BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM



NCS. LẠI HUY THIỆN

NGHIÊN CỨU GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU BIỀN

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HẢI PHÒNG - 2020

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM

NCS. LẠI HUY THIỆN

NGHIÊN CỨU GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU BIỂN

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KĨ THUẬT

NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC MÃ SỐ: 9520116 CHUYÊN NGÀNH: KHAI THÁC, BẢO TRÌ TÀU THỦY

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

HẢI PHÒNG - 2020

LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là LẠI HUY THIỆN, tác giả của luận án tiến sĩ "*Nghiên cứu giám* sát rung động trên động cơ diesel tàu biển". Bằng danh dự của mình, tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi, không có phần nội dung nào được sao chép một cách bất hợp pháp từ công trình nghiên cứu của tác giả khác.

Kết quả nghiên cứu, nguồn số liệu trích dẫn, tài liệu tham khảo nêu trong luận án hoàn toàn chính xác và trung thực.

Hải Phòng, ngày 10 tháng 03 năm 2020

Tác giả luận án

the the

Lại Huy Thiện

LỜI CẢM ƠN

Tác giả luận án xin chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu, Viện Đào tạo Sau đại học, Viện Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ hàng hải, Khoa Máy tàu biển và Bộ môn Khai thác Máy tàu biển, Phòng Quản trị - Thiết bị, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam; Công ty TNHH Một thành viên đóng tàu Hồng Hà; Công ty TNHH vận tải biển Gia Hoàng và Ban chủ nhiệm Đề tài độc lập công nghệ cấp quốc gia mã số: ĐTĐL.CN 14/15, do GS.TS. Lương Công Nhớ - Trường Đại học Hàng hải Việt Nam làm Chủ nhiệm, đã tạo mọi điều kiện hết sức thuận lợi để tác giả thực hiện và hoàn thành tốt các nội dung của luận án tiến sĩ.

Tác giả xin bày tỏ lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc đến Thầy PGS.TSKH. Đỗ Đức Lưu đã tận tình hướng dẫn nghiên cứu sinh trong những năm qua để tác giả sớm hoàn thành luận án này.

Mặc dù đã hoàn thành nội dung luận án nhưng do thời gian và kiến thức, cũng như kinh nghiệm còn hạn chế nên nội dung của luận án sẽ không tránh khỏi những thiếu sót. Tác giả xin gửi lời cảm ơn đến quý thầy/cô, các nhà khoa học và đồng nghiệp đã đóng góp các ý kiến để tôi hoàn chỉnh nội dung luận án và có định hướng nghiên cứu trong tương lai.

Cuối cùng, tác giả cũng xin chân thành người vợ thân yêu, cảm ơn toàn thể gia đình, đồng nghiệp và bạn bè đã ủng hộ, động viên, chia sẻ với tôi trong suốt thời gian thực hiện luận án.

Tác giả luận án

Ho to

NCS. Lại Huy Thiện

MỤC LỤC

LỜI CA	AM ĐOANi
LỜI CA	ÅM ƠNii
MỤC I	.ŲCiii
DANH	MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆUvi
DANH	MỤC CÁC BẢNGviii
DANH	MỤC CÁC HÌNHix
MỞ ĐÃ	ÂU1
CHƯƠ	NG 1. TỔNG QUAN VỀ GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ
	DIESEL TÀU BIÊN7
1.1.	Tổng quan về giám sát rung động7
1.1.1.	Các khái niệm cơ bản7
1.1.2.	Giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển14
1.2.	Tình hình nghiên cứu trên thế giới và trong nước15
1.2.1.	Tình hình nghiên cứu trên thế giới15
1.2.2.	Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam17
1.3.	Đặt bài toán nghiên cứu21
1.3.1.	Đo, thu thập các tín hiệu dao động23
1.3.2.	Xử lý các tín hiệu dao động cho giám sát rung động24
1.3.3.	Xây dựng các đại lượng và đặc tính giới hạn dao động25
1.3.4.	Bài toán ra quyết định giám sát rung động26
1.3.5.	Nội dung cơ bản cần giải quyết trong đề tài luận án26
1.4.	Kết luận chương 1
CHƯƠ	NG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN ĐỘNG
	CO DIESEL TÀU BIÊN
2.1.	Sơ đồ nguyên lý cho giám sát rung động trên MDE29
2.1.1.	Sơ đồ chức năng nhiệm vụ GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển31
2.1.2.	Sơ đồ chức năng mô phỏng GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển
2.2.	Mô hình toán các đặc tính giới hạn dao động được giám sát
2.2.1.	Giới hạn dao động dọc
2.2.2.	Giới hạn dao động ngang
2.2.3.	Giới hạn dao động xoăn
2.3.	Cơ sở toán học cho đo và xử lý tín hiệu dao động37

2.3.1.	Cơ sở khoa học về trích mẫu đo
2.3.2.	Mô hình xử lý tín hiệu dao động
2.3.3.	Cơ sở toán học ra quyết định giám sát dao động trên MDE41
2.3.4.	Cơ sở toán học chuyển đổi dạng tín hiệu41
2.4.	Cơ sở toán học cho mô phỏng giám sát dao động xoắn hệ trục diesel máy
	chính lai chân vịt tàu biển áp dụng cho hệ trục tàu KN 37543
2.4.1.	Sơ đồ nguyên lý mô phỏng giám sát DĐX hệ trục tàu KN 37543
2.4.2.	Cơ sở lý thuyết44
2.4.3.	Đánh giá độ tin cậy của dữ liệu vào [47]49
2.5.	Cơ sở toán học cho mô phỏng giám sát dao động dọc hệ trục diesel máy
	chính lai chân v <u>i</u> t
2.5.1.	Nguyên lý mô phỏng giám sát dao động dọc hệ trục diesel tàu biển ở
	trạng thái rung động tại thời điểm giám sát50
2.5.2.	Cơ sở khoa học cho mô phỏng giám sát dao động dọc tại gối đỡ chặn51
2.6.	Mô hình đặc tính dao động giới hạn quy đổi từ vận tốc sang gia tốc55
2.7.	Cơ sở công nghệ cho giám sát dao động trên động cơ diesel tàu biển56
2.7.1.	Sơ đồ nguyên lý biến đổi thông tin GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển 56
2.7.2.	Cơ sở công nghệ lựa chọn bộ cảm biến58
2.7.3.	Cơ sở công nghệ lựa chọn bộ góp dữ liệu DAQ59
2.7.4.	Cơ sở công nghệ lựa chọn CPU và thiết bị ngoại vi
2.7.5.	Cơ sở công nghệ lập trình trên phần mềm LabView và MatLab60
2.8.	Kết luận chương 261
CHƯC	ỜNG 3. MÔ PHỎNG GIÁM SÁT DAO ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ
	DIESEL TÀU BIÊN62
3.1.	Mô phỏng tín hiệu dao động đo trên động cơ diesel tàu biển và hệ trục
	chính diesel tàu biển lai chân vịt62
3.1.1.	Tín hiệu dao động xoắn đo trên trục trung gian hệ trục chính động cơ
	diesel lai chân v <u>i</u> t63
3.1.2.	Mô phỏng các tín hiệu dạng dao động dọc, dao động ngang68
3.2.	Mô phỏng các đặc tính giới hạn, đặc tính cho phép đối với dao động
	xoắn, dao động dọc và dao động ngang69
3.2.1.	Đặc tính dao động xoắn cho phép69
3.2.2.	Đặc tính dao động dọc cho phép tại gối đỡ chặn73
3.2.3.	Đặc tính dao động ngang cho phép theo Quy phạm RMR74
3.3.	Mô phỏng xử lý tín hiệu cho giám sát dao động trên MDE

3.3.1.	Xử lý tín hiệu dao động xoắn75
3.3.2.	Mô phỏng xử lý tín hiệu dao động ngang và dọc trên động cơ diesel và
	hệ trục chính tàu biển
3.4.	Mô phỏng ra quyết định giám rung động hệ trục diesel lai chân vịt94
3.5.	Kết luận chương 3
CHƯƠ	NG 4. NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ THỦ NGHIỆM HỆ THỐNG
	GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU BIẾN101
4.1.	Chế tạo hệ thống giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển 101
4.1.1.	Yêu cầu kỹ thuật
4.1.2.	Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo, giám sát đa kênh dùng cho MDE102
4.1.3.	Các thành phần cơ bản trong hệ thống đo, GSRĐ đa kênh104
4.1.4.	Chế tạo các kênh đo106
4.1.5.	Đồng bộ hóa dữ liệu và tích hợp hệ thống107
4.1.6.	Hiệu chỉnh thiết bị107
4.1.7.	Hiệu chuẩn thiết bị107
4.2.	Kết quả thực nghiệm đo, giám sát rung động tại phòng thí nghiệm 108
4.2.1.	Hệ thống đo, giám sát rung động trong phòng thí nghiệm108
4.2.2.	Mô hình đối tượng phục vụ thực nghiệm đo, giám sát108
4.2.3.	Kết quả thực nghiệm112
4.3.	Kết quả thực nghiệm đo, GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển116
4.3.1.	Hệ thống đo, giám sát rung động trên tàu biển117
4.3.2.	Kết quả đo và lưu trữ dữ liệu dao động trong thử nghiệm đường dài119
4.3.3.	Đọc, xử lý, giám sát rung động trong thử nghiệm trên tàu KN 375120
4.4.	Kết luận chương 4125
KÊT L	UẬN VÀ KIẾN NGHỊ126
DANH	MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CÔNG BỐ KẾT QUẢ
	NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN128
TÀI LI	ÊU THAM KHẢO130
PHŲ L	ŲC135

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

Chữ viết tắt

Giải thích

ABS	Đăng kiểm Hoa Kỳ
ADC	Analog Digital Convertor: Bộ chuyển đổi tương tự - số
BD	Block Diagram: Giao diện lập trình
CĐRĐ	Chẩn đoán rung động
CSCN	Cơ sở công nghệ
CSDL	Cơ sở dữ liệu
DAQ	Data Acquisition: Bộ góp dữ liệu
DÐD	Dao động dọc (Axial Vibrations, AVs)
DÐN	Dao động ngang (Laterial Vibrations, LVs)
DĐX	Dao động xoắn (Tosional Vibrations, TVs)
D-G	Diesel - Generator: Tổ hợp diesel - máy phát điện
DNV	Det Norsk Veritas: Đăng kiểm Đức
FFT	Fast Fourier Transformation: Biến đổi Fourier nhanh
FP	Font Panel: Giao diện chính
FTV	Free Torsional Vibrations: Dao động xoắn tự do
GS	Giám sát
GSDÐ	Giám sát dao động
GSRÐ	Giám sát rung động
ICE	Internal Combustion Engine: Động cơ đốt trong
150	tế
MDE	Marine Diesel Engine: Động cơ diesel tàu biển
DME	Diesel Main Engine: Động cơ diesel máy chính
ME	Main Engine: Động cơ máy chính
MHVL	Mô hình vật lý
MHH	Mô hình hóa
MMMVS	Multi-Channel Measurement and Monitoring Vibration
	System: Hệ thống đo và giám sát rung động đa kênh
MMX	Mô men xoắn
MPP	Main Propulsion Plant: Hệ trục chính lai chân vịt
NI	National Instruments

NKK	Nippon Kaiji Kyokai: Đăng kiểm Nhật Bản
LR	Lloyds Register: Đăng kiểm Anh
LA	Level A: Mức A
LB	Level B: Mức B
LALV	Level A Laterial Vibrations: Mức độ dao động ngang A
LAAV	Level A Axial Vibrations: Mức độ dao động dọc A
PAV	Permit Axial Vibrations: Mức dao động cho phép
PTP	Permitted Torsional Pressure: Úng suất xoắn cho phép
PTV	Permitted Torsional Vibrations: Dao động xoắn cho phép
Peak-to-peak	Hai lần biên độ
PTN	Phòng thí nghiệm
PTTK	Phân tích thiết kế
QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
REF.	Reference: Tham chiếu
RMR	Russian Maritime Register of Shipping: Đăng kiểm Hàng hải
	Liên bang Nga
RMS	Root Mean Square: Căn bậc hai bình phương trung bình
RT	Real Time: Thời gian thực
SVT	Sound and Vibration Toolkit: Gói phần mềm phân tích âm thanh và rung động
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
TREND	Xu hướng phát triển mức động rung động
TTG	Truc trung gian (Intermediate Shaft, IMS)
TVC	Torsional Vibration Calculation: Bång tính đao động xoắn
U SXCP	Úng suất xoắn cho phép
VI	Vitual Instruments: Thiết bị ảo
VR	Đăng kiểm Việt Nam

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bång 1.1.	Vị trí đo các dao động cho GSRĐ theo các Quy phạm Đăng kiểm
	RMR, DNV, ABS, VR, NKK [1],[27],[28],[31],[33]24
Bång 1.2.	Số lượng kênh đo và điểm đo dao động ngang theo RMR và DNV24
Bång 2.1.	Số liệu đầu vào để xác định hàm hồi quy $g_1(f)$ 36
Bång 2.2.	Số liệu đầu vào để xác định hàm hồi quy $g_2(f)$ 36
Bång 2.3.	Tiêu chuẩn dao động quy đổi tuyến tính tại tần số f, Hz40
Bång 3.1.	Kết quả mô phỏng xử lý tín hiệu đa hài trong miền thời gian thực,
	AR = 0%25%
Bång 3.2.	Kết quả mô phỏng tính biên độ cho các điều hòa (FFT) với nhiễu Ar
	=15%
Bång 3.3.	Kết quả mô phỏng pha ban đầu (rad) cho các điều hòa (FFT) với
	nhiễu Ar =15%
Bång 4.1.	Các thành phần cơ bản của MHVL-1110

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1.1.	Các dấu hiệu cảnh báo tình trạng kỹ thuật của máy [50]7
Hình 1.2.	Mức rung động đối với máy rô to [12] 8
Hình 1.3.	Sơ đồ chức năng nhiệm vụ quá trình GSRĐ trên MDE21
Hình 1.4.	Giám sát, chẩn đoán rung động máy và thiết bị cơ khí22
Hình 1.5.	Sơ đồ nguyên lý nhiệm vụ GSRĐ theo đối tượng22
Hình 1.6.	Các tổ chức đăng kiểm quy định tính DĐX hệ trục lai chân vịt25
Hình 1.7.	Các tổ chức yêu cầu xác định mức độ DĐD, DĐN hệ trục MDE26
Hình 2.1.	Mô hình chức năng giám sát rung động trên MDE30
Hình 2.2.	Sơ đồ nguyên lý hệ thống GSRĐ đa kênh trên MDE32
Hình 2.3.	Sơ đồ nguyên lý xây dựng phần mềm xác định giá trị dao động cho phép theo RMR, phiên bản 2014 [27]32
Hình 2.4.	Sơ đồ ra quyết định GSRĐ theo RMR, phiên bản 201433
Hình 2.5.	Ra quyết định dao động dọc theo Đăng kiểm RMR33
Hình 2.6.	Hiển thị kết quả giám sát rung động34
Hình 2.7.	Sơ đồ nguyên lý giám sát dự báo rung động trên MDE34
Hình 2.8.	Sơ đồ nguyên lý xây dựng quy luật TREND và ra quyết định dự báo rung động
Hình 2.9.	Sơ đồ nguyên lý mô phỏng GSR Đ trên động cơ diesel và MPP35
Hình 2.10.	Nguyên lý lọc tín hiệu dao động trong miền thời gian thực
Hình 2.11.	Sơ đồ nguyên lý chung mô phỏng GS DĐX hệ trục tàu KN 37544
Hình 2.12.	Sơ đồ thuật toán giám sát DĐX trên MPP tàu KN 37544
Hình 2.13.	Thuật toán tính mô men xoắn cưỡng bức tại từng xy lanh của động cơ diesel
Hình 2.14.	Sơ đồ nguyên lý cấu trúc chức năng chính của nhiệm vụ mô phỏng giám sát DĐD hệ trục chính động cơ máy chính lai chân vịt50
Hình 2.15.	Sơ đồ nguyên lý biến đổi dòng thông tin trong giám sát rung động.57
Hình 3.1.	Lưu dữ liệu đã mô phỏng vào file TP _m .lvm gồm các dữ liệu: $\tau_m(t)$; A, gamma, hai véc tơ65
Hình 3.2.	VI mô phỏng dạng tín hiệu dao động xoắn cho động cơ 2 kỳ
Hình 3.7.	Lập trình VI tự động tính PTP trên trục trung gian, chân vịt và trục đẩy

Hình 3.8.	Giao diện lập trình VI tính PTP trên trục khu ỷu ME 2 kỳ và 4 kỳ72
Hình 3.10.	VI xây dựng đặc tính PLLA, PVLB có EU N/m², MDE: S=26 cm75
Hình 3.11.	Kết quả xử lý tín hiệu thời gian đa hài qua lọc với AR=25%76
Hình 3.12.	Kết quả xử lý tín hiệu thời gian đa hài qua lọc với $AR = 5\%$ 77
Hình 3.13.	Kết quả xử lý tín hiệu thời gian đa hài qua lọc với AR = 0.5% 77
Hình 3.14.	Kết quả xử lý tín hiệu thời gian đa hài qua lọc với AR=0.0%78
Hình 3.15.	Thuật toán đánh giá độ chính xác FFT cho tín hiệu đa hài có nhiễu.79
Hình 3.16.	Giao diện chính của VI so sánh độ chính xác FFT cho tín hiệu 25 hài có nhiễu, Ar =15%
Hình 3.18.	Mô phỏng trong MatLab xác định tín hiệu gia tốc từ vận tốc đa hài, xác định, không nhiễu theo hai phương pháp
Hình 3.19.	Sự sai lệch tín hiệu gia tốc từ vận tốc đa hài, xác định, không nhiễu theo hai phương pháp
Hình 3.20.	Mô phỏng trong MatLab xác định tín hiệu chuyển vị từ vận tốc đa hài, xác định, không nhiễu theo hai phương pháp
Hình 3.21.	Sự sai lệch tín hiệu chuyển vị từ vận tốc đa hài, xác định, không nhiễu theo hai phương pháp
Hình 3.22.	Sơ đồ cấu trúc bộ lọc trung bình các tín hiệu dao động cho GSRĐ87
Hình 3.23.	Sơ đồ cấu trúc VI lọc trung bình trượt cho tín hiệu rung động88
Hình 3.24.	Biểu tượng VI phân tích 1/3-octave của SVT90
Hình 3.25.	Xây dựng Code VI phân tích 1/3-octave của SVT91
Hình 3.26.	Cấu trúc của Code VI phân tích 1/3-octave91
Hình 3.27.	Đầu vào/ra của VI thành phần kiểm tra tín hiệu vào92
Hình 3.28.	Cấu trúc vào/ra của VI xử lý tín hiệu về dạng 1/3-Fractional Octave93
Hình 3.29.	Đầu vào/ra của VI thành phần hiển thị93
Hình 3.30.	Giao diện chính của VI xử lý off-line tín hiệu DĐX trên đoạn trục trung gian hệ trục D-G tại PTN và ra quyết định giám sát mức độ DĐX tại vòng quay thử nghiệm
Hình 3.31.	Giao diện lập trình của VI xử lý tín hiệu biến dạng xoắn trên đoạn trục trung gian của tổ hợp D-G96
Hình 3.32.	VI con kiểm tra mức độ rung động theo hai ngưỡng A và B98
Hình 3.33.	Thiết bị ảo đưa ra kết quả đánh giá trạng thái rung động hiện hành .99
Hình 4.1.	Sơ đồ nguyên lý hệ thống đo, giám sát rung động MDE102
Hình 4.2.	Sơ đồ khối các thành phần của hệ thống GSRĐ 10 kênh103

Hình 4.3.	Xác định chu kỳ trích mẫu cho xử lý GSRĐ trên MDE104
Hình 4.4.	Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo, GSRĐ đa kênh108
Hình 4.5.	Sơ đồ MHVL-1 được sử dụng trong thí nghiệm109
Hình 4.6.	Hình ảnh MHVL-1 được sử dụng trong thí nghiệm kiểm tra và hiệu chỉnh MMMVS109
Hình 4.7.	Sơ đồ nguyên lý hệ trục D-G và khả năng lắp đặt thiết bị đo biến dạng trên đoạn trục được hoán cải
Hình 4.8.	Hình ảnh MHVL-2 phục vụ cho thực nghiệm tại phòng thí nghiệm111
Hình 4.9.	Giao diện hiển thị kết quả đo rung động112
Hình 4.10.	Giao diện chính phân tích pha tín hiệu trong xử lý tín hiệu TVs113
Hình 4.11.	Giao diện chính xử lý tín hiệu biến dạng xoắn (µ ϵ)114
Hình 4.12.	Giao diện chính xử lý tín hiệu mô men xoắn114
Hình 4.13.	Giao diện chính xử lý tín hiệu ứng suất xoắn115
Hình 4.14.	Giao diện chính xử lý tín hiệu biến dạng dọc (µ ϵ)115
Hình 4.15.	Sơ đồ nguyên lý hệ thống giám sát rung động trên MDE117
Hình 4.16.	Lắp đặt thiết bị đo trên tàu KN 375118
Hình 4.17.	Thực nghiệm đo và giám sát rung động trên tàu KN 375118
Hình 4.18.	Vị trí và phương đo dao động ngang trên MDE119
Hình 4.19.	Đo, xử lý nhanh dao động trong thử nghiệm đường dài tàu KN 375 120
Hình 4.20.	Tín hiệu dao động Acc-1 tại n = 479 vòng/phút (động cơ máy chính) xử lý bậc điều hòa121
Hình 4.21.	Kết quả xử lý tín hiệu dao động gia tốc Acc-4 và kết quả giám sát tại $n = 479$ vòng/phút122
Hình 4.22.	Phân tích RT và FFT của Acc-4 tại n = 479 vòng/phút123
Hình 4.23.	Kết quả giám sát dao động xoắn trên trục trung gian tại $n_{IMS} = 215$ và $n_E = 479$ vòng/phút

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Đóng tàu biển vỏ thép cần đạt yêu cầu chuẩn về rung động đã được các tổ chức chuyên môn trong nước và quốc tế đưa ra các yêu cầu nghiêm ngặt với các bộ tiêu chuẩn (về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép), cụ thể như: Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của Việt Nam (QCVN 21:2015/ BGTVT) [1]; Quy phạm Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga (RMR, phiên bản 2014) [27]; Đăng kiểm Hoa Kỳ (ABS, phiên bản 2015) [28]; Đăng kiểm Nhật Bản (NKK, phiên bản 2015) [29]; Đăng kiểm Đức (DNV, phiên bản 2011) [30],[31]; Đăng kiểm Anh (Lloyd's, phiên bản 2014) [32]...

Nghiên cứu giám sát rung động (GSRĐ) trên động cơ diesel tàu biến (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 bảo dưỡng, tăng tuổi thọ của máy móc và thiết bị, 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 phát triển tăng 20% so với việc duy tu, bảo dưỡng, tránh được các hư hỏng, sự cố, tiết kiệm được thời gian sửa chữa, xây dựng được kế hoạch khai thác tối ưu (dẫn theo [8]).

Kết quả GSRĐ dùng để chẩn đoán và dự báo hư hỏng có thể xảy ra trong khai thác hiện tại và tương lai đó là việc làm hết sức cần thiết, có ý nghĩa.

Trên thế giới, thiết bị đo rung động và GSRĐ đã được chế tạo và bán khá rộng rãi trên thị trường, như thiết bị đo rung động cầm tay của hãng truyền thống Brüel & Kjær (Đan Mạch), hãng Rion (Nhật Bản), và gần đây như hãng Extech, Fluke (Mỹ), hãng Lutron (Đài Loan)... Các hãng trên đưa ra quảng cáo thương mại với đặc điểm chung là các thiết bị này dùng cho đo, xử lý tín hiệu từ một đến bốn kênh và đầu vào cùng một dạng tín hiệu thu được từ một loại cảm biến (sensor) cùng loại. Một số thiết bị đa kênh đo cho một dạng tín hiệu, thường là dao động ngang đã được chế tạo [48],[49]. Thiết bị trên có thể dưới dạng di động (xách tay) hoặc được lắp đặt tĩnh tại trên máy cần giám sát.

Để làm chủ được công nghệ, chúng ta gặp nhiều khó khăn vì các hãng đều giữ các bí quyết 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 hơn. Thực tế thiết bị nhập khẩu có sẵn rất đắt, chi phí tốn kém và nhiều khi không phù hợp cho nghiên cứu phát triển.

Bên cạnh đó, GSRĐ trên MDE là vấn đề mới ở Việt Nam, đến thời điểm hiện tại 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

Nghiên cứu, chế tạo hệ thống đo và giám sát đồng thời các dạng dao động xoắn, dọc và ngang trên động cơ diesel tàu biển.

Mục tiêu cụ thể

- *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 (Quy phạm Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga, phiên bản 2014 và Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của Việt Nam (QCVN 21:2015/ BGTVT)) 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, 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 và phạm vi nghiên cứu

* Đối tượng nghiên cứu

Thiết bị đo, GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển. Đây là một hệ thống đo,
GSRĐ đa kênh hiện đại, di động (Multi-chanel Measurement and Monitor
Vibration System, MMMVS).

- Giám sát các dạng dao động trên động cơ diesel tàu biển:

+ Dạng dao động xoắn (góc) trên hệ trục diesel lai chân vịt;

+ Dạng dao động dọc trục trên hệ trục diesel lai chân vịt;

+ Dạng dao động ngang có phương thẳng, vuông góc với đường trục.

* Phạm vi nghiên cứu

- Phạm vi của đối tượng nghiên cứu: động cơ diesel máy chính và hệ trục chính (diesel lai chân vịt).

Về lý thuyết: Thực hiện cho cả ba dạng dao động: xoắn, dọc và ngang.

Giám sát tại các chế độ hoạt động của động cơ diesel tàu biển:

+ Ở chế độ vòng quay khai thác khi không tải và có tải;

+ Khi động cơ làm việc bình thường "Normal" và khi động cơ có một xy lanh không cháy "Misfire".

Về thí nghiệm:

Dao động xoắn và ngang: Thực hiện thí nghiệm trên mô hình số (mô phỏng số) và thực nghiệm trên đối tượng thực.

Dao động dọc: Nghiên cứu cơ sở lý thuyết và mô phỏng giám sát dao động dọc của động cơ hai kỳ lai chân vịt tàu biển, thực nghiệm trên mô hình vật lý 2 tại phòng thí nghiệm để xây dựng thiết bị, không triển khai thí nghiệm cho giám sát dao động trên hệ động lực chính động cơ diesel bốn kỳ lai chân vịt vì phương pháp đo bằng tem biến dạng trên trục trung gian phản ánh dao động dọc của chân vịt chứ không phải từ phía động cơ.

* Nội dung nghiên cứu

- Tổng quan chung về vấn đề giám sát rung động trên đối tượng.

- Cơ sở lý thuyết: cơ sở khoa học và công nghệ cho GSRĐ trên đối tượng.

Mô phỏng số cho hai dạng dao động xoắn và ngang trên hệ trục chính tàu
Kiểm Ngư 375 được đóng tại Công ty TNHH Một thành viên đóng tàu Hồng
Hà, Bộ Quốc Phòng.

- Xây dựng thiết bị đo và GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển.

- Thực nghiệm trên mô hình vật lý (MHVL-1, MHVL-2) và trên tàu thực.

4. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp phân tích, đánh giá và tổng hợp các vấn đề theo nội dung nghiên cứu.

- Kết hợp phương pháp mô hình hóa, mô phỏng số, chế tạo thiết bị đo, thử nghiệm trên mô hình vật lý và đối tượng thực.

- Nghiên cứu, vận dụng lý thuyết cơ học, dao động kỹ thuật, xử lý tín hiệu số, điều khiển tự động, thiết bị đo, thử nghiệm, toán học thống kê,...

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

* Ý nghĩa khoa học và công nghệ

 Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về đo, GSRĐ. Làm chủ được khoa học và công nghệ cho chế tạo thiết bị đo, GSRĐ trên đối tượng động cơ diesel tàu biển nghiên cứu tại Việt Nam.

 Tổng hợp được cơ sở khoa học và công nghệ để giám sát được rung động trên động cơ diesel tàu biển, bao gồm:

+ Phân tích, tổng hợp là lựa chọn tiêu chuẩn Quy phạm Đăng kiểm, tiêu chuẩn ISO, Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của Việt Nam cho xây dựng hệ thống GSRĐ máy;

+ Lựa chọn điểm đo, phương pháp đo, từ đó lựa chọn được thiết bị cần thiết cho GSRĐ máy;

+ Xây dựng được cơ sở toán học và thuật toán cho xây dựng phần mềm thiết bị đo, phân tích và xử lý bộ dữ liệu các tín hiệu rung động để giám sát.

 Đưa ra được sơ đồ nguyên lý hệ thống giám sát rung động đa kênh hiện đại. Lựa chọn phần cứng phù hợp, xây dựng các mô đun phần mềm cơ bản.

- Nghiên cứu thí nghiệm để kiểm chứng phần cơ sở lý thuyết.

* 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. Những kết quả đạt được và đóng góp mới của luận án

* Những kết quả đạt được

- Nghiên cứu, phân tích và lựa chọn được yêu cầu cơ bản của Quy phạm về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép, áp dụng trực tiếp cho GSRĐ trên MDE.

 Xây dựng được cơ sở lý thuyết (vị trí và số lượng các tín hiệu rung động cần đo và giám sát; cơ sở toán học và thuật toán cho GSRĐ; cơ sở công nghệ cho xây dựng thiết bị GSRĐ).

- Đưa ra được sơ đồ nguyên lý hệ thống GSRĐ hiện đại, đa kênh áp dụng cho các dạng tín hiệu dao động cần thực hiện trong luận án.

- Lựa chọn được cấu hình phần cứng phù hợp và xây dựng một số mô - đun phần mềm cơ bản cho chế tạo MMMVS trên MDE. Thiết bị đã được hiệu chuẩn bởi hai cơ quan chức năng có uy tín nhất của Việt Nam.

- Kết quả nghiên cứu mô phỏng số minh chứng cho sự đúng đắn, độ tin cậy của cơ sở lý thuyết dùng trong GSRĐ trên MDE.

Xây dựng MHVL-1 và hoàn thiện MHVL-2 cho thí nghiệm GSRĐ trên
MDE tại phòng thí nghiệm.

- Kết quả nghiên cứu thí nghiệm trên MHVL-1 và MHVL-2 cũng như trên đối tượng thực là minh chứng cho tính khả thi và ứng dụng của thiết bị đo, GSRĐ được chế tạo.

-5-

* Những đóng góp mới

- 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.

7. Bố cục luận án

Luận án bao gồm phần mở đầu và 4 chương trình bày những vấn đề nghiên cứu, phần kết luận. Các công trình nghiên cứu đã công bố của tác giả, tài liệu tham khảo và phụ lục. Nội dung những vấn đề nghiên cứu của luận án được cấu trúc như sau:

Chương 1. Tổng quan về giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển. Chương 2. Cơ sở lý thuyết giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển. Chương 3. Mô phỏng giám sát dao động trên động cơ diesel tàu biển. Chương 4. Nghiên cứu chế tạo và thử nghiệm hệ thống giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển.

Chương 1. TỔNG QUAN VỀ GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU BIẾN

1.1. Tổng quan về giám sát rung động1.1.1. Các khái niệm cơ bản

1.1.1.1 Giám sát rung động trên các máy cơ khí

Giám sát rung động máy là quá trình đo, thu thập tín hiệu, xử lý tín hiệu thu được và đưa ra các kết quả đánh giá trạng thái rung động của máy tại thời điểm giám sát hoặc dự báo trong tương lai.

Giám sát rung động máy quan trọng vì nó cung cấp các thông tin về tình trạng kỹ thuật của máy. Sử dụng các thông tin này để phát hiện các dấu hiệu cảnh báo sớm và sẽ giúp người vận hành, khai thác đảm bảo an toàn cho máy hoạt động, tối ưu hóa hiệu suất của máy, tránh khỏi rất nhiều thiệt hại về thiết bị, thời gian, kinh tế, đưa ra biện pháp bảo trì phù hợp, phục hồi năng lực làm việc của máy và lập được kế hoạch bảo trì, bảo dưỡng phù hợp. Trên Hình 1.1, đưa ra ví dụ các dấu hiệu cảnh báo tình trạng kỹ thuật của máy khi bị lỗi.



Hình 1.1. Các dấu hiệu cảnh báo tình trạng kỹ thuật của máy [50]

Hai nhiệm vụ cơ bản của giám sát rung động:

- Ra quyết định đánh giá mức độ rung động của máy được giám sát để từ đó khai thác hợp lý nhất và an toàn cho đối tượng. Phụ thuộc vào chế độ làm việc, trạng thái kỹ thuật của máy ở mức nào ứng với độ rung động của máy ở các mức 1, 2 hoặc 3 [12], thể hiện trên Hình 1.2.

- Theo dõi sự thay đổi mức độ rung động, xây dựng quy luật thay đổi mức độ rung động (vibration trend) để ra quyết định dự báo mức độ rung trong tương lai, dự báo thời điểm mức rung đạt ngưỡng mức cao hơn mức cho phép (mức 2) hoặc mức nguy hiểm (mức 3).



Hình 1.2. Mức rung động đối với máy rô to [12]

Trong khai thác máy, nhà chế tạo động cơ và thiết bị, nhà máy đóng tàu hay Hiệp hội các tổ chức chuyên môn đã đưa ra tiêu chuẩn (mức) rung động để đảm bảo rằng máy hoạt động trong phạm vi rung động cho phép, tương ứng với từng dạng rung động nguy hiểm nhất cho các đối tượng máy khác nhau. Ví dụ như: dao động xoắn; dao động dọc trục cho hệ trục chính diesel tàu biển; dao động thẳng theo các phương đứng và nằm ngang vuông góc với đường trục động cơ diesel, máy nén khí, bơm, động cơ điện...

Đối với các máy công nghiệp, trong đó có máy tàu biển thường áp dụng tiêu chuẩn rung động theo tiêu chuẩn của tổ chức tiêu chuẩn quốc tế ISO [36],[37],[38] hoặc tương đương với các tiêu chuẩn, Quy phạm của Hiệp hội Đăng kiểm hàng hải quốc tế (IACS) [39], trong đó có: Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của Việt Nam [1],[17],[18]; Tiêu chuẩn Việt Nam [19],[20]; Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga (RMR) [27]; Đăng kiểm Nhật Bản (NKK) [29],[33]; Đăng kiểm Hoa Kỳ (ABS) [28],[34]; Đăng kiểm Đức (GL - DNV) [30],[31],[35],[40]; Đăng kiểm Anh (Lloyd) [32],...

Các khái niệm về rung động và dao động:

Rung động: là một hiện tượng phổ biến trong tự nhiên và trong kỹ thuật, là một quá trình trong đó đại lượng vật lý đặc trưng thay đổi theo thời gian và lặp đi lặp lại quanh một trạng thái nào đó.

Dao động: được mô tả là sự chuyển động của một phần tử, hoặc một vật thể, quanh một vị trí cân bằng, hay còn gọi là vị trí quy chiếu. Dao động thường được diễn tả bằng nhiều cách thức khác nhau như chuyển vị, vận tốc hoặc gia tốc [25].

Rung động là khái niệm chung, còn thường dùng dao động để chỉ dạng dao động cụ thể, ví dụ: dao động xoắn, dao động dọc, dao động ngang...

Trong tiếng Anh vẫn sử dụng một thuật ngữ chỉ chung: Vibrations, cũng như chỉ các dạng như: Torsional vibration, Axial vibration, Laterial vibration...

Giám sát và chẩn đoán rung động

Giám sát rung động như định nghĩa trên chỉ ra trạng thái rung động nhưng không chỉ ra nguyên nhân hỏng hóc máy, tuy nhiên nó có đánh giá trạng thái kỹ thuật máy nằm trong mức độ nào cho phép (Mức LA - Level A, LB - Level B, hoặc LC - Level C).

Chẩn đoán rung động (CĐRĐ) có nhiệm vụ xác định (chẩn đoán, đánh giá) trạng thái máy bằng phương pháp rung động (đo, phân tích tín hiệu rung động, ra quyết định chẩn đoán). Đích cuối cùng của chẩn đoán rung động là đưa ra kết luận trạng thái kỹ thuật máy nằm ở đâu: có hư hỏng hay không, vị trí hư hỏng, nguyên nhân hư hỏng, biện pháp khắc phục và dự báo hư hỏng.

Về thiết bị đo có thể cùng dùng với hai mục đích giám sát rung động và chẩn đoán rung động. Tuy nhiên, để thực hiện các nhiệm vụ khác nhau cần có phương pháp và phần mềm phù hợp.

Nội dung của GSRĐ và CĐRĐ có phạm vi rất rộng, do vậy luận án chỉ tập trung nghiên cứu GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển ở thời điểm hiện tại.

Giám sát rung động thường có ba loại như sau:

+ *Giám sát cầm tay*: Sử dụng bút đo hoặc máy đo rung động cầm tay, thường có từ 1 đến 4 kênh sử dụng đo cùng một loại tín hiệu đầu vào gia tốc hoặc vận tốc, việc phân tích rung động thường do các kỹ thuật viên sử dụng phân tích. Hệ thống này đơn giản, không cần đầu tư nhiều về tài chính và nhân công. Nhược điểm chính của thiết bị giám sát loại này là độ tin cậy không cao, mất thời gian cho việc ghi chép dữ liệu thủ công, không đo được các khu vực, môi trường nguy hiểm.

+ Hệ thống giám sát di động: Là hệ thống sử dụng những thiết bị xách tay, có khả năng đo và phân tích rung động, để xác định tình trạng của hệ thống, áp dụng cho đo, GSRĐ định kỳ. Ví dụ: hệ thống *Smart systems international CM-*X8 Vibration Monitor - hãng Bretech [51]; CTConline - hãng CTC (Mỹ) [52]; PCE-VMS-504 - hãng PCE (Anh) [53]...

Đây là các thiết bị đa kênh (có thể tới 16 kênh), chủ yếu đo dao động ngang. Trong đó phần mềm đo và xử lý các tín hiệu rung động đều có chức năng FFT, RMS... nhưng không có công cụ lọc 1/3-octave. Các ngưỡng đối với dao động ngang đều tuân thủ theo tiêu chuẩn ISO 10816 để tham chiếu.

+ Hệ thống giám sát đặt tĩnh tại trên máy cần giám sát: Đối tượng cho dạng máy cơ khí, nhưng tập trung cho dạng máy rô to. Các sensor được gắn trực tiếp tại máy công tác, dữ liệu được truyền về máy tính qua bộ thu thập dữ liệu (DAQ, Data Acquisistion) và được xử lý qua phần mềm chuyên dụng. Ưu điểm của loại này thiết bị đặt được trong môi trường khắc nghiệt, có thể giám sát được tự động và từ xa. Dạng dao động được giám sát chủ yếu là dao động ngang, do mất cân bằng.

1.1.1.2 Giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển

Các dạng dao động cần đo và giám sát theo Quy phạm, quy chuẩn đưa ra có các dạng dao động như sau:

Dao động xoắn: đây là dạng dao động quan trọng nhất, tất cả các Quy phạm của các nước trên thế giới và Việt Nam đều đưa ra.

Dao động dọc: các nhà nghiên cứu trên thế giới (khối các nước châu Âu: Liên Bang Nga, Bulgaria, Ba Lan,... cũng như Canada và Hoa kỳ) đã nghiên cứu từ những năm 70 - 80 của thế kỷ XX, và chỉ ra rằng dao động dọc nguy hiểm cần được giám sát cho hệ trục chính tàu biển có công suất lớn, tuy nhiên Hiệp hội Đăng kiểm hàng hải quốc tế (IACS) chưa thống nhất và gần đây một số tổ chức Đăng kiểm lớn đã nhận thấy sự cần thiết phải luật hóa và đưa ra yêu cầu phải giám sát dao động dọc trên MDE. Đó là dao động dọc tác động qua gối chặn, và sinh ra dao động vỏ tàu.

Dao động ngang: đo trên bề mặt các chi tiết tĩnh của động cơ diesel tàu biển, có phương vuông góc với đường trục (trục quay của động cơ). Các tiêu chuẩn mức độ cho phép đối với dạng dao động ngang có thể kể đến Quy phạm RMR, phiên bản 2014; ABS, phiên bản 2015; DNV, phiên bản 2011...

Giám sát rung động có các nội dung cơ bản sau:

- (a) Đo và thu thập các tín hiệu dao động;
- (b) Xử lý các tín hiệu dao động thu được cho GSRĐ;
- (c) Xây dựng mức dao động cho phép (dùng tham chiếu, REF.);
- (d) Ra quyết định GSRĐ;
- (e) Hiển thị kết quả GSRĐ.

Một quá trình hay cấu trúc máy thường phức tạp và được trừu tượng hóa thành các mô hình tương đương để nghiên cứu đơn giản hơn, dễ tiếp cận hơn, quá trình đó được hiểu là mô hình hóa. Kết quả sản phẩm tương đương với sản phẩm ban đầu được gọi là mô hình với các dạng mô hình khác nhau. Trong nghiên cứu tính dao động trên MDE cũng như hệ động lực dùng động cơ máy chính diesel, thường dùng các dạng mô hình: mô hình động lực, mô hình động lực học, mô hình toán cơ, mô hình liên kết nhân quả, mô hình hồi quy... Trong

nghiên cứu, xây dựng, cũng như chế tạo, thử nghiệm thiết bị có thể sử dụng các mô hình khối - nguyên lý cấu tạo thiết bị, mô hình chức năng hoạt động của thiết bị, mô hình vật lý...

Cơ hệ phức tạp thực hiện dao động được đơn giản hóa thành các khối lượng tập trung, liên kết với nhau qua phần tử đàn hồi và phần tử cản với các hệ số tương ứng và các chi tiết này không khối lượng. Các hệ số của mô hình động lực học nêu trên được xác định đầy đủ, chúng phụ thuộc vào kích thước, hình dạng cũng như tính chất vật liệu, môi trường hoạt động.

Mô hình động lực học của cơ hệ thực hiện dao động sẽ đầy đủ hơn mô hình động lực bởi được bổ sung các thành phần lực (mô men) tác động.

Mô hình toán viết bởi các phương trình, mối quan hệ toán học giữa các thông số đầu vào (hệ số), các ngoại lực tác động để thu được đầu ra là các trạng thái động (dao động) của cơ hệ. Hệ các phương trình viết lên dao động (tựa theo bản chất vật lý của các quá trình trong cơ hệ) được gọi là mô hình toán - cơ.

Mô hình liên kết nhân quả thể hiện sự phụ thuộc (hệ quả) của một đại lượng vào một trạng thái sinh ra (gốc). Mô hình thường được sử dụng để xác định (mang tính định hướng) các tính chất, các đại lượng cần nghiên cứu, cần xem xét (hệ quả) khi có tác nhân tác động (nguồn gốc). Dạng mô hình này thường rẽ nhánh: A sinh ra B (A \rightarrow B), và thường tạo thành mô hình cây (Tree Model). Sử dụng mô hình liên kết nhân - quả có thể xây dựng được sơ đồ chức năng (mô hình chức năng) của thiết bị đo, ví dụ: A: Khối tham chiếu (REF.) \rightarrow B: Khối đo tín hiệu dao động (xác định dạng dao động cần đo, điểm đo, phương đo,...); A: Khối tham chiếu (REF.) \rightarrow C: Xử lý tín hiệu dao động (cần xác định dạng dao động cần chuyển đổi; thông số đặc trưng (ví dụ RMS); dạng xử lý FFT,...); A: Khối tham chiếu (REF.) \rightarrow D: Khối ra quyết định GSRĐ (cho một giá trị hay một tập các thông số - đặc tính),... Mô hình này sẽ được đề cập chi tiết trong nội dung của luận án.

