

PHÂN TÍCH CÁC THÔNG SỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN Ổ TRỤC THỦY LỰC

ANALYSIS OF PARAMETERS THAT INFLUENCE TO HYDRAULIC BEARING

Ngô Văn Thanh

Khoa Cơ khí và Động lực, Trường Đại học Điện lực

TÓM TẮT

Ổ trục thủy lực có vai trò quan trọng trong kết cấu của hệ rotor – ổ trục. Độ cứng, độ cản nhớt của ổ trục là các tham số chính, ảnh hưởng đến độ dao động và độ ổn định của cơ hệ. Khi vận hành hệ rotor - ổ trục thủy lực, các tham số này biến thiên theo tốc độ quay của rotor. Bài báo này, tiến hành khảo sát sự thay đổi của ma trận độ cứng, ma trận cản nhớt của ổ trục thủy lực từ khi khởi động đến tốc độ làm việc ổn định. Qua đó, tìm ra các thông số của ổ trục thủy lực có thể gây ra mất ổn định khi vận hành của máy. Từ kết quả phân tích cho thấy, các thành phần không nằm trên đường chéo chính của ma trận độ cứng, ma trận độ cản nhớt là nguyên nhân chính gây cho hệ rotor - ổ trục mất đi tính đối xứng và làm mất ổn định khi làm việc.

Từ khóa: Ổ trục thủy lực; Hệ rotor - Ổ trục; Ma trận độ cứng; Ma trận cản nhớt; Mất ổn định.

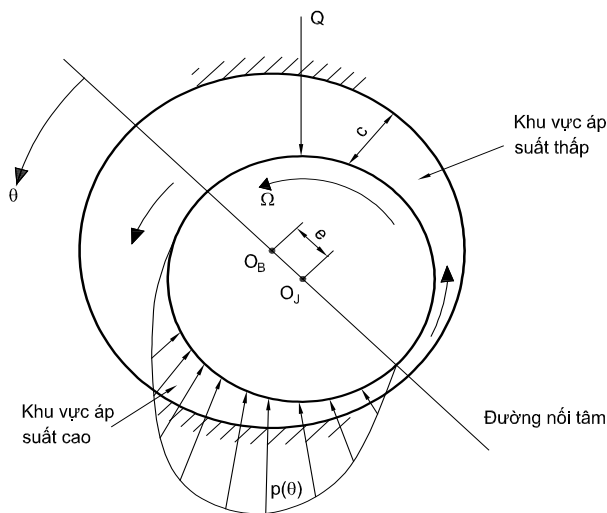
ABSTRACT

Hydraulic bearing plays an important role in the structure of the rotor-bearing system. The stiffness and damping of the bearing are the main parameters affecting the vibration and the stability of the system. When operating, these parameters vary with the rotational speed of the rotor. This paper investigates the change of stiffness matrix, and damping matrix of hydraulic bearings from starting to stable working speed. Thereby, find out the parameters of the hydraulic bearing that can cause instability when operating the machine. The results showed that the components are not on the main diagonal of the stiffness matrix, the damping matrix is the main cause of the rotor-bearing system losing its symmetry and causing instability.

Keywords: Hydraulic bearing; Rotor-bearing system; Stiffness matrix; Damping matrix; Instability.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình vận hành, rotor thường quay ở tốc độ cao và gây ra dao động nếu như không được cân bằng tốt. Điều này, sẽ làm ảnh hưởng đến độ mất ổn định khi làm việc, làm tăng hao mòn và giảm tuổi thọ của các chi tiết máy [1]. Đối với các trục rotor cỡ lớn, ổ trục thủy lực được sử dụng phổ biến. Tuy nhiên, độ cứng của ổ trục thủy lực có ảnh hưởng đáng kể đến độ dao động cũng như độ ổn định khi vận hành của hệ trục [2].



