

THIẾT KẾ MÔ HÌNH BỘ ĐIỀU TỐC TURBINE GIÓ TRỤC NGANG BẰNG CÁCH SỬ DỤNG HỆ BÁNH RĂNG NÓN DEDIGN THE MODEL CONTROL OF WIND TURBINE SPEED BY BEVEL-GEAR SYSTEM

¹Nguyễn Duy Phương, ²PGS.TS. Nguyễn Ngọc Phương

¹Công ty Hoya Lens Việt Nam, Visip II, Bến Cát, Bình Dương

²Bộ môn Cơ điện tử, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

TÓM TẮT

Các nghiên cứu ngày nay về turbine gió là làm sao điều khiển hiệu quả tốc độ của turbine khi vận tốc gió thay đổi, đảm bảo hiệu suất turbine hoạt động cao nhất. Nội dung bài báo trình bày về một phương pháp điều khiển tốc độ turbine gió trục ngang dùng hệ bánh răng nón để thực hiện việc xoay cánh turbine với phương pháp thiết kế, tính toán và chế tạo hoàn toàn không phức tạp. Mô hình được tiến hành thực nghiệm với các tốc độ trục chính khác nhau và ghi nhận khả năng điều khiển tốc độ của bộ điều tốc. Kết quả ban đầu cho thấy hệ thống hoạt động linh hoạt, turbine luôn hoạt động với hiệu suất cao, tốc độ trục chính luôn an toàn đảm bảo độ ổn định, cân bằng cho toàn bộ hệ thống turbine trong quá trình hoạt động.

ABSTRACT

Today, the researches of wind turbine is how to effectively control the speed of the turbine when the wind speed changes, ensure that the turbines are highest effective performance. The paper content presented a system control of wind turbine speed by using the bevel-gear system to revolve the turbine blade, with method design, calculation and manufacturing absolutely no complex. Experimental model was conducted with different spindle speeds and noted the ability to control the speed of the speed system. The first results show that the research process has brought success in control the wind turbine speed, the turbine are highest effective performance ensure stability and balance for the whole turbine system during operation.

1. Đặt vấn đề

Việt Nam đang đối diện với tình trạng thiếu điện trầm trọng với sự phát triển của nền công nghiệp. Gió là nguồn năng lượng sạch, nguồn năng lượng dồi dào đang dần được đầu tư xây dựng, mở rộng và phát triển tại Việt Nam. Với những ưu điểm từ năng lượng gió giúp chúng ta giải quyết được vấn đề cấp bách hiện nay là môi trường, nhưng muốn tận dụng triệt để nguồn năng lượng này, ngoài yếu tố tự nhiên còn phụ thuộc nhiều vào vấn đề kỹ thuật, đặc biệt là hệ thống phát điện gió. Nhược điểm của động cơ gió là khi tốc độ gió thay đổi, tốc độ quay của trục turbine cũng thay đổi theo. Do gió là nguồn năng lượng không ổn định nên trong quá trình khai thác thường xảy ra các sự cố về mặt kỹ thuật làm hư hỏng các hệ thống máy phát, gây cháy nổ toàn bộ hệ thống turbine.

Nhận biết được tầm quan trọng, nội dung bài báo đề cập đến một phương pháp có thể điều khiển tốc độ turbine gió hiệu quả dựa trên việc tính toán thiết kế và chế tạo mô hình bộ điều tốc turbine gió bằng cánh dùng hệ truyền động bánh răng nón. Mô hình được thử

nghiệm khảo sát với sự thay đổi tốc độ trục chính, ghi nhận quá trình hoạt động của bộ điều tốc gồm hệ bánh răng nón, trục vít bánh vít và động cơ bước.

Khi đề tài được khai thác một cách triệt để sẽ hứa hẹn mang đến nhiều thành công mới trong việc xây dựng và chế tạo máy phát điện gió phù hợp với mọi sự thay đổi từ gió, chủ yếu nơi có vận tốc gió cao như ngoài khơi.

