

**BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM**



**LẠI HUY THIÊN**

**ĐỀ TÀI LUẬN ÁN: NGHIÊN CỨU GIÁM SÁT  
RUNG ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU BIỂN**

**Tóm tắt luận án tiến sĩ kỹ thuật**

**Ngành: Kỹ thuật cơ khí động lực; Mã số: 9520116**

**Chuyên ngành: Khai thác, bảo trì tàu thủy**

**Hải Phòng - 2020**

Công trình được hoàn thành tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TSKH. Đỗ Đức Lưu

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

L luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án tiến sĩ cấp Trường họp tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam vào hồi .... giờ ..... phút ngày....tháng....năm....2020.

Có thể tìm hiểu luận án tại Thư viện Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Đóng tàu biển vỏ thép cần đạt các tiêu chuẩn rung động. Các tổ chức Đăng kiểm trong nước và quốc tế đưa ra yêu cầu nghiêm ngặt về rung động trong các bộ tiêu chuẩn (phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép), cụ thể như: QCVN 21:2015/ BGTVT); Quy phạm Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga (RMR, phiên bản 2014); Đăng kiểm Hoa Kỳ (ABS, phiên bản 2015), ...

Nghiên cứu giám sát rung động (GSRĐ) trên động cơ diesel tàu biển (Marine Diesel Engine, MDE) là một nội dung quan trọng trong đánh giá trạng thái kỹ thuật và khai thác MDE. Rung động trên tàu biển có thể gây hư hỏng, giảm độ an toàn và giảm hiệu quả khai thác động cơ cũng như hệ động lực, đồng thời việc GSRĐ giúp ngăn ngừa những rung động lớn, giảm chi phí sửa chữa bảo dưỡng, tăng tuổi thọ của máy móc và thiết bị, đồng thời mang lại hiệu quả kinh tế cao, tăng cường an toàn cho hệ động lực diesel, cho sỹ quan thuyền viên làm việc trên tàu biển. Hiệu quả kinh tế trong GSRĐ, chẩn đoán và dự báo hư hỏng máy tàu biển khoảng 20% cho việc duy tu, bảo dưỡng vì tránh được các hư hỏng, sự cố, tiết kiệm được thời gian sửa chữa, xây dựng được kế hoạch khai thác tối ưu (Minchev D.N, 1986; Lưu Đ.Đ, 2009).

Thiết bị đo rung động đã được chế tạo và cung cấp khá rộng rãi trên thị trường thế giới. Các hãng cung cấp thiết bị đều giữ các bí quyết công nghệ, do vậy chúng ta gặp nhiều khó khăn cho làm chủ công nghệ. Ngoài ra, việc nghiên cứu GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển đòi hỏi các thiết bị cần có số lượng các kênh đo rất lớn, các dạng tín hiệu nghiên cứu đa dạng, phức tạp. Giá thành của thiết bị nhập khẩu rất đắt và nhiều khi không phù hợp cho nghiên cứu phát triển.

GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển là vấn đề mới ở Việt Nam, đến thời điểm này rất ít và hầu như chưa có công trình nghiên cứu hoàn thiện. Xuất phát từ yêu cầu trên, đề tài "***Nghiên cứu giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển***" là cần thiết để góp phần giải mã công nghệ, nghiên cứu chế tạo thiết bị, nội địa hóa sản phẩm phục vụ ngành công nghiệp đóng tàu tại Việt Nam.

### 2. Mục đích nghiên cứu

Mục đích chung cần đạt được của đề tài: Nghiên cứu, chế tạo hệ thống đo và giám sát đồng thời các dạng dao động trên động cơ diesel tàu biển. Cụ thể, đề tài cần đạt được:

- *Nghiên cứu cơ sở lý thuyết rung động* tại các vị trí mà Quy phạm đưa ra gồm có: cơ sở toán học và thuật toán cho GSRĐ; cơ sở công nghệ cho xây dựng thiết bị đo, GSRĐ.

- *Xây dựng được hệ thống đo, phân tích rung động hiện đại*, đa kênh, đáp ứng theo Quy phạm đăng kiểm về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép dùng cho giám sát và chẩn đoán rung động trên động cơ diesel tàu biển, gồm: Đưa

ra sơ đồ nguyên lý hệ thống GSRĐ hiện đại, đa kênh; lựa chọn cấu hình phù hợp theo nguyên lý hệ thống đề xuất; xây dựng một số mô đun phần mềm cơ bản cho thiết bị trên ngôn ngữ lập trình hiện đại (LabView).

- *Thử nghiệm trên đối tượng thực* (mô hình vật lý (MHVL), phòng thí nghiệm, tàu thực) để kiểm tra, hiệu chỉnh thiết bị và kiểm chứng cơ sở khoa học, công nghệ đã nghiên cứu thực hiện.

### **3. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu**

Đối tượng: Thiết bị đo và GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển.

Phạm vi nghiên cứu: Nghiên cứu phương pháp đo, giám sát các dạng dao động trên MDE: dao động xoắn (góc) trên hệ trục diesel lai chân vịt (Main Propulsion Plant, MPP); dao động dọc trục trên MPP; dao động ngang có phương thẳng, vuông góc với đường trục trên MDE.

Giới hạn phạm vi nghiên cứu:

Về lý thuyết: nghiên cứu cả ba dạng dao động: xoắn, dọc và ngang.

Về thí nghiệm trên tàu thực: dao động xoắn và ngang.

### **4. Phương pháp nghiên cứu**

Phân tích đánh giá và tổng hợp nội dung nghiên cứu. Kết hợp mô hình hóa, mô phỏng số, chế tạo thiết bị đo, thử nghiệm trên mô hình vật lý và đối tượng thực. Sử dụng lý thuyết cơ học, dao động kỹ thuật, xử lý tín hiệu số, lý thuyết đo, thử nghiệm, toán học thống kê...

### **5. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn**

*\* Ý nghĩa khoa học và công nghệ*

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết đo, GSRĐ, làm chủ khoa học và công nghệ cho chế tạo thiết bị đo và GSRĐ trên MDE tại Việt Nam.

- Tổng hợp được cơ sở khoa học và công nghệ để giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển.

*\* Ý nghĩa thực tiễn*

- Xây dựng thành công thiết bị đo GSRĐ trên đối tượng thực tế trong ngành máy tàu biển.

- Thiết bị sẽ được ứng dụng vào khai thác cũng như nghiên cứu phát triển để giúp cho người khai thác có thể biết được tình trạng kỹ thuật của máy, xu hướng hư hỏng có thể xảy ra trong khai thác, nâng cao hiệu quả khai thác và an toàn cho tàu biển (cả trong đóng mới, hoán cải).

- Hoàn thiện phương pháp, giải mã công nghệ thiết kế, chế tạo thiết bị GSRĐ trên MDE mang tính thời sự, khoa học và thực tiễn.

### **6. Kết cấu của luận án**

Luận án bao gồm 127 trang, 09 bảng biểu, 72 hình vẽ, phần mở đầu và 4 Chương, phần kết luận, các công trình nghiên cứu đã công bố của tác giả, tài liệu tham khảo và phụ lục.

# **Chương 1. TỔNG QUAN VỀ GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU BIỂN**

## **1.1. Tổng quan về giám sát rung động**

Khi tàu được đóng mới hoặc hoán cải, cần phải trình Đăng kiểm bảng tính dao động xoắn hệ trục chính diesel tàu biển lai chân vịt. Trong thử nghiệm đường dài, cần tiến hành đo, xử lý tín hiệu dao động xoắn để kiểm tra độ tin cậy của bảng tính và khẳng định: trong phạm vi hoạt động của MPP đưa ra không có ứng suất xoắn nguy hiểm.

Đối với tàu đóng mới hoặc hoán cải, cần tiến hành đo, kiểm tra các dạng dao động dọc và ngang tương ứng theo quy định của từng Đăng kiểm lựa chọn. Trong số các Đăng kiểm đã đưa ra các tiêu chuẩn, về mức độ đầy đủ nhất là tiêu chuẩn dao động theo RMR, phiên bản 2014, (RMR).

Theo Đăng kiểm RMR, phiên bản 2014, DNV, phiên bản 2011 chỉ ra vị trí các điểm đo, số lượng các phương đo, các đặc tính cơ bản của tín hiệu dao động và điều kiện biên cũng như các giới hạn cho phép đối với từng dạng dao động. *Như vậy, luận án cần xây dựng thiết bị đo và GSRĐ đa kênh, tích hợp đồng bộ cho các dạng dao động trên MDE.*

## **1.2. Tình hình nghiên cứu thế giới và trong nước**

*Trên thế giới:* Các nghiên cứu GSRĐ tua bin khí xả; hệ thống chẩn đoán đối với động cơ tua bin; giám sát tình trạng thiết bị, chẩn đoán lỗi và xử lý sự cố... Nhiều nhà khoa học tại Bulgaria (Minchev D.N, NheDev A...), Liên bang Nga (Alecsiev A, Baliski Ia, Barcov A., Genkin...) và các nước khác có các kết quả nghiên cứu giám sát và chẩn đoán rung động, áp dụng chủ yếu đối với các máy rô to công nghiệp. LATS của Jyoti K. Sinha (2002) trong nghiên cứu thí nghiệm sử dụng MHVL cho đối tượng rô to cần đo, có xét đến ổ đỡ sử dụng chất lỏng bôi trơn và bộ đỡ đàn hồi. LATS của Andris Unbedahts (2016) phát triển phương pháp chuẩn đoán kỹ thuật MDE bằng dao động âm thanh, sử dụng thiết bị đo hai kênh và máy hiện sóng.

*Trong nước:* GSRĐ mới chỉ được quan tâm ít năm gần đây. Một số nghiên cứu dựa trên các thiết bị đo có sẵn hoặc chế tạo thiết bị đo từ một đến hai kênh đo cùng loại tín hiệu đầu vào, hoặc dùng vi điều khiển để thu thập và phân tích, xử lý dữ liệu, phần mềm để lập trình và mô phỏng phân tích dữ liệu sử dụng phần mềm MatLab, các thiết bị hầu như chưa được hoàn chỉnh và chưa được các tổ chức chuyên môn chứng nhận. Luận án tiến sĩ (LATS) của Cao Hùng Phi (2012) đã xây dựng hệ thống, thiết bị đo ổn - rung. LATS Trần Văn Lượng (2000) đo đặc, đánh giá trạng thái rung của các thiết bị quay được sử dụng trong các nhà máy điện tại Việt Nam. LATS Hoàng Văn Sĩ (2019) chế tạo thiết bị đo mô men xoắn bằng tem biến dạng, dán trên bề mặt trục chịu xoắn. Lê Đình Tuấn và cộng sự (2015) đưa ra một số kết quả đo và xử lý các số liệu, phân tích dao động khi thử tàu hàng rời 6.800 tấn; Nguyễn Thị Diệu Linh và cộng sự (2018) đã nghiên cứu, thiết kế thiết bị đo rung động cho các máy công nghiệp... Đối tượng của các đề tài, các công trình chủ

yếu tập trung vào nghiên cứu mất cân bằng của rô to và máy công tác, đối tượng trên MDE và MPP rất ít công trình nghiên cứu.

