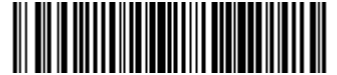




(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0003239

(51) **G06F 17/50; H02K 15/02**
2016.01

(13) **Y**

(21) 2-2020-00298

(22) 25/10/2018

(67) 1-2018-04770

(45) 25/07/2023 424

(43) 25/03/2019 372A

(73) Tập đoàn Công nghiệp – Viễn thông Quân Đội (VN)

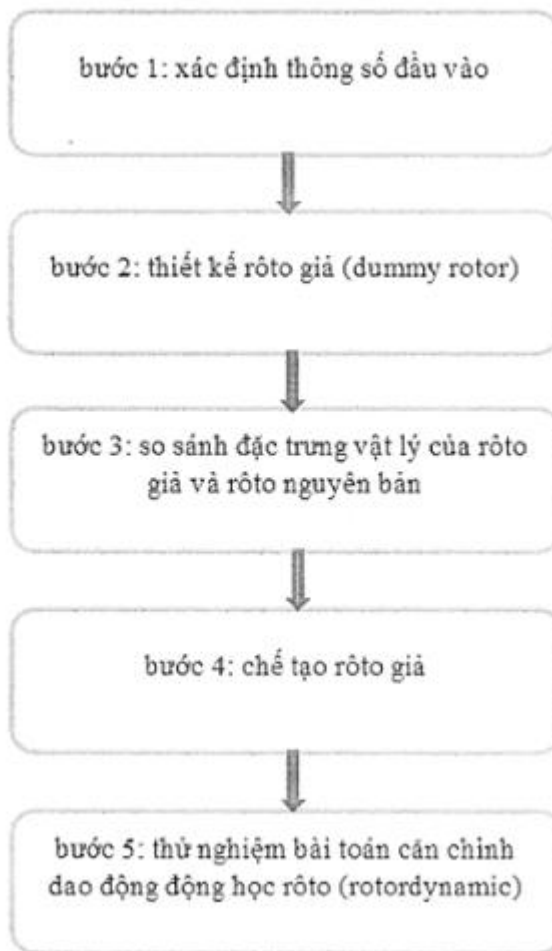
Số 1 đường Trần Hữu Dực, phường Mỹ Đình 2, quận Nam Từ Liêm, thành phố Hà Nội

(72) Chu Duy Lành (VN); Hoàng Nhật Minh (VN); Lê Văn An (VN); Nguyễn Văn Lợi (VN); Nguyễn Minh Trí (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACILAW)

(54) **PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ RÔTÔ GIẢ SỬ DỤNG TRONG QUÁ TRÌNH CÂN CHỈNH
DAO ĐỘNG CHO ĐỘNG CƠ PHẢN LỰC**

(57) Giải pháp hữu ích đề xuất phương pháp thiết kế rô to giả sử dụng trong quá trình cân chỉnh dao động cho động cơ phản lực, cụ thể là phương pháp thiết kế và quy trình thiết lập các tham số cho mô hình rô to giả cung cấp cho quá trình tính toán dao động hệ rô to của động cơ phản lực có cấu tạo phức tạp, ô tô thể thao hay các loại tàu, thuyền có sử dụng động cơ. Phương pháp được đề xuất bao gồm các bước như sau: bước 1: xác định thông số đầu vào; bước 2: thiết kế rô to giả (dummy rotor); bước 3: so sánh đặc trưng vật lý của rô to giả và rô to nguyên bản; bước 4: chế tạo rô to giả; bước 5: thử nghiệm bài toán cân chỉnh dao động động học rô to (rotordynamic).



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích này đề cập đến phương pháp thiết kế rôto giả (dummy rotor) thay thế cho hệ rôto bao gồm các đĩa quay phức tạp (lá compressor hay ở tuốc bin) của động cơ phản lực cũng như các loại động cơ yêu cầu độ chính xác cao về dao động trong quá trình tính toán và căn chỉnh cân bằng rôto.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Động học rôto (rotordynamic) là một lĩnh vực cơ học quan trọng, chủ yếu nghiên cứu sự rung động của các cấu trúc quay. Các thành phần chính của hệ quay rôto là trục quay, đĩa khối lượng và ổ đỡ vòng bi (*Hình 2*). Trục và các đĩa quay là thành phần quay chính của hệ thống. Ngày nay, các nghiên cứu về động học rôto (rotordynamics) đang được đẩy mạnh trong ngành công nghiệp động cơ phản lực. Lý do chính là động cơ phản lực được cấu tạo từ nhiều đĩa quay tạo thành một hệ thống động phức tạp được vận hành với tốc độ quay rất lớn dễ gây kích thích dao động trên trục quay rôto làm các đĩa chạm vào vỏ động cơ gây phá hoại nghiêm trọng động cơ. Vì thế bài toán nghiên cứu động học rôto về căn chỉnh cân bằng, hạn chế dao động rôto không thể bỏ qua trong tính toán thiết kế động cơ.

Hiện nay, với sự chạy đua không ngừng nghỉ của khoa học kỹ thuật nói chung và ngành hàng không vũ trụ nói riêng. Việc ứng dụng động cơ phản lực đang được nghiên cứu phát triển rộng rãi không chỉ ở các nước phát triển mà còn được triển khai ở một số nước đang phát triển. Việt Nam cũng nằm trong khối nước đang đặt những bước đi đầu trong công nghiệp nghiên cứu sản xuất động cơ phản lực cho tàu thủy, máy bay, tên lửa hay các thiết bị mang tầm vóc vũ trụ.