Hình 1. Mô hình tính ổ trục

Quan sát hình 1 có thể thấy rằng, tại vị trí cân bằng áp suất của chêm dầu cân bằng với tải trọng. Nếu như thay đổi tải trọng Q tác dụng lên ngồng trục, một vị trí cân bằng mới sẽ hình thành và áp suất chêm dầu cũng thay đổi tương ứng. Do đó, có thể coi ổ trục thủy lực như một hệ lò xo - giảm chấn [2]. Khi làm việc, nhờ sự lệch tâm của ngồng trục (O_B) và tâm của ổ trục (O_J) các màng dầu sẽ cuốn theo chiều quay của trục và tạo chêm dầu nâng ngồng trục lên. Áp suất thủy động trong chêm dầu được tạo thành phụ thuộc vào chuyển động của ngồng trục và độ nhớt của dầu. Áp suất này có ảnh hưởng lớn đến độ cứng của ổ trục cũng và nó cũng là

nguyên nhân chính gây ra độ mất ổn định của hệ trục [3,4].

Khi tính toán dao động của hệ trục, do tốc độ trục thay đổi, hệ số độ cứng, hệ số cản nhớt của ổ trục cũng thay đổi theo và là một hàm số của độ lệch tâm giữa ngồng trục và ổ trục.

2. PHÂN TÍCH MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

2.1. Ma trận độ cứng và độ cản nhớt của ổ trục thủy lực

Ma trận độ cứng và ma trận cản nhớt của ổ trục thủy lực (loại ổ trục ngắn) được cho như sau [1, 2, 5]:

$$K_{\varepsilon} = \frac{f}{c} \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{bmatrix}, \quad C_{\varepsilon} = \frac{f}{c\Omega} \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} \\ C_{yx} & C_{yy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó: f là tải trọng tác dụng lên ổ trục, c là khe hở hướng kính, Ω là tốc độ quay của rotor.

Các thông số của ma trận độ cứng:

$$\begin{aligned} K_{xx} &= h_0 \times 4(\pi^2(2 - \varepsilon^2) + 16\varepsilon^2) \\ K_{xy} &= h_0 \times \frac{\pi(\pi^2(1 - \varepsilon^2)^2 - 16\varepsilon^4)}{\varepsilon\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \\ K_{yx} &= -h_0 \times \frac{\pi(\pi^2(1 - \varepsilon^2)(1 + 2\varepsilon^2) + 32\varepsilon^2(1 + \varepsilon^2))}{\varepsilon\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \\ K_{yy} &= h_0 \times 4\left(\pi^2(1 + 2\varepsilon^2) + \frac{32\varepsilon^2(1 + \varepsilon^2)}{(1 - \varepsilon^2)}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

Các thông số của ma trận cản nhớt.

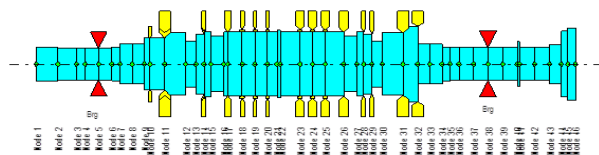
$$\begin{aligned} C_{xx} &= h_0 \times \frac{2\pi\sqrt{1 - \varepsilon^2}(\pi^2(1 + 2\varepsilon^2) - 16\varepsilon^2)}{\varepsilon} \\ C_{xy} &= C_{yx} = -h_0 \times 8(\pi^2(1 + 2\varepsilon^2) - 16\varepsilon^2) \\ C_{yy} &= h_0 \times \frac{2\pi(\pi^2(1 - \varepsilon^2)^2 + 48\varepsilon^2)}{\varepsilon\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \end{aligned} \quad (3)$$

Với:

$$h_0 = \frac{1}{(\pi^2(1 - \varepsilon^2) + 16\varepsilon^2)^{3/2}} \quad (4)$$

2.2. Xây dựng mô hình hệ rotor- ổ trục thủy lực

Để khảo sát ảnh hưởng của độ cứng, độ giảm chấn của ổ trục thủy lực đến hệ rotor - ổ trục, mô hình hệ rotor- ổ trục được xây dựng bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) như hình 2 [4, 6]. Trong đó, vị trí của ổ trục thủy lực được đặt tại nút thứ 5 (node 5) và nút thứ 37 (node 37). Các thông số của hệ rotor - ổ trục được cho trong bảng 1.



