



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

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

(11)



1-0034311

(51)⁷ B63B 9/00; B63B 9/08

(13) B

(21) 1-2019-01620

(22) 29/03/2019

(45) 26/12/2022 417

(43) 25/12/2019 381A

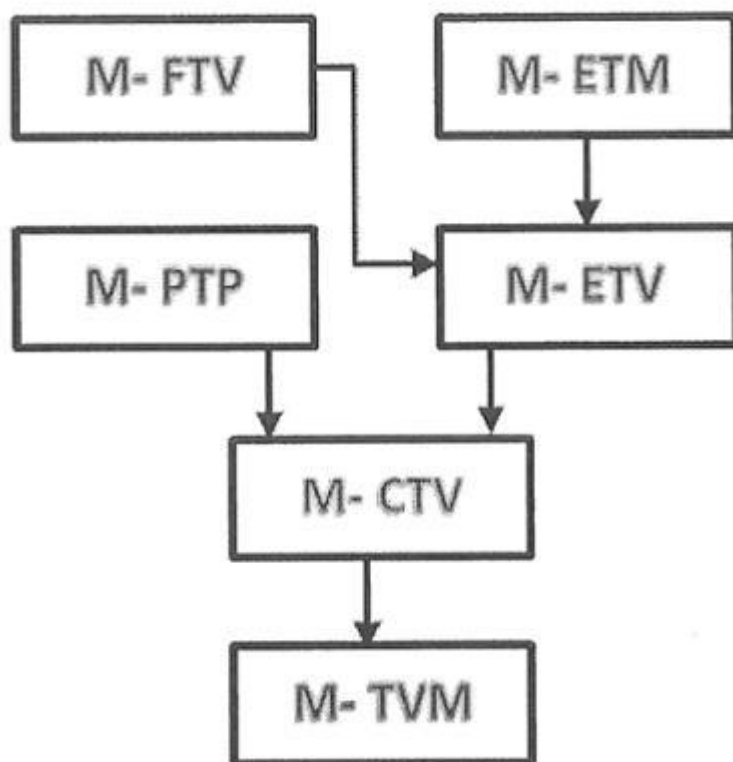
(73) Trường Đại học Hàng hải Việt Nam (VN)

Số 484 đường Lạch Tray, phường Kênh Dương, quận Lê Chân, thành phố Hải Phòng

(72) Đỗ Đức Lưu (VN); Cao Đức Hạnh (VN); Lại Huy Thiện (VN); Hoàng Văn Sĩ (VN).

(54) THIẾT BỊ MÔ PHÒNG TÍNH DAO ĐỘNG XOẮN HỆ TRỤC CHÍNH ĐIEZEN
LAI CHÂN VỊT TÀU BIỂN

(57) Sáng chế đề cập đến thiết bị mô phỏng tính dao động xoắn hệ trục chính điezen lai chân vịt tàu biển bao gồm các khối chức năng chính: môđun tính dao động xoắn tự do (M-FTV); môđun tính mômen xoắn cường bức (M-ETM); môđun tính ứng suất xoắn cho phép (M-PTP); môđun giải bài toán dao động xoắn cường bức (M-ETV); môđun chung tích hợp các môđun thành phần (M-CTV) và môđun hiển thị kết quả chung tính dao động xoắn hệ trục chính điezen lai chân vịt tàu biển (M-TVM) và truyền các số liệu đã xác định được về các thiết bị kiểm tra giám sát.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến thiết bị mô phỏng để tính toán dao động xoắn hệ trục chính điezen lai chân vịt tàu biển.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Dao động xoắn hệ trục đối với các tàu biển đóng mới hoặc có hoán cải đường trục bắt buộc phải được tính toán và trình Đăng kiểm theo thống nhất của Hiệp hội các tổ chức Đăng kiểm quốc tế (IACS) cũng như Đăng kiểm Việt Nam hoặc Đăng kiểm quốc tế (Đăng kiểm Hàng hải Nga, Đăng kiểm Nhật Bản, Đăng kiểm Hoa kỳ...). Trong Quy chuẩn Việt Nam (QCVN 21:2010/ BGTVT) cũng như tại Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của Liên bang Nga, Nhật Bản,... đều có riêng một chương quy định cụ thể và chi tiết về tính dao động xoắn, đo thực nghiệm dao động xoắn khi thử tàu để kiểm tra kết quả của bảng tính dao động xoắn. Chính vì vậy, tính dao động xoắn là vấn đề quan trọng trong đóng tàu và khai thác hệ động lực chính điezen tàu biển.

Thực trạng hiện nay về các thiết bị, phương pháp tính dao động xoắn được thể hiện dưới đây:

Hệ trục chính điezen tàu biển được nghiên cứu và mô hình hóa bởi mô hình động lực, gồm các khối lượng rời rạc, tập trung. Các khối lượng tập trung đó được đặc trưng bởi mômen quán tính khối lượng, liên kết đàn hồi với nhau bởi lò xo xoắn (có độ cứng xoắn xác định). Các mômen quán tính khối lượng thường mô hình hóa bởi mômen quán tính khối lượng của bánh đà; cụm chi tiết pít tông-biên – trục khuỷu của từng xi lanh; mômen quán tính khối lượng của các trục trung gian; trục chân vịt; khớp nối; hộp số (đối với hệ trục dùng điezen máy chính (DME) bốn kỳ) quy đổi và mômen quán tính khối lượng của bản thân chân vịt. Mô hình toán cơ được xây dựng, được viết dưới dạng ma trận, vector:

$$\mathbf{J}\ddot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{B}\dot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{C}\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{M}(t) \quad (1)$$

Ở đó: $\mathbf{J} = \text{diag}(J_1, J_2, \dots, J_n)$ - Ma trận đường chéo mômen quán tính khối lượng (MMQTKL) hệ trục; $J_i, i=(1 \div n)$ - mômen quán tính khối lượng của khối lượng thứ i ;

$\mathbf{B}$ - Ma trận hệ số cản xoắn;

$\mathbf{C}$ - Ma trận hệ số cứng xoắn (HSCX);

$\varphi = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n]^T$ - Vector trạng thái dao động xoắn;

$\mathbf{M} = [M_1, M_2, \dots, M_n]^T$ - Vector mômen xoắn cưỡng bức.

Tính dao động xoắn bao gồm các bài toán tính dao động xoắn tự do (Free TV, FTV); tính mômen cưỡng bức (Excited Torsional moment, ETM); tính ứng suất xoắn cho phép (Permit Torsional Pressures, PTP) của các đoạn trục và tính dao động xoắn cưỡng bức của cơ hệ (Excited Torsional Vibrations, ETV).

Bài toán tính dao động xoắn tự do thực chất là triển khai giải hệ phương trình vi phân (1) khi vế phải bằng 0. Trong thực tế, hệ trục diesel lai chân vịt tàu biển nhiều xi lanh lai chân vịt được mô hình hóa thành n khối lượng tập trung, với n khá lớn (thông thường $n > 10$) do vậy việc tính nghiệm của phương trình đặc trưng trong quá trình giải $\mathbf{J}\lambda - \mathbf{C} = 0, \lambda = \omega^2$ gặp nhiều khó khăn, nếu không dùng chương trình tính chuyên dùng. Trong kỹ thuật thường chỉ quan tâm đến 2 hoặc 3 tần số riêng đầu tiên, do vậy các thiết bị tính truyền thống thường thủ công, mất nhiều thời gian (có thể triển khai trên bảng tính Excel) theo phương pháp gần đúng Holtzer. Trong các bảng tính trình Đăng kiểm của nhiều công ty nước ngoài, các kết quả đưa ra là hai hoặc ba tần số riêng ω_{01} , ω_{02} hoặc ω_{03} và tương ứng với từng tần số riêng trên là vector dạng của chúng. Để kiểm chứng cho nghiệm tìm được thường mất thêm thời gian kiểm tra đẳng thức cân bằng giữa động năng và cơ năng của cơ hệ.

Giá trị biên độ các điều hòa của mômen cưỡng bức theo như phương pháp truyền thống đều tra cứu từ các bảng hoặc từ hình vẽ biên độ và pha của các điều hòa mômen. Các bảng hoặc hình vẽ đó hiện nay không phù hợp nữa, vì thế hệ động cơ hiện nay khác nhiều so với các động cơ tàu thủy trước đây, dải áp suất có ích bình quân của các động cơ tàu biển hiện đại (khoảng 20 bar, có khi tới 30 bar) lớn hơn rất nhiều so với các giá trị tương ứng trong các tài liệu tra cứu trước đây (khoảng 10 bar). Một số hãng chế tạo động cơ có thể cung cấp bảng giá trị biên độ và pha của các điều hòa cho động cơ diesel máy chính, thế hệ mới, tuy nhiên không đầy đủ, đặc biệt khi một trong các xi lanh không cháy.

Bài toán tính ứng suất xoắn cho phép được triển khai trên cơ sở các tiêu chuẩn bền mỏi của vật liệu chế tạo các đoạn trục. Các giá trị giới hạn cho phép (PTP) được các cơ quan Đăng kiểm về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép đưa ra, các giới hạn này phụ thuộc vào vòng quay khai thác tương đối của trục ($\lambda = n/n_{\text{nor}}$, n - vòng quay của trục [vòng/phút], n_{nor} - vòng quay định mức [vòng/phút]). Việc tính và xây dựng các đặc tính không khó khăn, phụ thuộc vào

thiết bị tính dao động xoắn được xây dựng như thế nào để lập trình cho ứng suất xoắn cho phép phù hợp.

Bài toán dao động xoắn cưỡng bức là phức tạp nhất, đòi hỏi nhiều công sức và mất nhiều thời gian cho lập trình tính. Sự phức tạp, chi phí thời gian tính toán phụ thuộc vào sự hiện đại và hoàn thiện của phương pháp giải.

Nhiều bằng tính chỉ coi trọng các chế độ cộng hưởng và gần cộng hưởng, vì ở đó biên độ dao động xoắn là lớn nhất, và các dao động cộng hưởng tại tần số cộng hưởng đó của các khối lượng trong hệ là đồng pha. Cộng hưởng tại tần số riêng đầu tiên là lớn nhất, thường nếu nguy hiểm thì ở đó là nguy hiểm nhất, do vậy nhiều bằng tính dao động xoắn chỉ xác định một số chế độ xung quanh tần số riêng đầu tiên. Tại cộng hưởng và gần cộng hưởng, mô hình n khối lượng rời rạc được quy đổi tương đương về cơ hệ có 1 bậc tự do theo sự cân bằng các thành phần năng lượng của cơ hệ ban đầu và cơ hệ quy đổi.

Tóm lại thực trạng của các phương pháp và thiết bị tính dao động xoắn hệ trục chính diezen lai chân vịt có mức độ tự động chưa cao, chưa bao phủ được các chế độ hệ trục làm việc, từ đó có thể dẫn đến việc tính toán dao động xoắn hệ trục chính diezen lai chân vịt tàu biển không sát với thực tế.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là xây dựng thiết bị mô phỏng để tính toán tự động dao động xoắn hệ trục chính diezen lai chân vịt tàu biển ở nhiều chế độ làm việc khác nhau được thể hiện ở các khía cạnh:

tự động tính dao động xoắn tự do bằng phương pháp ma trận, sử dụng công nghệ lập trình trong MatLab m.file và chuyển sang lập trình LabView (MathScript);

hoàn thiện cơ sở toán học và thuật giải để tự động tính mômen cưỡng bức qua việc tính công chỉ thị của động cơ, trên cơ sở hồ sơ kỹ thuật của nhà chế tạo động cơ đưa ra;

hoàn thiện cơ sở toán học và thuật giải để tự động xây dựng đặc tính ứng suất xoắn cho phép cho thiết bị ảo được triển khai;

hoàn thiện cơ sở toán học và thuật giải để tự động tính dao động xoắn cưỡng bức theo phương pháp hệ tọa độ chính - là phương pháp tổng quát chung cho bài toán dao động có cản.