Đã có nhiều nghiên cứu và ứng dụng mô hình rôto giả trong thiết kế chế tạo rôto động cơ phản lực ở những nước phát triển trên thế giới nhưng chưa có một quy trình thiết

kế cụ thể nào. Giải pháp hữu ích này đưa ra phương pháp và quy trình thiết kế chế tạo rôto giả cho động cơ phản lực ứng dụng với các động cơ có cấu tạo phức tạp.

Trong động cơ phản lực, hệ quay rôto luôn đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong lúc vận hành khi làm nhiệm vụ chuyển đổi thế năng nhiên liệu thành động năng dòng phản lực. Động cơ phản lực nói chung và hệ quay rôto nói riêng là sản phẩm làm việc trong điều kiện đặc thù với nhiệt độ và áp suất cao, đòi hỏi thiết kế và công nghệ chế tạo đặc biệt. Để đảm bảo động cơ làm việc ổn định, tin cậy thì bài toán thiết kế kết cấu của rôto luôn được tính toán tỉ mỉ đặc biệt là các yêu cầu kỹ thuật cực kỳ nghiêm khắc trong dao động của rôto. Mục đích của tính toán dao động hệ rôto động cơ phản lực được hiểu như sau: xác định đặc trưng cơ lý của hệ rôto và độ cứng ổ đỡ của hệ quay rôto; xác định các tần số dao động riêng của rôto và xác định các mode dao động ứng với các tần số riêng đã xác định; xác định các dải tần số mà ở đó xuất hiện hiện tượng cộng hưởng trên rôto; xác định khối lượng mất cân bằng động ứng với loại rôto đã thiết kế thông qua tiêu chuẩn cân bằng dao động; xác định biên độ dao động lớn nhất và các giá trị vận tốc và gia tốc dao động tại tần số có cộng hưởng; từ giá trị biên độ dao động lớn nhất, nghiên cứu và đưa ra hệ số giảm chấn dao động và thiết kế ngược lại ổ đỡ ban đầu với độ cứng tương đương.

Kết quả là chúng ta sẽ kiểm soát được dao động của rôto trong khi vận hành động cơ. Nhưng thông thường động cơ phản lực luôn có cấu tạo hệ quay rôto phức tạp với buồng nén dọc trục và tuabin nhiều tầng cùng với kết cấu lá phức tạp. Nên trên thực tế nếu giải bài toán dao động trên rôto thực của động cơ phản lực là rất phức tạp và khối lượng tính toán là rất lớn cùng với giá thành cao trong khâu chế tạo thử nghiệm.

Do đó, nhóm tác giả giải pháp hữu ích đã đề xuất một phương pháp thiết kế rôto giả (dummy rotor) thay thế cho hệ rôto bao gồm các đĩa quay phức tạp (cánh lá đĩa nén hay ở tuốc bin) có thể ứng dụng trong quá trình cân chỉnh dao động cho động cơ phản lực cũng như các quá trình vận hành tương tự.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Với tình trạng kỹ thuật như trên, mục đích của giải pháp hữu ích là đề xuất phương pháp thiết kế rôto giả trong quá trình cân chỉnh dao động cho động cơ phản lực. Giải pháp hữu ích đề xuất nhằm đưa ra mô hình đơn giản hóa kết cấu rôto bằng mô hình rôto giả (dummy rotor) có thể giảm khối lượng tính toán cực lớn với hệ quay thật trên phần mềm phần tử hữu hạn cũng như dễ dàng trong công đoạn sản xuất thử nghiệm nhưng cũng đảm bảo tuyệt đối tính chính xác trong bài toán dao động so với rôto nguyên bản.

Để đạt được mục đích nêu trên, phương pháp thiết kế rôto giả trong quá trình cân chỉnh dao động cho động cơ phản lực được đề xuất bao gồm các bước: bước 1: xác định thông số đầu vào; bước 2: thiết kế rôto giả (dummy rotor); bước 3: so sánh đặc trưng vật lý của rôto giả và rôto nguyên bản; bước 4: chế tạo rôto giả; bước 5: thử nghiệm bài toán cân chỉnh dao động động học rôto (rotordynamic).

Trong quy trình này, toàn bộ quá trình tính toán được thực hiện trên hệ thống máy tính sử dụng kết quả tính toán ngay sau khi quá trình tính toán hoàn thành.

Mô tả tóm tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ giản đồ các bước thực hiện phương pháp;

Hình 2 là hình vẽ mô hình đơn giản hệ quay rôto;

Hình 3 là hình vẽ cấu tạo cánh lá;

Hình 4 là hình vẽ rôto và thông số vật lý rôto;

Hình 5 là hình vẽ mô hình quy đổi buồn nén;

Hình 6 là hình vẽ mô hình quy đổi tuốc bin;

Hình 7 là hình vẽ rôto giả động cơ VTJ và thông số;

Hình 8 là hình vẽ chế tạo rôto giả;

Hình 9 là hình vẽ cân chỉnh dao động rôto giả;

Mô tả chi tiết các phương án thực hiện giải pháp hữu ích

Phần sau đây mô tả rõ ràng và đầy đủ phương pháp thiết kế thiết kế rôto giả (dummy rotor) thay thế cho hệ rôto bao gồm các đĩa quay phức tạp (cánh lá đĩa nén hay ở tuốc bin) dựa vào các hình vẽ kèm theo. Phần mô tả sau đây của phương án chỉ là ví dụ mà không phải là tất cả phương án có thể của giải pháp hữu ích. Các sửa đổi và biến thể khác nhau của giải pháp hữu ích mà không có bất kỳ nỗ lực sáng tạo nào của người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực sẽ nằm trong phạm vi bảo hộ của giải pháp hữu ích.