Hình 2. Mô hình hệ rotor - ổ trục

Bảng 1. Các thông số của hệ rotor - ổ trục:

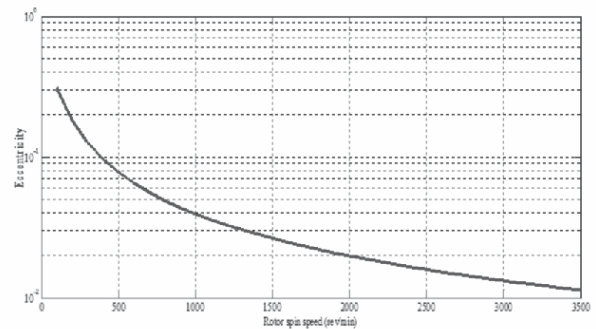
Khối lượng:	W	80,508kg
Chiều dài rotor:	L	9310mm
Khối lượng riêng:	ρ	7850kg/m ³
Young modulus:	E	212x10 ⁹ N/m
Vị trí đặt ổ trục		#4, #37
Chiều dài ổ trục:	L _b	300mm
Đường kính ổ trục:	D _b	900mm
Tải trọng tại ổ trục:	Q	3.9x10 ⁵ N
Khe hở hướng kính:	c	0.1mm
Độ nhớt của dầu:	η	0.1 Pas

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

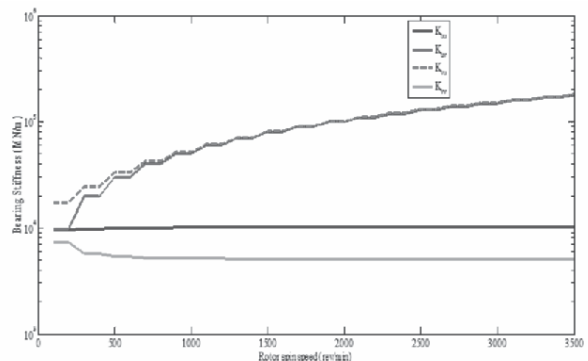
3.1. Biến thiên của độ cứng, độ giảm chấn thủy lực theo độ lệch tâm

Khi rotor quay, độ lệch tâm của ngỗng trục và ổ trục ϵ là hàm số của tốc độ quay Ω . Có thể thấy, khi tốc độ rotor tăng lên, độ lệch tâm ϵ giảm dần và tiệm cận với tâm của ổ trục (O_B).

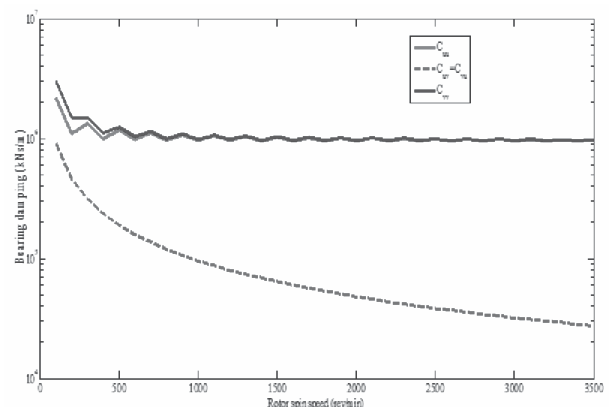
Tuy nhiên, quy luật thay đổi này không tuyến tính, độ lệch tâm biến thiên lớn khi rotor quay ở tốc độ thấp tương ứng với lúc mới vận hành. Khi tốc độ rotor tăng lên thì mức độ biến thiên của độ lệch tâm giảm dần. Do vậy, khi rotor làm việc ổn định thì các thông số của ổ trục cũng ít ảnh hưởng đến chế độ làm việc hơn.



