại đầu cánh quạt và tốc độ của gió được gọi là tỷ số tốc độ gió đầu cánh λ [13] được xác định qua biểu thức:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_0} \quad (3)$$

Trong đó:

ω - Vận tốc góc cánh, m/s

Theo lý thuyết, với $\lambda < 1$, khi V_0 thấp thì lực cản tuabin nhỏ và ngược lại. Để có được lực nâng tuabin lớn, thông thường cần phải làm giảm lực cản khi V_0 cao. Như vậy, hệ số công suất C_p sẽ tăng [13].

Theo giới hạn Betz, một tuabin gió ở điều kiện lý tưởng với trường hợp số cánh vô hạn thì hệ số công suất C_p có giá trị lớn nhất được tính theo công thức [12]:

$$C_{p_{max}} = \frac{16}{27} \approx 0,593 \quad (59,3\%) \quad (4)$$

Biết rằng, lực nâng cánh và cản cánh được tính như sau:

$$\text{- Lực nâng cánh: } F_l = \frac{1}{2} \rho V_0^2 A C_l \quad (5a)$$

$$\text{- Lực cản cánh: } F_d = \frac{1}{2} \rho V_0^2 A C_d \quad (5b)$$

Trong đó:

A - Diện tích hứng gió của cánh, m²

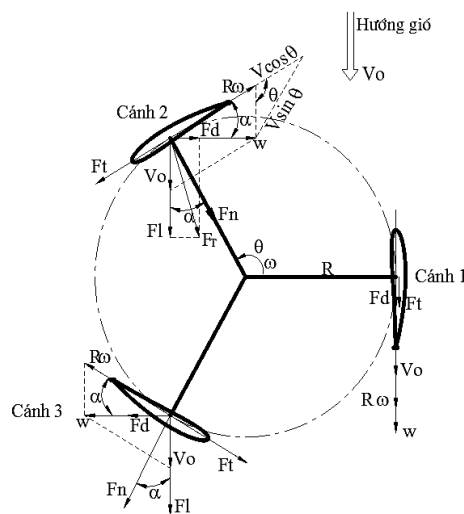
C_d - Hệ số cản

C_l - Hệ số nâng

Như vậy, khi thay đổi diện tích bề mặt hứng gió của cánh tuabin thì hệ số nâng C_l và hệ số cản C_d cánh thay đổi. Tức là khi thay đổi lực tác dụng lên cánh, lực nâng và lực cản của cánh sẽ làm quay tuabin. Tỷ số C_d/C_l ảnh hưởng đến hiệu suất sử dụng năng lượng gió của tuabin.

2.2 Động lực học cánh tuabin

Các thông số trên cánh VAWT được phân tích theo động lực học của chong chóng gió như chỉ ra ở hình 5.



Hình 5. Phân tích động lực học cánh tuabin gió trục đứng

Hình vẽ được xét là tuabin gió trực đứng có 3 cánh, biên dạng cánh NACA. Trong điều kiện hướng gió được cố định theo một phương. Tuabin có bán kính R (m), vận tốc góc ω (rad/s), vận tốc gió ban đầu V_0 (m/s), vận tốc tương đối của gió W (m/s). Thành phần vận tốc pháp tuyến V_n (m/s), vận tốc tiếp tuyến V_t (m/s):

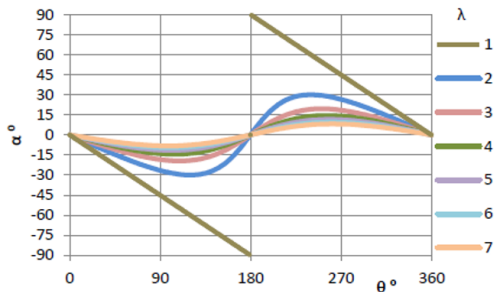
$$V_t = \omega R + V_0 \cdot \cos\theta \quad (6)$$

$$V_n = -V_0 \cdot \sin\theta \quad (7)$$

Quan hệ giữa góc phương vị θ , góc cánh (góc thay đổi vị trí cánh) α [3]:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{V_n}{V_t}\right) = \tan^{-1}\left(-\frac{\sin\theta}{\cos\theta + \lambda}\right) \quad (8)$$

Hình 6 mô tả quan hệ giữa góc α và θ . Qua sơ đồ cho thấy, α không phụ thuộc vào V_0 nhưng phụ thuộc vào λ . Khi λ tăng thì α giảm.