Giải pháp hữu ích đề ra phương pháp thiết kế thiết kế rôto giả (dummy rotor) thay thế cho hệ rôto bao gồm các đĩa quay phức tạp (lá đĩa nén hay ở tuốc bin) theo một quy trình rõ ràng, sử dụng các công thức thực nghiệm hoặc giải tích phù hợp, được lập trình sẵn trong công cụ tính toán. Theo một phương án của giải pháp hữu ích, tham chiếu hình 1, phương pháp thiết kế rôto giả sử dụng trong quá trình cân chỉnh dao động cho động cơ phản lực được thực hiện tuần tự như sau:

Bước 1: xác định thông số đầu vào.

Với bài toán động học dao động, các thông số cần thiết cần xác định bao gồm: khối lượng, thể tích, vật liệu, trọng tâm trục, mô men quán tính theo các phương của rôto, vật liệu ứng với từng phần của rôto.

Việc xác định các thông số đầu vào được thực hiện qua phần mềm thiết kế (CadCam) trên bản vẽ chi tiết rôto nguyên bản trước khi chế tạo.

Bước 2: thiết kế rôto giả (dummy rotor).

Bước này sẽ tiến hành thiết kế rôto sử dụng các thông số đầu vào từ bước 1.

Xác định các chi tiết có cấu tạo phức tạp cần quy đổi mà không ảnh hưởng đến dao động rôto của động cơ.

Các chi tiết có cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo như trục quay động cơ, các đĩa quay ở tầng nén và của tuốc bin, cổ truyền động tuốc bin, các tầng liên kết buồng nén được giữ nguyên không thay đổi khi quy đổi mô hình rôto giả.

Nguyên lý của bài toán dao động chỉ xét đến chuyển vị và đặc trưng dao động trục quay hay trạng thái mất cân bằng rôto do kích thích dao động khi vận hành ở tốc độ quay

cao. Chúng ta hoàn toàn không xét đến ảnh hưởng cơ học về biến dạng do lực hay nhiệt độ cao của các chi tiết trên đĩa quay. Nên hoàn toàn có thể quy đổi các chi tiết có cấu tạo phức tạp trên đĩa quay về các cấu kiện mới có cấu tạo đơn giản hơn nhiều. Đối với rôto động cơ phản lực, các chi tiết phức tạp nằm trên đĩa quay của buồng nén và tuốc bin. Các chi tiết phức tạp là các chân cánh lá và cánh lá với những góc xoắn theo hai phương dùng để giảm vận tốc, tăng áp suất và truyền năng lượng cho dòng khí qua các tầng (Hình 5).

Việc xây dựng mô hình rôto giả đảm bảo nghiêm khắc các nguyên lý sau:

- Đóng vai trò là rôto thật trong bài toán cân chỉnh dao động với độ chính xác cao.
- Không thay đổi thể tích rôto nguyên bản.
- Tọa độ trọng tâm trục đúng với rôto nguyên bản để tránh lệch tâm gây sai số khi cân chỉnh rôto.
- Mô men quán tính không thay đổi so với rôto nguyên bản để đảm bảo tính chính xác khi chuyển động quay của rôto giả khi tiến hành cân chỉnh.
- Kích thước đĩa hợp lí để tiến hành chế tạo mẫu thử nghiệm, tránh xây dựng mô hình rôto giả công kênh gây bất lợi cho quá trình chế tạo cũng như cân chỉnh rôto.
- Giải pháp hữu ích tạo ra 1 giải pháp đơn giản và tin cậy, tránh sử dụng các cấu kiện phức tạp trên rôto gây tăng khối lượng tính toán, và khó khăn cho quá trình chế tạo.
- Giải pháp hữu ích tạo ra đột phá trong cách tiếp cận vấn đề tính toán dao động của rôto động cơ phản lực.

Theo một phương án của giải pháp hữu ích, sau đây đề cập đến ví dụ về việc thiết kế rôto giả với máy nén dọc trục gồm nhiều tầng, các dãy cánh lắp trên các đĩa liên kết với nhau, chúng tạo ra rôto máy nén. Cánh nén có cấu tạo phức tạp với những góc xoắn theo hai phương dùng để giảm vận tốc, tăng áp suất và truyền năng lượng cho dòng khí qua các tầng. Các cánh được phân bố đều trên đĩa nén được quy đổi về đĩa rắn đồng tâm trục quay nhằm giảm tiết diện rôto, đơn giản hóa đĩa quay.

Tuốc bin của rôto có cấu tạo tương tự các đĩa nén nên cũng được qui đổi các cánh về dạng đĩa rắn đồng tâm với trục quay. Việc tọa độ trọng tâm trục đúng với rôto nguyên bản để tránh lệch tâm gây sai số khi căn chỉnh rôto

Bước 3: So sánh đặc trưng vật lý của rôto giả và rôto nguyên bản.

Các đặc trưng vật lý cần thiết cho dao động được xác định lại trên rôto giả bằng phần mềm thiết kế cơ khí (Hình 7).

Sau khi có được thiết kế chi tiết rôto giả, các đặc trưng vật lý như khối lượng, trọng tâm trục, mô men quán tính được tính lại với rôto giả và so sánh với thông số ban đầu của rôto nguyên bản.