Hình 3. Biến thiên của hệ số lệch tâm ϵ theo tốc độ quay



Hình 4. Biến thiên độ cứng ổ trục theo Ω



Hình 5. Biến thiên giảm chấn ổ trục theo Ω

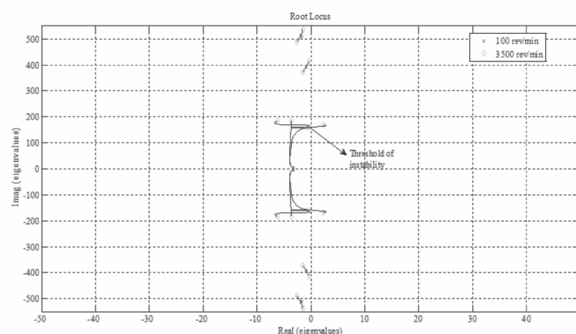
Hình 4 và hình 5 là quy luật biến thiên của các hệ số ma trận độ cứng và độ cản nhớt của ổ trục theo hàm của tốc độ quay Ω . Có thể thấy, các hệ số nằm trên đường chéo chính của ma trận (ma trận 2×2) hầu như rất ít phụ thuộc vào tốc độ quay của rotor. Tuy nhiên, các thành phần không nằm trên đường chéo chính K_{xy} , K_{yx} , C_{xy} , C_{yx} có sự biến thiên rất rõ rệt, nhất là khi rotor mới làm việc. Tuy nhiên, khi tốc độ rotor tăng lên thì các thành phần biến thiên chậm, tức là mức độ ổn định của các tham số ổ trục cao hơn. Tốc độ quay của rotor càng cao thì tham số độ cứng tăng lên, tham số độ cản nhớt giảm xuống. Một số kết quả tính toán cụ thể ở các tốc độ quay khác nhau được chỉ ra trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán độ cứng và giảm chấn của ổ trục thủy lực theo Ω :

Tốc độ Ω vòng/phút	K_{xx} (N/m)	K_{xy} (N/m)	K_{yx} (N/m)	K_{yy} (N/m)	C_{xx} (Ns.m)	$C_{xy}, -C_{yx}$ (Ns.m)	C_{yy} (Ns.m)
500	9.96E+9	2.99E+10	-3.31E+10	5.46E+9	1.58E+6	2.51E+5	2.51E+6
1000	9.98E+9	5.50E+10	-5.66E+10	5.14E+9	6.24E+5	6.31E+4	7.23E+5
1500	1.0E+10	7.98E+10	-8.11E+10	5.08E+9	5.88E+5	3.9E+4	6.87E+5
2000	1.0E+10	1.05E+11	-1.06E+11	5.06E+9	5.86E+5	3.16E+4	6.81E+5
2500	1.0E+10	1.30E+11	-1.31E+11	5.06E+9	5.72E+5	2.51E+4	6.78E+5
3000	1.0E+10	1.55E+11	-1.56E+11	5.06E+9	5.70E+5	2.24E+4	6.74E+5
3500	1.0E+10	1.78E+11	-1.8E+11	5.06E+9	5.56E+5	2.10E+4	6.71E+5

3.2. Khảo sát ảnh hưởng đến độ ổn định của hệ rotor - ổ trục

Khảo sát ảnh hưởng của các tham số ổ trục thủy lực đến độ ổn định của hệ rotor - ổ trục, tiến hành giải bài toán dao động và tìm nghiệm dưới dạng trị riêng ở dạng số phức [2,6]. Kết quả tính toán quỹ đạo trị riêng (Root Locus) được cho trên hình 6, với lưu ý là phần thực của trị riêng mang giá trị dương thể hiện rotor mất ổn định. Qua đó, có thể tìm được giá trị ngưỡng mất ổn định (Threshold instability) được chỉ ra trên hình 6.



