

# Nghiên cứu xây dựng phần mềm tính dao động xoắn tự do hệ trục DIESEL tàu biển. part 1. mô hình hóa

Researching, building software for freedom torsional vibrations of the marine diesel shaft-line. part 1. modelling

PGS.TSKH. ĐỖ ĐỨC LƯU  
Viện NCPT, Trường ĐHHH Việt Nam

## Tóm tắt

Bài báo đưa ra mô hình chung tính dao động xoắn tự do cơ hệ diesel tàu biển theo yêu cầu QCVN 21:2010. Mô hình toán được xét chung cho hệ trục diesel lai chân vịt biến bước: Động cơ diesel máy chính lai hoặc ngắt lai bơm cứu hỏa đầu trục cũng như lai máy phát điện đồng trục; trường hợp có sự cố tháo rời nhóm piston chuyển động cũng như khi động cơ hoạt động bình thường; cơ hệ bỏ qua cản xoắn cũng như có xét đến cản xoắn.

## Abstract

This article presents the modelling to calculate the Freedom Torsional Vibrations (FTVs) of the marine diesel shaft-line according to the Rules and Regulations for the classification and construction of the steel going ship of the Vietnam Register (2010, QCVN 21: 2010/ BGTVT). The universal model to calculate FTVs of the marine diesel shaft-line in different cases according to the changing of shaft-line construction and the working regimes of the power system: engaged and disengaged controllable pitch propeller, or Fi-Fi pump, or co-shaft generator; zero / full pitch of the engaged controllable pitch propeller; without and with torsional damping coefficients.

**Key words:** Freedom Torsional Vibrations; Freedom Torsional Vibration Calculation

## 1. Giới thiệu

Để xây dựng phần mềm tính FTVs cho cơ hệ cần thực hiện 4 mô-dun cơ bản: Mô hình hóa cơ hệ; phân tích thiết kế hệ thống; xây dựng phần mềm; hiệu chỉnh và thử nghiệm [6]. Nhiệm vụ cơ bản đầu tiên cần tiến hành mô hình hóa hệ trục bằng mô hình toán học viết cho cơ hệ.

Theo quan điểm chung, tính FTVs thường không xét đến cản của các thành phần trong hệ, vì giả thiết tính chất cản của cơ hệ không ảnh hưởng nhiều đến tần số riêng của hệ. Các công ty nước ngoài như DNV GL Maritime Advisory (2014) [4], MAN B&W Vibration Analysis(2005)[5] cũng đều bỏ qua cản khi tính FTVs. Tuy nhiên, trong các nghiên cứu của tác giả [1,2] đã chỉ ra ảnh hưởng của cản làm thay đổi giá trị các tần số riêng của cơ hệ, đặc biệt trong trường hợp một xy lanh không cháy. Mức độ ảnh hưởng phụ thuộc vào độ lớn của các hệ số cản. Điều đáng tiếc chưa có các công trình khoa học đánh giá chính xác hệ số cản của các thành phần chính trong cơ hệ (các xi lanh động cơ, chân vịt, hộp số,...). Thử nghiệm đã đưa ra một số công thức tính hệ số cản song sự khác biệt trong các kết quả tính khác nhau khá lớn. Chính vì lẽ đó, để phục vụ cho nghiên cứu phát triển sau này, phần mềm tính FTVs cần có thể tính FTVs có cản cũng như không có cản.

Chúng ta chưa xây dựng được phần mềm công nghiệp tính FTVs. Khi nghiên cứu có thể sử dụng MATLAB, ANSYS cho một bài toán, cho một hệ trục cụ thể đặt ra. Khi đặt bài toán xây dựng phần mềm chuyên tính FTVs mang tính công nghiệp, mô hình toán -cơ tổng quát cần chứa các mô hình đặc thù cụ thể trong điều kiện biên nhất định. Bài báo sẽ nghiên cứu và đề xuất mô hình tổng quát.