Trên thực tế, rất khó để thiết kế một rôto giả với độ chính xác tuyệt đối so với rôto ban đầu nên bài toán dựng mô hình rôto giả được phép sai số trong giới hạn 1%, khi sai số vượt quá giới hạn cho phép cần thực hiện lại quá trình quy đổi thiết kế rôto giả.

Bước 4: chế tạo rôto giả.

Khi rôto được thiết kế và đảm bảo yêu cầu về độ chính xác ở bước 3, tiến hành chế tạo rôto giả theo bản vẽ thiết kế.

Rôto giả sử dụng cùng loại vật liệu với rôto nguyên bản để đảm bảo độ chính xác phân bố khối lượng trên một đơn vị thể tích không gây ảnh hưởng và sai số đến đặc tính quay của rôto.

Rôto giả được chế tạo qua chu trình cơ khí: cắt phôi – tiện thô – tiện CNC – nhiệt luyện – mạ - tiện tinh – kiểm tra dung sai kích thước thiết kế - kiểm tra dung sai hình dạng.

Bước 5: Thử nghiệm bài toán căn chỉnh dao động động học rôto (rotordynamic).

Rôto giả thay thế rôto nguyên bản trong thử nghiệm bài toán động học rôto để xác định biên độ, vận tốc và gia tốc dao động trục quay khi vận hành.

Tiến hành thử nghiệm bài toán căn chỉnh dao động động học rôto (rotordynamic). Rôto giả được vận hành với tốc độ quay tương đương 100% tốc độ quay danh định của

rôto nguyên bản. Các đặc trưng dao động được đo lại bằng gia tốc kế đặt ở hai ổ đỡ (Hình 9).

Xác định khối lượng mất cân bằng động đối với khối lượng và tốc độ quay tương ứng của rôto theo tiêu chuẩn cân bằng động vật quay ISO 1940/1. Cấp chất lượng cân bằng động động cơ phản lực thường được lấy với độ chính xác cao G1 của tiêu chuẩn. Khối lượng mất cân bằng động được tính:

$$U_{per} = 9549 \times G \times W/N$$

G = Cấp cân bằng động (ISO 1940/1)

W = Khối lượng rotor (kg)

N = Tốc độ quay lớn nhất của rotor (RPM)

Ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích

Giải pháp hữu ích về quy trình thiết kế và chế tạo rôto (dummy rotor) cho động cơ phản lực sẽ rõ ràng hơn qua ví dụ sau về mô hình rôto giả đã được thiết kế cho rôto động cơ phản lực VTJ 400.

Bước 1: xác định thông số đầu vào.

Tham chiếu hình 4, rôto động cơ VTJ 400 có cấu tạo hệ quay phức tạp gồm buồng nén dọc trục 4 tầng và tuốc bin. Trục chính dạng nón mở rộng từ phần truyền động quay về buồng nén. Chuyển động quay được truyền qua bích tuốc bin. Động cơ VTJ có chiều dài tối đa 750mm và khối lượng 18.645kg làm việc trong điều kiện đặc biệt với nhiệt độ và tốc độ quay lớn (23000 RPM). Hai gối đỡ của rôto là ổ đỡ đàn hồi giúp tránh dạng dao uốn trên trục rôto.

Các thông số vật lý rôto động cơ VTJ 400 được thể hiện cụ thể như sau:

Tỷ trọng	7.904 g/cm ³	Yêu cầu độ chính xác	Thấp
Thông số chung			
Mass	28.8733 kg	X	-248.910 mm

Area	1775244.798 mm [^]	Y	9.353 mm
Volume	3652936.505 mm [^]	Z	-0.004 mm
Thông số cụ thể			
Ixx	220130.180 Kg	Iyy	3211376.433 Kg mm ^{^2}
Ixy	67301.687 Kg	Iyz	9.751 kg mm ^{^2}
Ixz	-6.271 kg mm ^{^2}	Izz	3213858.174 kg mm ^{^2}

Bước 2: thiết kế rôto giả

Tham chiếu hình 5 và hình 6, các cánh trên buồng nén và tuốc bin được quy đổi về đĩa rắn với kích thước phù hợp không quá lớn gây cản trở quá trình chế tạo và đảm bảo các nguyên lý ở mục 4.

Các trục rôto được giữ nguyên như rôto nguyên bản.

Bước 3: So sánh đặc trưng vật lý của rôto giả và rôto nguyên bản

Tham chiếu hình 7, sau khi quy đổi thu được mô hình rôto giả. Mô hình rôto giả này có các thông số vật lý mới, cụ thể như sau:

Thông số chung			
Mass	28.835 kg	X	-249.145 mm
Area	1545953.443 mm [^]	Y	9.366 mm
Volume	3659632.142 mm [^]	Z	-0.000 mm
Thông số cụ thể			
Ixx	219412.38 kg.mm ²	Iyy	3210396.6 kg.mm ²
Ixy	67286.49 kg.mm ²	Iyz	5.404 kg.mm ²
Ixz	-0.025 kg.mm ²	Izz	3212921.1 kg.mm ²

Các thông số vật lý này sẽ được so sánh và đối chiếu với các thông số ban đầu của rôto nguyên bản. Bảng 1 sau đây thể hiện kết quả so sánh như sau:

Bảng 1: Bảng thông kế sai số mô hình

Đặc tính	Nguyên bản	Rôto giả	Sai số
Khối lượng (kg)	28.873	28.835	0.13 %
X (mm)	-248.91	-249.14	0.09 %
Y (mm)	9.353	9.366	0.14 %
Z (mm)	-0.004	0.00	0.00 %
Ixx (kg.mm ²)	220130.18	219412.38	0.33 %
Iyy (kg.mm ²)	3211376.4	3210396.6	0.03 %
Izz (kg.mm ²)	3213858.1	3212921.1	0.03 %
Ixy (kg.mm ²)	67301.68	67286.49	0.02 %

Nhận thấy rằng, sai số quy đổi mô hình của rôto VTJ 400 đều $< 1\%$ (sai số quy đổi cho phép).

