Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T. 15, S. 4 (1999), 61–64

ĐỒNG NHẤT HÓA CÁC ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH UỐN CỦA CÁNH QUAY TRỰC THĂNG DỰA THEO KẾT QUẢ CỦA PHƯƠNG PHÁP KIỂM THỬ TẦN SỐ

LÊ THẾ SƠN

Abstract. The certification of the controlled model of helicopter usually concerns necessity to certificate elastic characteristics of helicopter's rotor blade. The use of data from experiment usually raises certain significant errors, therefore the use of data from the frequency test plays a role more appropriate, especially, in the identification of elastic characteristics of helicopter's rotor blade.

In this paper, we wish present a solution for the problem by identifying the forms of experiment natural oscillation and the forms of theoretical natural oscillation.

The selected criteria are general criteria that are equivalent to the sum of separated criteria; each criterion is sum of square error, which received from equations natural oscillation of the rotor blade.

In other words, the resolution problem of the identification of elastic characteristics of rotor blade is brought to the resolution problem of extreme value and the determination of minimum function I (14).

By this way, it allows us to get more accurate elastic characteristics of the rotor blade.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

1.1. Điều khiển mềm cánh quay với bài toán giá trị riêng

Chúng ta xem xét bài toán giá trị riêng của một thanh mềm mô phỏng cánh quay trực thăng. Trục x hướng dọc theo trục cứng của thanh, trục y vuông góc với mặt phẳng quay của cách quay.

Mô hình toán của dao động uốn cong cánh quay có dạng (ngoại lực bằng không):

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(EI\frac{\partial^2 U_y}{\partial x^2}\right) - \frac{\partial}{\partial x}\left(N\frac{\partial U_y}{\partial x}\right) + m\frac{\partial^2 U_y}{\partial t^2} = 0. \tag{1}$$

Trong đó U_y là dịch chuyển tịnh tiến của các điểm trên cánh quay theo trục y, EI là độ cứng khi uốn theo trục Y, m là trọng lượng cánh quay, N là lực ly tâm. Điều kiện giới hạn tồn tại khi không có tải tại 2 mút mép cánh quay

$$Q_{x_0} = Q_{x_l} = 0, \qquad M_{y_0} = M_{y_l} = 0,$$

với l - chiều dài cánh quay. Nghiệm riêng mô phỏng sóng dao động sẽ tìm ở dạng

$$U_y(x,t)\hat{U}_y(x)\cos\omega t, \tag{2}$$

ở đó $\hat{U}_y$ và ω là dạng dao động riêng và tần số dao động riêng.

Đặt (2) vào (1) với các điệu kiện giới hạn chúng ta sẽ đưa việc giải bài toán xác định dạng dao động riêng về việc giải bài toán cực trị

$$L = \frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(EI\frac{\partial^2 \hat{U}_y}{\partial x^2}\right) - \frac{\partial}{\partial x}\left(N\frac{\partial \hat{U}_y}{\partial x}\right) + m\omega^2\hat{U}_y = 0, \tag{3}$$

ở đó các điều kiện giới hạn tại các điểm mút tự do của thanh mềm có dạng

$$\begin{aligned} &M_{x_0} = EI\frac{\partial^2 \hat{U}_y}{\partial x^2}\Big|_{x=0} = 0, \quad M_{x_l} = EI\frac{\partial^2 \hat{U}_y}{\partial x^2}\Big|_{x=l} = 0,\\ &Q_{x_0} = \left(-EI\frac{\partial^2 \hat{U}_y}{\partial x^2} + N\frac{\partial \hat{U}_y}{\partial x}\right)\Big|_{x=0} = 0, \quad Q_{x_l} = \left(-EI\frac{\partial^2 \hat{U}_y}{\partial x^2} + N\frac{\partial \hat{U}_y}{\partial x}\right)\Big|_{x=l} = 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Để giải bài toán cực trị với giá trị riêng chúng ta xem xét tiếp đến phương pháp chuyển thanh mềm tương tự sau.

