

THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO MÔ HÌNH QUẠT HƯỚNG TRỰC DÙNG HAI ĐỘNG CƠ QUAY NGƯỢC CHIỀU NHAU

PHAN ĐẠI THÀNH¹, LÊ PHẠM MINH QUÂN¹, NGÔ KHÁNH HIẾU²

¹PFIEV05, Kỹ thuật Hàng không, Đại học Bách khoa Tp. HCM

²Bộ môn Kỹ thuật Hàng không, Đại học Bách khoa Tp. HCM

Abstract. The two-stage axial-flow fans are a good solution for applications where higher static pressure is required. There are two ways to design a two-stage axial-flow fan: (1) with two fan wheels rotating in the same direction and with guide vanes places between the two stages; (2) with two counterrotating fan wheels and no guide vanes. This paper presents the result of the computing flow rate, anti-torque of the second type of the two-stage axial-flow fan. An experimental model is also built in order to verify the computing values. This paper can be applied in experimentation and in industry.

Tóm tắt. Quạt hướng trục hai tầng cánh với ưu điểm cho phép tạo lưu lượng lớn, giảm ồn và rung động hiện đang được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp. Mô hình quạt hướng trục và giải pháp điều khiển cặp động cơ điện không chổi than quay ngược chiều nhau được trình bày trong bài viết này một mặt giúp kiểm chứng các tính toán lý thuyết có thể được dùng như một mô hình thực nghiệm; mặt khác mở ra hướng cho phép sản xuất và chế tạo quạt hướng trục hai tầng cánh ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau ở nước ta hiện nay.

Từ khóa: Lý thuyết quạt hướng trục, lý thuyết phần tử cánh, động cơ điện không chổi than, turbomachinery, axial-flow fan.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, trong công nghiệp người ta sử dụng quạt hướng trục để thông gió, làm mát, hút bụi, cung cấp gió cho lò đốt. Các loại quạt hướng trục sử dụng một tầng cánh có ưu điểm dễ chế tạo, lắp đặt, bảo trì sửa chữa. Tuy nhiên nếu muốn tăng lưu lượng sẽ bị giới hạn về mặt công suất động cơ, số vòng quay, kích thước quạt. Hơn nữa, ở những chế độ vòng quay lớn, hiệu suất của cánh quạt không cao làm giảm đi tính kinh tế.

Trong lĩnh vực giao thông vận tải, các loại phương tiện sử dụng quạt hướng trục để tạo lực đẩy như tàu đệm khí (Hovercraft), thuyền bay (WIG) đòi hỏi phải tạo đủ lực đẩy yêu cầu trong điều kiện giới hạn về kích thước và công suất động cơ, đồng thời phải khử được moment xoay phản lực do quạt gây ra.

Trong ngành hàng không, các ống khí động (Wind tunnel) sử dụng quạt hướng trục dùng trong các thí nghiệm khí động lực học đòi hỏi phải tạo được trường vận tốc thẳng đều, không

xoáy trong vùng thực nghiệm (Test section).

Những điều này rất khó thực hiện được nếu sử dụng loại quạt hướng trục một tầng cánh truyền thống. Mô hình quạt hướng trục hai tầng cánh quay ngược chiều nhau, cùng với giải pháp điều khiển và các kết quả thực nghiệm của nó được trình bày trong bài viết này không chỉ giúp giải quyết các vấn đề nêu trên, mà còn giúp đánh giá lại kết quả tính toán thiết kế quạt hướng trục. Từ đó mở ra hướng chế tạo quạt hướng trục hai tầng cánh ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau ở nước ta hiện nay.