Hình 6. Sơ đồ thay đổi góc cánh α theo θ và λ [3]

Góc cánh α thay đổi giá trị “-“ hay giá trị “+” là do ảnh hưởng của hướng gió tới. Góc cánh α xoay lớn nhất có giá trị $\alpha = \pm 90^\circ$. Hệ số Reynolds được tính bởi:

$$Re = \frac{V_0 \sqrt{\lambda^2 + 1}}{\nu} c \quad (9)$$

Trong đó:

c - Chiều dài dây cung cánh, m

ν - Độ nhớt động học không khí, m^2/s

Không khí ở $20^\circ C$ ta có $\nu = 1,5 \cdot 10^{-5} m^2/s$ [14]. Lực sinh ra bởi động lực học trên cánh tuabin thu được hệ số C_d và C_l theo biên dạng cánh NACA. Lực đó phụ thuộc điều kiện của α và Re [15]. Hệ số C_d và C_l được xác định theo công thức [14]:

$$C_d = 1 - \cos 2\alpha \quad (10)$$

$$C_l = \sin 2\alpha \quad (11)$$

Từ hình 5 ta có lực đẩy F_T là lực do gió tác động vào tuabin qua cánh theo hướng dòng khí được tính qua lực tiếp tuyến F_t và lực pháp tuyến F_n như sau:

$$F_t = F_l \sin\alpha + F_d \cos\alpha \quad (12)$$

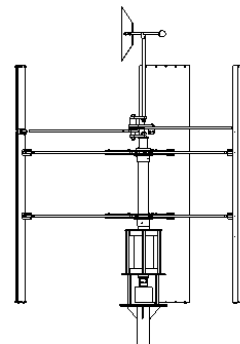
$$F_n = F_l \cos\alpha + F_d \sin\alpha \quad (13)$$

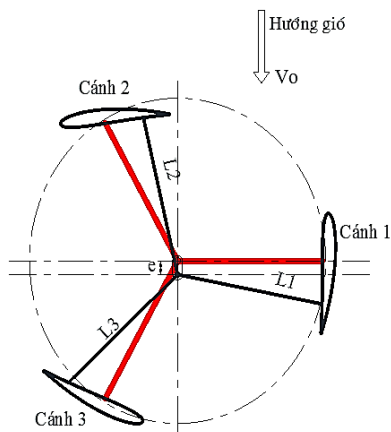
$$F_T = F_t \cos\theta - F_n \sin\theta \quad (14)$$

Khi phân tích động lực học cánh tuabin gió trực đứng (hình 5), ta nhận thấy góc α có ảnh hưởng quan trọng đến độ lớn lực đẩy F_T . Ở hình 6, khi λ nhỏ thì α lớn và tỉ số F_l/F_d nhỏ. Khi λ lớn thì α nhỏ, lực nâng cánh F_l nhỏ. Điều kiện tốt nhất là $\lambda = 3 \div 5$ để α đủ lớn, lực nâng cánh F_l cũng lớn và đủ để tỉ số F_l/F_d cao [13].

2.3 Thiết kế tuabin tự điều chỉnh cánh bằng cam lệch tâm

Kết cấu VAWT công suất nhỏ biên dạng cánh NACA2412 sử dụng cơ cấu tự điều chỉnh cánh theo hướng gió bằng cam lệch tâm được đề xuất như ở hình 7.





Hình 7. VAWT công suất nhỏ tự điều chỉnh cánh đón gió bằng cam

Để đảm bảo độ cứng vững của tuabin gió trực đứng khi thiết kế, đường kính của tuabin và chiều cao cánh được chọn cố định tỷ lệ theo biểu thức sau [16]:

$$\frac{D}{H} = 1,2 \Leftrightarrow D = 1,2.H \quad (15)$$

Trong đó:

D - Đường kính của tuabin (m)

H - Chiều cao của cánh gió (m)

Diện tích quét của tubin là:

$$A = \pi.D.H \Leftrightarrow A = 1,2.\pi.H^2 \quad (16)$$

Thay (15) và (16) vào (1) ta có:

$$P_{mv} = 75 = 0,625.1,2.\pi.H^2.3^3$$

$$\Rightarrow H = 1.08 \text{ m}$$

$$\text{Thế vào (15), } D = 1,2 * 1,086 = 1,3 \text{ m.}$$

Qui chuẩn, chọn: H = 1,1 m; D = 1,3 m.