Trong các phần tiếp theo, bài báo sẽ trình bày các nội dung chính: Cơ sở lý thuyết, tính toán số vòng quay trục chính khi góc cánh thay đổi, cấu tạo và nguyên lý hoạt động của bộ điều tốc, tiến hành các thí nghiệm và kết quả thực nghiệm thu được.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1 Công suất dòng chảy

Về nguyên tắc, dòng chảy phải được duy trì. Do đó, năng lượng turbine thu nhận được bị hạn chế. Trong trường hợp toàn bộ năng lượng gió được turbine thu nhận, thì vận tốc gió đằng sau turbine sẽ bằng không. Muốn cho dòng chảy được cân bằng giữa khối lượng và vận tốc, năng lượng chảy qua turbine phải bị mất mát. Đối với hệ tối ưu, số phần trăm cực đại của năng lượng gió có thể thu nhận được tính theo công thức (2.1) do Carl Betz đưa ra năm 1927 [1]:

$$\frac{P_{\max}}{A} = 0,593 \frac{V_0^3}{2} \quad (2.1)$$

Trong đó: P_{\max} là công suất turbine

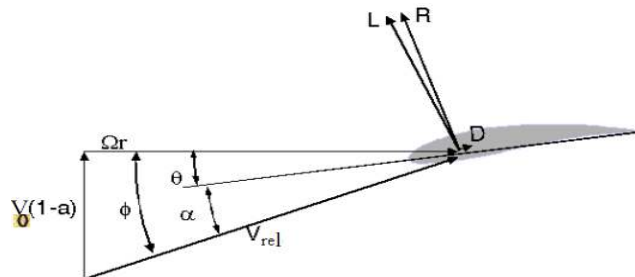
A là diện tích quét của cánh turbine

V_0 là vận tốc gió ban đầu

Số 0,593 được gọi là giới hạn Betz hoặc hệ số Betz.

2.2. Các giá trị ảnh hưởng đến công suất turbine

Lực R tác dụng lên cánh được phân tích thành hai thành phần lực: lực nâng cánh L sinh ra moment có tác dụng làm turbine hoạt động và lực cản D có tác dụng cản trở chuyển động quay của turbine. Góc tới α thì có ảnh hưởng đến tốc độ của turbine và có thể được điều chỉnh lại bởi góc xoay của cánh θ , nó không phụ thuộc vào tốc độ gió V_0 . Moment làm xoay turbine có liên quan nhiều đến lực L và D .



Hình 2.2 Các yếu tố ảnh hưởng đến cánh turbine [4]

Ω : Vận tốc góc turbine

ϕ : góc dòng vào turbine

θ : góc xoay của cánh

α : góc tới (gió)

$V_0(1-a)$: tốc độ gió tại vị trí đang xét

V_{rel} : tốc độ tổng hợp

L : Lực nâng (vuông góc với V_{rel})

D : Lực cản (song song với V_{rel})

V_{rel}

Góc tới α là góc giữa chiều dài dây cung cánh và vecto vận tốc tổng hợp của turbine và có liên quan đến lực R đây là lực tác dụng lên cánh có thể phân tích thành hai lực : một là lực nâng L có phương vuông góc với vecto vận tốc V_{rel} , một lực là lực cản D có phương song song với vecto vận tốc V_{rel} .

Góc xoay cánh θ là góc hợp bởi chiều dài dây cung cánh và mặt phẳng quay của turbine. Người ta cũng thường phân loại turbine gió theo kiểu góc θ , nghĩa là turbine có góc θ cố định và loại turbine có góc thay đổi.

Góc của dòng khí vào turbine ϕ là góc hợp bởi vận tốc tổng hợp và mặt phẳng quay của turbine. Góc của dòng khí vào turbine có vai trò quan trọng ảnh hưởng đến công suất của turbine.