Ở các phần tiếp theo của bài viết, chúng tôi sẽ trình bày cơ sở tính toán lý thuyết quạt hướng trục; mô hình quạt hướng trục hai tầng cánh thiết kế; cùng với phân tích các kết quả thực nghiệm của nó.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT QUẠT HƯỚNG TRỤC

2.1. Các đặc tính cơ bản của quạt hướng trục [1,2]

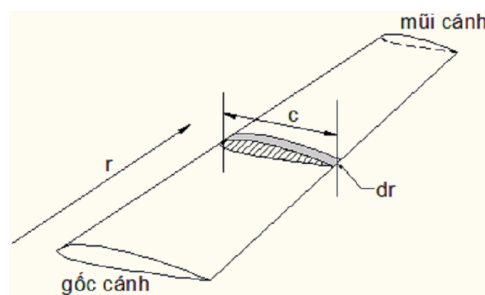
Lưu lượng (Q) là lượng lưu chất đi qua quạt trong một đơn vị thời gian. Lưu lượng được tính theo m^3/s .

Cột áp (H) được xác định bằng độ chênh lệch cơ năng trên một đơn vị trọng lượng chất lỏng giữa lối vào và lối ra của máy. Đơn vị đo là chiều cao cột chất lỏng đo áp.

Đặc tính của quạt hướng trục phụ thuộc vào các thông số như kích thước quạt (thường là đường kính quạt); dạng hình học của lá cánh; số lượng lá cánh; số vòng quay của quạt.

2.2. Lý thuyết phần tử cánh [4]

Lý thuyết này cho phép tính toán đặc tính của một lá cánh bằng cách chia nhỏ lá cánh ra thành nhiều phần gọi là phần tử cánh tại nhiều vị trí bán kính (xem Hình 1). Các phần tử cánh này xem như không ảnh hưởng lẫn nhau.



Hình 1. Phần tử cánh

Sử dụng lý thuyết phần tử cánh để tính toán, từ đó lựa chọn cặp cánh quạt cho kết quả khử xoáy tốt ở cùng chế độ quay.

2.2.1. Các giả thiết ban đầu [1, 4]

- Dòng không khí là không nén được.

- Trường dòng khí bên trong quạt chuyển động trong những ống dòng, thành phần vận tốc hướng kính không đáng kể.

- Lý thuyết cánh 2D [6, 7].

- Bỏ qua các tổn thất năng lượng, rò rỉ lưu lượng.

2.2.2. Các phương trình được sử dụng [3 – 5]

- Phương trình bảo toàn lưu lượng khối lượng (phương trình liên tục): ở chế độ dừng, lưu lượng khối lượng đi qua mọi tiết diện bên trong quạt đều bằng nhau.

$$\dot{m} = \rho_i u_i A_i = \text{hằng số.} \tag{1}$$

- Phương trình bảo toàn động lượng (định luật II Newton): Độ biến thiên động lượng của dòng qua thể tích kiểm soát bằng tổng ngoại lực tác dụng lên thể tích kiểm soát đó.

$$F = \dot{m} \Delta V. \tag{2}$$

- Phương trình bảo toàn moment động lượng: Độ biến thiên moment động lượng của dòng qua thể tích kiểm soát bằng tổng moment ngoại lực tác dụng lên thể tích kiểm soát đó.

$$M = \int dm \cdot r^2 \omega. \tag{3}$$

- Phương trình bảo toàn năng lượng (định luật I nhiệt động lực học): Độ gia tăng năng lượng toàn phần của dòng chảy bằng nhiệt cung cấp trừ đi công sinh ra.

$$\Delta E = QW. \tag{4}$$

- Phương trình Bernoulli: Mô tả bảo toàn năng lượng cho hai điểm trên cùng một đường dòng.

$$p_1/\gamma_1 + c_1^2/2g + z_1 = p_2/\gamma_2 + c_2^2/2g + z_2. \tag{5}$$

2.3. Tam giác vận tốc [3 – 5]

Đường dòng trong mô hình phần tử cánh có thể được thể hiện theo mô hình tam giác vận tốc như sau (xem Hình 2).