Mô hình hồi quy: Mô hình toán thu được trong quá trình xử lý thống kê các dữ liệu thí nghiệm (thí nghiệm số hay thử nghiệm trên đối lượng thực) theo một dạng mô hình toán lựa chọn. Có thể thu được các mô hình hồi quy (Regressive model, RM) tuyến tính, phi tuyến, một biến, đa biến, dạng đa thức bậc 1, bậc 2 hoặc bậc cao hơn, có thể là mô hình mũ,...

Với khái niệm mô hình tựa theo một đối tượng nghiên cứu, chúng ta có thể có mô hình vật lý phỏng theo đối tượng thực cần nghiên cứu. Đó là các khối thiết bị (vật chất cụ thể, hiện hữu có kích thước) phỏng theo sự hoạt động của đối tượng nghiên cứu. Ví dụ một cơ hệ thực hiện dao động xoắn, hệ phương trình toán - cơ (mô hình toán - cơ) được giải, thay bằng một thiết bị điện - điện tử tương tự. Kết quả dao động của cơ hệ được giám sát và thể hiện trên màn hình ứng với tín hiệu điện. Thiết bị vật lý này chính là MHVL dạng tương tự cho GSRĐ, dao động xoắn của cơ hệ được nghiên cứu. Với khái niệm về MHVL, trong luận án này sẽ xây dựng và sử dụng hai mô hình vật lý: MHVL-1 và MHVL-2, và được đề cập ở các nội dung của luận án.

Đối tượng nghiên cứu thực là động cơ diesel tàu biển và hệ trục liên quan dạng dao động được nghiên cứu. Trong luận án thực hiện trên đối tượng là hệ động lực chính tàu Kiểm Ngư KN 375 dùng động cơ diesel 6EY26W của Yanmar làm động cơ máy chính (ME: Main Engine) lai chân vịt.

Các thuật ngữ thường được sử dụng trong luận án đó là mô phỏng, mô phỏng số, thí nghiệm và thử nghiệm.

Mô phỏng là quá trình dựng lại (giải) một quá trình phỏng (tựa) theo quá trình ban đầu. Với khái niệm mang tính phương pháp luận này, các quá trình nghiên cứu dao động trên mô hình để thu được kết quả tựa theo quá trình gốc (orginal) đều là quá trình mô phỏng. Tuy nhiên, để phân biệt cụ thể hơn và tránh trùng lặp quá nhiều đến mô phỏng, luận án sử dụng mô phỏng với nghĩa giải mô hình toán cho quá trình nghiên cứu (dao động), và đó là mô phỏng số trên máy tính được sự trợ giúp của phần mềm mô phỏng được xây dựng hoặc sử dụng phần mềm chuyên dụng.

Thí nghiệm để nghiên cứu dao động được thực hiện trên đối tượng tựa đối tượng thực (thực tế trên mô hình), đó có thể mô phỏng số hoặc trên đối tượng vật lý. Thí nghiệm trên mô hình vật lý cũng là mô phỏng, song trên đối tượng vật lý, không giải bằng phương pháp số.

Thử nghiệm là thí nghiệm trên đối tượng thực (tàu thực, hệ động lực thực). Trong thực tế tàu biển, có một số dạng thử nghiệm đặc biệt như thử nghiệm đường dài, thử nghiệm buộc tàu tại bến, các thử nghiệm nghiên cứu...

Giám sát rung động có hai phương thức: trực tuyến và ngoại tuyến.

GSRĐ trực tuyến (on-line): là quá trình đo, thu thập, xử lý thông tin và so sánh với các ngưỡng tiêu chuẩn và chỉ báo các thông số kỹ thuật của máy qua màn hình hiển thị, âm thanh, đèn báo hoặc in ấn báo cáo trực tiếp ngay trong thời điểm đo đạc, giám sát.

GSRĐ ngoại tuyến (off-line): là quá trình đo, thu thập và lưu trữ dữ liệu, các chuyên gia hoặc kỹ thuật viên lưu trữ dữ liệu (trong máy tính hoặc thiết bị đo nhờ các thẻ từ). Sau thí nghiệm, đọc lại dữ liệu đã được ghi và kiểm tra, phân tích, xử lý dữ liệu bằng các phần mềm chuyên dùng để chỉ ra trạng thái kỹ thuật của máy xem trạng thái rung động của máy thuộc vùng nào được chỉ ra trên Hình 1.2.

1.1.2. Giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển

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 hệ động lực chính (dải vòng quay từ thấp nhất đến cực đại), không xuất hiện cộng hưởng nguy hiểm cả khi MDE hoạt động ở trạng thái bình thường (Normal, tất cả các xy lanh đều hoạt động), cũng như trong trường hợp sự cố (Misfire, chỉ một trong các xy lanh không cháy, nhưng quá trình nén trong xy lanh đó vẫn bình thường). Nếu có cộng hưởng nguy hiểm, cần khẳng định mức độ ứng suất xoắn ở vùng cộng hưởng nằm trong phạm vi cho phép được chuyển nhanh qua vùng này. Khi đó, cần đưa ra vùng vòng quay cấm khai thác lâu dài.

Đối với tàu đóng mới hoặc hoán cải, cần tiến hành đo, kiểm tra các dạng dao động dọc và ngang tương ứng theo 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 Đăng kiểm RMR, phiên bản 2014.

Trong khai thác kỹ thuật hệ động lực chính tàu biển, có nhiều nguyên nhân dẫn đến thay đổi mức độ dao động của hai dạng dao động dọc và ngang. Do vậy, trong các lần sửa chữa lớn động cơ cũng như hệ trục, chân vịt, cần tiến hành đo, kiểm tra GSRĐ các dạng dao động này.

Theo Đăng kiểm RMR, phiên bản 2014 [27], DNV, phiên bản 2011 [31] chỉ ra vị trí các điểm đo, số lượng các vị trí 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. Chi tiết được chỉ ra trong phụ lục PL1, Hình PL 1.1.

Trong phụ lục PL1 cũng đưa ra một số tiêu chuẩn cơ bản về dao động theo Quy phạm Đăng kiểm RMR, DNV, ABS, NKK, VR cũng như khuyến cáo về mức độ dao động dọc cho phép đối với các động cơ của hãng MAN B&W.

Như vậy, luận án cần xây dựng thiết bị đo và GSRĐ đa kênh, tích hợp đồng bộ cho các dạng dao động trên động cơ diesel tàu biển.

1.2. Tình hình nghiên cứu trên thế giới và trong nước

1.2.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới

Thiết bị đo gia tốc đầu tiên trên thế giới dạng 4301 (Type 4301) của Brüel & Kjær [54], được ra mắt năm 1943. Hiện nay, có nhiều hãng chế tạo máy đo rung động, thường phân chia ra làm hai loại chính:

- Loại máy đo rung động di động: Loại máy này thường có từ 1 đến 4 kênh đo, các cảm biến đi cùng với thiết bị đo. Phần mềm đo và phân tích các tín hiệu dao động được cài đặt trực tiếp trên máy tính xách tay. Việc lắp đặt các cảm biến do trực tiếp người đo thực hiện. Mức độ tự động của loại này chưa cao, thường sử dụng cho đo một dạng dao động ngang, ví dụ các thiết bị của hãng: Extech [49], Fluke [48], Brüel & Kjær [54], Rion [53], Lutron [55], SKF [24] ... Đây là các máy đo rung động di động với chức năng phân tích đơn giản, nhanh, tiện lợi, giá thành thấp.

Một số hãng đã chế tạo thiết bị đo rung động xách tay hiện đại, số kênh có thể nâng lên nhiều kênh: Smart systems international CM-X8 Vibrationmonitor - hãng Bretech [51]; CTConline - hãng CTC (Mỹ) [52]; PCE-VMS-504 - hãng PCE (Anh) [53]... sử dụng các phần mềm phân tích hiện đại, sử dụng công cụ

toán học mạnh để phân tích dao động, giám sát và chẩn đoán. Các tín hiệu thu được từ các sensors qua bộ góp DAQ đưa về máy tính và sử dụng phần mềm chuyên dụng của hãng để phân tích và sử dụng tiêu chuẩn ISO 10816 để tham chiếu so sánh với ngưỡng.

Tất cả các thiết bị đo rung động trên của các hãng thường sử dụng phép phân tích FFT (Fast Fourier Transformation, biến đổi Fourier nhanh) cho các tín hiệu vận tốc dao động đo được theo thời gian, tính giá trị căn bậc hai bình phương trung bình (V_{RMS}).

- Loại thiết bị đo, GSRĐ lấp đặt tĩnh tại trên máy, thực hiện nhiệm vụ GSRĐ on-line. Mức độ tự động của thiết bị cao, tự động đo và lưu trữ dữ liệu, xử lý nhanh và ra quyết định trạng thái rung động ở thời điểm giám sát. Báo động khi mức độ dao động vượt ngưỡng cho phép. Phần mềm GSRĐ có thể được xây dựng và cài đặt cho giám sát dự báo trên cơ sở đường xu hướng phát triển mức độ rung động TREND.

Loại GSRĐ on-line phụ thuộc vào mức độ quan trọng của máy cần giám sát sẽ được đầu tư xây dựng đặc biệt với giá thành và chi phí rất cao.

Về các công trình nghiên cứu: đã có các công trình nghiên cứu và cung cấp giải pháp tổng thể về giám sát, bảo vệ tua bin và máy phát điện trong các nhà máy điện Benlty Nevada [44] nghiên cứu giám sát rung động tua bin khí xả; hệ thống chẩn đoán đối với động cơ tua bin của Adam Charchalis [45]; công ty cung cấp dịch vụ kỹ thuật trong giám sát tình trạng thiết bị, chẩn đoán lỗi và xử lý sự cố, giải pháp thiết kế Bretech [51].

Nhiều nhà khoa học tại Bulgaria (Minchev D.N, NheDev A...), Liên bang Nga (Alecsiev A, Baliski Ia, Barcov A., Genkin...) đã 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, động cơ tua bin ví dụ trên các quạt gió công nghiệp của nhà máy sản xuất phân bón Devnhia (Bulgaria) hay trên các tàu quân sự tại Liên bang Nga.

Luận án tiến sĩ của Jyoti K. Sinha [41] trong nghiên cứu thí nghiệm sử dụng mô hình vật lý cho đối tượng rô to cần đo, có xét đến ổ đỡ sử dụng chất lỏng bôi trơn và bệ đỡ đàn hồi. Thiết bị đo gồm cảm biến đo vòng quay và hai

kênh đo gia tốc, bộ góp dữ liệu DAQ của NI, tham chiếu các tiêu chuẩn của ISO 3945 và ISO 108616 - phần 2. Phương pháp nghiên cứu dùng mô hình hóa phần tử hữu hạn và xem xét đến việc mất cân bằng của rô to. Luận án của Andris Unbedahts [42] phát triển phương pháp chuẩn đoán kỹ thuật động cơ diesel tàu biển bằng dao động âm thanh, trong nghiên cứu đã xét đến yêu cầu của các đăng kiểm và chỉ ra rằng Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga yêu cầu cũng như cũng giống như yêu cầu của các thành viên khác trong Hiệp hội Đăng kiểm hàng hải quốc tế. Trong nghiên cứu sử dụng thiết bị đo dao động âm thanh hai kênh có sẵn, kết hợp máy hiện sóng.

1.2.2. Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam

Tại Việt Nam có thể kể đến các nhà khoa học có uy tín trong lĩnh vực dao động như: GS.TSKH. Nguyễn Cao Mệnh, Nguyễn Tiến Khiêm - Viện Cơ học Việt Nam [7]; GS.TSKH. Nguyễn Văn Khang - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội [9]; PGS.TSKH Đỗ Đức Lưu - Trường Đại học Hàng hải Việt Nam [6],[8],[10],[11],[13], TS. Nguyễn Hải - Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh [25],...

Trên các tàu vận tải biển hầu như chưa được trang bị thiết bị đo, GSRĐ cho động cơ diesel. Tuy nhiên, tại hai tàu dịch vụ của Công ty cổ phần Dịch vụ khai thác dầu khí PTSC, trên tổ hợp động cơ điện lai máy nén khí piston - tàu FPSO Ruby II [14], và tổ hợp động cơ điện lai máy nén khí ly tâm - tàu FPSO PTSC Lam Sơn [15], đã được lấp đặt tĩnh tại thiết bị đo, phân tích, giám sát dao động ngang và dao động dọc. Trên những hệ động lực này, các chuyên gia Đức lấp đặt thiết bị đo và giám sát rung động. Các tín hiệu dao động được đo, truyền về CPU tại tàu, hiển thị các giá trị đo (đã được xử lý) ở chế độ giám sát thực tại và so sánh với giá trị ngưỡng cho phép, các phân tích sâu hơn về rung động thu được chưa được triển khai tại công ty này. Việc phân tích, đánh giá tự động trạng thái rung động hiện hành, dự báo TREND đối với MDE theo quy định của các tổ chức chuyên môn chưa được đưa ra. Tuy thiết bị đo, GSRĐ trên các tàu dịch vụ của công ty trên có đối tượng khác với động cơ diesel tàu biển, song với cấu hình hiện có của thiết bị sẽ là tài liệu tham khảo quý giá từ thực tiễn của ngành hàng hải tại Việt Nam trong việc ứng dụng công nghệ GSRĐ.

Trong những năm gần đây tại Việt Nam có luận án tiến sĩ chuyên ngành kỹ thuật: "Nghiên cứu độ ồn - rung hộp số ô tô tải được thiết kế và chế tạo tại Việt Nam" [16]; "Nghiên cứu dao động và cân bằng tại chỗ hệ rô to đàn hồi ở nhà máy điện" [21]; "Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm thiết bị đo mô men xoắn và phân tích dao động xoắn động cơ diesel lai chân vịt" [22]; công trình nghiên cứu "Kiểm soát dao động thân tàu khi thử tàu theo tiêu chí đáp ứng dao động" [23]...liên quan đến đo hoặc giám sát dao động.

Trong công trình [16], tác giả Cao Hùng Phi đã xây dựng hệ thống, thiết bị đo ồn - rung theo TCVN 4922-89, ISO 8575, đo và kiểm chứng với giá trị tính toán lý thuyết, sử dụng phần mềm DASYLAB 7.0 với chức năng thu thập, hiển thị, lưu trữ, xử lý số liệu. Phần cứng sử dụng thiết bị đo có sẵn DEWEBOOK 4 kênh trong đó có 3 kênh đo rung và 1 kênh đo âm thanh.

Trong công trình [21], tác giả Trần Văn Lượng đo đạc, đánh giá trạng thái rung của các thiết bị quay được sử dụng trong các nhà máy điện tại Việt Nam ở vị trí gối đỡ trên cơ sở các tiêu chuẩn của các nước công nghiệp phát triển, tiêu chuẩn ISO 2372, và cũng đã nghiên cứu các tiêu chuẩn theo Quy phạm của Liên bang Nga và tiêu chuẩn của Hòa Kỳ.

Các công trình [16] và [21], đối tượng nghiên cứu khác so với đối tượng nghiên cứu của luận án là động cơ diesel tàu biển. Các dạng nghiên cứu hầu như khác biệt. Tuy nhiên, về phương pháp nghiên cứu, một số kết quả về dao động và cân bằng tại hiện trường hệ rô to đàn hồi trong [21], [41] có thể được nghiên cứu, vận dụng vào trường hợp nghiên cứu mất cân bằng của động cơ diesel lai máy phát điện.

Công trình nghiên cứu [22], tác giả Hoàng Văn Sĩ tập trung vào dao động xoắn hệ trục diesle tàu biển: chế tạo thiết bị đo mô men xoắn bằng tem biến dạng, dán trên bề mặt trục chịu xoắn; xử lý tín hiệu mô men xoắn thu được và so sánh với ngưỡng quy định theo quy phạm hàng hải về dạng dao động liên quan. Đóng góp và điểm mới của công trình [22]: đã chế tạo thành công thiết bị đo, phân tích dao động xoắn hai kênh tại Việt Nam, một kênh đo và xử lý tín hiệu dao động xoắn, một kênh đo pha (đánh dấu thời điểm đầu và cuối của trích

mẫu); đưa ra kết luận về sự cần thiết phải bổ sung kênh đo pha để đảm bảo sự chính xác của kết quả đo được.

Phương pháp nghiên cứu và kết quả đạt được trong công trình [22] là phù hợp và sẽ được nghiên cứu phát triển trong luận án. Về phương pháp luận, GSRĐ trên MDE sẽ được nghiên cứu theo góc độ quy phạm, tiêu chuẩn quy định, từ đó triển khai nghiên cứu cơ sở khoa học, cơ sở công nghệ cho chế tạo thiết bị và xây dựng phương pháp GSRĐ. Hệ thống đo sẽ được phát triển về số kênh đo (từ 02 kênh đo lên đến 10 hoặc nhiều hơn) với các dạng tín hiệu dao động khác nhau. Việc đồng bộ hóa dữ liệu đo, tuy có tăng về số lượng kênh đo (phức tạp hơn), song về nguyên tắc vẫn giống nhau. Điểm hạn chế duy nhất trong thiết bị đo, xử lý mô men xoắn/ dao động xoắn của công trình [22] là hệ thống chưa được hoàn thiện trong kênh dao động xoắn để tự động ra quyết định giám sát dao động xoắn ở chế độ đo kiểm.

Công trình [23], Lê Đình Tuân và cộng sự 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. Tuy nhiên, vấn đề nghiên cứu đưa ra từ việc phân tích số liệu đo dao động được công ty Sài Gòn Shipmarine thực hiện, tập trung vào việc khảo sát mức độ rung động theo tiêu chuẩn cho đội ngũ thuyền viên chứ không khảo sát chi tiết cho MDE.

Điểm hạn chế của [23]: Trong sơ đồ tổng quát đánh giá dao động tàu thủy cũng như áp dụng cho từng dạng dao động cụ thể ở giai đoạn thiết kế ban đầu chưa làm rõ đầu vào là gì, đầu ra như thế nào. Trong giai đoạn thiết kế không thể tiến hành phân tích dao động, vì chưa có các tín hiệu dao động, do vậy cần phải có mô hình hóa và tính nghiệm (mô phỏng số) trong các điều kiện biên cụ thể. Ngoài ra, phân tích dao động cơ sở của tiêu chuẩn rung động để phân tích tín hiệu theo miền thời gian hay tần số chưa được đề cập.

Về thiết bị đo, trong [23] đưa ra thông tin thời gian cần hiệu chuẩn thiết bị (2 năm), đó là yêu cầu chung của các đơn vị có chức năng kiểm định và hiệu chuẩn thiết bị đo, theo chuẩn quốc gia và quốc tế. Trong nghiên cứu, đơn vị đo dùng các kênh đo gia tốc, sau đó biến đổi về các tín hiệu vận tốc. Tuy nhiên, các công việc này đều do máy thực hiện và trên máy đã có cài đặt phần mềm xử lý.

Cơ sở toán học cho biến đổi hoàn toàn không rõ ràng. Ngoài ra, các tác giả cũng không phân biệt rõ tín hiệu đo được là đại lượng nào: đại lượng vật lý gia tốc thời gian thực hay đã xử lý tần số? Ở đây cần hiểu rõ cơ sở chuyển đổi dạng thông tin trong đo và xử lý tín hiệu dao động đo được.

Ra quyết định giám sát dao động được khảo sát cho thân tàu chỉ tập trung vào một tần số nhất định, trong khi đó khi giám sát dao động cho diesel tàu biển phải khảo sát cho tất cả các tần số *f* liên quan đến chế độ công tác của động cơ, hơn nữa nếu theo Đăng kiểm RMR, phiên bản 2014, sẽ dùng bộ lọc 1/3-octave. Đó chính là điểm khác biệt lớn nhất giữa giám sát dao động trên MDE so với giám sát dao động tại các khoang, các vị trí thân tàu khi kiểm tra tàu đóng mới.

Công trình [26] của Nguyễn Thị Diệu Linh và cộng sự đã nghiên cứu, thiết kế thiết bị đo rung động cho các máy công nghiệp, trong đó xây dựng được sơ đồ dòng thông tin, 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. Công trình [24] nghiên cứu về rung động nhưng đối tượng là máy công cụ CNC, sử dụng thiết bị đo và phân tích rung động CMX-A44 của hãng SKF. Đối tượng nghiên cứu của [24],[26] khác với đối tượng của luận án nghiên cứu.

Nhiều công trình nghiên cứu của các tác giả trong nước khác [2],[3],[14],[15],[16],[21],[22]... tập trung chủ yếu về tua bin - máy phát và rô to tàu thủy, trong đó rất ít công trình nghiên cứu về dao động và GSRĐ cho động cơ diesel và hệ động lực diesel tàu biển [13],[20].

Nhận xét chung:

Hiện nay trên thế giới và tại Việt Nam chưa có thông tin chi tiết về chế tạo thiết bị đo và GSRĐ đa kênh thực hiện đồng thời đo, giám sát các dao động góc và dao động thẳng khác nhau cho MDE. Chính vì lý do trên, cần phải có thiết bị để đo và GSRĐ theo Quy định của đăng kiểm đưa ra mà quy định đầy đủ nhất phải kể đến đó là Quy định của Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga (RMR, phiên bản 2014).

Việc triển khai 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 Việt Nam, cũng như việc nghiên cứu phát triển, nội địa hóa sản phẩm và cung cấp dịch vụ khoa học kỹ thuật cho các đội tàu của Việt Nam. Đây là vấn đề mới không chỉ đối với ngành hàng hải, mà còn mới đối với các ngành cơ khí chế tạo ở Việt Nam.

Mục đích của triển khai nghiên cứu GSRĐ trên MDE là đáp ứng tiêu chuẩn chất lượng rung động cho tàu và hệ động lực diesel tàu biển trong đóng mới, hoán cải cũng như trong khai thác kỹ thuật đội tàu. Ngoài ra, mục đích sẽ đạt được nhằm nâng cao tính an toàn, hiệu quả khai thác, kinh doanh các đội tàu vận tải biển. Cuối cùng, đó là mục tiêu nội địa hóa sản phẩm khoa học công nghệ có hàm lượng chất xám cao.

1.3. Đặt bài toán nghiên cứu

Trên Hình 1.3, chúng ta thấy rõ các nhiệm vụ cơ bản cần thực hiện cho một quá trình GSRĐ trên đối tượng động cơ diesel tàu biển được giám sát:



Hình 1.3. Sơ đồ chức năng nhiệm vụ quá trình GSRĐ trên MDE

Việc xác định, đánh giá, phân lớp trạng thái kỹ thuật của máy theo tín hiệu rung động thực hiện trên cơ sở giám sát máy để xác định khả năng làm việc của máy - bài toán GSRĐ, tiếp sau là xác định trạng thái máy tốt hay có hư hỏng, địa chỉ hóa hư hỏng - bài toán dò tìm, phát hiện hư hỏng - bài toán CĐRĐ. Trên cơ sở giám sát mức độ rung động máy, xây dựng đường TREND - hướng phát triển mức độ rung động (liên quan đến hư hỏng do rung động) để giải quyết bài toán dự báo hư hỏng máy. Như vậy, GSRĐ là bài toán cơ sở để phát triển chẩn đoán bằng rung động ở hiện tại hoặc quá khứ hoặc dự báo tương lai Hình 1.4.



Hình 1.4. Giám sát, chẩn đoán rung động máy và thiết bị cơ khí

Trên Hình 1.4 chỉ ra mối quan hệ giữa hai bài toán GSRĐ máy và CĐRĐ máy. Cả hai đều sử dụng tín hiệu đo rung động để giám sát hoặc chẩn đoán. Thực tế bài toán chẩn đoán được kế thừa và phát triển từ bài toán giám sát. Hơn nữa, trong những năm gần đây xuất hiện bài toán ứng dụng giám sát và chẩn đoán rung động để điều khiển trạng thái rung của máy, từ đó tối ưu hóa, khai thác hợp lý hệ động lực.

Sơ đồ nguyên lý nhiệm vụ GSRĐ theo đối tượng động cơ diesel tàu biển được chỉ ra trên Hình 1.5.



Hình 1.5. Sơ đồ nguyên lý nhiệm vụ GSRĐ theo đối tượng

MDE - Marine Diesel Engine: động cơ diesel tàu biển; TC - Turbocharger: tua bin máy nén; P - Pumps: các bơm do động cơ ME lai; G - Generator: máy phát điện; Pr - Propeller: chân vịt.

MDE là loại máy piston; TC, P, G, Pr là các máy công tác dạng máy rô to, các máy rô to khi mất cân bằng đều ảnh hưởng đến rung động tại MDE. Tuy nhiên do thời gian có hạn, luận án sẽ không đi sâu vào nghiên cứu các ảnh hưởng nêu trên.

Như vậy, nội dung luận án sẽ giới hạn giám sát rung động trên động cơ diesel máy chính tàu biển.

1.3.1. Đo, thu thập các tín hiệu dao động

Các bài toán đo, thu thập các tín hiệu dao động cần được nghiên cứu, thực hiện gồm có:

- Xác định dạng tín hiệu cần đo, số lượng các kênh tín hiệu theo yêu cầu của Quy phạm.

Tín hiệu dao động dọc trên hệ trục chính dùng động cơ công suất lớn thường đo tại gối đỡ chặn theo Đăng kiểm RMR, phiên bản 2014 [27], hoặc trên đỉnh chữ A theo Đăng kiểm DNV, phiên bản 2011 [31].

Các tín hiệu dao động ngang trên động cơ diesel máy chính theo Đăng kiểm RMR được đo tại 13 điểm đo với 25 kênh đo dao động thẳng, theo RMR (Hình PL 1.1). Theo DNV [31], đối với động cơ MDE thấp tốc, hai kỳ (vòng quay $n \le 200$ vòng/phút), vị trí đo tại đỉnh chữ A, theo phương ngang.

Trong Bảng 1.1 và Bảng 1.2, luận án đưa ra kết quả thống kê và phân tích dạng tín hiệu đo, vị trí và số lượng các kênh đo được đưa ra bởi Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga (RMR), Đăng kiểm Đức (DNV), Đăng kiểm Hoa Kỳ (ABS), Đăng kiểm Việt Nam (VR) và Đăng kiểm Nhật Bản (NKK).

Qua phân tích nội dung cơ bản liên quan đến dạng tín hiệu, số lượng các tín hiệu đo theo Quy phạm của cơ quan Đăng kiểm: RMR, DNV, ABS, VR, NKK, ta nhận thấy việc GSRĐ cần được xây dựng và hoàn thiện theo góc độ của quy định của Đăng kiểm RMR, phiên bản 2014 vì các quy định của Đăng kiểm RMR đưa ra đầy đủ, có hướng dẫn chi tiết hơn so với các đăng kiểm khác.

- Tốc độ trích mẫu, số lượng mẫu theo [27] và lý thuyết trích mẫu;

- Mô phỏng tín hiệu đo cho xây dựng thiết bị: đo, lưu trữ và hiển thị;

- Xây dựng thiết bị đo: Phần cứng, phần mềm;

- Thí nghiệm trên MHVL-1 và MHVL-2 cho xây dựng thiết bị: hiệu chỉnh thiết bị;

- Thử nghiệm trên tàu thực.

-23-
Bảng 1.1. Vị trí đo các dao động cho GSRĐ theo các Quy phạm Đăng kiểm RMR, DNV, ABS, VR, NKK [1],[27],[28],[31],[33].

Yêu câu	RMR , 2014	DNV, 2011	ABS, 2015	VR, NKK	
TVs	Х	Х	Х	Х	
Vị trí đo	Trục trung gian	Trục trung	TTG hoặc	TTG hoặc	
TVs		gian	đầu trục tự do	đầu trục tự do	
Vị trí đo	Gối đỡ chặn;	Đo trên đỉnh			
AVs	đo trên đỉnh	chữ A phía	-	-	
	chữ A phía	cuối động cơ			
	cuối động cơ				
Vị trí đo	Đỉnh, bệ đỡ (2	Đỉnh, bệ đỡ (2			
LVs	bên) vuông góc	bên) vuông	-	-	
	trục	góc trục			

Bảng 1.2. Số lượng kênh đo và điểm đo dao động ngang theo RMR và DNV

STT	RMR, phiên bản 2014	DNV, phiên bản 2011
Động cơ diesel		- 3 kênh đo
thấp tốc < 200	- 24 kênh đo	- 1 điểm đo
rpm	- 12 điểm đo	
Động cơ diesel	- Đo trên bề mặt phía	- 24 kênh đo
thấp trung và cao	ngoài động cơ.	- 12 điểm đo
tốc > 200 rpm		- Đo trên đỉnh và bệ đỡ động cơ.

1.3.2. Xử lý các tín hiệu dao động cho giám sát rung động

Các bài toán xử lý tín hiệu dao động cho GSRĐ gồm:

- Đọc dữ liệu đo đã được lưu trữ: Dùng GSRĐ off-line;

- Mô phỏng đọc dữ liệu đã lưu trữ: Cho xây dựng thiết bị;

- Lọc tín hiệu trong miền thời gian (Real Time, RT): Xây dựng phần mềm, thiết bị ảo VI;

- Mô phỏng lọc tín hiệu trong miềm thời gian: Cho xây dựng thiết bị;

- Xử lý tín hiệu, xác định các thuộc tính: peak-to-peak cho giám sát dao động xoắn: Phần mềm xây dựng trên cơ sở tham chiếu REF;

- Chuyển đổi dạng (gia tốc \rightarrow vận tốc): giám sát dao động ngang, dọc;

- Chuyển đổi tín hiệu (gia tốc \rightarrow chuyển vị): giám sát dao động dọc tại đầu tự do;

- Xử lý tín hiệu, xác định các thuộc tính: FFT và 1/3-octave: Phần mềm xây dựng trên cơ sở tham chiếu REF dành cho giám sát dao động ngang, dọc;

- Mô phỏng xử lý tín hiệu, xác định các thuộc tính: FFT và 1/3-octave: Cho xây dựng thiết bị.

1.3.3. Xây dựng các đại lượng và đặc tính giới hạn dao động

Bài toán xây dựng các đặc tính dao động cho phép gồm:

Xây dựng (mô phỏng) đặc tính giới hạn dao động: xoắn, dọc, ngang.



Hình 1.6. Các tổ chức đăng kiểm quy định tính DĐX hệ trục lai chân vịt

Về dao động xoắn, các tổ chức đăng kiểm quốc tế đều đưa ra quy định tính dao động xoắn hệ trục máy chính lai chân vịt, trong đó có Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép (gọi tắt là Quy phạm) của Đăng kiểm Hàng hải Việt Nam - VR (Quy phạm của Việt Nam - QCVN 21:2015/ BGTVT), bản chất Quy phạm VR xây dựng dựa trên Quy phạm Đăng kiểm NKK của Nhật Bản. Trong quá trình nghiên cứu giám sát DĐX, luận án sẽ áp dụng theo Quy phạm của đăng kiểm Việt Nam, Hình 1.6.

Về dao động dọc và ngang, các tiêu chuẩn được xét theo Quy phạm Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga RMR, phiên bản 2014 [27], Đăng kiểm ABS [28], Đăng kiểm DNV [31], và quy định của hãng chế tạo động cơ MAN-B&W đưa ra đối với một số động cơ của hãng [43]. Qua thống kê các quy định của Quy phạm Đăng kiểm nêu trên thì Quy phạm RMR, phiên bản 2014 đầy đủ nhất do vậy, luận án sẽ sử dụng Quy phạm này để nghiên cứu, Hình 1.7.



Hình 1.7. Các tổ chức yêu cầu xác định mức độ DĐD, DĐN hệ trục MDE

1.3.4. Bài toán ra quyết định giám sát rung động

Bài toán ra quyết định giám sát rung động dùng giám sát tất cả các dạng dao động được giám sát.

Bài toán mô phỏng ra quyết định giám sát rung động dùng cho xây dựng thiết bị ảo.

1.3.5. Nội dung cơ bản cần giải quyết trong đề tài luận án

1.3.5.1 Cơ sở lý thuyết

Xây dựng cơ sở khoa học và công nghệ cho giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển. Cơ sở khoa học cần được tổng hợp, phân tích và mô hình hóa cho các bài toán cụ thể, bao gồm:

 Đưa ra dạng dao động, phương đo, vị trí đo,...(trên cơ sở nội dung Quy phạm của Đăng kiểm RMR, DNV, ABS, NKK, VR);

 Trích mẫu (đủ cho 1 chu kỳ công tác): yêu cầu tham chiếu theo Quy phạm RMR [27];

Đưa ra mô hình hồi quy các đặc tính giới hạn: yêu cầu tham chiếu theo
 Quy phạm RMR [27];

Mô hình tín hiệu đầu vào (dao động đa hài) cho các bài toán mô phỏng xử
 lý tín hiệu. Mô hình hóa xử lý dao động trong miền thời gian thực, trong miền
 tần số (FFT, 1/3-octave), phù hợp theo yêu cầu Quy phạm;

- Mô hình ra quyết định GSRĐ.

Các nội dung trên cần triển khai cho từng dạng dao động cần giám sát: dao động xoắn cho hệ trục động cơ máy chính lai chân vịt (ME-Pr: Main engine -Propeller); dao động dọc hệ trục động cơ máy chính lai chân vịt; dao động ngang của động cơ diesel.

Cơ sở công nghệ được phân tích, lựa chọn cho các bài toán bao gồm: Phân tích lựa chọn cảm biến cho hệ thống giám sát rung động dựa trên các yêu cầu REF. RMR [27]; tương tự, phân tích lựa chọn bộ thu thập dữ liệu DAQ; lựa chọn CPU và hiển thị cho hệ thống giám sát rung động. Ngoài ra, cần xây dựng phần mềm quản lý thiết bị ngoại vi trong giám sát rung động: đo và xử lý tín hiệu, ra quyết định và hiển thị giám sát rung động.

1.3.5.2 Mô phỏng giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển

Các bài toán mô phỏng: mô phỏng tín hiệu đo đa hài; lọc và xử lý tín hiệu trong miền thời gian thực và trong miền tần số; xây dựng đặc tính giới hạn (dao động ngang; dao động dọc), và kiểm thử cho giám sát dao động xoắn hệ trục chính tàu KN 375.

1.3.5.3 Chế tạo thiết bị đo, thử nghiệm và hiệu chỉnh

Bài toán chế tạo thiết bị giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển, gồm: Xây dựng sơ đồ nguyên lý hệ thống đo, GSRĐ đa kênh trên MDE (lựa chọn công nghệ DAQ-NI, sensors hiện đại, phù hợp); xây dựng một số thiết bị ảo cơ bản cho xây dựng phần mềm của hệ thống (MMMVS); tích hợp phần cứng, phần mềm và hiệu chỉnh MMMVS trên mô hình vật lý và kiểm thử trên hệ động lực tàu thực (tàu KN 375).

Kiểm tra, hiệu chỉnh hệ thống trên MHVL: Kiểm tra, hiệu chỉnh thiết bị đo tại phòng thí nghiệm: dao động xoắn, dao động dọc, dao động ngang và pha; kiểm tra, hiệu chỉnh hệ thống.

Triển khai thực nghiệm trên hệ động lực tàu KN 375 cho GSRĐ, bao gồm: Xây dựng kế hoạch đo và thử nghiệm giám sát rung động: kiểm tra, hiệu chỉnh hệ thống; đo và thử nghiệm giám sát rung động; đọc và xử lý các tín hiệu dao động; báo cáo kết quả thử nghiệm giám sát rung động.

1.4. Kết luận chương 1

- Chương 1 đã phân tích được sự cần thiết phải nghiên cứu giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển tại Việt Nam.

- Làm rõ mục đích, ý nghĩa của giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển. Phân tích các Quy phạm đăng kiểm và các tiêu chuẩn về rung động trên động cơ diesel tàu biển, từ đó lựa chọn Quy phạm áp dụng cho từng loại dạng dao động nghiên cứu và giám sát.

 Phân tích, đánh giá các công trình nghiên cứu trên thế giới và trong nước và đưa ra được hướng nghiên cứu, xây dựng chế tạo hệ thống đo, giám sát rung động đa kênh trên động cơ diesel tàu biển.

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

Trên cơ sở mục tiêu, nội dung của đề tài luận án được chỉ ra, các vấn đề lý thuyết cơ sở cho giám rung động sẽ được đề cập đến trong chương 2 với mục đích đưa ra cơ sở nền khoa học và công nghệ liên quan đến nhiệm vụ đặt ra. Các mô hình toán, cơ sở và phương pháp giám sát rung động sẽ được kiểm chứng trong chương 3 - triển khai thí nghiệm số (thử nghiệm trên mô hình số, mô phỏng). Với đặc trưng riêng biệt của đề tài luận án này, kết quả của mô phỏng số sẽ bao gồm một số mô đun phần mềm cho xử lý tín hiệu dao động phục vụ nhiệm vụ giám sát, chúng sẽ dùng vào việc tích hợp, xây dựng phần mềm chung cho thiết bị đo và xử lý tín hiệu dao động với mục đích cuối cùng là giám sát các dạng dao động tương ứng. Từ đó chương 3 sẽ làm nhiệm vụ chuẩn bị cho nhiệm vụ của chương 4 - xây dựng thiết bị, thử nghiệm giám sát rung động.

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

Cơ sở lý thuyết (cơ sở khoa học và cơ sở công nghệ, CSKH và CSCN) đáp ứng 5 nhiệm vụ cơ bản của quá trình giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển như đã phân tích trong Chương 1: Đo (mô phỏng) các tín hiệu dao động cho giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển; xử lý các tín hiệu dao động được giám sát; xây dựng các đặc tính giới hạn dao động; ra quyết định và hiển thị kết quả giám sát rung động. Với mục đích hoàn thiện mô hình, luận án sẽ khảo sát cụ thể hơn mối quan hệ nhân quả trong mô hình chức năng chung được nghiên cứu trong chương này.

Quan hệ nhân quả giữa nhiệm vụ của khối mức giới hạn (tham chiếu, REF.) trên cơ sở Quy phạm Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga (RMR, phiên bản 2014) và các khối chức năng khác, được phân tích qua Hình 2.1.

Các nội dung của từng nhiệm vụ được xây dựng và thực hiện trên cơ sở phân tích, tổng hợp những yêu cầu cơ bản đối với các dạng dao động được đề cập tại các nội dung về dao động và tiêu chuẩn dao động theo Đăng kiểm RMR, phiên bản 2014 [27]. Phần tính toán dao động xoắn do tại Việt Nam đã có quy định tương ứng nên luận án sẽ áp dụng theo Quy phạm của Việt Nam - QCVN 21:2015/BGTVT [1] (Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của Việt Nam).

2.1. Sơ đồ nguyên lý cho giám sát rung động trên MDE

Trên cơ sở nghiên cứu Quy phạm Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga [27], các dạng dao động cơ bản cần được giám sát trên động cơ diesel tàu biển và hệ trục chính động cơ diesel lai chân vịt: dao động xoắn (Tosional Vibrations, TVs), dao động dọc (Axial Vibrations, AVs) và dao động ngang (Lateral Vibrations, LVs). 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. Mô hình chức năng giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển thể hiện trên Hình 2.1.



Hình 2.1. Mô hình chức năng giám sát rung động trên MDE

Theo đó, đối với dao động xoắn, cần đệ trình bảng tính dao động xoắn (Torsional Vibration Calculation, TVC) tới cơ quan Đăng kiểm để phê duyệt. Sau khi xem xét bảng tính dao động xoắn, cơ quan đăng kiểm có thể yêu cầu đo thực nghiệm để kiểm chứng kết quả của bảng tính dao động xoắn đối với tàu đóng mới hoặc hoán cải, cho từng loại (seri) tàu. Trong một số trường hợp, theo kết quả bảng tính dao động xoắn: không xuất hiện dao động cộng hưởng nguy hiểm, cơ quan đăng kiểm xem xét và quyết định không cần thử nghiệm đường dài để kiểm chứng.

Phương pháp và thiết bị đo dao động xoắn hiện nay thường dùng tem biến dạng dán trên trục trung gian hoặc trên trục chân vịt. Ứng suất xoắn bề mặt trục tỉ lệ thuận với mô men xoắn tác động trên đoạn trục. Do vậy, tín hiệu dao động xoắn đo được sẽ là đại lượng điện, biểu diễn ứng suất xoắn $\tau(t)$, hay mô men xoắn M(t) cũng như độ lệch góc $\Delta \phi$ (dao động xoắn tương đối giữa hai mặt cắt

của đoạn trục được đo). Ngoài phương pháp đo dùng tem dán biến dạng, một số đăng kiểm quốc tế cho phép sử dụng phương pháp và thiết bị đo dao động xoắn (dao động góc) ở đầu tự do động cơ để giám sát dao động xoắn cộng hưởng nguy hiểm, ví dụ Đăng kiểm ABS [28].

Tín hiệu dao động dọc trên hệ trục chính dùng động cơ công suất lớn thường đo tại gối đỡ chặn theo Đăng kiểm RMR [27].

Các tín hiệu dao động ngang trên động cơ diesel máy chính DME (Diesel Main Engine) theo Đăng kiểm RMR được đo tại 13 điểm đo với 24 kênh đo dao động thẳng (phụ lục PL1, Hình PL 1.1).

Các tín hiệu dao động được giám sát được thể hiện:

(a) - Tín hiệu dao động xoắn hệ trục, đo bằng phương pháp tem biến dạng,
 vị trí đo tại trục trung gian hoặc trục chân vịt.

(b) - Tín hiệu dao động dọc hệ trục chính lai chân vịt, (áp dụng cho hệ động lực tàu biển cỡ lớn, thường dùng động cơ hai kỳ, thấp tốc có gối đỡ chặn), đo dao động theo phương dọc trục tại gối đỡ chặn.

(c) - Tín hiệu dao động ngang đo trên bề mặt động cơ, đo theo các phương thẳng vuông góc với trục động cơ, trên đỉnh và bệ máy, tại 13 điểm đo, theo 24 kênh đo.

(d) - Tín hiệu dao động dọc, song song với trục động cơ, đo trên đỉnh chữA, đầu tự do của động cơ.

Sensors và bộ góp DAQ được lựa chọn và tích hợp trong hệ thống đo phụ thuộc vào dạng tín hiệu đo, tốc độ trích mẫu, số kênh cần đo đồng thời cùng một thời điểm, mục đích thực hiện GSRĐ (nghiên cứu hay triển khai áp dụng trong khai thác) được triển khai theo kết quả nghiên cứu (a)÷(d) nêu trên.

Ngoài số lượng các kênh đo, dạng tín hiệu đo được thống kê trên, để đảm bảo quá trình GSRĐ được chính xác, trong hệ thống cần có 1 kênh đo pha, đánh dấu vị trí bắt đầu và kết thúc trích mẫu tương ứng với chu kỳ làm việc của MDE.

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

Hệ thống giám sát rung động được xây dựng phải là thiết bị đa kênh, được thể hiện trên Hình 2.2.



Hình 2.2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống GSRĐ đa kênh trên MDE
Bộ sensors accelemeters gồm m đầu đo dao động ngang,
S_a - đầu đo dao động dọc tại gối chặn (accelemeter), S_{ph} - đầu đo pha (quang), S_{sg} - đầu đo dao động xoắn (strain gauge)

Về dao động xoắn: (Torsional Vibrations, TVs). Tín hiệu dao động xoắn được nghiên cứu cuối cùng là ứng suất xoắn $\tau(t)$, xử lý theo peak-to-peak, đó chính là một nửa của hiệu giữa giá trị cực đại và cực tiểu của tín hiệu này biểu diễn trong miền thời gian thực (Real Time, RT).

Về dao động dọc: (Axial Vibrations, AVs) và dao động ngang (Laterial Vibrations, LVs). Tín hiệu dao động được xử lý trong miền tần số (frequency domain) qua phép biến đổi: FFT, lọc 1/3-octave, tín hiệu RMS.