Góc tới, góc xoay cánh và góc dòng khí vào turbine liên hệ nhau bởi công thức (2.2) [1] :

$$\alpha = \phi - \theta \quad (2.2)$$

Moment xoắn sinh ra bởi lực tác dụng lên turbine công thức (2.3) [1]

$$T = (F_L \sin \phi - F_D \cos \phi) \cdot \Omega \quad (2.3)$$

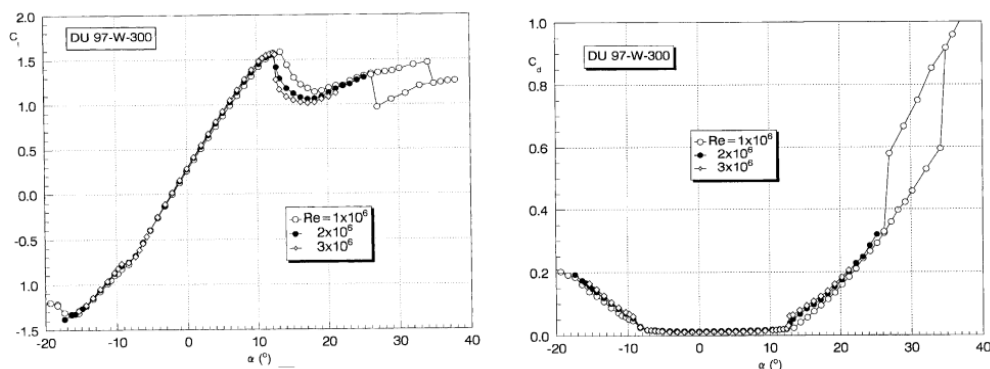
$$\begin{aligned} \text{Năng lượng sinh ra} \quad P &= T \cdot \Omega = (F_L \sin \phi - F_D \cos \phi) \cdot \Omega \cdot r \\ &= [F_L \sin (\theta + \alpha) - F_D \cos (\theta + \alpha)] \cdot \Omega r \end{aligned} \quad (2.4)$$

2.3. Mối quan hệ giữa góc tới α và C_l, C_d :

C_l là hệ số nâng, C_d là hệ số cản theo công thức (2.5) [2].

$$C_l = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 \cdot A} ; C_d = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 \cdot A} \quad (2.5)$$

Mối quan hệ giữa C_l, C_d và góc tới α của một turbine gió được biểu diễn trong [hình 2.3] Trong điều kiện thuận lợi nhất, một turbine gió hoạt động hiệu quả lý tưởng, với giá trị góc tới $\alpha = [0^\circ - 10^\circ]$. Tại thời điểm này thì giá trị của hệ số lực cản C_d là nhỏ nhất (gần như bằng 0). Dựa vào hình dưới ta thấy giới hạn đáng tin cậy của góc tới, khi vượt qua ngoài vùng này thì hệ số C_d tăng lên đáng kể, gây ảnh hưởng đến độ ổn định cũng như công suất của turbine.



Hình 2.3: Mối quan hệ giữa góc tới α và C_l, C_d . [5].

3. Tính toán số vòng quay trực chính khi góc cánh thay đổi :

Công suất của turbine gió được xác định theo công thức (3.1) [1]:

$$P = T * \Omega = (L \sin \phi - D \cos \phi) * \Omega.r \quad (3.1)$$

Ta có một turbine hoạt động hiệu quả khi $\phi = [0^0 - 45^0]$ và $\alpha = [0^0 - 10^0]$
 Trong khoảng giá trị này thì hệ số cản đạt giá trị nhỏ nhất $C_d \approx 0$ (lúc này xem như giá trị lực cản D không đáng kể)

Như vậy công suất cực đại $P_{max} \approx (L \sin \phi) * \Omega.r$

(3.2)

Công suất P đạt giá trị cực đại khi (L sin φ) đạt giá trị lớn nhất hay $\phi = 45^0$

$$\Leftrightarrow \theta + \alpha = 45^0 \Rightarrow \theta = 45^0 - \alpha.$$

Ta có

$$P_{max} = \frac{\sqrt{2}}{2} L . \Omega.r = \frac{\sqrt{2}}{2} L . \frac{2\pi.n}{60} .r = \sqrt{2}.L. \frac{\pi.n}{30} .r$$