V_1 : vận tốc dòng khí ngõ vào phần tử cánh thứ nhất;

V_2 : vận tốc dòng khí khi ra khỏi phần tử cánh thứ nhất;

V_3 : vận tốc dòng khí ngõ ra khỏi phần tử cánh thứ hai;

U_1 : vận tốc kéo theo trong hệ quy chiếu gắn với phần tử cánh thứ nhất;

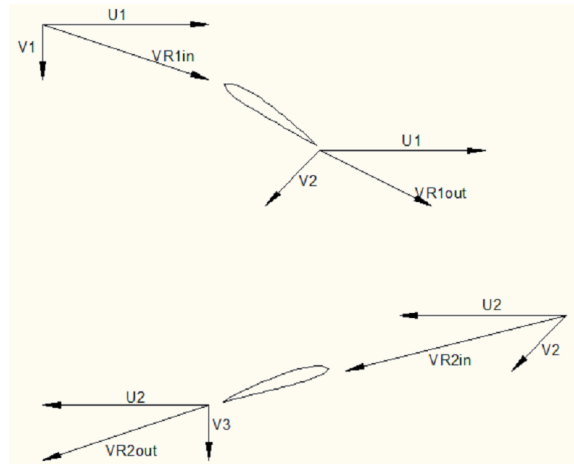
V_{R1in} : vận tốc tương đối của dòng khí đi vào phần tử cánh thứ nhất;

V_{R1out} : vận tốc tương đối của dòng khí đi ra phần tử cánh thứ nhất;

U_2 : vận tốc kéo theo trong hệ quy chiếu gắn với phần tử cánh thứ hai;

V_{R2in} : vận tốc tương đối của dòng khí đi vào phần tử cánh thứ hai;

V_{R2out} : vận tốc tương đối của dòng khí đi ra phần tử cánh thứ hai.



Hình 2. Mô hình tam giác vận tốc

2.4. Mô hình tính toán

Chong chóng máy bay và cánh quạt hướng trục trên thị trường thường được sản xuất theo quy trình sau [5]:

- Lựa chọn đường kính. Với các loại chong chóng nhỏ, đường kính được làm tròn theo đơn vị inch hoặc centimet t.
- Xác lập biên dạng cánh.
- Chọn góc đặt cánh.
- Xác định chiều dài dây cung cánh.
- Số lượng lá cánh.

Do yêu cầu đặc tính lực đẩy cao, chong chóng được sản xuất phức tạp hơn lá cánh quạt. Lá cánh quạt được làm đơn giản để giảm chi phí sản xuất.

Bảng 1. So sánh chong chóng máy bay và lá cánh quạt

Chong chóng máy bay	Lá cánh quạt
Biên dạng khí động. Ví dụ: NACA 2412 [5, 8]	Biên dạng của tấm phẳng hoặc biên dạng cánh mỏng
Góc xoắn tại bán kính r xác định theo pitch hình học bởi công thức $p = 2\pi r \tan\theta$ [6]	Góc xoắn hằng số
Bề rộng dây cung cánh thay đổi tuyến tính từ trong ra ngoài.	Bề rộng dây cung cánh hằng số hoặc thay đổi tuyến tính
Từ 2 đến 4 lá cánh	Số lượng lá cánh thay đổi. Quạt quay chậm dùng nhiều lá cánh.

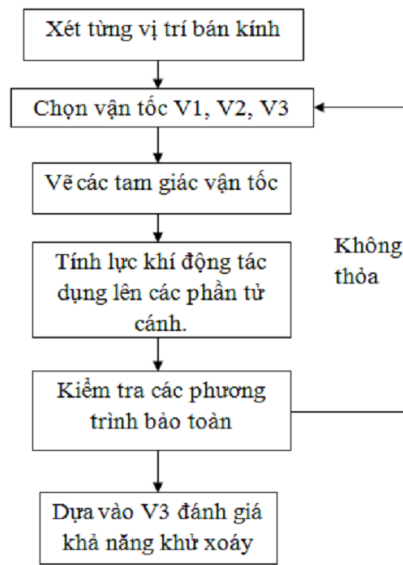
Những khác biệt chế tạo giữa chong chóng máy bay và cánh quạt là do bài toán kinh tế. Mô hình tính toán và thực nghiệm với quạt hướng trục có thể dùng chong chóng thay cho cánh quạt để kết quả tính toán chính xác hơn. Bảng 1 thể hiện sự so sánh của các đặc tính

cơ bản giữa chong chóng máy bay và lá cánh quạt.