## 2. Mô hình hệ trục diesel tàu biển

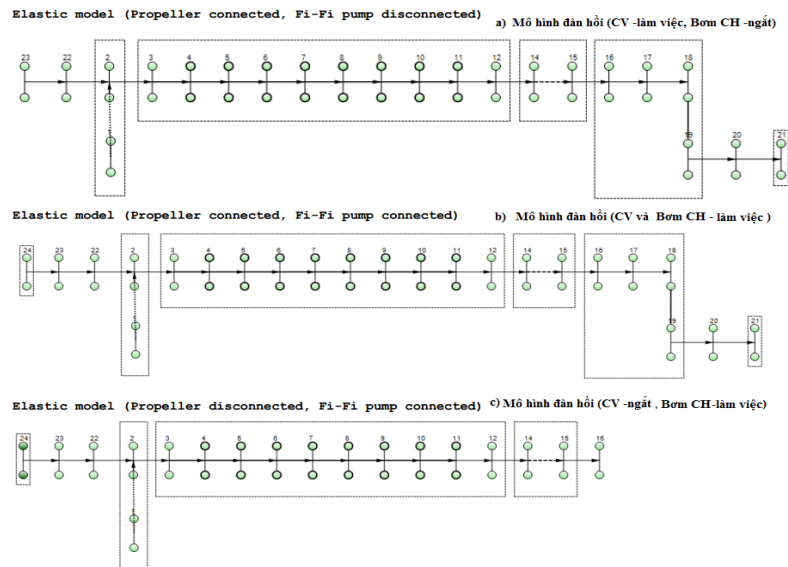
### 2.1. Mô hình động học hệ trục diesel máy chính lai chân vịt (mô hình thẳng)

Trường hợp thường gặp là diesel máy chính (Main Engine, ME) lai chân vịt và truyền mô men lực qua các đoạn trục trung gian, trục chân vịt tới chân vịt. Khi ME là động cơ thấp tốc, đường trục không dùng hộp số, còn khi ME - trung tốc hoặc cao tốc, giữa ME và chân vịt dùng hộp số với tỉ số truyền thích hợp. Ly hợp dùng ngắt động cơ với trục trung gian - trục chân vịt và chân vịt. ME có bánh đà với mô men quán tính khối lượng (MMQTKL) rất lớn. Đôi khi động cơ trung, cao tốc có dùng bánh đà phía đầu trục và cuối trục. ME có thể dùng lai bơm cứu hỏa (FiFi-pump) ở phía đầu trục, hình 1 [4].

Động cơ diesel được mô hình qua z xy lanh, tương ứng với z MMQTKL, kết hợp với bánh đà.

Ta kí hiệu  $\mathbf{J}_E = [J_E(1), J_E(2), \dots, J_E(z) J_{BD}]$  và giữa các MMQTKL này có liên kết đàn hồi cứng với hệ số cứng xoắn  $\mathbf{C}_E = [C_E(1), C_E(2), \dots, C_E(z)]$ . Trục trung gian được mô hình hóa thành một số khối lượng tập trung với MMQTKL  $J_{Int.Shaft}(1), J_{Int.Shaft}(2)$ , còn trục chân vịt và chân vịt được mô hình hóa thành một khối lượng tập trung tại chân vịt với MMQTKL  $J_{CV}$ . Giữa các khối lượng tập trung là mô hình liên kết đàn hồi xoắn với hệ số cứng xoắn tương ứng. Đại lượng MMQTKL có đơn vị  $\text{kg.m}^2$ , còn hệ số cứng xoắn - Nm/rad.