*Nhận xét:* Nhìn chung, chưa có công trình nào đề cập đến xây dựng thiết bị đo và GSRĐ cho MDE. Các công trình nghiên cứu trong nước và thế giới tập trung xây dựng phương pháp xử lý các tín hiệu dao động, chủ yếu là tín hiệu dao động ngang trên máy rô to cho các bài toán chẩn đoán. Phương pháp chung nhất dùng FFT phân tích các tín hiệu dao động có thể được nghiên cứu, sử dụng cho nhiệm vụ GSRĐ của đề tài luận án đặt ra. Tuy nhiên, các vấn đề xử lý tín hiệu trong miền thời gian cho giám sát dao động (GSDĐ) xoắn, xử lý FFT + lọc 1/3-octave cho GSDĐ ngang và dọc theo Quy phạm RMR lại chưa có công trình nào đề cập đến. Từ đó, nghiên cứu GSRĐ trên MDE là cần thiết không chỉ theo luật định, mà còn gắn liền với hoạt động kinh doanh của các đội tàu vận tải biển, các công ty đóng tàu, cũng như việc nghiên cứu phát triển, làm chủ công nghệ và cung cấp dịch vụ khoa học kỹ thuật cho các đội tàu của Việt Nam.

### **1.3. Đặt bài toán nghiên cứu**

Với mục đích nghiên cứu chế tạo thiết bị đo, giám sát rung động đa kênh trên MDE, các bài toán được đặt ra cho luận án như sau:

- Đo, thu thập các tín hiệu dao động cần giám sát;
- Xử lý các tín hiệu dao động đo được;
- Xây dựng đặc tính chuẩn (tham chiếu, REF) cho GSRĐ;
- Ra quyết định GSRĐ;
- Hiện thị kết quả GSRĐ.

### **1.4. Kết luận chương 1**

Chương 1 đưa ra được tính cấp thiết GSRĐ cho MDE tại Việt Nam.

Phân tích các Quy phạm Đăng kiểm và các tiêu chuẩn về rung động trên MDE để lựa chọn Quy phạm áp dụng cho từng loại dạng dao động.

Đặt ra mục tiêu, giới hạn và nội dung cần nghiên cứu của đề tài luận án tiến sĩ chuyên ngành.

## **Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU BIỂN**

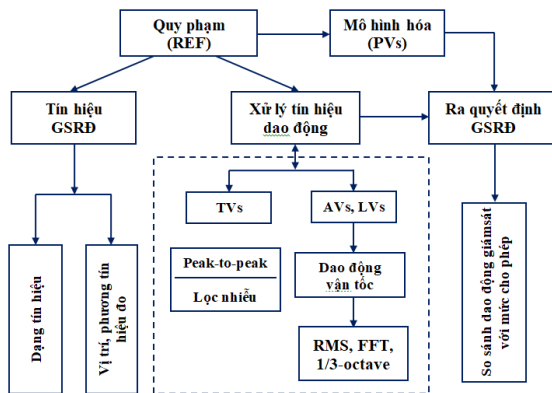
Cơ sở lý thuyết bao gồm cơ sở khoa học và công nghệ (CSKH và CSCN) đáp ứng 5 nhiệm vụ cơ bản của quá trình GSRĐ trên MDE như đã phân tích trong Chương 1: Đo (mô phỏng) các tín hiệu dao động; xử lý các tín hiệu dao động; xây dựng các đặc tính giới hạn dao động; ra quyết định và hiện thị kết quả giám sát rung động. Các nội dung của CSKH, CSCN được xác định trên cơ sở phân tích, tổng hợp yêu cầu của Quy phạm Hàng hải cho đo và GSRĐ trên MDE.

### **2.1. Các sơ đồ nguyên lý cho giám sát rung động trên MDE**

#### **2.1.1. Sơ đồ nguyên lý cho giám sát rung động trên MDE**

Trên Hình 2.1 tổng hợp mối quan hệ giữa yêu cầu của RMR với nội dung cần xây dựng của cơ sở lý thuyết cho GSRĐ. Quy phạm chỉ ra 3 dạng dao động cơ bản cần được giám sát: dao động xoắn, ngang và dọc. Mỗi dạng được đề xuất điểm đo và phương đo. Tùy theo từng dạng dao động cần xử lý để thu được các đặc tính cần thiết, biểu diễn trong miền thời gian hay miền tần số. Nhiệm vụ đưa ra kết quả giám sát (ra quyết định giám sát) trên cơ sở thuật toán và phần mềm tự động so sánh các tập dữ liệu chuẩn tham chiếu với tập các đặc tính hiện hành.

*Dao động xoắn* (TVs) thường dùng tem biến dạng dán trên bề mặt trục trung gian hoặc trục chân vịt. Từ đó cần xây dựng cơ sở lý thuyết (CSLT) cho thu thập tín hiệu biến dạng (strain,  $\epsilon$ ) và xử lý tín hiệu để có các giá trị peak-to-peak và so



Hình 2.1. Mô hình chức năng GSRĐ trên MDE

sánh với giá trị ứng suất cho phép (Permitted Torsional Pressure, PTP) [ $\tau(\lambda)$ ],  $\lambda$  - tốc độ quay tương đối. Xử lý TVs: đưa ra phổ tần - bậc điều hòa.

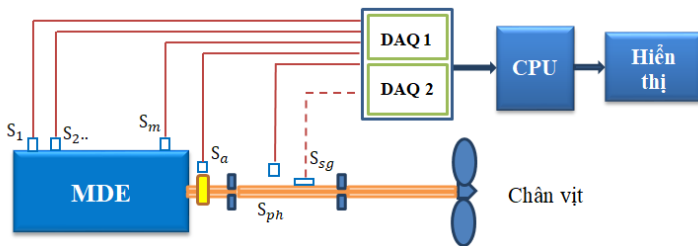
*Dao động ngang* trên bề mặt động cơ thường đo từ dao động gia tốc. RMR đưa ra tham chiếu (REF): dao động vận tốc (mm/s, hoặc dB tương ứng). Từ đó cần phải đồng thể hóa đơn vị của các đại lượng sau xử lý để ra quyết định được chính xác. Như vậy, đầu tiên xây dựng REF có đơn vị đồng nhất ( $m/s^2$ , hoặc dB tương ứng). Tiếp theo thực hiện biến đổi FFT và 1/3-octave cho tín hiệu gia tốc đo được.

*Dao động dọc đối với MPP sử dụng MDE 2 kỳ.* RMR đưa ra: REF vận tốc tại gối đỡ chặn. Hoàn toàn tương tự nếu sử dụng sensor gia tốc đo tại gối đỡ chặn. Nếu gối đỡ chặn nằm trong động cơ việc đo có thể gặp nhiều khó khăn. Nếu gối đỡ chặn nằm bên ngoài động cơ, đo và xử lý tín hiệu cho GSĐĐ dọc hoàn toàn giống như GSĐĐ ngang đã xét trên. Ngoài ra, về lý thuyết, có thể đo biến dạng tại trục trung gian, giống như đo TVs. Khi đó, REF cho gối đỡ chặn cần được nhất thể hóa về đơn vị (cùng là chuyển vị, mm). Phương pháp tính chuyển thực hiện theo phương pháp hệ trục chính (Minchev N.D, 1983; Lưu Đ.Đ, 2009). Tuy nhiên, trong thực tế triển khai đo biến dạng tại gối đỡ chặn (phần bề mặt không quay) không gặp bất kỳ khó khăn gì.

Đối với MPP trên tàu dùng MDE 4 kỳ. Dùng hộp giảm tốc để kết nối với chân vịt, gối đỡ chặn dọc lập không sử dụng, và thay vào đó là các gối chặn của hộp giảm tốc. Nếu đo biến dạng dọc trên trục trung gian hoặc trục chân vịt, đó là dao động dọc trục do chân vịt sinh ra. Lực dọc trục do cơ bóp động của trục khuỷu MDE có thể tác động tại gối đỡ chặn, phần chủ động của hộp số.

### 2.1.2. Sơ đồ chức năng nhiệm vụ GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển

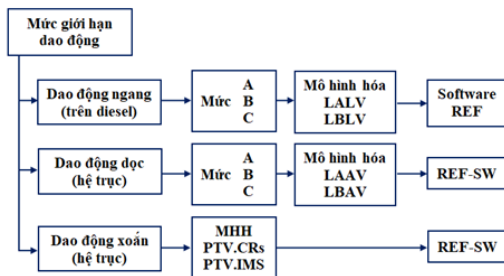
Hệ thống GSRĐ là loại đa kênh (Multi-channel System for Measuring and Monitoring Vibrations, MMMVS) chỉ ra trên Hình 2.2 cho MPP dùng MDE hai kỳ. Hệ thống đo hiện đại gồm phần cứng và phần mềm tương ứng cho đo, xử lý tín hiệu dao động, ra kết quả GSRĐ trên cơ sở dữ liệu tham chiếu được xây dựng và lưu trữ trong CPU.



Hình 2.2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống GSRĐ đa kênh trên MDE

Bộ sensors accelerometers gồm  $m$  đầu đo dao động ngang,  $S_a$  - đầu đo dao động dọc tại gối chặn (accelometer),  $S_{ph}$  - đầu đo pha (quang),  $S_{sg}$  - đầu đo dao động xoắn (strain gauge)

Đặc tính REF dao động ngang và dọc được xây dựng theo tần số trung bình lọc 1/3-octave. Đặc tính REF TVs được xây dựng theo vận tốc quay tương đối  $\lambda = n/n_{nor}$ ;  $n, n_{nor}$  - vòng quay thực tế và định mức (rpm).

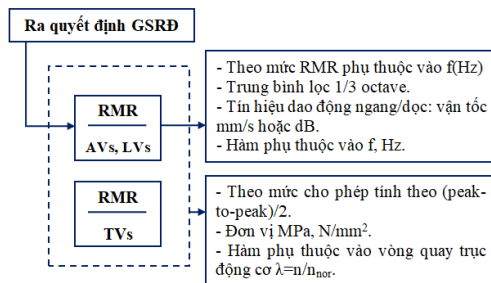


Hình 2.3. Sơ đồ nguyên lý xây dựng phần mềm xác định giá trị dao động cho phép theo Đăng kiểm RMR



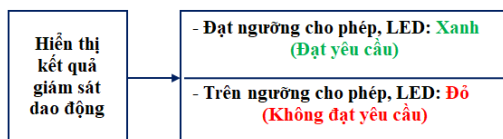
Ra quyết định GSĐĐ ngang và dọc theo từng tần số trung bình lọc 1/3-octave.

Ra quyết định GSĐĐ TVs - theo vận tốc quay tương đối  $\lambda$



Hình 2.4. Sơ đồ nguyên lý ra quyết định GSRĐ theo RMR

Kết quả GSĐĐ (dạng bất kỳ) được hiển thị trên đồ thị, bảng số liệu và đèn LED chỉ báo.