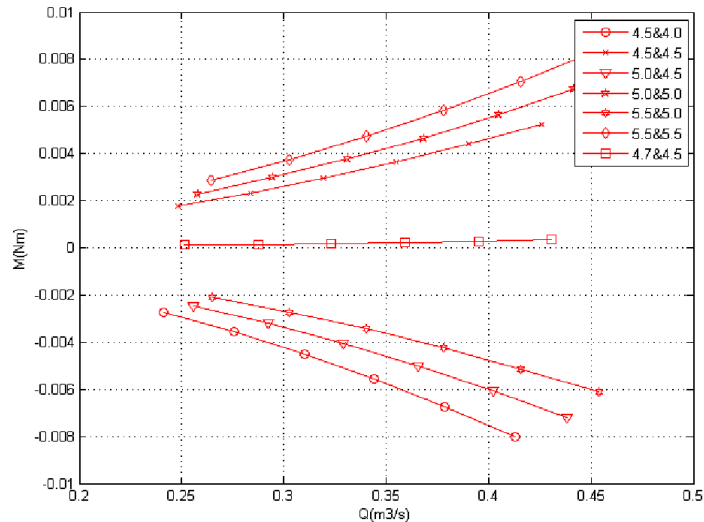


Hình 3. Chong chóng hai cánh đường kính 10”, pitch hình học 5”

Các bước tính toán cho từng cặp chong chóng theo pitch hình học như trên Hình 4.



Hình 4. Giải thuật tính toán chong chóng theo pitch hình học



Hình 5. Biểu đồ moment xoắn trên trục theo lưu lượng của một số cặp chong chóng

Trên thực tế, kích thước của chong chóng máy bay mô hình được xác định bởi số cánh, đường kính và pitch hình học. Chong chóng máy bay mô hình được chọn sử dụng trong bài viết này là loại chong chóng 2 cánh đường kính 10 inches, pitch hình học hằng số từ 4,75 inches đến 8 inches.

Hình 5 là kết quả tính toán cho một số cặp chong chóng hoạt động ở chế độ cùng số vòng quay.

Dựa vào biểu đồ ở Hình 5, cặp chong chóng pitch 4,7" và pitch 4,5" có khả năng khử moment xoắn tốt nhất. Để kiểm chứng tính toán lý thuyết, cần phải thiết kế mô hình thực nghiệm.

3. THIẾT KẾ MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

3.1. Yêu cầu thiết kế

Mô hình thực nghiệm có thể cho phép đo được lưu lượng dòng khí đi qua và ảnh hưởng của moment xoắn trên trục (thông qua góc xoay quanh trục đi qua động cơ) để kiểm chứng với tính toán lý thuyết. Mô hình thực nghiệm phải đảm bảo an toàn và độ ổn định trong quá trình hoạt động.

3.2. Thiết kế sơ bộ

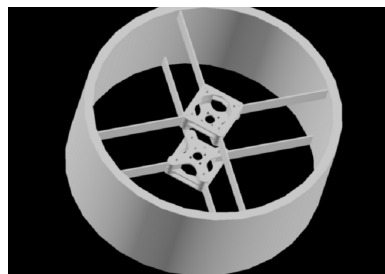
3.2.1. Chọn đường kính quạt

Từ nguồn kinh phí đề tài nghiên cứu khoa học cấp sinh viên [13] mô hình thực nghiệm lựa chọn là mô hình quạt hướng trục hai tầng cánh quay ngược chiều nhau sử dụng cặp chong chóng thuận nghịch đường kính 10 inches, và có pitch lần lượt là 4.5 và 4.75 inches.

3.2.2. Chọn động cơ

Động cơ được lựa chọn là động cơ điện một chiều không chổi than sử dụng cho máy bay mô hình. Các thông số của động cơ: trọng lượng khoảng 70 gram; công suất tối đa khoảng 260W; hệ số tăng vòng quay theo hiệu điện thế là 1250Kv; cường độ dòng điện tối đa là 20A; sử dụng pin Lipo3S; đường kính trục quay là 28mm.