*Ví dụ:* Hệ trục trái diesel ME lai chân vịt MV “Bình An Valiant”. Hệ động lực chính tàu gồm 02 hệ trục (trái và phải) giống nhau, dùng ME hãng Caterpillar, loại 3516 C, hình chữ V với 16 xy lanh, công suất định mức 1545 kW tại vòng quay  $n_{dm} = 1600$  vg/ph; hộp số hãng Rolls-Royce Marine AS, dạng 480 AGHC, tỉ số truyền 6,05; Khớp nối mềm (KNM) do hãng Vulkan Couplings chế tạo, dạng Vulkardan E 6011-4110 SAE 21; chân vịt: Hãng Rolls-Royce Marine AS, dạng 55A1/4E, đường kính 2.150 mm. Sự khác biệt duy nhất là hệ trục trái có lai bơm cứu hỏa khi cần thiết, do hãng Nanjing Shun Shing chế tạo, dạng SSCXB300-250 với công suất định mức 800 kW tại  $n_{dm} = 1600$  vg/ph. Trong tính FTVs hệ trục này, DNV GL Maritime Advisory đã mô hình hóa cơ hệ trong các trường hợp khác nhau và có kết quả đầu vào cho mô đun tính tần số và dạng dao động tự do (hình 1) [4].



**Hình 1. Mô hình động học tính FTVs hệ trục diesel ME lai chân vịt (mô hình thẳng)**

## 2.2. Mô hình động học hệ trục diesel ME - chân vịt và máy phát (mô hình rẽ nhánh)

Trường hợp diesel ME đồng thời lai chân vịt và máy phát đồng trục. Truyền mô men lực qua các đoạn trục trung gian, trục chân vịt tới chân vịt, đồng thời qua đoạn trục (rẽ nhánh tới máy phát điện, MPĐ). Khi ME hoạt động tương đối ổn định, qua hộp số với tỉ số truyền thích hợp để dẫn động tới máy phát điện đồng trục. Mô hình rẽ nhánh tính FTVs được thể hiện trên hình 2.

*Ví dụ:* Hệ trục chính diesel ME lai chân vịt và máy phát điện đồng trục MV Rồng Bay (Flying Dragon) trước đây thuộc Công ty VTB Đông Long (Trường ĐHHH).

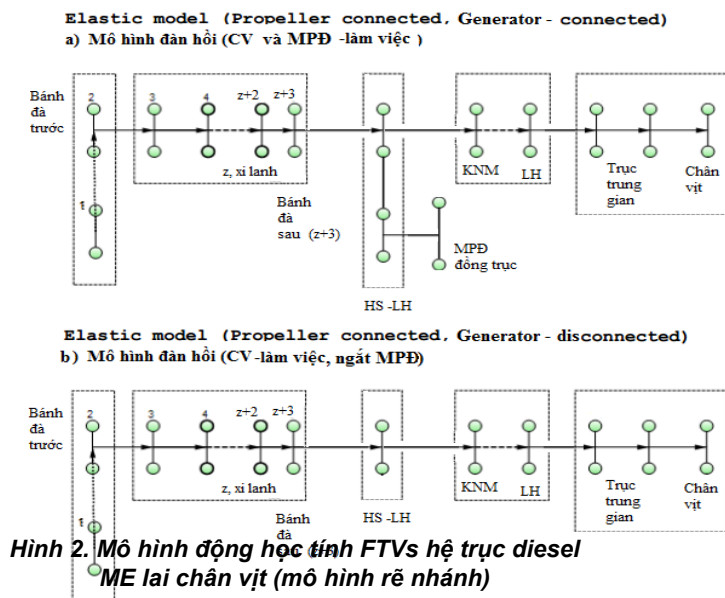
## 2.3. Mô hình tính FTVs hệ trục diesel ME - chân vịt

Từ việc rời rạc hóa hệ trục chính (trái) của MV “Bình An Valiant” tác giả nhận thấy đây là mô hình tính FTVs đặc trưng cho các trường hợp có dạng thẳng, không rẽ nhánh. Trên hình 1: a) ME -CV chế độ toàn tải chân vịt hoặc bước 0 (không tải), ngắt lai bơm cứu hỏa gồm 22 MMQTKL (trừ MMQTKL bơm cứu hỏa, mô hình không có số 13); trường hợp b) - 23 MMQTKL khi hệ trục: FiFi Pump - ME -CV; và c) - 18 MMQTKL khi hệ trục ngắt chân vịt, chỉ có FiFi Pump - ME.