Để đạt được mục đích nêu trên, thiết bị mô phỏng tính dao động xoắn hệ trục chính diezen lai chân vịt tàu biển theo đề xuất của sáng chế bao gồm các khối chức năng chính:

môđun (M-FTV) dùng để xác định dao động xoắn tự do của cơ hệ có n mômen quán tính khối lượng tập trung thông qua việc xác định các thông số nghiệm thể hiện ở phương trình $\mathbf{J}\ddot{\varphi} + \mathbf{B}\dot{\varphi} + \mathbf{C}\varphi = \mathbf{M}(t)$ với $\mathbf{J} = \text{diag}(J_1, J_2, \dots, J_n)$ là ma trận đường chéo mômen quán tính khối lượng hệ trục; $J_i, i=(1 \div n)$ là mômen quán tính khối lượng của khối lượng thứ i ; $\mathbf{B}$ là ma trận hệ số cản xoắn; $\mathbf{C}$ là ma trận hệ số cứng xoắn, $\varphi = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n]^T$ là véc tơ trạng thái dao động xoắn; $\mathbf{M} = [M_1, M_2, \dots, M_n]^T$ là vectơ mômen xoắn cưỡng bức;

môđun (M-ETM) dùng để xác định mômen xoắn cưỡng bức thông qua việc xác định mômen xoắn do lực khí cháy và lực quán tính sinh ra, được mô hình hóa tại điểm tác động là vị trí của pít tông; lực tổng tại pít tông P được chuyển đổi thành mômen xoắn quay trục khuỷu động cơ T theo mô hình hàm truyền TF; hệ số cháy C_f , khi xi lanh hoạt động bình thường giá trị này là 1, ngược lại khi không cháy có giá trị bằng 0; lực sinh ra từ áp suất khí cháy tại buồng đốt xi lanh $p(\varphi)$ mô phỏng theo hai thành phần lực tham chiếu: p_{cmp} là đường áp suất nén và đường áp suất cháy p_{fir} được biểu diễn dưới dạng $p(\varphi) = p_{cmp}(\varphi) + C_f \cdot p_{fir}(\varphi)$; mômen xoắn tại xi lanh được xác định thông qua dạng $M(\varphi) = P(\varphi) \cdot TF(\varphi)$;

môđun (M-PTP) dùng để xác định ứng suất xoắn cho phép thông qua các đoạn trục thường được tính: trục trung gian, trục chân vịt, trục khuỷu động cơ; đường đặc tính ứng suất xoắn cho phép (n) với n là vòng quay được tính dao động xoắn từ vòng quay nhỏ nhất đến vòng quay lớn nhất trong dải vòng quay khai thác của hệ trục;

môđun (M-ETV) dùng để xác định dao động xoắn cưỡng bức; trong đó giải pháp đề xuất phương pháp tự động tính dao động xoắn cưỡng bức theo đề xuất của sáng chế được thể hiện ở các phương pháp được kết hợp đồng thời, bao gồm: phương pháp xếp chồng đối với hệ dao động tuyến tính $\mathbf{J}\ddot{\varphi} + \mathbf{B}\dot{\varphi} + \mathbf{C}\varphi = \mathbf{M}(t)$; phương pháp cân bằng điều hòa, dùng số phức; và phương pháp hệ trục chính;

môđun chung (M-CTV) dùng để tích hợp các môđun thành phần; và

môđun (M-TVM) dùng để hiển thị kết quả chung tính dao động xoắn hệ trục chính diezen lai chân vịt tàu biển và truyền các số liệu đã xác định được về các thiết bị kiểm tra giám sát;

Mô tả vắn tắt hình vẽ

Hình 1: là hình vẽ sơ đồ cấu trúc thiết bị mô phỏng tính dao động xoắn hệ trục chính điezen lai chân vịt tàu biển theo đề xuất của sáng chế;

Hình 2: là hình vẽ sơ đồ dòng thông tin trong thiết bị mô phỏng tính dao động xoắn trên hệ trục chính điezen tàu biển;

Hình 3: là hình vẽ mô tả quan hệ lực tác động tại pít tông xi lanh và mômen xoắn quy đổi tại trục khuỷu của xi lanh động cơ;

Hình 4: là hình vẽ mô tả quá trình công tác của xi lanh qua hai đường đặc tính áp suất nén ($p_{cmp}(\varphi)$) và đường cong cháy ($p_{fir}(\varphi)$) và qua hệ số cháy ϵ_f .

Hình 5: là hình vẽ thể hiện nguyên tắc cơ bản trong lập trình trên LabView (gồm lập trình giao diện –Front Panel và lập trình code –Block Diagram) qua một ứng dụng cụ thể - xây dựng thiết bị mô phỏng theo đề xuất của sáng chế;

Hình 6: là hình vẽ thể hiện sơ đồ cấu trúc thiết bị trong lập trình code - Block Diagram;

Hình 7: là hình vẽ thể hiện giao diện chính của thiết bị mô phỏng theo đề xuất của sáng chế tính dao động xoắn trên hệ trục tàu MV.HR.34000 DWT;

Hình 8: là hình vẽ giao diện chính của thiết bị mô phỏng theo đề xuất của sáng chế tính dao động xoắn tự do trên hệ trục tàu MV.HR34000 DWT;

Hình 9: là hình vẽ giao diện chính của thiết bị mô phỏng theo đề xuất của sáng chế tính mômen cưỡng bức trên hệ trục tàu MV.HR34000 DWT, tính mômen xoắn ra khỏi động cơ (Total Torsional Engine Moment);

Hình 10: là hình vẽ giao diện chính của thiết bị mô phỏng theo đề xuất của sáng chế tính mômen xoắn cưỡng bức do chân vịt sinh ra, áp dụng cho tàu MV.HR34000 DWT, chân vịt 4 cánh, tại vòng quay 68 vòng/phút (rpm), chế độ động cơ NORMAL;

Hình 11: là hình vẽ giao diện chính của thiết bị mô phỏng theo đề xuất của sáng chế tính dao động xoắn (ứng suất xoắn của trục trung gian) tại chế độ vòng quay 63 rpm, chế độ động cơ NORMAL;

Hình 12: là hình vẽ giao diện chính của thiết bị mô phỏng theo đề xuất của sáng chế tính dao động xoắn (ứng suất xoắn của trục trung gian) tại chế độ vòng quay 105 rpm, chế độ động cơ NORMAL;

Hình 13: là hình vẽ giao diện chính của thiết bị mô phỏng theo đề xuất của sáng chế tính dao động xoắn (ứng suất xoắn của trục trung gian) tại toàn dải vòng quay [55 - 155] rpm, chế độ động cơ NORMAL;

Hình 14: là hình vẽ giao diện chính của thiết bị mô phỏng theo đề xuất của sáng chế tính dao động xoắn (ứng suất xoắn của trục trung gian) tại toàn dải vòng quay [55 - 155] rpm, chế độ động cơ xi lanh số 2 không cháy (MF₂);

Hình 15: là hình vẽ giao diện chính của thiết bị mô phỏng theo đề xuất của sáng chế tính dao động xoắn (ứng suất xoắn của trục trung gian) tại toàn dải vòng quay [55 - 155] rpm, chế độ động cơ xi lanh số 6 không cháy (MF₆).

Mô tả chi tiết sáng chế

Theo như được thể hiện trên Hình 1, thiết bị mô phỏng tính dao động xoắn hệ trục chính điezen lai chân vịt tàu biển theo đề xuất của sáng chế gồm các khối chức năng chính: M-FTV là môđun tính dao động xoắn tự do (Freedom Torsional Vibrations); M-ETM là môđun tính mômen xoắn cưỡng bức (Excited Torsional Moments); M-PTP là môđun tính ứng suất xoắn cho phép (Permitted Torsional Pressure); M-ETV là môđun giải bài toán dao động xoắn cưỡng bức (Excited TV); M-CTV là môđun chung, tích hợp các môđun thành phần (Common TV) và M-TVM môđun hiển thị kết quả chung tính dao động xoắn hệ trục chính điezen lai chân vịt tàu biển và truyền các số liệu đã xác định được về các thiết bị kiểm tra giám sát.

Mối quan hệ giữa các môđun chính nêu trên là quan hệ của các dòng thông tin được xử lý trong quá trình tính dao động xoắn được thể hiện trên Hình 2.

Chi tiết phương pháp tính trong từng môđun cụ thể theo đề xuất của sáng chế được thể hiện như sau:

Môđun tính dao động xoắn tự do (M-FTV):

Trong giải pháp trình bày cho môđun M-FTV, tác giả đề xuất phương pháp, thuật toán và lập trình code cho tự động tính, hiển thị kết quả tính dao động xoắn tự do. Dao động tự do của cơ hệ có n mômen quán tính khối lượng tập trung được viết tại phương trình (1) khi vế phải bằng 0 và bỏ qua ma trận hệ số cản (B=0):

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

Tìm nghiệm dao động xoắn tự do dưới dạng nghiệm phức, viết dưới dạng vectơ:

$$\varphi_f = \varphi_f^0 \exp(i\omega t) \quad (3)$$

Ở đó: φ_f^0, ω - Biên độ và tần số riêng. Phương trình đặc trưng đảm bảo vectơ biên độ khác vectơ không, khi bỏ qua hệ số cản:

$$-J\omega^2 + C = 0; C_1 = J^{-1}C; \lambda = \omega^2; I\lambda - C_1 \quad (4)$$

Trong MathScript của LabView ta viết câu lệnh (giống trong m.file của MathLab):

$$p = \text{poly}(C_1); r = \text{roots}(p) \quad (5)$$

Ta thu được (n-1) nghiệm phức: $r(1), r(2), \dots, r(n-1)$. Nghiệm $r(n)=0$ không xét đến. Tính giá trị thực $\lambda(k)$ của $r(k)$, $k=1,2,\dots$, ta tính $\omega(k) = \sqrt{\lambda(k)}$ - tính căn bậc hai của giá trị $\lambda(k)$.

Xác định 3 tần số riêng đầu tiên: $0 < \omega_{01} < \omega_{02} < \omega_{03}$. Về dạng (mode) của dao động riêng thứ 3 thông thường bỏ qua. Ứng với tần số riêng ω_{0j} ($j=1,2$) ta cần tìm vector dạng $\alpha_j = [1, \beta_j] = [1, \alpha_{n-1}]$, với $\alpha_{1j}=1$; $\beta_j = [\alpha_{2j}, \dots, \alpha_{nj}]^T$, thỏa mãn:

$$\begin{bmatrix} C_{22} - J_2 \omega_j^2 & C_{23} & \dots & C_{2n} \\ C_{32} & C_{33} - J_3 \omega_j^2 & \dots & C_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n2} & C_{n3} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_{2j} \\ \alpha_{3j} \\ \vdots \\ \alpha_{nj} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} C_{12} \\ C_{22} \\ \vdots \\ C_{n2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Đặt ma trận:

$$H = \begin{bmatrix} C_{22} - J_2 \omega_j^2 & C_{23} & \dots & C_{2n} \\ C_{32} & C_{33} - J_3 \omega_j^2 & \dots & C_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n2} & C_{n3} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix}; R = - \begin{bmatrix} C_{12} \\ C_{22} \\ \vdots \\ C_{n2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Viết (6) dưới dạng:

$$H \cdot [\beta_j] = R \quad (8)$$

Nghiệm tìm được:

$$[\beta_j] = (H^T H)^{-1} H^T R \quad (9)$$

Lập trình trong m.file (MathLab) và MathScript (LabView) ma trận H và vector R trong (7). Viết câu lệnh tương ứng cho lời giải:

w0=w01; % Giả thiết tính cho w01

for k=2:n

for j=2:n

if k==j

```

H(k-1,k-1)=C(k,k)-J(k)*w0^2;
else
H(k-1,j-1)=C(j,k);
end
R(k-1)=C(k,1);
end
Beta=(H'*R)\(H'*H).
Anpha=[1;Beta];           % Xác định nghiệm Beta và Anpha

```

(10)

Xây dựng bảng (hoặc đồ thị) để hiển thị vòng quay khai thác cộng hưởng bậc m tại tần số riêng đầu tiên ω_{01} (rad/s) hoặc n_{01} (vòng/phút) cũng như tại tần số riêng thứ hai ω_{02} (hoặc n_{02}), khi điều kiện sau đây xảy ra:

$$n_{\min} = 0.4 * n_{\text{nor}} \leq m * n = \omega_{01} \leq n_{\max} = 1.2 * n_{\text{nor}} \quad (11)$$

Mô đun tính mômen xoắn cưỡng bức (M-ETM):

Tính mômen xoắn cưỡng bức tại các xi lanh (M-ETME)

Trong giải pháp đề xuất phương pháp mới để tự động tính mômen cưỡng bức theo hồ sơ kỹ thuật mà bất kỳ động cơ nào khi xuất xưởng đều được nhà chế tạo cung cấp. Theo quy định của các cơ quan Đăng kiểm hiện nay, cần tính dao động xoắn khi tất cả các xi lanh làm việc bình thường và khi một trong các xi lanh không cháy.