3.2.3. Phương án đặt động cơ



Hình 6. Bản vẽ lắp mô hình thực nghiệm

Hai động cơ được đặt đối đầu vào nhau để đảm bảo dòng sau khi qua tầng cánh thứ nhất

sẽ đi ngay vào tầng cánh thứ hai mà không bị ảnh hưởng bởi các vật cản (xem Hình 6).

3.2.4. Chọn vật liệu

Vật liệu dùng chế tạo vành bao ngoài của mô hình quạt hướng trực thực nghiệm (ducted fan) là gỗ balsa. Loại gỗ này có đặc tính dễ gia công chính xác và giá thành rẻ.

Các gân và bộ đỡ động cơ được làm bằng mica 2mm.

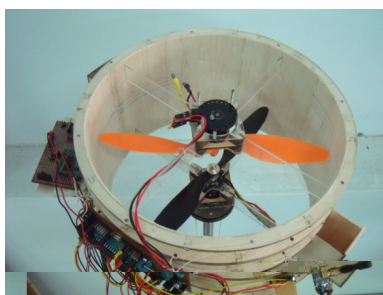
Giá đỡ làm bằng ống inox.

4. CHẾ TẠO MÔ HÌNH VÀ THỰC NGHIỆM

4.1. Chế tạo mô hình

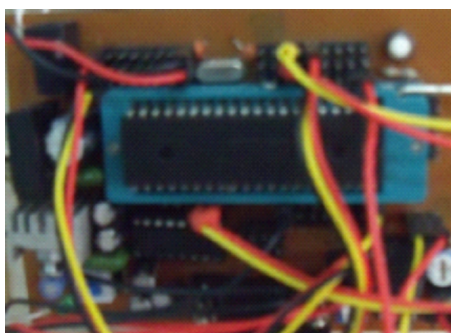
Toàn bộ mô hình thực nghiệm trình bày trong bài viết này được chế tạo tại Phòng thí nghiệm Kỹ thuật Hàng không nhà C1 trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM.

4.1.1. Ducted fan



Hình 7. Mô hình thực nghiệm quạt hướng trực hai tầng cánh quay ngược chiều nhau hoàn chỉnh

4.1.2. Mạch điều khiển



Hình 8. Mạch điều khiển

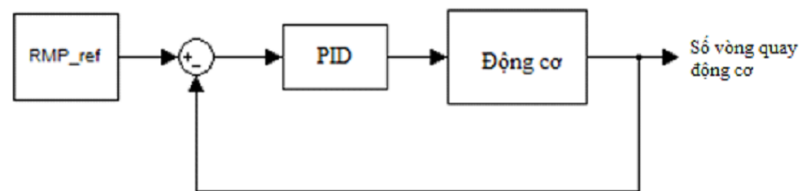
Có chức năng nhận số vòng quay động cơ mong muốn từ máy tính, xuất tín hiệu điều khiển PID ra động cơ và hồi tiếp số vòng quay hiển thị lên màn hình máy tính. Mạch điều khiển có tích hợp compass CMPS03 [10] để ghi nhận góc xoay của mô hình thực nghiệm. Giao tiếp giữa máy tính và mạch điều khiển thông qua thiết bị thu phát wifi HM-TR v1.1 [11]. Mạch điều khiển sử dụng chip PIC16F877a của hãng Microchip [12] (xem Hình 8).