Hình 2.3. Sơ đồ nguyên lý xây dựng phần mềm xác định giá trị dao động cho phép theo RMR, phiên bản 2014 [27]

Trên cơ sở phân tích các dạng dao động được giám sát, luận án xây dựng mô hình chức năng cho xây dựng phần mềm xác định các đặc tính giới hạn cho phép. Mô hình được thể hiện trên Hình 2.3 ÷ Hình 2.6, các ký hiệu mức độ cho phép mức A và mức B (LA, LB) cho dao động ngang và dọc (-LV, -AV) đối với các ký tự trong từ viết tắt: LALV, LBLV, LAAV và LBAV. Ký hiệu mức DĐX cho phép áp dụng cho trục khuỷu (PTV.CR) và trục trung gian (PTV.IMS).

Mô hình ra quyết định GSRĐ được thể hiện trên Hình 2.4 theo Quy phạm Đăng kiểm RMR.



Hình 2.4. Sơ đồ ra quyết định GSRĐ theo RMR, phiên bản 2014

Mô hình ra quyết định giám sát dao động dọc được thể hiện trên Hình 2.5 trên cơ sở RMR, phiên bản 2014.



Hình 2.5. Ra quyết định dao động dọc theo Đăng kiểm RMR

Trên Hình 2.6, đưa ra mô hình hiển thị kết quả giám sát rung động cho từng dạng tín hiệu dao động được giám sát.



Hình 2.6. Hiển thị kết quả giám sát rung động

Giám sát rung động được thực hiện cho thời điểm hiện tại hoặc cho tương lai - giám sát dự báo. Trên Hình 2.7 và Hình 2.8 thể hiện nguyên lý giám sát dự báo rung động. Tuy nhiên, trong luận án sẽ giới hạn không xét đến vì điều kiện thời gian không cho phép.



Hình 2.7. Sơ đồ nguyên lý giám sát dự báo rung động trên MDE



Hình 2.8. Sơ đồ nguyên lý xây dựng quy luật TREND và ra quyết định dự báo rung động

2.1.2. Sơ đồ chức năng mô phỏng GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển

Điểm khác biệt về nguyên lý được thể hiện trên các Hình 2.7 và Hình 2.9:



Hình 2.9. Sơ đồ nguyên lý mô phỏng GSRĐ trên động cơ diesel và MPP

Trên Hình 2.7, tín hiệu đầu vào cho xử lý tín hiệu là các tín hiệu dao động xoắn, dao động dọc, dao động ngang đo được từ thiết bị đo trên đối tượng đo thực.

Trên Hình 2.9, các dạng tín hiệu dùng cho xử lý được mô phỏng tựa theo các tín hiệu thực.

Đối tượng nghiên cứu: Trên Hình 2.7 là đối tượng thực còn trên Hình 2.9 mô phỏng đối tượng thực, đó là mô hình động cơ diesel và hệ trục chính cho xác định các tín hiệu dao động.

Các khối còn lại giống nhau.

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

Đối tượng: Động cơ diesel tàu biển - dao động ngang, dao động dọc cục bộ trên động cơ (theo Quy phạm RMR, phiên bản 2014).

2.2.1. Giới hạn dao động dọc

Tiêu chuẩn rung động cho gối đỡ chặn được chỉ ra trong Quy phạm Đăng kiểm RMR, phiên bản 2014 [27], được đưa ra trong phụ lục PL1.

Từ đó, ta tạo véc tơ đầu vào (được thể hiện theo thủ tục tương ứng với câu lệnh trong MatLab / LabView, xem PL1), luận án mô hình hóa theo phương trình toán hồi quy tương ứng đường cong giới hạn mức A hay B đều được biểu diễn qua 3 đoạn thành phần, được thể hiện:

$$y_{LA(B)AV} = \begin{cases} g_1(f), & 1.6 \le f < 12.5 \\ g_0 = const, & 12.5 \le f < 40 \\ g_2(f), & 40 \le f \le 100 \end{cases}$$
(2.1)

Hàm số $g_1(f)$ và $g_2(f)$ được mô hình hóa bằng phương pháp hồi quy [4] theo số liệu ghi trong các bảng giá trị tương tự như Bảng 2.1 và Bảng 2.2 dưới đây áp dụng cho mức rung động giới hạn A (mm/s) LAAV¹, áp dụng cho gối đỡ chặn, trích từ dãy số liệu dưới đây.

Bảng 2.1. Số liệu đầu vào để xác định hàm hồi quy $g_1(f)$

f(Hz)	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10	12.5
g ₁ (f)	1.5	1.9	2.4	3	3.7	4.6	5.7	7	8.8	11

Trong phụ lục PL2, Hình PL 2.1 diễn giải chi tiết quá trình mô hình hóa các đặc tính giới hạn nêu trên LAAV và LBAV.

Bảng 2.2. Số liệu đầu vào để xác định hàm hồi quy $g_2(f)$

f(Hz)	40	50	63	80	100	
g ₂ (f)	11	8.8	7	5.7	4.6	
g ₀	11					

2.2.2. Giới hạn dao động ngang

Tương tự, theo Quy phạm Đăng kiểm RMR [27], các đặc tính giới hạn dao động trên bề mặt động cơ (dao động theo chiều vuông góc với trục quay, dao động ngang) được thể hiện như trong trường hợp dao động dọc tại gối đỡ chặn. Cơ sở dữ liệu (đầu vào) cho mô hình hóa phụ thuộc vào hành trình piston S, (cm) của động cơ diesel nghiên cứu.

Cơ sở dữ liệu cho xây dựng mô hình các đặc tính giới hạn dao động ngang được viết dạng các véc tơ dưới dạng code trong MatLab [4], được thể hiện trong phụ lục PL1.

Việc xây dựng các mô hình hồi quy được tiến hành tương tự như trong nội dung trên, lựa chọn các hàm thành phần tương ứng các mức A và B, theo biến điều khiển đầu vào S, cm. Mô hình được tìm dưới dạng hệ phương trình (2.2) cho từng đoạn được xét.

 $^{^1}$ LA(B)AV $\,$ - Level A(B) Axial Vibration: Mức giới hạn A(B) của dao động dọc

$$y_{LA(B)LVd(dB)} = \begin{cases} h_1(f), & 1.6 \le f < 12.5\\ h_0 = const, & 12.5 \le f < 40\\ h_2(f), & 40 \le f \le 100 \end{cases}$$
(2.2)

ở đó, $h_0 = \text{const}$, hai hàm số còn lại được tìm dưới dạng đa thức bậc 2.

2.2.3. Giới hạn dao động xoắn

Úng suất xoắn cho phép trên trục trung gian, trục chân vịt và trục khuỷu của MDE tính theo $\lambda = n/n_{nor}$, trong đó λ : vòng quay khai thác tương đối, n - vòng quay thực tế (vòng/phút), n_{nor} (vòng/phút) - vòng quay định mức.

Các đặc tính trên được đưa ra tại QCVN 21:2015/BGTVT, Bảng PL 1.5 trong phụ lục PL 1.

2.3. Cơ sở toán học cho đo và xử lý tín hiệu dao động2.3.1. Cơ sở khoa học về trích mẫu đo

Các tín hiệu dao động đo trên MDE cần đúng cho chu kỳ làm việc của động cơ diesel được nghiên cứu. Đối với động cơ 2 kỳ cần trích mẫu đúng 1 chu kỳ bằng 1 vòng quay của trục khuỷu. Đối với động cơ 4 kỳ cần trích mẫu đúng 1 chu kỳ bằng 2 vòng quay của trục khuỷu. Từ đó cần có các 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 Fs, mẫu/giây/kênh. Từ đó cần xác định thời gian trích mẫu Ts, hay tổng số mẫu cần trích #S đúng cho chu kỳ công tác của động cơ.

Giả thiết tiến hành đo một tín hiệu rung động nào đó (dao động xoắn, dao động dọc hoặc dao động ngang) tại các chế độ vòng quay của động cơ n_E (vòng/phút), biến thiên tương ứng với các chế độ thử nghiệm của hệ động lực. Một vòng quay của trục đo sẽ cần trích lượng mẫu bằng hoặc gần bằng với 2^k , với k là một số tự nhiên, để thực hiện biến đổi Fourier nhanh FFT được chính xác nhất. Tuy nhiên, dùng FFT trong xử lý tín hiệu, trong MatLab cũng như trong LabView, nếu lượng mẫu nhỏ hơn 2^k , ta điền thêm đủ những số 0 để thu được dãy có số mẫu bằng 2^k .

Trong công trình nghiên cứu [5], [22] các tác giả đã chỉ ra sự cần thiết cần trích đủ tín hiệu trong một chu kỳ công tác của động cơ. Nếu có sai số trích mẫu trong chu kỳ này, sẽ dẫn đến sai số trong xử lý tín hiệu sau này.

Trong đo và hiển thị nhanh kết quả đo trên màn hình, cần có thông tin chính xác chu kỳ công tác của động cơ. Tín hiệu vòng quay mà động cơ được trang bị chưa thật chính xác nên chỉ có giá trị tham khảo. Trong hệ thống đo cần có một kênh để xác định chính xác vòng quay trung bình của động cơ, thời điểm bắt đầu và kết thúc một chu kỳ công tác của động cơ (động cơ 2 kỳ tương ứng với 1 vòng quay trục khuỷu, còn MDE 4 kỳ - với 2 vòng quay trục khuỷu). Điều đó rất quan trọng không chỉ cho ta quan sát được các tín hiệu dao động thể hiện trong chu kỳ công tác của động cơ, mà điều quan trọng hơn để ta lưu lại số lượng mẫu cần thiết cho xử lý tín hiệu sau này. Trong lập trình, luận án chọn hệ số an toàn để trích mẫu là 2 chu kỳ công tác động cơ sẽ được trích mẫu lưu vào bộ nhớ dữ liệu đo.

Hiện nay, công nghệ NI - DAQ NI 9234 (hãng NI) 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, chúng ta thiết lập cấu hình phù hợp cho đo và lưu trữ dữ liệu đo được.

Tín hiệu đo trong miền thời gian thực luôn chứa nhiễu:

$$V(t) = V_{e}(t) + \eta_{x}(t); \mathbf{V} = [V_{1}, V_{2}, ..., V_{n}]^{T}$$
(2.3)

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

2.3.2. Mô hình xử lý tín hiệu dao động

Mục đích lọc tín hiệu trong miền thời gian thực Real time (RT).

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



Hình 2.10. Nguyên lý lọc tín hiệu dao động trong miền thời gian thực

2.3.2.1 Bộ lọc trung bình

 $\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_1, V_2, \dots, V_n \end{bmatrix}^T$ - Là véc tơ tín hiệu đo được cho một chu kỳ. Tai k chu kỳ, ta có ma trân dữ liêu đo của tín hiệu *V*

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_{11} & \dots & V_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ V_{k1} & \dots & V_{kn} \end{bmatrix}$$
(2.4)

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

$$\mathbf{V}_{e} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{e1} & \mathbf{V}_{e2} & \dots & \mathbf{V}_{en} \end{bmatrix}^{T} \mathbf{V}_{e} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{k} \mathbf{V}_{im}; m = 1, 2, \dots n$$
(2.5)

2.3.2.2 Bộ lọc trung bình trượt

Tín hiệu đo được thể hiện theo véc tơ

$$\mathbf{V}_{e} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{1} & \mathbf{V}_{2} & \dots & \mathbf{V}_{n} \end{bmatrix}^{T}$$
(2.6)

Để xác định theo (2.7) ta xây dựng véc tơ vào mở rộng hai phía p mẫu:

$$\left[\mathbf{V}_{j-p}...\mathbf{V}_{j}...\mathbf{V}_{j+p}\right]$$
(2.7)

Bộ lọc trung bình trượt có tham số điều khiển p, ở đó:

$$V_{e}(j) = \frac{1}{2p+1} \sum_{r=0}^{p} V(j \pm r)$$
(2.8)

Hay

$$V_{e}(j) = \frac{V_{ex}(j-p) + ... + V_{ex}(j) + ... + V_{ex}(j+p)}{2p+1}; j=(p+1)...(n-p)$$
(2.9)

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

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} V_{ex}^{2}(j)}$$
(2.10)

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

$$Peak-to-peak = max(V) - min(V)$$
(2.11)

Đối với tín hiệu một điều hòa

$$V_{1H} = Asin(2\pi ft)$$
(2.12)

$$RMS = 0,70A$$
 (2.13)

$$Peak-to-peak=1, 4A \tag{2.14}$$

2.3.2.4 Xác định đặc tính của tín hiệu dao động trong miền tần số

- Phép biến đổi FFT thuận (fft(v))

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

$$k = 0, 1, ..., N-1$$
(2.15)

- Phép biến đổi FFT ngược (ifft(v))

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=\Psi}^{+\Psi} Y(k) . W_{N}^{k.n}$$
(2.16)
n = 0, 1,..., N-1

Với dãy đầu vào theo thời gian x(n) và đầu ra theo tần số Y(k), kích thước N. Thuật toán FFT được áp dụng cho $N = 2^k$.

- Kết hợp với FFT với bộ lọc 1/3-octave

Phân tích Octave là một công cụ mạnh được sử dụng trong xử lý tín hiệu dao động và 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 [61]:

$$f_L = f_C \cdot 2^{-1/6} \approx 0.891 f_C; f_H = f_C \cdot 2^{1/6} \approx 1.122 f_C$$
(2.17)

Với tiêu chuẩn dao động đưa ra theo bảng, tính trung bình cho dải băng thông 1/3-octave: [0.891, 1.122] f_c tại tần số trung bình f_c , ta tính được mức độ dao động tiêu chuẩn quy đổi cho cả đoạn tần số từ f_c (i) đến f_c (i+1) theo phép biến đổi tuyến tính Bảng 2.3.

Τ	f(Hz)	Giá trị tiêu chuẩn	Ghi chú
Т		quy đổi	
1	$f_L(\mathbf{i}) \le f \le f_H(\mathbf{i})$	$L_{S(X)}(f) = L_{S(X)}^{(i)}$	X - kí hiệu mức A, B hoặc C
2	$f_{i}(i) < f < f_{i}$	I (f) $I^{(i)}$	i,i+1 - chỉ sô của f trung bình;
_	$J_H(\mathbf{I}) < J < J_L$	$L_{S(X)}$ (1)- $L_{S(X)}$	s - chuẩn (standard): $\delta = f - f_{\mu}$
	(i+1)	+δ.a/b	(i):
3	f_I (i+1) $\leq f \leq f_C$	$L_{S(X)}(f) = L_{g(Y)}^{(i+1)}$	-(i+1) $-(i)$ $-(i)$
		-S(X) (-) - S(X)	$a = L_{S(X)}^{(i+1)} - L_{S(X)}^{(i)}; b = f_L(i+1) - f_H$
	(1)		(i)

Bảng 2.3. Tiêu chuẩn dao động quy đổi tuyến tính tại tần số f, Hz.

2.3.3. Cơ sở toán học ra quyết định giám sát dao động trên MDE 2.3.3.1 Ra quyết định dao động ngang trên MDE theo Quy phạm RMR [27] Tại từng tần số trung bình $f : f \in [f_L, f_H]$ (Hz)

Nếu biên độ dao động tại tần số $f : A(f) \le LALV(f) \rightarrow A$: Đạt yêu cầu, B: Đạt yêu cầu.

Ngược lại nếu $A(f)>LALV(f) \rightarrow A$: Không đạt yêu cầu.

và $A(f) \leq LBLV(f) \rightarrow B$: Đạt yêu cầu.

Ngược lại A: Không đạt yêu cầu; B: Không đạt yêu cầu.

2.3.3.2 Ra quyết định dao động xoắn trên MDE theo Quy phạm RMR [27] Tại tất cả vòng quay khai thác

 $\lambda = n/n_{nor} = [\lambda_{min}, \lambda_{max}]$

 $\forall \lambda_j: N \acute{e} u \qquad \tau_{(j)} \leq \left[\tau_{(j)} \right] \rightarrow K h \acute{o} ng c \acute{o} dao đ \acute{o} ng xo \acute{a} n guy hiểm.$

Ngược lại nếu $\tau_{(j)} < 2 [\tau_{(j)}]$

 \rightarrow Cho phép chuyển nhanh qua cộng hưởng nguy hiểm.

Ngược lại \rightarrow có dao động xoắn nguy hiểm cần có biện pháp khắc phục.

(2.18)

2.3.3.3 Ra quyết định dao động dọc tại gối đỡ chặn theo RMR [27]

Tại từng tần số trung bình $f : f \in [f_L, f_H]$ (Hz), nếu biên độ dao động tại tần số $f : A(f) \le LAAV(f) \rightarrow A$: Đạt yêu cầu, B: Đạt yêu cầu.

Ngược lại nếu $A(f) > LAAV(f) \rightarrow A$: Không đạt yêu cầu.

và $A(f) \leq LBAV(f) \rightarrow B$: Đạt yêu cầu.

Ngược lại: A: Không đạt yêu cầu; B: Không đạt yêu cầu.

2.3.4. Cơ sở toán học chuyển đổi dạng tín hiệu

2.3.4.1 Tín hiệu đa hài không nhiễu

Giả thiết tín hiệu xác định là dạng tuần hoàn, đa hài, không nhiễu, đo thật "chính xác" và viết dưới dạng toán học $V(t) = V_e(t)$, đó là tín hiệu dạng vận tốc. Ta cần tìm tín hiệu gia tốc cũng như tín hiệu chuyển vi từ dang tín hiệu đo được.

Tín hiệu gia tốc và chuyển vị được xác định theo định nghĩa xác định chúng. Chúng ta dùng hai phương pháp tính các đại lượng đó và so sánh sự tương đồng (trùng nhau) giữa hai phương pháp.

- Biến đổi các dạng dao động vận tốc đa hài xác định, không có nhiễu sang dao động gia tốc

$$A(t) = [V(t)]' = \omega V_1^0 \cos(\omega t + \gamma_{v_1})$$

+ 2\omega V_2^0 \cos(2\omega t + \gamma_{v_2}) + 3\omega V_3^0 \cos(3\omega t + \gamma_{v_3}) (2.19)
= A_1^0 \sin(\omega t + \gamma_{a1}) + A_2^0 \cos(2\omega t + \gamma_{a2}) + A_3^0 \sin(3\omega t + \gamma_{a3})

trong đó:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} A_{1}^{0} & A_{2}^{0} & A_{3}^{0} \end{bmatrix}^{T} = \begin{bmatrix} \omega V_{1}^{0} & 2\omega V_{2}^{0} & 3\omega V_{3}^{0} \end{bmatrix}^{T};$$

$$\gamma_{a} = \begin{bmatrix} \gamma_{a1} & \gamma_{a2} & \gamma_{a3} \end{bmatrix}^{T} = \begin{bmatrix} \gamma_{a1} + \pi/2 & \gamma_{a2} + \pi/2 & \gamma_{a3} + \pi/2 \end{bmatrix}^{T}.$$

$$\mathbf{A}(\mathbf{t}_{i}) = \begin{bmatrix} \mathbf{V}(\mathbf{t}_{i}) \end{bmatrix}' = \frac{\mathbf{V}(\mathbf{t}_{i+1}) - \mathbf{V}(\mathbf{t}_{i})}{\mathbf{dt}}; i = 1, 2, ...$$
(2.20)

- Biến đổi các dạng dao động vận tốc đa hài xác định, không có nhiễu sang dao động chuyển vị

$$D(t) = \int V(t) dt$$

=\omega^{-1}V_1^0 \cos(\omega t + \gamma_{d1}) + (2\omega)^{-1}V_2^0 \cos(2\omega t + \gamma_{d2}) + (3\omega)^{-1}V_3^0 \cos(3\omega t + \gamma_{d3}) (2.21)
=D_1^0 \sin(\omega t + \gamma_{d1}) + D_2^0 \cos(2\omega t + \gamma_{d2}) + D_3^0 \sin(3\omega t + \gamma_{d3});

trong đó

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} D_{1}^{0} & D_{2}^{0} & D_{3}^{0} \end{bmatrix}^{T} = \begin{bmatrix} \omega^{-1} V_{1}^{0} & (2\omega)^{-1} V_{2}^{0} & (3\omega)^{-1} V_{3}^{0} \end{bmatrix}^{T};$$

$$\gamma_{d} = \begin{bmatrix} \gamma_{d1} & \gamma_{d2} & \gamma_{d3} \end{bmatrix}^{T} = \begin{bmatrix} \gamma_{v1} - \pi/2 & \gamma_{v2} - \pi/2 & \gamma_{v3} - \pi/2 \end{bmatrix}^{T}.$$

$$D(t_{i+1}) = D(t_{i}) + V(t_{i}) dt; i = 1, 2, ... N$$

2.3.4.2 Tín hiệu đa hài có nhiễu

$$(2.22)$$

Giả thiết tín hiệu không xác định có dạng: tuần hoàn, đa hài, có nhiễu. Đây là dạng tín hiệu đo được trong thực tế vì luôn luôn xảy ra hiện tượng có sai số trong kết quả đo. Tín hiệu dạng vận tốc đo được có nhiễu, với mức nhiễu Ar = 1.5 như đã xét tại ví dụ trên. Ta cần tìm tín hiệu gia tốc cũng như tín hiệu chuyển vị từ dạng tín hiệu đo được có nhiễu ngẫu nhiên trên.

Tính gia tốc và chuyển vị theo định nghĩa toán học xác định chúng. Ngoài ra luận án sử dụng phương pháp cân bằng điều hòa sau khi biến đổi tín hiệu đo về dạng các hàm điều hòa (qua FFT). Tiếp đó, xét đến tính tương đồng (trùng nhau) giữa hai phương pháp.

- Biến đổi các dạng dao động vận tốc đa hài xác định, có nhiễu trắng sang dao động gia tốc

$$\begin{aligned} Phuong pháp \ 1. \text{ Dùng FFT biến đối và bỏ tân số bậc cao.} \\ A_{n}(t) = [V_{n}(t)]' = [V(t) + \text{noise}]' \xrightarrow{\text{FFT}} \{ [V_{n1}^{0}, V_{n2}^{0}, ...]; [\gamma_{vn1}, \gamma_{vn2}, ...] \} \text{-noise} \\ & \omega V_{n1}^{0} \cos(\omega t + \gamma_{vn1}) + 2\omega V_{n2}^{0} \cos(2\omega t + \gamma_{vn2}) + 3\omega V_{n3}^{0} \cos(3\omega t + \gamma_{nv3}) \\ &= A_{n1}^{0} \sin(\omega t + \gamma_{an1}) + A_{n2}^{0} \cos(2\omega t + \gamma_{an2}) + A_{n3}^{0} \sin(3\omega t + \gamma_{an3}); \\ A_{n} = \left[A_{n1}^{0} \quad A_{n2}^{0} \quad A_{n3}^{0} \right]^{T} = \left[\omega V_{n1}^{0} \quad 2\omega V_{n2}^{0} \quad 3\omega V_{n3}^{0} \right]^{T}; \\ \gamma_{an} = \left[\gamma_{an1} \quad \gamma_{an2} \quad \gamma_{an3} \right]^{T} = \left[\gamma_{vn1} + \pi/2 \quad \gamma_{vn2} + \pi/2 \quad \gamma_{vn3} + \pi/2 \right]^{T}. \\ Phuong pháp \ 2. \text{ Dùng định nghĩa} \\ A_{n}(t_{i}) = \left[V_{n}(t_{i}) \right]' = \frac{V_{n}(t_{i+1}) - V_{n}(t_{i})}{dt}; i = 1, 2, ... \end{aligned}$$

$$(2.24)$$

Sử dụng phương pháp biến đổi trong miền tần số, dùng FFT để thu được các đặc tính của tín hiệu và loại trừ nhiễu bằng cách bỏ các tần số bậc cao, chọn ban đầu M_h tần số nhất định và sử dụng phương pháp đã nêu (2.23).

Phương trình (2.24) là phương pháp xác định đạo hàm theo định nghĩa. Phương pháp này sẽ không sử dụng vì có sai số lớn.

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, luận án chọn phương án (b).

2.4. Cơ sở toán học cho mô phỏng giám sát dao động xoắn hệ trục diesel máy chính lai chân vịt tàu biển áp dụng cho hệ trục tàu KN 375 2.4.1. Sơ đồ nguyên lý mô phỏng giám sát DĐX hệ trục tàu KN 375

Trên cơ sở mô hình chức năng mô phỏng GSRĐ chỉ ra trên Hình 2.11, luận án triển khai xây dựng cơ sở toán học cho mô phỏng GSDĐ xoắn, áp dụng cho tàu KN 375 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 tàu MV.HR.34000 DWT do PGS.TSKH. Đỗ Đức Lưu xây dựng trên LabView, luận án đã phát triển phần mềm trên cho tự động tính TVs trên tàu KN 375 và một số mô đun phần mềm được phát triển, áp dụng cho xây dựng thiết bị đo, GSDĐ xoắn Hình 2.12.



Hình 2.11. Sơ đồ nguyên lý chung mô phỏng GS DĐX hệ trục tàu KN 375

2.4.2. Cơ sở lý thuyết

Thuật toán chung nhất cho mô phỏng số giám sát DĐX hệ trục chính tàu biển được thể hiện trên Hình 2.12.



Hình 2.12. Sơ đồ thuật toán giám sát DĐX trên MPP tàu KN 375

Theo Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của Việt Nam (QCVN 21:2015/ BGTVT) [1] cần giám sát DĐX ở bất kỳ chế độ vòng quay khai thác nào từ n_{min} - n_{max} , ở chế độ trang thái động cơ có tất cả xy lanh làm việc bình thường, cũng như khi có một xy lanh không cháy. Kết quả cần chỉ ra xem cơ hệ có rơi vào trường hợp chịu xoắn nguy hiểm: Ứng suất xoắn vượt quá giá trị cho phép hay không? Nguy hiểm thường xảy ra ở vùng vòng quay cộng hưởng. Nếu xuất hiện cộng hưởng (gần cộng hưởng nguy hiểm, $\tau < [\tau]$, xét thêm khả năng vượt nhanh qua vòng quay này được không nếu $\tau < [\tau]_{gh vượt nhanh}$).

2.4.2.1 Lựa chọn chế độ vòng quay để mô phỏng

Khối 1 - chọn nhập chế độ vòng quay $\lambda = n/750$ và chế độ s của động cơ (Normal / Misfire tại xy lanh i nào đó). Thông thường $\lambda = [0,4 \dots 1,2]$. Chế độ λ cần khảo sát gần với chế độ cộng hưởng của node 1, node 2, dựa theo kết quả tính dao động tự do (FTV) của cơ hệ.

Chế độ vòng quay mô phỏng n (vòng/phút, rpm) chọn sao cho k.n \approx n₀₁, hoặc k.n \approx n₀₂, ở đó n₀₁, n₀₂ là vòng quay cộng hưởng thấp nhất n₀₁ hoặc vòng quay cộng hưởng thứ hai n₀₂.

Hai vòng quay này được xác định theo bảng tính dao động xoắn tự do của các hệ trục chính MDE tàu biển lai chân vịt. Ví dụ đối với tàu KN 375, hai giá trị này được thể hiện trên báo cáo tính dao động xoắn, phụ lục PL6, [22]. $n_{01} = 495$ vòng/phút; $n_{02} = 1318$ vòng/phút

- Chế độ các xy lanh làm việc bình thường: k = z - tổng số các xy lanh.

- Chế độ một xy lanh không cháy: k = z - 1.

Ngoài ra, ta có thể xét đến các khả năng xảy ra cộng hưởng tại điều hòa thứ cấp k \neq z hoặc k \neq z -1.

2.4.2.2 Mô phỏng ứng suất xoắn cho phép trong mô phỏng GSDĐ xoắn

Khối 2 - Tại chế độ vòng quay λ cần xây dựng đặc tính PTP(λ), hay $[\tau(\lambda)]_1$ và $[\tau(\lambda)]_2$ đối với trục trung gian (IMS, Intermediate shaft) hoặc trục khuỷu MDE 4 kỳ, theo Quy phạm RMR. Đo DĐX tại trục trung gian, do vậy tại khối 2 ta tập trung cho mô phỏng đặc tính PTP(λ) của trục trung gian. 2.4.2.3 Mô phỏng tín hiệu ứng suất xoắn trên đoạn trục được giám sát

Khối 3 - Tại một đoạn trục k được xét, ứng suất xoắn $\tau(t)$ - phụ thuộc theo thời gian t, hay góc quay trục khuỷu $\varphi = \omega t$, $\omega = 2f = 2\pi n/60$ xác định theo mô men xoắn tác động:

$$M_{k}(t) = C_{k,k+1} \left[\phi_{k}(t) - \phi_{k+1}(t) \right]; \ \tau_{k}(t) = \frac{M_{k}(t)}{W_{k}}$$
(2.25)

Ở đó: $C_{k,k+1}$ - là hệ số cứng xoắn (N.m/rad), còn W_k - Mô men cứng chống xoắn (m³). Hai hệ số này phụ thuộc vào vật liệu và kích thước hình học của đoạn trục [6].

 φ_k, φ_{k+1} - Trạng thái dao động xoắn (góc, rad) của hai đầu đoạn trục.



Hình 2.13. Thuật toán tính mô men xoắn cưỡng bức tại từng xy lanh của động cơ diesel

Các trạng thái dao động $\boldsymbol{\varphi} = \begin{bmatrix} \varphi_1 & \varphi_2 & \dots & \varphi_n \end{bmatrix}^T$ được xác định qua giải nghiệm của mô hình toán viết cho DĐX cơ hệ, viết dưới dạng ma trận [12].

$$\mathbf{J}\ddot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{B}\dot{\boldsymbol{\varphi}} + \mathbf{C}\boldsymbol{\varphi} = \mathbf{M}(\mathbf{t}) \tag{2.26}$$

Các ma trận **C**, **B**, **J** được xác định và giả thuyết đã biết từ cơ hệ được xét, đó là các ma trận hệ số cứng xoắn, hệ số cản chống xoắn, và mô men quán tính khối lượng.

Véc tơ mô men xoắn cưỡng bức (vế phải) được mô phỏng cho mô men xoắn tại từng khối lượng tập trung (tại z xy lanh động cơ và tại chân vịt $M_n(t)$.

Mô men xoắn từng xy lanh được thực hiện theo sơ đồ thuật toán, chỉ ra trên Hình 2.13.

Véc tơ mô men mô phỏng trong miền thời gian, được biến đổi FFT để thu được kết quả trong miền tần số (dưới dạng số phức).

$$\mathbf{M}(\mathbf{t}) \xrightarrow{FFT} \left[\mathbf{YM}_{0}, \mathbf{YM}(1), \dots, \mathbf{YM}(\mathbf{Mh}), \dots \right]$$
(2.27)

$$\mathbf{YM}_{k} = \left[\mathbf{YM}_{k}(1), \mathbf{YM}_{k}(2), ..., \mathbf{YM}_{k}(n), ...\right]^{T}$$
(2.28)

 \mathbf{YM}_{0} - véc tơ các giá trị trung bình

 $\mathbf{YM}_{\mathbf{k}}$, k = 1,2,..., - véc tơ phổ tần (phức) cho tần số thứ k.

Ta cần chọn M_h điều hòa đầu tiên.

Đối với động cơ 2 kỳ, $M_h = 12$; đối với động cơ 4 kỳ, $M_h = 25$.

$$YM_{k}(p) = Re(YM_{k}(p)) + i.Im(YM_{k}(p))$$
(2.29)

p = 1, 2, 3,..., n ; Re và Im là phần thực, phần ảo của số phức YM(p). i - số phức, i² = -1.

Giải nghiệm phức của phương trình (2.26) theo phương pháp cân bằng điều hòa phức, nguyên lý xếp chồng [8]. Tuy nhiên, trong mô phỏng giám sát DĐX, tác giả [6] 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 vịt.

Hệ dao động xoắn có n bậc tự do và hệ phương trình (2) gồm:

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

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

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

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

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

 α_{kj} - dạng dao động tự do của khối lượng k tại ω_{0j}

 $\alpha_{kj}=A_{kj}/A_{1j}$ - tỷ số biên độ dao động tự do của khối lượng thứ k và thứ nhất.

Hệ n bậc tự do mô hình hóa thành hệ 1 bậc tự do, với thông số quy đổi [10],[12]:

$$\mathbf{J}_{ej}\ddot{\boldsymbol{\varphi}}_{ej} + \boldsymbol{d}_{ej}\dot{\boldsymbol{\varphi}}_{ej} + \boldsymbol{C}_{ej}\boldsymbol{\varphi}_{ej} = \mathbf{M}_{ej}$$
(2.30)

Các hệ số $J_{ej}, C_{ej}, d_{ej}, M_{ej}$ được xác định:

$$J_{ej} = \sum_{i=1}^{n} J_{i} \omega_{j}^{2} \alpha_{ej}^{2}; C_{ej} = \sum_{i=1}^{n} C_{i-1,i} (\alpha_{i-1j} - \alpha)^{2};$$

$$d_{ej} = \sum_{i=1}^{n} d_{j} \omega_{j} \alpha_{ij}^{2}; M_{ej,k} = \sum_{i=1}^{n} \overrightarrow{M_{i,k} \alpha_{i,j}}$$
(2.31)

Sau khi giải nghiệm tại chế độ cộng hưởng và gần cộng hưởng, ta thu được $\varphi_{1j} = \varphi_{ej}(t)$ và $\varphi_{kj} = \alpha_{kj} \varphi_{1j}$

Từ đó:
$$M_{k,k+1,j} = C_{k,k+1}(\alpha_{kj} - \alpha_{k+1,j}).\phi_{1j}$$
 (2.32)

$$\tau_{k,j} = \frac{M_{k,k+1,j}}{W_k}$$

2.4.2.4 Mô phỏng xử lý tín hiệu dao động xoắn trên trục trung gian

Giả thiết chúng ta đo được ứng suất xoắn trên đoạn trục k $\neq 0$ được (ví dụ trên đoạn trục trung gian), tín hiệu đo này τ_{do} có nhiễu:

$$\tau_{do}(t) = \tau_{e}(t) + \eta(t)$$
 (2.33)

Ở đó tín hiệu $\tau_e(t)$, $\eta(t)$ là thành phần tín hiệu có ích cũng như thành phần nhiễu. Khi chúng ta mô phỏng tín hiệu dao động xoắn, ngoài thành phần xác định theo (2.32) ta cộng thêm nhiễu để có tín hiệu giả đo được (2.33).

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

$$\tau_{do}(t) \xrightarrow{Loc(RT)} \tau_{do.F}(t)$$

Xử lý tiếp tín hiệu đã lọc để xác định giá trị: $\tau_{\rm P} = \frac{1}{2} (\tau_{\rm max} - \tau_{\rm min})$

 τ_p - Giá trị tín hiệu đã xử lý, bằng một nửa của biên độ peak-to-peak (hiệu hai giá trị cực đại và cực tiểu).

2.4.2.5 Mô phỏng ra quyết định trong GSDĐ xoắn trên trục trung gian

Khối 5 - Tại chế độ vòng quay $\lambda = [0, 4 ... 1, 2]$, 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 Đăng kiểm RMR.

2.4.2.6 Hiển thị kết quả GSDĐ xoắn trên trục trung gian

Khối 6 - Hiến thị các đồ thị đặc tính giám sát dao động xoắn một cách trực giao dưới dạng đồ thị và bảng dữ liệu.

2.4.3. Đánh giá độ tin cậy của dữ liệu vào [47]

Tập dữ liệu thu được trong một chế độ giám sát cần kiểm tra độ tập trung của nó xem trong quá trình thu thập có sai số thô nào không. Vì ở một chế độ giám sát nên sai khác qua các lần giám sát chỉ do tác động ngẫu nhiên (nhiễu) bên ngoài hoặc từ sai số nhỏ, ngẫu nhiên của quá trình làm tròn số khi tính toán (mô phỏng tín hiệu vào) hoặc từ thiết bị đo.

Tập đầu vào được kiểm tra độ tập trung (độ đồng nhất) dữ liệu theo một trong các phương pháp thống kê như: tiêu chuẩn student (t-conterk), tiêu chuẩn schi (χ^2 - criteria). Trong luận án sẽ tiến hành theo thống kê schi.

Tập dữ liệu giả sử qua m lần lặp, mỗi lần tín hiệu dao động trích đúng N = 2k mẫu, k = 8, 9 hoặc 10 tương ứng với 1 chu kỳ công tác của động cơ diesel. Độ dài N của một tín hiệu sẽ chi phối thời gian kiểm tra độ tập trung cho N điểm, vì việc kiểm tra tiến hành tại từng thời điểm trích mẫu.

% kiếm tra dộ tập trung tín hiệu theo N điểm trích mẫu.

for k = 1:N

% kiểm tra độ tập trung tại từng điểm k;

end

Tại từng điểm trích mẫu k, $k = 1 \div N$, xác định giá trị trung bình

$$V_{m.k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m} V_{(i,k)};$$

và tổng bình phương các sai số SE với bậc tự do $n_1 = m - 1$

$$SE = \sum_{i=1}^{m} (V_{(i,k)} - V_{m.k})^{2};$$

kiểm tra giả thiết thống kê schi, $\alpha = 1\%$, hay $\alpha = 5\%$

$$H_0: SE/n_1 < H_{1-\alpha}^2(n_1)$$

 H_1 : ngược lại.

2.5. Cơ sở toán học cho mô phỏng giám sát dao động dọc hệ trục diesel máy chính lai chân vịt

2.5.1. Nguyên lý mô phỏng giám sát dao động dọc hệ trục diesel tàu biển ở trạng thái rung động tại thời điểm giám sát

Nguyên lý mô phỏng giám sát dao động dọc hệ trục diesel tàu biển ở trạng thái rung động tại thời điểm giám sát chỉ ra trên Hình 2.14.





2.5.2. Cơ sở khoa học cho mô phỏng giám sát dao động dọc tại gối đỡ chặn2.5.2.1 Yêu cầu pháp quy

Quy phạm về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của Đăng kiểm Hàng hải Nga (RMR, phiên bản 2014) [27] quy định mức độ dao động dọc tại gối đỡ chặn, xác định theo vận tốc (Vibration rate, mm/s hoặc dB) 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 đối với dao động của động cơ diesel máy chính theo phương dọc (Axial vibrations) không được vượt quá ngưỡng $LA_{X,V} \leq [PA_{X,V}]$ đối với động cơ diesel 2 kỳ.

2.5.2.2 Mô hình toán xác định tín hiệu dao động dọc

Theo RMR [27], tín hiệu đo DĐD tại gối đỡ chặn, dạng tín hiệu vận tốc, đơn vị đo mm/s hoặc dB qua lọc 1/3-octave, RMS. Từ đó ta có nhận định sau:

Tín hiệu dao động dọc mô phỏng được xác định từ mô hình toán cơ viết cho cơ hệ động lực chính diesel lai chân vịt, dưới dạng ma trận:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{X}} + \mathbf{D}\dot{\mathbf{X}} + \mathbf{C}\mathbf{X} = \mathbf{F}(\mathbf{t}) \tag{2.34}$$

Ở đó: ma trận khối lượng tập trung **M**, ma trận độ cứng **C**, ma trận hệ số cản **D** và véc tơ **F** được xác định hoặc được mô phỏng. Các ma trận hệ số **M**, **C**, **D** được xác định theo các đặc tính khối lượng, kích thước cũng như tính chất của vật liệu chế tạo các chi tiết của hệ động lực ME-Pr.

Véc tơ lực cưỡng bức $\mathbf{F}(\mathbf{t})$ được mô hình hóa theo các lực dọc trục do các xy lanh của ME cũng như chân vịt sinh ra.

Giải (2.34) theo phương pháp hệ tọa độ chính cân bằng điều hòa, số phức, nguyên lý xếp chồng (surperposition) [8].

Đầu tiên giải bài toán dao động tự do để xác định 3 tần số riêng ω_{01} , ω_{02} , ω_{03} , (rad/s) hoặc n₀₁, n₀₂, n₀₃, (vòng/phút)

 $n_{0j}=30\omega/\pi$, j = 1, 2, 3 cũng như véc tơ dạng tương ứng.

 $\alpha_j = [1, \alpha_{2j}, ..., \alpha_{nj}]; \alpha_{kj} = A_{kj}/A_{1j}$ - biên độ dạng tương đối của dao động tự do khối lượng k so với khối lượng đầu trên tại tần số riêng j.

Giải bài toán dao động tự do để tìm nghiệm của:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{X}} + \mathbf{C}\mathbf{X} = \mathbf{0} \tag{2.35}$$

Theo phương pháp ma trận. Dùng phần mềm MatLab (m.file) hoặc LabView (Mathscript).

Bài toán xây dựng mô hình toán dao động dọc chuyển về hệ trục chính của các dao động tương ứng với tần số riêng ω_{01} , ω_{02} và ω_{03} với phép biến đổi:

$$x_{1j} = x_{ej}, j=1,2,3 \text{ và}$$

 $x_{kj} = \alpha_{kj}.x_{ej}, k=2,3,...,n$
(2.36)

 $m \mathring{O}$ chế độ vòng quay mô phỏng ω (có thể gần hoặc xa vòng quay cộng hưởng ω_{0i}) ta tìm nghiệm dưới dạng:

$$x_{k} \approx y_{0} + \alpha_{k1} y_{1} + \alpha_{k2} y_{2} + \alpha_{k3} y_{3}$$
(2.37)

 y_j - hệ tọa độ chính.

Hệ phương trình (2.35) có n phương trình (n khá lớn) được quy đổi tương đương về hệ 4 phương trình viết cho 4 tọa độ chính y_i :

$$m_{e0}\ddot{y}_{0} + d_{e00}\dot{y}_{0} + d_{e01}\dot{y}_{1} + d_{e02}\dot{y}_{2} + d_{e03}\dot{y}_{3} = F_{e0}$$
(2.38)

$$m_{ej}\ddot{y}_{j} + C_{ej}y_{j} + \sum_{k=1}^{3} d_{ekj}\dot{y}_{k} = F_{ej}; j = 1, 2, 3$$
 (2.39)

Các hệ số của phương trình (2.38) và (2.39) được xác định từ phép thế (2.35) vào hệ (2.34) [10].

$$m_{e0} = \sum_{i=1}^{n} m_{i}; m_{ej} = \sum_{i=1}^{n} m_{i} \alpha_{ij}^{2};$$

$$C_{ej} = \sum_{i=0}^{n} C_{i,i+1} (\alpha_{ij} - \alpha_{i+1,j})^{2}; C_{01} = 0 \qquad (2.40)$$

$$d_{ejk} = \sum_{i=1}^{n} d_{i} \omega_{j}^{2} \cdot \alpha_{ij} \cdot \alpha_{kj} = d_{ekj}$$

$$F_{e0} = \sum_{i=1}^{n} F_{i}; F_{ej} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F_{i}} \alpha_{ij} \qquad (2.41)$$

$$3$$

$$F_{ej}(t) = \sum_{k=0}^{3} F_{ej,k} \exp^{k\omega t}, j = 0, 1, 2, 3$$
(2.42)

 $F_{e_{j,k}}~$ - biên độ (phức) điều hòa bậc k của phép biến đổi FFT cho $F_{e_{j}}(t)$

Giải nghiệm (2.39) theo phương pháp cân bằng điều hòa phức cho hệ phương trình (2.43) viết tương đương cơ hệ (2.39):

$$m_{ej}.\ddot{y}_{j}+C_{ej}.y_{j}+\sum_{k=0}^{3}d_{ekj}.\dot{y}_{k}=\sum_{k=1}^{Mh}F_{ej,k}exp^{(i\omega t)}$$
j=0,1,2,3
(2.43)

Giải (2.43) theo nguyên lý xếp chồng, điều hòa phức.