Bản chất của việc tính mômen cưỡng bức tại từng xi lanh là tổng của hai thành phần mômen xoắn do lực khí cháy và lực quán tính sinh ra, được mô hình hóa tại điểm tác động là vị trí của pít tông. Lực tổng tại pít tông P được chuyển đổi thành mômen xoắn quay trục khuỷu động cơ T theo mô hình hàm truyền TF, được thể hiện trên Hình 3.

Sử dụng hệ số cháy C_f , khi xi lanh hoạt động bình thường giá trị này là 1, ngược lại khi không cháy có giá trị bằng 0, biểu diễn phương trình:

$$p(\varphi) = p_{\text{cmp}}(\varphi) + C_f \cdot p_{\text{fir}}(\varphi) \quad (12)$$

Lực sinh ra từ áp suất khí cháy tại buồng đốt xi lanh $p(\varphi)$ mô phỏng theo hai thành phần lực tham chiếu: p_{cmp} - đường áp suất nén và đường áp suất cháy p_{fir} .

Mômen xoắn (ký hiệu M , hay T - Torque) tại xi lanh, được xác định:

$$M(\varphi) = P(\varphi) \cdot TF(\varphi) \quad (13)$$

Như được thể hiện ở Hình 4, áp suất cháy - dẫn nở và đường cong nén trong xi lanh, với đường 1- đồ thị công cho xi lanh cháy tốt; 2- đường áp suất nén; 3- áp suất cháy của xi lanh cháy tốt;

$$TF(\varphi) \approx R \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) \quad (14)$$

Ở đó: $R(m)$ - bán kính trục khuỷu; $\lambda=R/L$; L - chiều dài biên (m).

Mômen xoắn tại từng xi lanh được phân tích phổ tần qua công cụ toán học FFT, viết dưới dạng số phức phù hợp với phương pháp giải dao động xoắn cưỡng bức:

$$\mathbf{M}(t) \xrightarrow{FFT} \mathbf{ZM}(f) : \mathbf{ZM}(f) = \mathbf{ZR}(f) \cdot e^{j(2\pi ft)} \quad (15)$$

Tính mômen xoắn cưỡng bức tại chân vịt (M-ETMP_r):

Mômen xoắn do chân vịt sinh ra được xác định theo công thức thực nghiệm của Brems, phụ thuộc vào các đặc tính chân vịt: mômen trung bình $M_C(kNm)$; số cánh của chân vịt z_p . Mômen xoắn của chân vịt có chứa các thành phần điều hòa bậc z_p , $2z_p$ và $3z_p$.

z_p	M_z	M_{2z}	M_{3z}
3	0.042 M_C	0.043 M_C	0.027 M_C
4	0.076 M_C	0.026 M_C	0.008 M_C
5	0.09 M_C	0.015 M_C	0

Môđun tính dao động xoắn cưỡng bức (M.ETV):

Trong giải pháp đề xuất phương pháp tự động tính dao động xoắn cưỡng bức theo đề xuất của sáng chế được thể hiện như sau:

Phương pháp giải được kết hợp đồng thời:

- Phương pháp xếp chồng đối với hệ dao động tuyến tính (1).
- Phương pháp cân bằng điều hòa, dùng số phức.
- Phương pháp hệ trục chính.

Vì hệ (1) là tuyến tính, nên ta dùng phương pháp xếp chồng (superposition) khi vectơ mômen cưỡng bức tại vế phải (1) được phân tích thành tổng của M_h hữu hạn các điều hòa đầu tiên ($M_h = 12$ đối với động cơ diesel 2 kỳ và $M_h = 25$ - đối với động cơ diesel 4 kỳ). Theo nguyên lý xếp chồng thì nghiệm thu được

chung từ phương trình (1) sẽ là tổng các kết quả tính Φ_k của các trường hợp ứng với từng điều hòa k riêng biệt.

Phương pháp hệ tọa độ chính được thực hiện qua phép đặt:

$$\Phi_k = y_0 + y_1 \alpha_1 + y_2 \alpha_2 \quad (16)$$

$$\Phi_k = [\varphi_{1k}, \varphi_{2k}, \dots, \varphi_{nk}]^T; \alpha_j = [1, \alpha_{2j}, \dots, \alpha_{jk}]^T; j = 0, 1, 2$$

Ta đưa về hệ phương trình 3 ẩn (trục chính y_0, y_1 và y_2):

$$\begin{cases} J_{e0} \ddot{y}_0 + \xi_{e00} \dot{y}_0 + \xi_{e01} \dot{y}_1 + \xi_{e02} \dot{y}_2 = M_{e0}, \\ J_{e1} (\ddot{y}_1 + \omega_1^2 y_1) + \xi_{e10} \dot{y}_0 + \xi_{e11} \dot{y}_1 + \xi_{e12} \dot{y}_2 = M_{e1}, \\ J_{e2} (\ddot{y}_2 + \omega_2^2 y_2) + \xi_{e20} \dot{y}_0 + \xi_{e21} \dot{y}_1 + \xi_{e22} \dot{y}_2 = M_{e2}, \end{cases} \quad (17)$$

Ở đó:

$$J_{e0} = \sum_{i=1}^n J_i; J_{ej} = \sum_{i=1}^n J_i \alpha_{ij}^2; j = 1, 2; \quad (18)$$

$$\xi_{epq} = \sum_{i=1}^n b_i \alpha_{ip} \alpha_{iq}; \alpha_{i0} = 1; p, q = 0, 1, 2;$$

$$J_{e0} = \sum_{i=1}^n J_i; J_{ej} = \sum_{i=1}^n J_i \alpha_{ij}^2; j = 1, 2; \quad (19)$$

$$\xi_{epq} = \sum_{i=1}^n b_i \alpha_{ip} \alpha_{iq}; \alpha_{i0} = 1; p, q = 0, 1, 2;$$

$$\mathbf{M}_{ep} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{\mathbf{M}_i \alpha_{ip}}; p = 0, 1, 2 \quad (20)$$

Giải hệ phương trình (17) chỉ có 3 ẩn số, sẽ đơn giản rất nhiều so với hệ ban đầu có n ẩn số. Đây là ưu điểm của phương pháp hệ trục chính.

Ta giải (17) theo phương pháp xếp chồng, điều hòa, trong miền số phức. Trước tiên ba vector mômen cưỡng bức (20) được viết dưới dạng số phức:

$$\mathbf{M}_{ep} = \sum_{k=1}^{M_h} \sum_{i=1}^n \mathbf{M}_k \alpha_{ip} \exp(j\omega_k t); p = 0, 1, 2. \quad (21)$$

Vế phải của (17) biểu diễn dưới dạng:

$$\mathbf{M}_{ek} \exp(j\omega_k t) = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_{k0} \\ \mathbf{M}_{k1} \\ \mathbf{M}_{k2} \end{bmatrix} \cdot \exp(j\omega_k t)$$

Tại tần số $\omega_k = \omega \cdot k$, nghiệm của (17) có dạng:

$$\mathbf{y}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{yR}_{k0} \\ \mathbf{yR}_{k1} \\ \mathbf{yR}_{k2} \end{bmatrix} \exp(j\omega_k t) \quad (22)$$

$$[-\mathbf{J}(\omega_k)^2 + j\mathbf{B}(\omega_k) + \mathbf{C}]\mathbf{y}_k = \mathbf{Z}\mathbf{R}_k \quad (23)$$

$$\mathbf{H}_k \mathbf{y}_k = \mathbf{Z}\mathbf{R}_k; \mathbf{H}_k = [-\mathbf{J}(\omega_k)^2 + j\mathbf{B}(\omega_k) + \mathbf{C}] \quad (24)$$

$$\mathbf{H}_k \mathbf{y}_k = \mathbf{Z}\mathbf{R}_k; \quad (25)$$

$$\mathbf{y}_k = [\mathbf{H}_k^T \mathbf{H}_k]^{-1} \mathbf{H}_k^T \mathbf{Z}\mathbf{R}_k \quad (26)$$

Trong các công thức trên ký hiệu: j - số phức đơn vị, $j^2 = -1$; Chỉ số mũ T - chuyển vị của ma trận.

Nghiệm (26) cho điều hòa k được biểu diễn dưới dạng số phức, chúng ta cần tìm các đặc trưng, đó là biên độ $\mathbf{Ry}_k$ và pha $\mathbf{TTy}_k$ của dao động tại điều hòa này. Trong m.file của MatLab và MathScript của LabView đều có câu lệnh xác định biên độ và pha tương ứng:

$$\mathbf{Ry}_k(.) = \text{abs}(\mathbf{y}_k(.)); \mathbf{TTy}_k(.) = \text{angle}(\mathbf{y}_k(.)) \quad (27)$$

Triển khai (27) được thực hiện mạch lặp for... end (trong LabView hoặc trong MatLab) cho các khối lượng $i = 1, 2, \dots, n$ theo thứ tự phần tử của vector $\mathbf{y}_k$.

Nghiệm chung của (17) trong miền tần số, số phức:

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_0 \\ \mathbf{Y}_1 \\ \mathbf{Y}_1 \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^{M_h} \mathbf{y}_k \quad (28)$$

Nghiệm chung dao động xoắn của hệ trục được biểu diễn qua phép biến đổi đã nêu trong (16) cho tất cả các điều hòa $k = 1, 2, \dots, M_h$ cho vector biên độ $\mathbf{Ry}$ và pha $\mathbf{TTy}$:

$$\mathbf{Ra} = [\mathbf{Ra}_1, \mathbf{Ra}_2, \dots, \mathbf{Ra}_{M_h}]; k = 1, 2, \dots, M_h : \quad (29)$$

$$\mathbf{Ra}_k(.) = \text{abs}(\mathbf{y}_0(.) + \alpha_{1,k} \mathbf{y}_1(.) + \alpha_{2,k} \mathbf{y}_2(.));$$

$$\mathbf{TTa} = [\mathbf{TTa}_1, \mathbf{TTa}_2, \dots, \mathbf{TTa}_{M_h}]; k = 1, 2, \dots, M_h : \quad (30)$$

$$\mathbf{TTa}_k(.) = \text{angle}(\mathbf{y}_0(.) + \alpha_{1,k} \mathbf{y}_1(.) + \alpha_{2,k} \mathbf{y}_2(.))$$

Kết quả (29), (30) cho phép biểu diễn đồ thị Biên độ - Tần số hoặc Pha - Tần số tại tất cả các điều hòa $k = 1, 2, \dots, M_h$ được khảo sát cho các trục tọa độ ban đầu $\varphi_1, \varphi_1 \dots \varphi_n$. Trong (29), (30) ký tự a biểu thị góc của dao động xoắn (angle)

Trong nghiên cứu dao động xoắn ta xét đến độ lệch góc xoắn giữa hai khối lượng tập trung $\Delta\varphi_{k,k+1} = \varphi_k - \varphi_{k+1}$, cũng tương ứng là ứng suất xoắn trên tại đoạn trục đó:

$$\tau_{k,k+1} = \frac{C_{k,k+1} \cdot \Delta\varphi_{k,k+1}}{W_{k,k+1}}, (\text{N/m}^2) \quad (31)$$

Ở đó $W_{k,k+1}$, (m^3)- mômen chống xoắn, phụ thuộc vào kích thước đoạn trục.