Hình 9. Encoder đếm số vòng quay

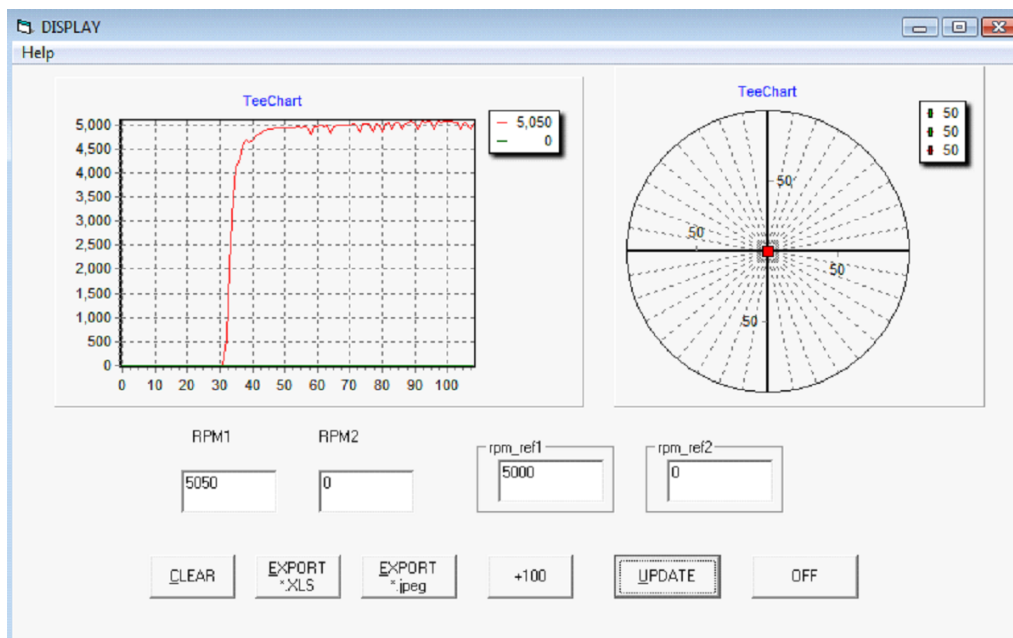
Đọc số vòng quay bằng timer0, định thời gian lấy mẫu bằng timer1, xuất xung điều khiển ra portB, pin B6 và B7.

Encoder 24 vạch (xem Hình 9). Thời gian lấy mẫu 100 ms.



Hình 10. Giải thuật điều khiển

Giao diện điều khiển trên máy tính được viết bằng chương trình Visual Basic 6.0 (xem Hình 11).



Hình 11. Giao diện điều khiển trên máy tính



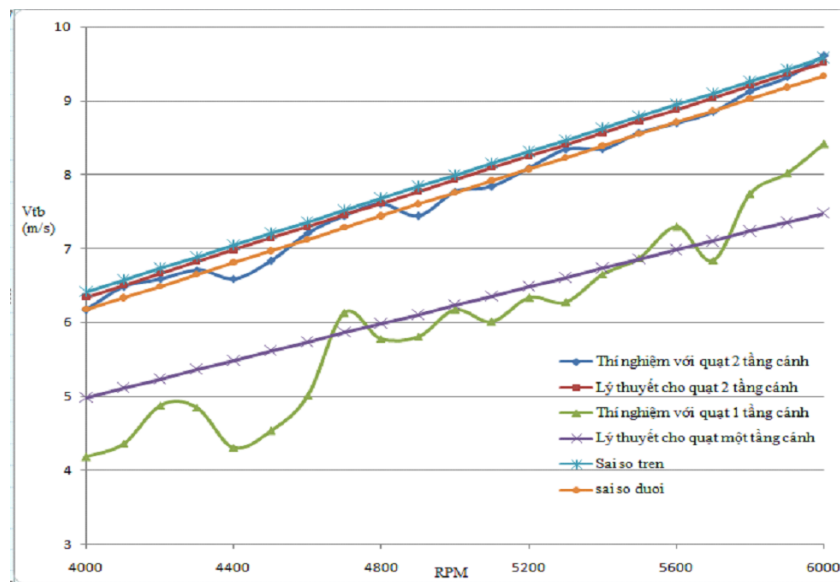
Hình 12. Bộ thiết bị đo vận tốc gió Eagle Tree

4.1.3. Thiết bị đo vận tốc

Sử dụng ống pitot kết nối với bộ Eagle Tree [9] thu phát tín hiệu qua sóng wifi. Đầu ống pitot đặt cách mặt phẳng quay của tầng cánh thứ hai khoảng 20mm.