Hình 2.5. Hiện thị kết quả giám sát rung động

### 2.1.3. Sơ đồ chức năng mô phỏng GSRĐ trên MDE

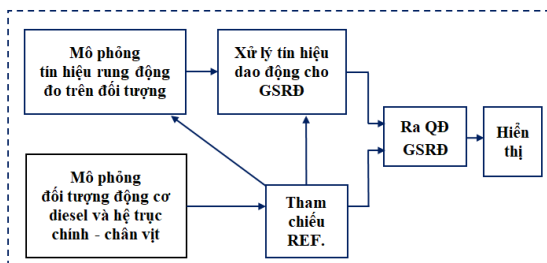
Mô phỏng GSRĐ cho các dạng dao động nói chung gồm các khối chức năng mô phỏng: từng tín hiệu dao động (đầu vào) cho giám sát đối tượng; xử lý tín hiệu cho GSĐĐ; ra quyết định (theo yêu cầu của REF), và hiển thị kết quả (thể hiện trên Hình 2.6).

## 2.2. Mô hình toán các đặc tính giới hạn dao động được giám sát

### 2.2.1. Giới hạn dao động dọc, ngang: dao động vận tốc (mm/s)

Tiêu chuẩn dao động cho gối đỡ chặn được chỉ ra trong RMR, được mô hình hóa dưới dạng các mô hình hồi quy, lập trình trong MatLab / LabView tương ứng các đường cong giới hạn mức A hay B.

Đặc tính giới hạn dao động trên bề mặt động cơ (dao động ngang) được mô hình hóa tương tự như dao động dọc tại gối đỡ chặn.



Hình 2.6. Sơ đồ nguyên lý mô phỏng GSRĐ trên MDE và MPP

### 2.2.2. Giới hạn dao động dọc, ngang: dao động gia tốc ( $m/s^2$ )

Tại tần số  $f$  có biên độ vận tốc  $A_v$  và pha  $\gamma_v$ , tín hiệu dao động điều hòa có dạng:  $X_v(t) = A_v \cdot \cos(\omega t + \gamma_v)$ , còn tín hiệu gia tốc với biên độ  $A_a$  và pha  $\gamma_a$  có dạng:  $X_a(t) = A_a \cdot \cos(\omega t + \gamma_a)$ , giữa các biên độ và pha của các dạng tín hiệu trên, mối quan hệ được xác định theo phép biến đổi tích phân hoặc vi phân giữa hai tín hiệu (mục 2.3.4).

### 2.2.3. Giới hạn ứng suất xoắn (MPa, N/mm<sup>2</sup>)

Giới hạn ứng suất xoắn (Permitted torsional pressure, PTP) trên trục trung gian, trục chân vịt và trục khuỷu của MDE tính theo vòng quay tương đối  $\lambda$ . Các đặc tính trên được đưa ra tại QCVN 21:2015/BGTVT.

## 2.3. Cơ sở toán học cho đo và xử lý tín hiệu dao động

### 2.3.1. Cơ sở khoa học trích mẫu đo và lưu trữ dữ liệu

Các tín hiệu dao động đo trên MDE cần đúng cho chu kỳ làm việc của động cơ. Đối với MDE 2 kỳ cần trích mẫu đúng 1 chu kỳ, bằng 1 vòng quay trục khuỷu, còn đối với MDE 4 kỳ - đúng 1 chu kỳ bằng 2 vòng quay trục khuỷu. Từ đó cần có tín hiệu pha xác định thời điểm đầu và cuối cho trích mẫu.

Thiết bị đo có bộ phát tín hiệu gồm: tần số trích mẫu  $F_s$ , mẫu/giây/kênh. Từ đó xác định thời gian trích mẫu  $T_s$ , đúng cho chu kỳ công tác của động cơ.

Trong công trình nghiên cứu (Đ.Đ Lưu, H.V Sĩ, L.V Vang, 2016) đã chỉ ra sự cần thiết cần trích số mẫu trong một chu kỳ công tác của động cơ. Nếu có sai số trích mẫu, sai số khi xử lý FFT của tín hiệu rất lớn.

Hiện nay, công nghệ NI - DAQ NI 9234 cho phép tốc độ lấy mẫu của DAQ lên tới 51.2 kHz/kênh đo; NI - DAQ NI 9191 (đo biến dạng, SG) cho phép tốc độ lấy mẫu cực đại tới 50.0 kHz/kênh đo. Với các thông tin này, ta thiết lập cấu hình phù hợp cho đo và lưu trữ dữ liệu đo được.

### 2.3.2. Mô hình xử lý tín hiệu dao động

#### 2.3.2.1. Tín hiệu đo xử lý trong miền thời gian thực, có nhiễu

$$V(t) = V_e(t) + \eta_x(t); \mathbf{V} = [V_1, V_2, \dots, V_n]^T \quad (2.1)$$

Trong đó tín hiệu dao động:  $V(t)$ ,  $V_e(t)$ ,  $\eta(t)$  - đo được, có ích và nhiễu theo thời gian đo  $t$ .

Dùng một trong hai bộ lọc làm việc ở thời gian thực để loại bỏ nhiễu: Bộ lọc trung bình hoặc bộ lọc trượt trung bình.

Tại  $k$  chu kỳ, ta có ma trận dữ liệu đo của tín hiệu

$$\mathbf{V} = [V(i,j)]; i=1 \dots k; j=1 \dots n \quad (2.2)$$

Tín hiệu có ích được đánh giá qua bộ lọc trung bình

$$V_e = [V_{e1} \quad V_{e2} \quad \dots \quad V_{en}]^T; V_e = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k V_{im}; m=1,2, \dots, n \quad (2.3)$$

Tín hiệu có ích được đánh giá qua bộ lọc trượt trung bình

$$V_e(j) = \frac{1}{2^{p+1}} \sum_{r=0}^p V(j \pm r) \quad (2.4)$$

*Xác định đặc tính của tín hiệu có ích trong miền thời gian thực*

RMS: Root mean square – Giá trị căn bậc hai trung bình,

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V^2(j)} \quad (2.5)$$

Peak-to-peak: Hiệu giữa giá trị biên độ (cao nhất và thấp nhất)

### 2.3.2.2. Tín hiệu đo xử lý trong miền tần số

- Phép biến đổi FFT thuận ( $\text{fft}(v)$ )

$$Y(k) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(n) \cdot W_N^{-k \cdot n}; W_N = e^{i \frac{2\pi}{N}}; k = 1 \dots N \quad (2.6)$$

- Phép biến đổi FFT ngược ( $\text{ifft}(v)$ )

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=-N/2}^{N/2} Y(k) \cdot W_N^{k \cdot n}; n = 1 \dots (N-1) \quad (2.7)$$

- Lọc 1/3-octave.

Bộ lọc Octave dùng trong xử lý tín hiệu dao động, âm thanh. Theo IEC 1260:1995 và ANSI S1.11-2004 tiêu chuẩn quốc tế xác định tần số trung tâm  $f_C$  và tần số giới hạn dưới và trên  $f_L, f_H$  (Hz) đối với lọc băng thông 1/3 octave, xác định theo công thức sau ([www.ni.com](http://www.ni.com)):

$$f_L = f_C \cdot 2^{-1/6} \approx 0.891 f_C; f_H = f_C \cdot 2^{1/6} \approx 1.122 f_C \quad (2.8)$$

### 2.3.3. Cơ sở toán học ra quyết định GSRĐ trên MDE

2.3.3.1 Ra quyết định dao động ngang trên MDE và dao động dọc tại giới đờ chặn theo RMR

Tiến hành kiểm tra: nếu đạt yêu cầu  $\rightarrow Y$ , còn không đạt  $\rightarrow N$ .

∀f :  $A(f) \leq \text{LALV}(f) \rightarrow A: (YA), B: (YB)$ .

$\text{LALV}(f) < A(f) \leq \text{LBLV}(f) \rightarrow A: NA, B: YB$ .

$A(f) > \text{LBLV}(f) \rightarrow A$  và  $B: NA$  và  $NB$ .

2.3.3.2 Ra quyết định giám sát dao động xoắn trên MDE theo RMR

Tại tất cả vòng quay khai thác:  $\lambda = n/n_{\text{nor}} = [\lambda_{\text{min}}, \lambda_{\text{max}}]$

∀ $\lambda_j$  :  $\tau_{(j)} < [\tau_{(j)}] \rightarrow$  Không có dao động xoắn nguy hiểm.

$\tau_{(j)} < \tau_{(j)} < k[\tau_{(j)}] \rightarrow$  Cho phép chuyển nhanh qua vùng cấm.

$\tau_{(j)} \geq k[\tau_{(j)}] \rightarrow$  Dao động xoắn quá nguy hiểm cần có biện pháp khắc phục,  $k=2$  cho trục trung gian, chân vịt;  $k=1.7$  - trục khuỷu.

### 2.3.4. Cơ sở toán học chuyển đổi dạng dao động

Ta cần đồng bộ đơn vị đo của tín hiệu đo (gia tốc, vận tốc hay chuyển vị), và tín hiệu tham chiếu theo RMR. Có hai quan điểm: (a). Biến đổi tín hiệu đo được về dạng tín hiệu tham chiếu; (b). Biến đổi các đặc tính tham chiếu về cùng dạng tín hiệu dao động đo.

Để hạn chế công đoạn xử lý tín hiệu đo, NCS chọn phương án (b). Tín hiệu dao động được biểu diễn dưới dạng tổng của M tín hiệu thành phần hình sin với tần số và biên độ xác định:

$$V_s(t) = \sum_{k=1}^M V_{s,k}(t) = \sum_{k=1}^M R_{s,k} \cos(k\omega t + \gamma_{s,k}) \quad (2.9)$$

Tín hiệu được xử lý qua bộ tích phân (INT.FFT) hay vi phân (DIF.FFT) trong miền tần số, đầu ra được xác định như sau:

$$\text{INT.FFT} \Rightarrow V_{o,\text{INT.FFT}}(t) = \int \sum_{k=1}^M V_{s,k}(t) dt = \sum_{k=1}^M (k\omega) R_{s,k} \cos(k\omega t + \gamma_{s,k} - \pi/2) \quad (2.10)$$

$$\text{DIF.FFT} \Rightarrow V_{o,\text{DIF.FFT}}(t) = \frac{d}{dt} \sum_{k=1}^M V_{s,k}(t) = \sum_{k=1}^M \frac{R_{s,k}}{k\omega} \cos(k\omega t + \gamma_{s,k} + \pi/2) \quad (2.11)$$

### 2.3.5. Mô hình toán tín hiệu dao động đo được

Tín hiệu đo luôn chứa nhiễu và là tổng của các thành phần hình sin. Đối với tín hiệu TV<sub>S</sub> chúng ta quan tâm đến M<sub>h</sub>=12 điều hòa đầu tiên khi dùng MDE hai kỳ, còn khi dùng MDE bốn kỳ, M<sub>h</sub>=25 (RMR). Đối với các dạng dao động dọc và ngang, số lượng các điều hòa sẽ lớn hơn.

#### 2.3.5.1 Mô phỏng tín hiệu TVs.

Mô phỏng từ mô hình tín hiệu đa hài như công thức (2.9) với tham số điều khiển M<sub>h</sub> và hai véc tơ biên độ và pha:

$$V(t) = \sum_{k=1}^{M_h} R_k \cos(k\omega t + \gamma_k) + \eta(t) \quad (2.12)$$

Nhiều  $\eta(t)$  tạo sẵn trong LabView (Mathscript) với lệnh **rand()**.