Theo đó, có thể tiếp tục sử dụng thông số của rôto giả này ứng dụng chế tạo thực tế và thay thế rôto thật trong quá trình cân bằng giao động.

Bước 4: chế tạo rôto giả

Từ bản vẽ thiết kế rôto giả được chế tạo theo quy trình cơ khí: Cắt phôi – tiện thô – tiện CNC – nhiệt luyện – mạ - tiện tinh – kiểm tra dung sai kích thước thiết kế - kiểm tra dung sai hình dạng.

Bước 5: thử nghiệm toán căn chỉnh dao động động học rôto (rotordynamic)

Rôto giả động cơ VTJ 400 được thử nghiệm với tốc độ quay 23000 RPM. Các đặc trưng dao động được đo bằng gia tốc kế.

Khối lượng mất cân bằng được tính với cấp chất lượng G1.

$$U_{per} = 9549 \times G \times W/N = 7.74 \text{ (g.mm)}$$

$$G = 1$$

$$W = 18.645 \text{ (kg)}$$

$$N = 23000 \text{ (RPM)}$$

Các lợi ích mà giải pháp hữu ích đạt được

Giải pháp hữu ích cho phép tạo ra mô hình rôto đơn giản với kết cấu đơn giản, giá thành rẻ và có thể gia công, chế tạo, căn chỉnh dao động tại Việt Nam. Mô hình rôto giả này có thể hoàn toàn thay thế rôto thật cho bài toán động học rôto.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp thiết kế rôto giả sử dụng trong quá trình cân chỉnh dao động cho động cơ phản lực, bao gồm các bước:

bước 1: xác định thông số đầu vào: khối lượng, thể tích, vật liệu, trọng tâm trục, mô men quán tính theo các phương của rôto, vật liệu ứng với từng phần của rôto;

bước 2: thiết kế rôto giả (dummy rotor) cụ thể: quy đổi các chi tiết có cấu tạo phức tạp trên đĩa quay về các cấu kiện mới có cấu tạo đơn giản hơn;

bước 3: so sánh đặc trưng vật lý của rôto giả và rôto nguyên bản: tính lại các đặc trưng vật lý như khối lượng, trọng tâm trục, mô men quán tính của rôto giả và so sánh với thông số ban đầu của rôto nguyên bản;

bước 4: chế tạo rôto giả: rôto giả sử dụng cùng loại vật liệu với rôto nguyên bản và được chế tạo qua chu trình cơ khí nhất định;

bước 5: thử nghiệm bài toán cân chỉnh dao động động học rôto (rotordynamic), cụ thể: rôto giả được vận hành với tốc độ quay tương đương 100% tốc độ quay danh định của rôto nguyên bản.

2. Phương pháp thiết kế rôto giả sử dụng trong quá trình cân chỉnh dao động cho động cơ phản lực theo điểm 1, trong đó tại bước thiết kế rôto giả:

các định các chi tiết có cấu tạo phức tạp cần quy đổi mà không ảnh hưởng đến dao động rôto của động cơ là các chân cánh lá và cánh lá với những góc xoắn theo hai phương;

các chi tiết có cấu tạo đơn giản, dễ chế tạo được giữ nguyên không thay đổi khi quy đổi mô hình rôto giả như trục quay động cơ, các đĩa quay ở tầng nén và của tuốc bin, vỏ truyền động tuốc bin, các tầng liên kết buồng nén.

3. Phương pháp thiết kế rôto giả sử dụng trong quá trình cân chỉnh dao động cho động cơ phản lực theo điểm 1, trong đó tại bước so sánh đặc trưng vật lý của rôto giả và rôto nguyên bản,