4.2. Kết quả thí nghiệm

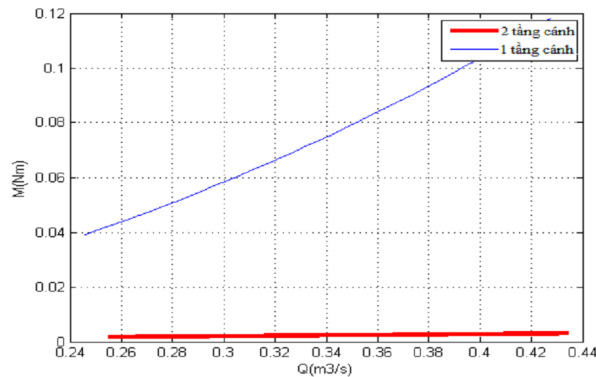
4.2.1. Kết quả đo vận tốc tại bán kính trung bình



Hình 13. Đồ thị so sánh vận tốc trung bình giữa lý thuyết và thực nghiệm

4.2.2. Kết quả tính toán mức độ khử moment trên trục

Đồ thị ở Hình 14 cho thấy sử dụng quạt hướng trục hai tầng cánh sẽ làm giảm moment xoắn trên trục đến hơn 95% so với quạt một tầng cánh. Thực nghiệm cho thấy mô hình ducted fan không bị xoay trên giá đỡ. Chứng tỏ moment xoắn đã được khử gần hết.

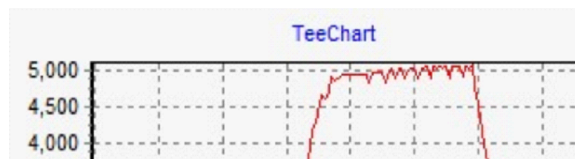


Hình 14. Đồ thị so sánh moment xoắn trên trục giữa hai loại quạt

4.3. Đánh giá kết quả

Ở vận tốc nhỏ, sai số của thiết bị đo (ống pitot) lớn. Vì vậy đồ thị thực nghiệm đo vận tốc dòng khí qua một tầng cánh (đường cong bên dưới ở Hình 13) có chỗ không hợp lý từ 4300 vòng/phút đến 4500 vòng/phút.

Đối với kết quả thực nghiệm đo vận tốc dòng khí thoát từ hai tầng cánh, do có sự sai lệch giữa vòng quay thực và vòng quay mong muốn ở từng động cơ (ghi nhận từ kết quả cho thấy sai lệch này có giới hạn trên là +50 vòng/phút và giới hạn dưới là -100 vòng/phút). Điều này được lý giải do khi chong chóng quay sẽ chịu lực cản lớn nên số vòng quay thực tế của từng tầng cánh có xu hướng giảm nhanh hơn xu hướng tăng (xem Hình 15). Trên đồ thị ở hình 14, đường sai số trên (đường màu cyan) được vẽ theo $\Delta\text{RPM} = 50$, và đường sai số dưới (đường màu cam) được vẽ theo $\Delta\text{RPM} = -100$.



Hình 15. So sánh thời gian lên, thời gian xuống khi tăng và giảm số vòng quay mong muốn

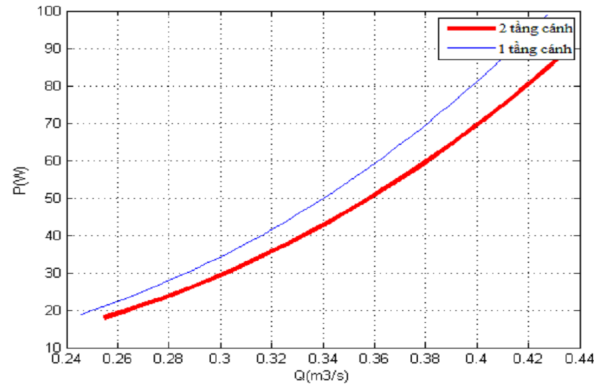
Nhận xét đa số các điểm ghi nhận được từ thực nghiệm đều nằm trong vùng bao giữa hai đường sai số trên và sai số dưới. Từ đó có thể kết luận trong trường hợp này mô hình tính toán cho kết quả đáng tin cậy.