Trường hợp rẽ nhánh khi ME đồng thời lai chân vịt và MPĐ đồng trục (hình 2, a), còn khi ME không lai MPĐ, mô hình thu được là mô hình thẳng.

Khi mắc thêm MMQTKL của MPĐ, các ma trận MMQTKL và hệ số cứng xoắn cũng như hệ số cản xoắn sẽ tăng thêm kích thước, còn về phương diện toán học không có gì thay đổi lớn.

Mô hình toán học chung nhất được viết dưới dạng ma trận, hệ (1) không cản và (2) có cản [2]:



**Hình 2. Mô hình động học tính FTVs hệ trục diesel ME lai chân vịt (mô hình rẽ nhánh)**

$$\mathbf{J}\ddot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{C}\dot{\boldsymbol{\varphi}} = \mathbf{0}. \quad (1)$$

$$\mathbf{J}\ddot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{B}\dot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{C}\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{0}. \quad (2)$$

ở đó:  $\mathbf{J} = \text{diag}(J_1, J_2, \dots, J_n)$  - Ma trận đường chéo **MMQTKL** hệ trục;

$\mathbf{B} = \text{diag}(B_1, B_2, \dots, B_n)$  - Ma trận đường chéo hệ số cản xoắn (**HSCX**) tuyến tính;

$\mathbf{C}$  - Ma trận hệ số cứng chống xoắn (**HSCCX**) tuyến tính;

$\boldsymbol{\varphi} = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n]^T$  - Véc tơ trạng thái dao động xoắn.

Mô hình (1) hoặc (2) là dạng chung cho tất cả các trường hợp mô hình thẳng và sẽ trở thành mô hình cụ thể cho một hệ trục nhất định với điều kiện biên (điều khiển) sau:

$$\mathbf{K} = [K_0, K_1, K_2, K_3, K_4] \quad (3)$$

ở đó:  $K_0$  - Điều khiển trạng thái cơ hệ rẽ nhánh hay không rẽ nhánh;

$K_1$  - Điều khiển trạng thái đầu trục của ME (đóng/ ngắt FiFi pump);

$K_2$  - Điều khiển trạng thái lai chân vịt (đóng/ ngắt ly hợp lai chân vịt);

$K_3$  - Điều khiển trạng thái sự cố của xy lanh ME (phải tháo cụm chi tiết chuyển động);

$K_4$  - Điều khiển trạng thái chung của phương trình tính FTV (không cân/ có cân).

Dạng mô hình (1) được dùng tính FTVs cho các hệ trục chính lai chân vịt theo phương pháp truyền thống không tính đến cản xoắn, ví dụ tính FTVs cho MV. N.Vapsarov (Bungari), MV. HaTien, MV. Vinashinsky, MV. BinhAn Valiant... [1, 2, 4, 5]. Dạng mô hình (2) được tác giả nghiên cứu xây dựng chương trình tính cho trường hợp có cân với mục tiêu nghiên cứu phát triển. Khi  $B=0$ , ta sẽ thu được mô hình (1) từ mô hình (2).

### 3. Phân tích kết quả

Mô hình toán cơ thu được (1), (2) (3) được xây dựng có dạng chung cho hầu hết các trường hợp ta cần tính FTVs hệ trục ME diesel lai chân vịt tàu biển hiện đại. Mô hình viết dưới dạng ma trận, gọn và bao trùm các trường hợp cụ thể qua điều kiện biên, được lựa chọn (điều khiển) bởi véc tơ điều khiển  $\mathbf{K}$ . Khi lập trình mô phỏng trên phần mềm chuyên dụng sau này, chúng ta sẽ khai báo các điều kiện biên và sử dụng phân chung của chương trình tính tần số riêng và dạng FTVs tương ứng với từng tần số riêng.