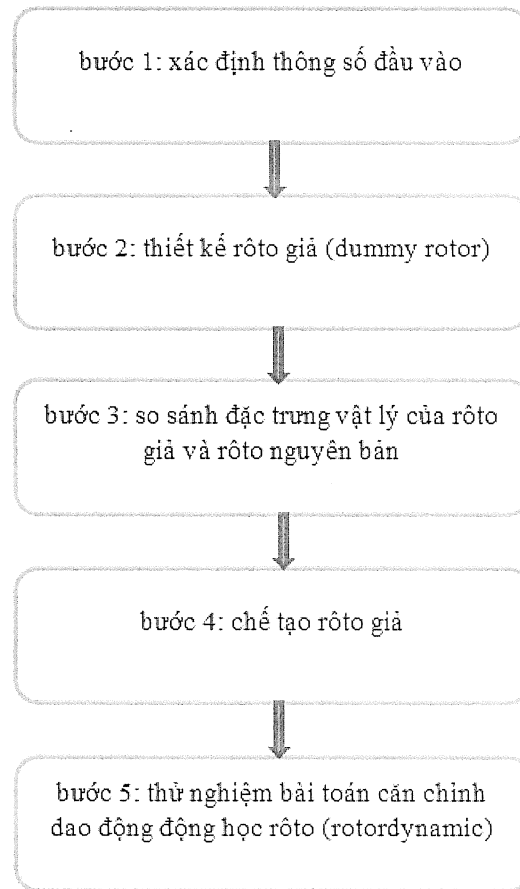
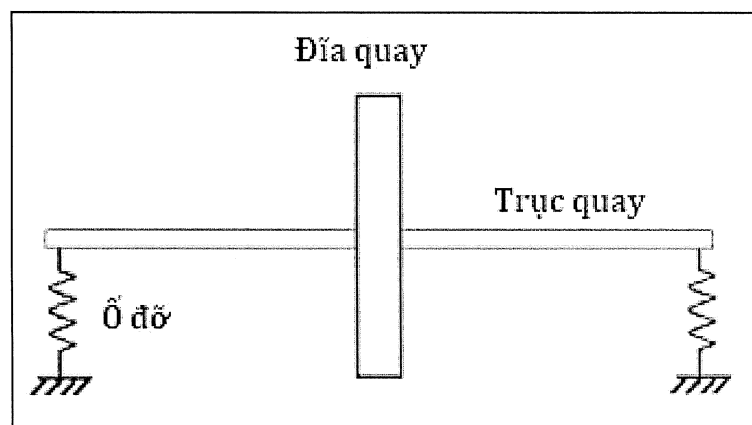
bài toán dựng mô hình rôto giả được phép sai số trong giới hạn 1%;

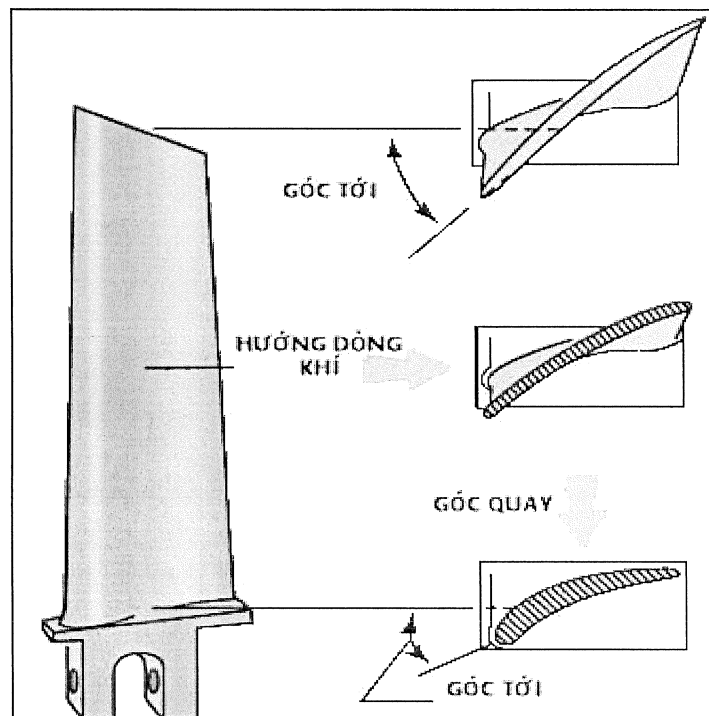
khi sai số vượt quá giới hạn cho phép cần thực hiện lại quá trình quy đổi thiết kế rôto giả.

4. Phương pháp thiết kế rôto giả sử dụng trong quá trình cân chỉnh dao động cho động cơ phản lực theo điểm 1, trong đó tại bước thử nghiệm bài toán cân chỉnh dao động động học rôto (rotordynamic):

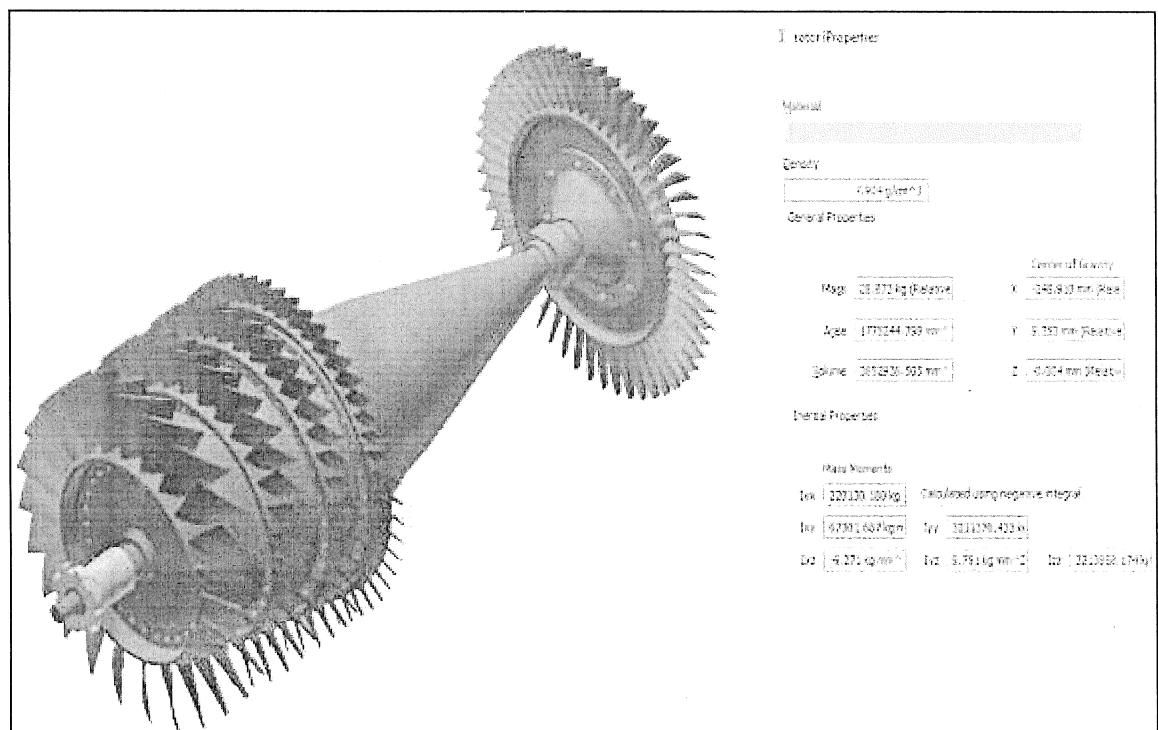
các đặc trưng dao động được đo lại bằng gia tốc kế đặt ở hai ổ đỡ;