(3.3)

Theo Bez $P_{max} = 0,593 \frac{V_0^3}{2} .\pi.r^2$ (3.4)

Như vậy ta có

$$P_{max} = 0,593 \frac{V_0^3}{2} .\pi.r^2 = \sqrt{2}.L. \frac{\pi.r.n}{30}$$

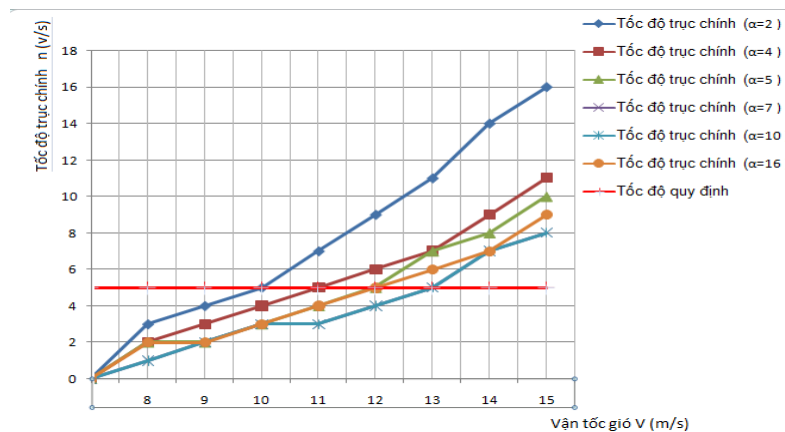
$$\Leftrightarrow 0,593 .r. v^3_0 = \frac{\sqrt{2}}{15} L. n \Leftrightarrow n = 0,593. \frac{15.r.v^3_0}{\sqrt{2}.L}$$

$$L = C_L(\frac{1}{2}\rho.U_{rel}^2.A) = C_L(\frac{1}{2}\rho.U_{rel}^2.r^2.\pi)$$

Thực tế, trong quá trình thiết kế turbine, điều kiện tốc độ gió không thay đổi muốn tăng tốc độ trục chính người ta sẽ thiết kế làm tăng bán kính r của turbine.

Ta có công thức liên hệ giữa tốc độ turbine n, vận tốc gió ban đầu v_0 :

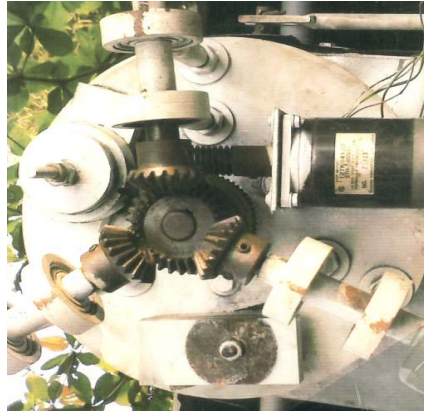
$$n = 0,593. \frac{15.r.v^3_0}{\sqrt{2}.L} \quad (\text{vòng/s}) \quad (3.5)$$



Hình 3.1 Biểu đồ biểu diễn sự thay đổi tốc độ trục chính ứng với vận tốc gió khác nhau khi góc tới thay đổi.

4. Nguyên lý hoạt động

Để kiểm nghiệm lại cơ sở lý thuyết, mô hình bộ điều tốc turbine gió bằng hệ bánh răng nón được tiến hành chế tạo và thử nghiệm như bên dưới.