Từ (16) ta có diện tích quét của rôto là:

$$A = \pi.1,3.1,1 = 4,49 \text{ m}^2$$

- Chiều dài dây cung cánh [17]:

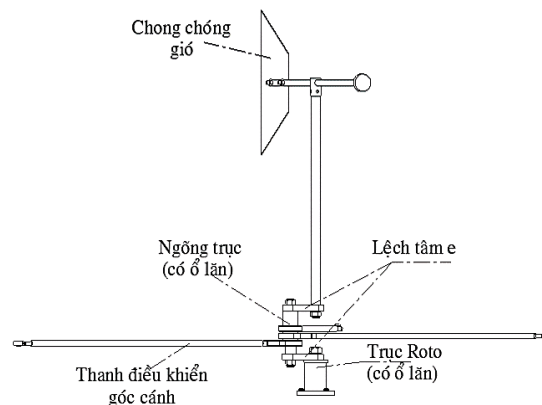
$$\frac{c}{R} = 0.374$$

$$\Rightarrow c = R.0,374 = 0,65.0,37 = 0,24 \text{ m}$$

Các thông số chính của cơ cấu điều chỉnh cánh gồm (hình 8):

- Các thanh điều khiển cánh L1, L2, L3 có cùng kích thước với bán kính VAWT, được liên kết với một trục phụ song song với trục tuabin bằng các ổ lăn. Các thanh này được bố trí xếp chồng lên nhau (song song nhau).
- Một đầu trục phụ liên kết với trục tuabin bằng một thanh ngang tạo thành một khoảng lệch tâm e với trục tuabin.
- Đầu kia của trục phụ liên kết với trục gắn chong chóng gió cũng bằng một thanh ngang sao cho trục gắn chong chóng gió cùng tâm với trục tuabin.

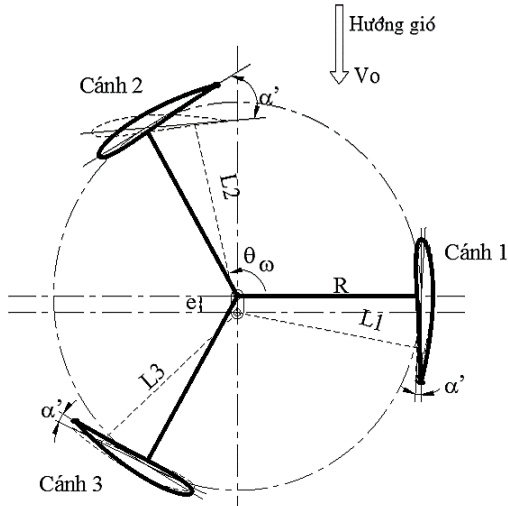
Như vậy, với kết cấu này ta thấy khi thay đổi khoảng cách lệch tâm e sẽ dẫn đến góc cánh α thay đổi sang góc α' (hình 9).



Hình 8. Cơ cấu điều chỉnh cánh

Để có được độ lệch tâm e phù hợp với góc cánh α hứng gió tốt nhất, tức là lực đẩy sinh ra trên từng cánh của VAWT đạt giá trị lớn nhất, mômen quay lớn nhất và tuabin quay nhanh nhất. Do đó để xác định e ta phải tính các lực đẩy trên 3 cánh F_{T1} , F_{T2} , F_{T3} . Dựa vào sơ đồ cơ cấu điều chỉnh cánh (hình 9) ta thấy: khi vận tốc gió cố định một hướng, nếu e tăng một giá trị thì góc cánh α trên 3 cánh sẽ có các giá trị góc cánh α_1' , α_2' , α_3' khác nhau. Ta khảo sát nhiều giá trị e khác nhau, tính toán các lực đẩy F_{Ti} theo các

công thức (12), (13), (14) và góc cánh α_i' tương ứng. Tiêu chí lựa chọn độ lệch tâm e tốt là tổng các lực đẩy ΣF_{Ti} lớn nhất, và góc cánh α_i' trên 3 cánh hứng gió tốt nhất.