$K_4$  - Điều khiển trạng thái chung của phương trình tính FTV (không cân/ có cân) dùng nghiên cứu phát triển FTVs chuyên sâu.  $K_3$  - Điều khiển trạng thái sự cố của xy lanh ME khi tháo rời cụm chi tiết chuyển động. Đây sẽ là hướng hoàn thiện và cũng là nghiên cứu phát triển chuyên sâu.  $K_0$  - Điều khiển trạng thái cơ hệ rẽ nhánh hay không rẽ nhánh,  $K_1$  - Điều khiển trạng thái đầu trục của ME (đóng/ ngắt FiFi pump) cũng như  $K_2$  - Điều khiển trạng thái lai chân vịt (đóng/ ngắt ly hợp lai chân vịt) là những điều khiển cơ bản cho cấu hình theo yêu cầu khai thác hệ trục, đã được chỉ ra trong QCVN 21:2010 / BGTVT.

### 4. Kết luận

Mô hình thu được (PT. 1, 2, 3) tính FTVs cũng như sau này tính dao động xoắn cưỡng bức được xây dựng có thể dùng để triển khai phân tích thiết kế hệ thống lập trình trên các phần mềm ứng dụng sẽ đạt được mục đích định hướng xây dựng phần mềm mang tính công nghiệp tại Việt Nam tính dao động xoắn hệ trục theo QCVN 21:2010. Mô hình toán - cơ cho tính FTVs được tác giả xây dựng đáp ứng yêu cầu cơ bản của Đăng kiểm. Ngoài ra, mô hình đã thể hiện sự hoàn thiện và mang tính hiện đại cho nghiên cứu phát triển sau này.

Kết quả của nghiên cứu đã được tác giả triển khai xây dựng phần mềm trong LabView và phục vụ cho một phần nội dung của đề tài Độc lập cấp Quốc gia, 2015 do Trường ĐHHHVN chủ trì (**Phần sau sẽ tiếp tục về phân tích thiết kế hệ thống phần mềm tính FTVs trên LabView**).

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đỗ Đức Lưu. *Chẩn đoán diesel tàu biển bằng dao động xoắn đường trục*. Luận án TSKH. Học viện Hàng hải mang tên Đô đốc Hải quân Macarov, TP.Xanh-Petecbua, LBN. 2006
- [2] Đỗ Đức Lưu. *Tính dao động xoắn tự do hệ trục diesel tàu thủy khi treo nhóm piston - biên trong xi lanh sự cố*. Tạp chí KHCNHH, số 39 -08/2014.
- [3] Quy chuẩn quốc gia. QCVN 21: 2010/BGTVT. *Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép. Phần 3, Hệ thống máy tàu*. Chương 8. Dao động xoắn hệ trục.

- [4] DNV GL Maritime Advisory. *Torsional Vibration Calculation Roll -Royce AB*. Report No. 2014 -0429, Rev.1. Date 2014 -07-03 (For the main propulsion on Vinashin Saigon Shipmarin H/N BA 27, on the M/V BinhAn Valiant). 2014
- [5] *MAN B&W Vibration Analysis*. Torsional Vibration Calculation. BachDang Shipyard T209/HT30. 03 Jun 2005. (For the main propulsion on M/V Vinashinsky 150000T). 2005
- [6] Lương Công Nhó, Đỗ Đức Lưu. *Thuyết minh đề tài Độc lập cấp Quốc gia năm 2015 “Nghiên cứu, xây dựng mô phỏng hệ động lực chính và trạm phát điện cho tàu biển chở hàng tổng hợp”*. Mã số ĐTĐLCN: 14/15 do Trường ĐHHHVN chủ trì. 2015
-