xác định khối lượng mất cân bằng động đối với khối lượng và tốc độ quay tương ứng của rôto theo tiêu chuẩn.

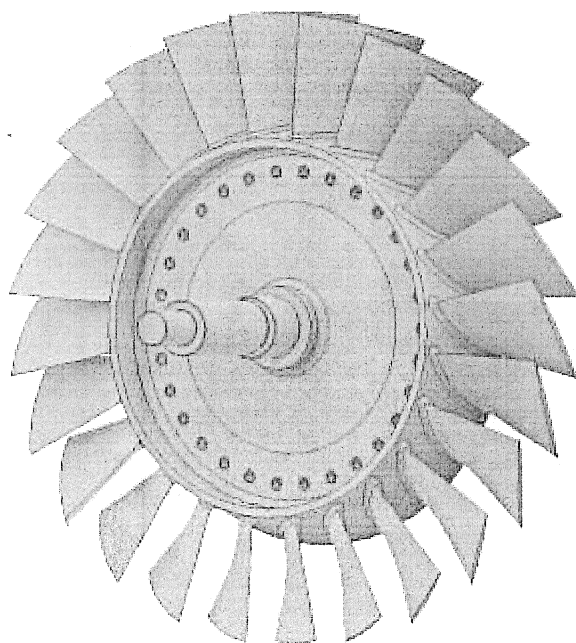
Hình vẽ*Hình 1**Hình 2*



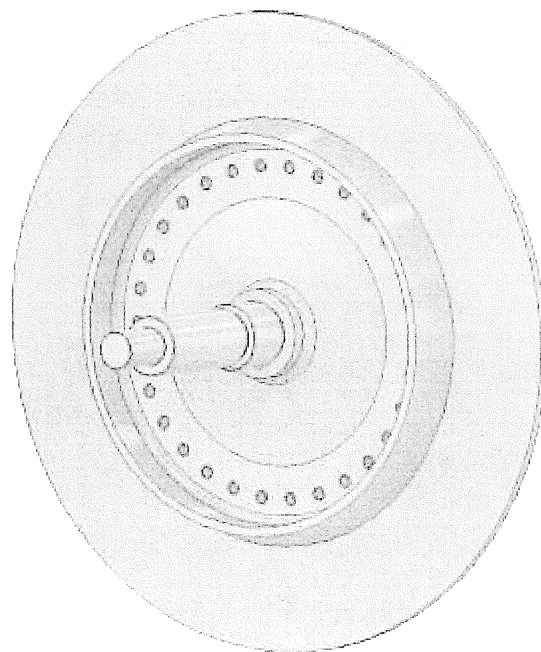
Hình 3



Hình 4

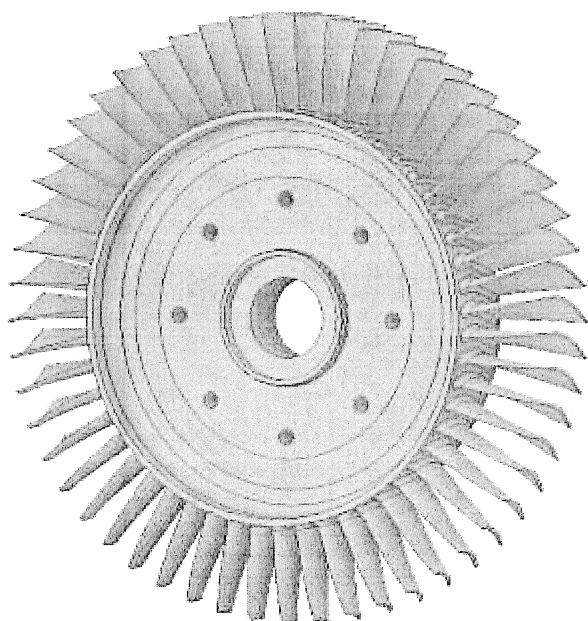