$C_{k,k+1}$, (N.m/rad)- hệ số cứng xoắn, phụ thuộc vào môđun đàn hồi trượt $G(\text{N/m}^2)$, phụ thuộc vào dạng vật liệu được dùng chế tạo đoạn trục) cũng như kích thước hình học của đoạn trục.

Độ lệch xoắn của đoạn trục $\Delta\varphi_{k,k+1}$ được xác định theo vị trí quay của trục khuỷu, tức là theo thời gian thực chính là hiệu của hai dao động xoắn của hai đầu đoạn trục đó được biểu diễn trong thời gian thực. Các dao động xoắn theo thời gian thực được xác định theo phép biến đổi Fourier ngược (ifft trong MatLab và trong LabView).

$$\mathbf{Ya} = \begin{bmatrix} \mathbf{Ya}_1 \\ \dots \\ \mathbf{Ya}_n \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{ifft}} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \dots \\ \varphi_n \end{bmatrix} \quad (32)$$

Phép biến đổi FFT ngược trong (32) là phép biến đổi FFT ngược đa chiều có trong MatLab và LabView. Triển khai thuật toán có thể dễ dàng sử dụng câu lệnh ifft theo đặc thù của n kênh hoặc sử dụng mạch lặp for ... end.

Môđun tính ứng suất xoắn cho phép (M-PTP):

Trên đường trục chính động cơ diesel máy chính lai chân vịt, các đoạn trục thường được tính: trục trung gian, trục chân vịt, trục khuỷu động cơ,... Đường đặc tính ứng suất xoắn cho phép (n) với n - vòng quay được tính dao động xoắn: từ vòng quay nhỏ nhất đến vòng quay lớn nhất trong dải vòng quay khai thác của hệ trục. Đường ứng suất xoắn cho phép (n) được đưa ra từ Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của cơ quan Đăng kiểm. Từ đó cần xây dựng mô hình toán và lập trình tự động đưa ra đặc tính ứng suất xoắn cho phép (n) để sau khi tính được dao động xoắn và ứng suất xoắn $\tau(n)$ của các đoạn trục sẽ hiển thị lên màn hình đồng thời các đường đặc tính ứng suất xoắn cho phép (n) và $\tau(n)$.

Môđun chung tích hợp các bài toán tính dao động xoắn (M-CTV):

Tính dao động xoắn hệ trục cần thực hiện ở chế độ: NORMAL - khi tất cả các xi lanh hoạt động bình thường và MISFIRE (k) - khi xi lanh k không cháy, $k=1,2,\dots,z$. Ngoài ra, ở mỗi một chế độ trạng thái hoạt động nêu trên cần khảo sát tính tất cả các vòng quay từ vòng quay nhỏ nhất đến vòng quay lớn nhất $\lambda=[0.4 \ 1.2]$; $\lambda=n/n_{\text{nor}}$.

Giả thiết động cơ sử dụng có 6 xi lanh, cần tính 7 chế độ trạng thái động cơ. Trong dải vòng quay khai thác cần tính ta cho bước tính $\Delta\lambda=0.1$, khi đó ta có 9 lần tính cho 9 chế độ vòng quay. Như vậy ta cần thực hiện tổng số $7 \times 9 = 63$ lần tính. Các kết quả được thiết bị tính lưu trữ, hiển thị kết quả và báo cáo kết quả tính để trình Đăng kiểm sau này. Với khối lượng tính lớn như vậy, cần tổ chức cấu trúc thiết bị sao cho phù hợp để thiết bị tự động tính và thực hiện được các nhiệm vụ liên quan khác.

Các môđun chức năng cần thực hiện theo một thứ tự phù hợp như sau:

a-(M-FTV; M-ETM) $\rightarrow$ M-ETM

b-(M-ETV; M-TTP) $\rightarrow$ Ra quyết định trạng thái (cho phép/không cho phép) TV

c- (M-FTV; M-ETM; M-ETV; M-PTP) $\rightarrow$ M-TVM.

Môđun hiển thị kết quả chung tính dao động xoắn (M -TVM):

Theo yêu cầu báo cáo kết quả tính dao động xoắn mà các cơ quan Đăng kiểm yêu cầu, thiết bị mô phỏng tính dao động xoắn hệ trục chính diezen lai chân vịt tàu biển theo đề xuất của sáng chế cần hiển thị được kết quả cần thiết dưới dạng trực quan (bảng, đồ thị) trên màn hình máy tính và hỗ trợ một cách tích cực nhất cho người khai thác lập báo cáo trình Đăng kiểm để phê duyệt. Giải pháp đề xuất tại môđun tích hợp kết quả tính này để thiết bị có đủ khả năng hiển thị tất cả các kết quả tính cần thiết trong từng môđun qua lựa chọn chế độ hiển thị phù hợp, cũng như xây dựng môđun lập bảng báo cáo tự động đưa ra kết quả và xây dựng hồ sơ báo cáo kết quả tính theo định dạng mẫu trong Excel hoặc Word theo đặt hàng của người sử dụng.

Cấu trúc chung của các môđun trong thiết bị mô phỏng tính dao động xoắn hệ trục chính diezen lai chân vịt tàu biển theo đề xuất của sáng chế:

Thiết bị mô phỏng tính dao động xoắn hệ trục chính diezen lai chân vịt tàu biển theo đề xuất của sáng chế được xây dựng theo quan điểm giả định một thiết bị vật lý nào đó để thực hiện một chức năng hoặc một nhóm các chức năng đặt ra. Xây dựng thiết bị mô phỏng được thực hiện trong LabView với hai nhiệm vụ: Thiết kế, xây dựng giao diện chính (Front Panel) để có sự tương tác giữa

người khai thác vận hành với máy tính và nhiệm vụ lập trình code (xây dựng Block Diagram).

Ví dụ thực hiện tính dao động xoắn trên hệ trục chính MV.HR.34000T theo đề xuất của sáng chế:

Về phương pháp: ví dụ này được tập trung vào cải tiến, hoàn thiện phương pháp và thuật toán cho tự động tính dao động xoắn.

Về chế tạo thiết bị: xây dựng thiết bị mô phỏng trên cơ sở toán học và thuật toán cải tiến, hoàn thiện được xây dựng. Xây dựng thiết bị mô phỏng bằng công nghệ LabView, đặc biệt sử dụng gói phần mềm rung động và âm thanh (Sound and Vibration Toolkit) có bản quyền của hãng National Instruments (NI, Hoa Kỳ).

Về phương pháp và chuyển giao công nghệ LabView trong chế tạo thiết bị của giải pháp hữu ích này đã xây dựng thành công các thiết bị mô phỏng thành phần (SubVI), tích hợp phương pháp (mô hình toán, thuật giải) và triển khai xây dựng các VI trên LabView cho các bài toán thành phần trong bài toán chung tính dao động xoắn trên hệ trục chính diezen lai chân vịt tàu biển, đó là các bài toán tính: dao động xoắn tự do, mômen cưỡng bức, ứng suất xoắn cho phép, dao động xoắn cưỡng bức với một cấu trúc phù hợp cho thiết kế, xây dựng cấu trúc tổng thể (Hình 1, Hình 2).

Sử dụng phương pháp giải tích ma trận: tìm nghiệm riêng, vector riêng theo cấu trúc câu lệnh trong MathScript: poly(); roots() cũng như code lập trình giải hệ phương trình đại số tuyến tính bằng phương pháp ma trận $A.X=B$, theo câu lệnh $X=[A^T A]^{-1}.A^T B$. Phương pháp giải theo câu lệnh trên triển khai trong MatLab (dạng m.file) cũng như LabView (trong MathScript) rất thuận tiện và làm tăng độ chính xác của kết quả tính, đặc biệt trong trường hợp ma trận A có các hệ số không được xác định thật chuẩn xác. Điều này thực tế xảy ra trong xác định đầu vào của các hệ số mômen quán tính khối lượng và hệ số cứng xoắn của các thành phần trong cơ hệ, vì chúng được xác định theo các công thức tính gần đúng và với các giả thuyết làm đơn giản hơn cho quá trình mô hình hóa.

Thiết bị con tính dao động xoắn tự do M-FTV được xây dựng độc lập, có đầu vào bố trí dữ liệu dạng vector J cho các thành phần là mômen quán tính khối lượng của các khối lượng tập trung (xem giải thích trong PT(1)) và vector C_0 -vector hệ số cứng xoắn giữa các khối lượng để tạo ma trận độ cứng C. Tính dao động tự do để xác định nghiệm $\lambda=\omega^2$ theo $I\lambda - C_1$. Trong MathScript, câu lệnh sẽ là: $p=poly(C1)$; $r=roots(p)$. Sau khi ta nhận được hai nghiệm thấp nhất khác không, ω_{01} và ω_{02} triển khai xác định vector dạng (form1 và form2) theo cơ sở

toán học đã nêu trên. Chương trình con (Sub2_Dmodel_MainAxes.vi) được thực hiện trong SubVI, Hình 6.

Thiết bị con tính đồ thị công của các xi lanh được thể hiện trên Hình 6 với SubVI: 3_Sub_ETM_ID.new.vi trên cơ sở bài toán tính nhiệt cho chu trình công tác của động cơ đốt trong và mô hình đã nêu trên. Đồ thị kết quả tính được thể hiện theo góc quay trục khuỷu hoặc theo thể tích buồng cháy tại từng thời điểm góc quay trục khuỷu.

Thiết bị con tính mômen cưỡng bức từng xi lanh và của chân vịt được thể hiện trên Hình 6 với SubVI: 3_Sub_ETM_1(New27.12.18).vi. Đầu vào của SubVI này là kết quả tính mô phỏng quá trình công tác của động cơ với hệ số điều khiển cháy Cf. Đầu ra là các vectơ, ma trận kết quả tính mômen (theo thời gian cũng như đã biến đổi FFT) của từng xi lanh, chung cả động cơ và của chân vịt. Các mômen được viết dưới dạng số phức ZC (cho động cơ) và ZP (cho chân vịt) để đưa tới SubVI tính dao động xoắn ở bước tiếp dưới đây.

Thiết bị con tính dao động xoắn cưỡng bức từng vị trí tập trung của các MMQTKKL được thể hiện với SubVI: 3_Sub_CTV_EqSolve(18.8.17).vi trên Hình 6. Cơ sở toán học đã trình bày trên từ công thức (23) đến (32). Kết quả đưa ra là ứng suất xoắn (Torsional Pressure, TP) của các đoạn trục cần tính.

Thiết bị con tính ứng suất xoắn cho phép từng trục mà ta khảo sát được thể hiện trên Hình 6 với SubVI: 3_Sub_PTP_IMS_Main_V1.vi.

Trên Hình 7 có các điều khiển lựa chọn giá trị hệ số cản xoắn, điều khiển chế độ tính dao động xoắn theo trạng thái của động cơ NORMAL hay MISFIRE ở một xi lanh bất kỳ. Sau khi lựa chọn chế độ, hiển thị lên vectơ hệ số cháy Cf của 6 xi lanh (trường hợp ví dụ tính cho tàu MV.HR.34000 DWT). Phần dưới bên trái thể hiện khu vực hiển thị kết quả của các đặc tính đồ thị công.