Hình 6. Quỹ đạo trị riêng

Một số trị riêng ở các tốc độ quay khác nhau được cho trên bảng 3. Ở đây, xét ba cặp trị riêng đầu tiên, ứng với ba tần số dao động riêng đầu tiên của hệ. Có thể thấy, tại trị riêng của cặp thứ hai ở tốc độ quay 3500 vòng/phút $S=2.35 \pm 168.28j$, phần thực mang giá trị dương làm cho rotor bắt đầu mất ổn định. Có thể thấy, ở tốc độ quay này, các thành phần của ma trận độ cứng K_{xy} , K_{yx} làm mất tính chất đối xứng của ma trận độ cứng gây ra. Khi rotor làm việc mất ổn định sẽ gây ra các nguy hiểm như phá vỡ ổ trục, phá vỡ các kết cấu máy và làm hỏng máy.

Bảng 3. Đặc trưng nghiệm của hệ rotor - ổ trục thủy lực:

Tốc độ Ω (vòng/phút)	Trị riêng (Eigenvalues, rad/s)		
	Cặp thứ nhất	Cặp thứ hai	Cặp thứ ba
500	$-3.9 \pm 26.3j$	$-3.80 \pm 26.2j$	$-0.35 \pm 163.75j$
1000	$-3.9 \pm 52.4j$	$-3.86 \pm 52.42j$	$-0.37 \pm 163.1j$
1500	$-3.8 \pm 78.5j$	$-3.76 \pm 78.6j$	$-0.4 \pm 162.4j$
2000	$-3.85 \pm 104.75j$	$-3.56 \pm 104.8j$	$-0.42 \pm 161.7j$
2500	$-3.8 \pm 130.93j$	$-3.09 \pm 131.01j$	$-0.45 \pm 161.0j$
3000	$-3.74 \pm 157.11j$	$-0.65 \pm 157.33j$	$-0.48 \pm 160.35j$
3500	$-0.52 \pm 159.67j$	$2.35 \pm 168.28j$	$-3.65 \pm 183.3j$

4. KẾT LUẬN

Đối với ổ trục thủy lực, các tham số độ cứng, độ cản nhớt của nó thay đổi là hàm của tốc độ quay. Các giá trị K_{xy} , K_{yx} , C_{xy} , C_{yx} là các hệ số không nằm trên đường chéo chính của ma trận độ cứng, ma trận độ cản nhớt có độ biến thiên lớn khi thay đổi tốc độ quay của rotor. Các thành phần này gây ra tính chất bất đối xứng của ma trận độ cứng, ma trận cản nhớt làm mất đi tính đối xứng của cơ hệ. Đây chính là nguyên nhân dẫn đến sự mất ổn định của rotor khi làm việc. Biết được các giá trị này, khi vận hành có thể tránh được vùng làm việc nguy hiểm khác của rotor không phải tại vị trí cộng hưởng. ❖

Ngày nhận bài: 25/3/2022

Ngày phản biện: 02/4/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. John M. Vance. Rotordynamics of Turbomachinery. John Wiley & Son, 1988.
- [2]. Friswel M.I et al. Dynamics of Rotating Machine. New York, Cambridge University Press, 2010.
- [3]. Ngô Văn Thanh, Vũ Xuân Thiệp; *Phân tích yếu tố ảnh hưởng đến độ mất ổn định của hệ rotor-ổ trục*, Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, số 51-04/2016, 68-72.
- [4]. Sapietová, Alžbeta, and Vladimír Dekýš. Dynamic analysis of rotating machines in MSC. ADAMS. Procedia Engineering 136 (2016): 143-149.
- [5]. He, Minhui, James Byrne. Fundamentals of fluid film thrust bearing operation and modeling. In Asia Turbomachinery & Pump Symposium. 2018 Proceedings. Turbomachinery Laboratory, Texas A&M Engineering Experiment Station, 2018.
- [6]. Van Thanh Ngo et al. Dynamic analysis of a rig shafting vibration based on Finitite element. Front. Mech. Eng, 2013 (8), 244 – 251.