Hình 9. Sự thay đổi góc cánh α'

Từ bảng số liệu (bảng 1) ta nhận thấy:

- Lực đẩy F_{T1} ở cánh 1 rất nhỏ. Vì góc α' thay đổi nhỏ, do đó cánh 1 ít cản gió ít gây ảnh hưởng đến mômen quay của tuabin.

- Lực đẩy ở cánh 2 (F_{T2}) tăng tỉ lệ thuận với độ lệch tâm e .

- Lực đẩy ở cánh 3 (F_{T3}) có giá trị tăng dần đến một giới hạn rồi giảm dần xuống. Giá trị lớn nhất của F_{T3} có được ứng với các độ lệch tâm $e = 50 \text{ mm}$ ($\Sigma F_{Ti} = 0,455 \text{ N}$) và $e = 55 \text{ mm}$ ($\Sigma F_{Ti} = 0,457 \text{ N}$).

- Các độ lệch tâm $e = 45, 50, 55, 60$ (mm) có giá trị lực đẩy tổng ΣF_{Ti} của 3 cánh vượt trội so với các độ lệch tâm khác. Đây sẽ là các giá trị sẽ được thiết kế và thử nghiệm để xác định một độ lệch tâm cho vận tốc gió / số vòng quay của tuabin là lớn nhất.

Bảng 1. Giá trị lực đẩy cánh tuabin tính toán khi vận tốc gió $V_0 = 3 \text{ m/s}$

Độ lệch tâm e (mm)	Cánh 1 α' (độ)	Cánh 2 α' (độ)	Cánh 3 α' (độ)	Lực đẩy cánh 1 F_T (N)	Lực đẩy cánh 2 F_T (N)	Lực đẩy cánh 3 F_T (N)	Lực đẩy tổng 3 cánh (N)
0.00	0.00	30.00	30.000	0.000	-1.890	0.630	-1.260
...
40.00	1.20	1.46	12.400	0.003	-0.070	0.410	0.347
45.00	0.98	-1.84	9.510	0.002	0.078	0.338	0.418
50.00	0.78	-5.22	6.520	0.001	0.205	0.249	0.455
55.00	0.60	-8.69	3.460	6E-04	0.315	0.142	0.457
60.00	0.45	-12.32	0.000	4E-04	0.408	0.000	0.409
65.00	0.33	-16.10	-3.130	2E-04	0.484	-0.150	0.338
...

Từ các kết quả tính toán trên, một tuabin gió trục đứng công suất nhỏ tự điều chỉnh cánh đón gió bằng cam lệch tâm đã được tính toán, thiết kế và chế tạo với các thông số kỹ thuật:

- Đường kính của roto: $D = 1,3 \text{ m}$
- Chiều cao cánh tuabin: $H = 1,1 \text{ m}$

- Dạng cánh NACA2412
- Chiều dài dây cung cánh: $c = 0,24 \text{ m}$
- Chiều dài thanh liên kết cánh: $L_1 = L_2 = L_3 = \frac{1}{2} D = 0,65 \text{ m}$
- Độ lệch tâm: $e = 0,045 - 0,060 \text{ m}$
- Góc xoay cánh lớn nhất: $\alpha' = \pm 36^\circ$

- Dynamo DC Permanent Magnet Motor.

3. THỰC NGHIỆM – ĐÁNH GIÁ

3.1 Thực nghiệm xác định giá trị lệch tâm

Từ bảng giá trị lực đẩy (bảng 1) ta lựa chọn các độ lệch tâm cho cam là $e_1 = 45$ mm, $e_2 = 50$ mm, $e_3 = 55$ mm và $e_4 = 60$ mm lắp đặt vào tuabin gió. Các thí nghiệm được tiến hành cho mỗi độ lệch tâm với các vận tốc gió $V_0 = 2,5 / 3,0 / 3,5$ m/s để tìm độ lệch tâm tốt nhất. Qua đó, sẽ kiểm chứng với kết quả lý thuyết để chọn độ lệch tâm phù hợp. Các dữ liệu được ghi lại khi tuabin hoạt động ổn định, nhịp lấy mẫu là 5s và được lặp lại 3 lần.