Hình 4 Cấu tạo bộ điều tốc

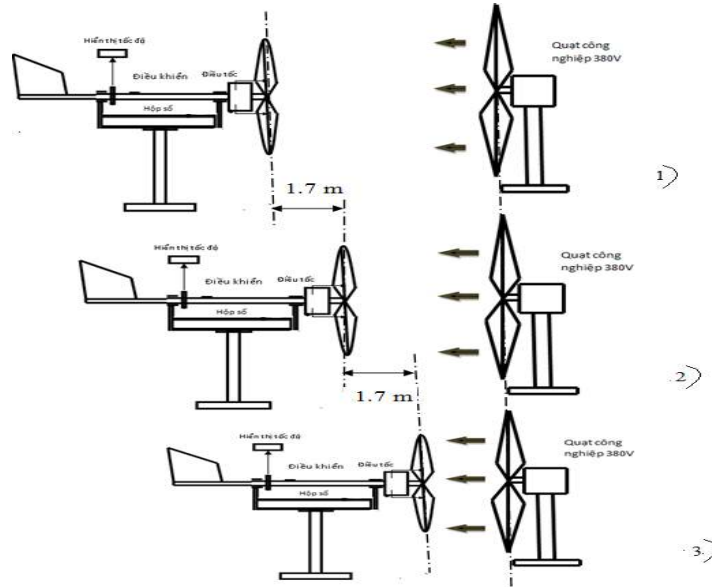
Ba cánh được lắp trực tiếp vào 3 bánh răng nón xoay được. Trên trục chính của turbine gắn bánh răng nón chủ động ăn khớp với 3 bánh răng lắp với cánh, lắp thêm hệ bánh vít, ăn khớp với trục vít. Trục vít lắp trực tiếp trên trục của động cơ bước để điều khiển số vòng quay.. Động cơ bước được cấp điện nhờ hệ thống thiết kế chổi than lắp trên trục chính. Hệ mạch điều khiển nhận biết tốc độ và điều khiển để xoay động cơ bước.

Gán cho trục chính turbine một tốc độ giới hạn cho phép. Khi vận tốc gió tăng, làm cho tốc độ trục chính tăng lên vượt qua tốc độ giới hạn ban đầu, bộ phận cảm biến nhận được tín hiệu, chuyển đến bộ điều khiển tiến hành so sánh với tốc độ cho phép, sẽ điều khiển trục động cơ bước gắn với trục vít được cho ăn khớp với bánh vít. Trục bánh vít nối cùng với trục bánh răng nón chủ động được ăn khớp với ba bánh răng nón gắn ba trục cánh quạt. Khi trục động cơ bước xoay góc thì sẽ truyền sang một số bộ phận truyền động như trên để xoay cánh turbine một góc nhằm giảm bề mặt hứng gió, lúc này tốc độ turbine gió sẽ giảm xuống đảm bảo cho turbine luôn hoạt động an toàn.

Khi tốc độ gió giảm, động cơ sẽ xoay ngược lại cánh quay trở lại. Bằng cách này, tốc độ quay của trục turbine được điều chỉnh kịp thời.

5. Các thí nghiệm được tiến hành

Mô hình turbine gió trục ngang đã được thi công và tiến hành cho thực nghiệm tại khoa cơ khí chế tạo máy trường đại học Sư phạm Kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh, số 1 Võ Văn Ngân, Thủ Đức.



Hình 5 Các thí nghiệm tiến hành

Dùng 3 quạt gió công nghiệp công suất 380 V đặt 3 vị trí tương ứng với đường kính cánh turbine. Thí nghiệm được tiến hành như sau:

✓ Chế độ có tải:

- Bước 1: Sẽ thay đổi vị trí turbine theo thứ tự như [hình 5]: 1 → 2 → 3.

Vị trí 1: đặt quạt và turbine ở kháng cách xa nhất, điều chỉnh góc xoay cánh sao cho turbine quay với tốc độ đạt tối ưu nhất 5 vòng/s. Đây là tốc độ lập trình định mức, nghĩa là khi đạt tốc độ này (hoặc tốc độ bé hơn) thì cánh turbine cố định, hệ bánh răng nón không hoạt động, động cơ bước không thay đổi.