#### 2.3.5.2 Mô phỏng tín hiệu LVs và AVs.

Tín hiệu dao động đa hài, có nhiễu trong mô phỏng GSRĐ được đưa vào từ dữ liệu đo thực tế trên tàu, ở một chế độ giám sát nhất định.

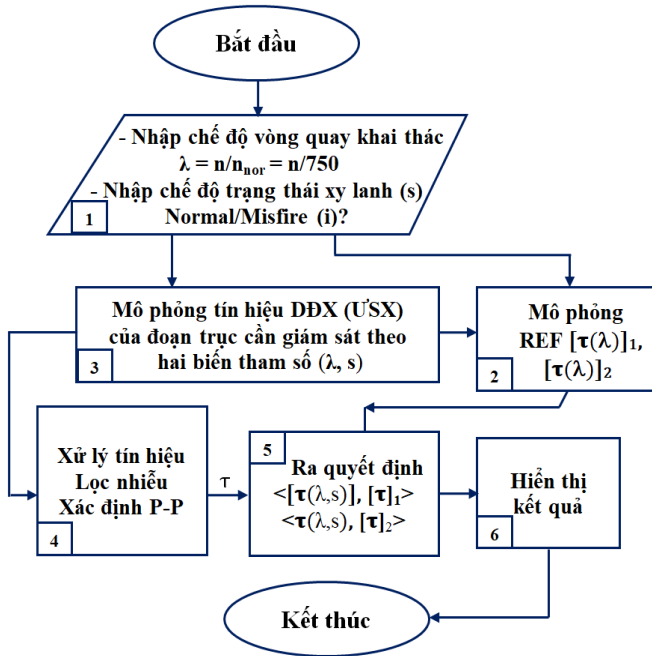
## 2.4. Cơ sở toán học mô phỏng GSDĐ xoắn trên MDE

Trên cơ sở mô hình chức năng mô phỏng GSRĐ chỉ ra trên Hình 2.6, luận án triển khai xây dựng cơ sở toán học cho mô phỏng GSDĐ xoắn, áp dụng cho tàu KN375 được đóng tại Công ty TNHH MTV Đóng tàu Hồng Hà (Bộ Quốc Phòng). Đối với một cơ hệ có các thông số đầu vào cho tính TVs, thay cho việc mô phỏng các tín hiệu TVs đo, hoặc mô phỏng bằng mô hình tín hiệu đa hài như đã nêu tại mục 2.3.5.1. Phần mềm tự động tính TVs cho MV.HR.34000 DWT do PGS. TSKH. Đ.Đ. Lưu xây dựng trên LabView. Luận án đã phát triển phần mềm trên cho tự động tính TVs trên tàu KN375 và một số mô đun phần mềm được phát triển, áp dụng cho xây dựng thiết bị đo, GSDĐ xoắn (Hình 2.7).

### 2.4.1. Chế độ vòng quay và trạng thái động cơ trong mô phỏng GSDĐ xoắn

Khởi 1 - chọn nhập chế độ vòng quay  $\lambda = n / 750$  và chế độ s của động cơ (Normal / Misfire tại xy lạnh i nào đó). Thông thường  $\lambda = [0,4 \dots 1,2]$ . Chế

độ  $\lambda$  cần khảo sát gắn với chế độ cộng hưởng của node 1, node 2, dựa theo kết quả tính dao động tự do (FTV) của cơ hệ.



Hình 2.7. Thuật toán mô phỏng GSDĐ xoắn trên MPP tàu KN 375

#### 2.4.2. Mô phỏng PTP trong mô phỏng GSDĐ xoắn

Khối 2 - Tại chế độ vòng quay  $\lambda$  cần xây dựng đặc tính PTP( $\lambda$ ), hay  $[\tau(\lambda)]_1$  và  $[\tau(\lambda)]_2$  đối với trục trung gian (IMS, Intermediate shaft) hoặc trục khuỷu MDE 4 kỳ, theo RMR. Đo TVs tại IMS, do vậy tại khối 2 ta tập trung cho mô phỏng đặc tính PTP( $\lambda$ ) của IMS.

#### 2.4.3. Mô phỏng ứng suất xoắn trên IMS

Ứng suất xoắn (Torsional Pressure, TP),  $TP(\lambda)$  hay  $\tau(\lambda)$ , khối 3.

Xác định mô men xoắn tác động:

$$M_k(t) = C_{k,k+1} [\varphi_k(t) - \varphi_{k+1}(t)]; \tau_k(t) = M_k(t) / W_k \quad (2.13)$$

Ở đó:  $C_{k-1,k}$  - là hệ số cứng xoắn (N.m/rad), còn  $W_k$  - Mô men cứng chống xoắn ( $m^3$ );  $\varphi_{k-1}$ ,  $\varphi_k$  - Trạng thái dao động xoắn (góc, rad) hai đầu đoạn trục.

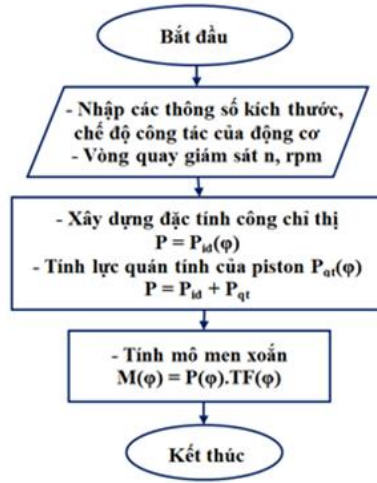
Trạng thái dao động, véc tơ  $\varphi$  được xác định qua giải nghiệm của mô hình toán viết cho DĐX, viết dưới dạng ma trận (Đ.Đ Lưu 2009):

$$\mathbf{J}\ddot{\varphi} + \mathbf{B}\dot{\varphi} + \mathbf{C}\varphi = \mathbf{M}(t); \varphi = [\varphi_1 \quad \varphi_2 \quad \dots \quad \varphi_n]^T \quad (2.14)$$

**C, B, J** - ma trận hệ số cứng xoắn, hệ số cản xoắn, và mô men quán tính khối lượng. Véc tơ mô men xoắn cưỡng bức (ETM) được mô phỏng tại từng khối lượng tập trung ( $z$  xy lanh và tại chân vệt  $M_n(t)$ ).

ETM từng xy lanh được thực hiện theo sơ đồ thuật toán, chỉ ra trên hình 2.8.

Đồ thị công chỉ thị (Indicator diagram, ID) và lực của mô men quán tính quy đổi tại piston được mô hình hóa theo hồ sơ kỹ thuật động cơ



Hình 2.8. Thuật toán tính ETM tại từng xy lanh của động cơ diesel

$$M(t) \xrightarrow{FFT} [YM_0, YM(1), \dots, YM(M_h), \dots] \quad (2.15)$$

$$YM_k = [YM_k(1), YM_k(2), \dots, YM_k(n), \dots]^T \quad (2.16)$$

$YM_0$ - véc tơ các giá trị trung bình

$YM_k$ - véc tơ phổ tần phức tại tần số thứ  $k$ ,  $k=1 \dots$

Ta chọn  $M_h$  điều hòa đầu tiên,  $M_h=25$ .

Giải nghiệm phức của phương trình (2.14) theo phương pháp cân bằng điều hòa phức, nguyên lý xếp chồng (Đ.Đ Lư, 2009). Tuy nhiên, trong mô phỏng giám sát ĐĐX, các tác giả (Đ.Đ Lư, L.H Thiện, 2019) sử dụng phương pháp hai lần mô phỏng tương đương ở chế độ cộng hưởng và gần cộng hưởng.

Lần 1: Mô hình hóa. Hệ động lực chính diesel lai chân vệt.

Hệ dao động xoắn có  $n$  bậc tự do và hệ phương trình (2.14) gồm:

$J_1, J_2, \dots, J_n$  - Mô men quán tính khối lượng của  $n$  khối lượng.

$C_{01}, C_{12}, \dots, C_{n-1,n}$  - Hệ số cứng xoắn.

$d_1, d_2, \dots, d_n$  - Hệ số cản xoắn (trong) của các khối lượng.

$M_1(t), M_2(t), \dots, M_n(t)$  - Mô men xoắn cưỡng bức tại các khối lượng.

Lần 2: Tại cộng hưởng và gần cộng hưởng tần số  $\omega_{0j}$ , các khối lượng thực hiện dao động đồng pha  $\varphi_{kj} \approx \alpha_{kj} \varphi_{1j}$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ .

$\alpha_{kj}$  - dạng dao động tự do của khối lượng  $k$  tại  $\omega_{0j}$ ;  $\alpha_{kj} = A_{kj}/A_{1j}$  - dạng biên độ dao động tự do của khối lượng thứ  $k$ .

Mô hình hóa lần thứ hai thành hệ 1 bậc tự do (Lư Đ.Đ. 1995, 2009):

$$J_{ej} \ddot{\varphi}_{ej} + d_{ej} \dot{\varphi}_{ej} + C_{ej} \varphi_{ej} = M_{ej}; \quad (2.17)$$

$$J_{ej} = \sum_{i=1}^n J_i \omega_j^2 \alpha_{ij}^2; C_{ej} = \sum_{i=1}^n C_{i-1,i} (\alpha_{i-1,j} - \alpha_j)^2; d_{ej} = \sum_{i=1}^n d_j \omega_j \alpha_{ij}^2; M_{ej,k} = \sum_{i=1}^n M_{i,k} \alpha_{ij}$$

#### **2.4.4. Mô phỏng xử lý tín hiệu ứng suất xoắn trên IMS**

Khối 4 - xử lý tín hiệu lọc nhiễu cũng như tìm giá trị P-P (peak-to-peak) theo yêu cầu quy phạm. Tín hiệu đo (mô phỏng có chứa nhiễu):

$$\tau_{\text{meas}}(t) = \tau_e(t) + \eta(t) \quad (2.18)$$

Để thu được kết quả giám sát, cần tiến hành lọc nhiễu trong miền thời gian thực, qua bộ lọc trượt trung bình.

$$\tau_{\text{meas}}(t) \xrightarrow{\text{Loc}(RT)} \tau_{\text{m.F}}(t)$$

Xử lý tiếp tín hiệu đã lọc để xác định một nửa của biên độ peak-to-peak (hiệu hai giá trị cực đại và cực tiểu).

$$\tau_P = 0.5(\tau_{\text{max}} - \tau_{\text{min}}) \quad (2.19)$$

#### **2.4.5. Mô phỏng ra quyết định trong GSDĐ xoắn trên IMS**

Khối 5 - Tại chế độ vòng quay  $\lambda = [0,4 \dots 1,2]$ , ứng với chế độ s được chọn, sau khi tính được các đặc tính hay  $\tau(\lambda)$ , cần so sánh với hai đặc tính cho phép:  $a = [\tau(\lambda)]_1$  và  $b = [\tau(\lambda)]_2$  theo RMR.