1.2. Phương pháp chuyển tương tự

Để có thể nhận được hệ phương trình tích phân dùng phép nội suy, trên thanh mềm theo trục x chúng ta chia thành nhiều đoạn bất kỳ và thiết lập một lưới $x_1 = 0, x_2, x_3, \dots, x_N, x_{N+1} = 1$, và tạo một lưới $x_{3/2}, x_{5/2}, \dots, x_{i+1/2}, \dots, x_{N+1/2}$, ở đây $x_{i+1/2} = \dfrac{x_i + x_{i+1}}{2}$, $x_{i-1/2} = \dfrac{x_i - x_{i-1}}{2}$. Đặt $h_i = x_i - x_{i-1}$; $h_{i+1/2} = x_{i+1/2} - x_{i-1/2}$, chúng ta hãy xét 1 phần tử của thanh mềm giữa các tiết diện $x_{i+1/2}$ và $x_{i-1/2}$, đối với phần tử này thì phương trình cân bằng lực trong tiết diện là

$$Q^y_{i+1/2} - Q^y_{i-1/2} = \int\limits_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} m(x) \frac{\partial^2 U_y}{\partial t^2} dx, \tag{5}$$

Q là hợp lực uốn trong thiết diện.
Dùng mệnh đề tích phân trung bình ta nhận được phương trình

$$R^y_i \frac{\partial^2 U_{y_i}}{\partial t^2} \frac{1}{h_{i+1/2}} (Q^y_{i+1/2} - Q^y_{i-1/2}), \quad i = \overline{2, N}, \tag{6}$$

$$R^y_i = \frac{1}{h_{i+1/2}} \int\limits_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} m(x) dx. \tag{7}$$

Trong phương trình (6) qua biểu thức đối với $Q^y_{1+1/2}$, $Q^y_{i-1/2}$ các giá trị U_y được đưa vào tại các điểm chính của lưới với các hệ số được nhận bằng cách xác định tích phân.

Phương trình biến đổi tương tự (3) có dạng

$$L_i = R_{y_i} \hat{U}_{y_i} \omega^2 + \frac{1}{h_{i+1/2}} (Q^y_{i+1/2} - Q^y_{i-1/2}) = 0. \tag{8}$$

Hệ phương trình trên thực tế là một hệ có thể giải được với một số giới hạn mức tự do. Đặc trưng của hệ phương trình này là độ cứng của thanh mềm, để giải nó cần phải sử dụng một số phương pháp đặc biệt và một trong số các phương pháp đó là phương pháp Nordchic-Gihra.

1.3. Chọn chuẩn

Giả thiết các thông tin ban đầu ở dạng bảng về N dao động cực điểm riêng của cánh quay mà các dạng thức dao động của nó được xác định bởi kết quả của thực nghiệm tần số

$$\omega_j, \ \hat{U}_{y_j}, \quad j = \overline{1, NF}. \tag{9}$$

Nếu (9) có nghiệm của (3) với các điều kiện giới hạn và các đường đặc tính uốn thì các phương trình (3) và (4) thỏa mãn đồng nhất. Tuy vậy, do vì đường đặc tính uốn đã cho khác biệt với thực tế cho nên khi thay thế (9) vào (8) với các điều kiện giới hạn tương ứng (4) tạo nên các sai số kép. Khi đó chúng ta xác định được cấu trúc của phiếm hàm tối ưu đối với dạng dao động j $(j = \overline{1, NF})$ dưới dạng

$$L_j = \sum_{i=2}^{N} L_i^2 + (\Delta Q_{y_0})^2 + (\Delta Q_{y_l})^2, \tag{10}$$

ở đó sai số kép xuất hiện do không thực hiện các điều kiện giới hạn.

Ảnh hưởng của từng L_j trong phiếm hàm chung phụ thuộc vào kiểu cánh quay. Do vậy phiếm hàm chung có dạng

$$I = \sum \alpha_j \overline{L}_j. \tag{11}$$

Chúng ta xác định $L_m = \max L_j$ $(j = \overline{1, NF})$, khi $\overline{L}_j = L_j/L_m$. Chúng ra đánh số lại $\overline{L}_j$ theo thứ tự suy giảm. Chọn chuỗi số $\{\alpha_j, j = \overline{1, NF}$ sao cho

$$0 < \alpha_j < 1, \quad \sum_{j=1}^{NF} \alpha_j = 1, \tag{12}$$

ở đây $\alpha_j \geq \alpha_{j+1}$.

Giá trị của các hệ số trọng lượng α_j được chỉ định cụ thể tùy theo độ tin cậy và độ chính xác của dạng dao động thử nghiệm j.