Vị trí 2: Khi đưa turbine tiến về cánh quạt, cách vị trí ban đầu 1.7 m, ban đầu tốc độ turbine tăng từ từ đến khi vượt qua tốc độ 5 vòng/s (đạt 6 vòng/s), ghi nhận sự thay đổi của góc xoay động cơ bước và tốc độ quay trực chính hiển thị trên bộ đếm.

Vị trí 3: Khi đưa turbine tiến về phía quạt, cách vị trí ban đầu 3.4 m, ban đầu tốc độ turbine tăng từ từ đến khi vượt qua tốc độ 5 vòng/s (tốc độ đạt 6 vòng/s) thì động cơ bước sẽ xoay, ghi nhận sự thay đổi góc xoay động cơ.

- Bước 2: Sẽ thay đổi vị trí turbine gió theo thứ tự ngược lại 3 → 2 → 1.

Tại mỗi vị trí thì góc xoay động cơ bước thay đổi, ứng với sự thay đổi tốc độ trực chính, ghi nhận giá trị từng giá trị thay đổi.

- Bước 3: Đặt turbine tại vị trí 1, lúc này động cơ bước đã xoay về vị trí ban đầu, đánh dấu trên trục động cơ bước hoặc bánh răng nón để ghi nhận sự thay đổi.

Sau đó ta sẽ ngưng cấp điện cho động cơ bước, tiến hành di chuyển quạt đến vị trí 3, khi turbine ổn định, ta sẽ cấp điện cho động cơ bước, ghi nhận các giá trị thay đổi.

- Bước 4: Đặt turbine tại vị trí 1, lúc này động cơ bước đang ở vị trí như thực hiện bước 3, đánh dấu trên trục động cơ bước hoặc bánh răng nón để ghi nhận sự thay đổi. Khi tốc độ turbine ổn định, ta sẽ cấp điện cho động cơ bước, ghi nhận sự thay đổi góc xoay động cơ bước.

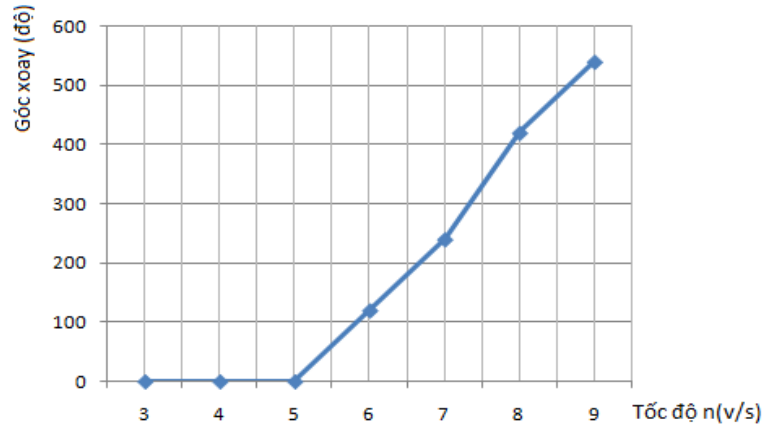
✓ Khảo sát tương tự góc quay động cơ bước ở chế độ không tải tại vị trí 2, 3. Chỉ thực hiện bước 1 và 2.

6. Kết quả và nhận xét

6.1 Kết quả

Bảng 6.1 Bảng giá trị biểu diễn góc xoay động cơ ứng với tốc độ trục chính

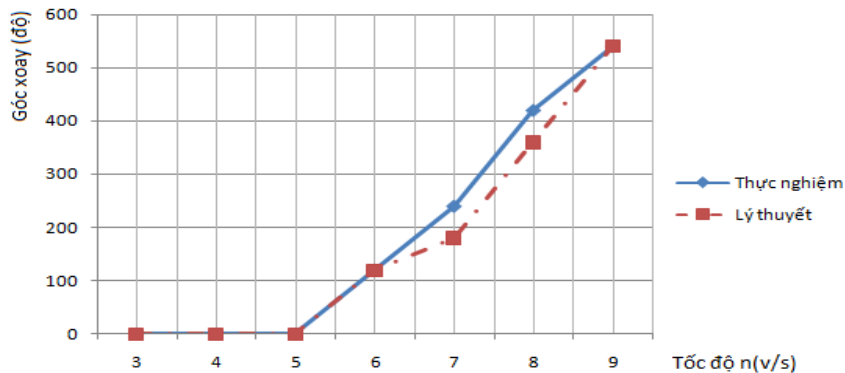
Vận tốc trục chính (v/s)	3	4	5	6	7	8	9
Góc xoay động cơ bước (độ)	0	0	0	120	240	420	540