a, Tầng một máy nén

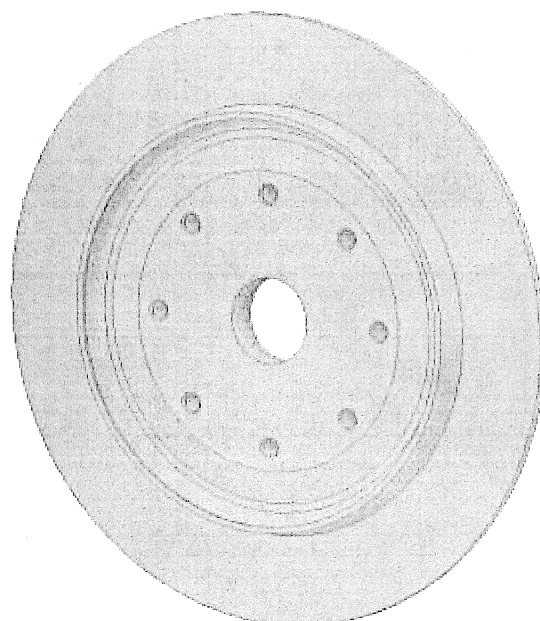


b, Tầng 1 máy nén quy đổi

Hình 5

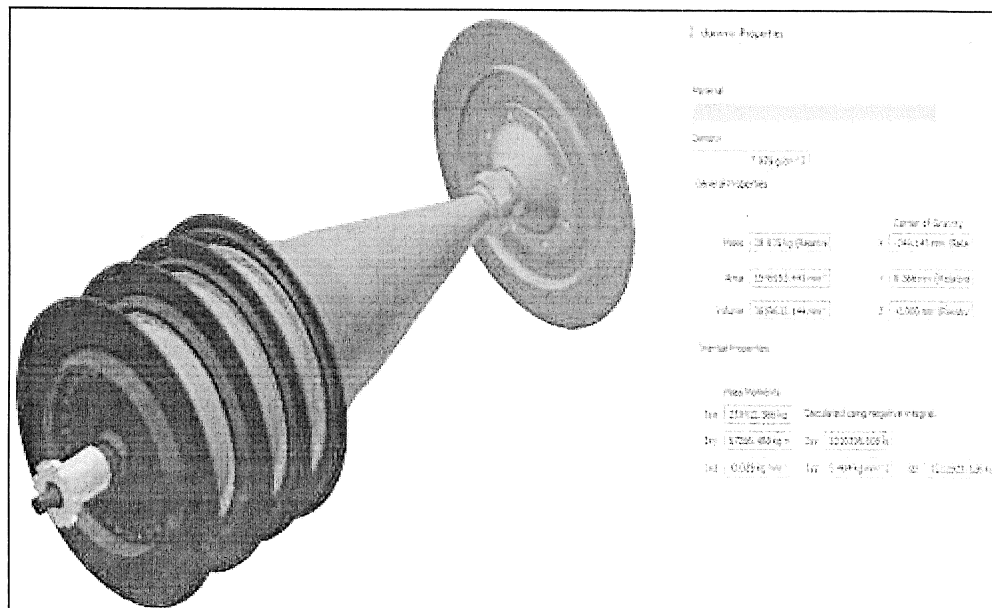


a, Tuốc bin

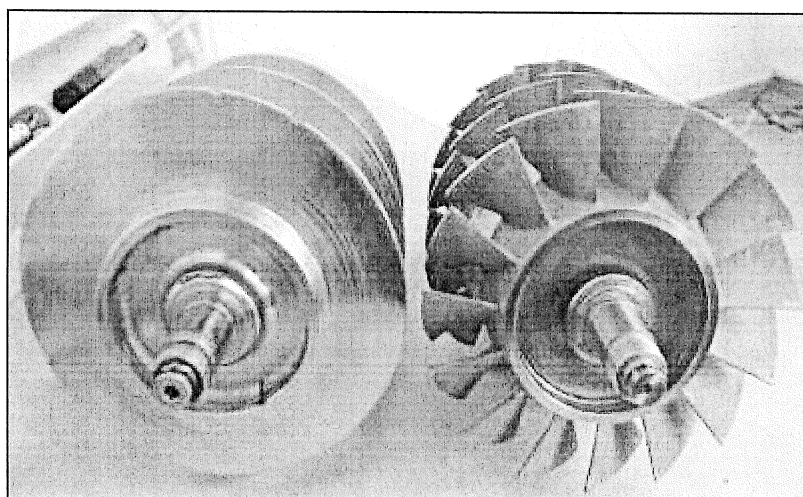


b, Dummy tuốc bin

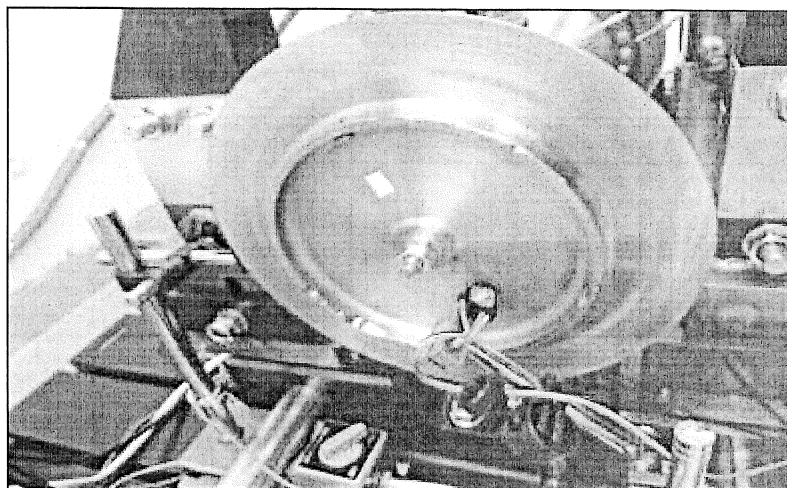
Hình 6



Hình 7



Hình 8



Hình 9