Nghiệm (2.43) được tìm dưới dạng tổng các nghiệm thành phần theo từng điều hòa k = 1, 2,...Mh.

$$\mathbf{Y} = \sum_{k=1}^{Mh} \mathbf{Y}_{\mathbf{k}}; \tag{2.44}$$

$$\mathbf{Y}_{k} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{0k} & \mathbf{y}_{1k} & \mathbf{y}_{2k} & \mathbf{y}_{3k} \end{bmatrix}^{T}; \qquad (2.45)$$

$$\mathbf{Y}_{\mathbf{k}} = \left(\mathbf{H}' \cdot \mathbf{H}\right)^{-1} \mathbf{H}' \mathbf{F}_{\mathbf{k}}$$
(2.46)

với

$$\mathbf{F}_{\mathbf{k}} = \begin{bmatrix} F_{ejk1} & F_{ejk2} & \dots & F_{ejkn} \end{bmatrix}^{T};$$

$$H = \{ H(p,q) \};$$

$$p,q=1,...,n$$

$$H_{(p,p)} = \mathbf{C}_{ep} - \omega_{j}^{2} m_{ep} + i \omega_{j} \cdot \mathbf{d}_{epp};$$

$$H_{(p,q)} = i \omega_{j} \cdot \mathbf{d}_{epq};$$

$$(2.47)$$

Nghiệm dao động dọc của hệ (2.34) được viết dưới dạng:

 $\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1(t) & x_2(t) & \dots & x_n(t) \end{bmatrix}^T \text{ hay}$ $\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_1(f) & Z_2(f) & \dots & Z_n(f) \end{bmatrix}^T, f = 1, 2, \dots, M_h \dots$

Z=fft(x) - Biến đổi FFT cho n kênh tín hiệu X(t)

Hay
$$Z_{m} = \sum_{k=1}^{Mh} Z_{mk}, Z_{mk} = a_{mk} + ib_{mk}$$

m - chỉ số, vị trí của gối đỡ chặn trong mô hình.

Do
$$x_m(t)=y_0(t)+\alpha_{m1}y_1(t)+\alpha_{m2}y_2(t)+\alpha_{m3}y_3(t)$$

Nên $x_{m1}(t)=ifft(Z_{mf}(f))$

$$\mathbf{Z}_{mf} = \begin{bmatrix} 0, z_{m.1} z_{m.2}, \dots, z_{m.Mh}, 0 \end{bmatrix};$$
(2.49)

Kích thước véc tơ = 512

$$Xm(t) = real(iff(z_{mf}))$$

$$Z_{m.k} = y_{0k} + \alpha_{m1}y_{1k} + \alpha_{m2}y_{2k} + \alpha_{m3}y_{3k}$$

$$Z_{m.k} = [1\alpha_{m1}\alpha_{m2}\alpha_{m3}] \cdot Y_{k}$$
(2.50)

(1) 1/:00())

2.5.2.3 Mô hình toán xác định đặc tính theo Quy phạm RMR [27]

Xử lý tín hiệu dao động dọc theo Quy phạm Đăng kiểm RMR, 2014 [27], tín hiệu dao động dọc tại gối đỡ chặn được rời rạc hóa 512 điểm, đúng cho 1 chu kỳ động cơ làm việc.

$$\mathbf{x}_{m} = \mathbf{x}_{Thr.B} = [x_{m}(1), x_{m}(2), ..., x_{m}(N)]; N=512$$
 (2.51)

 $x_{\rm m}$ (mm) - chuyển vị.

Chuyển đổi, xử lý tín hiệu x_m sang tín hiệu vận tốc Vd (mm/s) bằng phép đạo hàm, sử dụng hàm **diff** () trong MatLab và LabView.

$$V_{d} = \begin{bmatrix} V_{d}(1) & V_{d}(2) & \dots & V_{d}(N) \end{bmatrix}; N=512$$

$$V_{d}(k) = \frac{x_{m}(k+1) - x_{m}(k)}{t(k+1) - t(k)} = \frac{\Delta xm(k)}{\Delta t}$$

$$T = \frac{60}{n}; \Delta t = \frac{T}{B};$$
(2.52)

Xác định giá trị FFT có bộ lọc 1/3-octave cho tín hiệu Vd(t), sử dụng công cụ trong có LabView qua gói phần mềm chuyên xử lý tín hiệu dao động và âm thanh (Sound and Vibration Toolkit, SVT) [56]. Ta thu được:

$$\mathbf{V}_{\mathbf{d}} = [\mathbf{V}_{\mathbf{d}}(1)...\mathbf{V}_{\mathbf{d}}(\mathbf{N})] \xrightarrow{FFT} \mathbf{V}\mathbf{R}_{\mathbf{d}} = [\mathbf{V}\mathbf{R}_{\mathbf{d}}(1)...\mathbf{V}\mathbf{R}_{\mathbf{d}}(\mathbf{M})]$$
(2.53)

 \mathbf{VR}_{d} - Biên độ của điều hòa trung bình qua bộ lọc 1/3-octave

Dãy số 1,2,3...M là số thứ tự của các tần số trung bình tương ứng được chỉ ra ở bảng sau, tính theo RMR [27]:

STT	1	2	3	4	5	
f _{TB.1/3octave} ,Hz						

2.5.2.4 Mô hình xác định mức độ dao động dọc cho phép theo RMR [27]

Mức độ dao động dọc cho phép (Permit Axial Vibrations, PAV) chỉ ra cho dao động vận tốc gối đỡ chặn, giá trị RMS, tính trung bình theo các tần số lọc 1/3-octave (RMR) [27] được chỉ ra trong phụ lục PL1.

Để thuận tiện cho việc tự động xác định các giá trị mức dao động dọc cho phép tại từng tần số f_{tb} như trên, luận án xây dựng mô hình hồi quy bậc 2 (tương tự như trong mục cho dao động xoắn) và kiểm tra độ tin cậy của mô hình đạt mức 95% hoặc 99%.

2.5.2.5 Mô hình toán ra quyết định trạng thái dao động dọc được giám sát

Tại từng tần số trung bình $f_{tb.1/3octave}$, viết gọn f_{tb} , và thực hiện kiểm tra biên độ của điều hòa:

$$VR(f_{tb}) \le LAV(f_{tb}) \tag{2.54}$$

Nếu đúng, LAV^2 - Đạt yêu cầu, LBV - Đạt yêu cầu.

Ngược lại, kiểm tra tiếp

$$VR(f_{tb}) \le LBV(f_{tb})$$
(2.55)

Nếu đúng, LAV - Không đạt yêu cầu, LBV^3 - Đạt yêu cầu.

Ngược lại, LAV - Không đạt yêu cầu, LBV - Không đạt yêu cầu.

2.6. Mô hình đặc tính dao động giới hạn quy đổi từ vận tốc sang gia tốc

Theo Quy phạm RMR [27], đặc tính dao động giới hạn được đưa ra dưới dạng dao động vận tốc, xét cho từng tần số trung bình f (dao động dọc, dao động ngang), trong khi đó tín hiệu đo được thường dùng các cảm biến gia tốc. Từ đó, để tiện lợi cho quá trình giám sát và giảm thiểu quá trình tính, xử lý tín hiệu dao động phức tạp, chứa nhiễu, luận án đã nghiên cứu xây dựng cơ sở toán cho biến đổi các đặc tính giới hạn từ dạng vận tốc sang dạng gia tốc.

Tín hiệu dao động cho phép (mức A và B) đều được đưa ra dưới dạng bảng theo từng tần số f, Hz (trung bình qua lọc 1/3-octave), đơn vị biên độ RMS mm/s. Mô hình toán cho từng điều hòa được viết dưới dạng sau:

$$LAV(f) = A_{v,f} \cos(2\pi ft); LBV(f) = B_{vf} \cos(2\pi ft);$$
(2.56)

² LAV: Level Axial Vibration - Mức độ dao động dọc A (cho phép), động cơ mới xuất xưởng.

³ LBV: Level Axial Vibration - Mức độ dao động dọc B (cho phép), còn an toàn, song cần theo dõi.

Theo định nghĩa: đạo hàm vận tốc cho giá trị gia tốc. Ta có:
LAA(f)=
$$2\pi f A_{v,f} \cos(2\pi f t - \pi/2); LBA(f) = 2\pi f B_{v,f} \cos(2\pi f t - \pi/2);$$

LAA(f)= $A_{a,f} \cos(2\pi f t - \pi/2); LBA(f) = B_{a,f} \cos(2\pi f t - \pi/2);$
 $A_{a,f} = 2\pi f A_{v,f}; B_{a,f} = 2\pi f B_{v,f}$
(2.57)

Trên cơ sở mô hình trên, chúng ta xây dựng thuật toán tự động tính biên độ và pha của các điều hòa ứng với từng tần số điều hòa f (Hz) hay ω (rad/s). Thuật toán trên dễ dàng được triển khai cho lập trình tự động xây dựng các đặc tính giới hạn tại hai mức A và B cho các dạng dao động ngang và dao động dọc tương ứng trong LabView.

2.7. Cơ sở công nghệ cho giám sát dao động trên động cơ diesel tàu biển

Sơ đồ nguyên lý thiết bị giám sát dao động trên động cơ diesel tàu biển đã được đưa ra tại Hình 2.2, gồm khối các đầu đo, khối DAQ, CPU và màn hình hiển thị, loa tích hợp.

Về nguyên lý cấu tạo hệ thống đo, GSRĐ gồm khối cảm biến - sensors (S), chia là 02 loại cảm biến: đo rung động trên bề mặt chi tiết tĩnh (không chuyển động) và loại thứ hai dùng tem biến dạng đo biến dạng trên bề mặt trục quay. Ngoài ra, cần 01 sensor đánh dấu pha: điểm chết trên, điểm chết dưới, cũng như nếu có thể xác định vận tốc quay trục khuỷu để đảm bảo quá trình trích mẫu đủ và chính xác.

Khối thứ hai - bộ chuyển đổi tương tự - số (Analog Digital Convertor, ADC) nhiều kênh. Công nghệ điện tử hiện đại đã tích hợp thành các bộ thu thập dữ liệu DAQ (Data Acquisition) đa kênh. Như vậy, ta cần xác định số kênh cần đo đồng thời để phân tích, xây dựng hệ thống với các bộ DAQ tương ứng.

Với các dạng tín hiệu đo dao động thẳng có thể gộp thành một nhóm, sử dụng chung một cDAQ (Chasis DAQ, khung DAQ, hộp chứa DAQ). Nhóm tín hiệu biến dạng cần thiết kế một cDAQ khác, phù hợp với dạng tín hiệu biến dạng, micro.

2.7.1. Sơ đồ nguyên lý biến đổi thông tin GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển

Trên Hình 2.15 thể hiện nguyên lý dòng thông tin trong giám sát chẩn đoán rung động MDE, ta thấy các điểm "mốc" dạng tín hiệu sau đây:

Mốc 1 - Tín hiệu trạng thái rung vật lý của đối tượng đo. Tại điểm đo có thể là dao động gia tốc, vận tốc, chuyển vị hay pha đánh dấu thời điểm đo, vận tốc quay của trục. Tín hiệu này được các cảm biến cảm nhận trạng thái của đối tượng và chuyển đổi thành tín hiệu điện theo nguyên lý hoạt động của cảm biến.



Hình 2.15. Sơ đồ nguyên lý biến đổi dòng thông tin trong giám sát rung động

Mốc 2 - Đầu ra của cảm biến đưa vào bộ thu thập dữ liệu DAQ. Thông thường các tín hiệu dạng điện là tín hiệu tương tự, được "băm" theo nguyên lý hoạt động của bộ biến đổi tương tự - số, được tích hợp về mặt kết cấu trong bộ DAQ. Trong DAQ có thể dùng một số bộ lọc ban đầu, tín hiệu được khuyếch đại ban đầu để đầu ra là tín hiệu điện có dải làm việc biến thiên trong một phạm vi phù hợp.

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

Tại đây, tín hiệu dao động từ dạng số, có chứa nhiễu được lọc nhiễu, được biến đổi về các dạng tín hiệu có ích khác, được gọi là dấu hiệu chẩn đoán (DHCĐ, DS - diagnostic sign). Dạng tín hiệu sẽ có dạng cuối cùng phù hợp theo mục tiêu của bài toán GSRĐ.

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, dưới dạng đèn báo động, dưới dạng số chỉ báo, hay dưới dạng dòng thông tin (dòng ký tự) về trạng thái rung động đã được ra quyết định sau cùng trong GSRĐ.

Mốc 5 - Dạng tín hiệu đưa ra dưới dạng báo cáo kỹ thuật (REPORT) hay in ấn (PRINT). Tín hiệu được lưu lại dưới dạng file cơ sở dữ liệu phù hợp (excel/ pdf, tdms, lv,...).

2.7.2. Cơ sở công nghệ lựa chọn bộ cảm biến

Sensor (cảm biến) dao động ngang: Hiện nay trên thị trường có rất nhiều dạng sensor: Sensor gia tốc, sensor chuyển vị, sensor vận tốc của các hãng nổi tiếng trên thế giới như: Sensor của hãng MMF (Đức), sensor ACC768A Omega (Hoa Kỳ) [57], sensor IMI của hãng NI (Hoa Kỳ) [50], Showa (Nhật Bản) [58], Omron (Nhật Bản) [59], Kyowa (Nhật Bản) [60]... Trong công trình nghiên cứu



- *Strain gauge (SG) tem biến dạng:* Việc lựa chọn kiểu loại tem biến dạng cho phù hợp với cấu hình chung của hệ thống là một là công việc phức tạp như lựa chọn loại cầu 1/4 (1/4 bridge); cầu 1/2 (1/2 bridge) hay full



bridge, điện trở, bù nhiệt, vật liệu... Trên thị trường có nhiều loại SG: Kyowa [60], Showa [58] - Nhật Bản...Trong nghiên cứu, luận án lựa chọn SG hãng



Showa - Nhật Bản, đo biến dạng xoắn bề mặt theo cầu 1/2, còn biến dạng dọc (kéo nén) - dùng cầu 1/4. Các tính chất cơ bản được chỉ ra trong phụ lục PL5.

 Sensor pha: luận án lựa chọn sensor pha dạng quang hãng Omron (Nhật Bản) [59]. Các đặc tính của thể hiện trong phụ lục PL5.

2.7.3. Cơ sở công nghệ lựa chọn bộ góp dữ liệu DAQ

DAQ và cDAQ cho tem biến dạng công nghệ của NI (Hoa Kỳ).

Lựa chọn DAQ 9237 - dùng đo biến dạng, loại DSUB 4 kênh, 24 bit, 50k S/s/ch, nhiệt độ hoạt động - 40 đến 70 ^oC; có bù nhiệt và khả năng tương thích với tem dán loại: cầu 1/2, 1/4 cũng như đầy đủ (full bridge). DAQ này đặt trong khung cDAQ 9191 hình bên, là thiết bị



không dây, Wi-Fi, có thể dùng để lắp ghép với nhiều bộ đo khác nhau và có chức năng thu phát nhiều loại tín hiệu/cảm biến vào/ra dạng số hoặc tương tự khác nhau.

DAQ và cDAQ của NI cho các sensors dao động thẳng và pha.

Lựa chọn DAQ 9234 - Bộ thu thập các tín hiệu âm thanh và dao động 4 kênh, tốc độ lấy mẫu 51,2 kS /s, điện áp ±5 V, NI - 9234 có thể đo tín hiệu từ cảm biến áp điện tích hợp (IEPE) và cảm biến không IEPE như gia tốc kế, máy đo tốc độ và khoảng cách đầu dò. NI - 9234 đặt trong khung cDAQ9184 [12]. Chi tiết trong phụ lục PL5.



2.7.4. Cơ sở công nghệ lựa chọn CPU và thiết bị ngoại vi

CPU: là bộ xử lý trung tâm, có thể là một PC hoặc một Laptop, hoặc một máy tính công nghiệp, có cấu hình đủ mạnh để thực hiện đo, hiển thị nhanh kết quả đo, dữ liệu đo, hiển thị kết quả xử lý rung động cho GSRĐ, lưu trữ và hiển thị kết quả GSRĐ đã xử lý cuối cùng, lưu trữ kết quả giám sát, báo cáo và in ấn, có tính năng nhận wifi 802.11. Cấu hình máy càng mạnh thì khả năng xử lý dữ
liệu càng nhanh và lưu trữ được dung lượng lớn tạo thuận lợi trong quá trình thu thập, xử lý và phân tích dữ liệu.

Để thực hiện điều này, các máy tính xách tay hiện nay cùng với các thiết bị đo kèm như máy in, loa đều thỏa mãn được yêu cầu cấu hình cần thiết.

Công trình luận án lựa chọn cấu hình cho CPU và các thiết bị ngoại vi trong tổ hợp MMMVS trên MDE như sau: Máy tính xách tay Laptop; Máy in (printer); Loa (speaker).

2.7.5. Cơ sở công nghệ lập trình trên phần mềm LabView và MatLab

LabView (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) là một phần mềm máy tính được phát triển bởi công ty National Instruments, Hoa kỳ. LabView còn được biết đến như là một ngôn ngữ lập trình với khái niệm hoàn toàn khác so với các ngôn ngữ lập trình truyền thống như ngôn ngữ C, Pascal. Bằng cách diễn đạt cú pháp thông qua các hình ảnh trực quan trong môi trường soạn thảo, LabView còn được gọi với tên khác là lập trình G (viết tắt của Graphical, nghĩa là đồ họa).

LabView được dùng nhiều trong các phòng thí nghiệm, lĩnh vực khoa học kỹ thuật như tự động hóa, điều khiển, điện tử, cơ điện tử, hàng không, ... Hiện tại ngoài phiên bản LabView cho các hệ điều hành Windows, Linux, Hãng NI đã phát triển các mô đun LabView cho máy hỗ trợ cá nhân (PDA). Các chức năng chính của LabView có thể tóm tắt như sau:

Thu thập tín hiệu từ các thiết bị ngoại vi như cảm biến nhiệt độ, hình ảnh từ webcam, vận tốc của động cơ,...

Giao tiếp với các thiết bị ngoại vi thông qua nhiều chuẩn giao tiếp qua các cổng giao tiếp: RS232, RS485, USB, PCI, Ethernet. Đo và xử lý các tín hiệu thu nhận được để phục vụ các mục đích nghiên cứu hay mục đích của hệ thống mà người lập trình mong muốn. Xây dựng các giao diện người dùng một cách nhanh chóng và thẩm mỹ hơn nhiều so với các ngôn ngữ khác như Visual Basic, 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), mô đun xử lý báo cáo (Report toolkit) cùng với nhiều thiết bị ảo (Virtual Instruments, VI) của chính bản thân 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 Matscript tương ứng trong LabView.

2.8. Kết luận chương 2

Chương 2 đã giải quyết được các vấn đề 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.

- Đề xuất mô hình giới hạn dạng dao động ngang và dao động dọc tương đương trên cơ sở các tiêu chuẩn Quy phạm RMR trong miền tần số, 1/3-octave, RMS với dao động gia tốc (Mục 2.6). Đây là mô hình xác định nên độ tin cậy cao, giống như độ tin cậy đưa ra từ các tiêu chuẩn gốc, và rất thuận tiện cho quá trình ra quyết định giám sát dao động. Từ đó quá trình giám sát dao động dọc và ngang bớt được các bước trung gian chuyển đổi từ dao động gia tốc sang vận tốc. Do vậy, thuật toán triển khai giám sát rung động dựa trên cơ sở phương pháp cải tiến này sẽ nhanh và có độ chính xác, độ tin cậy cao hơn so với phương pháp nêu trong mục 2.5.

- Đưa ra được cơ sở toán học cho đo và xử lý tín hiệu dao động, cho mô phỏng giám sát dao động xoắn hệ trục diesel máy chính lai chân vịt tàu biển áp dụng cho tàu KN 375, cho mô phỏng giám sát dao động dọc hệ trục diesel máy chính lai chân vịt tàu biển.

- 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

Như đã phân tích tại chương 1 tổng quan về giám sát rung động cũng như chương 2 đã xây dựng cơ sở lý thuyết cho giám sát rung động, ta nhận thấy bài toán ứng dụng giám sát dao động cần tự động đo, xử lý tín hiệu và ra quyết định về trạng thái dao động của đối tượng trên cơ sở dữ liệu tham chiếu từng dạng dao động được xét. Giám sát rung động được xét cụ thể cho từng dạng dao động tương ứng và chỉ có kết quả khi có thiết bị đo và giám sát dạng dao động đó.

Mục đích xuyên suốt của luận án là xây dựng thiết bị đo hiện đại, đa kênh; đo, giám sát ba dạng dao động đồng thời trên động cơ diesel tàu biển. Thiết bị cần xây dựng bao gồm phần cứng, phần mềm, tích hợp (có hiệu chỉnh, hiệu chuẩn) giữa chúng, và kiểm nghiệm thực tế.

Trong chương này, luận án sẽ triển khai xây dựng một số mô đun phần mềm hay thiết bị ảo cơ bản (trong LabView, được gọi là VI, Vitual Instrument) thực hiện các chức năng quan trọng trong phần mềm của thiết bị đo, giám sát rung động. Thực tế của việc xây dựng các mô đun phần mềm 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. Cuối cùng, khi đã xây dựng thành công các phần mềm con (mô đun độc lập - Sub.VI) sẽ phục vụ cho việc xây dựng tích hợp VI chung, tổng hợp cho GSRĐ được nhanh chóng, thuận tiện.

Nội dung chương này được triển khai theo các mô đun Sub.VI sau đây:

- Mô phỏng tín hiệu dao động xoắn, dao động dọc, dao động ngang;

Mô phỏng đặc tính giới hạn cho phép đối với các dạng dao động xoắn,
 dao động dọc, dao động ngang;

- Mô phỏng xử lý tín hiệu dao động xoắn, dao động dọc, dao động ngang;

- Mô phỏng ra quyết định giám sát các dạng dao động.

3.1. Mô phỏng tín hiệu dao động đo trên động cơ diesel tàu biến và hệ trục chính diesel tàu biển lai chân vịt

3.1.1. Tín hiệu dao động xoắn đo trên trục trung gian hệ trục chính động cơ diesel lai chân vịt

Trục trung gian hệ trục chính (MPP, Main Propultion Plant) trên tàu biến dùng động cơ diesel hai kỳ, thấp tốc, vòng quay trục trung gian (n_{IMS}) bằng vòng quay của động cơ (n_E), $n_{IMS} = n_E$ (vòng/phút). Việc giám sát dao động xoắn trên hệ trục chính thường triển khai theo vị trí thiết bị đo được lắp đặt trên hệ trục. Hiện nay trên thế giới thường dùng thiết bị đo dao động xoắn bằng tem biến dạng (SG, strain gauge) dán trên bề mặt trục trung gian, tín hiệu đo được là đại lượng biến dạng (strain), có giá trị rất nhỏ (mức micro strain, ký hiệu µɛ hay 10⁻⁶ɛ) được xử lý để đưa ra ứng suất xoắn trên trục đo τ (MPa, MPa = 10⁶ N/m²) theo thời gian thực cũng như trong miền tần số (theo bậc điều hòa).

Theo mối quan hệ giữa ứng suất xoắn $\tau(t)$ và mô men xoắn M(t) cũng như dao động xoắn tại hai đầu đoạn trục đo $\Delta = \varphi_k(t) - \varphi_{k+1}(t)$ đưa ra cho ta phương pháp mô phỏng tín hiệu dao động xoắn theo:

a) Mô hình toán mô phỏng (tính) dao động xoắn hệ trục

Tín hiệu dao động xoắn đo được trên hệ trục tàu thực, trong điều kiện đo thực tế.

b) Tín hiệu dao động xoắn xây dựng theo mô hình chuyên gia

Với tín hiệu dao động xoắn xây dựng theo phương pháp (a) là kết quả giải bài toán tính dao động xoắn trên cơ sở xây dựng mô hình toán cho cơ hệ hệ trục chính. Đây là bài toán phức tạp đã được PGS.TSKH Đỗ Đức Lưu phát triển, xây dựng phần mềm tự động tính dao động xoắn hệ trục, áp dụng cho tàu chở hàng tổng hợp tải trọng 34.000 DWT [13]. Phần mềm trên được hoàn thiện và điều chỉnh để tính dao động xoắn trên hệ trục chính tàu biển sử dụng động cơ diesel 4 kỳ. Theo yêu cầu của Đăng kiểm RMR [27], tín hiệu dao động xoắn cần đo và đưa ra giá trị ứng suất trong miền thời gian và miền tần số. Trong miền thời gian, xác định giá trị cực trị 1/2 peak-to-peak. Trong miền tần số cần xác định M_h phổ cho hệ trục, $M_h = 12$ đối với động cơ 2 kỳ và $M_h = 25$ với động cơ 4 kỳ.

Tín hiệu dao động xoắn theo phương pháp (b) - dùng từ kết quả đo dao

động xoắn trên một tàu thực, trong điều kiện cụ thể. Nếu dùng một tín hiệu cụ thể đo được này, ta cũng xác định cực trị 1/2 peak-to-peak trong miền thời gian, và các phổ tần cần thiết của tín hiệu này.

Tín hiệu dao động xoắn theo phương pháp (c) được xây dựng từ mô hình toán chuyên gia, có chứa thông tin từ mô hình toán cơ thu được từ (a) cũng như mang đặc điểm của tín hiệu đo thực (b). Dạng tín hiệu mô phỏng này có ưu điểm chung nhất là linh hoạt, mềm dẻo điều khiển được theo giả định xác lập điều kiện biên.

Qua phân tích theo yêu cầu của Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép, cũng như thực tế đo các tín hiệu dao động xoắn trên tàu thực được mô hình hóa theo phương trình sau đây:

$$\tau(t) = \sum_{k=1}^{M_h} A_{\tau k} \cos(k\omega t + \gamma_k)$$
(3.1)

 ${O}$ đó: A_{rk} - biên độ dao động xoắn (USX) tại điều hòa bậc k.

 γ_k - pha ban đầu ứng với điều hòa k, rad $N\!/\!m^2$

Ta đưa phương trình trên về dạng phương trình có các hệ số tương đối

$$\overline{\tau}(t) = \frac{\tau(t)}{\left[\tau\right]_{0}}; \overline{A}_{\tau k} = \frac{A_{\tau k}}{\left[\tau\right]_{0}}, k = 1, \dots M_{h}$$

 $[\tau]_0$ - giá trị ngưỡng cho phép, N/m².

Ta thu được:
$$\overline{\tau}(t) = \sum_{k=1}^{M_h} \overline{A}_{\tau k} \cos(k\omega t + \gamma_k)$$
 (3.2)

Tín hiệu mô phỏng từ phương trình (3.2) rất thuận tiện cho bài toán mô phỏng tín hiệu đo dao động xoắn được thực hiện trên MatLab (m.file) cũng như trên LabView (Mathscript).

Tín hiệu mô phỏng theo (c) có chứa nhiễu

$$\tau_m(t) = \tau_e(t) + \eta(t)$$

$$\tau_m(t) = \sum_{k=1}^{M_h} A_{\tau k} \cos(k\omega t + \gamma_k) + \eta(t)$$
(3.3)



Hình 3.1. Lưu dữ liệu đã mô phỏng vào file TP_m .lvm gồm các dữ liệu: $\tau_m(t)$; A, gamma, hai véc tơ

Thiết bị ảo mô phỏng dạng tín hiệu dao động xoắn theo mô hình (3.2) và (3.5) được lập trình điều khiển trên giao diện chính (Front Panel), code viết trong giao diện lập trình Block Diagram. Tín hiệu nhiễu được sử dụng câu lệnh **rand** trong Mathscript. Kết quả được thể hiện trên Hình 3.2 cho tín hiệu 12 điều hòa, còn Hình 3.3 cho tín hiệu 25 điều hòa.



Hình 3.2. VI mô phỏng dạng tín hiệu dao động xoắn cho động cơ 2 kỳ



Hình 3.3. VI mô phỏng dạng tín hiệu dao động xoắn cho động cơ 4 kỳ

Trên Hình 3.4, Hình 3.5 (FP và BD) của VI đánh giá độ chính xác của công cụ lập trình và biến đổi FFT trong LabView. Kết quả trên Hình 3.4 (bảng bên phải) cho thấy độ chính xác rất cao (không có sai khác) giữa véc tơ biên độ vào và véc tơ biên độ thu được sau phép biến đổi FFT tín hiệu từ miền thời gian sang miền tần số trong LabView (Mathscripts) đối với véc tơ 25 hài, không có nhiễu đặc trưng cho tín hiệu dao động xoắn trên hệ trục chính dùng MDE bốn kỳ. Kết quả cũng tương tự cho véc tơ pha. Khi có nhiễu, sẽ xét tiếp ở mục xử lý tín hiệu.



Hình 3.4. Front panel VI mô phỏng so sánh đặc tính của tín hiệu 25 điều hòa



Hình 3.5. Code VI mô phỏng so sánh các đặc tính của tín hiệu 25 điều hòa





Phục vụ cho mục đích phân tích tín hiệu sau này do xây dựng phần mềm mô phỏng giám sát dao động dọc và dao động ngang, về cơ bản ta có thể xây dựng các tín hiệu đa hài, ngẫu nhiên (có nhiễu) theo phương pháp (c) của mục trên. Để kiểm tra các thuật toán, ta có thể sử dụng mô hình đa hài (phương trình (3.3)) viết cho dao động dọc và dao động ngang, song số lượng điều hòa đưa vào nghiên cứu sẽ khác với số lượng M_h đã chọn cho dao động xoắn.

$$\bar{x}_{a} = \sum_{k=1}^{M_{a}} \bar{A}_{ak} \sin(k\omega t + \gamma_{ak})$$
(3.6)

$$\overline{x}_{L}(t) = \sum_{k=1}^{M_{l}} \overline{A}_{k} \sin(k\omega t + \gamma_{ek}) + \eta(t)$$
(3.7)

 $\sigma d \dot{\sigma} : \overline{A}_{ak}, \gamma_{ak}, k = 1,...M_a$ - biên độ và pha ban đầu cho mô phỏng dao động dọc điều hòa k.

 \overline{A}_{lr} , γ_{lk} , $k = 1, ..., M_l$ - biên độ và pha ban đầu cho mô phỏng dao động ngang điều hòa k.

Chỉ số a - axial, l - lateral (dọc, ngang).

Các VI mô phỏng tín hiệu dao động dọc hoặc ngang được xây dựng tương tự như VI mô phỏng tín hiệu dao động xoắn.

Trong quá trình nghiên cứu mô phỏng, có thể sử dụng các tín hiệu đo được, theo phương án (b) để xây dựng các VI xử lý tín hiệu cho mục đích mô phỏng.

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

3.2.1. Đặc tính dao động xoắn cho phép

3.2.1.1 Mô phỏng số trên LabView ứng suất xoắn cho phép trên trục trung gian, trục chân vịt và trục đẩy của hệ trục tàu KN 375

Trong phần này, luận án tiến hành mô phỏng số trên LabView để xác định các đặc tính ứng suất xoắn cho phép $[\tau]=f(\lambda)$ cho trục trung gian, trục chân vịt và trục đẩy của hệ trục tàu KN 375 theo Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của Việt Nam.

Thiết bị ảo được xây dựng trên LabView đã giới thiệu trong chương 2 gồm lập trình trên giao diện chính (Front Panel, FP) và viết code trên giao diện lập trình (Block Diagram, BD).

Để xây dựng đặc tính $[\tau]=f(\lambda)$, ta tiến hành xây dựng thiết bị ảo con (Sub.VI) mô phỏng xác định giá trị ứng suất xoắn cho phép ở tại một giá trị λ được xét, $\lambda = n/n_{nor} = n/750$. Trên Hình 3.7 - kết quả thiết bị ảo con tính và hiển thị USXCP trên các đoạn trục trung gian, trục chân vịt và trục đẩy (IMS, PrS, and Thrust Shaft) của hệ trục tàu KN 375. Phần A bên trái là giao diện chính được thiết kế để nhập và hiển thị các thông tin cần thiết trong quá trình tính, còn phần B - thông tin giám sát và kết quả tính.



Hình 3.7. Lập trình VI tự động tính PTP trên trục trung gian, chân vịt và trục đẩy

Trong lập trình, thiết bị ảo đảm bảo: chọn vòng quay định mức n_{nor} (vòng/phút) cũng như vòng quay ở chế độ cần tính ứng suất xoắn cho phép n (vòng/phút) bằng việc nhập các giá trị tương ứng; chọn đoạn trục cần tính, đó là một trong 3 đoạn trục: trục trung gian, trục chân vịt và trục đẩy. Khi đã lựa chọn đoạn trục, ta cần nhập đường kính trục d (mm), dạng vật liệu chế tạo trục (thép các bon / thép không gỉ loại 1/ thép không gỉ loại 2). Ứng suất chảy cho phép T_s (MPa) cũng như đặc điểm hình dáng trục qua hệ số C_k.

Phần B trên giao diện chính hiển thị các thông tin tham chiếu để nhập dữ liệu đầu vào cho phù hợp. Kết quả tính giá trị ứng suất xoắn cho phép theo giá trị đã nhập n (vòng/phút) được hiển thị dưới dạng số. Code lập trình (BD) trên Hình 3.7 có các phần tương ứng cho điều khiển các thông số nhập bên ngoài vòng lặp Case và bản thân vòng lặp Case.

Vòng lặp Case được dùng cho lựa chọn với biến "Đoạn trục cần tính" theo 3 trường hợp tương ứng: trục trung gian, trục chân vịt và trục đẩy. Trong mỗi trường hợp đều xây dựng code lập trình dưới dạng MathScript, tương ứng với lập trình m.file trong MatLab.

3.2.1.2 Mô phỏng số trên LabView ứng suất xoắn cho phép trên trục khuỷu động cơ diesel tàu biển

Tương tự như mô phỏng tính ƯSXCP trên trục khủy, kết quả mô phỏng số trên LabView xác định ứng suất xoắn cho phép trên trục khuỷu động cơ 2 kỳ và 4 kỳ như **Error! Reference source not found.** và Hình 3.9 dưới đây.

Trên Hình 3.9 - Lập trình code (Block Diagram) trong LabView xây dựng đặc tính ứng suất xoắn cho phép đối với trục khuỷu động cơ diesel máy chính 2 kỳ và 4 kỳ. Trên giao diện chính (lập trình giao diện, Front Panel) có vị trí để lựa chọn loại MDE 2 kỳ hoặc 4 kỳ cùng với đặc tính vật liệu chịu xoắn của trục khuỷu. Kết quả hiển thị đồ thị đặc tính ứng suất xoắn cho phép của trục khuỷu MDE được mô phỏng theo dải vòng quay khai thác (tương đối λ).



Hình 3.8. Giao diện lập trình VI tính PTP trên trục khuỷu ME 2 kỳ và 4 kỳ

Xây dựng Code cho VI tính PTP của các đoạn trục khuỷu trong LabView không gặp khó khăn, vì cơ sở toán học đưa ra từ Quy phạm rất cụ thể, thuật toán triển khai trên LabView có sử dụng MathScript dễ dàng và nhanh chóng.



Hình 3.9. Giao diện chính VI so sánh PTP trên trục khuỷu ME 2 kỳ và 4 kỳ

3.2.2. Đặc tính dao động dọc cho phép tại gối đỡ chặn

Mô phỏng số dao động dọc cho phép theo Quy phạm Hàng hải Liên bang Nga RMR, phiên bản 2014

Dao động dọc truyền qua gối chặn và là một trong những thành phần dao động sinh ra dao động vỏ tàu. Bằng cách đó sinh ra dao động dọc của vỏ tàu mà tần số của chúng có thể trùng với tần số của động cơ. Ngoại lực truyền qua gối chặn, đối với đường trục trung gian của tàu sinh ra mô men uốn thay đổi, từ đó sinh ra dao động ngang vỏ tàu. Như vậy, trạng thái dao động vỏ tàu phụ thuộc nhiều vào dao động dọc hệ trục tàu. Nếu dao động dọc hệ trục lớn, chúng có thể phá vỡ bệ đỡ của gối chặn và làm đứt bu lông vít của gối đỡ chặn.

Quy phạm RMR [27] phần VII, Chương 9 - Dao động máy và thiết bị chỉ ra: Yêu cầu đo dao động tại gối đỡ chặn, thông số dao động đo và xử lý: giá trị bình phương trung bình 1/3-octave của vận tốc dao động, đơn vị đo de-xi-bel (dB) hoặc đơn vị tuyệt đối (mm/s). Như vậy, trong xử lý tín hiệu dao động đo được cần tiến hành lọc 1/3-octave.

Dao động thời gian thực (RT) được xử lý theo cực trị: Biên độ (Amplitude, A) và Peak-to-peak (hiệu giữa cực đại và cực tiểu) cũng như căn bậc hai giá trị bình phương trung bình (RMS, Root Mean Square).

Đặc tính giới hạn mức A và B theo tiêu chuẩn Đăng kiểm RMR:

Trực tiếp lập trình trên MatLab để xây dựng các đường giới hạn mức A, B, biểu diễn trên thang mm/s hoặc dB cho mức độ rung giới hạn đối với gối đỡ chặn và trục hoành là giá trị tần số trung bình 1/3-octave, được thể hiện trong phụ lục PL2.

Mô hình toán cho các giới hạn được thể hiện (đã xét trong Chương 2). Hàm số $g_1(f)$ và $g_2(f)$ được mô hình hóa bằng phương pháp hồi quy theo số liệu ghi đưa ra từ Quy phạm [27], áp dụng cho mức dao động giới hạn A (mm/s), LVA, áp dụng cho gối đỡ chặn, thu được: $g_0 = 11$, và

 $g_1(f) = -0.0014 f^2 + 0.8802. f + 0.1686$ $g_2(f) = 0.0016 f^2 - 0.3280. f + 21.3829$

Với độ tin cậy của mô hình $g_1(f)$ và $g_2(f)$ đều đạt 99%, vì:

 $Ft_1 = 1.3462e+03 >> Ft (0.99; n_1=3; n_2=6) = 9.78,$

 $Ft_2 = 506.6 > Ft (0.95; 3; 1) = 161.2,$

Các đặc tính giới hạn mức B trong thang mm/s cũng như mức A và B trong thang dB đều thu được theo mô hình tương tự. Trong nội dung này, luận án không đi sâu phân tích kết quả của các mô hình thu được, vì chúng đều có chung một dạng.

3.2.3. Đặc tính dao động ngang cho phép theo Quy phạm RMR

Đăng kiếm RMR [27] đưa ra bảng giá trị cho phép đối với dao động ngang đo trên bề mặt (phần tĩnh) của động cơ, dạng vận tốc, (mm/s) và biến đổi trong miền tần số, sử dụng bộ lọc trung bình 1/3-octave. Tiêu chuẩn dao động cho động cơ đốt trong thể hiện dưới dạng bảng cũng như đồ thị, được chỉ ra trong phụ lục PL1.

Khi ta dùng sensors đo gia tốc (m/s²), giữa các đại lượng đo (đã xử lý) và tham chiếu (REF.) cần đưa chung về một đơn vị đo nhất định.

Tại tần số f (giá trị trung bình) có biên độ vận tốc A_v , tín hiệu dao động điều hòa có dạng: $X_v(t) = A_v \sin(2\pi f t)$, còn tín hiệu gia tốc với biên độ A_a có dạng: $X_a(t) = A_a \cos(2\pi f t)$, giữa A_a và A_v có mối quan hệ (theo mô hình mục 3.6):

$$A_a(f) = \omega A_v = 2\pi f A_v$$

Xây dựng bảng mức độ dao động gia tốc cho phép đối với động cơ đốt trong theo công thức trên và làm cơ sở tham chiếu so sánh với tín hiệu đo được, từ đó ra quyết định trạng thái kỹ thuật của máy.

Để xác định tự động mức độ cho phép khi nhập thông tin động cơ chỉ theo hành trình piston S (cm), chương trình lập trình sẽ vẽ ra cho ta đặc tính tương ứng với tần số trung bình f là mức độ dao động thẳng gia tốc cho phép mức A (PVL-A) cũng như mức B (PVL-B).



Hình 3.10. VI xây dựng đặc tính PLLA, PVLB có EU N/m², MDE: S=26 cm

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

3.3.1. Xử lý tín hiệu dao động xoắn

3.3.1.1. Yêu cầu kỹ thuật

- Tín hiệu dao động xoắn được phân tích trong miền thời gian thực để xác định giá trị TP (λ) = τ (λ) = 1/2(peak-to-peak) ở vòng quay giám sát λ = n/n_{nor}.

- Tín hiệu có nhiễu được lọc trong miền thời gian thực.

- Tín hiệu dao động xoắn (USX) được phân tích bậc điều hòa (order analysis) qua FFT.

3.3.1.2. VI xử lý tín hiệu dao động xoắn trong miền thời gian thực

Để xác định được TP (λ) = τ (λ) trong miền thời gian thực, tín hiệu dao động xoắn có nhiễu phải lọc qua bộ lọc trung bình hoặc bộ lọc trượt trung bình.

a) Bộ lọc trung bình.

b) Bộ lọc trượt trung bình.

c) VI xử lý dao động xoắn trong miền thời gian thực.

d) Đánh giá độ tin cậy các bộ lọc tín hiệu trong miền thời gian thực.



Hình 3.11. Kết quả xử lý tín hiệu thời gian đa hài qua lọc với AR=25%

Trong quá trình mô phỏng xử lý tín hiệu 25 hài, có nhiễu với các mức AR = 0%; 0.5%; 5%; 15% và 25%, nghiên cứu sinh sử dụng bộ lọc trung bình 10 lần lặp cho tín hiệu có chu kỳ công tác 720 độ góc quay trục khuỷu, tương ứng cho MDE 4 kỳ. Với 10 tín hiệu có nhiễu trong thời gian thực, tiến hành lọc nhờ bộ lọc trượt trung bình 2p+1 = 3, 5, và 7. Một số kết quả nghiên cứu lọc tín hiệu 25 hài, có nhiễu trong miền thời gian thực được thể hiện trên các hình từ Hình 3.11 đến Hình 3.14.

Hình bên trái mô phỏng 10 tín hiệu chứa nhiễu mức độ AR = 25%, tín hiệu giả định cho động cơ 4 kỳ hoạt động ở vòng quay n = 1500 vòng/phút. Hình ở giữa hiển thị 10 tín hiệu ở cùng chế độ trên, mỗi tín hiệu lặp 10 lần. Mỗi tín hiệu được xử lý để tính giá trị 0.5*peak-to-peak. Tín hiệu thứ 11 là tín hiệu gốc (không chứa nhiễu để chúng ta đối chiếu). Hình bên phải thể hiện kết quả lọc trượt cho 10 tín hiệu nhiễu và cho 1 tín hiệu gốc. Hai cột (véc tơ) gồm 11 số hạng thể hiện các giá trị 0.5*peak-to-peak của các tín hiệu được lọc theo 2 phương pháp đã nêu.

Khi dùng thiết bị đo hiện đại, trong thực tế nhiễu do thiết bị gây ra thường có mức sai số 0.5%...1%. Các sai số khác tác động cho phép sai số tổng đến 5%. Trên các Hình 3.12 ÷ Hình 3.14 thể hiện kết quả lọc tín hiệu với sai số nhỏ 0%, 0.5%, và 5%.



Hình 3.12. Kết quả xử lý tín hiệu thời gian đa hài qua lọc với AR = 5%



Hình 3.13. Kết quả xử lý tín hiệu thời gian đa hài qua lọc với AR = 0.5%



Hình 3.14. Kết quả xử lý tín hiệu thời gian đa hài qua lọc với AR=0.0%

Bảng 3.1. Kết quả mô phỏng xử lý tín hiệu đa hài trong miền thời gian thực, AR = 0%...25%

	AR=15%		AR= 5%		AR=	0.5%	AR= 0.0%		TH.
No.Cycle	PPMF	PPMSF	PPMF	PPMSF	PPMF	PPMSF	PPMF	PPMSF	Gốc
1	5.6637	5.545	5.5774	5.5195	5.5411	5.5138	5.5435	5.5119	5.5435
2	5.6417	5.6367	5.5869	5.5679	5.5423	5.5119	5.5435	5.5119	5.5435
3	5.6677	5.5779	5.5493	5.5459	5.5439	5.5121	5.5435	5.5119	5.5435
4	5.612	5.5521	5.5707	5.5344	5.5448	5.5145	5.5435	5.5119	5.5435
5	5.5883	5.6562	5.5511	5.498	5.5459	5.5136	5.5435	5.5119	5.5435
6	5.6264	5.5152	5.5517	5.5363	5.5433	5.5109	5.5435	5.5119	5.5435
7	5.6634	5.5452	5.551	5.563	5.544	5.5098	5.5435	5.5119	5.5435
8	5.642	5.5321	5.5623	5.5303	5.541	5.5109	5.5435	5.5119	5.5435
9	5.5529	5.5142	5.544	5.5327	5.5448	5.5113	5.5435	5.5119	5.5435
10	5.6275	5.5182	5.5764	5.5236	5.543	5.5118	5.5435	5.5119	5.5435
11	5.5435	5.5173	5.5435	5.5341	5.5435	5.5119	5.5435	5.5119	5.5435

Số liệu giá trị 0.5* peak-to-peak cho 11 tín hiệu có nhiễu được lọc trong miền thời gian thực, thể hiện tại Bảng 3.1.