Hình 10. Tuabin gió tự điều chỉnh cánh đã chế tạo

Bảng 2. Vận tốc, số vòng quay của tuabin khi vận tốc gió $V_0 = 2,5$ m/s

Độ lệch tâm (mm)	Lần 1		Lần 2		Lần 3		Trung bình	
	V (m/s)	N (v/p)	V (m/s)	N (v/p)	V (m/s)	N (v/p)	V (m/s)	N (v/p)
$e_1 = 45$	2,59	40	2,63	41	2,50	40	2,57	40,3
$e_2 = 50$	2,67	42	2,58	43	2,54	44	2,59	43,0
$e_3 = 55$	2,54	35	2,63	36	2,63	36	2,60	35,6
$e_4 = 60$	2,38	29	2,50	28	2,54	32	2,47	29,6

Bảng 3. Vận tốc, số vòng quay của tuabin khi vận tốc gió $V_0 = 3,0$ m/s

Độ lệch tâm (mm)	Lần 1		Lần 2		Lần 3		Trung bình	
	V (m/s)	N (v/p)	V (m/s)	N (v/p)	V (m/s)	N (v/p)	V (m/s)	N (v/p)
$e_1 = 45$	2,96	47	3,00	47	3,04	46	3,00	46,6
$e_2 = 50$	3,13	50	3,08	50	3,13	49	3,11	49,6
$e_3 = 55$	3,08	45	3,04	45	3,00	44	3,04	44,6
$e_4 = 60$	3,00	38	2,92	38	3,13	39	3,01	38,3

Bảng 4. Vận tốc, số vòng quay của tuabin khi vận tốc gió $V_0 = 3,5$ m/s

Độ lệch tâm (mm)	Lần 1		Lần 2		Lần 3		Trung bình	
	V (m/s)	N (v/p)	V (m/s)	N (v/p)	V (m/s)	N (v/p)	V (m/s)	N (v/p)
$e_1 = 45$	3,42	50	3,38	51	3,50	52	3,43	51,0
$e_2 = 50$	3,46	52	3,46	52	3,42	53	3,44	52,3
$e_3 = 55$	3,38	48	3,46	50	3,50	51	3,44	49,6
$e_4 = 60$	3,38	41	3,42	43	3,46	41	3,42	41,6

Từ các bảng số liệu 2 đến 4 ta có thể thấy tuabin gió có độ lệch tâm giữa trục tuabin và trục mang chong chóng gió $e = 50$ mm có vận tốc gió và số vòng quay của lớn hơn các độ lệch tâm khác. Kết quả thực nghiệm này cũng phù hợp với kết quả tính toán lý thuyết nên giá trị lệch tâm $e = 50$ mm được chọn để lắp đặt cho tuabin gió và đưa vào thử nghiệm thực tế.

3.2 Thực nghiệm xác định khả năng hoạt động của tuabin

Tuabin được lắp đặt cam có độ lệch tâm $e = 50$ mm. Thử nghiệm hoạt động của tuabin ở các tốc độ gió 2,5 - 3,0 - 3,5 m/s. Mỗi một tốc độ gió sẽ được thử nghiệm trong 15 phút, dữ liệu được tự động ghi lại trên máy tính và được lặp lại 3 lần.

Bảng 5. Thử nghiệm tuabin ($V_0 = 2,5$ m/s)

Thông số	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Trung bình
Vận tốc (m/s)	2,67	2,58	2,54	2,59
Số vòng quay (v/ph)	42	43	44	43
Điện áp (V)	6,66	7,03	6,98	6,89

Bảng 6. Thử nghiệm tuabin ($V_0 = 3,0$ m/s)

Thông số	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Trung bình
Vận tốc (m/s)	3,08	3,13	3,04	3,08
Số vòng quay (v/ph)	50	50	49	49,7
Điện áp (V)	7,63	7,89	7,82	7,78

Bảng 7. Thử nghiệm tuabin ($V_0 = 3,5$ m/s)

Thông số	Lần 1	Lần 2	Lần 3	Trung bình
Vận tốc (m/s)	3,46	3,46	3,42	3,44
Số vòng quay (v/ph)	52	52	53	52,3
Điện áp (V)	7,72	7,86	8,31	7,96

Kết quả thử nghiệm cho thấy:

- Tuabin gió có thể hoạt động ở tốc độ gió thấp $V_0 = 2,5$ m/s và đã phát ra dòng điện có điện thế trung bình khoảng 6,89 V.
- Khi luồng gió không đổi, tuabin hoạt động ổn định: chong chóng gió đứng yên, số vòng quay của tuabin gần như không đổi.
- Ở vận tốc gió $V_0 = 3,5$ m/s tuabin hoạt động ổn định với số vòng quay $n = 52$ vòng/phút, điện áp 7,96 V, cường độ là 1 A. Nguồn điện này qua nghịch lưu có thể sử dụng để thắp sáng đèn 60 W.

