

TÍNH TOÁN DAO ĐỘNG XOẮN TỰ DO CỦA HỆ TRỤC TÀU THỦY VỚI CÁC THÀNH PHẦN CÓ ĐẶC TRƯNG ĐỘNG LỰC HỌC PHI TUYẾN PHỤ THUỘC TẦN SỐ
THE FREE TORSIONAL VIBRATION ANALYSIS OF SHIP SHAFTING WITH ELEMENTS HAVING NONLINEAR DYNAMIC CHARACTERISTICS DEPENDED ON THE FREQUENCY

PGS.TS NGUYỄN VĨNH PHÁT
Khoa Đóng Tàu, Trường ĐHHH
ThS. HOÀNG THỊ THU HUYỀN
Khoa Công Nghệ, Trường CĐ Cộng đồng Hải Phòng

Tóm tắt

Bài báo trình bày mô hình toán học phân tích dao động xoắn tự do của hệ trục tàu thủy với các thành phần có đặc trưng động lực học phi tuyến phụ thuộc tần số. Các kết quả tính toán chỉ ra hiệu quả của phân tích này nhằm cải thiện dao động xoắn của hệ trục tàu thủy.

Abstract

We, in this article, present the mathematical model for analysing the free torsional vibration of ship shafting with elements having nonlinear dynamic characteristics depended on the frequency is presented. The calculation result shows the effect of this analysis for improving the torsional vibration of ship shafting.

1. Đặt vấn đề

Hệ trục tàu thủy hiện đại được trang bị các thiết bị đàn hồi và giảm chấn. Các thiết bị này có các đặc trưng động lực học phi tuyến phụ thuộc vào tần số. Vì vậy khi tính toán dao động xoắn hệ trục tàu thủy đòi hỏi mô hình toán học và cách tính toán khác hẳn với trường hợp tuyến tính.

Cơ sở tính toán dao động xoắn tự do của hệ trục tàu thủy với các thành phần có đặc trưng động lực học phi tuyến phụ thuộc tần số.

a. Các phần tử trong hệ dao động có đặc trưng động lực học phi tuyến phụ thuộc tần số.

Các phần tử này là các phần tử liên kết đàn hồi hoặc giảm chấn với các hệ số cứng, cản, khối lượng thay đổi phụ thuộc vào tần số.

Xét ví dụ một số thiết bị sau:

+ Bộ cản ma sát Houde – Holset [2]

- Có khối lượng xác định theo công thức sau:

$$\theta = \frac{(\theta_G + \theta_R)}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_d}\right)^2} \quad (1)$$

Trong đó: θ_G, θ_R : mô men quán tính khối lượng của vành và vỏ thiết bị

ω_d : tần số đặt của thiết bị, rad/s

ω : tần số tự do của thiết bị, rad/s

- Có tỷ số cản [4]:

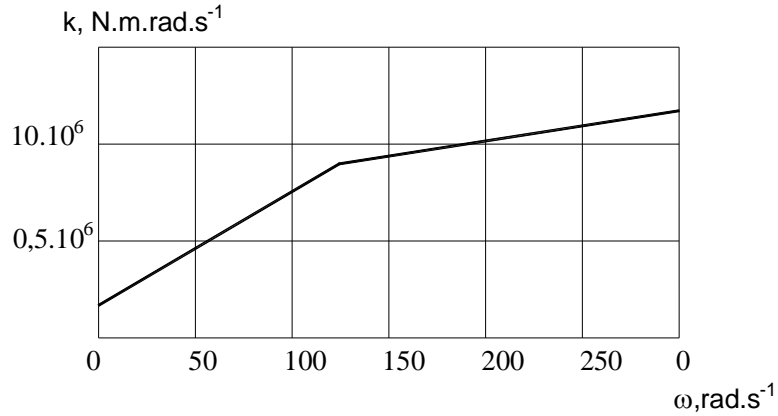
$$k_d = \frac{S_d}{J_d \cdot \omega} \quad (2)$$

Với: S_d : suất mô men cản

J_d : mô men khối lượng của thành phần cản

+ Khớp mềm Vulkan:

Có độ cứng phụ thuộc tần số theo đồ thị sau [2]

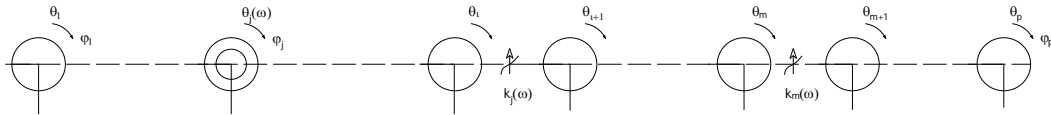


Có thể hàm hóa được công thức sau: $\omega, rad.s^{-1}$

$$k(\omega) = \begin{cases} (0,0031\omega + 0,4945) \cdot 10^6 & 0 < \omega \leq 131 \\ (0,00256\omega + 0,9) \cdot 10^6 & \omega > 131 \end{cases} \quad (4)$$

b. Mô hình dao động xoắn tự do của hệ có các thành phần phụ thuộc tần số

Tổng quát, ta đưa hệ trục về mô hình xoắn gồm p đĩa và p-1 đoạn trục liên kết. Giả sử hệ có mô men khối lượng của đĩa thứ j có đặc trưng phụ thuộc tần số và có các liên kết đàn hồi với hệ số cứng phụ thuộc tần số: k_i giữa đĩa i và i+1, k_m giữa đĩa m và m+1 như hình sau:



Với $\theta_i, \varphi_i = \varphi_i(t)$: mô men khối lượng chuyển vị xoắn tại đĩa i

k_i : độ cứng đoạn giữa đĩa i và i+1

Ta có phương trình dao động tự do của hệ là:

$$M(\omega)\varphi - K(\omega)\varphi = 0 \quad (5)$$

Trong đó:

$\varphi = \varphi(t)$: vec tơ chuyển vị xoắn $\varphi = [\varphi_i]_{p \times 1}$

$M(\omega)$: ma trận khối lượng có $\theta_j(\omega)$ phụ thuộc tần số là ma trận đường chéo chính

$$M(\omega) = \text{diag}[\theta_1, \dots, \theta_j(\omega), \dots, \theta_p]$$

$K(\omega)$: ma trận độ cứng có các độ cứng $k_i(\omega), k_m(\omega)$ phụ thuộc tần số, là ma trận 3 đường chéo chính:

$$K(\omega) = \begin{bmatrix} k_1 - k_1 \\ -k_1 \\ \dots \\ -k_{i-1}[k_{i-1} + k_i(\omega)] - k_i(\omega) \\ -k_i(\omega)[k_i(\omega) + k_{i+1}] - k_{i+1} \\ \dots \\ -k_{m-1}[k_{m-1} + k_m(\omega)] - k_m(\omega) \\ -k_m(\omega)[k_m(\omega) + k_{m+1}] - k_{m+1} \\ \dots \\ -k_{p-1}k_{p-1} \end{bmatrix}$$

Tìm nghiệm có dạng:

$$\varphi(t) = \bar{\varphi} \cdot e^{i\omega t} \quad (6)$$

$\bar{\varphi} = [\bar{\varphi}_i]_{p \times 1}$: vec tơ biên độ, ω tần số, $i^2 = -1$, t : thời gian

Ta có:

$$[-\omega^2 M(\omega) + K(\omega)]\bar{\varphi} = 0 \quad (7)$$

Để $\bar{\varphi} \neq 0$ điều kiện là định thức (det) của ma trận hệ số bằng 0:

$$\det[-\omega^2 M(\omega) + K(\omega)] = 0 \quad (8)$$

Đặt $D(\omega) = -\omega^2 M(\omega) + K(\omega)$ ta có phương trình tần số:

$$\det D(\omega) = 0 \quad (9)$$

Giải (9) ta được tần số dao động tự do của hệ.

2. Tính toán ví dụ và kết quả.

Có thể giải (9) theo phương pháp hội tụ nhanh bằng ngôn ngữ Matlab [3] cho bài toán trên. Tính toán ví dụ cho hệ trục của tàu container 564 TEU, máy chính MAN B&W 8L40/54 có công suất 5760 kW và vòng quay 550v/p với các phương án sau:

- Hệ trục chưa có khớp mềm Vulkan, hệ xoắn gồm 11 đĩa, 10 đoạn trục.
- Hệ trục trang bị khớp mềm Vulkan như tàu đang có, hệ xoắn có $k_2(\omega)$ giữa đĩa 9 và 10.
- Hệ có khớp mềm Vulkan: $k_{10}(\omega)$ giữa đĩa 10 và 11 và giảm chấn Holsel là khối lượng đầu $\theta_1(\omega)$

Kết quả tính toán theo thuật toán và chương trình trên như ở bảng sau; với tần số tự do 1 tâm ω_2 (rad.s⁻¹) cùng vòng quay tương ứng N_2 (v/p); tần số 2 tâm ω_3 (rad.s⁻¹) cùng vòng quay tương ứng N_3 (v/p).

| Phương án | ω_2 | ω_3 | N_2 | N_3 |
|-----------|------------|------------|-------|--------|
| a | 55,12 | 393,7 | 526,4 | 3759,8 |
| b | 33,5 | 118,9 | 320 | 1135 |
| c | 32,5 | 118,6 | 310 | 1138 |

So sánh với vòng quay định mức của động cơ 550 v/p sẽ có vòng quay cấm khi chưa lắp khớp mềm. Có khớp mềm, giảm chấn sẽ tránh được vòng quay cấm dao động xoắn cho động cơ.

3. Kết luận.

- Cần có cách tính thích hợp với mô hình hệ xoắn với các phần tử có tính chất động lực học phi tuyến phụ thuộc tần số như đã trình bày.
- Sử dụng các thiết bị đàn hồi, giảm chấn có tính chất phụ thuộc tần số sẽ cho khả năng cải thiện hệ thống dao động xoắn tránh dao động cộng hưởng.

- Phương pháp tính toán dao động xoắn tự do của hệ trục với các phần tử có tính chất động lực học phụ thuộc tần số sẽ tạo điều kiện tối ưu hóa thiết kế hệ trục tàu thủy về dao động trong giai đoạn thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cudny.J Linie walow okretowych, W. Morskie Gdansk, 1976.
- [2] Gawronski W.Kruszewski J. Metoda elementow skonczonech w dynamice, Arkady Warszawa, 1984.
- [3] Hoàng Thị Thu Huyền, “*Tính toán dao động xoắn hệ trục tàu thủy có kể đến các yếu tố phi tuyến phụ thuộc tần số*”, Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Hàng hải, 2006.
- [4] Ker Wilson W Practical solution of torsional vibration problem, Vol IV, Chapman & Hall Ltd, London, 1968.

Người phản biện: TS. Nguyễn Mạnh Thường