Chuẩn (11) đặc trưng trước hết là sự sai lệch giữa các dao động lý thuyết và dao động thực nghiệm. Khi đó cường độ đặc tính uốn $b(x) = (EI(x), m(x))^T$ nằm trong (1) chứa đựng các giới hạn

$$\underline{b(x)} \leq b(x) \leq \overline{b(x)}, \tag{13}$$

ở đó dựa theo giới hạn dưới và giới hạn trên của tham số thì bài toán đồng nhất các đường đặc tính uốn dựa trên cơ sở đồng nhất hóa dạng dao động lý thuyết và dạng dao động thực nghiệm có dạng

$$\begin{gathered} b^* = \arg\operatorname{extr} I(b) \\ \underline{b(x)} \leq b(x) \leq \overline{b(x)} \end{gathered} \tag{14}$$

2. ALGORIT CỦA QUÁ TRÌNH TỐI ƯU HÓA CHUẨN ĐỒNG NHẤT

Chúng ta xem xét algorit xác định các đường đặc tính uốn tối ưu hóa chuẩn (11) trên cơ sở phương pháp tính gần đúng các phương trình và các điều kiện giới hạn. Các giá trị tối ưu của đường đặc tính được tìm kiếm trong giới hạn các dung sai được lựa chọn trước.

Bài toán giá trị cực tiểu của hàm I với điều kiện (13) thực tế là bài toán lập trình không tuyến tính với các giới hạn đã được đơn giản hóa và khi đó bài toán sẽ giải được. Trong khi giải bài toán liên quan đến chuẩn I, chuẩn I có chứa đựng một số điểm cực trị và chứa đựng số lượng lớn biến khi đó việc tích phân rời trở nên khó khăn và chúng có dạng không thuận tiện cho việc lập trình, để giải quyết bài toán tối ưu trong điều kiện này chúng ta áp dụng phương pháp tìm trực tiếp của Hook - Jive.

Algorit của bài toán tối ưu có dạng:

1. Đưa ra những số liệu ưu tiên của các đường đặc tính bằng cách tính lý thuyết.
2. Tính chuẩn L_j (10) đối với từng dạng dao động thực nghiệm.
3. Xác định $L = \max L_j$, $\overline{L}_j = L_j/L$ và đánh số lại theo thứ tự giảm dần.
4. Các đường đặc tính uốn tính toán được là các tham số phát và được giới hạn trên và dưới theo điều kiện (13).
5. Tính hàm tối thiểu I (14).

Một lần *tìm kiếm* được coi như là kết thúc nếu như các điều kiện của các *lần thử nghiệm* thỏa mãn. Lần thử nghiệm thứ 1 được tiến hành ngay sau lần tìm kiếm kế tiếp và tiến hành theo phương pháp: chuẩn đo được so sánh với giá trị xác định của lần đo trước đó. Nếu giá trị của hàm đích tại lần đo này không khác biệt với giá trị cơ bản của hàm đích tại lần đo trước đó thì lần tìm kiếm này được coi như là không "thành công". Trong trường hợp ngược lại thì lần thử nghiệm tiếp theo được tiến hành để xác định xem chuẩn "thành công" tăng lên hay giảm đi. Lần thử nghiệm này cần thiết để xác định độ tin cậy và xác định xem chuẩn "thành công" có tốt không. Lần thử nghiệm thứ 3 được tiến hành sau khi không "thành công" ở lần tìm kiếm tiếp theo trong giai đoạn suy giảm giá trị của từng biến. Việc tìm kiếm coi như là kết thúc nếu trong nhiều lần thử nghiệm việc đo giá trị của từng biến cho thấy là chúng giảm đi hơn so với lần đo trước đó.

3. KẾT LUẬN

Bằng cách tiếp cận như trên cho phép chúng ta tiến hành xác định chính xác các đường đặc tính uốn và cũng bằng chính cách này chúng ta nâng cao hiệu quả của các bộ giảm chấn (trong hệ thống điều khiển cánh quay) cũng như triệt tiêu được các dao động tác động lên cánh quay trong chuyển động.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] K. S. Nhelucovski, Các phép tích vi phân số: Thiết kế và ứng dụng, Nhà xuất bản "Thiết kế máy", Moskva, 1988 (tiếng Nga).

[2] V. S. Pugatrov, Các cơ sở của Điều khiển tự động, Nhà xuất bản Khoa học, Moskva, 1988 (tiếng Nga).

Nhận bài ngày 12 - 11 - 1998

Viện Khoa học Kỹ thuật Quân sự