Hai đồ thị giới thiệu đặc điểm cơ bản của đặc tính ứng suất xoắn tính trên các đoạn trục với các tần số cộng hưởng chính và cộng hưởng phụ. Những hình ảnh này mang tính giới thiệu nguyên lý kết quả của bảng tính dao động xoắn.

Phần trên của thiết bị ảo có hiển thị đồng hồ vòng quay, nút lựa chọn dạng chân vịt (4 hoặc 5 cánh). Ngoài ra còn có các nút điều khiển chế độ mô phỏng (save/ run/report/print/exit).

Trên Hình 8, màn hình bên phải hiển thị kết quả dưới dạng bảng và đồ thị tính dao động xoắn tự do trên tàu chở hàng tổng hợp, tải trọng 34 000 DWT. Đối với tần số riêng ω_{01} , thu được đường tâm trục biến dạng có 1 tâm (node) nằm

giữa khối lượng 11 và 12 (trục trung gian), còn đối với tần số riêng ω_{02} , có 2 tâm (tâm 1- nằm giữa khối lượng 5-8 và tâm thứ 2 - gần chân vịt, số 13).

Trên Hình 9, phần màn hình bên phải thể hiện kết quả tính mômen cưỡng bức tổng từ 6 mômen cưỡng bức khi động cơ làm việc bình thường, vòng quay 103 vòng/phút. Các cực trị của đặc tính mômen tổng theo thời gian ở mức khá bằng nhau, trong khi đó biên độ các điều hòa tập trung tại các điều hòa bậc chính (bậc 6, 12 và 8).

Trên Hình 10, phần màn hình bên phải thể hiện kết quả tính mômen xoắn cưỡng bức tại chân vịt 4 cánh ở chế độ vòng quay 68 rpm. Đặc điểm là giá trị trung bình bằng giá trị trung bình của mômen tổng từ 6 xi lanh động cơ, còn các điều hòa được mô hình hóa từ số liệu thực nghiệm số, phụ thuộc vào số cánh của chân vịt.

Trên Hình 11, phần màn hình bên phải thể hiện kết quả mô phỏng ứng suất xoắn (Torsional Pressure, TP (MPa)) tại trục trung gian (IMS) tại chế độ vòng quay $n=63$ rpm. Kết quả hiển thị trên đồ thị trong thời gian thực và biên độ -tần số. Ngoài ra còn đưa ra bảng kết quả của 20 điều hòa đầu tiên. Kết quả hiển thị tương ứng với chế độ điều khiển trong mô phỏng, thực hiện tại khu vực bên trái như đã phân tích bên trên.

Tương tự trên Hình 12 được trích ra đồ thị và bảng các kết quả tính TP tại IMS. ở chế độ vòng quay $n=105$ rpm. Đồ thị của Dao động xoắn trên IMS được biểu diễn trong thời gian thực và biên độ - tần số.

Trên Hình 13, phần màn hình bên phải thể hiện kết quả mô phỏng TP (MPa) tại trục trung gian (IMS) trên toàn dải vòng quay, từ $n=[55 -155]$ rpm, chế độ NORMAL (tất cả các xi lanh làm việc bình thường. Trên đồ thị đồng thời hiển thị hai đường đặc tính TP(n) và PTP(n) khi $C_f=[1,1,1,1,1,1]$.

Các thông số được lựa chọn cho chế độ mô phỏng hệ số cản xoắn tại: bánh đà đầu trục $b_1= 280$ Nms/rad; 6 xi lanh $b_2=208.4$ Nms/rad; chân vịt $b_3=9573$ Nms/rad., và hệ số C_f đã nêu trên.

Kết quả cho thấy xuất hiện vòng quay cộng hưởng nguy hiểm ở chế độ NORMAL tại $n=56$ rpm, với $TP=121.50$ MPa, trong khi $PTP =72$ MPa. Ta có:

$$TP(56) \gg PTP(56), \text{ và } TP(56) < 2.PTP(56)$$

Từ đó xuất hiện vùng cấm khai thác lân cận vòng quay cộng hưởng $n=56$ rpm, song vẫn cho phép chuyển nhanh tốc độ quay qua vùng cấm này.

Trên Hình 14, phần màn hình bên phải thể hiện kết quả mô phỏng TP (MPa) tại IMS trên toàn dải vòng quay, từ $n=[55 -155]$ rpm, chế độ MF₂ (Xi lanh số 2

không cháy. Trên đồ thị đồng thời hiển thị hai đường đặc tính TP(n) và PTP(n) khi Cf=[1,0,1,1,1,1].

Các thông số được lựa chọn cho chế độ mô phỏng hệ số cản xoắn tại: bánh đà đầu trục $b_1 = 280$ Nms/rad; 6 xi lanh $b_2=208.4$ Nms/rad; chân vịt $b_3=9573$ Nms/rad., và hệ số Cf đã nêu trên.

Kết quả cho thấy xuất hiện vòng quay cộng hưởng nguy hiểm ở chế độ cộng hưởng chính $n=56$ rpm, với TP=115.81 MPa, trong khi PTP =72 MPa. Ta có:

$$TP(56) \gg PTP(56), \text{ và } TP(56) < 2.PTP(56)$$

Từ đó xuất hiện vùng cấm khai thác lân cận vòng quay cộng hưởng $n=56$ rpm, song vẫn cho phép chuyển nhanh tốc độ quay qua vùng cấm này.

Vùng cộng hưởng thứ hai tại vòng quay và lân cận vòng quay $n=112$ rpm, tại chế độ MF₂. Xuất hiện cộng hưởng nguy hiểm xảy ra trong vùng khai thác, do TP(112)=69.58MPa; PTP(112) = 40MPa. Tương tự TP(112) $\gg$ PTP(112), và TP(112) $< 2.PTP(112)$.

Trên Hình 15, phần màn hình bên phải thể hiện kết quả mô phỏng TP (MPa) tại IMS trên toàn dải vòng quay, từ $n=[55 -155]$ rpm, chế độ MF₆ (Xi lanh số 6 không cháy). Trên đồ thị đồng thời hiển thị hai đường đặc tính TP(n) và PTP(n) khi Cf=[1,1,1,1,1,0].

Hệ số cản xoắn được lựa chọn tại: bánh đà đầu trục $b_1 = 280$ Nms/rad; 6 xi lanh $b_2=208.4$ Nms/rad; chân vịt $b_3=9573$ Nms/rad và hệ số Cf đã nêu trên.

Kết quả cho thấy xuất hiện vòng quay cộng hưởng nguy hiểm ở chế độ cộng hưởng chính $n=56$ rpm, với TP=116.87 MPa, trong khi PTP =72 MPa. Ta có:

$$TP(56) \gg PTP(56), \text{ và } TP(56) < 2.PTP(56)$$

Từ đó xuất hiện vùng cấm khai thác lân cận vòng quay cộng hưởng $n=56$ rpm, song vẫn cho phép chuyển nhanh tốc độ quay qua vùng cấm này.

Vùng cộng hưởng thứ hai tại vòng quay và lân cận vòng quay $n=112$ rpm, tại chế độ MF₆. Xuất hiện cộng hưởng nguy hiểm xảy ra trong vùng khai thác, do TP(112)=53.8MPa; PTP(112) = 40MPa. Tương tự TP(112) $\gg$ PTP(112), và TP(112) $< 2.PTP(112)$.

Phần mô tả trên đây được thực hiện để chuyên gia có trình độ trung bình trong lĩnh vực có thể hiểu được sáng chế. Rất nhiều biến thể và thay đổi có thể được thực hiện đối với các phương án của sáng chế và đều không nằm ngoài phạm vi của sáng chế.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Thiết bị mô phỏng tính dao động xoắn hệ trục chính điezen lai chân vịt tàu biển bao gồm các khối chức năng chính:

môđun (M-FTV) dùng để xác định dao động xoắn tự do của cơ hệ có n mômen quán tính khối lượng tập trung thông qua việc xác định các thông số nghiệm thể hiện ở phương trình $\mathbf{J}\ddot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{B}\dot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{C}\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{M}(t)$ với $\mathbf{J} = \text{diag}(J_1, J_2, \dots, J_n)$ là ma trận đường chéo mômen quán tính khối lượng hệ trục; $J_i, i=(1 \div n)$ là mômen quán tính khối lượng của khối lượng thứ i; B là ma trận hệ số cản xoắn; C là ma trận hệ số cứng xoắn, $\boldsymbol{\varphi} = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n]^T$ là véc tơ trạng thái dao động xoắn; $\mathbf{M} = [M_1, M_2, \dots, M_n]^T$ là vector mômen xoắn cưỡng bức;

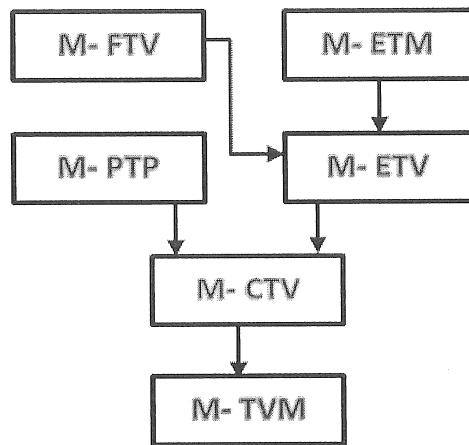
môđun (M-ETM) dùng để xác định mômen xoắn cưỡng bức thông qua việc xác định mômen xoắn do lực khí cháy và lực quán tính sinh ra, được mô hình hóa tại điểm tác động là vị trí của pít tông; lực tổng tại pít tông P được chuyển đổi thành mômen xoắn quay trục khuỷu động cơ T theo mô hình hàm truyền TF; hệ số cháy C_f , khi xi lanh hoạt động bình thường giá trị này là 1, ngược lại khi không cháy có giá trị bằng 0; lực sinh ra từ áp suất khí cháy tại buồng đốt xi lanh $p(\varphi)$ mô phỏng theo hai thành phần lực tham chiếu: p_{cmp} là đường áp suất nén và đường áp suất cháy p_{fir} được biểu diễn dưới dạng $p(\varphi) = p_{cmp}(\varphi) + C_f \cdot p_{fir}(\varphi)$; mômen xoắn tại xi lanh được xác định thông qua dạng $M(\varphi) = P(\varphi) \cdot TF(\varphi)$;

môđun (M-PTP) dùng để xác định ứng suất xoắn cho phép thông qua các đoạn trục thường được tính: trục trung gian, trục chân vịt, trục khuỷu động cơ; đường đặc tính ứng suất xoắn cho phép (n) với n là vòng quay được tính dao động xoắn từ vòng quay nhỏ nhất đến vòng quay lớn nhất trong dải vòng quay khai thác của hệ trục;