#### **2.4.6. Hiện thị kết quả GSDĐ xoắn trên IMS**

Khối 6 - Hiện thị các đồ thị đặc tính giám sát TVs một cách trực giao dưới dạng đồ thị và bảng dữ liệu.

#### **2.4.7. Kiểm tra độ tin cậy của tín hiệu vào cho GSDĐ xoắn**

Khi đo tín hiệu vào (có nhiễu) hoặc ta mô phỏng có cộng thêm nhiễu từ tín hiệu đa hài (xem mục 2.4.3), tín hiệu này có đảm bảo dùng được hay không?, điều đó cần trả lời theo quan điểm của lý thuyết thống kê. Luận án đã sử dụng tiêu chuẩn Schi để kiểm tra.

### **2.5. Cơ sở toán học mô phỏng GSDĐ dọc trên MPP dùng MDE**

#### **2.5.1. Nguyên lý chung mô phỏng GSDĐ dọc trên MPP**

Dao động dọc được giám sát đối với MPP dùng MDE hai kỳ công suất lớn. Sơ đồ cấu trúc chức năng mô phỏng GSDĐ dọc MPP tương tự như cho TVs, được thể hiện trên Hình 2.6. Theo RMR quy định mức độ dao động dọc tại gối đỡ chặn, xác định theo vận tốc, qua lọc tần số trung bình 1/3-octave, tính về đại lượng căn bậc giá trị bình phương trung bình RMS (Root-Mean-Square). Quy phạm đưa ra quy định theo hai ngưỡng A và B.

Tín hiệu vào được mô phỏng theo mô hình tín hiệu đa hài tương tự TVs (mục 2.3.5), hoặc đưa vào từ dữ liệu đo thực, hoặc từ mô phỏng cơ hệ DDD.

#### **2.5.2. Mô hình tín hiệu đầu vào (AVs) tại gối đỡ chặn**

Mô phỏng tính DDD của cơ hệ trục chính lai chân vịt là bài toán lớn. Theo kết quả nghiên cứu từ nội dung đề tài cấp quốc gia, PGS. TSKH. Đỗ Đức Lưu đã mô phỏng, tính DDD cho MPP của MV.HR.34000 DWT, sử dụng MDE 2 kỳ hãng MAN-B&W, 6S46MCC-7, lai chân vịt 4 cánh.

Mô hình toán viết cho cơ hệ DDD viết dưới dạng ma trận quen thuộc, giống như mô hình toán viết cho DDX. Giải DDD thực hiện trên cơ sở tính: DDD tự do; lực cưỡng bức DDD; DDD cưỡng bức và DDD chung.

Dao động dọc cộng hưởng và gằn cộng hưởng cần quan tâm hơn cả. Phương pháp tính DDD cưỡng bức nguy hiểm được thực hiện theo phương pháp mô hình hóa hai lần (giống như đối với dao động xoắn). Phương pháp giải là kết hợp phương pháp cân bằng điều hòa phức, nguyên lý xếp chồng.

Tín hiệu dao động dọc tại gối đỡ chặn có thể đưa về dạng dao động vận tốc cũng như dao động gia tốc. Việc biến đổi dạng tín hiệu thực hiện trong miền tần số, sử dụng FFT và các bộ tích phân cũng như vi phân như đã nêu ở mục 2.3.4.

### 2.5.3. Mô hình toán dao động dọc cho phép tại gối đỡ chặn

Dao động dọc được giám sát đối với hệ trục chính dùng MDE hai kỳ công suất lớn. Dao động dọc cho phép đó là dao động vận tốc tại gối đỡ chặn, giá trị RMS, tính trung bình theo tần số lọc 1/3-octave (RMR).

Phương pháp và mô hình toán cho mô phỏng ra quyết định GSDD dọc đã nêu tại mục 2.3.3.1.

## 2.6. Cơ sở toán mô phỏng GSDD ngang trên MDE

Nguyên lý chung cho GSDD ngang và dao động dọc hoàn toàn giống nhau. Các nội dung cơ bản cho GSDD đều tuân thủ theo yêu cầu Quy phạm RMR. Điểm khác biệt chính là phương pháp mô phỏng tín hiệu vào cho quá trình xử lý tín hiệu, ra quyết định GSDD.

## 2.7. Cơ sở công nghệ cho GSDD ngang trên MDE

Sơ đồ nguyên lý thiết bị GSDD trên MDE đã được đưa ra tại Hình 2.2, gồm khối các đầu đo, khối DAQ, CPU và màn hình hiển thị, loa tích hợp.

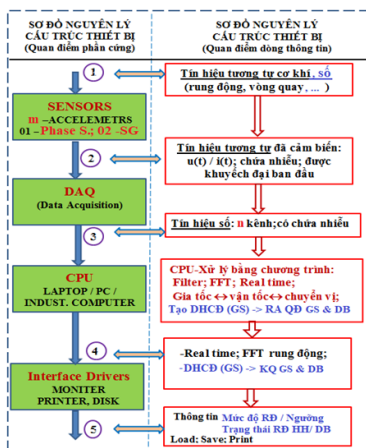
### 2.7.1. Sơ đồ nguyên lý biến đổi dòng thông tin trong GSDD trên MDE

Trên Hình 2.9 - nguyên lý dòng thông tin trong giám sát chẩn đoán rung động MDE, ta thấy các điểm “mốc” sau đây:

**Mốc 1** - Tín hiệu rung vật lý tại điểm đo có thể là dao động gia tốc, vận tốc, chuyển vị, pha, vận tốc quay của trục.

**Mốc 2** - Đầu ra của cảm biến đưa vào bộ thu thập dữ liệu DAQ.

**Mốc 3** - Tín hiệu ra từ DAQ tương ứng, phù hợp với tín hiệu vào máy tính, được đưa tới trung tâm xử lý trong máy tính (CPU).



Hình 2.9. Nguyên lý biến đổi dòng thông tin trong GSDD



*Mốc 4* - Dạng tín hiệu đã được xử lý và có dạng phù hợp với kết quả ra quyết định giám sát. Tín hiệu được biểu diễn dưới dạng đồ thị, đèn báo động, ...

*Mốc 5* - Dạng tín hiệu đưa ra dưới dạng báo cáo kỹ thuật (REPORT) hay in ấn (PRINT)

### **2.7.2. Cơ sở công nghệ lựa chọn bộ cảm biến, DAQ, CPU**

Các bộ cảm biến, DAQ, CPU và thiết bị ngoại vi được chuẩn hóa công nghiệp. Để lựa chọn cấu hình phù hợp cần đặt đầu bài xây dựng thiết bị rõ, chi tiết và tìm hiểu các thông số kỹ thuật đặc trưng của từng thiết bị.

### **2.7.3. Cơ sở công nghệ lập trình trên LabView và MatLab**

Phần mềm nền LabView được tích hợp với các mô đun xử lý tín hiệu dao động và âm thanh (Sound and Vibration Toolkit, SVT), cùng với nhiều thiết bị ảo (Virtual Instruments, VI) của LabView.

MatLab là phần mềm có khả năng xử lý toán học mạnh, được lập trình trong m.file. Những kết quả này có thể được chuyển thể nhanh và hầu như không thay đổi cấu trúc lệnh sang LabView với mô đun Mathscript tương ứng trong LabView.

## **2.8. Kết luận chương 2**

Chương này đã thực hiện được các nội dung chính sau:

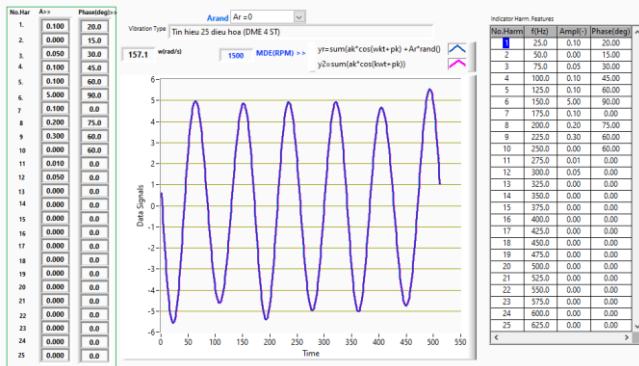
- Đưa ra được mô hình chức năng GSRĐ trên MDE, mô hình chức năng mô phỏng các đặc tính giới hạn dao động được giám sát.
- Xây dựng được cơ sở toán học cho đo và xử lý tín hiệu dao động, xây dựng đặc tính tham chiếu, ra quyết định GSĐĐ.
- Đưa ra cơ sở lựa chọn công nghệ phần cứng và phần mềm cho giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển.

## **Chương 3. MÔ PHỎNG GIÁM SÁT DAO ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU BIỂN**

Trong chương này xây dựng một số mô đun phần mềm cơ bản (trong LabView được gọi là VI) để thực hiện các chức năng chính trong phần mềm của MMMVS. Thực tế xây dựng các VI chính là mô phỏng các quá trình biến đổi thông tin (xử lý thông tin) theo mô hình toán, thuật toán đã trình bày trong chương 2. Khi đã xây dựng thành công các phần mềm con (Sub.VI) sẽ phục vụ cho tích hợp VI chung, tổng hợp cho GSRĐ được nhanh chóng, thuận tiện.

### **3.1. Mô phỏng tín hiệu dao động xoắn**

VI mô phỏng dạng tín hiệu DDX theo mô hình (3.2) và (3.3) được lập trình điều khiển trên giao diện chính (Front Panel, FP), code viết trong Block Diagram (BD). Tín hiệu nhiễu được tạo ra bằng lệnh **rand** trong Mathscript. Kết quả được thể hiện trên Hình 3.1 cho tín hiệu 25 điều hòa.



Hình 3.1. VI mô phỏng dạng tín hiệu dao động xoắn cho động cơ 4 kỳ

### 3.2. Mô phỏng các đặc tính giới hạn, đặc tính cho phép đối với dao động xoắn, dao động dọc và dao động ngang

Mô phỏng xây dựng các VI đặc tính ứng suất xoắn cho phép trên trục trung gian (trục chân vịt), cũng như trên các khuỷu trục của MDE theo RMR cũng như QCVN. Các đặc tính phụ thuộc vào đường kính đoạn trục, vật liệu chế tạo và là hàm số phụ thuộc vào vòng quay tương đối  $\lambda$ .

VI xây dựng đặc tính dao động dọc cho phép đối với gối đỡ chặn theo RMR được xây dựng là đặc tính biên độ dao động gia tốc tại các tần số trung bình tương ứng với lọc 1/3-octave. Cơ sở toán học chuyển đổi dạng vận tốc sang gia tốc đã xét tại mục 2.3.4.

Tương tự, VI xây dựng đặc tính dao động ngang cho phép theo Quy phạm RMR giống như đối với dao động dọc bộ đỡ chặn.

Theo RMR biên độ dao động vận tốc của tín hiệu dao động ngang tại từng tần số lọc 1/3-octave được đưa dưới dạng bảng và đồ thị, theo hai mức A và B. Hai mức này được chuyển đổi thành hai mức giới hạn tương ứng, xét cho các tín hiệu dao động gia tốc, trên cơ sở sử dụng cơ sở toán học đã xét tại mục 2.3.4. Lập trình trên LabView triển khai xây dựng giao diện chính (Front panel, FP) và code (Block Diagram, BD).