4. KẾT LUẬN

Một máy phát điện gió trục đứng tự điều chỉnh cánh theo hướng gió bằng cam lệch tâm đã được nghiên cứu phát triển. Tuabin thiết kế có đường kính tuabin $D = 1,3$ m, chiều cao cánh $H = 1,1$ m, độ lệch tâm $e = 50$ mm có thể hoạt động ở tốc độ gió thấp $V_0 = 2,5$ m/s (43 vòng/phút) cho dòng điện ra có điện thế từ 6,89 V. Hệ thống có mô hình khí động học với biên dạng cánh NACA2412, chi phí chế tạo rẻ đáp ứng được các tiêu chí về máy phát điện gió trục đứng. Các khảo nghiệm đã cho thấy dòng điện thu được khi hoạt động ở tốc độ gió thường gặp ở thành phố Hồ Chí Minh $V_0 \approx 3,0$ m/s còn thấp nên cần kết hợp với điện mặt trời để có được nguồn điện công suất lớn hơn đáp ứng cho nhu cầu thắp sáng qui mô hộ gia đình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Pope1 K., Naterer G. F., Dincer I. and Tsang E., *Power correlation for vertical axis wind turbines with varying geometries*, Inter. J. of Energy Research, Vol 35, Issue 5, pp. 423–435 (2011)
- [2] Armstrong S., Fiedler A. and Tullis S., *Flow separation on a high Reynolds number, high solidity vertical axis wind turbine with straight and canted blades and canted blades with fences*, Renewable Energy v41, 13-22 (2012).
- [3] Mazharul Islam, David S.-K. Ting, Amir Fartaj, *Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines*, RSER Journal 12(4):1087-1109, 2008.
- [4] Robert Gasch, Jochen Twele, *Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation*, 2nd Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
- [5] Barlas T. K.; van Kuik, G.A.M; *Review of state of the art in smart rotor control research for wind turbines*. Prog. Aerosp. Sci. 46 (2010), pp. 1–27, 2010.
- [6] Djamila Rekioua, *Wind Power Electric Systems: Modeling, Simulation and Control*, Springer-Verlag London, 2014.
- [7] Gerhard Schweitzer, Eric H. Maslen (Editors), *Magnetic Bearings - Theory, Design, and Application to Rotating Machinery*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [8] Désiré Le Gourières, *Wind Power Plants: Theory and Design*, Pergamon Press, 1982.
- [9] Erich Hau, *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, 3rd Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
- [10] Castelli M. R., Betta S. D. and Benini E., *Effect of Blade Number on a Straight-Bladed Vertical-Axis Darrieus Wind Turbine*, WASET, Vol. 61, No. 13 (2013), pp. 305-311, 2013.
- [11] Hill N., Dominy R., Ingram G. and Dominy J., *Darrieus turbines: The physics of self-starting*, Proc. IMechE Vol. 223(1) Part A: J. Power and Energy, 2009.
- [12] James F. Manwell, Jon G. McGowan, Anthony L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, 1st Edition, Wiley, 2009.
- [13] Paraschivoiu, *Wind Turbine Design: With Emphasis on Darrieus Concept*, 1st Edition, Polytechnic International Press, Canada, 2002.
- [14] David Wood, *Small Wind Turbine: Analysis, Design and Application*, Springer-Verlag London Limited, 2011.
- [15] Kirke B., *Evaluation Of Self-Starting Vertical Axis Wind Turbines For Stand-Alone Applications*, PhD. Thesis, Griffith University, 1998.
- [16] Andrew Tendai Zhuga, Benson Munyaradzi and Clement Shonhiwa, *Design of Alternative Energy Systems: A Self-Starting Vertical Axis Wind Turbine for Stand-Alone Applications (charging batteries)*, Chinhoyi University of Technology, ZIMBABWE, 2006.
- [17] Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi, *Wind Energy Handbook*, John Wiley & Sons Ltd., 2001.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết

PGS.TS Đặng Thiện Ngôn

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

Email: ngondt@hcmute.edu.vn