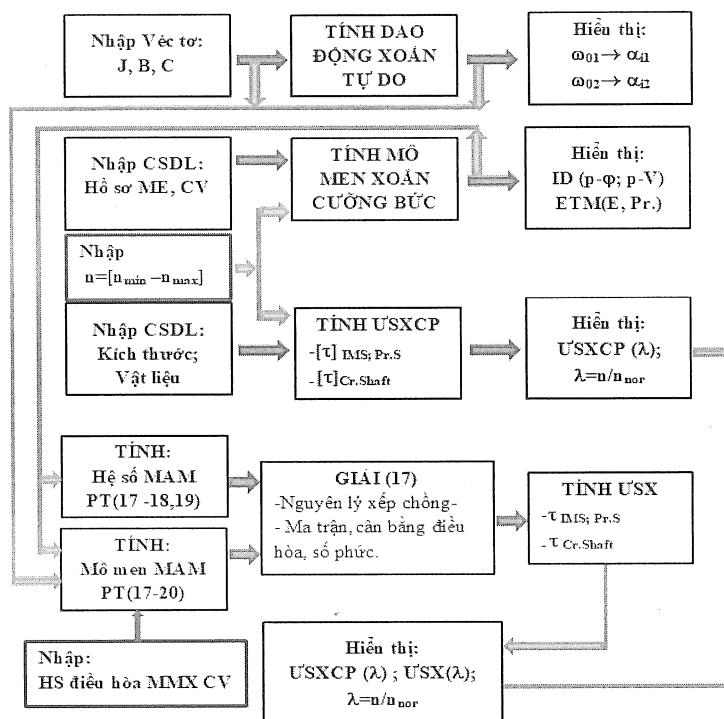
môđun (M-ETV) dùng để xác định dao động xoắn cưỡng bức; trong đó giải pháp đề xuất phương pháp tự động tính dao động xoắn cưỡng bức theo đề xuất của sáng chế được thể hiện ở các phương pháp được kết hợp đồng thời, bao gồm: phương pháp xếp chồng đối với hệ dao động tuyến tính $\mathbf{J}\ddot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{B}\dot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{C}\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{M}(t)$; phương pháp cân bằng điều hòa, dùng số phức; và phương pháp hệ trục chính;

môđun chung (M-CTV) dùng để tích hợp các môđun thành phần; và

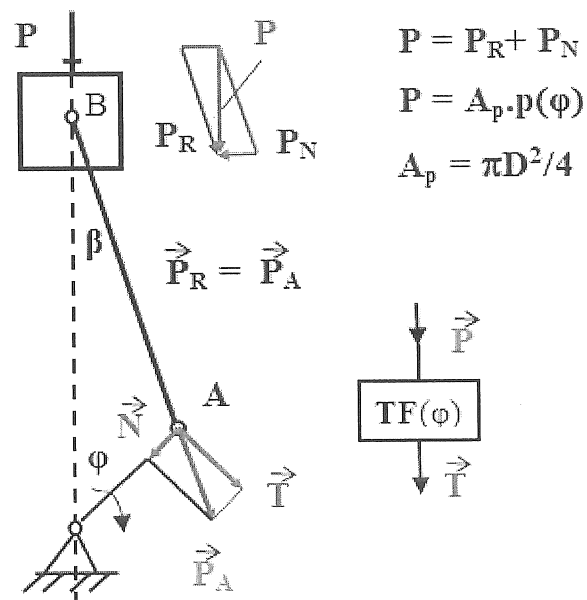
môđun (M-TVM) dùng để hiển thị kết quả chung tính dao động xoắn hệ trục chính điezen lai chân vịt tàu biển và truyền các số liệu đã xác định được về các thiết bị kiểm tra giám sát;