3.3.1.3. Xử lý dao động xoắn trong miền tần số

Trong LabView có sẵn công cụ FFT dùng dưới dạng câu lệnh trong Mathscript hoặc biểu tượng lập trình đối tượng. Luận án sử dụng lập trình trong Mathscript.

Kiểm tra tính chính xác của Sub.VI biến đổi FFT cho xử lý tín hiệu DĐX.

Đánh giá phép toán FFT trong LabView khi xử lý tín hiệu có nhiễu.

Lập trình FFT trong Mathscript đối với tín hiệu xác định (không nhiễu) cho ta độ tin cậy rất cao (hầu như không có sai số, mục 3.1.3.1). Ở đây sẽ khảo sát xử lý trong miền tần số FFT với tín hiệu 25 hài theo thuật toán chỉ ra trên Hình 3.15 với các mức độ nhiễu trắng được điều khiển biên độ Ar = 0%, 0.5%; 5%; 15% và 25%. Phần mềm (VI) lập trình trong LabView, có giao diện chính được thể hiện trên Hình 3.16 với Ar = 15%, còn trên Hình 3.17 - Ar = 5%.

Thông thường thiết bị đo hiện đại có độ chính xác cao (sai số thấp hơn nhiều so với 5%), do đó về biên độ tần số sau khi biến đổi FFT trong LabView, việc dò rỉ tín hiệu (méo, sai lệch) rất nhỏ. Đối với tín hiệu có mức > 10%, (đạt 16.7%) so với ngưỡng cực đại 6.0 sẽ cho sai số không đáng kể (trên Hình 3.16, các cột so sánh biên độ).

Tín hiệu vào được điều khiển theo biên độ (A>>) và pha (Phase (deg) >>), thể hiện trên hai véc tơ bên trái của đồ thị Hình 3.16. Bên phải của đồ thị biểu thị các véc tơ biên độ và pha tương ứng từng điều hòa giữa các giá trị đầu vào và giá trị trung bình của 10 lần lặp có nhiễu qua phép biến đổi FFT (trích đúng M_h = 25 điều hòa). Trên Bảng 3.2 thể hiện giá trị các véc tơ biên độ với nhiễu Ar = 15% khi trích mẫu 10 lần lặp, tương ứng trên cột **Arm**, **ARInp** tương ứng với các véc tơ tính trung bình, véc tơ đầu vào biên độ của các điều hòa và σ phương sai của các lần đo nhiễu so với giá trị trung bình.

Đối với kết quả khảo sát trên Bảng 3.2 cho xử lý tín hiệu khi AR = 25% qua FFT trong LabView cho ta cơ sở tin cậy về độ chính xác 99%, vì χ^2 tính toán cho 25 điều hòa đều nhỏ hơn rất nhiều giá trị lý thuyết χ^2 (9; 0.99) = 2.088.



Hình 3.15. Thuật toán đánh giá độ chính xác FFT cho tín hiệu đa hài có nhiễu



Hình 3.16. Giao diện chính của VI so sánh độ chính xác FFT cho tín hiệu 25 hài có nhiễu, Ar =15%.



Hình 3.17. Giao diên chính của VI so sánh độ chính xác FFT cho tín hiệu 25 hài có nhiễu, Ar = 5%.

Khảo sát với tín hiệu có nhiễu AR = 15%, độ tin cậy của 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.

N⁰H	AR.E1	AR.E2	AR.E3	AR.E4	AR.E5	AR.E6	AR.E7	AR.E8	AR.E9	ARE10	ARm	χ ² AR	ARInp
1	0.092	0.118	0.089	0.118	0.103	0.095	0.106	0.103	0.094	0.117	<mark>0.104</mark>	0.0011	<mark>0.100</mark>
2	1.208	1.195	1.209	1.225	1.193	1.197	1.208	1.192	1.198	1.215	1.204	0.0011	1.200
3	0.037	0.076	0.041	0.032	0.054	0.074	0.058	0.066	0.071	0.066	0.058	0.0023	<mark>0.050</mark>
4	0.109	0.119	0.102	0.083	0.084	0.109	0.078	0.084	0.116	0.103	0.099	0.0020	0.100
5	0.080	0.131	0.091	0.111	0.103	0.101	0.089	0.110	0.089	0.097	<mark>0.100</mark>	0.0019	<mark>0.100</mark>
6	6.007	6.011	5.992	6.016	6.012	5.994	5.996	5.972	5.994	6.008	<mark>6.000</mark>	0.0016	<mark>6.000</mark>
7	0.109	0.109	0.101	0.088	0.086	0.108	0.094	0.105	0.091	0.098	<mark>0.099</mark>	0.0007	<mark>0.100</mark>
8	0.191	0.199	0.179	0.206	0.188	0.218	0.189	0.188	0.201	0.211	<mark>0.197</mark>	0.0013	0.200
9	0.317	0.300	0.298	0.299	0.278	0.306	0.291	0.314	0.286	0.316	0.301	0.0016	<mark>0.300</mark>
10	0.215	0.212	0.194	0.202	0.215	0.217	0.195	0.208	0.210	0.192	0.206	0.0008	0.210
11	0.113	0.114	0.109	0.105	0.104	0.125	0.100	0.108	0.087	0.121	<mark>0.109</mark>	0.0011	<mark>0.110</mark>
12	0.151	0.144	0.159	0.155	0.145	0.158	0.151	0.161	0.148	0.142	<mark>0.151</mark>	0.0004	<mark>0.150</mark>
13	0.127	0.102	0.116	0.114	0.112	0.124	0.105	0.123	0.119	0.099	<mark>0.114</mark>	0.0008	<mark>0.115</mark>
14	0.108	0.149	0.135	0.108	0.126	0.141	0.133	0.125	0.135	0.115	<mark>0.127</mark>	0.0017	<mark>0.123</mark>
15	0.128	0.139	0.133	0.147	0.128	0.123	0.135	0.126	0.131	0.113	<mark>0.130</mark>	0.0008	<mark>0.133</mark>
16	0.131	0.163	0.135	0.139	0.144	0.115	0.134	0.144	0.126	0.142	<mark>0.137</mark>	0.0015	<mark>0.132</mark>
17	0.118	0.106	0.113	0.095	0.118	0.121	0.125	0.092	0.125	0.130	0.114	0.0015	<mark>0.111</mark>
18	0.121	0.129	0.132	0.122	0.115	0.120	0.130	0.111	0.124	0.134	0.124	0.0005	<mark>0.123</mark>
19	0.004	0.028	0.007	0.024	0.003	0.014	0.022	0.002	0.028	0.010	<mark>0.014</mark>	0.0010	<mark>0.012</mark>
20	0.023	0.049	0.020	0.015	0.045	0.013	0.028	0.035	0.015	0.031	0.027	0.0014	<mark>0.021</mark>
21	0.024	0.019	0.013	0.020	0.037	0.018	0.024	0.015	0.045	0.017	0.023	0.0009	<mark>0.022</mark>
22	0.012	0.033	0.014	0.007	0.016	0.012	0.020	0.010	0.014	0.015	<mark>0.015</mark>	0.0005	<mark>0.010</mark>
23	0.014	0.007	0.002	0.013	0.010	0.017	0.005	0.009	0.025	0.023	<mark>0.012</mark>	0.0005	<mark>0.001</mark>
24	0.006	0.024	0.007	0.031	0.030	0.005	0.019	0.012	0.019	0.000	<mark>0.015</mark>	0.0011	<mark>0.005</mark>
25	0.006	0.017	0.018	0.013	0.013	0.012	0.016	0.012	0.004	0.021	0.013	0.0002	<mark>0.002</mark>

Bảng 3.2.Kết quả mô phỏng tính biên độ cho các điều hòa (FFT) với
nhiễu Ar =15%

Nhận xét chung về xử lý tín hiệu dao động xoắn

- Hai bộ lọc trung bình và trượt trung bình cho kết quả có độ chính xác cao, sát với tín hiệu gốc (không nhiễu) khi đầu vào mô phỏng là nhiễu trắng, mức độ AR không vượt quá 5% (xem Bảng 3.1). Dùng 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 được lập trình trong LabView cho độ tin cậy rất cao (đạt trên 99%) khi xét biên độ của 25 điều hòa, còn xét đến pha: đạt 95% với tín hiệu có AR=15% (Bảng 3.2, Bảng 3.3).

Kết quả đánh giá độ tin cậy tại Bảng 3.2, các biên độ đều thu được có độ tin cậy lớn hơn 99%, vì $\chi^2_{AR} \ll \chi^2(9,0.99) = 2.088$.

N⁰H	TT.E1	TT.E2	TT.E3	TT.E4	TT.E5	TT.E6	TT.E7	TT.E8	TT.E9	TTE10	TTm	χ ² tt	σ(rad)
1	0.345	0.438	0.357	0.302	0.287	0.355	0.337	0.361	0.338	0.376	0.350	0.0152	0.041
2	0.260	0.263	0.262	0.262	0.262	0.265	0.260	0.265	0.260	0.259	0.262	0.0000	0.002
3	0.545	0.502	0.506	0.497	0.506	0.491	0.519	0.518	0.465	0.550	0.510	0.0056	0.025
4	0.805	0.821	0.813	0.795	0.794	0.777	0.815	0.794	0.813	0.769	0.800	0.0026	0.017
5	1.073	1.062	1.090	1.049	1.103	0.983	1.014	1.061	1.039	1.090	1.057	0.0123	0.037
6	1.570	1.571	1.570	1.570	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	0.0000	0.000
7	0.041	-0.023	-0.036	-0.013	0.005	-0.042	-0.078	-0.029	-0.078	0.072	-0.018	0.0205	0.048
8	1.318	1.340	1.311	1.278	1.318	1.283	1.287	1.308	1.261	1.308	1.301	0.0050	0.024
9	1.036	1.031	1.049	1.033	1.031	1.052	1.018	1.053	1.044	1.065	1.041	0.0018	0.014
10	1.053	1.029	1.033	1.074	1.033	1.063	1.048	1.046	1.068	1.014	1.046	0.0033	0.019
11	0.140	0.281	0.059	-0.028	0.028	0.233	0.187	-0.009	-0.060	0.048	0.088	0.1215	0.116
12	-0.021	0.004	0.018	-0.070	-0.032	-0.070	-0.098	0.089	0.052	0.003	-0.012	0.0303	0.058
13	0.104	-0.149	-0.133	0.204	0.298	0.232	0.624	-0.263	0.187	-0.140	0.096	0.6548	0.270
<mark>14</mark>	<mark>0.270</mark>	<mark>0.125</mark>	<mark>-0.043</mark>	<mark>0.514</mark>	-0.214	<mark>-0.470</mark>	<mark>-0.095</mark>	<mark>-0.568</mark>	<mark>0.551</mark>	<mark>0.186</mark>	<mark>0.026</mark>	1.2849	<mark>0.378</mark>
15	0.660	-0.115	0.124	0.360	-0.321	0.111	0.248	0.085	0.377	-0.036	0.149	0.6989	0.279
16	0.020	0.089	0.206	0.219	-0.138	-0.090	-0.217	0.062	0.050	0.436	0.064	0.3293	0.191
17	0.251	0.076	0.379	-0.045	0.192	0.000	-0.192	-0.228	0.030	-0.090	0.037	0.3359	0.193
18	0.144	0.062	-0.036	0.243	0.051	-0.039	-0.020	-0.218	0.170	-0.156	0.020	0.1865	0.144
19	0.262	0.113	0.089	0.042	0.209	0.153	-0.116	0.033	0.137	-0.094	0.083	0.1320	0.121
<mark>20</mark>	<mark>0.532</mark>	-0.205	<mark>0.008</mark>	<mark>-1.070</mark>	<mark>0.389</mark>	<mark>0.130</mark>	<mark>0.347</mark>	-0.702	<mark>-0.599</mark>	<mark>0.110</mark>	<mark>-0.106</mark>	2.5112	<mark>0.528</mark>
21	-0.024	0.033	0.007	0.033	0.023	0.020	-0.005	-0.074	-0.030	-0.069	-0.009	0.0140	0.039
22	0.044	0.052	0.037	-0.120	0.012	-0.019	0.035	-0.019	-0.019	0.017	0.002	0.0232	0.051
23	-1.536	-0.024	0.068	0.085	-0.536	-0.130	-0.231	-0.493	-0.306	-0.017	-0.312	2.0934	0.482
24	0.085	0.128	0.219	0.204	-0.001	-0.083	0.196	-0.048	0.137	-0.089	0.075	0.1315	0.121
25	0.095	0.181	0.283	-0.040	-0.023	-0.092	-0.049	-0.055	-0.155	-0.257	-0.011	0.2271	0.159

Bảng 3.3. Kết quả mô phỏng pha ban đầu (rad)cho các điều hòa (FFT) với nhiễu Ar =15%

 $\chi^2(9,0.99) = 2.0$

 χ^2 (9,0.95)= 3.325 χ^2 (9,0.90) =

4.168

3.3.2. Mô phỏng xử lý tín hiệu dao động ngang và dọc trên động cơ diesel và hệ trục chính tàu biển

3.3.2.1 Biến đổi dạng tín hiệu

Dao động đo được có thể dạng gia tốc, vận tốc hoặc chuyển vị. Tín hiệu xác định được chuyển đổi từ dạng đo được sang dạng tương đương theo phép toán tích phân hoặc vi phân. Tuy nhiên, đối với tín hiệu ngẫu nhiên (không xác định chính xác, có nhiễu), phép vi phân sẽ đưa kết quả không thật chính xác. Trong trường hợp đó, ta xử lý tín hiệu trong miền tần số rồi dùng các thuật toán biến đổi đạo hàm hoặc tích phân giữa các hàm lượng giác của sin hoặc cosin.

* Đối với tín hiệu đa hài không nhiễu

Giả thiết tín hiệu mô phỏng là tuần hoàn, đa hài, không nhiễu (đo thật "chính xác"), viết dưới dạng $V(t)=V_e(t)$, có dạng vận tốc. Ta tìm tín hiệu gia tốc cũng như tín hiệu chuyển vị từ dạng tín hiệu đo trên hoàn toàn phù hợp với độ tin cậy cao, vì sai số chỉ phụ thuộc vào sai số làm tròn số.

* Đối với tín hiệu đa hài có nhiễu

Ở đây, chúng ta dùng hai phương pháp tính các đại lượng đó và so sánh sự tương đồng (trùng nhau) giữa hai phương pháp. Cơ sở toán học cho hai phương pháp này được viết lại dưới đây.

Biến đổi các dạng dao động vận tốc đa hài xác định, có nhiễu trắng sang dao động gia tốc

Phương pháp 1. Dùng FFT biến đổi và bỏ tần số bậc cao

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_{n}(t) &= [\mathbf{V}_{n}(t)]' = [\mathbf{V}(t) + \text{noise}]' \xrightarrow{\text{FFT}} \{ [\mathbf{V}_{n1}^{0}, \mathbf{V}_{n2}^{0}, \dots]; [\gamma_{vn1}, \gamma_{vn2}, \dots] \} \text{-noise} \\ & \omega \mathbf{V}_{n1}^{0} \cos(\omega t + \gamma_{vn1}) + 2\omega \mathbf{V}_{n2}^{0} \cos(2\omega t + \gamma_{vn2}) + 3\omega \mathbf{V}_{n3}^{0} \cos(3\omega t + \gamma_{nv3}) \\ &= \mathbf{A}_{n1}^{0} \sin(\omega t + \gamma_{an1}) + \mathbf{A}_{n2}^{0} \cos(2\omega t + \gamma_{an2}) + \mathbf{A}_{n3}^{0} \sin(3\omega t + \gamma_{an3}); \\ & \mathbf{A}_{n} = [\mathbf{A}_{n1}^{0} \quad \mathbf{A}_{n2}^{0} \quad \mathbf{A}_{n3}^{0}]^{\mathrm{T}} = [\omega \mathbf{V}_{n1}^{0} \quad 2\omega \mathbf{V}_{n2}^{0} \quad 3\omega \mathbf{V}_{n3}^{0}]^{\mathrm{T}}; \\ & \gamma_{an} = [\gamma_{an1} \quad \gamma_{an2} \quad \gamma_{an3}]^{\mathrm{T}} = [\gamma_{vn1} + \pi/2 \quad \gamma_{vn2} + \pi/2 \quad \gamma_{vn3} + \pi/2]^{\mathrm{T}}. \end{aligned}$$

Phương pháp 2. Dùng định nghĩa

$$A_n(t_i) = [V_n(t_i)]' = \frac{V_n(t_{i+1}) - V_n(t_i)}{dt}; i=1,2,...$$

Sử dụng phương pháp biến đổi trong miền tần số, dùng FFT để thu được các đặc tính của tín hiệu và loại trừ nhiễu bằng cách bỏ các tần số bậc cao, chọn ban đầu M_h tần số nhất định và sử dụng phương pháp 1. Phương pháp xác định đạo hàm theo định nghĩa sẽ không sử dụng vì có sai số lớn khi dùng tín hiệu có nhiễu.

Kết quả nghiên cứu mô phỏng trên MatLab.



Hình 3.18. Mô phỏng trong MatLab xác định tín hiệu gia tốc từ vận tốc đa hài, xác định, không nhiễu theo hai phương pháp



Hình 3.19. Sự sai lệch tín hiệu gia tốc từ vận tốc đa hài, xác định, không nhiễu theo hai phương pháp

Lập trình trong MatLab cho biến đổi *các dạng dao động vận tốc đa hài xác định, không có nhiễu sang dao động gia tốc*, sử dụng đầu vào là tín hiệu có 3 điều hòa, ta thu được đồ thị tính gia tốc từ hai phương pháp, được thể hiện trên Hình 3.18.

Độ sai khác trong trường hợp này không nhiều, hai đường hầu như trùng nhau. Trên Hình 3.19 thể hiện sự sai lệch giữa hai kết quả tính gia tốc theo hai phương pháp đã nêu trên.

Biến đổi các dạng vận tốc, đa hài xác định, không nhiễu sang chuyển vị

Tương tự với số liệu đầu vào như trên, ta lập trình trong MatLab và thu được kết quả mô phỏng cho hai phương pháp. Kết quả được thể hiện trên Hình 3.20. Sai lệch giữa hai phương pháp tính Hình 3.21.



Hình 3.20. Mô phỏng trong MatLab xác định tín hiệu chuyển vị từ vận tốc đa hài, xác định, không nhiễu theo hai phương pháp

Độ sai khác trong trường hợp này rất nhỏ, hai đường hầu như trùng nhau. Trên Hình 3.21 thể hiện sự sai lệch giữa hai kết quả tính gia tốc theo hai phương pháp đã nêu trên.



Hình 3.21. Sự sai lệch tín hiệu chuyển vị từ vận tốc đa hài, xác định, không nhiễu theo hai phương pháp

Đánh giá so sánh:

- Khi hai tín hiệu (dao động) gia tốc và chuyển vị được xác định theo tín hiệu vận tốc bằng phép toán vi phân và tích phân, nếu tín hiệu dao động vận tốc là dạng xác định, không nhiễu thì kết quả tính hai dạng tín hiệu dao động còn lại có độ chính xác cao, sự khác biệt của phép tính trong miền thời gian so với phép tính trong miền tần số (hàm số xác định chính xác) thể hiện tính quy luật của hai phép toán đạo hàm (sai số lớn) và tích phân (hội tụ, sai số nhỏ).

- Mức sai số cho phép tính chuyển vị từ vận tốc (theo phép tích phân) rất nhỏ, đạt 1.18% (khoảng 8E-3 m, cho tín hiệu $D_{max} = 0.676$ m), còn sai số tính gia tốc (theo phép vi phân) đạt mức 1.11%, khoảng ± 4 (m/s²) cho tín hiệu $A_{max} = 358.5$ m/s².

* Đối với tín hiệu đa hài, có nhiễu:

Tín hiệu đa hài, có nhiễu là trường hợp đặc trưng, đại diện cho các tín hiệu dao động đo thực tế. Theo kinh nghiệm của các chuyên gia xử lý tín hiệu, cũng như xét về bản chất của phép tích phân sẽ cho kết quả hội tụ (cộng trung bình các nhiễu). Còn khi áp dụng phép vi phân, sai số có thể rất lớn, nhiều trường hợp không thể chấp nhận được kết quả.

Trong xử lý tín hiệu đa hài, có nhiễu, luận án thực hiện trong miền tần số (Frequency domain) sau khi biến đổi tín hiệu đo qua công cụ toán FFT. Sai số

luôn tồn tại, song chỉ ở mức tần số cao (sai số khi phân tích dãy tín hiệu về dãy Taylor, cũng như dãy Fourier). Thực tế cho phép ta sử dụng một số hữu hạn (M_h) điều hòa đầu tiên. Phép biến đổi dạng tín hiệu chuyển vị - vận tốc - gia tốc thực hiện theo giải tích lượng giác đơn giản.

3.3.2.2 Lọc tín hiệu dao động ngang, dọc trong miền thời gian thực Dùng bộ lọc trung bình từ m lần lặp

Phương pháp lọc tín hiệu trong thời gian thực qua bộ lọc trung bình đã được xét tại mục xử lý tín hiệu dao động xoắn ở trên. Đo m lần lặp (m chu kỳ), và 1 chu kỳ đo trích N_a mẫu. Xác định véc tơ trung bình cho 1 chu kỳ với N_a mẫu. Ký hiệu A - gia tốc, S - biến dạng (Strain) theo mô hình cũng như thuật toán đã nêu ở mục 3.1.

$$\mathbf{A}_{\text{cc.a}} = \left[\mathbf{A}_{\text{cc.a}}(1), \mathbf{A}_{\text{cc.a}}(2), \dots, \mathbf{A}_{\text{cc.a}}(\mathbf{N}_{a}) \right];$$
$$\mathbf{A}_{\text{cc.a}}(j) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m} \mathbf{A}_{\text{cc.m}}(k, j);$$
$$\mathbf{S}_{\text{t.a}} = \left[\mathbf{S}_{\text{t.a}}(1), \mathbf{S}_{\text{t.a}}(2), \dots, \mathbf{S}_{\text{t.a}}(\mathbf{N}_{\text{st}}) \right];$$
$$\mathbf{S}_{\text{t.a}}(j) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{m} \mathbf{S}_{\text{tm}}(k, j)$$

 $A_{cc} \rightarrow t$ ín hiệu dao động gia tốc trong miền thời gian, m/s² $S_t \rightarrow t$ ín hiệu biến dạng (xoắn / dọc) trong miền thời gian. Trong Hình 3.22 gồm có:

Ftav-Acc.VI: Bộ lọc trung bình (ảo) cho tín hiệu dao động gia tốc
Ftav-St.VI: Bộ lọc trung bình (ảo) cho tín hiệu dao động biến dạng
Acci: Tín hiệu gia tốc đầu vào i; Acc.a: Tín hiệu gia tốc đã được lọc.
Sti: Tín hiệu biến dạng đầu vào; St.a: Tín hiệu biến dạng đã được lọc.



Hình 3.22. Sơ đồ cấu trúc bộ lọc trung bình các tín hiệu dao động cho GSRĐ

Dùng bộ lọc trượt trung bình (Slide-mean filter) của một véc tơ tín hiệu Tín hiệu đầu vào là: $\mathbf{V} = [V(1), ..., V(N)]$ Tín hiệu đầu ra sau bộ lọc: $\mathbf{V}_{\mathbf{f}} = [V_{\mathbf{f}}(1), ..., V_{\mathbf{f}}(N)]$ theo p=1, ta có $V_{\mathbf{f}(1)} = V(1); V_{\mathbf{f}(2)} = \frac{1}{3}(V(1)+V(2)+V(3));$

...V_{f(k)} =
$$\frac{1}{3}$$
 (V(k-1)+V(k)+V(k+1));...

Ta có các VI lọc trung bình trượt:

Ftsav-Acc.VI

Ftsav-St.VI



Hình 3.23. Sơ đồ cấu trúc VI lọc trung bình trượt cho tín hiệu rung động

Trong Hình 3.23 gồm có:

Ftsav-Acc.VI: Bộ lọc trượt trung bình (ảo) cho tín hiệu dao động gia tốc.
Ftsav-St.VI: Bộ lọc trượt trung bình (ảo) cho tín hiệu dao động biến dạng.
Acc.i: Tín hiệu gia tốc đầu vào i; Acc.sa: Tín hiệu gia tốc đã được lọc.
St.i: Tín hiệu biến dạng đầu vào; St.sa: Tín hiệu biến dạng đã được lọc.
Mô phỏng lọc nhiễu trong miền thời gian thực

Công cụ cho lập trình mô phỏng trên LabView rất tiện ích. Hiển thị đo trong miền thời gian được thể hiện trên đồ họa Graph - Real time. Tín hiệu rung đo được (mô phỏng) có nhiễu và đã lọc nhiễu qua bộ lọc (lọc trung bình hoặc lọc trượt trung bình). Giá trị rung động theo RMS, peak - peak; dạng tín hiệu gia tốc / vận tốc/ chuyển vị...

Tín hiệu được lọc trượt trung bình theo thuật toán sau đây (p=1):

$$yy(1) = y(1)$$

$$yy(2) = (y(1) + y(2) + y(3))/3$$

$$yy(3) = (y(2) + y(3) + y(4))/3$$

$$yy(4) = (y(3) + y(4) + y(5))/3$$

•••

Sau khi ta lọc tín hiệu được trích mẫu, cần xử lý tín hiệu có ích với mục đích xác định giá trị trung bình của tín hiệu trong một chu kỳ trích mẫu, tương ứng với chu kỳ công tác của động cơ, độ lệch lớn nhất các dao động của mô men xoắn (peak-to-peak) cũng như giá trị khai căn bình quân phương sai RMS của tín hiệu trích mẫu trong cả chu kỳ.

$$T_{\text{mean}} = \frac{1}{N_{s}} \sum_{i=1}^{N_{s}} \overline{T}_{i}, x_{\text{mean}} = \frac{1}{N_{s}} \sum_{i=1}^{N_{s}} \overline{x}_{i}$$
2. $T_{\text{peak-to-peak}} = \max\left(\left\{\overline{X}\right\}\right) - \min\left(\left\{\overline{X}\right\}\right)$

$$T_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N_{s}} \sum_{i=1}^{N_{s}} \overline{T}_{i}^{2}}; x_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N_{s}} \sum_{i=1}^{N_{s}} \overline{T}_{i}^{2}}$$

Xử lý tín hiệu trong miền thời gian cho ta biết mức độ trung bình bình phương của tín hiệu. Tuy nhiên giá trị này không có ý nghĩa nhiều nếu Quy phạm (tiêu chuẩn) không đòi hỏi.

Đối với tín hiệu dao động ngang đo trên bề mặt động cơ cũng như dao động dọc đo tại gối đỡ chặn, tín hiệu cần biến đổi về RMS và tính FFT, lọc 1/3-octave theo tiêu chuẩn đưa ra từ RMR, phiên bản 2014 [27].

3.3.2.3 Mô phỏng xử lý tín hiệu dao động FFT và 1/3-octave

* FFT và Order Analysis (Biến đổi Fourier nhanh và phân tích bậc điều hòa)

Tín hiệu được trích mẫu có dạng:

$$\mathbf{x} = [x(1), x(2), ..., x(N_s)]$$

được biến đổi FFT về dạng phổ tần, có sử dụng bộ lọc số. Kết quả của phép biến đổi FFT cho ta các đặc tính của tín hiệu rung động về:

(a) Biên độ - tần số;

(b) Công suất - tần số;

(c) Pha - tần số.

Theo yêu cầu của Quy phạm khi nghiên cứu dao động xoắn, cần đưa ra 12 bậc điều hòa đầu tiên khi động cơ máy chính là diesel 2 kỳ (bậc 1; 2;...,12), còn đối với diesel 4 kỳ, cần đưa ra 25 bậc điều hòa đầu tiên (bậc, 1; 2;...; 25).

Phụ thuộc vào mục đích nghiên cứu phát triển sau này, chúng ta có thể triển khai phân tích và hiển thị ba chức năng (a) \div (c) đã nêu trên, hoặc có thể bổ sung thêm một số tính chất khác theo thuật toán phù hợp sẽ xây dựng.

Phép biến đổi Fourier nhanh được đề cập đến trong nhiều tài liệu xử lý tín hiệu cũng như trong phần mềm ứng dụng, ví dụ như: MatLab, LabView. Trong LabView, phần mềm mô phỏng đã ứng dụng FFT và xây dựng VI ứng dụng như đã chỉ trong mục 3.3.1.

* FFT và 1/3-octave (Biến đổi FFT và lọc 1/3-octave trong miền tần số)

Trong gói phần mềm ứng dụng xử lý tín hiệu dao động và âm thanh (SVT, Sound and Vibration Toolkit) của hãng National Instrument, NI) tích hợp với LabView đã xây dựng sẵn mô đun xử lý octave. Việc sử dụng SVT vào mục đích xử lý tín hiệu dao động dọc và ngang để thu được các đặc tính 1/3-octave cần thiết theo RMR, phiên bản 2014 là thuận tiện, song có một số điểm cần lưu ý. Để làm rõ những điểm lưu ý này, chúng ta tìm hiểu các đặc điểm, khả năng làm việc của mô đun xử lý 1/3-octave đã được xây dựng.

Biểu tượng (Icon) của thiết bị ảo VI -1/3 octave analysis được thể hiện trên Hình 3.24.



-90-

Tín hiệu vào được tích hợp đơn vị kỹ thuật tương ứng (Scaled signals, EU -Engineering Unit) theo tiêu chuẩn IEC 1260. Tín hiệu vào xây dựng đơn kênh hoặc N kênh.

VI 1/3-octave được tích hợp trong Code lập trình (BD) phân tích tín hiệu dao động ngang, được thể hiện trên Hình 3.25 dưới đây:



Hình 3.25. Xây dựng Code VI phân tích 1/3-octave của SVT

Giao diện lập trình của VI SVT Third-octave Analysis (phân tích 1/3octave) được thể hiện dưới Hình 3.26.



Hình 3.26. Cấu trúc của Code VI phân tích 1/3-octave

Trong đó:								
reset filter (F)	Đặt lại bộ lọc (F)	filter settled?	Cài đặt bộ lọc					
restart averaging (F)	Khởi tạo tính trung	\neq samples to	≠Trích mẫu					
	bình (F)	settle						
scaled signal (EU)	Hiệu chuẩn tín hiệu	octave spectra	Phổ octave					
	(EU)							
frequency range	Dải tần số	units lebels	Đơn vị đo					
error in (no error)	Sai số đầu vào	octave info	Thông tin octave					
averaging type	Kiểu tính trung bình	error out	Sai số đầu ra					
exp avg settings	Thiết lập hàm mũ	total band	Tổng công suất					
	trung bình	powers	băng tần					
equal confidence	Mức tần số [dB]							
level [dB]								
dB On (T)	Chu kỳ (T)							

Thiết bị ảo thành phần: kiểm tra tín hiệu vào có cấu trúc tín hiệu vào/ ra như dưới Hình 3.27.



Hình 3.27. Đầu vào/ra của VI thành phần kiểm tra tín hiệu vào

Thiết bị ảo thành phần: xử lý tín hiệu vào dạng 1/3 - Fractional Octave có cấu trúc tín hiệu vào/ ra như Hình 3.28.



Hình 3.28. Cấu trúc vào /ra của VI xử lý tín hiệu về dạng 1/3-Fractional Octave

VI phân tích tín hiệu octave một hoặc N kênh này có thể xử lý tín hiệu phân tích FFT và lọc tần số dải băng thông octave, 1/2, 1/3 ...1/24-octave. Trong kỹ thuật dao động (Quy phạm RMR, phiên bản 2014) ta quan tâm đến thiết lập cấu hình cho 1/3-octave.

VI thành phần: Log View Octave, đầu vào/ vào có cấu như Hình 3.29



Hình 3.29. Đầu vào/ra của VI thành phần hiển thị

3.4. Mô phỏng ra quyết định giám sát rung động hệ trục diesel lai chân vịt 3.4.1. Mô phỏng ra quyết đinh giám sát dao đông xoắn tai chế đô giám sát

3.4.1.1 Đặt vấn đề bài toán ra quyết định trạng thái dao động xoắn

Triển khai đo dao động xoắn trên trục trung gian (TTG, IMS) tại các chế độ vòng quay khác nhau và so sánh với giá trị ứng suất xoắn cho phép tại từng chế độ khai thác đó, nếu ứng suất xoắn thu được tại thời điểm đo tương ứng với chế độ vòng quay của trục $\lambda = n/n_{nor}$.

Với cách đặt vấn đề như trên, trên màn hình hiển thị kết quả giám sát dao động xoắn cần hiển thị các thông số sau đây:

- Vòng quay khai thác n (vòng/phút), n_{nor} (vòng/phút);
- Vòng quay khai thác tương đối λ ;
- Giá trị ứng suất của đoạn trục đo (TTG), TP (MPa);
- Giá trị ứng suất cho phép đối với TTG, (PTP, MPa) tương ứng với:
- + Đường kính ngoài, đường kính trong (mm) của trục;
- + Mô đun đàn hồi $E(N/mm^2)$;
- + Hệ số Patxong (v);

+ Hệ số hình dáng trục Ck.

Thông tin đánh giá TP có dưới mức cho phép hay không?

3.4.1.2 Thiết bị ảo ra quyết định trạng thái dao động xoắn

- Đầu vào cho quyết định trạng thái dao động xoắn được giám sát:

+ Trạng thái (giá trị) TP hiện hành (TP, λ) theo 0.5*giá trị peak-to-peak;

+ Giá trị ứng suất xoắn của đoạn trục đo (PTP, λ , k, d, E, ν).

Đầu ra: Thông báo bằng dòng chữ; đèn LED (XANH - dưới ngưỡng cho phép; ĐỔ - trên ngưỡng cho phép).

3.4.1.3 Ví dụ demo thiết bị ảo ra quyết định trạng thái dao động xoắn

Trên Hình 3.30 và **Error! Reference source not found.** thể hiện giao diện chính (Front Panel) và giao diện lập trình (Block Diagram) của VI xử lý tín hiệu đo dao động xoắn bằng tem biến dạng và ra quyết định giám sát mức độ dao động xoắn.



Hình 3.30. Giao diện chính của VI xử lý off-line tín hiệu DĐX trên đoạn trục trung gian hệ trục D-G tại PTN và ra quyết định giám sát mức độ DĐX tại vòng quay thử nghiệm

Đối với dao động xoắn, ra quyết định giám sát trạng thái ứng suất xoắn tại chế độ khai thác vòng quay so với giá trị ngưỡng cho phép, được đưa ra bởi Quy phạm hàng hải tương ứng về dao động xoắn [1],[27],[31].
Tại chế độ vòng quay khai thác được tính từ kết quả thử nghiệm n = 1488 vòng/phút, đoạn trục trung gian được hoán cải tại Phòng thí nghiệm của Viện nghiên cứu Khoa học & Công nghệ Hàng hải có đường kính 50 mm, vật liệu thép các bon, có ứng suất xoắn cho phép PTP = 45.17 MPa, trong khi đó ứng suất xoắn trên đoạn trục đo thực chịu tác động TP = 34.31 MPa.

Dao động xoắn nằm trong phạm vi cho phép, đèn báo đạt yêu cầu (màu XANH).



Hình 3.31. Giao diện lập trình của VI xử lý tín hiệu biến dạng xoắn trên đoạn trục trung gian của tổ hợp D-G tại Viện Nghiên cứu Khoa học và công nghệ Hàng hải

3.4.2. Xây dựng mô đun phần mềm ra quyết định trạng thái dao động gia tốc trên động cơ đốt trong

Mức dao động gia tốc cho phép đối với động cơ đốt trong ICE đã được xét tại Chương 2.

Tại chương này, luận án tập trung 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)). Như vậy ta đã có ngưỡng PVL-A và PVL-B tại từng tần số được phân tích, mà theo Quy phạm Đăng kiểm RMR [27], tần số được xét là giá trị tần số trung bình của bộ lọc 1/3-octave.

Xây dựng mô đun phần mềm ra quyết định trạng thái dao động gia tốc trên động cơ đốt trong

Trong đo và xử lý rung động chúng ta đã xác định được hai véc tơ: tần số và biên độ trung bình 1/3-octave ở chế độ đo hiện tại (giám sát). Véc tơ tần số này thường có dải tần khác so với véc tơ tần số trung bình cho phép tham chiếu (Reference) đã được xét ở trên theo Quy phạm Đăng kiểm RMR [27]. Ta cần xây dựng thuật toán để triển khai xây dựng thiết bị ảo ra quyết định cuối cùng hiển thị mức độ dao động hiện hành và báo động khi vượt qua ngưỡng cho phép.

Thứ tự thực hiện như sau:

Bước 1. Nhập các véc tơ tần số trung bình ở trạng thái hiện tại đang giám sát cho động cơ diesel được dùng cho phân tích 1/3-octave. Giả thiết véc tơ tần số này được viết dưới dạng:

$$\mathbf{F}_{cf} = \left[F_{cf}(1), \dots, F_{cf}(N) \right]; N = \max\left(\text{size}(F_{cf}) \right)$$

Xác định mức dao động cho phép ngưỡng A và B theo mô hình toán cũng như phần mềm đã xây dựng tương ứng, xác định biên độ ngưỡng A và B tại từng tần số $F_{cf}(k)$:

$$PVLA=W_{1}(S, F_{cf}(.)); PVLB=W_{2}(S, F_{cf}(.));$$

ở đó S là hành trình piston, $F_{cf}(.)$ - biến tần số đưa vào để xác định ngưỡng cho phép A và B.



Hình 3.32. VI con kiểm tra mức độ rung động theo hai ngưỡng A và B

Bước 2. Giá trị dao động ở trạng thái hiện hành, tại từng bậc tần số k, so sánh với các ngưỡng tương ứng vừa xét ở bước 1. Kết quả so sánh (chung) tại mức A ký hiệu **RA**. Giá trị **RA** = 1 hoặc 0. Tương tự cho kết quả **RB**, đối với mức dao động B.

Bước 3. Đánh giá kết quả cuối cùng RA và RB.

Nếu $\mathbf{RA} = 1$ thì trạng thái rung động của máy tốt, dưới ngưỡng A. Nếu $\mathbf{RA} = 0$ và $\mathbf{RB} = 1$, trạng thái rung động ở mức cho phép, khai thác an toàn.

Ngược lại, nếu $\mathbf{RB} = 0$ trạng thái dao động vượt qua ngưỡng cho phép B, cần chú ý khai thác và có biện pháp khắc phục nguyên nhân gây ra rung động. Sự cố có thể xảy ra bất kỳ lúc nào.

Trên phần mềm con gồm giao diện chính (FP) và lập trình code (BD) cho ra quyết định (kiểm tra) mức dao động hiện hành (ở chế độ giám sát) so với hai ngưỡng cho phép A và B đã được xác định từ mô đun mềm tiêu chuẩn. Trên FP chỉ cần đưa vào hai véc tơ mức **PL1**, **PL2** cho phép A và B tương ứng với N tần số trong véc tơ trạng thái dao động hiện tại **x**. Phép đồng bộ hóa tần số chúng ta không cần bận tâm đến, vì phần mềm trong SVT đã đưa ra cụ thể các tần số trung bình của phép biến đổi 1/3-octave.

Hình 3.33 thiết bị ảo 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.



Hình 3.33. Thiết bị ảo đưa ra kết quả đánh giá trạng thái rung động hiện hành

Kết quả giám sát dao động ngang cho thấy mức dao động đo được đạt tiêu chuẩn cho phép, đèn LED chỉ báo màu xanh.

3.5. Kết luận chương 3

Chương 3, luận án đã mô phỏng trên cơ sở triển khai lập trình các mô hình toán và thuật giải tương ứng trên phần mềm nền LabView (sử dụng MathScript) hoặc trên MatLab (trong m.file) cho xây dựng tín hiệu đa hài (đầu vào) có nhiễu giả tín hiệu đo thực tế. Xây dựng các VI tạo tín hiệu gồm 12 điều hòa tương ứng cho tín hiệu dao động xoắn trên động cơ diesel hai kỳ, và tín hiệu 25 điều hòa cho mô phỏng tín hiệu dao động xoắn trên động cơ diesel 4 kỳ.

Triển khai mô phỏng: xây dựng các đặc tính giới hạn cho phép đối với các dạng dao động cơ bản được giám sát trên MDE và hệ trục chính diesel lai chân vịt (đo trên trục trung gian, trục chân vịt, trục đẩy) như: dao động xoắn, dao động dọc và dao động chung trên bề mặt động cơ.

Mô phỏng xử lý tín hiệu dao động theo mục tiêu giám sát 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. Các kết quả chỉ ra chất lượng bộ lọc trung bình phù hợp cho tín hiệu có mức độ nhiễu (độ sai số) nhỏ hơn AR = 5%. Khi có nhiễu lớn hơn, sử dụng 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 nhiễu nhỏ hơn AR = 15% đối với biên độ các điều hòa thu được, 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. Phần mềm có bản quyền, được cung cấp từ Đề tài Độc lập cấp quốc gia [13]. Xây dựng mô đun ra quyết định giám sát trạng thái dao động trên cơ sở tiêu chuẩn. Việc ra quyết định khá phức tạp vì triển khai so sánh tại tất cả các tần số, và trước đó cần nội suy giá trị cho phép (tiêu chuẩn) tại tần số tương ứng được giám sát, phụ thuộc vào chế độ vòng quay động cơ đang hoạt động.

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 đưa ra.

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

Trong chương này, luận án tập trung nghiên cứu chế tạo hệ thống đo, giám sát rung động đa kênh di động dùng cho động cơ diesel tàu biển và tiến hành thực nghiệm để kiểm chứng các thuật toán xử lý tín hiệu dao động, cho mô phỏng, cho thiết bị đo, giám sát rung động đã chế tạo. Các kết quả 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 hệ thống giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển

4.1.1. Yêu cầu kỹ thuật

Để đo, giám sát rung trên động cơ diesel tàu biển, ta cần có thiết bị đo, lưu trữ dữ liệu, hiển thị nhanh kết quả đo, đọc dữ liệu đã ghi để xử lý tín hiệu cho giám sát dao động (GSRĐ off-line). Thiết bị đo, đảm bảo chức năng trên là hệ thống đo đa kênh, đa chức năng, gồm kênh đo dao động xoắn trên trục quay, dao động dọc hệ trục và các dao động thẳng trên bề mặt các chi tiết tĩnh (không quay) của động cơ. Yêu cầu GSRĐ cho máy đang làm việc, đặc biệt là MDE cần có kênh đo vị trí (pha) của từng xy lanh để đánh giá tình trạng hoạt động, tình trạng kỹ thuật của các xy lanh. Như vậy, thiết bị đo, giám sát dao động tối thiểu cần có:

- Kênh đo pha 01 kênh
- Kênh đo dao động xoắn 01 kênh
- Kênh đo dao động dọc 01 kênh
- Kênh đo dao động thẳng 06 kênh
- (bệ động cơ, thân xy lanh, thân tuabin,...)

Để đáp ứng cho nghiên cứu thực nghiệm, GSRĐ trên MDE và hệ trục, sử dụng thiết bị đo dao động hiện đại đa kênh trên cơ sở công nghệ phần cứng của hãng NI (National Instruments, Hoa Kỳ), phần mềm xây dựng trên cơ sở

LabView và gói phần mềm dao động âm thanh (Sound and Vibration Toolkit -SVT) của hãng NI để phát triển và mở rộng, tích hợp sau này. Sơ đồ nguyên lý hệ thống đo, GSRĐ trong thí nghiệm được chỉ ra trong Hình 4.1.