### 3.3. Mô phỏng xử lý tín hiệu cho giám sát dao động trên MDE

Tín hiệu đa hài được thiết kế và xây dựng cho GSDĐ xoắn như đã nêu trước đây gồm 12 điều hòa cho MPP sử dụng MDE hai kỳ, còn có 25 điều hòa - cho MDE bốn kỳ. Tín hiệu mô phỏng là tín hiệu đa hài, có nhiều với mức điều khiển nhiễu AR = 0...15%.

Mức nhiễu AR được hiểu là % của biên độ nhiễu trắng so với giá trị thực của tín hiệu tại thời điểm đo, gồm sai số của thiết bị đo (thường rất nhỏ, dưới 5%) và có thể do các tác động nhiễu bên ngoài. Trong kỹ thuật, mức độ nhiễu thông thường khoảng 4...7%. Tuy nhiên, trong mô phỏng chúng ta có thể đưa ra các giả thuyết với mức nhiễu cao để kiểm chứng độ tin cậy của các thuật toán và chương trình xây dựng.

Trong quá trình mô phỏng xử lý tín hiệu 25 hài, nhiễu với các mức AR, NCS sử dụng bộ lọc trung bình (PPMF) 10 lần lặp cho tín hiệu có chu kỳ công tác 720 độ góc quay trục khuỷu, tương ứng cho MDE 4 kỳ. Tương tự ứng với 10 tín hiệu có nhiễu trong thời gian thực, tiến hành lọc nhờ bộ lọc trượt trung bình (PPMSF)  $2p+1=3; 5$  và  $7$ .

Khảo sát với tín hiệu có nhiễu AR = 15%, độ tin cậy pha ban đầu tất cả các điều hòa đầu tiên đều đạt 95% trở lên. Hơn nữa, trừ pha của điều hòa số 20 và 23, các pha của 23 điều hòa còn lại đều đạt 99% độ tin cậy khi biến đổi FFT. Tuy nhiên, độ tin cậy trên phụ thuộc vào độ lớn của biên độ và pha của điều hòa đầu vào so với giá trị cực đại của điều hòa số 6, AR (6) = 6.0

*Nhận xét chung về xử lý tín hiệu dao động xoắn:*

- Bộ lọc trung bình và trượt trung bình có độ chính xác cao, sát với tín hiệu gốc (không nhiễu) khi đầu vào mô phỏng là nhiễu trắng. Khi AR  $\leq 5\%$ , bộ lọc trung bình sẽ cho kết quả sát với tín hiệu gốc hơn. Khi tín hiệu vào có nhiễu cao hơn (xét cho AR=15%), hai bộ lọc trên đều cho kết quả lọc tốt, song bộ lọc trượt trung bình sẽ cho kết quả gần sát với tín hiệu không nhiễu hơn so với kết quả từ bộ lọc trượt.

- Phép biến đổi FFT lập trình trong LabView cho độ tin cậy rất cao (đạt trên 99%) cho biên độ của 25 điều hòa, còn xét đến pha: đạt 95% với tín hiệu có AR=15%.

*FFT và 1/3-octave.* Trong gói phần mềm ứng dụng xử lý dao động và âm thanh (SVT) của NI, LabView đã xây dựng sẵn mô đun xử lý octave. Việc sử dụng SVT vào xử lý tín hiệu dao động dọc và ngang để thu được 1/3-octave cần thiết theo RMR, phiên bản 2014 là thuận tiện.

### **3.4. Mô phỏng ra quyết định GSRD hệ trục diesel lai chân vịt**

#### **3.4.1. Mô phỏng ra quyết định giám sát dao ngang**

Xây dựng phần mềm tự động đưa ra giá trị cho phép theo ngưỡng A và B (Level A và B) khi khai báo loại động cơ được sử dụng (cụ thể nhập hành trình piston S (cm)).

Trên FP của VI tự động đưa ra kết quả giám sát dao động ngang ở chế độ được kiểm tra, giám sát dưới dạng bảng, đồ thị và đèn LED.

#### **3.4.2. Mô phỏng ra quyết định giám sát dao xoắn**

Trên giao diện chính Font Panel của VI tự động đưa ra kết quả giám sát dao động xoắn cần thể hiện ứng suất xoắn ở chế độ đo và ứng suất xoắn cho phép. Kết quả được thể hiện trên giao diện chính qua đèn LED chỉ báo.

Trong luận án đã triển khai mô phỏng giám sát dao động ngang và xoắn qua thử nghiệm đầu vào là các tín hiệu đưa vào từ thực nghiệm đo trên tổ hợp diesel - máy phát điện tại phòng thí nghiệm.

### **3.5. Kết luận chương 3**

Chương 3, luận án đã mô phỏng trên nền LabView (sử dụng MathScript) cho xây dựng tín hiệu đa hài có nhiễu giá tín hiệu đo thực tế. Xây dựng các VI tạo tín hiệu 12 điều hòa và 25 điều hòa cho mô phỏng tín hiệu dao động xoắn trên động cơ diesel tàu biển.

Triển khai mô phỏng: xây dựng các đặc tính giới hạn cho phép đối với các dạng dao động cơ bản cho giám sát trên MDE và MPP (đo trên IMS) như dao động: xoắn, dọc, và dao động chung trên MDE. Mô phỏng xử lý tín hiệu cho GSRĐ trên cơ sở các đặc tính giới hạn.

Xây dựng các mô đun mềm (VI) xử lý tín hiệu dao động xoắn trong miền thời gian thực qua bộ lọc trung bình và trượt trung bình.

Kết quả chỉ ra chất lượng bộ lọc trung bình phù hợp cho tín hiệu có mức độ nhiễu (độ sai số) nhỏ,  $AR \leq 5\%$ . Khi có nhiễu lớn hơn, dùng bộ lọc trượt trung bình sẽ tăng hiệu quả xử lý nhiễu hơn bộ lọc trung bình.

Xây dựng các mô đun mềm xử lý các tín hiệu dao động đa hài có nhiễu, trong miền tần số (qua bộ FFT) cho kết quả tin cậy cao (trên 99%) với mức độ  $AR \leq 15\%$  đối với biên độ các điều hòa, còn đối với pha tương ứng - độ tin cậy trên 95%.

Xây dựng mô phỏng xử lý tín hiệu FFT và lọc 1/3-octave đối với các tín hiệu dao động ngang và dọc. Các mô đun mềm được xây dựng trên cơ sở gói phần mềm chuyên dụng xử lý tín hiệu dao động và âm thanh (SVT) của hãng NI.

Mô phỏng ra quyết định và tích hợp với các đặc tính giới hạn để hiển thị kết quả giám sát dao động tương ứng từng dạng dao động và từng điểm đo theo hướng dẫn của tiêu chuẩn Đăng kiểm RMR đưa ra.

## **Chương 4. NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM HỆ THỐNG GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU BIỂN**

Chương 4 luận án tập trung nghiên cứu chế tạo hệ thống đo, giám sát rung động đa kênh (MMMVS) dùng cho MDE và tiến hành thực nghiệm kiểm chứng các thuật toán xử lý tín hiệu dao động, cho mô phỏng, cho thiết bị đo, GSRĐ đã chế tạo. Thực nghiệm trong phòng thí nghiệm và trên tàu thực nhằm kiểm tra, hiệu chỉnh thiết bị, cũng như chứng minh tính đúng đắn của cơ sở lý thuyết, cơ sở khoa học và công nghệ đã trình bày trong các chương trước của luận án.

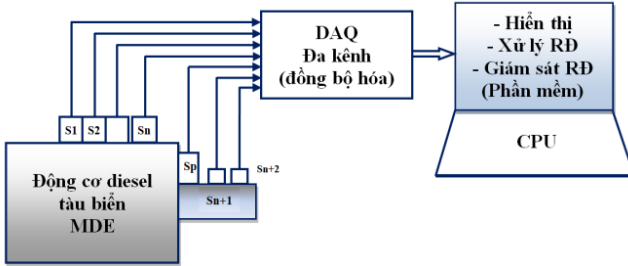
### **4.1. Chế tạo MMMVS trên MDE**

#### **4.1.1. Yêu cầu kỹ thuật**

Hệ thống đo giám sát rung động đa kênh trên MDE tối thiểu gồm: 01 kênh đo pha, 01 - dao động xoắn; 01 - dao động dọc; 06 - dao động ngang đo gia tốc. Bộ thu thập dữ liệu DAQ đáp ứng tốc độ trích mẫu khoảng 50 kHz/1 kênh. Thuận tiện cho lập trình phần mềm trên LabView. Bộ DAQ được sử dụng tương ứng của hãng NI (National Instruments, USA).

#### **4.1.2. Sơ đồ nguyên lý MMMVS**

MMMVS gồm phần cứng và phần mềm. Phần cứng gồm bộ sensors, DAQ, CPU và Monitor. Phần mềm quản lý phần cứng và điều khiển GSRĐ.



Hình 4.1. Sơ đồ nguyên lý MMMVS trên MDE

Phần mềm đo, xử lý tín hiệu, giám sát rung động trên MDE được viết trên ngôn ngữ lập trình LabView của National Instruments.

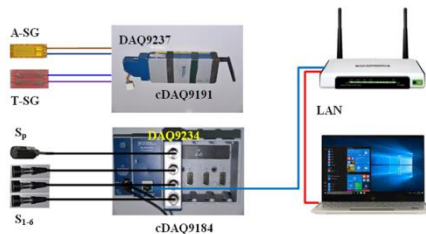
Hệ thống phần mềm được chia thành 04 modules, gồm modules: SWM01 có chức năng đo, xử lý nhanh và hiển thị kết quả dao động đo được trong GSDĐ; SWM02 - đọc và xử lý rung cho GSDĐ (offline) trên MDE; SWM03 - lưu trữ kết quả đo, xử lý tín hiệu, tạo báo cáo, in ấn, SWM04 lưu trữ cơ sở dữ liệu tham chiếu.

#### 4.1.3 Chế tạo các kênh đo

Chế tạo các kênh đo (pha, gia tốc, biến dạng) phần cứng mua từ các hãng sản xuất công nghiệp và tích hợp kết nối. Các bộ gá (sensors, DAQ) được chế tạo phù hợp với nhiệm vụ đo các dạng dao động. Phần mềm quản lý chung tổ hợp đo: Windows 10. Phần mềm MAX và LabView quản lý thiết bị ngoại vi (DAQ, các sensors). Phần mềm xử lý tín hiệu cho GSDĐ được xây dựng trong LabView trên cơ sở lý thuyết đã nêu trong Chương 2. Một số sub VI cho xử lý tín hiệu đã xây dựng trong Chương 3 được sử dụng tiếp vào nội dung xây dựng MMMVS tại chương 4.

Sơ đồ cấu trúc MMMVS được thể hiện trên Hình 4.2.

Cấu trúc MMMVS cho MDE, hình ảnh bộ đầu đo gồm các sensor gia tốc (BA) và cảm biến biến dạng (BSG); B-DAQ gồm 2 bộ cDAQ 9191 (+DAQ9234) và cDAQ9184(+DAQ9234); Modem đồng bộ các kênh đo.