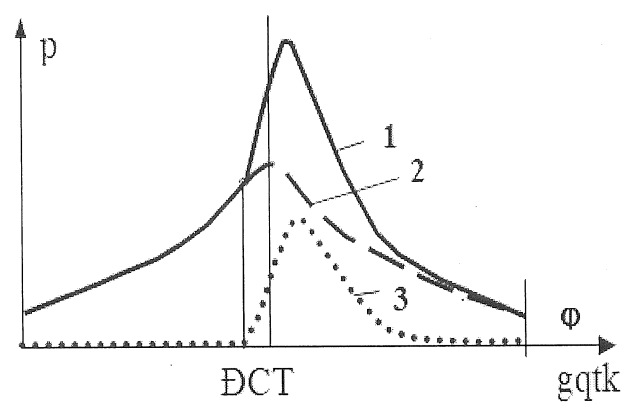
Hình 1



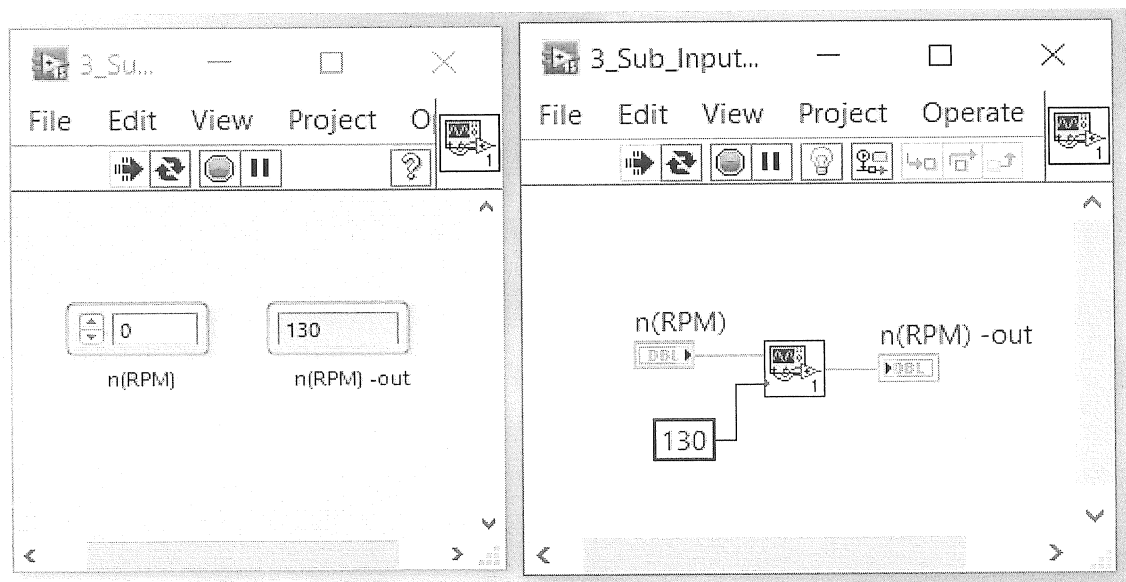
Hình 2



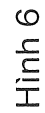
Hình 3

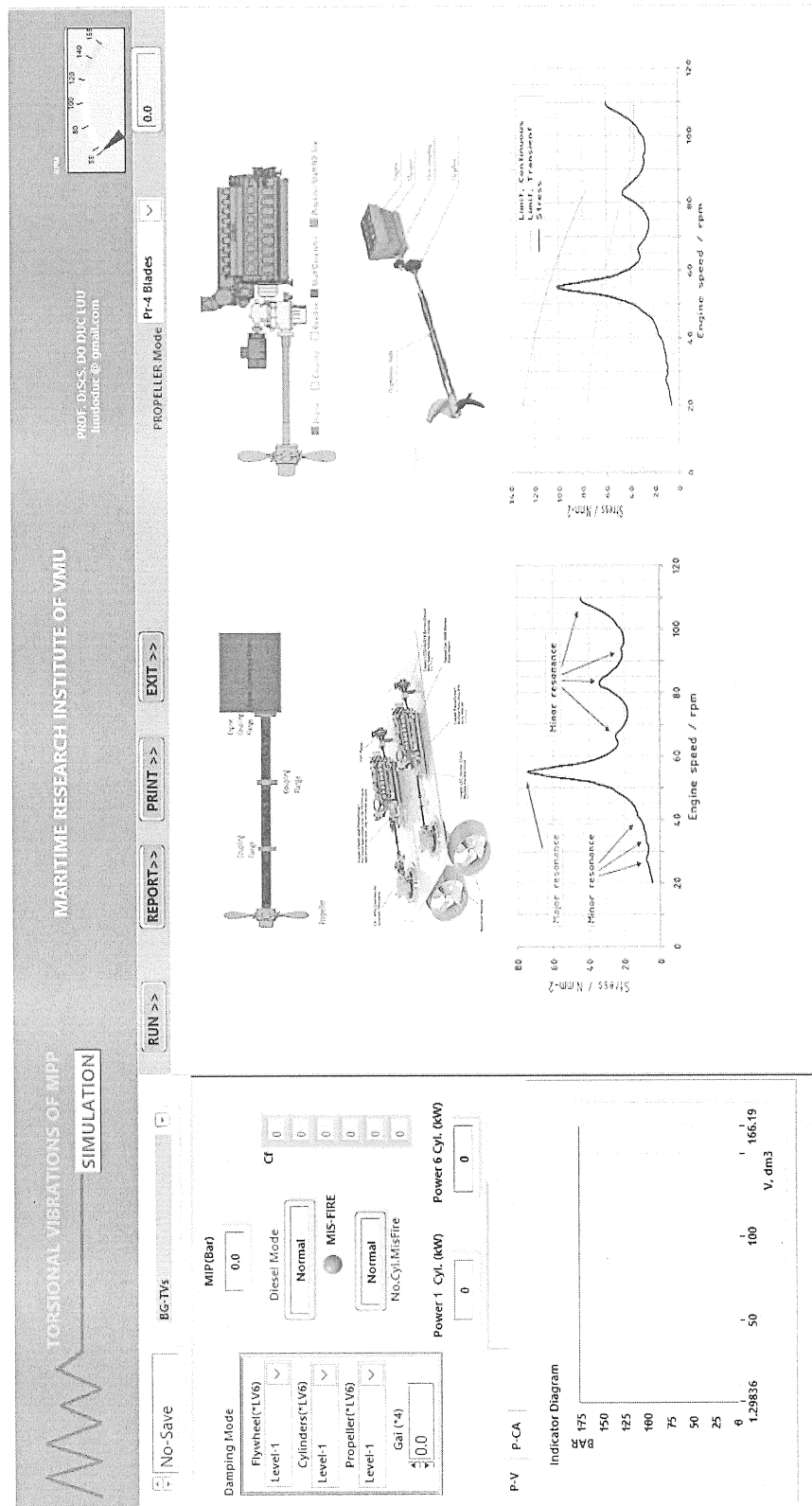


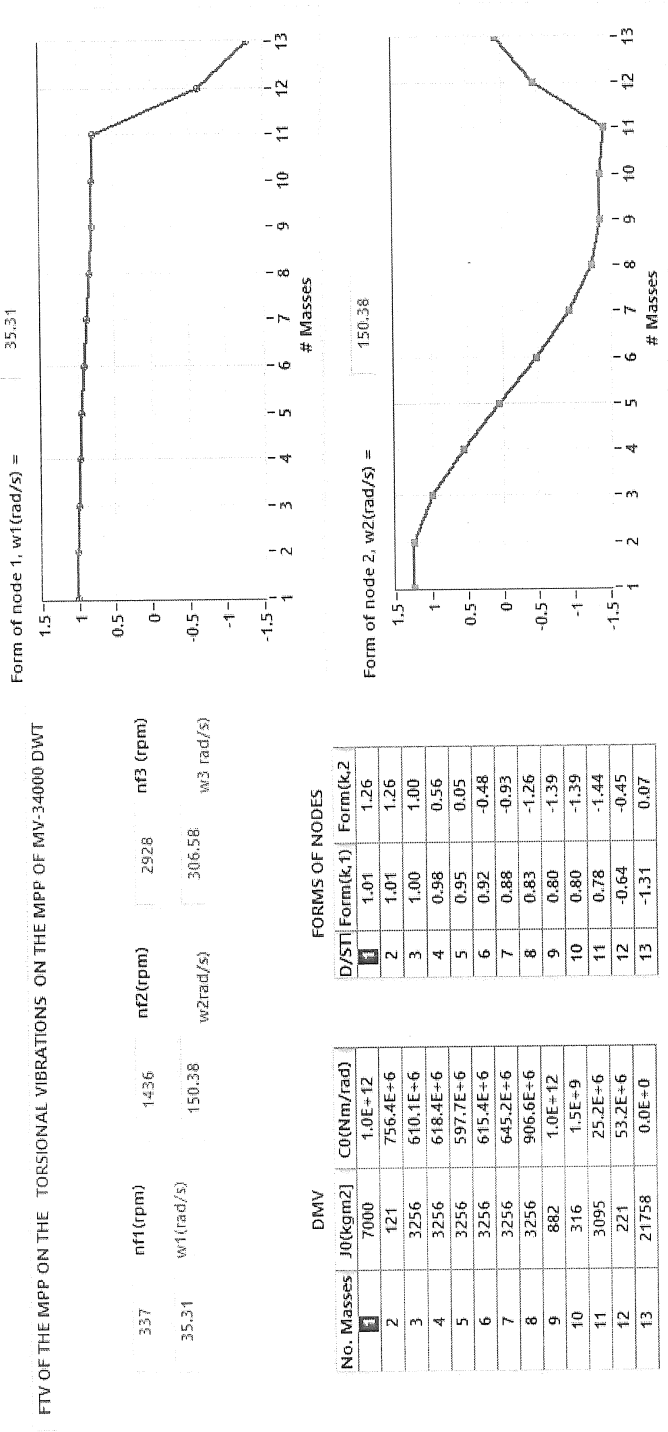
Hình 4



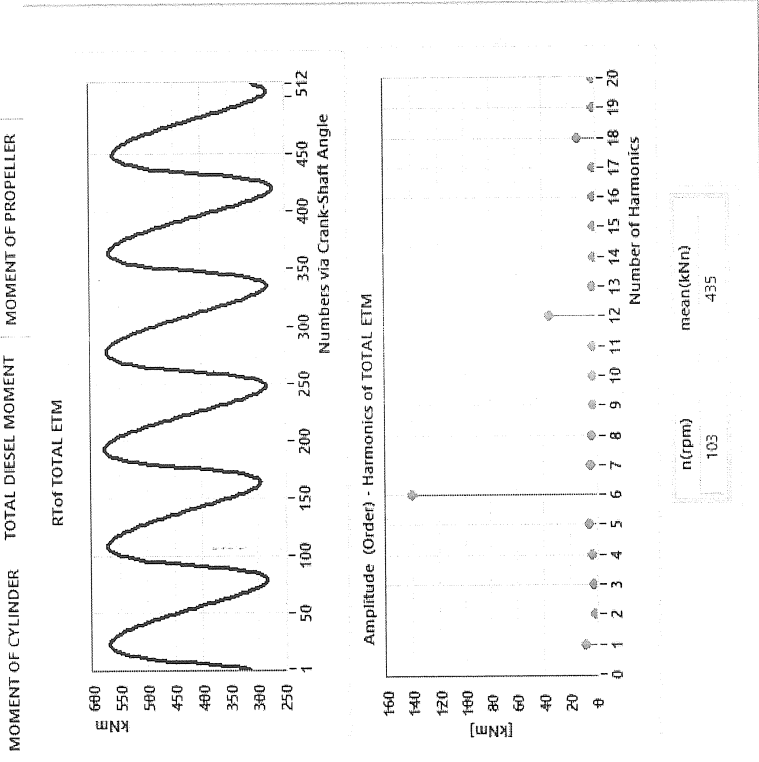
Hình 5



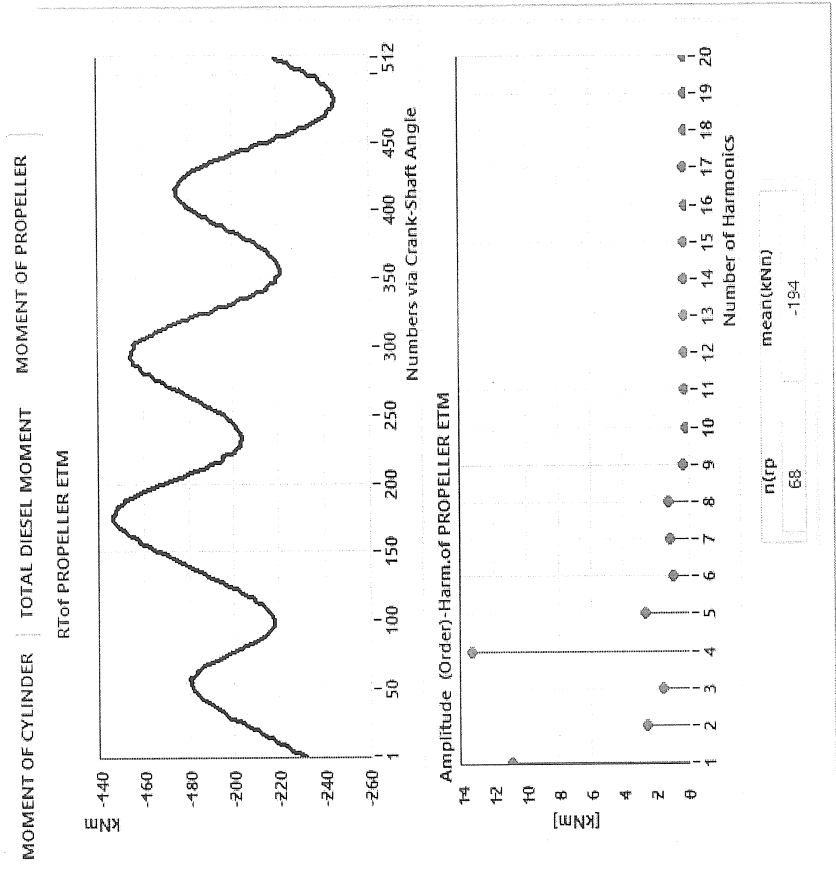