Hình 4.1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống đo, giám sát rung động MDE

4.1.2. Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo, giám sát đa kênh dùng cho MDE

4.1.2.1 Sơ đồ khối cấu trúc của phần cứng

Sơ đồ khối các thành phần của hệ thống đo, GSRĐ MMMVS 10 kênh được chỉ ra Hình 4.2 gồm có ba thành phần chính:

- Khối cảm biến đo dao động và pha (BS), trong đó: BS - Block sensor (Khối các cảm biến gia tốc và pha), BA - Block accelerators (Khối các cảm biến gia tốc), BGS - Block strain gauges (Khối các cảm biến biến dạng gồm 2 tem biến dạng cầu Bridge-Stone).

- Khối tích hợp dữ liệu các kênh đo Block DAQ (B-DAQ), trong đó: DAQ 9234 - Bộ thu thập dữ liệu DAQ NI 9234 của hãng NI, gồm khung (chasis) cDAQ 9184 có 04 slot, chứa 02 DAQ 9234 (8 kênh). DAQ 9237 - Bộ thu thập dữ liệu đo biến dạng loại DSUB 4 kênh, gồm khung CDAQ 9191 phát sóng wifi, cắm 01 slot DAQ NI 9237(DSUB) - tín hiệu vào biến dạng. Modem - Tích hợp tín hiệu dao động (Analog từ CDAQ 9184) qua đường LAN và tín hiệu biến dạng dạng sóng wifi từ CDAQ 9191.

- CPU và thiết bị ngoại vi: CPU được nhận tín hiệu đo được theo đường LAN từ Modem và có chức năng xử lý tín hiệu.



Hình 4.2. Sơ đồ khối các thành phần của hệ thống GSRĐ 10 kênh

4.1.2.2 Phần mềm thu thập và xử lý tín hiệu đo

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, bao gồm: modul SWM₀₁ có chức năng đo, xử lý nhanh và hiển thị kết quả dao động đo được trong giám sát dao động hiện tại trên MDE; modul SWM₀₂ có chức năng đọc và xử lý rung cho giám sát dao động (offline) trên MDE; modul SWM₀₃ có chức năng lưu trữ kết quả đo, xử lý tín hiệu, tạo báo cáo, in ấn, modul SWM₀₄ lưu trữ cơ sở dữ liệu tham chiếu. Nội dung chi tiết của các modul được trình bày trong phụ lục PL2.

4.1.2.3 Tách tín hiệu dao động cho xử lý

Có chín tín hiệu cần được xử lý, trong đó có tám tín hiệu dao động và một tín hiệu pha. Cần phải tách riêng từng tín hiệu để xử lý phục vụ cho mục đích giám sát. Nội dung chi tiết được trình bày trong phụ lục PL2.

4.1.2.4 Xử lý tín hiệu trong miền thời gian

Tín hiệu đo được nhờ có tín hiệu pha mà ta biết độ dài đoạn trích mẫu sẽ gồm một số chu kỳ trích mẫu T_s tương ứng với chu kỳ làm việc của động cơ. Điểm chú ý là đối với MDE hai kỳ, 1 chu kỳ làm việc tương ứng với 1 vòng quay, có nghĩa là tương ứng với khoảng thời gian giữa 2 xung (sườn lên) của tín hiệu pha. Ngược lại, đối với MDE 4 kỳ, để có đầy đủ 1 chu kỳ công tác của

động cơ ta cần 2 vòng quay, có nghĩa là chu kỳ trích mẫu T_s ở đây phải chọn khoảng thời gian giữa 3 sườn lên liên tiếp Hình 4.3.

Một tín hiệu đã lưu trữ được tách ra thành m đoạn dữ liệu lặp, mỗi đoạn tương ứng cho 1 chu kỳ làm việc của động cơ ở vòng quay nào đó (n, vòng/phút).



Hình 4.3. Xác định chu kỳ trích mẫu cho xử lý GSRĐ trên MDE

* *Lưu trữ các tín hiệu đo được:* Việc phân tích, thiết kế thiết bị ảo VI cho tự động đo, lưu trữ dữ liệu đo được vào file có định dạng phù hợp với LabView để sau này được đọc cũng từ môi trường LabView.

* *Lựa chọn định dạng cho báo cáo [12]:* Labview cung cấp cho người sử dụng 4 sự lựa chọn về kiểu báo biểu, đó là Standard, HTML, Word và Excel. Nếu ta muốn in báo biểu, có thể chọn giữa các kiểu Standard, Word hay là Excel. Nếu muốn gửi report qua email, ta phải dùng kiểu Word hoặc Excel.

4.1.3. Các thành phần cơ bản trong hệ thống đo, GSRĐ đa kênh

4.1.3.1 Phần cứng

Phần cứng được lựa chọn bao gồm: sensors, DAQ, CPU, monitor, printer và modem đều là thiết bị công nghiệp, có độ chính xác, tin cậy cao, có khả năng tích hợp trong hệ thống để làm nhiệm vụ GSRĐ trên MDE.

4.1.3.2 Phần mềm

Phần mềm đo, xử lý tín hiệu, giám sát rung động trên MDE được thiết kế trên Labview (NI), điều khiển các thiết bị ngoại vi như bộ cảm biến (BS), bộ thu thập dữ liệu (B-DAQ) kết hợp sử dụng phần mềm MatLab để tiến hành mô phỏng và giải các bài toán về mô phỏng số.

Phần mềm chung gồm các modul thành phần về: tiêu chuẩn mức độ rung động; đo, hiển thị nhanh, lưu trữ tín hiệu đo rung động; đọc và xử lý tín hiệu (trong miền thời gian, miền tần số - lọc nhiễu, FFT,1/3-octave, orders); ra quyết định trạng thái rung động; lưu trữ kết quả xử lý, báo cáo, in ấn; tích hợp chung các mô đun cho đo, phân tích rung động.

a. Phần mềm nhận dạng thiết bị ngoại vi

Phần mềm nhận dạng thiết bị ngoại vi NI-MAX tự động nhận dạng thiết bị ngoại vi bằng cách khởi động phần mềm NI-MAX và thiết lập cấu hình tương ứng.

b. Phần mềm đo, hiển thị kết quả xử lý on-line

Thiết bị ảo đo dao động xây dựng trong LabView, phù hợp với cấu hình của phần cứng dùng đo rung động. Về nguyên lý chung, khi thay đổi số lượng đầu đo, chúng ta chỉ thay đổi khai báo, cài đặt cấu hình cho hệ thống.

Trong quá trình đo, hiển thị nhanh đồng hành với quá trình đo và các tín hiệu rung đo được để người đo nhận biết được dạng của tín hiệu đó, đánh giá nhanh tín hiệu đo có đảm bảo chất lượng hay không, từ đó sẽ đưa ra quyết định đo tiếp (xác định số mẫu cần lưu trữ) hay điều chỉnh cài đặt, thiết lập cấu hình nếu có lỗi, sai sót ở khâu chuẩn bị.

Kênh đo pha cần hiển thị rõ các đường xung cho một số chu kỳ quay của trục. Phần mềm tự động tính và đưa ra giá trị vòng quay của trục theo sườn lên cũng như sườn xuống của các xung liên tiếp. Người đo sẽ nhập vào giá trị vòng quay thực đo qua kết quả kênh pha đưa ra. Khi đó đồ thị xung thu được sẽ ổn định (các xung thu được gần như đứng yên). Người đo sẽ lưu lại dữ liệu đo cho chế độ đã thực hiện.

Các dữ liệu đã được đồng bộ hóa và ghi theo các khối dữ liệu (Block Data) cho các kênh đo từ DAQ 9234 (pha và các kênh dao động gia tốc) và cho các kênh đo biến dạng (SG). Các khối này được ghi, lưu trữ vào hai file độc lập, và có tên ghi nhớ ngày giờ đo, chế độ đo,...

c. Phần mềm xử lý dao động off-line

Đọc các files dữ liệu đã đo, lưu trữ và tiến hành xử lý để đạt được các giá trị cần giám sát. Các VI cần nhận dạng đúng files dữ liệu cùng các chế độ đã thực hiện đo, các thông số đã thiết lập: số mẫu #S, tần số trích mẫu Fs (samples/s/channel), vòng quay khai thác (đã lưu và xác định từ tên file).

Xử lý tín hiệu đo tương ứng, căn cứ vào yêu cầu của tiêu chuẩn dao động cho phép để triển khai xử lý. Thông thường các tín hiệu được xử lý ở miền thời gian và tần số. Trong miền tần số thường dùng bộ lọc 1/3-octave (theo Quy phạm Đăng kiểm RMR, phiên bản 2014).

Giá trị các thông số quan trọng đã tính được từ số liệu đo, kết hợp với giá trị chuẩn (tham chiếu), phần mềm off-line có mô đun ra quyết định và hiển thị kết quả giám sát dao động off-line của dạng tín hiệu được giám sát.

4.1.4. Chế tạo các kênh đo

4.1.3.1 Kênh đo pha

Chế tạo kênh đo pha được thực hiện qua các bước: Lựa chọn cảm biến quang (Omron); chế tạo chi tiết phản quang; chế tạo bộ gá đặt cảm biến quang; kiểm tra, hiệu chỉnh thiết bị. Chi tiết thông số kỹ thuật được thể hiện trong phụ lục PL5.

4.1.3.2 Kênh đo gia tốc dao động

Chế tạo các kênh đo gia tốc bao gồm các bước: Lựa chọn cảm biến (sensor); chế tạo cáp dữ liệu; chế tạo đế nam châm gá đặt sensors; kiểm tra, hiệu chỉnh sensors. Chi tiết thông số kỹ thuật được thể hiện trong phụ lục PL5.

4.1.3.3 Các kênh đo biến dạng (xoắn, dọc)

Chế tạo các kênh đo biến dạng trên bề mặt trục được đo bao gồm các bước: Lựa chọn cảm biến (sensor) và dạng cầu đo; lắp đặt và đấu nối sensors với DAQ; gá buộc các bộ phận vào trục quay được đo; kiểm tra, hiệu chỉnh kênh đo. Chi tiết thông số kỹ thuật được thể hiện trong phụ lục PL5.

Việc lựa chọn kiểu loại cảm biến cho phù hợp với cấu hình chung của hệ thống là một là công việc phức tạp như lựa chọn loại cầu 1/4 bridge; 1/2 bridge hay full bridge, điện trở, bù nhiệt, vật liệu,... luận án lựa chọn sensor Showa - Nhật Bản. Đấu nối đầu dây dẫn giữa cảm biến và DAQ - Theo hướng dẫn của hãng NI cung cấp DAQ NI-9191 [50].

4.1.5. Đồng bộ hóa dữ liệu và tích hợp hệ thống

Bộ tích hợp và đồng bộ hóa dữ liệu các kênh đo dao động các kênh đo dao động từ hai bộ góp DAQ 9234 và DAQ 9237 (DSUB) được tích hợp và đồng bộ hóa theo thời gian đo, 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.

4.1.6. Hiệu chỉnh thiết bị

Hiệu chỉnh thiết bị rất cần thiết để đảm bảo rằng tín hiệu thu được là các tín hiệu mong muốn.

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 senser 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, vấn đề chống nhiễu cho sensor, kiểm tra điện trở của sensor, độ chắc chắn của dây dẫn tín hiệu...

4.1.7. Hiệu chuẩn thiết bị

- Thiết bị hiệu chuẩn bao gồm:

Hệ thống đo rung động cDAQ-9184; Thiết bị đo biến dạng và truyền wifi cDAQ-9191; Thiết bị đo pha và tốc độ của trục E3FA-DP11; 06 sensors rung động chuẩn công nghiệp IMI của NI. Các thiết bị 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.

- Kết quả hiệu chuẩn:

+ Hệ thống đo rung động cDAQ-9184: dải tần 0 đến 8000Hz, gia tốc \pm 50g (\pm 490m/s²).

+ Thiết bị đo biến dạng và truyền wifi cDAQ-9191 phạm vi đo biến dạng: 25mV/V đến 25mV/V.

+ Thiết bị đo pha và tốc độ của trục E3FA-DP11: Phạm vi đo: 0 đến 5000 r/min, tần số ra tương ứng 0 đến 83,3Hz.

4.2. Kết quả thực nghiệm đo, giám sát rung động tại phòng thí nghiệm4.2.1.Hệ thống đo, giám sát rung động trong phòng thí nghiệm

Hệ thống đo, GSRĐ đa kênh được chế tạo, dùng trong thí nghiệm 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 4.4.



Hình 4.4. Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo, GSRĐ đa kênh

4.2.2. Mô hình đối tượng phục vụ thực nghiệm đo, giám sát

Luận án xây dựng hai mô hình đối tượng phục vụ đo, giám sát gồm mô hình vật lý 1 (MHVL-1) và mô hình vật lý 2 (MHVL-2).

4.2.2.1 Mô hình vật lý 1

Sơ đồ mô hình vật lý 1 được chỉ ra trong Hình 4.5, gồm các chi tiết chính, thể hiện trong Bảng 4.1.

MHVL-1 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 va 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.



Hình 4.5. Sơ đồ MHVL-1 được sử dụng trong thí nghiệm



Hình 4.6. Hình ảnh MHVL-1 được sử dụng trong thí nghiệm kiểm tra và hiệu chỉnh MMMVS

Như vậy, trên MHVL-1 cho phép mô phỏng vật lý các dạng dao động ngang, biến dạng (uốn, xoắn), để lắp đặt các sensors cũng như nhận dạng thiết bị, cấu hình hệ thống, kiểm tra, hiệu chỉnh thiết bị đo trước khi lắp trên tàu thực.

STT	Tên chi tiết	Ý nghĩa phục vụ
1	Động cơ điện (EE)	Tạo nguồn rung động
2	Đoạn trục nối giữa EE - HP	Tạo mất cân bằng và lực cưỡng bức
3	Đề can phản quang	Đo pha
4	Giá đỡ	Cố định senser đo pha
5	Tem biến dạng	Chuyển đổi tín hiệu vật lý sang điện
6	Thanh tạo biến dạng	Tạo nguồn biến dạng uốn, xoắn
7	Bơm dấu thủy lực (HP)	Tạo tải cho động cơ
8	Sensers đo gia tốc	Chuyển đổi tín hiệu vật lý sang điện
9	Bộ biến tần	Thay đổi tốc độ quay EE
10	$DAQ_1 NI (cDAQ9191)$	Phát wifi truyền tín hiệu
11	$DAQ_2 NI (cDAQ9184)$	Kêt nổi trực tiếp với modem

Bảng 4.1. Các thành phần cơ bản của MHVL-1

4.2.2.2 Mô hình vật lý 2

Mô hình là tổ hợp Diesel - Máy phát điện (D-G: Diesel - Generator) công suất 110 kW, động cơ diesel tàu thủy của hãng Weicha, 6 xy lanh, vòng quay khai thác định mức 1500 rpm. Động cơ diesel lai máy phát liên kết với bộ thử tải bằng bể nước - muối. Mô hình phục vụ nghiên cứu rung động, đặc biệt dạng dao động xoắn và dao động dọc, được chỉ ra trên Hình 4.7. Hệ trục nối giữa động cơ và máy phát (tương ứng với chân vịt) bằng đoạn trục có chiều dài 1000 mm, đường kính 50 mm. Do chiều dài trục lớn nên trục được đặt trên một bệ đỡ.

Với đoạn trục được nối, có chiều dài và đường kính phù hợp để triển khai đo dao động xoắn và dao động dọc dọc trục theo phương pháp biến dạng trên bề mặt đoạn trục trung gian (8).

Tất cả các thí nghiệm đều được giám sát dao động tại các kênh đo như nhau. Các dao động trên hệ động lực D-G được giám sát theo. Dao động trên các chi tiết tĩnh gồm dao động tại: bệ máy, phía dưới máy phát (Acc1); bệ đỡ trục trung gian (Acc.2); bệ máy, phần diesel phía dưới bánh đà (Acc.3 - FW); bệ máy, dưới xy lanh số 1 (Acc.4); trên nắp xy lanh số 1 (Acc.5); trên nắp xy lanh số 2 (Acc.6); trên nắp xy lanh số 6 (Acc.7) và trên nắp tua bin khí xả (Acc.8). Dùng bổ sung 01 tín hiệu đo pha để đánh dấu đoạn trích mẫu (Phase sensor); dao động trên trục trung gian, quay - đo bằng 02 Strain gauges (tem biến dạng).



Hình 4.7. Sơ đồ nguyên lý hệ trục D-G và khả năng lắp đặt thiết bị đo biến dạng trên đoạn trục được hoán cải

1 - Bệ máy; 2a - Lò xo đặt máy phát; 2b - Lò xo (nhún) đặt diesel;

2c - Gối đỡ trục trung gian; 3 - Thân diesel; 4 - Thân rô to (máy phát);
5a, 5b - Bích cứng; 6a, 6b - Đĩa bánh răng; 7 - Tem biến dạng; 8 - Đoạn trục trung gian; 9 - Cảm biến đo pha.



Hình 4.8. Hình ảnh MHVL-2 phục vụ cho thực nghiệm tại phòng thí nghiệm

MHVL-2 là tổ hợp D - G được hoán cải tại phòng thí nghiệm hệ động lực diesel thuộc Viện Nghiên cứu khoa học và công nghệ Hàng hải (Trường Đại học Hàng hải Việt Nam). Trên MHVL-2 có thể triển khai hầu hết các lắp đặt 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,...

4.2.3. Kết quả thực nghiệm

4.2.3.1 Thí nghiệm đo và lưu trữ dữ liệu đo

Theo kế hoạch, đo từng chế độ, hiển thị nhanh kết quả trên màn hình hiển thị, lưu dữ liệu để xử lý sau này.

Trên Hình 4.8 là hình ảnh thao tác đo dao động trong phòng thí nghiệm tại Viện Nghiên cứu khoa học và công nghệ Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam. Trên Hình 4.9 thể hiện giao diện chính tại một chế độ đo.

Nghiên cứu tại phòng thí nghiệm, các chế độ đo kiếm được tiến hành ở các vòng quay n (vòng/phút) khác nhau (từ n = $1200 \div 1500$ 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 GSDĐ off-line.



Hình 4.9. Giao diện hiển thị kết quả đo rung động

4.2.3.2 Đọc dữ liệu lưu trữ - Xử lý tín hiệu đo

Đọc dữ liệu từ file dữ liệu đã lưu lại theo địa chỉ đặt trước trong quá trình đo. Việc đọc được thực hiện bởi thiết bị ảo (VI đọc) phù hợp với định dạng dữ liệu đã được ghi. Trong LabView, dữ liệu đo được lưu trữ trong file dạng *.tdms dưới dạng bảng gần với bảng tính Excel.

Trên giao diện thể hiện tại Hình 4.10 dưới đây thể hiện nguyên tắc lựa chọn đoạn trích mẫu để cho xử lý tín hiệu rung cần đo.

Dữ liệu được trích mẫu và ghi lại có chiều dài hơn 2 chu kỳ làm việc của động cơ. Ta xử lý tín hiệu để thu được đúng 1 chu kỳ làm việc (2 vòng quay). Ta nhận thấy chu kỳ được trích mẫu có điểm bắt đầu và kết thúc được chỉ ra trong hình dưới, trên cơ sở đó ta xác địch được đặc tính của các tín hiệu rung động.

Số liệu xử lý cho thấy vòng quay khai thác được đo n = 1498 vòng/phút theo sườn trái, còn n = 1499 vòng/phút theo sườn phải, điều đó chứng tỏ thiết bị và thuật toán xác định vòng quay rất chính xác.



Hình 4.10. Giao diện chính phân tích pha tín hiệu trong xử lý tín hiệu TVs



Hình 4.11. Giao diện chính xử lý tín hiệu biến dạng xoắn ($\mu\epsilon$)



Hình 4.12. Giao diện chính xử lý tín hiệu mô men xoắn



Hình 4.13. Giao diện chính xử lý tín hiệu ứng suất xoắn



Hình 4.14. Giao diện chính xử lý tín hiệu biến dạng dọc ($\mu\epsilon$)

Khi đo ta đã gộp ('bó') dữ liệu vào thành file chung, nên khi đọc dữ liệu ra, ta cần tách dữ liệu ra thành các tín hiệu độc lập để xử lý.

Để đọc dữ liệu được đầy đủ và chính xác, chúng ta tìm hiểu cụ thể dữ liệu chứa bên trong các file dữ liệu đo được. Trong lập trình ghi dữ liệu, dữ liệu được lưu trữ trong hai file độc lập nhau, tương ứng với loại tín hiệu (ACC và STRAIN) cũng như cụ thể về số thứ tự của chúng (files dữ liệu được thể hiện trong phụ lục PL3).

Một số kết quả đo và GSRĐ tại phòng thí nghiệm trong phụ lục PL3.

4.3. Kết quả thực nghiệm đo, GSRĐ trên động cơ diesel tàu biển

Hệ thống đo, GSRĐ đã được triển khai thực nghiệm trên tàu biển, theo đó hệ động lực chính động cơ diesel lai chân vịt trên tàu Kiểm Ngư KN 375 được lựa chọn để thực hiện các phép đo và giám sát.

Một số thông số của máy chính trên tàu KN 375 được nhà sản xuất cung cấp như sau [46]:

+ Máy chính Yanmar 6EY26W lai chân vịt biến bước qua hộp số;

+ Động cơ diesel 4 kỳ, 6 xylanh thẳng hàng, có tăng áp bằng tuabin khí xả, làm mát gió tăng áp; Công suất 1920 kW tại vòng quay định mức 750 v/ph;

+ Đường kính xy lanh 260 mm; Hành trình piston 385 mm;

+ Áp suất có ích bình quân: 1.92 Mpa; Thông số hệ trục: Là loại truyền động gián tiếp thông qua hộp số, tỷ số truyền 2.23:1; Đường kính trục trung gian 250 mm, trục đặc bằng thép carbon.

Dựa vào kết quả tính DĐX từ nhà sản xuất Yanmar đã chỉ ra rằng:

+ Tâm dao động không nằm trên trục trung gian.

+ Biên độ dao động lớn nhất (cộng hưởng) tại 2 tâm (node 2) thuộc bảng tính tại chế độ vòng quay động cơ $n_E = 495$ vòng/phút, tương đương với vòng quay tại trục chân vịt là $n_p = 221$ vòng/phút.

Để có cơ sở so sánh, đánh giá với các kết quả tính toán trên, ta tiến hành đo, xử lý tín hiệu mô men xoắn trên hệ trục tàu KN 375 cũng tương đương với chế độ vòng quay như trên.

Ngoài ra, trên cơ sở số liệu đo được khi hệ trục khai thác ở các vòng quay khác, chúng ta cũng nghiên cứu dao động trên động cơ diesel máy chính theo một số vị trí đo khác nhau và theo các phương khác nhau.

4.3.1. Hệ thống đo, giám sát rung động trên tàu biển 4.3.1.1 Sơ đồ khối cấu trúc hệ thống đo

Hệ thống đo, giám sát rung động bao gồm các kênh đo như sau: Một kênh đo pha, một kênh đo dao động xoắn, một kênh đo dao động dọc, tám kênh đo dao động thẳng (bệ động cơ, thân xy lanh, thân tuabin,...)

Sơ đồ nguyên lý hệ thống GSRĐ triển khai trên tàu KN 375 được chỉ ra trên Hình 4.15.



Hình 4.15. Sơ đồ nguyên lý hệ thống giám sát rung động trên MDE

Trong đó: S₁, S₂, S₃, S_n, S_{n+1} - Các cảm biến đo dao động trên động cơ diesel và hệ trục chính diesel lai chân vịt; S_p - Cảm biến quang dùng để đo pha; DAQ₁: Bộ thu thập dữ liệu tín hiệu dao động ngang; DAQ₂: Bộ thu thập dữ liệu tín hiệu dao động dọc trên trục trung gian; CPU - Trung tâm xử lý tín hiệu (Central Processing Unit); Thiết bị hiển thị.

4.3.1.2 Vị trí các điểm đo

Thiết bị đo được sử dụng như thiết bị đo dùng trong thí nghiệm trên MHVL-2. Các cảm biến đo dao động xoắn và dao động dọc được dán trên trục trung gian, được chỉ ra trên hình dưới đây.

Trên trục trung gian được lắp thiết bị thu phát dữ liệu wifi cDAQ 9191, bộ góp dữ liệu DAQ 9237 và cảm biến biến dạng strain gauge đo dao động xoắn và dao động dọc cùng với thiết bị đo pha bằng phương pháp quang. Trên Hình 4.16 chỉ ra vị trí lắp đặt các tem biến dạng, cảm biến đo pha trên đoạn trục trung gian tàu KN 375, đóng mới tại Nhà máy đóng tàu Hồng Hà, Bộ Quốc Phòng năm 2017. Hình 4.17 thể hiện hình ảnh thực nghiệm đo, giám sát rung động trên tàu

KN 375 trong chuyến thử tàu đường dài. Trong thực nghiệm đo sử dụng 08 sensors đo gia tốc tại các vị trí: bệ máy, nắp xy lanh, tuabin khí xả.



Hình 4.16. Lắp đặt thiết bị đo trên tàu KN 375



Hình 4.17. Thực nghiệm đo và giám sát rung động trên tàu KN 375

Lắp đặt các cảm biến dao động gia tốc trên bề mặt động cơ diesel máy chính

Trong thực nghiệm, hệ thống đo sử dụng 08 cảm biến đo gia tốc để đồng thời nghiên cứu, khảo sát dao động trên bề mặt động cơ diesel máy chính tàu KN 375.

Dựa trên cơ sở khuyến cáo và chỉ dẫn của Đăng kiểm RMR, phiên bản 2014, vị trí lắp đặt thiết bị đo dao động xoắn trên trục trung gian; vị trí lắp đặt thiết bị đo dao động dọc tại gối đỡ chặn theo phương dọc X; vị trí lắp đặt thiết bị dao động ngang theo phương vuông góc với đường trục theo hướng dọc trục ZX

và hướng ngang trục ZY trên chi tiết tĩnh được thể hiện trên Hình 4.18, các sensors gia tốc đặt tại vị trí và theo các hướng thẳng đứng cũng như phương ngang, tại vị trí bệ đỡ, nắp xy lanh, tua bin khí xả; hai sensors 7 và 8 bổ sung thêm so với chỉ dẫn đưa ra trong Đăng kiểm RMR.



Hình 4.18. Vị trí và phương đo dao động ngang trên MDE

Như vậy cấu hình thiết bị đo các tín hiệu qua bộ góp DAQ-NI 9234 có 9 kênh: 01 kênh đo pha, 8 kênh đo ACC. Trong cDAQ 9184 cắm 3 slots để đo 12 kênh (3*4 =12 kênh), song trong thí nghiệm chỉ sử dụng 9 kênh, 3 kênh không sử dụng. Trong xây dựng phần mềm đo chỉ khai báo thiết lập cấu hình cho 9 kênh trên. Như vậy dữ liệu thu được và lưu trữ sẽ chỉ có 9 kênh đo.

4.3.2. Kết quả đo và lưu trữ dữ liệu dao động trong thử nghiệm đường dài

Hai dạng dao động: xoắn và ngang được thực 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 $n_E = 400 \div 750$ vòng/phút, phụ thuộc vào kế hoạch thử nghiệm của Hội đồng kỹ thuật nghiệm thu, thử nghiệm đường dài khi xuất xưởng tàu.

Trong quá trình đo và lưu trữ dữ liệu, thiết bị ảo VI được sử dụng xử lý nhanh tín hiệu pha để xác định vận tốc của động cơ, đưa ra số lượng mẫu cần ghi để đồng bộ hóa dữ liệu đo cũng như việc ghi dữ liệu được an toàn. Độ dài trích mẫu cần đủ lớn (lớn hơn 01 chu kỳ làm việc của động cơ, hay khoảng 03 vòng quay của trục đo).

Hình 4.19 là giao diện màn hình hiển thị kết quả đo, xử lý nhanh dao động trong thử nghiệm đường dài tàu KN 375. 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. Ta nhận 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 cần ghi lại.





4.3.3. Đọc, xử lý, giám sát rung động trong thử nghiệm trên tàu KN 375

Trên Hình 4.19 thể hiện kết quả đo pha, các dao động gia tốc đặt tại trục chính, bệ máy, nắp xy lanh và dao động xoắn, dao động dọc đo theo sensors biến dạng. Thử nghiệm được đo tại vòng quay n = 479 vòng/phút của động cơ. Tần số trích mẫu được thiết lập Fs (DAQ8234) = 2048 Hz.

Các kết quả đo, lưu trữ dao động trong thử nghiệm đường dài được thể hiện trong phụ lục PL4.

Do dạng dữ liệu được ghi trong quá trình đo *.lvm, nên trong cài đặt, khai báo VI đọc dữ liệu cũng cần đảm bảo sự tương ứng trong LabView.

Việc bố trí vị trí đo các tín hiệu dao động gia tốc (8 sensors) sẽ có các đặc tính, tính chất dao động thu được khác nhau, do vậy ta cần xác định vị trí đặt sensors tương ứng với kết quả lưu trữ dữ liệu được xử lý.



Hình 4.20. Tín hiệu dao động Acc-1 tại n = 479 vòng/phút (động cơ máy chính) xử lý bậc điều hòa

Các tín hiệu trong một chế độ đo vận tốc có thể trích mẫu tương ứng theo một chế độ, tuy nhiên về pha có thể lệch nhau nếu được lưu lại ở các chế độ vận tốc khác nhau (dù là rất nhỏ), song biên độ dao động của các điều hòa sẽ lệch nhau không nhiều (chỉ khác nhau do nhiễu). Về kết quả giám sát sẽ cùng một trạng thái dao động thu được ở một chế độ thử nghiệm. Theo kết quả xử lý thể hiện trên Hình 4.20, vì động cơ 4 kỳ, nên 2 vòng quay (2 xung) tương ứng 1 chu kỳ công tác. Theo tín hiệu pha được phân tích, chu kỳ công tác của động cơ được trích tương ứng. Phổ tần được thể hiện trên hình vẽ cũng như trên bảng tương ứng. Việc giám sát dao động gia tốc đối với tín hiệu Acc-4 có ý nghĩa nếu xác định được mức dao động có nằm trong giá trị ngưỡng nào? Muốn vậy, ta cần dựa vào tiêu chuẩn quy định tương ứng [27], như vậy, ta cần xử lý tín hiệu dao động theo dạng ngưỡng tương tự 1/3-octave. Trong phần nêu trên đã xây dựng phần mềm xử lý tín hiệu, luận án chỉ giới thiệu kết quả được xử lý trong các thí nghiệm tương ứng. Đối với trường hợp này, kết quả xử lý tín hiệu được thể hiện trên Hình 4.21 và đánh giá mức độ dao động theo đèn LED chỉ báo.



Hình 4.21. Kết quả xử lý tín hiệu dao động gia tốc Acc-4 và kết quả giám sát tại n = 479 vòng/phút

Trên Hình 4.21 chỉ ra kết quả giám sát biên độ gia tốc (ACC4), đơn vị đo dao động gia tốc và đại lượng tham chiếu REF đều đưa về EU: m/s^2 , qua tần số *f* (Hz) dao động được phân tích FFT và 1/3-octave. Mức dao động ngang cho phép PVL1(2) - Đèn xanh, chỉ ra mức độ dao động ngang (VL(f)) nhỏ hơn LLA(f) với mọi tần số *f* theo Đăng kiểm RMR, và VL(f) << LLB(f).

Bảng kết quả bên phải của Hình 4.21 - kết quả xử lý tín hiệu theo 1/3octave tại chế độ n = 479 vòng/phút cho tín hiệu Acc-4. Tương ứng với các tần số trung bình, chỉ ra mức dao động cho phép ngưỡng A và ngưỡng B. Kết quả chỉ ra: trong tất cả các tần số trung bình, biên độ thu được đều nhỏ hơn các giá trị tương ứng mức A, và kết quả chỉ báo: đèn mức A và mức B báo màu xanh.



Hình 4.22. Phân tích RT và FFT của Acc-4 tại n = 479 vòng/phút

Tương tự trong chế độ thí nghiệm này, n = 479 vòng/phút, kết quả xử lý dao động và giám sát dao động cho các tín hiệu Acc khác đều nằm trong giới hạn cho phép Hình 4.22.

Kết quả nghiên cứu để xử lý tín hiệu dao động gia tốc ở vòng quay khác cũng không khó khăn gì, chỉ việc thay đầu vào (file dữ liệu lưu trữ), ta có các kết quả nghiên cứu thực nghiệm tại các chế độ vòng quay khác, ví dụ vòng quay mà động cơ thực hiện cộng hưởng dao động xoắn n = 479 vòng/phút.

Xử lý tín hiệu dao động xoắn đo trên trục trung gian, chúng ta có kết quả μstrain, mô men xoắn cũng như ứng suất xoắn.

Trên Hình 4.23 xác định biên độ hài cao nhất ở hài điều hòa k = 10 của ứng suất xoắn đo được. Ứng suất xoắn đo tại vòng quay 215 vòng/phút trên trục trung gian nhỏ hơn ứng suất xoắn cho phép tại vòng quay này theo bảng tính của nhà sản xuất động cơ: CTP (215), $\tau = 1.83$ MPa << PTP(215) = 78.8 MPa, đèn LED hiển thị màu xanh, ở chế độ vòng quay trục trung gian nIMS = 215 vòng/phút (tình trạng dao động xoắn = chế độ cho phép).

Tốc độ vòng quay động cơ nE = 479.4 (vòng/phút) tương ứng với vòng quay của trục trung gian $n_{IMS} = 215$ (vòng/phút), vì n9.IME = 4.5*215 = 968 (vòng/phút); n10.IME = 5.0*215 = 1075 (vòng/phút). Kết quả chỉ ra hài điều hòa thứ k = 10 gần nút 2 của dao động xoắn tự do của hệ trục chính của tàu KN 375. Bên cạnh đó, chân vịt 5 cánh với thứ tự vòng quay chân vịt n5.Pr = 5.215 = 1075 (vòng/phút).

Xét mô men ứng suất xoắn với chân vịt 5 cánh, các hài thứ tự 5, 10 hoặc 15, đó là ở vòng quay trục rung gian $n_{IMS} = 215$ (vòng/phút), hài của mô men chân vịt có giá trị $5n_{IMS} = 1075$; $10n_{IMS} = 2150$ và $15n_{IMS} = 3225$ (vòng/phút). Do đó ở chế độ vòng quay $n_{IMS} = 215$ (vòng/phút) chân vịt chỉ gần cộng hưởng ở nút thứ 2 với k = 5.

Chi tiết được thể hiện trong phụ lục PL4.



Hình 4.23. Kết quả giám sát dao động xoắn trên trục trung gian tại $n_{IMS} = 215$ và $n_E = 479$ vòng/phút.

Xử lý tín hiệu dao động dọc đo trên trục trung gian, chúng ta có kết quả thể hiện theo μ-strain, lực dọc trục cũng như ứng suất dọc trục. Tuy nhiên, nghiên cứu dao động dọc trục ở đây khảo sát khả năng xác định lực đẩy động trên trục đo, còn ứng suất thường nằm trong phạm vi cho phép. Kết quả được thể hiện trong phụ lục PL4.

4.4. Kết luận chương 4

Chương 4 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, dao động dọc 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.

Hệ thống đo đa kênh hiện đại, xách tay, phù hợp cho tích hợp đo, GSRĐ đồng thời các dạng dao động xoắn, dao động dọc và dao động ngang. Thiết bị được hiệu chuẩn và được cấp giấy chứng nhận hiệu chuẩn, độ chính xác cao (95%) do các cơ quan chức năng của Việt Nam thực hiện.

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, $n_E=500$ rpm hoặc $n_E=479$ rpm.

Kết quả thử nghiệm và 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.

KÉT LUÂN

Kết luận

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.

Luận án thực hiện đầy 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.

Luận án đã 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, giám sát rung động 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.

MMMVS được thiết kế, chế tạo và thử nghiệm đo gồm ít nhất 6 cảm biến gia tốc, 1 cảm biến đo pha (có thể mở rộng đến 16 kênh đo tương tự), 2 tem biến dạng (có thể mở rộng tới 4 kênh đo biến dạng). Việc đồng bộ hóa các kênh tín hiệu được thực hiện qua mô đem truyền thông (Internet). Hệ thống là thiết bị đo đa kênh hiện đại, dạng di động.

Thí nghiệm hiệu chỉnh đã thực hiện trên hai MHVL-1, MHVL-2. Thực nghiệm trên tàu KN 375 đóng mới tại Công ty TNHH MTV đóng tàu Hồng Hà, 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 MPa << $[\tau]_1 = 78.8$ 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 (sử dụng SVT).

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 để 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 (dao động dọc, dao động xoắn) cũng như dao động ngang (thẳng) 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, chuyển giao công nghệ cho các đội tàu tàu vận tải biển sau này.

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, giám sát rung động đa kênh 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.
- [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 Khoa học Công nghệ Hàng hải - Số 43/2015.
- [3] Đỗ Đức Lưu, Lại 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.
- [4] Do Duc Luu, <u>Lai Huy Thien</u>, Luu Minh Hai, Cao Duc Hanh, "Studying, creating vibrosimulation on the dynamic pillows of the horizoltal dynamic balancing machine", in proceedings of the International Conference on Marine Science and Technology 2016, Hai Phong, Vietnam.
- [5] Đỗ Đức Lưu, <u>Lại Huy Thiện</u>, Lưu Minh Hải, Bùi Xuân Quỳnh, "Mô phỏng rung động máy rô to tàu thủy", Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải - Số 49/2017.
- [6] Đỗ Đức Lưu, Lại 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.
- [7] Do Duc Luu, Luong Cong Nho, Pham Xuan Duong, <u>Lai Huy Thien</u>, "*Research and build a multi-channel vibration measurement system for dynamic studying of the marine propulsion plants*", in proceedings of the 18th Annual General Assembly of the International Association of Maritime Universities, Varna, Bulgaria, 2017.

- [8] Lại Huy Thiện, Đỗ Đức Lưu, "Kiểm tra thiết bị đo và giám sát rung động đa kênh tại phòng thí nghiệm Viện Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Hàng hải - Trường Đại học Hàng hải Việt Nam", Tạp chí Giao thông vận tải, Số 5/2019.
- [9] Đỗ Đức Lưu, Lại Huy Thiện, "Giám sát rung động trên động cơ Diesel tàu biển", Sách chuyên khảo, NXB Hàng hải, 2019.
- [10] Do Duc Luu, <u>Lai Huy Thien</u>, "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, 2019.
- [11] Lại Huy Thiện. Chủ nhiệm đề tài 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] Lai Huy Thiện. Chủ nhiệm đề tài cấp trường (2017-2018), "Đo và phân tích các dạng dao động trên tổ hợp Diesel Deutz lai MPĐ công suất 110KW".
- [13] Lại Huy Thiện. Thành viên chính đề tài cấp Quốc gia (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 Nhớ làm Chủ nhiệm đề tài. MS. ĐTĐLCN 14-15.
- [14] Lại Huy Thiện. Thành viên chính đề tài cấp Bộ (2019), "Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống giám sát rung động trên động cơ diesel tàu thủy", do PGS.TSKH. Đỗ Đức Lưu làm chủ nhiệm, Trường ĐH Hàng hải Việt Nam chủ trì.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt:

- QCVN 21:2015/BGTVT. (2015). Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép (tr. 62-67). Bộ GTVT.
- 2. Giản Quốc Anh và Nguyễn Thị Hòa Trần Văn Hạnh, Trần Đức Tân. Xây dựng hệ phân tích rung động sử dụng cảm biến gia tốc vi cơ điện tử và chip xử lý số. Đại học SPKT Nam Định.
- Võ Minh Trí (2016), Khảo sát rung động máy phay CNC MINI TSV2013-33, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- 4. Lại Huy Thiện và Đỗ Đức Lưu (2016), 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). Đề tài NCKH cấp Trường. Đại học Hàng hải Việt Nam.
- 5. Đỗ Đức Lưu và Lê Văn Vang Hoàng Văn Sỹ (2016), Nghiên cứu mô phỏng sai số trong đo và xử lý tín hiệu mô men xoắn trên hệ trục chính diesel tàu thủy. Tuyển tập các công trình khoa học đăng trong Kỷ yếu hội nghị quốc tế về KHCN Hàng hải 2016, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam. ISSN: 978-604-937-127-1.
- Đỗ Đức Lưu (2009), Động lực học và chẩn đoán kỹ thuật bằng rung động diesel tàu thủy. Nhà xuất bản GTVT, Hà Nội.
- 7. Nguyễn Tiến Khiêm, Nguyễn Đình Kiên và Nguyễn Ngọc Huyên (2014), Lý thuyết dao động của dầm FGM trong miền tần số. Hội nghị Cơ học toàn quốc kỷ niệm 35 năm thành lập Viện Cơ học, tr. 93-98.
- Đỗ Đức Lưu (2006), Chẩn đoán diesel tàu biển bằng dao động xoắn đường trục, Luận án TSKH. Học viện Hàng hải Macarov - Liên bang Nga.
- Nguyễn Văn Khang (2005), Dao động kỹ thuật (in lần 4), NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- Đỗ Đức Lưu (2009), Động lực học và chẩn đoán diesel tàu thủy bằng dao động, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.
- 11. Đỗ Đức Lưu (2019), Dao động xoắn hệ trục diesel máy chính lai chân vịt trên tàu biển hiện đại, NXB Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- 12. Đỗ Đức Lưu Lại Huy Thiện (2019), Giám sát rung động trên động cơ diesel tàu biển. Sách chuyên khảo. Nhà xuất bản Hàng hải. ISBN: 978-604-937-186-8.
- 13. Lương Công Nhớ và Đỗ Đức Lưu (2015), Báo cáo đề tài Độc lập cấp Quốc gia năm 2015. Nghiên cứu, xây dựng mô phỏng hệ động lực chính và trạm phát điện cho tàu biển chở hàng tổng hợp", Mã số ĐTĐLCN: 14/15
- 14. Đinh Đức Toàn (2018), Nghiên cứu đánh giá trạng thái rung động của tổ hợp động cơ điện lai máy nén piston trên tàu FPSO RUBY II. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Đại học GTVT Tp. Hồ Chí Minh.
- 15. Trần Văn Anh (2018), Nghiên cứu dự báo trạng thái rung động của tổ hợp động cơ điện - máy nén khí ly tâm tàu FPSO PTSC Lam Sơn. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật. Đại học GTVT Tp. Hồ Chí Minh.
- 16. Cao Hùng Phi (2012), Nghiên cứu độ ồn rung của hộp số ô tô tải được thiết kế và chế tạo tại Việt Nam. Luận án tiến sĩ. Đại học Bách khoa Hà Nội.
- QCVN 54:2015/BGTVT. (2015). Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và đóng tàu biển cao tốc. Bộ GTVT.
- QCVN 61:2013/BGTVT. (2013). Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về hệ thống kiểm soát và duy trì trạng thái kỹ thuật máy tàu (tr 14-20) Bộ GTVT.
- 19. TCVN 6371:1998. Rung cơ học của các máy quay có vận tốc 10:200 vòng/giây đo và đánh giá cường độ rung tại vị trí làm việc Bộ KH&CN.
- 20. TCVN 9229-3 (ISO 10816-3). (2012). Rung động cơ học Đánh giá rung động máy bằng cách đo trên các bộ phận không quay Phần 3: Máy công nghiệp công suất danh nghĩa trên 15 kW và tốc độ danh nghĩa giữa 120 r/min và 15000 r/min khi đo tại hiện trường.
- 21. Trần Văn Lượng (2000), Nghiên cứu dao động và cân bằng tại chỗ hệ rô to đàn hồi ở nhà máy điện. Luận án tiến sĩ. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- 22. Hoàng Văn Sỹ (2019), Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm thiết bị đo mô men xoắn và phân tích dao động xoắn động cơ diesel lai chân vịt. Luận án tiến sĩ. Đại học Hàng hải Việt Nam.