Hình 6.1 Biểu đồ thực nghiệm biểu diễn mối quan hệ tốc độ trục chính và góc xoay động cơ bước

Khi tăng góc xoay động cơ bước đến giá trị góc cánh đạt 45^0 , thì tốc độ turbine chậm lại và tại vị trí này turbine sẽ dễ khởi động nhất. Khi góc cánh vượt qua 45^0 , turbine gần như không hoạt động.

6.2 Nhận xét :



Hình 6.2 Biểu đồ biểu diễn mối quan hệ giữa tốc độ trục chính và góc xoay động cơ bước theo thực nghiệm và theo tính toán lý thuyết.

Dựa vào những dữ liệu ban đầu [Hình 6.2], ta thấy quy luật thay đổi của giá trị góc xoay động cơ bước ứng với tốc độ trục chính tương ứng trong thực nghiệm hoàn toàn phù hợp so với tính toán lý thuyết.

Bộ điều tốc turbine gió sử dụng hệ bánh răng nón điều khiển tốc độ turbine một cách linh hoạt. Tất cả các giá trị ảnh hưởng đến tốc độ turbine đều quy về hai đại lượng để thiết kế và điều khiển là tốc độ trục chính và góc xoay động cơ bước.

Góc điều khiển động cơ bước tùy thuộc vào số liệu tính toán, góc có thể thay đổi để phù hợp với dữ liệu tính toán. Góc điều khiển động cơ bước hiệu quả nhất là khi góc cánh hoạt động trong phạm vi $\theta = (0^0 - 45^0)$. Tại vị trí $\theta = 0^0$, turbine khó khởi động nhất, $\theta = 45^0$ là vị trí turbine gió dễ dàng khởi động nhất.

7. Kết luận

Dựa vào mô hình và thí nghiệm cho thấy quá trình điều khiển của bộ điều tốc sẽ giúp turbine gió hoạt động một cách hiệu quả. Các góc cánh thay đổi đều, độ ổn định cao, đảm bảo độ cân bằng tuyệt đối.

Kết cấu này sử dụng hiệu quả những nơi có tốc độ gió cao, vận tốc gió không ổn định như ngoài biển khơi, bộ điều tốc luôn luôn giữ hệ thống hoạt động trong điều kiện tốt nhất, ổn định nhất, bảo vệ hệ thống turbine luôn cân bằng với mọi tình huống, đem lại nguồn điện dồi dào cho ngành công nghiệp gió.

Tài liệu tham khảo

- [1] Gijs van Kuik, Wim. Bierbooms, *Introduction to wind turbine design*, DUWIND_Delft University Wind Energy Research Institute, Januarie 2002.
- [2] Martin O.Hansen, *Aerodynamics of Wind Turbines*, Second edition published by Earthscan in the UK and USA in 2008.
- [3] David Sharpe, Ervin Bossanyi, Nick Jenkins, Tony Burton, *Wind energy handbook*, Copyright 2001 by JohnWiley & Sons, Ltd Baffins Lane, Chichester West Sussex, PO19 1UD, England.
- [4] Grant Ingram, *Wind Turbine Blade Analysis using the Blade Element Momentum Method.Version 1.1*, October 18, 2011.
- [5] Peter J. Schubel, RichardJ.Crossley, *Wind Turbine Blade Design*, Faculty of Engineering, Division of Materials, Mechanics and Structures, University of Nottingham, University Park, Nottingham NG7 2RD, UK