Hình 4.2. Cấu trúc MMMVS cho MDE

#### 4.1.4. Đồng bộ hóa dữ liệu và tích hợp hệ thống

Các kênh đo từ hai bộ gá DAQ 9234 và DAQ 9237 (DSUB) được tích hợp và đồng bộ hóa, được đưa về Modem. Tín hiệu từ DAQ 9234 truyền về Modem qua Ethernet, còn từ DAQ 9237 (DSUB) qua wifi. Từ Modem, tín hiệu được đồng bộ và đưa vào CPU qua đường LAN.

#### ***4.1.5. Hiệu chỉnh thiết bị***

Đối với sensor đo pha: phải hiệu chỉnh sao cho đảm bảo mỗi vòng quay của trục động cơ ta thu về được 1 xung ổn định. Đối với sensor đo gia tốc trên bề mặt động cơ: hiệu chỉnh vị trí đặt, kiểm tra vệ sinh mặt tiếp giáp với động cơ... Đối với sensor biến dạng: hiệu chỉnh chất lượng tín hiệu thu được, dạng của tín hiệu, chống nhiễu cho sensor, kiểm tra điện trở của sensor, độ cách điện của sensor, độ chắc chắn của dây dẫn tín hiệu...

#### ***4.1.6. Hiệu chuẩn thiết bị***

Thiết bị hiệu chuẩn gồm: Bộ sensors (06 sensors rung động chuẩn công nghiệp IMI) cùng cDAQ-9184; Bộ đo biến dạng và truyền wifi cDAQ-9191; Bộ đo pha và tốc độ của trục E3FA-DP11 đã được Viện đo lường Việt Nam và Cục Tiêu chuẩn - Đo lường - Chất lượng hiệu chuẩn và đã được cấp giấy chứng nhận hiệu chuẩn.

### **4.2. Thực nghiệm đo, giám sát rung động tại phòng thí nghiệm**

#### ***4.2.1. Hệ thống đo, GSRĐ trong phòng thí nghiệm***

MMMVS được chế tạo, dùng trong phòng thí nghiệm (PTN) nghiên cứu và hiệu chỉnh gồm có: 01 kênh đo pha, 06 kênh đo gia tốc, 01 kênh đo mô men xoắn, 01 kênh đo biến dạng dọc, 02 bộ thu thập dữ liệu DAQ1 và DAQ2, 01 Modem, 01 máy tính xách tay. Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo và giám sát rung động đa kênh được thể hiện trên Hình 4.2.

Hệ thống thí nghiệm: Mô hình vật lý MHVL-1, MHVL-2 dùng để kiểm tra, hiệu chỉnh thiết bị đo trong từng giai đoạn chế tạo và hoàn chỉnh.

MHVL-1 dùng để tạo tín hiệu giả trong các kênh vật lý để kiểm tra hoạt động chức năng của các kênh đo, kiểm tra liên kết truyền thông giữa các khối sensors - DAQ - Modem - CPU. MHVL-1 gồm động cơ điện có biến tần thay đổi tốc độ quay, lai bơm dầu thủy lực có thể thay đổi tải qua việc đóng mở van dầu qua bơm. Trục quay giữa động cơ và bơm có cam với biên dạng không tròn để tạo xung và đập lên thanh dầm có dán tem biến dạng. Với kết cấu phù hợp giữa cam và thanh dầm có thể tạo biến dạng xoắn và uốn trên bề mặt thanh. Trên MHVL-1 có thể triển khai đo các dao động gia tốc, cũng như xoắn và uốn theo phương pháp biến dạng.

MHVL-2 là tổ hợp Diesel-Máy phát điện được hoán cải tại phòng thí nghiệm Viện nghiên cứu KH&CN Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam. Trên MHVL-2 có thể triển khai hầu hết lắp đặt các sensors trên hệ trục và MDE như trên tàu thực. Thí nghiệm kiểm tra sự hoạt động của hệ thống trước khi triển khai trên tàu thực. Ngoài ra, kết quả đo kiểm đánh giá hoạt động của phần mềm trong hệ thống MMMVS và có thể hiệu chỉnh phần mềm, phương pháp gá đặt,...

#### ***4.2.2. Kết quả đo, GSRĐ trong phòng thí nghiệm (MHVL-2)***

Nghiên cứu tại PTN, các chế độ đo kiểm được tiến hành ở các vòng quay  $n$  (vòng/phút) khác nhau (từ  $1200 \div 1500$  vòng/phút) và tải dòng điện  $I = 0$ ,

50, 100 A. Trong quá trình đo, hiển thị nhanh các dạng dao động đo được. Sau khi đọc dữ liệu đo đã ghi lại trong bộ nhớ, kết quả GSRĐ off-line.

### 4.3. Thử nghiệm đo, GSRĐ trên động cơ diesel tàu thực

#### 4.3.1. Các thông số cơ bản của MPP trên tàu Kiểm ngư KN 375

Động cơ máy chính (ME) trên tàu KN 375 được nhà sản xuất cung cấp như sau: ME Yanmar 6EY26W lai chân vịt biển bước qua hộp số; MDE 4 kỳ, 6 xylanh thẳng hàng, tăng áp bằng tuabin khí xả, làm mát gió tăng áp; công suất 1920 kW tại vòng quay định mức 750 vòng/phút; đường kính xy lanh 260 mm; hành trình piston 385 mm; áp suất có ích bình quân: 1.92 Mpa; trục trung gian dùng hộp số tỷ số truyền 2.23:1; đường kính trục trung gian 250 mm, trục đặc bằng thép carbon.

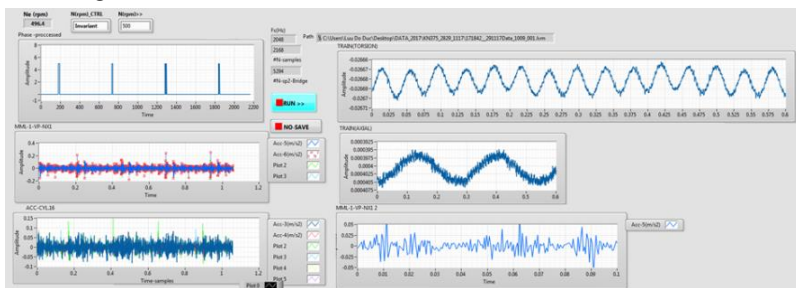
Kết quả tính ĐĐX từ nhà sản xuất YANMAR chỉ ra: vòng quay cộng hưởng tần số riêng thứ nhất tại vòng quay  $n_E = 495$  vòng/phút, hay  $n_P = 221$  vòng/phút tại chân vịt.

#### 4.3.2. Hệ thống đo, GSRĐ trên MPP của tàu KN 375

Thiết bị đo, GSRĐ đã được dùng khi thử nghiệm trên hệ động lực chính động cơ diesel lai chân vịt trên tàu KN 375 là MMMVS như đã sử dụng tại PTN (MHVL-2).

#### 4.3.3. Một số kết quả đo, GSRĐ trên MPP của tàu KN 375

Hai dạng dao động: xoắn và ngang được thử nghiệm trên hệ động lực chính tàu KN 375. Chế độ thử nghiệm khi tất cả các xy lanh làm việc bình thường, vòng quay động cơ từ 400 ÷ 750 vòng/phút, phụ thuộc vào kế hoạch thử nghiệm của Hội đồng kỹ thuật nghiệm thu, thử nghiệm đường dài khi xuất xưởng tàu.

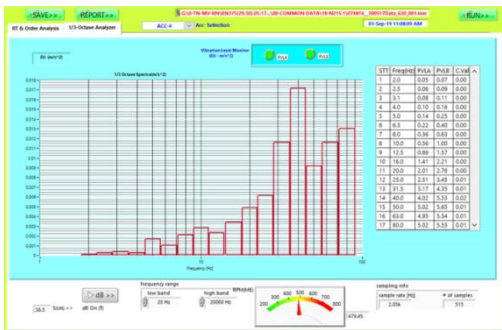


Hình 4.3. Đo, xử lý nhanh dao động trong thử nghiệm đường dài tàu KN 375,  $n_E = 500$  vòng/phút

Để đảm bảo kế hoạch thử nghiệm đường dài đặt ra, luận án đã triển khai kiểm tra, hiệu chỉnh thiết bị MMMVS trên MHVL-1 và MHVL-2 trước khi lắp đặt trên tàu KN 375. Đo, GSRĐ nhanh trên tàu trong chuyến thử nghiệm đường dài trong hai ngày. Các số liệu đo được kiểm tra nhanh và lưu lại đĩa mềm. Sau thử nghiệm trên biển, số liệu lưu lại được dùng cho đo, GSRĐ off-line.



Hình 4.4. Kết quả GSSĐ xoắn trên IMS tại  $n_E = 479$ ,  $n_{IMS} = 215$  rpm



Hình 4.5. Kết quả GSSĐ gia tốc Acc-4 tại  $n_E = 479$  rpm

Trên Hình 4.3 - giao diện chính của phần mềm đo và xử lý nhanh dao động đo trong thời điểm đo, tại  $n_E=500$  rpm. Trên hình thể hiện đặc tính pha với khoảng thời gian đo (4 xung tương ứng 4 vòng quay đo tại trục chân vịt). Để xác định chính xác số vòng quay của động cơ trong khoảng thời gian đó ta nhân với hệ số tỉ lệ  $k_G = 2.31$ . Điều quan trọng là đoạn dữ liệu đo được lưu lại cần đủ dài, bao phủ một số chu kỳ công tác của MDE. Hình 4.3 cho thấy dao động xoắn đo được ở chế độ vòng quay  $n=500$  vòng/phút khá đều. Giám sát nhanh cung cấp những thông tin cần thiết để người đo biết được chế độ vòng quay, độ lớn đoạn trích mẫu cho điều khiển đoạn trích mẫu cần ghi lại.

Trên Hình 4.4 đưa ra kết quả xử lý tín hiệu DĐX và đánh giá, so sánh theo tiêu chuẩn cho phép (PTP( $\lambda$ )). Kết quả giám sát DĐX chỉ ra:

$$PTP (215 \text{ rpm}) = 1.83 \text{ Mpa} = 0.5 * \text{peak-to-peak} \ll [\tau]_I = 78.8 \text{ MPa},$$

Dao động xoắn rất nhỏ, không nguy hiểm.

Trên Hình 4.5 đưa ra kết quả xử lý tín hiệu gia tốc Acc-4 đo trên bộ máy MDE được xử lý FFT và 1/3-octave, hiển thị kết quả so sánh với tiêu chuẩn A và B được xây dựng theo RMR, phiên bản 2014. Kết quả hiển thị dưới dạng biểu đồ (Graph) và bảng và đèn LED chỉ báo. Đơn vị đo dao động gia tốc và đại lượng tham chiếu REF đều đưa về EU:  $\text{m/s}^2$ . Đèn của hai chế độ



đều màu xanh chứng tỏ mức độ dao động gia tốc tại bộ máy nằm trong phạm vi cho phép (dưới mức A).