- 23. Lê Đình Tuân và Trần Hải (2015), *Kiểm soát dao động thân tàu khi thử tàu theo tiêu chí đáp ứng dao động*. Tạp chí phát triển KH & CN, tập 18, số K8 2015. Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM.
- 24. Phạm Minh Tâm và Nguyễn Thùy Dương Phạm Văn Hùng (2018), Nghiên cứu thiết kế hệ thống thiết bị đánh giá chất lượng làm việc cụm ổ trục chính máy công cụ CNC trên cơ sở khảo sát rung động theo tiêu chí mòn tổng cộng. Hội nghị Khoa học và Công nghệ toàn quốc về vơ khí lần thứ V -VCME 2018.
- 25. Nguyễn Hải (2002), *Phân tích dao động máy*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- 26. Nguyễn Thị Diệu Linh và Phan Thị Thu Hằng Bùi Thị Thu Hiền (2018), Nghiên cứu, thiết kế thiết bị đo rung động cho các máy công nghiệp. Tạp chí Khoa học công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, số 48.2018.

Tiếng Anh:

- 27. Russian Maritime Register of Shipping. (2014). Rules for Classification and Construction of Sea-going Ships. Volume 2. Part IX "Machinary". Chapter 9
 Vibrations of Machinary and Equipments. Vibration Standards. Chapter 11. Machinery Technical Condition Monitoring Systems. ISBN 978-5-89331-246-1.
- 28. ABS. (2015). Rules for building and classing Steel Ships. Part 4. Vessel system and machinary.
- ClassNK. (2017). Rules for Preventive Machinery Maintenance Systems. Chapter 3. Preventive Machinery Maintenance Systems.
- 30. DNV-GL. (2018). Rules for classification ships. Part 4. System & componets. Chapter 1 Machinery systems, general. Edit 2018.
- DNV-GL. (2011). Rules for classification of ship new building. Part 6 Chapter 15. Edit 2011. In DNV (Ed.). Germany.
- 32. Lloyd's Register Rulefinder. (2014). Rules and Regulations for the Classification of Ships. Part 5. Main and Auxiliary Machinery. Chapter 8. Shaft Vibration and Alignment.

- ClassNK (2015), Rules for Servey and Construction of steel ships. Part D. Machinary installation. Chapter 8. Torsional Vibrations of Shaftings. Chapter 18. Automatic and Remove Control.
- 34. ABS. (2006). Ship Vibration.
- 35. GL DnV (2016), "Rules for classification: Ships", *Ships for Navigation in Ice. Det Norske*, 726.
- 36. ISO 1940-1. (2003). Mechanical vibration Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state - Part 1: Specification and verification of balance tolerance.
- ISO 13373-2. Condition monitoring and diagnostics of machines Vibration condition monitoring - Part 2: processing, presentation and analysis of vibration data.
- ISO/TR 19201. Mechanical vibration Methodology for selecting appropriate machinery vibration standards (Working draft for Technical Report ISO/ TR 19201).
- IACS. (2008). Requirements concerning machinery installations.
 M53.Calculation of Crankshafts for I.C. Engines; M68. Dimensions of Propulsion shafts and their permissible torsional vibration stresses.
- 40. DNV-GL. (2011). Rules for classification of hight speed, light craft and naval surface craft. Part 6, Chapter 12. Edit 2011. Unpublished manuscript, Germany.
- 41. Jyoti K. Sinha (2002), *Health monitoring techniques for rotating machinery*., Thesiss PhD. School of enginnering University of Wales Swanse SA2 8PP. United Kingdom.
- 42. Andris Unbedahts (2016), Development of the acoustic diagnostic methodology for marine diesel engine technical condition, Riga technical university. Latvia.
- 43. Guang-Gun (2003), Axial Vibration Monitor, Korea, Busan.
- 44. Bently Nevada Products GE Energy (2005), "Gas Turbine vibration monitoring", *Applications Engineer*.

- 45. Adam Charchalis (2006), "A diagnostic system for marine gas turbin engines. Gdynia Maritime University. Gdynia, Poland".
- 46. Ltd Yanmar Co. (2016). The Calculation sheet for the torsional vibration.
 Rule NK Class, Work No R4B54801/54901, Draw No D3-51695-390B/391B date November 6th 2016. (For owner Vietnam Coast Guard, Hong Ha Shipyard, Ship No H222/K3000).

Tiếng Nga:

47. Корн Т. Корн Г. (2003), Справочник по математике для научных работников и инженеров. «Лань». Sách toán học tra cứu cho các nhà nghiên cứu khoa học và các kĩ sư., Nhà xuất bản Lanh, Liên bang Nga.

Website:

- 48. <u>www.Fluke.com</u>. Truy cập 16/5/2016.
- 49. <u>www.extech.com</u>. Truy cập 16/5/2016.
- 50. <u>http://www.ni.com/example/6511/en/</u>. Truy cập 24/5/2019.
- 51. http://www.Bretech.com. Truy cập 13/3/2015.
- 52. http://www.CTConline.com. Truy cập 05/8/2019.
- 53. <u>http://emin.vn/pcevms-504-may-do-do-rung-pce-vms-504-32303/pr.html</u>. Truy cập 06/8/2019.
- 54. <u>http://en.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BCel_%26_Kj%C3%A6r#Products</u>. Truy cập 12/8/2019.
- 55. <u>www.lutron.com</u>. Truy cập 09/01/2017.
- 56. <u>http://ni.com</u>. Truy cập 15/4/2015.
- 57. shear and torsional loads. Truy cập 10/04/2015 www.omega.com/faq/pressure/pdf/positioning.pdf. Positioning strain gauses to monitor bending axial.
- 58. <u>http://showa-sokki.co.jp/english/index_e.html</u>. Truy cập 15/4/2015.
- 59. <u>www.ia.omron.com</u> Truy cập 15/04/2017.
- 60. <u>www.kyowa-ei.com/eng/technical/notes/measurement/axis.html</u>. Torsional and Shearing Stress Measurement of Axis. Truy cập 10/04/2015.
- 61. <u>http://www.noisemeter.com</u>. Truy cập 08/3/2015.

PHỤ LỤC PL1 YÊU CẦU CỦA CÁC QUY PHẠM TRONG THẾ GIỚI VÀ TRONG NƯỚC VỀ PHÂN CẤP VÀ ĐÓNG TÀU BIẾN VỎ THÉP

PHỤ LỤC PL2 MÔ PHỎNG XỬ LÝ TÍN HIỆU

PHỤ LỤC 3 KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM ĐO, GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TẠI PHÒNG THÍ NGHIỆM VIỆN NGHIÊN CỨU KHOA HỌC CÔNG NGHỆ HÀNG HẢI

PHỤ LỤC PL4 MỘT SỐ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM ĐO VÀ GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN HỆ ĐỘNG LỰC CHÍNH ĐỘNG CƠ DIESEL LAI CHÂN VỊT TÀU KN 375

PHỤ LỤC PL5 CÁC THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA THIẾT BỊ

PHỤ LỤC PL6 BÁO CÁO TÍNH DAO ĐỘNG XOẮN

PHỤ LỤC PL7 CÁC GIÂY CHỨNG NHẬN VỀ THIẾT BỊ MMMVS

YÊU CẦU CỦA CÁC QUY PHẠM TRÊN THẾ GIỚI VÀ TRONG NƯỚC VỀ PHÂN CẤP VÀ ĐÓNG TÀU BIỂN VỎ THÉP

1. Các điểm đo rung động trên động cơ diesel tàu biển (MDE) theo Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga (RMR, phiên bản 2014)

Đo dao động thẳng trên động cơ tại các vị trí được chỉ ra trong Quy phạm Hàng hải Liên bang Nga, theo Quy phạm Đăng kiểm DNV



Hình PL 1.1. Các điểm đo rung động trên MDE

a) Diesel lai chân vịt; b) Tổ hợp D-G.
x - dọc trục khuỷu; z - trục thẳng đứng; y - trục thẳng, ngang (lật).

2. Quy phạm Đăng kiểm DNV, phiên bản 2011 về tiêu chuẩn rung động máy và đo rung động

Dùng đến:

- ISO 2041 "Khái niệm rung động và va đập"
- ISO 4867 "Đo, báo cáo dữ liệu rung động của tàu biển".
- ISO 4868 "Đo, báo cáo dao động cục bộ của cấu trúc tàu và thiết bị".
- ISO 10816-1-"Đánh giá rung động cơ học của máy, đo tại các chi tiết tĩnh".

Động cơ diesel:

Bảng PL 1.1. Tiêu chuẩn rung động máy theo Quy phạm Đăng kiểm DNV

A. Gối đỡ đường trục						
		Vận tốc	Được đo theo phương			
Tần số f:		1 - 200 Hz	ngang hoặc thẳng với tâm			
		\leq 5 mm/s	đường trục			
B. Động cơ diesel thấp tố	oc < 200 rp	m	L			
Tần số f:			1 - 200 Hz			
		Chuyển vị	Vận tốc			
Thăng		1 mm	10 mm/s			
Dọc		1 mm	10 mm/s			
Ngang		1.5 mm	25 mm/s			
Đo trên đỉnh chữ A phía c	uối động co	i				
C. Động cơ diesel thấp tố	bc > 200 rp	m				
Tần số f:		4 - 20	00 Hz			
Lắp đặt cứng	Lắp đặ	ặt trên gối đỡ	Được đo trên đỉnh và bệ			
			đỡ động cơ.			
D. Tua bin khí xả						
Tần số f:		4 - 20	00 Hz			
Toàn bộ công suất từ	V	Vận tốc	Gia tốc			
nhóm xy lanh cho tua						
bin khí xå						
Dưới 5 MW	4	-5 mm/s	2.5 g			
5 - 10 MW	5	0 mm/s	2.0 g			
Trên 10 MW	5	5 mm/s	1.5 g			
Đo tại đầu của máy nén.	Vượt quá 20	0% tiêu chuẩn cho	phép không tiếp tục chạy ở			
tốc độ đang khai thác.						
E. Diesel lai máy phát và mô tơ đẩy						
Tần số f:	4 - 200 Hz					
Vận tốc	18 mm/s					
Đo tại bất kỳ hướng nào t	rên các gối	đỡ chặn. Áp dụng	g cả trong trường hợp gối đỡ			
cứng và gối đỡ đàn hồi. R	ung động tr	ên 7 mm/s nên đư	ợc khảo sát.			

Cách đo:

- Việc đo được các chuyên gia có chứng chỉ về rung động đo dưới sự giám sát của kiểm định viên DNV.

- Vị trí đo được lựa chọn liên quan đến các tình huống rung động trên tàu.

- Việc đo sẽ được sử dụng phương pháp phân tích FFT trong miền tần số (phổ tần).

- Tham số phân tích:

+ Dải tần 1 - 200 Hz (trừ các thiết bị đặc biệt).

+ Tối thiểu 400 nét phổ.

+ Sử dụng chức năng cửa sổ để lọc giá trị biên độ của phổ tần cần thiết.

 + Đo ở chế động máy ổn định, trung bình lấy trong khoảng thời gian tối thiểu 30 giây.

 Dao động vận tốc đưa ra giá trị RMS. Các mức đo sẽ được xử lý giới hạn, vẽ đồ thị ở miền tần số cho các vị trí đo.

- Mẫu báo cáo: Bảng PL 1.2. đưa ra ví dụ báo cáo xử lý rung động.

Bảng PL 1.2. Báo cáo xử lý rung động

Nhập tên t	àu:					
Hệ thống	Vị trí	Kiểm tra	Giới hạn	Đo được	Biên	Ghi chú
			[mm/s]	[mm/s]	độ/Tần số	
					Max	
					Mm/s/[Hz]	

Điều kiện kiểm tra:

- Công suất ra đường trục $\ge 85\%$ công suất định mức.

- Việc đo phải chú ý đến tình trạng mặt biển không được ảnh hưởng đến kết quả đo.

- Điều kiện xếp hàng hóa hoạt động bình thường.

- Báo cáo việc đo sẽ được các thông tin sau:

+ Vị trí đo, giới hạn.

+ Điều kiện tải.

+ Điều kiện khai thác máy.

+ Thiết bị đo được sử dụng.

- Sau khi đo tiến hành báo cáo các thông tin sau:

+ Thông tin kỹ thuật về máy và tàu.

 + Điều kiện đo như: công suất ra, chân vịt và tốc độ máy, mớn nước, độ sâu, gió và tình trạng mặt biển.

+ Thiết bị đo được sử dụng bao gồm loại phân tích, chức năng cửa sổ lọc, thời gian trung bình.

+ Giải thích mức độ rung động.

3. Tiêu chuẩn mức độ dao động thẳng trên động cơ đốt trong (ICE) theo hành trình piston, Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga (RMR, 2014)

Tần số	Động cơ có hành trình piston, cm															
hình học		3	0 đến 70				71 đến	140		141	đến 24	0		Trên	240	
trung bình của	Giá trị vận tốc rung động cho phép															
dải bằng	Mức A M		Mức	в	Múr	A	Mức B		Mức A		Múre B		Múre A		Mức B	
thông 1/3 octave, Hz	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB
1,6	4	98	5,6	101	4	98	5,6	101	4	98	5,6	101	4	98	5,6	101
2	4	98	5,6	101	4	98	5,6	101	4	98	5,6	101	4,5	99	6,3	102
2,5	4	98	5,6	101	4	98	5,6	101	4,6	99	6,3	102	5,6	101	8,0	104
3,2	4	98	5,6	101	4,5	99	6,3	102	5,6	101	8,0	104	7,1	103	10	106
4	4	99	6,3	102	5,6	101	8,0	104	7,1	103	10	106	8,9	105	12,5	108
5	4,5	101	8,0	104	7,1	103	10	106	8,9	105	12,5	108	11	107	16	110
6,3	5,6	103	10	106	8,9	105	12,5	108	11	107	16	110	14	109	20	112
8	7,1	105	12,5	108	11	107	16	110	14	109	20	112	16	110	22	113
10	8,9	107	16	110	14	109	20	112	16	110	22	113	16	110	22	113
12,5	11	109	20	112	16	110	22	113	16	110	22	113	16	110	22	113
16	14	110	22	113	16	110	22	113	16	110	22	113	16	110	22	113
20	16	110	22	113	16	110	22	113	16	110	22	113	16	110	22	113
25	16	110	22	113	16	110	22	113	16	110	22	113	12,5	108	18	111
31,5	16	110	22	113	16	110	22	113	12,5	108	18	111	10	106	14	109
40	16	110	22	113	12,5	108	18	111	10	106	14	109	8	104	11	107
50	16	108	18	111	10	106	14	109	8	104	11	107	6,3	102	8,9	105
63	12,5	106	14	109	8	104	11	107	6,3	102	8,9	105	5	100	7,1	103
80	10	104	11	107	6,3	102	8,9	105	5	100	7,1	103	4	98	5,6	101
100	8	102	8,9	105	5	100	7,1	103	4	98	5,6	101	3,2	96	4,5	99
125	6,3	100	7,1	103	4	98	5,6	101	3,2	96	4,5	99	2,5	94	3,6	97
160	5	98	5,6	101	3,2	96	4,5	99	2,5	94	3,6	97	2	92	2,8	95

Bảng PL 1.3. Tiêu chuẩn mức độ dao động thẳng trên động cơ đốt trong

4. Tiêu chuẩn dao động cho tua bin máy chính, gối đỡ chặn, máy phát điện (do diesel hoặc tuabin lai), nồi hơi và các thiết bị trao đổi nhiệt, máy nén khí dạng piston (RMR, 2014).

Bảng PL 1.4. Tiêu chuẩn dao động cho tua bin máy chính, gối đỡ chặn, máy phát điện, nồi hơi và các thiết bị trao đổi nhiệt, máy nén khí dạng piston

	Т	uabin m và gối đ	áy chính lỡ chặn	5	và t	Nồi hiết bị ti	hơi rao đổi n	hiệt	Máy ph tuabin l	át điện c ai, các n	lo diesel náy do tu	lai, do abin lai		Máy né	n khí pis	ton
Tần số hình học trung bình của băng thông						Gi	á trị dao	động vật	n tốc cho	phép						
1/3 octav, Hz	Mú	rc A	Mú	c B	Mi	rc A	Mú	сB	Mi	ic A	Mú	rc B	Mú	rc A	Mứ	сB
	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB	mm/s	dB
1,6	1,5	90	2,5	94	3,5	97	5,6	101	1	86	1,6	90	2	92	3,2	96
2	1,9	92	3,1	96	3,5	97	5,6	101	1,3	88	1,9	92	2,5	94	4	98
2,5	2,4	94	3,8	98	3,5	97	5,6	101	1,5	90	2,4	94	3,1	96	5,1	100
3,2	3	96	4,8	100	4,4	99	7,1	103	1,9	92	3	96	4	98	6,4	102
4	3,7	97	6	102	5,6	101	8,9	105	2,3	93	3,7	97	5	100	38	104
5	4,6	99	7,5	104	7	103	11	107	2,9	95	4,6	99	6,2	102	10	106
6,3	5,7	101	9,3	105	8,8	105	14	109	3,6	97	5,7	101	7,9	104	12,5	108
8	7	103	11,5	107	10	106	16	110	4,5	99	7,1	103	10	106	16	110
10	8,8	105	14,5	109	10	106	16	110	5,6	101	8,9	105	10	106	16	110
12,5	11	107	18	111	10	106	16	110	7	103	11	107	10	106	16	110
16	11	107	18	111	10	106	16	110	7	103	11	107	10	106	16	110
20	11	107	18	111	10	106	16	110	7	103	11	107	10	106	16	110
25	11	107	18	111	10	106	16	110	7	103	11	107	10	106	16	110
31,5	11	107	18	111	10	106	16	110	7	103	11	107	10	106	16	110
40	11	107	18	111	10	106	16	110	7	103	11	107	10	106	16	110
50	8,8	105	14,5	109	8	104	12,5	108	7	103	11	107	10	106	16	110
63	7	103	11,5	107	6,3	102	10	106	7	103	11	107	7,9	104	12,5	108
80	5,7	101	9,3	105	5,2	100	8	104	7	103	11	107	6,2	102	10	106
100	4,6	99	7,5	104	-	-		_	5,6	101	8,9	105	5	100	8	104
125	-		-			_	_		4,5	99	7,1	103	4	98	6,4	102
160	-	_	-		-	_	-		3,6	97	5,7	101	3,1	96	5,1	100
200	-	_	_	_	_		-	_	2,9	95	4,6	99	2,5	94	4	98
250	-	-	-	_		-	-		2,3	93	3,7	97	2	92	3,2	96
320	-	1.000		-			-		1,9	92	3	96	1,6	90	2,5	94
400				_			-	_					1,3	88	2,1	92
500	-	_	-	_	-	_	-	_		_	_	_	1	86	1,6	90

5. Ứng suất xoắn giới hạn cho phép đối với trục trung gian, trục đẩy, trục chân vịt trong hệ trục chính diesel lai chân vịt (QCVN 21:2015/BGTVT)

Bảng PL 1.5. Ứng suất xoắn giới hạn cho phép đối với trục trung gian, trục

đẩy, trục chân vịt

Loại	(a) Diesel 4 kì thẳng hàng hoặc hình	(b) Diesel 2 kì hoặc 4 kì hình chữ
	chữ V, bố trí 45° hoặc 60°	V khác kiểu so với (a)
A	Vật liệu thép rèn (trừ thép không gỉ).	
A.1	Trường hợp xylanh cháy bình thường $\lambda \theta$	E (0.8 ÷ 1.05)
	Khi $\lambda \in (0.8 \div 0.9)$	Khi $\lambda \in (0.9 \div 1.05)$
	$\tau_1 = \frac{\tau_s + 160}{18} . C_k . C_d . (3 - 2\lambda^2)$	$\tau_1 = 1.38 \frac{\tau_s + 160}{18} . C_k . C_d$
Ghi	τ_s - Giới hạn bền kéo danh nghĩa của vật	liệu trục (MPa hay N/mm ²).

Loại	(a) Diesel 4 kì thắng l	hàng hoặc hình	(b) Die	esel 2 kì hoặ	c 4 kì hình chữ			
	chữ V, bố trí 4	5° hoặc 60°	۷	7 khác kiểu s	so với (a)			
chú	Trị số τ_s không được lớn hơn 800 MPa (600 MPa cho thép cacbon nói							
	chung) đối với trục trung gian, trục đẩy và 600 MPa đối với trục chân vịt và							
	trục ống bao làm bằng	vật liệu chống ă	n mòn h	oặc các vật l	iệu khác không			
	bị ăn mòn bởi nước biể	n.						
	C _K : Hệ số liên quan	đến kiểu, hình c	láng của	a trục được	quy định trong			
	QCVN 21:2015/BGTV	T, trang 64.						
	C _d : Hệ số liên quan đến	kích thước trục:						
	$C_d = 0.35 + 0.93d$	$^{-0.2}$ C _D = 0,35	+0,93.	$d^{-0,2}$				
	d: Đường kính trục (m	m).						
A.2	Trường hợp có 01 vài x	y lanh không chá	iy $\lambda < 0$.	8				
		$\tau_2 = 1, 7.\tau_1$	$/\sqrt{C_k}$					
B	Vật liệu thép không gỉ							
B.1	Trường hợp xylanh chá	y bình thường λθ	≡ (0.8÷	1.05)				
	Khi $\lambda \in (0, \mathbb{R})$.8 ÷ 0.9)		Khi $\lambda \in ($	0.9 ÷ 1.05)			
(7)	$\tau_1 = A$	$-B\lambda^2$		τ_1	= C			
Ghi	Tên vật liệu	А	•	В	С			
chú	SUSF 316	40.7		20.6	15.0			
	SUSF 316 SU	40.7		30.0	13.9			
	SUSF 316 L	37.6		28.3	14.3			
	SUSF 316L SU	57.0		20.5	17.5			
B.2	Trường hợp có 01 vài x	y lanh không chá	iy $\lambda < 0$.	8				
		$\tau_2 = 2.3 \tau_1.$	$\tau]_{TTG.1}$					

6. Ứng suất xoắn giới hạn cho phép đối với trục khuỷu DME $[\tau]_{TK}$ (QCVN 21:2015/BGTVT)

Bảng PL 1.6. Ứng suất xoắn giới hạn cho phép đối với trục khuỷu DME

	(a) Diesel 4 kì thẳng hàng hoặc chữ V, góc nổ 45° hoặc 60°	(b) Diesel 2 kì hoặc 4 kì chữ V khác so với kiểu (a)
	Khi $\lambda \in (0,8 \div 1); \ \tau \leq \tau_1$	
(1)	$\tau_1 = 45 - 24\lambda^2$	$\tau_1 = 45 - 29 \lambda^2$
	Khi $\lambda < 0.8; \tau \leq \tau_2$	

	(a) Diesel 4 kì thẳng hàng hoặc	(b) Diesel 2 kì hoặc 4 kì chữ V khác so với
	chữ V, góc nổ 45° hoặc 60°	kiểu (a)
(2)		$\tau_2 = 2 \tau_1$
	Khi $\lambda \in (1,0 \div 1,15); \tau \leq \tau_3$	
(3)	$\tau_3 = 21 + 237 (\lambda$	$\tau_3 = 16 + 237(\lambda - 0.8)\sqrt{\lambda - 1})$
	$(-0,8)\sqrt{\lambda-1})$	
	Khi vật liệu có giới hạn chảy $Y \ge 1$	225 MPa, hay giới hạn bền vật liệu $T_s \ge 440$
	MPa, giá trị giới hạn $\tau_{1,}$ τ_{2} , τ_{3} sẽ đ	ược nhân với hệ số $f_m > 1$.
(4)	Đối với $\tau_{1,}$ τ_{3} : $f_{m} = 1 + \frac{2}{3} \cdot (\frac{T_{s}}{440})$	-1) $f_m = 1 + \frac{2}{3} \left(\frac{T_s}{440} - 1 \right);$ còn đối với τ_2 :
	$f_m = \frac{Y}{225} f_m = \frac{Y}{225}$	
	f _m : Hệ số hiệu chỉnh đối vó	i giới hạn cho phép của ứng suất dao động
	xoắn của vật liệu trục.	
	T _s : Giới hạn bền kéo danh n	ghĩa của vật liệu trục.
	Trị số T _s < 760 MPa, đối với	i thép rèn cacbon, hoặc
	T _s < 1080 MPa, đối vớ	ời thép rèn hợp kim thấp
	Y: Giới hạn chảy danh nghĩa	ι của vật liệu trục (MPa)

7. Mức dao động dọc (peak to peak) đối với động cơ hãng MAN B&W

Loại động cơ	Normal	Arlam (high)	Shut Down
L35 MC	1		
4 L35 MC	0.65	0.86	1.08
5L35 MC	0.80	1.06	1.33
6L35 MC	0.96	1.28	1.60
7L35 MC	1.13	1.50	1.88
8L35 MC	1.29	1.72	2.15
9L35 MC	1.44	1.93	2.41
10L35 MC	1.60	2.14	2.68
11L35 MC	1.76	2.35	2.94
12L35 MC	1.93	2.57	3.21
S35 MC	1	-1	
4 S35 MC	0.94	1.25	1.56
5S35 MC	1.17	1.56	1.96
6S35 MC	1.40	1.87	2.34
7835 MC	1.64	2.18	2.73
8S35 MC	1.88	2.50	3.13
9S35 MC	2.11	2.81	3.51
10S35 MC	2.34	3.12	3.90
11S35 MC	2.57	3.43	2.29
12S35 MC	2.81	3.74	4.68
S46 MC-C	1	-1	
7S46 MC-C	2.11	2.82	3.52
8S46 MC-C	2.50	3.34	4.17
S50 MC			
4S50 MC	1.23	1.64	2.05
5S50 MC	1.56	2.06	2.58
6S50 MC	1.85	2.46	3.08
7S50 MC	2.16	2.86	3.60
8S50 MC	2.46	3.28	4.10

Bảng PL 1.7. Mức dao động dọc đối với động cơ hãng MAN B&W

8. Tiêu chuẩn rung động cho gối đỡ chặn theo Quy phạm Đăng kiểm Hàng hải Liên bang Nga, phiên bản 2014



Hình PL.1.2. Tiêu chuẩn rung động cho gối đỡ chặn------giới hạn mức A;giới hạn mức B

Bảng PL.1.8. Tiêu chuẩn rung động cho gối chặn tại tần số trung bình 1/3octave

Tiêu chuẩn rung động gồi chặn	Vibration standards for thrust bearing					
Tấn số trung bình 1/3 Octave	Mı	írc A	Mú	rc B		
Geometric mean frequenciez of	Cate	gory A	Categ	gory A		
1/3-octave bands, Hz	mm/s	dB	mm/s	dB		
1,6	1,5	90	2,5	94		
2	1,9	92	3,1	96		
2,5	2,4	94	3,8	98		
3,2	3	96	4,8	100		
4	3,7	97	6	102		
5	4,6	99	7,5	104		
6,3	5,7	101	9,3	105		
8	7	103	11,5	107		
10	8,8	105	14,5	109		
12,5	11	107	18	111		
16	11	107	18	111		
20	11	107	18	111		
25	11	107	18	111		
31,5	11	107	18	111		
40	11	107	18	111		
50	8,8	105	14,5	109		
63	7	103	11,5	107		
80	5,7	101	9,3	105		
100	4,6	99	7,5	104		

MÔ PHỎNG XỬ LÝ TÍN HIỆU RUNG ĐỘNG

1. Đặc tính Giới hạn mức A và B theo tiêu chuẩn Quy phạm Hàng hải Liên bang Nga RMR, phiên bản 2014



Hình PL 2.1. Tiêu chuẩn rung động vận tốc (mm/s) giới hạn mức A và mức B theo tần số trung bình 1/3-octave



Hình PL 2.2. Mô hình hồi quy tiêu chuẩn rung động vận tốc (mm/s) giới hạn mức A theo tần số trung bình 1/3-octave cho hàm g₁(f)



Hình PL 2.3. Mô hình hồi quy tiêu chuẩn rung động vận tốc (mm/s) giới hạn mức A theo tần số trung bình 1/3 octave cho hàm $g_2(f)$

2. Mô hình toán các đặc tính giới hạn dao động ngang

- Véc tơ tần số trung bình 1/3-octave:

f = [1.6 2 2.5 3.2 4 5 6.3 8 10 12.5 16 20 25 31.5
40 50 63 80 100 125 160];

% kich thước của véc tơ f là: size(f) = (1, 21);

 Véc tơ giới hạn mức A ta ký hiệu là LA, giới hạn mức B: LB. Các chữ số 1 đến 4 cho các trường hợp hành trình piston của động cơ tương ứng S, cm.

% Khi S < 30 (cm);</pre> % LALV1= [4 4 4 4 4 4.5 5.6 7.1 8.9 11 14 16 16 16 $16 \ 16 \ 12.5 \ 10 \ 8 \ 6.3 \ 5];$ [4*ones(1,5)]4.5 5.6 LALV1= 7.18.9 11 14 16*ones(1,5) 12.5 10 8 6.3 5]; LBLV1 = [5.6 * ones (1, 5)]6.3 8.0 10 12.5 16 20 22*ones(1,5)]; LBLV1=[LBLV1 18 14 11 8.9 7.1]; % Khi S nằm trong đoạn 30 - 70 (cm); % LALV2= [4 4 4 4 4 4.5 5.6 7.1 8.9 11 14 16 16 16 $16 \ 16 \ 12.5 \ 10 \ 8 \ 6.3 \ 5];$

5.6 7.1 8.9 LALV2= [4*ones(1,5) 4.5]11 14 16*ones(1,5) 12.5 10 8 6.3 5]; LBLV2=[5.6*ones(1,4) 6.3 8.0 10 20 12.5 16 22*ones(1,5)]; LBLV2=[LBLV2 18 14 11 8.9 7.1 5.6]; % Khi S nằm trong đoạn 71 - 140 (cm); LALV3=[4 4 4 4.5 5.6 7.1 8.9 11 14 16 16 16 16 16 $12.5\ 10\ 8\ 6.3\ 5\ 4\ 3.2];$ LBLV3=[5.6 5.6 5.6 6.3 8.0 10 12.5 16 20 22 22 22 22 221; LBLV3=[LBLV3 18 14 11 8.9 7.1 5.6 4.5]; % Khi S nắm trong đoạn 141 - 240 (cm); LALV4=[4 4 4.6 5.6 7.1 8.9 11 14 16 16 16 16 16]; LALV4=[LALV4 12.5 10.0 8.0 6.3 5.0 4.0 3.2 2.5]; LBLV4=[5.6 5.6 6.3 8.0 10 12.5 16 20 22 22 22 22 22]; LBLV4=[LBLV4 18 14 11 8.9 7.1 5.6 4.5 3.6]; % Khi S lớn hơn 240 (cm); LALV5=[4 4.5 5.6 7.1 8.9 11 14 16 16 16 16 16]; LALV5=[LALV5 12.5 10 8 6.3 5 4 3.2 2.5 2]; LBLV5=[5.6 6.3 8.0 10 12.5 16 20 22 22 22 22 22]; LBLV5=[LBLV5 18 14 11 8.9 7.1 5.6 4.5 3.6 1.8];

3. Mô phỏng tín hiệu đa hài

Đoạn code viết trong m.file được thể hiện:

```
% Doan chuong trinh mo phong tin hieu da hai
A=[10 5 3]; gamma=[0 0 pi/6]; n=120; % rpm;
w0=pi*n/30; w=[1 2 3]*w0;
% Tinh tan so w(rad/s)
T=60/n;N=512; % Chia 1 chu ky thanh 512 mau
t=(1:N)*(T/N); V=zeros(1,N);
for k=1:N
    V(k)=0;
for j=1:3
    V(k)=V(k)+A(j)*sin(w(j)*t(k)+gamma(j));
end
end
```

```
Vn=V+1.5*rand(1,N);
% Ve do thi
plot(t,V,'b',t,Vn,'-r ', 'linewidth',2);grid;
ylabel(' V ')
xlabel(['Time (s) ']);
ylim([-20,20]);
legend('VS','VS+Noise');ni2=N-3-1;
title(['Vibro-signal and VS with noise:','Arand=1.5 '])
```

4. Mô phỏng trong MALAB - lập trình trong m.file tín hiệu đo rung

```
\% nhập V0k , \omega, \gammak .
     % nhập Mh là số các điều hòa.
     % nhập véc tơ V0 và pha gamma, gamma-radian.
     V0 = [V0(1), V0(2), ..., V0(Mh)];
     Gamma = [gamma(1), gamma(2), ..., gamma(M)];
     % nhập @ hay vòng quay n;
     % nhập n, Arand
     \omega = pi * n/30; T = 2 * pi/\omega; N = 258; dt = T/N; t
=(1:N)*dt;
     for m = 1:N
     for k = 1:M
     \omega \mathbf{k} = \omega \star \mathbf{k};
     V(k,m) = VO(k) * sin(\omega k * t(m) + gamma(k));
     end
     end
     Vn=V+Arand*rand(1,N);
     %Đổ thi tín hiệu Vn;
```

5. Mô phỏng lọc tín hiệu

```
%% Vi du 2-1, m.file cho bo loc truot trung binh,
x = 15*rand(150,1);
% Tín hiệu ngẫu nhiên: 1 cột 150 phần tử, Ar=15.
y = sin(x) + 0.5*(rand(size(x))-0.5);
% Tạo tín hiệu y ngẫu nhiên
y(ceil(length(x)*rand(2,1))) = 3;
yy1 = smooth(x,y,0.1,'loess');
```

```
yy2 = smooth(x, y, 0.1, 'rloess');
    % Vẽ đồ thị từ dữ liệu ban đầu và dữ liệu đã được
loc
    [xx, ind] = sort(x);
    subplot(2,1,1); plot(xx,y(ind),'b.',xx,yy1(ind),'r-')
    set(gca, 'YLim', [-1.5 3.5])
    legend('Original Data','Smoothed Data Using
''loess''',...
    'Location', 'NW')
    subplot(2,1,2); plot(xx,y(ind),'b.',xx,yy2(ind),'r-')
    set(gca, 'YLim', [-1.5 3.5])
    legend('Original Data', 'Smoothed Data
                                                  Using
''rloess''',...
    'Location', 'NW')
    %% Ví dụ 2-2, m.file loc tin hieu,
    Fs = 1000;
                                 % Sampling frequency
    T = 1/Fs;
                                  % Sample time
    L = 1000;
                                 % Length of signal
    t = (0:L-1) *T;
                               % Time vector
    % Sum of a 50 Hz sinusoid and a 120 Hz sinusoid
    x = 10*sin(2*pi*50*t) + 0.1*randn(size(t));
    y = x + 2*randn(size(t));
                                      % Sinusoids plus
noise
        yy1 = smooth(x, y, 0.1, 'loess');
        yy2 = smooth(x, y, 0.1, 'rloess');
    % Vẽ đồ thị từ dữ liệu ban đầu và dữ liệu đã được
loc
    tt=t(1:50); x1=x(1;50); y1=yy1(1:50); y2=yy2(1:50);
    plot(tt,x,'b.',tt,y1,'r-'); grid;
    legend('Original Data','Smoothed Data
                                                   Using
''loess''',...
    'Location', 'NW')
    plot(tt,x,'b.',tt,y2,'r-')
    legend('Original Data','Smoothed Data Using
''rloess''',...
    'Location', 'NW'); grid.
```

6. Mô phỏng số thực hiện trong MatLab, lập trình dưới dạng m.file để giải nghiệm cơ hệ dao động một bậc tự do như sau:

```
% Giai nghiem co he dao dong -1 bac tu do
% Vibration_1Freedom.m
% Nhap bien do phuc luc cuong buc Z0; w(rad/s) -
tan so cuong buc
% Z=Z10*exp(iwt)+Z20*exp(-iwt);
H1=w0^2-w^2+2*1i*csi*w;H2=w0^2-w^2-2*1i*csi*w;
Y1=Z10/H1;Y2=Z20/H2;
Y=Y1+Y2;
Biendo=abs(Y);
tta=angle(Y);
%Dua ra nghiem Bien do va pha (A, tt)
```

7. Tách tín hiệu

* Tách 06 tín hiệu dao động gia tốc cùng 1 tín hiệu pha.

Đầu vào có 02 files dữ liệu đo từ 02 bộ DAQ NI 9234 và DAQ NI 9237.

- 06 tín hiệu gia tốc và 01 tín hiệu pha được lưu trữ và đọc được đặt trong file tương ứng từ DAQ NI 9234. Giả thiết file này có tên Data-Acc-1.lv.

VI tách file dao động gia tốc có tên: Separate-Acc.VI.

Cấu trúc VI này có dạng (Icon Input - Output).



Hình PL 2.4. Cấu trúc VI tách tín hiệu dao động gia tốc

* Tách 02 tín hiệu biến dạng

Đầu vào là file dữ liệu biến dạng (strain) đã được lưu và đọc dữ liệu để

đưa vào xử lý. Ở đây chúng ta cần tách riêng ra từng tín hiệu biến dạng xoắn và biến dạng dọc. Sơ đồ nguyên lý VI tách 2 tín hiệu này có dạng:

Separate-strain.VI



Hình PL 2.5. Cấu trúc VI tách tín hiệu dao động biến dạng trên trục đo từ hệ động lực diesel tàu biển.

8. Sơ đồ cầu trúc phần mềm (Software - SW)

Hệ thống phần mềm được chia thành 04 gói (mô đun).

 SWM_{01} - Đo, xử lý nhanh và hiển thị kết quả dao động đo được trong giám sát dao động hiện tại trên DME.

 SWM_{02} - Đọc, xử lý rung cho giám sát dao động (off-line) trên DME.

SWM₀₃ - Lưu trữ kết quả đo, xử lý tín hiệu. Báo cáo. In ấn (print).

 SWM_{04} - Cơ sở dữ liệu tham chiếu.



Hình PL 2.6. Nguyên lý SWM₀₁ - Mô đun mềm đo, xử lý nhanh rung động



Hình PL 2.7. Nguyên lý SWM02 - Mô đun đọc, xử lý rung cho giám sát dao động (off-line) trên DME



Hình PL 2.8. Nguyên lý SWM04 - Cơ sở dữ liệu tham chiếu.