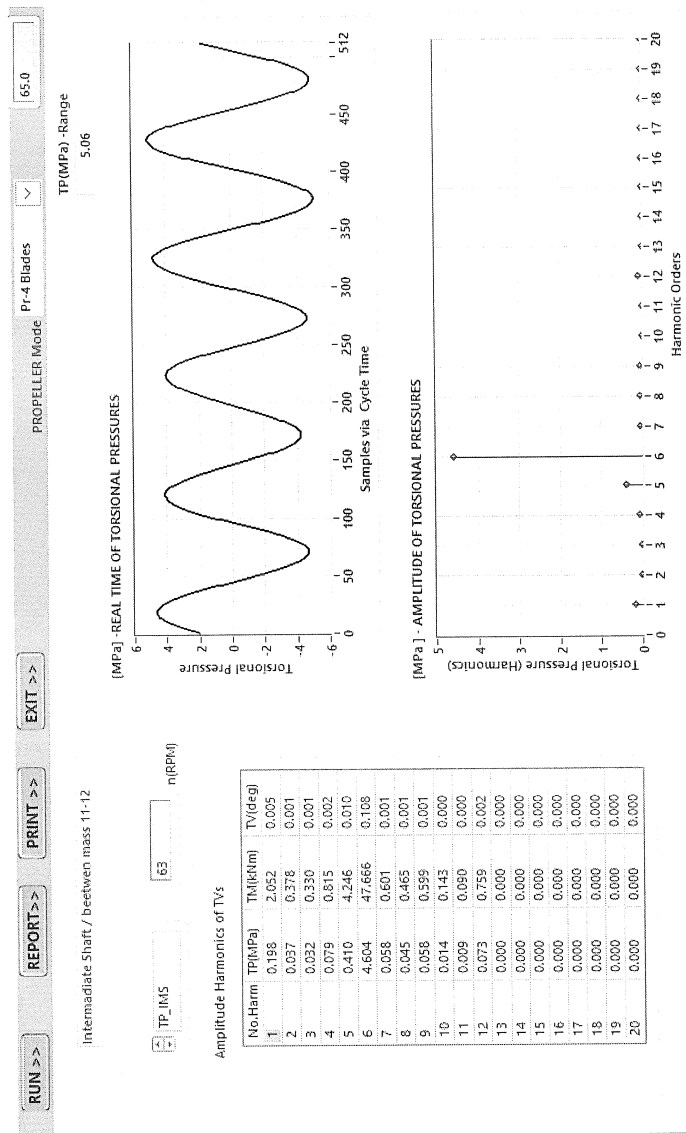
Hình 8



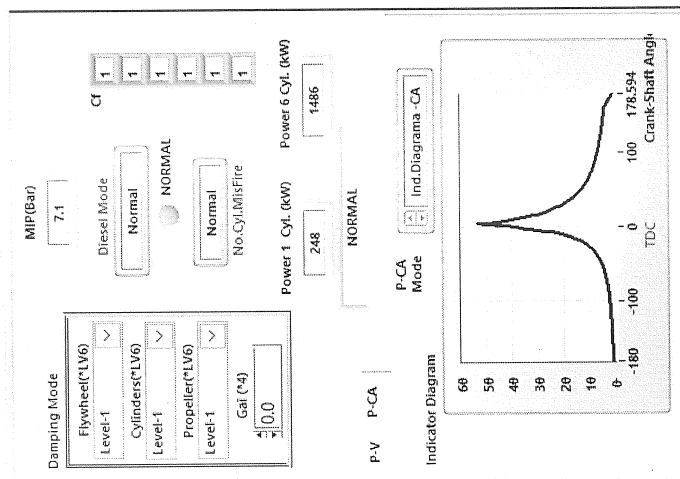
Hình 9

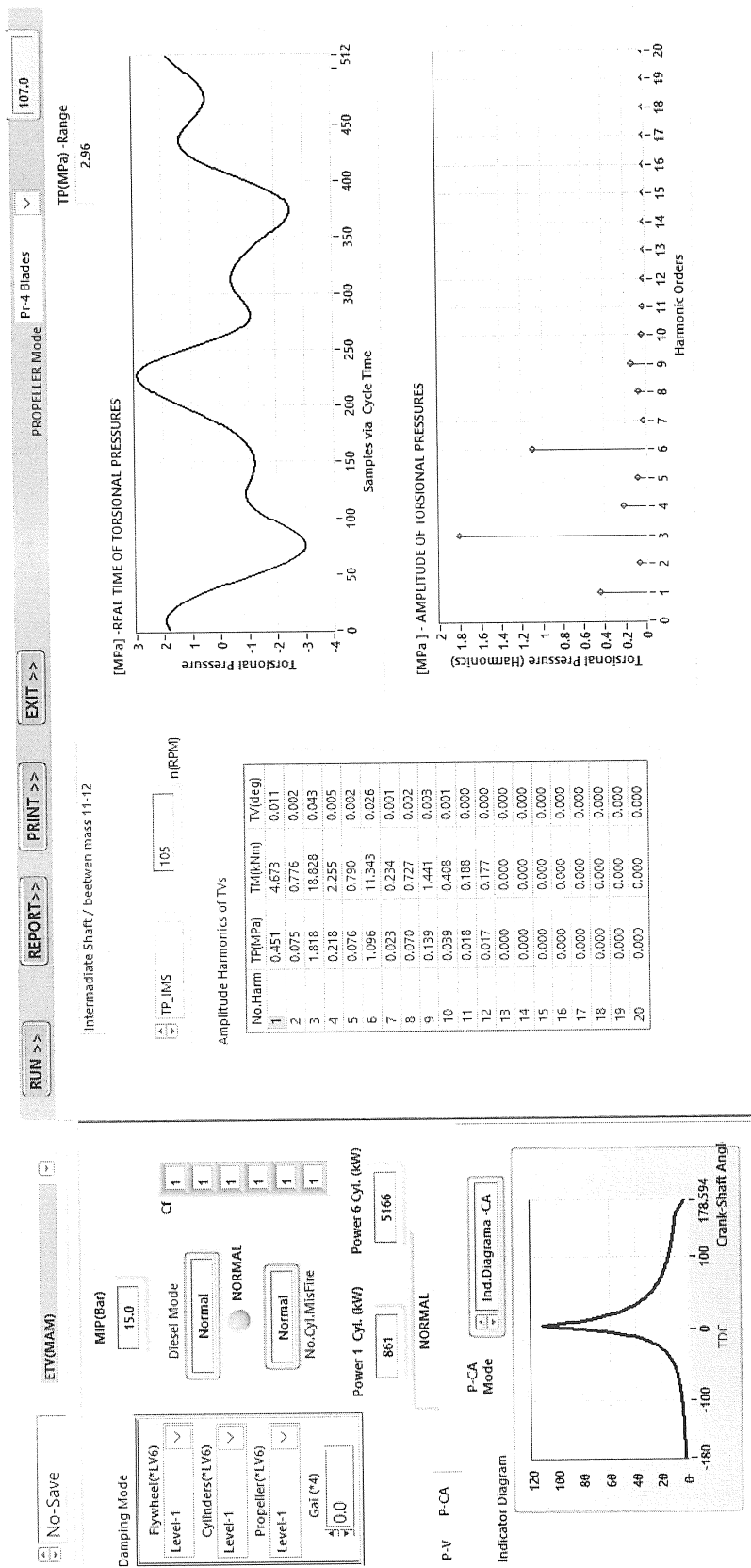


Hình 10

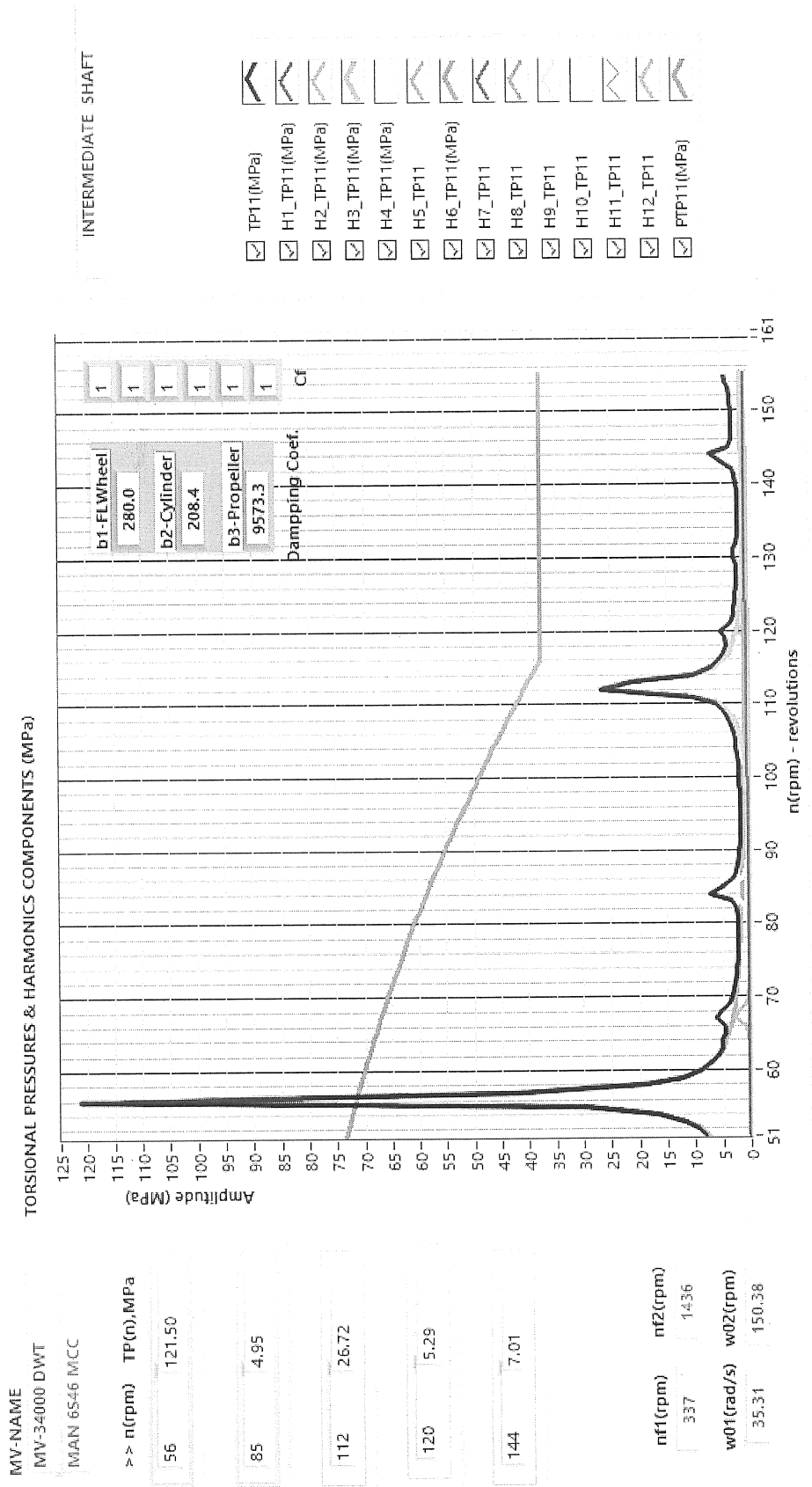


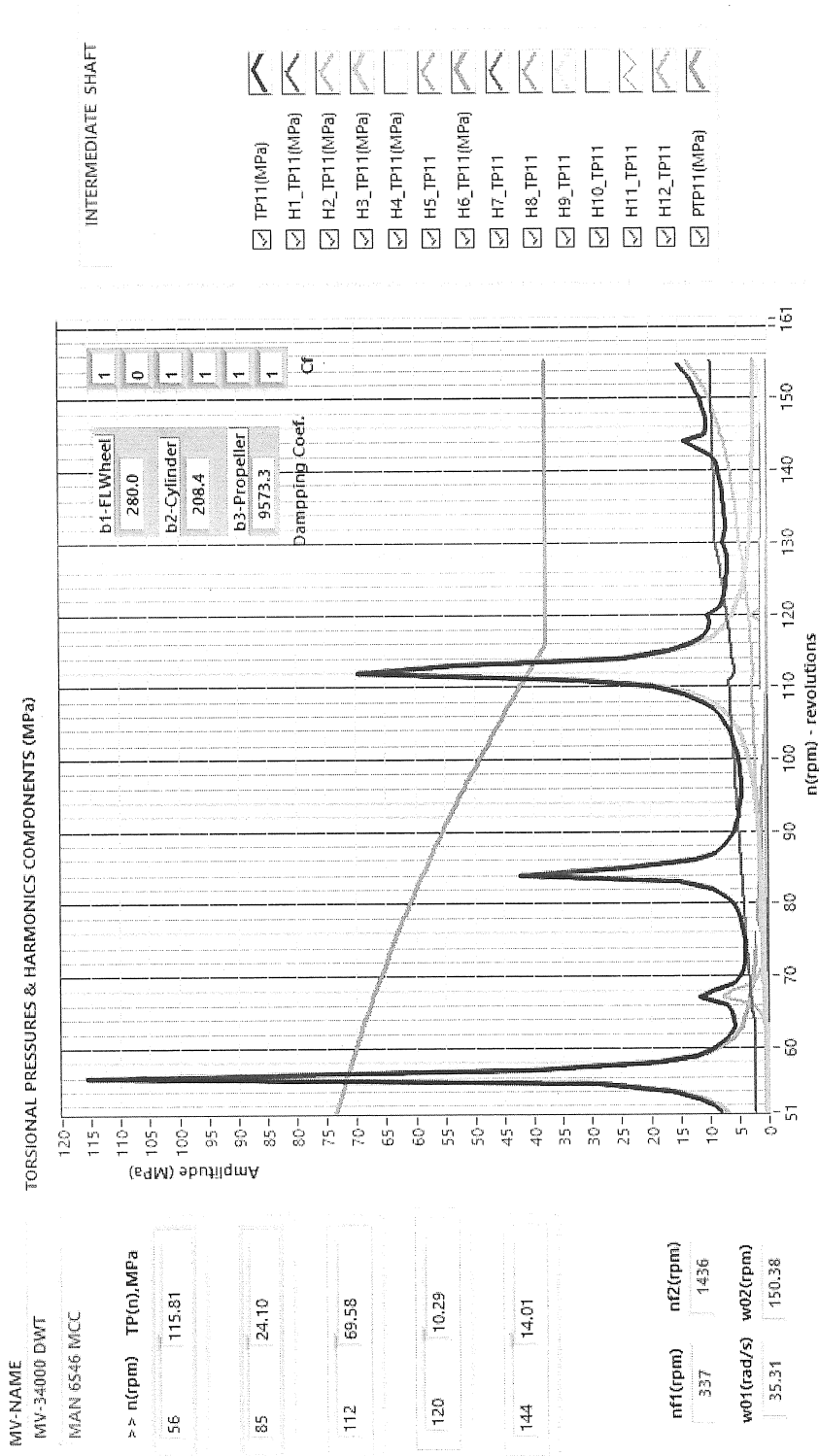
Hinh 11

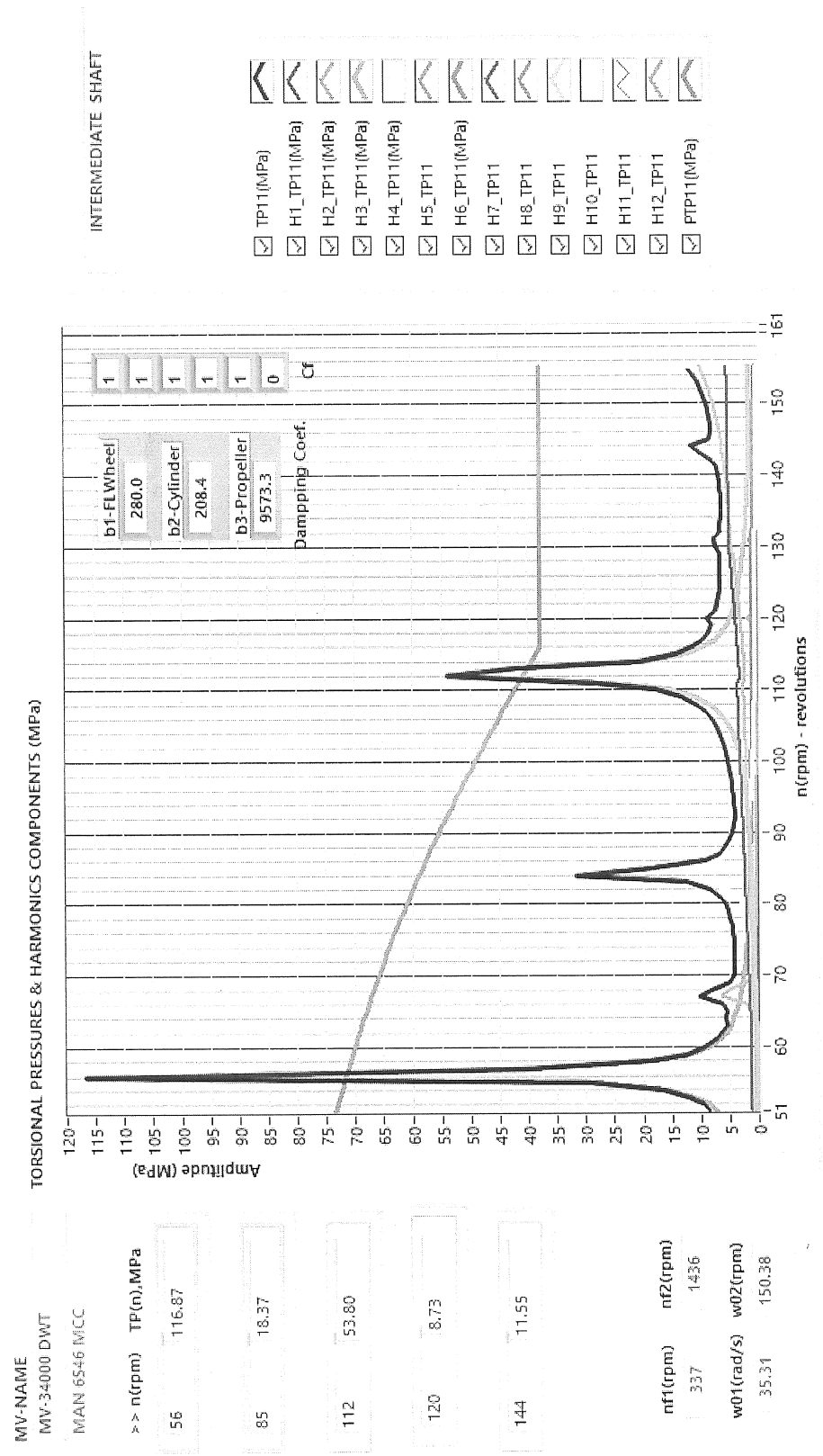




Hình 12







Hình 15