So sánh về lưu lượng: ta có thể dễ dàng nhận thấy quạt hai tầng cánh cho lưu lượng lớn hơn quạt một tầng cánh.

So sánh về công suất: Khi tạo ra cùng lưu lượng, quạt hướng trục hai tầng cánh cần tổng công suất nhỏ hơn. Vì quạt hướng trục một tầng cánh tạo ra dòng có nhiều xoáy. Những xoáy này tiêu tốn năng lượng mà không đóng góp vào gia tăng lưu lượng.

So sánh về moment xoắn trên trục: Quạt hướng trục hai tầng cánh làm giảm moment

xoắn trên trục đáng kể so với quạt một tầng cánh.



Hình 16. Đồ thị so sánh công suất giữa hai loại quạt

5. KẾT LUẬN

Ứng dụng quạt hướng trục hai tầng cánh vào công nghiệp sẽ giúp tiết kiệm đáng kể chi phí đầu tư ban đầu cũng như chi phí vận hành do không phải sử dụng động cơ có công suất lớn mà thay vào đó là hai động cơ công suất nhỏ hơn. Hiệu quả sử dụng năng lượng cao hơn. Hệ thống vẫn có thể hoạt động nếu một động cơ bị hỏng.

Ứng dụng quạt hướng trục hai tầng cánh vào thiết kế hệ thống tạo lực đẩy của các phương tiện giao thông như tàu đệm khí, WIG, sẽ giúp giảm kết cấu chịu lực, khử các dao động rung và tăng tính ổn định do đã khử được gần hết phản lực moment tác dụng.

Hiện nay, các hầm gió hờ đã áp dụng loại quạt hướng trục hai tầng cánh. Hầm gió hờ ENSMA trong Phòng thí nghiệm Hàng không, Đại học Bách khoa Tp. HCM là một ví dụ (xem Hình 17).

Cuối cùng, mô hình quạt hướng trục hai tầng cánh quay ngược chiều nhau trình bày trong bài viết này có thể được sử dụng như một mô hình thực nghiệm cho lý thuyết tính toán quạt hướng trục.



Hình 17. Hầm gió hờ ENSMA dùng quạt hướng trục hai tầng cánh

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Grant Ingram, *Basic Concept in Turbomachinery*, Ventus Publishing ApS, 2009.
- [2] R. K. Turton, *Principles of Turbomachinery*, 2nd edition, Chapman & Hall, 1995.
- [3] R. I. Lewis, *urbomachinery Performance Analysis*, Butterworth-Heinemann, 1996.
- [4] George F. Round, *Incompressible Flow Turbomachines Design, Selection, Application and Theory*, Gulf Professional Publishing, USA 2004.
- [5] Rama S. R. Gorla, Aijaz A. Khan, *Turbomachinery Design and Theory*, Marcel Dekker, Inc., 2003.
- [6] E. L. Houghton, P. W. Carpenter, *Aerodynamics For Engineering Students*, 5th edition, Butterworth-Heinemann, 2003.
- [7] John D. Anderson, Jr., *Fundamental Of Aerodynamics*, 3th edition, McGraw Hill, 2001.
- [8] Ira H. Abbott, Albert E. Von Doenhoff, *Theory Of Wing Sections*, Dover Publications, 1959.
- [9] <http://www.eagletreesystems.com/>
- [10] CMPS03 Compass Modul
- [11] <http://hoperf.com/>
- [12] Datasheet PIC16F87X, Microchip
- [13] Phan Đại Thành, “Thiết kế chế tạo mô hình quạt hướng trục sử dụng 2 động cơ quay ngược chiều nhau”, Đề tài NCKH dành cho sinh viên PFIEV, 2010, Đại học Bách khoa Tp. HCM.

Nhận bài ngày 25 - 10 - 2010