#### **4.4. Kết luận chương 4**

Chương 4, luận án đã tổng hợp, phân tích chọn công nghệ hiện đại tiên tiến trên thế giới để xây dựng MMMVS dùng trên MDE: có khả năng đồng thời đo, giám sát dao động xoắn, DĐD bằng tem biến dạng trên bề mặt trục quay, dao động dọc (gia tốc) đo tại gối đỡ chặn hoặc các kênh đo dao động gia tốc trên bề mặt trục, kết hợp với kênh đo pha bằng tín hiệu quang.

Thực nghiệm đo rung động, xử lý các tín hiệu đo tại phòng thí nghiệm đã kiểm tra, hiệu chỉnh thiết bị đo, kiểm chứng cơ sở lý thuyết và thuật toán, phần mềm xây dựng được triển khai trong đề tài. Thí nghiệm tiếp tục được triển khai đo và xử lý các tín hiệu dao động đo trên tàu thực MDE và hệ trục chính diesel lai chân vịt trên tàu KN 375.

Kết quả đo được, xử lý tín hiệu trong miền thời gian, miền tần số (FFT, Order FFT và 1/3-octave) đều cho kết quả có độ chính xác cao, đúng quy luật của các tín hiệu liên quan đến từng loại dao động của hệ trục và bản thân MDE, đặc biệt tại chế độ gần cộng hưởng,  $n_E=500$  hoặc  $n_E=479$  rpm.

Kết quả thử nghiệm, hồ sơ chứng nhận kiểm chuẩn thiết bị chứng minh và khẳng định sự hoạt động tin cậy của thiết bị theo các tiêu chuẩn quy định về dao động trên động cơ diesel và các tính chất cần thiết của thiết bị.

## **KẾT LUẬN**

### **1. Các kết quả của luận án**

Luận án đã phân tích, tổng hợp thực trạng vấn đề GSRĐ trên MDE, đề ra nhiệm vụ và nội dung cơ bản về xây dựng cơ sở lý thuyết và thí nghiệm: thí nghiệm số, chế tạo thiết bị đo, thử nghiệm trên các mô hình vật lý và trên đối tượng thực trên tàu KN 375.

Thực hiện đủ các nội dung đặt ra, giám sát đồng thời 3 dạng dao động: gia tốc trên bề mặt động cơ, xoắn và dọc trên trục hoặc các chi tiết quan trọng trên MDE cũng như trên trục trung gian. GSRĐ được thực hiện trên cơ sở đo hoặc mô phỏng tín hiệu dao động, xử lý chúng theo mục đích giám sát, dựa trên các tiêu chuẩn quy định và đưa ra quyết định GSRĐ trên MDE.

Xây dựng các mô hình toán cho tự động lập trình tính các đặc tính giới hạn của các dạng dao động được giám sát; xây dựng mô hình và thuật toán tính chuyển các dạng dao động vận tốc - gia tốc - chuyển vị cho tự động ra quyết định GSRĐ; xây dựng phần mềm cho xây dựng thiết bị đo, GSRĐ trên LabView. Kết quả từ đề tài luận án đã giải mã được công nghệ chế tạo MMMVS trên cơ sở công cụ toán học hiện đại và đủ mạnh, cơ sở công nghệ tiên tiến LabView, MatLab và công nghệ truyền thông hiện đại.

MMMVS được chế tạo, thử nghiệm, hiệu chỉnh và hiệu chuẩn. Đó là cơ sở khoa học minh chứng sản phẩm khoa học công nghệ của đề tài luận án đạt được độ tin cậy cần thiết để sử dụng vào thực tế giám sát rung động trên tàu biển theo nhu cầu thực tế của ngành.

Thí nghiệm hiệu chỉnh đã thực hiện trên hai mô hình vật lý 1, mô hình vật lý 2. Thục nghiệm trên tàu KN 375 đóng mới tại Công ty TNHH Một thành viên đóng tàu Hồng Hà, Bộ Quốc Phòng chỉ ra mức độ dao động được giám sát đều nằm trong phạm vi mức A - đối với dao động trên bề mặt động cơ, dao động xoắn đo được trên trục trung gian nằm trong phạm vi an toàn (rất thấp) so với giới hạn cho phép: Tại vòng quay  $n = 479$  vòng/phút, ứng suất xoắn  $TP(479) = 1.83 \text{ MPa} \ll [\tau]_1 = 78.8 \text{ MPa}$ .

Về khoa học, luận án đã đưa ra cơ sở lý thuyết, kiểm thử trên mô hình số và lập trình mô phỏng (xây dựng các VI cho thiết bị) các điểm cốt yếu (key-points) sau đây:

- Phương pháp, mô hình tính chuyển tín hiệu vận tốc sang gia tốc trong miền tần số;

- Xây dựng đặc tính chuẩn, tham chiếu cho các tín hiệu dao động xoắn, dao động ngang (có thể áp dụng cho tín hiệu dao động dọc) theo RMR trên cơ sở công nghệ FFT và lọc 1/3-octave cùng với công nghệ LabView.

Về bài học kinh nghiệm thực tiễn thu được từ giải quyết thành công luận án của đề tài tiến sĩ này, nghiên cứu sinh nhận thấy:

- Phương pháp luận đề triển khai chế tạo thành công thiết bị giám sát rung động được tập trung đầu tiên vào nghiên cứu, phân tích, tổng hợp các yêu cầu của Quy phạm (tiêu chuẩn rung động) liên quan, từ đó xây dựng cơ sở lý thuyết (CSKH, CSCN) để triển khai theo các nội dung cần giải quyết.

- Các dao động trên hệ trục (DĐX, DĐD) cũng như dao động ngang trên động cơ và hệ trục rất khó nhận dạng, đánh giá và áp dụng vào thực tế khai thác kỹ thuật hệ trục tàu biển dùng động cơ diesel, nếu không có thiết bị đo cũng như phần mềm phân tích, xử lý tín hiệu dao động cho mục đích giám sát chúng. Kết quả của đề tài luận án (sản phẩm khoa học - công nghệ) đã được kiểm nghiệm trên hệ trục tàu thực, cho phép nghiên cứu sinh phát triển, chuyên giao công nghệ cho các đội tàu vận tải biển sau này.

## **2. Những đóng góp mới của luận án**

- Đưa ra được cơ sở lý thuyết về GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển là nền tảng cho việc nghiên cứu giám sát cũng như chế tạo thiết bị.

- Đã xây dựng được phần mềm mô phỏng số và các mô hình vật lý để nghiên cứu về rung động hệ động lực diesel tàu biển.

- Đưa ra sơ đồ nguyên lý, lựa chọn được phần cứng và xây dựng một số mô đun phần mềm cơ bản cho chế tạo thành công thiết bị đo, giám sát rung trên động cơ diesel tàu biển. Thiết bị dạng di động phù hợp cho các nhiệm vụ GSRĐ trên tàu cũng như nghiên cứu phát triển.

## **3. Hướng phát triển của đề tài**

Trong điều kiện cho phép, nghiên cứu sinh sẽ tiếp tục thử nghiệm triển khai đo, GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển hai kỳ để có được cơ sở dữ liệu phong phú hơn cho GSRĐ (xoắn, dọc) trên đối tượng này; hoàn thiện hệ thống đo, GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển và phát triển phần mềm để chẩn đoán trạng thái kỹ thuật trên động cơ diesel tàu biển.

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CÔNG BỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

[1] **Lai Huy Thiện**, Đỗ Đức Lưu, Đinh Anh Tuấn, *Nghiên cứu, xây dựng hệ thống giám sát dao động cho tổ hợp diesel - máy phát điện tàu thủy*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải - Số 42/2015, tr 23-28.

[2] Đỗ Đức Lưu, **Lai Huy Thiện**, *Đảm bảo toán học cho cân bằng động rô to cứng trên máy cân bằng động*. Tạp chí KHCN HH - Số 43/2015, tr 8-12.

[3] Đỗ Đức Lưu, **Lai Huy Thiện**, *Đảm bảo thiết bị truyền tin cho cân bằng động rô to cứng đặt trên máy cân bằng động*. Tạp chí Giao thông vận tải, Số 9/2015, tr 63-66.

[4] Do Duc Luu, **Lai Huy Thien**, Luu Minh Hai, Cao Duc Hanh, *Studying, creating vibrosimulation on the dynamic pillows of the horizontal dynamic balancing machine*". In proceedings of the International Conference on Marine Science and Technology 2016, Hai Phong, Vietnam, tr 136-143.

[5] Đỗ Đức Lưu, **Lai Huy Thiện**, Lưu Minh Hải, Bùi Xuân Quỳnh, *Mô phỏng rung động máy rô to tàu thủy*. Tạp chí KHCNHH - Số 49/2017, tr 8-13.

[6] Đỗ Đức Lưu, **Lai Huy Thiện**, Hoàng Văn Sĩ, Cao Đức Hạnh, *Một số vấn đề trong xây dựng hệ thống đo đa kênh rung động trên tổ hợp diesel - máy phát điện 110 kW tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải - Số 50/2017, tr 5-9.

[7] Do Duc Luu, Luong Cong Nho, Pham Xuan Duong, **Lai Huy Thien**, *Research and build a multi-channel vibration measurement system for dynamic studying of the marine propulsion plants*. In proceedings of 18<sup>th</sup> Annual General Assembly of the International Association of Maritime Universities, Bulgaria, 2017, tr 283-292.

[8] **Lai Huy Thiện**, Đỗ Đức Lưu, *Kiểm tra thiết bị đo và giám sát rung động đa kênh thí nghiệm Viện Nghiên cứu KH và Công nghệ Hàng hải - Trường ĐHHH VN*. Tạp chí Giao thông vận tải, Số 5/2019, tr 135-139.

[9] Do Duc Luu, **Lai Huy Thien**, *Vibration monitoring on main diesel engine of MV.KN168*. In proceedings of the 2019 International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications". PHENMA 2019, Hanoi, Vietnam, tr 102.

[10] Đỗ Đức Lưu, **Lai Huy Thiện**, 2019. *Giám sát rung động trên động cơ Diesel tàu biển*. Sách chuyên khảo, NXB Hàng hải.

[11] Chủ nhiệm đề tài NCKH cấp trường (2016-2017), *Nghiên cứu, xây dựng cơ sở dữ liệu dao động trên tổ hợp Diesel - Máy phát điện theo Quy phạm Hàng hải Liên bang Nga (2014)*.

[12] Chủ nhiệm đề tài NCKH cấp trường (2017-2018), *Đo và phân tích các dạng dao động trên tổ hợp Diesel Deutz lai máy phát điện công suất 110KW*.

[13] Thành viên chính tham gia thực hiện đề tài cấp Quốc gia (2015-2019), *Nghiên cứu, xây dựng mô phỏng Hệ động lực chính và trạm phát điện cho tàu biển chở hàng tổng hợp*, do Trường ĐH Hàng hải Việt Nam chủ trì, GS.TS. Lương Công Nhơ làm Chủ nhiệm đề tài. MS. ĐTĐLCN 14-15.

[14] Thành viên chính tham gia thực hiện đề tài cấp Bộ, Bộ GTVT (2018-2019), *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống GSRĐ trên động cơ diesel tàu thủy*, do PGS.TSKH. Đỗ Đức Lưu làm chủ nhiệm, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam chủ trì.