Hình PL 2.9. Mối quan hệ giữa các modules mềm trong thực hiện chức năng đo và giám sát dao động trên DME

KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM ĐO, GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TẠI PHÒNG THÍ NGHIỆM VIỆN NGHIÊN CỨU KH&CN HÀNG HẢI

1. Kế hoạch thực nghiệm tại phòng thí nghiệm

Bảng PL 3.1. Kế hoạch thực nghiệm tại PTN để đo và hiệu chỉnh MMMVS

STT	Nội dung	Thời gian
1	Chuẩn bị và hiệu chỉnh thiết bị đo	5 ngày
1	Lựa chọn cấu hình thiết bị đo cần thiết.	5 liguy
	Kiếm tra, hiệu chính module phân mêm thu đo: - Số người: 2	
	+ Người lập trình phần mềm	
	+ Người kiểm tra chức năng phần mềm	
	- Kiểm tra giao diện chức năng của phần mềm.	
2	- Lập trình hiệu chỉnh (nếu có).	2 ngày
2	- Kiểm thử phần mềm lần 1: Kiểm tra chức năng thuật	2 ligay
	- Hê thống hóa, tối ru cấu trúc chương trình	
	- Kiểm thử phần mềm lần 2° kiểm tra và hiệu chỉnh	
	hoàn thiện phần mềm cả về chức năng và giao diện để	
	đưa vào sử dung.	
	Kiểm tra, hiệu chỉnh module phần mềm xử lý dữ liệu:	
	- Số người: 2 + Người lập trình phần mềm	
	+ Người kiểm tra chức năng phần mềm	
	- Chuẩn bị thuật toán xử lý.	
	- Thiết kế giao diện chức năng phần mềm.	
3	- Lập trình.	2 ngày
5	- Kiểm thử phần mềm lần 1: Kiểm tra chức năng thuật	2 ligay
	toán và gỡ rồi.	
	- Hệ thống hóa, tối ưu câu trúc chương trình.	
	- Kiếm thử phần mềm lần 2: kiếm tra và hiệu chỉnh	
	hoàn thiện phần mêm cả vê chức năng và giao diện đê	
	đưa vào sử dụng.	
4	Thử nghiệm thu đo và lưu trữ dữ liệu rung động tại	5 ngày

STT	Nội dung	Thời gian
	PTN của Viện NCKH&CNHH, với các chế độ chạy:	
	- Số người: 3	
	 + Người vận hành máy chạy theo các chế độ. 	
	 + Người vận hành thiết bị đo và xử lý. 	
	+ Người vận hành phụ, lắp đặt.	
	- Vận hành thu đo trong chế độ 1.	
	- Kiểm tra, xử lý kết quả chế độ 1.	
	+ Kết quả tốt: tiến hành chạy thu đo chế độ khác.	
	 + Kết quả xấu: hiệu chỉnh lại module phần mềm. 	
	Xử lý dữ liệu rung động đo được và đưa ra kết quả	
	giám sát rung động (1 người):	
5	- Xử lý dao động xoắn.	5 ngày
	- Xử lý dao động dọc.	
	- Xử lý dao động gia tốc.	
6	Báo cáo kết quả đo và GSRĐ trong thử nghiệm rung	5 ngày
0	động trên hệ động lực D-G 110 kW (1 người).	Jingay

2. Kết quả đo tại phòng thí nghiệm



Hình PL 3.1. Hình ảnh đo dao động tại PTN của Viện NCKH&CNHH

📙 🛃 📮 PTN_100318			
File Home Share View			
\leftarrow \rightarrow \checkmark \uparrow \blacksquare \rightarrow This PC \rightarrow TAILIEU	u (g:) > Thinghiem-do-tau-thuc > [DATA_2018 > PTN_100318	\sim
🔚 Desktop	^ Name	Date modified	Туре
🗎 Documents	FIGS	21-Nov-18 10:35 P	File folder
🚺 Downloads	N000010000T	21-Nov-18 10:35 P	File folder
🜗 Music	N1000I50A	10-Mar-18 5:43 PM	File folder
🔚 Pictures	N1000I50C	10-Mar-18 5:43 PM	File folder
📳 Videos	N1200I50A	21-Nov-18 10:35 P	File folder
📞 Windows (C:)	N1200I50C	21-Nov-18 10:35 P	File folder
Sector DATA (D:)	N1200I100A	21-Nov-18 10:35 P	File folder
RECOVERY (E:)	N1200I100C	21-Nov-18 10:35 P	File folder
SETUP (E)	N1500I50A	21-Nov-18 10:35 P	File folder
	N1500I50C	21-Nov-18 10:35 P	File folder
STAILIEU (G:)	N1500I100A	21-Nov-18 10:35 P	File folder
0-DTDL.CN14-15	N1500I100C	21-Nov-18 10:35 P	File folder
DANG_MRI	N1500I150A	10-Mar-18 6:32 PM	File folder
Detai_GSRD_BGTVT(2018)	N1500I150C	10-Mar-18 6:32 PM	File folder
DETAI_ROBOT-2TAYSS	N12000I00A	21-Nov-18 10:35 P	File folder

Hình PL 3.2. Lưu trữ dữ liệu đo dao động tại PTN của Viện NCKH&CNHH

	А	В	С	D	Γ	Root Name	Title	Author	Date/Time	(
1	Root Name	Title	Author	Date/Time	(STRAIN_N1500I100A96.tdms		Luu Do Duc		
2	ACC_N1500I100A96.tdms		Luu Do Duc							
3						Group	Channels	Description	wf_xcolum	ns
4	Group	Channels	Description	wf_xcolumns		Untitled	3		One	
5	Untitled	8		One						
6						Untitled				
7	Untitled					Channel	Datatype	Unit	Length	1
8	Channel	Datatype	Unit	Length	1	Time	DT DATE	s	9(000
9	Time	DT_DATE	S	9216		Strain 0		Strain	9(000
10	Voltage_0	DT_DOUBLE	Volts	9216		Strain_0		Strain	0(100
11	Acceleration_1	DT_DOUBLE	g	9216		Juani_1	DI_DOOBLE	Jutami		100
12	Acceleration_2	DT_DOUBLE	g	9216		Implicit	Start	Interval	Length	
13	Acceleration_3	DT_DOUBLE	g	9216		Time	0	0.00002	90)00
14	Acceleration_4	DT_DOUBLE	g	9216						
15	Acceleration_5	DT_DOUBLE	g	9216						
16	Acceleration_6	DT_DOUBLE	g	9216						
17	Implicit	Start	Interval	Length						
18	Time	0	1.95313E-05	9216						
19										
I	► ► ACC_N1500I100A9	96.tdms (root) / Untitled 🥂]/		STRAIN_N1500I100A	96.tdms (roo	t) Untitled	/2	

Hình PL 3.3. Các kênh tín hiệu và độ lớn của dữ liệu đo

	A	В	С	D	E	F	G	Н	1
1	Time	Time*	Voltage_0	Acceleration_1	Acceleration_2	Acceleration_3	Acceleration_4	Acceleration_5	Acceleration_6
2	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0	-0.003368085	-0.392023333	-0.285016743	0.082152465	0.607855215	-0.656312761	-0.367511392
3	10-03-2018 06:30:57.002 PM	1.95E-05	-0.003237469	-0.360400076	-0.445713449	0.039687568	0.823729793	0.071507229	-0.371425329
4	10-03-2018 06:30:57.002 PM	3.91E-05	-0.003248456	-0.287853717	-0.397983997	0.000168157	0.737822989	0.310941603	-0.134932093
5	10-03-2018 06:30:57.002 PM	5.86E-05	-0.003112957	-0.142983091	-0.144877298	-0.030924164	0.689086371	-1.003830325	0.159141733
6	10-03-2018 06:30:57.002 PM	7.81E-05	-0.003124554	0.056199681	0.141957301	-0.091921582	0.866257442	-0.601058674	0.27833281
7	10-03-2018 06:30:57.002 PM	9.77E-05	-0.003166058	0.266466365	0.325820609	-0.226080274	1.048512519	0.447788357	0.269819554
8	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000117	-0.003201458	0.404682128	0.150553963	-0.379757383	0.850682527	-0.027155509	0.37075678
9	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000137	-0.003286298	0.396315196	-0.114504177	-0.44415663	0.321286173	-0.195121853	0.560475628
10	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000156	-0.003286908	0.31141338	0.056369814	-0.406014789	-0.106580851	0.481127899	0.573207367
11	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000176	-0.003299725	0.29524268	0.332020389	-0.345579258	-0.237972073	0.539253643	0.392266651
12	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000195	-0.003318036	0.304718858	0.242912672	-0.313914678	-0.339749225	-0.390731412	0.23007231
13	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000215	-0.003251507	0.213534369	0.029146339	-0.301416497	-0.609664779	-0.206206965	0.182413578
14	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000234	-0.003234417	0.038581105	-0.067147139	-0.272194694	-0.892630032	-0.030696569	0.061970138
15	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000254	-0.003116619	-0.166953287	-0.063252053	-0.197208049	-1.024082903	-1.23051615	-0.167199342
16	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000273	-0.003061687	-0.365909695	0.038989673	-0.102403436	-0.959901995	-0.806567092	-0.361299626
17	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000293	-0.003059856	-0.475043459	0.069297469	-0.020479526	-0.730240358	0.673699823	-0.410654418
18	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000312	-0.003115398	-0.447444115	-0.217122591	0.05248652	-0.477769979	0.371993314	-0.507371329
19	10-03-2018 06:30:57.002 PM	0.000332	-0.003093425	-0.339069372	-0.525809964	0.121236276	-0.26526663	-0.479862638	-0.707269588
10-1	► ► ACC_N1500I100	DA96.tdms (root) Untitle	ed / 💭 be					

Hình PL 3.4. Hiển thị các kênh tín hiệu đo gia tốc và pha

1	Time	Time*	Strain_0	Strain_1				
2	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0	-0.025251224	0.000214414				
3	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00002	-0.025251171	0.000214057				
4	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00004	-0.025248387	0.000215081				
5	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00006	-0.025250769	0.000215123				
6	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00008	-0.025251516	0.000215355				
7	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.0001	-0.02524851	0.000216714				
8	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00012	-0.025247189	0.000214712				
9	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00014	-0.0252476	0.000213949				
10	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00016	-0.025244908	0.000215308				
11	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00018	-0.025245854	0.000216118				
12	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.0002	-0.02524478	0.000213348				
13	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00022	-0.025242185	0.000215099				
14	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00024	-0.025240829	0.000214932				
15	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00026	-0.025241633	0.00021442				
16	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00028	-0.02524177	0.000211328				
17	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.0003	-0.025240024	0.000214164				
18	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00032	-0.025234583	0.000213717				
19	10-03-2018 06:30:57.168 PM	0.00034	-0.02523682	0.000214277				
I	I							

Hình PL 3.5. Hiển thị các kênh tín hiệu đo dao động biến dạng

MỘT SỐ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM ĐO VÀ GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG TRÊN HỆ ĐỘNG LỰC CHÍNH ĐỘNG CƠ DIESEL LAI CHÂN VỊT TÀU KIẾM NGƯ KN 375



Hình PL 4.1. Tín hiệu Acc-1 tại N=479 rpm (ME) và và xử lý bậc điều hòa



Hình PL 4.2. Kết quả xử lý tín hiệu Acc-1 và kết quả giám sát tại N479 rpm



Hình PL 4.3. Phân tích RT và FFT của Acc-4 tại N479 rpm



Hình PL 4.4. Kết quả GS rung động: 1/3-octave của Acc-4 tại N479 rpm

1. Kết quả xử lý tín hiệu dao động xoắn đo trên trục trung gian:



Hình PL 4.5. Xử lý tín hiệu pha dùng cho dao động xoắn, tại N479 rpm



Hình PL 4.6. Tại N479 rpm, Micro-StroStrain đo được và xử lý RT, FFT



Hình PL 4.7. Tại N495 rpm, Tosional Pressure được xử lý và giám sát

2. Kết quả xử lý tín hiệu dao động dọc đo trên trục trung gian:



Hình PL 4.8. Xử lý tín hiệu pha dùng cho dao động dọc, tại N479 rpm



Hình PL 4.9. Tại N479 rpm, đo và xử lý FFT axial microstrain



Hình PL 4.10. Tại N479 rpm, đo và xử lý FFT axial forces

CÁC THÔNG SỐ KỸ THUẬT CỦA THIẾT BỊ

1. Cảm biến quang của Hãng Omron, loại E3FA - DP11.

Cảm biến quang có nguồn điện DC độc lập cấp, có các thông số kỹ thuật cơ bản được quảng cáo từ nhà chế tạo như sau:

+ Loại: Thu phát phản xạ gương, phản xạ khuếch tán

+ Nguồn: 10 - 30 VDC ±10%

+ Khoảng cách phát hiện: 20 m, 15 m
(Loại thu-phát); 0,1- 4m, 0 – 500 mm (Phản xạ gương); 300 m,100 m, 1m (Phản xạ khuếch tán)

+ Vật phát hiện chuẩn: Vật mờ đục

+ Chế độ hoạt động: Light On/Dark On

+ Ngõ ra: NPN/PNP, dòng tải lớn nhất 100 mA

+ Thời gian đáp ứng: 0.5ms

+ Điều chỉnh độ nhạy: bằng vít chỉnh

+ Cấp bảo vệ: IP67

+ Tiêu chuẩn: IEC, CE, CCC

2. Bộ thu thập dữ liệu DAQ 9234

- Bộ thu thập dữ liệu DAQ NI 9234 của hãng NI, gồm khung (chasis) cDAQ 9184 có 04 slot, chứa 02 DAQ 9234 (8 kênh), 24 bit;



C Artisan Technology Group





PL/28

Bộ góp âm thanh và rung 4 kênh, tấc độ lấy mẫu 51,2 kS /s, điện áp ±5 V, NI - 9234 có thể đo tín hiệu từ cảm biến áp điện tích hợp (IEPE) và cảm biến không IEPE như gia tốc kế, máy đo tốc độ và khoảng cách đầu dò. NI - 9234 cũng tương thích với các cảm biến TEDS thông minh. NI - 9234 mang lại một dải động rộng và kết hợp với bộ điều hợp tín hiệu I/E có thể lựa chọn phần mềm và điều khiển tín hiệu IEPE.



3. Bộ thu thập dữ liệu DAQ 9237

Bộ thu thập dữ liệu đo biến dạng loại DSUB 4 kênh, 24 bit, 50k S/s/ch, nhiệt độ hoạt động -40 đến 70 ⁰C; có bù nhiệt và khả năng tương thích với tem dán loại: Quarter bridge, Half bridge và Full bridge, gồm khung CDAQ 9191 là loại thiết bị không dây, Wi-Fi, có thể dùng để lắp ghép với nhiều bộ đo khác nhau và có chức năng thu phát nhiều loại tín hiệu/cảm biến vào/ra dạng số hoặc tương tự khác nhau; Giao diện kết nối không dây chuẩn IEEE802.11b/g (Wi-Fi), mã hóa dữ liệu an toàn 128-bit AES và IEEE 802/11i (WPA2); Khả năng truyền tín hiệu 30m trong nhà, 100m khoảng không; Cổng Ethernet 10/100BASE-T/X; Tương thích với các loại phần mềm như LabView, C/C++, Visual basic...

Cắm 01 slot DAQ NI 9237(DSUB) - tín hiệu vào biến dạng.

Modem - Tích hợp tín hiệu rung động (Analog từ CDAQ 9184) qua đường LAN và tín hiệu biến dạng dạng sóng wifi từ CDAQ 9191.

Khung (Chasis) cDAQ9191; bộ thu tín hiệu DAQ-9237

Khung NI cDAQ-9191 là loại thiết bị không dây, Wi-Fi, có thể dùng để lắp ghép với nhiều bộ đo khác nhau và có chức năng thu phát nhiều loại tín hiệu/cảm biến vào/ra dạng số hoặc tương tư khác nhau.

+ Khả năng truyền tín hiệu 30m trong nhà, 100m khoảng không

+ Giao diện kết nối không dây chuẩn IEEE802.11b/g (Wi-Fi), mã hóa dữ liệu an toàn 128 - bit AES và IEEE 802/11i (WPA2)

+ Cổng Ethernet 10/100BASE-T/X

+ Tương thích với các loại phần mềm như LabView, C/C++, Visual basic...

4. Cảm biến (sensor)

Cảm biến đo rung động gia tốc Accelerators loại IMI (Mỹ).

Đây là sensor dạng Accelerometer chuyên dùng để giám sát độ rung của động cơ. Series 640 có kiểu thiết kế dạng 2 dây, cấp nguồn theo vòng loop và đầu ra 4-20mA chuẩn công nghiệp, phạm vi đo: 0.0 đến 10 g rms (0.0 đến 98.1 m / s² rms), dải tần số: (± 10%) 180 đến 60000 cpm (3 đến 1 kHz) và đặc biệt nó đã đạt được các chứng nhận ATEX và CSA, cho phép hoạt động trong những khu vực nguy hiểm.



Thiết bị hoạt động với điện áp nguồn cấp từ 12-30VDC và đầu ra có thể kết nối tới các hệ thống mạng thông dụng như PLC, DCS và SCADA.S640 có thiết kế chắc chắn, làm từ vật liệu thép chống rỉ với kết cấu nguyên khối. Thiết bị đã được kiểm nghiệm về khả năng chống rung và chống cháy nổ hết sức nghiêm ngặt. Dây dài 3-6m. Phương pháp gá đặt: Đế nam châm vĩnh cửu.

5. Tem biến dạng (Strain gauge)

+ Hãng Showa - Nhật Bản.

+ Loại Half brig
de. Điện trở 350 Ω \pm 0.3 %. Chiều dài 2mm. Hệ số GF
 = 2.05 \pm 2%

+ Độ nén nhiệt trên vật liệu thép 11 ppm/ 0 C (Đối với thép không rỉ 16 ppm/ 0 C, đối với nhôm là 23ppm/ 0 C)

+ Vật liệu lõi biến dạng là hợp kim Cu-Ni. Vật liệu nền cảm biến là polyimide.

+ Giới hạn nhiệt độ -30 đến + 180

PHỤ LỤC 6

BẢNG TÍNH DAO ĐỘNG XOẮN HỆ TRỤC CHÍNH SERI TÀU K3000 SỬ DỤNG DME BỐN KỲ YANMAR 6EY26W

軸 系 ね じ り 振 動 計 算 書								
THE CALCULATION SHEET FOR THE TORSIONAL VIBRATION DATE : 6 November 2016								
船主 : OWNNER : VIETNAM COAST GUARD 股								
造船所: DOCKYARD: HONG HA SHIPYARD 殿								
Marcolina Marcolina fill fill fill fill fill fill fill fill								
主機関形式:	<u> </u>			205				
<u>MAIN ENG. MODEL</u> : 滅速逆転機形式	6EY26W	(1920k₩ / 7	50min ⁻¹)					
REVERSE & REDUCTION GEAR M	ODEL : Scar	na Volda A.S.	ACG68/525/PF50	0-1				
PROPELER MODEL : CPP,	NUMBER OF BL	ADES 4, DIAM	ETER 2900 mm					
主機箭駆動機形式: ENG、P.T.O、DRIVEN MODEL:								
		5 100 3.0						
駆動バターン RUNNING MODE	滅速逆転機	主機前 クラッチ	連続使用回 BARRED SP	当建回転或 EED RANGE				
計算番号	クラッチ R/G CLUTCH	P. T. O.	回避回転域	危険次数				
CALCULATION SHEET NO.		CLUTCH	RANGE (min ⁻¹)	ORDER				
SEA GOING	嵌	無	無	NODE -				
D3-51695-390B (2/9~5/9)	ON	NOTHING	NOTHING	ORDER -				
航海時(N0.1 気筒減筒)		415	44	一節一次				
NO. 1 CYL. MISS FIRING CONDITION	ON RX	NOTHING	NOTHING	NODE -				
D3-51695-390B (6/9~9/9)				ORDER -				
中立時	脱	無	無	一節一次				
NEUTRAL Do 51605 2010 (0/4+ 4/4)	OFF	NOTHING	NOTHING	NODE -				
D3-51695-391B (2/4~4/4)				UNDER				
【注 記】 【CAUTION】 <u>1. ねじり振動計算上、使用回転域において、応力値、トルク値共に問題ありません。</u> <u>ACCORDING TO THE CALCULATION OF TORSIONAL VIBRATION, THERE IS NO PROBLEM</u> FOR THE STRESS AND TORQUE IN THE NORMAL USING SPEED RANGE.								
YANMAR CO.,LTD.								
約 約・ 約・ 約・ 約・								
NEX NEX : LARGE POWER PRODUCTS OPE. BUSINESS								
DEVELOPMENT DIV. ENGINEERING DIV., MARINE								
エ事番号: リーター 模 図 設 計 工事番号: SEC. MANAGER CHECKED DFSIGNED								
WORK NO. : R4B54801/54901	WORK NO. : R4B54801/54901							
図面番号: DRAW NO.: D3-51695-390B/391B - Bi Chargahi Labo S. Nichiwater								
機関要目 ENGINE DATA

機関形式 ENGINE MODEL : 6 E Y 26W

<u>定格出力 RATED OUTPUT : 1920 頃 定格回転数 RATED SPEED : 750 mini</u>
図示平均有効圧力 MEAN INDICATED PRESSURE: 2.637 MPa
<u>気筒数 NO. OF CYLINDER : 6 着火順序 FIRING ORDER : 1-3-5-6-4-2</u>
シリンダ径 CYLINDER BORE: 26.0 cm <u>ストロ</u> ーク STROKE: 38.5 cm
減速逆転機形式 R/G MODEL : Scana Volda A.S. ACG68/525/PF500-1
jj速比 R/G RATIO : 3.488
弾性維手形式 ELASTIC COUPLING MODEL: RATO-S G2911-BR2300 (For Propeller)
RATO-R K4925-BR2900 (For Shaft Generator)

.

Ca	l cu i	lation	Mode	:	Sea	Going	

		慣性モーメント	等価長	最小軸径	减速比
77番号	マス名称	INERTIA	EQE. LENGTH	SHAFT DIA.	REDUC.
MASS NO.	MASS NAME	[kg·cn·s ²]	{cm}	(cn]	RATIO
1 - 1	Engine Gears	34.67	15.10	21.20	1.00
1 - 2	Piston	143.78	19.50	22.00	1.00
1-3	Piston	143.78	19.50	22.00	1.00
1 - 4	Piston	143.78	19.50	22.00	1.00
1 - 5	Piston	143.78	19.50	22.00	1.00
1 - 6	Piston	143.78	19.50	22.00	1.00
1-7	Piston	143.78	16.60	25.00	1.00
1 - 8	Flywheel + Elastic Coupling	1244.50	3064.58	50.00	1.00
1 - 9	Idle Shaft + Elastic Coupling	187.93	73.18	16.00	1.00
1 - 1 0	Reduction Gear Input Shaft	212.81	41.91	50.00	1.00
1 - 1 1	Clutch	121.35	47.61	50.00	1.00
1-12	Gear	85.05	253.40	50.00	3.488
1 - 13	Reduction Gear Output Flange + Propeller Shaft	8.67	1447.48	22.00	3.488
1 - 14	Propeller	1186.03			
2 - 1	Shaft Generator	464.48	6326.87	50.00	0.495
2 - 2	Elastic Coupling	26.21	6326.87	50.00	0.495
2-3	Elastie Coupling	16.62	218.51	16.90	0.495
2 - 4	Gear	212.81			

DRAW NO. : D3-51695-390B (1/9)

1. HOLZE	R TABULATION									2. TORSIONAL VIBRA	TION STRESS	S DIAGRAM	
2	NODE FREQUENCY	495 C. P. M.	OMEGA SO	UARED	2688				AT T	HE NO. 9 SHAFT			
MASS INERTIA	AMPLITUDE 2) (Rad.)	INERTIA TORQUE (Kg. m)	TOTAL TORQUE (Kg. m)	EQU. LENGTH (cm)	TWIST (Rad.)	SHAFT DIA (cm)	STRESS (Kg/cm°2)	SHAFT NO.	ORD NUM	ER ENGINE. SPEED BER REV/MIN 5 990	AMPLITUDE DEGREES 0312	E STRESS Kg/cm ²	VEC. SUM
2 143.78	. 9999	3865	932 4796	15, 10 19, 50	. 0001	21. 20 22. 00	50 229	1 2	1.	5 330	0750	15	0219
4 143.78	. 9972	3854	8657 12512	19.50 19.50	. 0017	22. 00 22. 00	414 598	3					
6 143.78 7 143.78	. 9916	3833	16357 20189	19.50 19.50	. 0032	22. 00 22. 00	782 966	5					
8 1244.50	. 9837	32908	24007 56915	15. 60 3064. 58	. 0040	25. 00 50. 00	762 232	7 8	STRESS				
10 212.81 11 121.35	-, 7994 -, 8264	-4573	53073 64544	73. 18 41. 91	. 0388	16.00 50.00	6599 263	9	900	and the second division of the second divisio			
12 85.05 13 8.67	8559 -1. 0076	-1957	61648 59892	47. 61 253. 40	. 0294	50.00	252 244	11	800			for CONTINUOUS for PASS THROU	RUNNING GH RAPIDLY
14 1186.03	-1. 6711	-59657	-0	0.00	0. 0000	22. 00 0. 00	2853	13	600	OPER	ATING R	ANGE	
2 26.21	. 2724	192	16194 16386	6326. 87 6326. 87	1. 0246 1. 0367	50. 00 50. 00	65 67	31 32	500				
4 212.81	7994	-4573	16044 11471	218.51 0.00	. 0351 0. 0000	16. 90 0. 00	1693	33 34	300			\rightarrow	
NOTES POS MOD	TION OF BRANCH E: 2 POSITIO	N 110							100				
										300 406 5 ENGINE SPE CONTINU	ED (REV/M)	700 900 IN) SPEED 750 I	900 · ·
									ENGINEERING	DIVISION	CUSTONER		L. I
									DESIGNED	S. NISHIMATSU	WORK No.	R4854601	<u>B. No. I</u>
									CHECKED SEC. MANAGER	S. Clangeli	NAME	6EY26W (2610PS,	/ 750RPM
REMARKS: IN CA	SE OF GEARD SYS	TEM, THE EFFI -6 -2 -4 -	ECT OF GEA	R RATIO I	S TAKEN ACCOU	NT.			DATE DRAW, No. YANMAR CO., L	6 Nov 2016 D3-51695-3908() TD. LARGE POWER P	RODUCTS MW	THE CALCO THE TORSION	VAL VIBRATION

			-														
		1. 1	OLZER	TABULATION									2. 108	SIGNAL VIERAT	ION STRESS	DLAGRAM	
1			3 NO	OE FREQUENCY	1318 C. P. M.	OMEGA SO	UARED	19054				AT	THE NO.	13 SHAFT			
1	NO.	S INE	RTIA	AMPLITUDE	INERT IA TORQUE	TOTAL	EQU.	TWIST	SHAFT	STRESS	SHAFT NO.	0	AMBER	ENGINE. SPEED	AMPL ITUDE DEGREES	STRESS Ko/cm ²	VEC. SUM
.	- 1	(Kg. (m s'2)	(Rad.)	(Kg. m) 6606	(Kg. m)	(cm)	(Rad.)	(cm)	(Kg/cm ²)			1.5	879	0685	5	. 1539
Ľ	2	14	1.78	. 9990	27369	6606	15. 10	. 0010	21.20	353	1		2.5	527	0154		0591
	3	14	. 78	. 9924	27188	33975	19.50	. 0066	22.00	1625	2		3.5	377	0102	1	. 0591
	4	143	3. 78	. 9805	26861	61163	19.50	. 0119	22.00	2925	3		4.0	330 293	0037 0160	0	. 0274
1	5	14	. 78	. 9633	26391	88024	19.50	. 0172	22.00	4210	4						
	6	143	. 78	. 9410	25779	114414	19.50	. 0223	22.00	5472	5						
	7	143	8.78	. 9136	25030	140194	19, 50	. 0273	22.00	6705	6						
	8	124	. 50	. 8862	210149	165224	16.60	. 0274	25, 00	5385	7						
	9	18	. 93	-10.6174	-380197	375373	3064, 58	11.5036	50.00	1529	8	STRESS Kg/cm ² ····					
L	10	212	. 81	-10, 6139	-430388	-4825	73. 18	0035	16.00	600	9	+	and a state of the				
	11	12	. 35	-10. 4505	-241642	-389724	41.91	1633	50.00	1588	10	900		and the second sec			
	12	85	6. 05	-10, 1499	-164487	-631366	47.61	3006	50.00	2572	11			and the second second	-	for CONTINUOUS	RUNNING
	13	1	. 67	-8. 1332	-13436	-795854	253. 40	-2.0167	50.00	3243	12	1 008		and a second	·····	Tor PASS THROUG	H RAPIDLY
	14	118	3. 03	3, 5811	809290	-809290	1447. 48	-11. 7143	22.00	38708	13	700			The Advertise of the Ad		
١.					100 100	D	0.00	0.0000	0, 00	0	14	600		K OPERA	TING R	ANGE	
12		404	. 48	1. 2022	106403	106403	6326. 87	6. 7320	50.00	434	31	500				~	
	2	20	. 21	-5. 5297	-27010	78787	6326. 87	4.9847	50, 00	321	32				~		
1	3	01/	. 02	-10, 5145	-33298	45489	218.51	. 0994	16.90	4800	33	400					
	4	211	. 01	-10/0138	-430366	-384899	0.00	0. 0000	0.00	0	34	300		1			
			0750									200					
1		1	POSITI	ON OF BRANCH								100		3			
			MODE :	2 POSITIO	N 110							'‴ t		\sim			
1												↓	300	500	610	700 84	900
														400	000	1.0	
1														ENGINE SPEE	D (REV/MI	N0	
														CONTINUO	US RATING	SPEED 750 R	EV/MIN
L											1	ENGINEERIN	B DIVISI	ON	CUSTOMER		
												DRAWN	S.N	ISHIMATSU	WORK No.	R4854801	B. No.
											1	DESIGNED	S.N	ISHIMATSU	RUEF	NK	
												CHECKED	0.1	1		6EV28W	
1												ere united	-	10	NAL	(061000 /	750000
												SEC MANAG			IVWE	(20 TOPS/	T DURPAU
												DATE	8	Nov 2016		THE CALCU	LATION FOR
8	EMAR FIRI	NG C	N CASE	OF GEARD SYS	TEM, THE EFFE	ECT OF GEA	R RATIO I	S TAKEN ACCOUNT	NT.			DRAW, No.	03-	51695-3908		THE TORSION	AL VIBRATION
Ľ												YANMAR CO.	LTD. L	ARGE POWER PR	ODUCTS MAN	AGEMENT DIVISIO	N

1																		
		۱.	HOL	ZER	TABULATION									2. T	ORSIONAL VIBRAT	TION STRESS	DIAGRAM	
				5 NO	DE FREQUENCY	5343 C. P. M.	OMEGA SO	UARED	313104					AT THE N	0. 6 SHAFT			
	MASS	1	ERT	AI1	AMPLITUDE	INERTIA	TOTAL	EQU.	TWIST	SHAFT	STRESS	SHAFT		ORDER	ENGINE. SPEED	AMPLITUDE	STRESS	VEC. SUM
		Ka	cm.	\$ 2)	(Rad.)	(Kg. m)	(Kg. m)	(cm)	(Rad.)	(cm)	(Kg/cm [*] 2)	NO.		6. 0	891	. 0280	221 221	3. 0237
	1- 1		14. E	57	1. 0000	108553	108553	15, 10	. 0164	21. 20	5802	1		7.0	822 763	. 0070	14	. 7583
	2	1	13. 1	18	. 9836	442802	551356	19, 50	. 1075	22.00	26371	2		7.5 8.0	712	. 0108	85	2. 0790
	3		13. 1	10	. 8/61	394401	945757	19.50	. 1844	22.00	45238	3		8.5	629	. 0030	24	. 7583
	2	1	13. 1	70	. 6917	311376	1257135	19, 50	. 2451	22.00	60129	4		9.5	562	. 0022	17	, 7583
	8		13. 1	78	1800	201020	1458154	19, 50	. 2843	22.00	69744	5		10. 5	509	0048	38	2. 0790
	2		13. 7	78	- 1384	-61300	1531169	19.50	. 2985	22.00	73236	6		11, 5	485	. 0006	12	. 7583
		12	4	50	- 3804	-1492142	1469770	16, 60	. 2440	25.00	47907	7		12. 0	445	. 0052	41	3. 0237
	9	1	17.0	13	- 0012	-714	-12372	3064. 58	3792	50.00	50	8	STRESS Ko/cm 2					
	10	2	12 8	81	0084	5572	-13087	73.18	0096	16.00	1627	9	con a					
	11	1	1. 5	35	0114	4329	-7234	41.91	0030	50.00	29	10	T					
	12	1	15. 0	25	0128	3402	-2904	47.61	0014	50.00	12	11	a00 +	Rectingences			for CONTINUOUS	RUNNING
	13		8.6	37	0115	313	498	253, 40	. 0013	50.00	2	12	800 +		I I HARRIST & FRANK LOS		for PASS THROU	JGH RAPIDLY
	14	114	16. 0	33	0002	-811	811	1447. 48	. 0117	22.00	39	13	700		······································		1	
		-					- 1	0, 00	0. 0000	0.00	0	14	600			Party Clarge and		
	2- 1	40	54. 4	48	0. 0000	45	45	6326.87	. 0029	50.00	0	31	E on					,
	2	-	26. 2	21	0028	-232	-186	6326. 87	0118	50.00	1	32	500 t		K OPERA	ATING RA	WGE	/
	3		6. 6	52	. 0090	467	281	218.51	. 0008	16.90	30	33	400				1 /	
	4	2	2. 8	31	. 0084	5572	5853	0.00	0. 0000	0.00	0	34	300					6
													200					Å
			PC	IES.	ON OF BRANCH	Lange and							100			9	7.5	\mathcal{N}
			N	NODE :	2 POSITIO	ON 110							100 1			~		
													+	+ 300	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + +		100	- 400 + +
														000	400 00	600	100 800	
															ENGINE SPEE	D (REV/MI	N)	
															CONTINUE	NUS RATING	SPEED 750	REV/MIN
													ENGINEER	RING DIVIS	SION	CUSTOMER		
													DRAWN	8	NISHIMATSU	WORK No.	R4854801	S. No.
													DESIGNED	o s	NISHIMATSU	RULE	N	к
													CHECKED		6		6EY26W	
													SEC. MA	NAGER	10	NAME	(261098	/ 750RPM
													DATE		6 Nov 2016	1	THE CALO	LE ATTON FOR
	00440	we.		CARC		ATEN THE FEET		D DATIO		NT.			0044		- ELECE-2007(%)		THE TODALO	NAL VISOATION
	FIRI	NG	OR	DER (M	AIN) :1 -5 -3	-6 -2 -4 -	OF OF GEA	K KATIO	15 TAKEN ACCOU	NI.			URCAW, N	0. 10	3-21692-3808/ 4		THE TORSTO	NOL VIERALION
L		_											YANMAR (CO. LTD.	LARGE POWER PR	KODUCTS MAN	AGEMENT DIVISI	ON

	1. HOLZER	TABULATION									2. TO	RSIONAL VIBRAT	ION STRESS	DIAGRAM	
	2 NO	DE FREQUENCY	495 G. P. M.	OMEGA SO	LIARED	2688					AT THE NO	. 9 SHAFT			
MAS: NO.	S INERTIA	AMPLITUDE	INERTIA	TOTAL	EQU. LENGTH	TWIST	SHAFT DIA	STRESS	SHAFT NO.		ORDER NUMBER	ENGINE. SPEED	AMPLITUDE	STRESS Kg/cm ⁻ 2	VEC. SUM
1-1	(Kg. cm. s. 2) 34. 67	(Had.) 1.0000	932	(Kg. III)	(cm)	(Had.)	(cm)	(Kg/cm 2)			1.0	495	-, 5613	85	5037
2	143. 78	. 9999	3865	932	15, 10	. 0001	21.20	000			1.5	330	3953	60	. 4/80
3	143.78	. 9989	3861	4/90	19, 50	. 0009	22.00	229	× a						
4	143.78	. 9972	3854	10510	19.50	. 0024	22.00	508	4						
5	143.78	. 9948	3845	16357	19.50	0032	22.00	782	5						
6	143.78	. 9916	3833	20189	19, 50	. 0039	22.00	966	6						
7	143. 78	- 9877	3817	24007	16, 60	. 0040	25.00	782	7						
8	1244.50	. 9837	32908	56915	3054. 58	1, 7442	50.00	232	8	STRESS	·				
9	187.93	7605	-3842	53073	73. 18	. 0388	16.00	6599	9	Kg/cm [*] 2	a construction of the second s				
10	212.81	7994	-4573	64544	41.91	. 0271	50. 00	263	10	t		······································			
	121, 35	8264	-2696	61848	47.61	. 0294	50, 00	252	11	900		and the second		for CONTINUOUS	RUNNING
12	85, 05	8559	-1957	59892	253. 40	. 1518	50, 00	244	12	800				for PASS THROUG	3H RAPIDLY
13	0.07	-1.0076	-235	59657	1447. 48	. 8635	22.00	2853	13	700			1 * * * * * * * * * * * * * * * * * * *	1	
14	1180, 03	-1.0/11	-09007	-0	0.00	0. 0000	0.00	0	14	600 T -		OPERA	TING RA	NGE	
2-1	464.48	1. 2970	16194	16104	6926 87	1 0246	50.00	66	31	~~ t					
2	26. 21	. 2724	192	16396	8928 87	1. 0240	50.00	67	32	500 t			_		
3	16. 62	7643	-341	16044	218 51	. 0351	16, 90	1693	33	400					
4	212. B1	7994	-4573	11471	0.00	0. 0000	0.00	0	34	300					
										200 T					
1	NOTES. POSITI	ON OF BRANCH								~~ †		,			
I .	MODE	2 POSITIO	110							100 f					
1										1	100			100	
1											300	400 50	600	100 800	800
1												ENGINE SPEE	D (REV/MI	N)	
												CONTINUO	US RATING	SPEED 750 R	EV/MIN
										ENGINEER	ING DIVIS	SION	CUSTOMER		
1										DRAWN	S.	NISHIMATSU	WORK No.	R4B54801	S. No.
										DESIGNED	s	NISHIMATSU	RULE	NK	(
										CHECKED		6	100 84	6EY26W	
1										SEC. MAN	ACER	0	NAME	(261005)	750PPM
1										OATE NO	-	New 0016	i ann	THE ON OF	
							~					NOV 2016		THE CALCO	LATION FOR
FIR	ING ORDER ((AIN):1 -5 -3	-6 -2 -4 -	ECT OF GEA	R RATIO I	S TAKEN ADCOU	NT.			DRAW, No.	. 103	s=51695-3908./4/		THE TORSION	AL VIBRATION
L	COMBUSTION	UNBALANCE Cyl.								YANWAR O	0, , LTD,	LARGE POWER PR	ODUCTS_MAN	AGEMENT_DIVISIO	N

		1. HOLZER	TABULATION									2. TO	RSIONAL VIBRAT	ION STRESS	DIAGRAM	
		3 N	DE FREQUENCY	1318 C. P. M.	OMEGA SO	UARED	19054				TA	THE NO	13 SHAFT			
1	MASS	INERTIA	AMPLITUDE	INERTIA	TOTAL	EQU.	TWIST	SHAFT	STRESS	SHAFT	0	RDER	ENGINE, SPEED	AMPLITUDE	STRESS	VEC. SUM
١.	NU.	Kg. cm. s 2)	(Rad.)	(Kg. m)	(Kg. m)	(cm)	(Rad.)	(cm)	(Kg/cm*2)	NO.	N	1.5	879	1641	14 Kg/cm 2	. 3456
Ľ	- 1	34. 0/	1. 0000	0000	6606	15.10	. 0010	21.20	353	1		2.5	527	0690	6	. 4494
	9	143.78	9924	27188	33975	19.50	. 0066	22.00	1625	2		3.5	377	0328	43	. 4494
		143.78	9805	28861	61163	19.50	. 0119	22.00	2925	3		4045	330 293	0278	2	. 5255
	5	143.78	9633	26391	88024	19.50	. 0172	22.00	4210	4						
	6	149.78	9410	25779	114414	19.50	. 0223	22.00	5472	5						
	7	143 78	9136	25030	140194	19.50	. 0273	22.00	6705	6						
	â	1244 50	8862	210149	165224	16.60	. 0274	25.00	5385	7						
	9	187 93	-10 6174	-380197	375373	3064. 58	11. 5036	50.00	1529	8	STRESS Ka/cm ²					
	10	212 81	-10 6139	-430388	-4825	73. 18	0035	16.00	600	9		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				
	11	121.35	-10 4505	-241642	-389724	41.91	-, 1633	50.00	1588	10			and a grade a g			
	12	85.05	-10, 1499	-164497	-631366	47.61	-, 3006	50, 00	2572	11	900 t		" " a second second		for CONTINUOUS	RUNNING
	19	8.67	-8 1332	-13436	-795854	253. 40	-2. 0167	50.00	3243	12	800				for PASS THROUG	H RAPIDLY
	14	1186.03	3 5811	809290	-809290	1447. 48	-11.7143	22.00	38708	13	700			" have a call	1	
		1100.00	0.0011	003230	0	0.00	0. 0000	0.00	0	14	600 -	_	OPEDA	TINC		
2	- 1	464. 48	1. 2022	105403	106403	6326 87	6 7920	50.00	124	91	•••• t		KOTEKA	UNG RA	NGE	
	2	26. 21	-5. 5297	-27616	78787	6926 87	4 0847	50,00	901	30	500				1	
	3	16. 62	-10. 5145	-33298	45490	218 51	4, 9047	18 90	4800	39	400					
	4	212.81	-10.6139	-430388	-384800	0.00	0.0000	0.00	4000	34	300					
					-304033	0.00	0.0000	0.00	•	34						
		NOTES.									200 +					
		MODE	2 POSITIC	N 110							100					
											-	300	400 500	0 600	700 800	900
													ENGINE SPEE	D (REV/MI	NÛ	
													CONTINUO	US RATING	SPEED 750 R	EVANIN
													000000000		1	
											ENGINEERIN	G DIVIS	ION	CUSTOMER		
											DRAWN	<u>s</u> .	NISHIMATSU	WORK No.	R4854801	S. No.
L											DESIGNED	S.	NISHIMATSU	RULE	NK	
L											CHECKED		1		6EY26W	
											SEC. MANAG	ER	("	NAME	(2610PS/	750RPM)
											DATE	6	Nov 2015		THE CALCU	LATION FOR
R	EMAR	KS: IN CAS	OF GEARD SYS	TEM. THE EFF	ECT OF GEA	R RATIO I	S TAKEN ACCOU	NT.			DRAW. No.	D3	-51695-3908		THE TORSION	AL VIBRATION
L	FIRI	NG ORDER (UNBALANCE CYL	-6 -2 -4 -							YANNAR CO.	LTD.	LARGE POWER PR	ODUCTS MAN	AGEMENT DIVISION	N

	1. HOLZER	TABULATION									2 1	TARREY LANDI 290	ION STRESS	DIACRAM	
1	4 NO	DE EREQUENCY	3330 C P M	OMEGA SO	LARED	121612					AT THE M	ID 33 SHAFT	1011 0111200	01/10/04	
MAS NO	S INERTIA	AMPLITUDE	INERT IA TORQUE	TOTAL	EQU.	TWIST	SHAFT DIA	STRESS	SHAFT NO.		ORDER NUMBER	ENGINE. SPEED	AMPL I TUDE DEGREES	STRESS Kg/cm 2	VEC. SUM
1-1	34. 67	1. 0000	42163	(ng. m)	(cm)	(Rao.)	(cm)	(Ag/cm 2)			4.5	740	0. 0000	ŏ	4220
2	143. 78	. 9936	173741	92103	10.10	. 0004	21, 20	10907	2		5.5	605	0.0000	ŏ	. 2672
3	143. 78	. 9515	166380	382284	19.50	0745	22.00	18285	9		6. 0 6. 5	555	0,0000	8	4. 2287
4	143. 78	. 8770	153345	535820	10.50	1044	22.00	25610			7.0	476	0,0000	ŝ	. 6374
5	143.78	. 7725	135082	670711	19 50	1308	22.00	32080	5		8.0	416	0,0000	ě.	. 6374
6	143.78	. 6418	112213	782924	19.50	1527	22.00	37447	5		9.0	370	0, 0000	ŏ	4. 2287
7	143. 78	. 4891	85518	868441	16, 60	. 1442	25.00	28307	7		10.0	333	0. 0000	ő	. 6374
8	1244, 50	. 3449	522024	1390465	3064.58	42, 6119	50.00	5665	8	STRESS	10.5	317	0.0000	0	. 4220
9	187. 93	-42.2670	-9659968	-8269502	73, 18	-6.0516	16.00	1028228	9	Kg/cm [*]	Construction and				
10	212.81	-36.2154	-9372667	7846429	41, 91	3, 2894	50.00	31969	10	t		an and a state			
11	121.35	-39. 5038	~5829845	2016585	47. 61	. 9601	50.00	8216	11	900		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		4	DURAL TAKE
12	85.05	-40. 4639	-4185240	-2168655	253. 40	-5. 4954	50.00	8835	12	800		and the second se		for PASS THROU	GH RAPIDLY
13	8.67	-34. 9685	-368701	-2537356	1447. 48	-36. 7277	22.00	121362	13	700			Sand States	1	
14	1186.03	1.7592	2537358	12	0.00	0. 0000	0.00	0	14	t		L OPER	ATING D	ANCE	
2- 1	464. 48	-46. 2659	-26134024					100.000		600		- Forest	and the	MAGE)	
2	26. 21	1607. 1998	51228898	-26134024	6326. 87	-1653. 4657	50,00	106480	31	500					
3	16. 62	19. 4798	393725	25094874	6326. 87	1587. 7201	50,00	102246	32	400					
4	212.81	-36.2154	-9372667	25466599	218, 51	55. 6951	16.90	2689403	33	300 I					
1				10110835	0.00	0.0000	0.00	0	34	···· †					
	NOTES.									200					
1	MODE :	2 POSITIO	N 110							100	8				
1										1					
1											300	400 50	0 600	700 800	900
1												ENGINE SPEE	D (REV/MI	N0	
												CONTINUE	US RATING	SPEED 750	REV/MIN
										ENGINE	RING DIVI	SION	CUSTOMER		
1										DRAWN	5	NISHIMATSU	WORK No.	R4B54801	S. No.
										DESIGN	D S	. NISHIMATSU	RULE	N	<
										CHECKED	>	6		6EY26W	
										SEC. M	NAGER	P	NAME	(2610PS/	/ 750RPM0
1										DATE		6 Nov 2016	1	THE CALC	LATION FOR
REMA	RKS: IN CASE	OF GEARD SYS	TEM THE EFF	ECT OF GEA	R RATIO I	S TAKEN ACCOU	NT.			DRAW.	io. [3-51695-3900	1	THE TORSION	WAL VIBRATION
	COMBUSTION	UNBALANCE CYL								YANMAR	CO., LTD.	LARGE POWER PR	COUCTS MAN	AGEMENT DIVISIO	IN

PHỤ LỤC 7

CÁC GIÂY CHỨNG NHẬN VỀ THIẾT BỊ MMMVS

	Dirition and Distance	The Otter and the state of the second	
	CỤC TIÊU CHUA	ÂN - ĐO LƯỜNG - CHÂ	TLƯỢNG
	(Department fo	or Standard, Metrology and Q	Quality)
	TRU	NG TAM ĐO LƯƠNG	
		(Metrology Center)	
	Dia abi (Add): Số 11 L	(DK 35) Joàng Sâm, Nghĩa Đô, Cầu	Giấy - Hà Nôi
	Địa chí (Add). Số 11 1 Điện thoại (Tel):	024.38361108 Fax: 024.	37563660
Anno III - Anno I Anno III - Anno I Anno III - Anno I Anno III - Anno I		NG NHẬN HIỆU C alibration Certificate)	HUÂN
	Số	(N°): 5255	
Tên phương tiện đ	lo (Object): Thiết bị	đo độ biến dạn <mark>g</mark> và truyền t	ín hiệu WiFi
Kiểu (Type): cDA	Q-9191 (P/N: 15022)	7E-312) Số (Serial N ^a):	1BB14C7
Nơi sản xuất (Man	ufacturer): Hã	ng National - Hungary	
Đặc tính kỹ thuật	(<i>Technical Specification</i> Bộ đo điện trở kiểu Phạm vi đo	n): NI 9237 đo Tenzo biến dạn biến dạng: - 25 mV/V đến 1	g: 350 $\Omega \pm 0.3$ % 25 mV/V
Cơ sở sử dụng (Cu	Miện Nghiên cứu Kh	oa học và Công nghệ Hàng Số 484 Lạch Tray, Thành pl	, hải, Đại Học Hàng hải Việt Nam hố Hải Phòng
Phương nhận thự	hiên (Method of Cali	bration).	A1-01.PP01.05
Điầu kiên môi trưở		Nhiệt độ: (2	$(5+1)$ °C $D\hat{a}\hat{a}m(60+5)$ °RH
Dieu kiện mội tí từ	Jug (Environmental Co	onditions):	(5 ± 1) C, Dộ am (00 ± 5) / 80
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp điệ	ng (Standards used): n trở chuẩn P327; Gi ện trở chuẩn P33; Giấ	ây CNHC số: 640; Hiệu lực y CNKĐ số: 190; Hiệu lực	: chuẩn: 10/2019 (TTĐL) chuẩn: 02/2020 (TTĐL)
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp điể Kết quả (Results):	ng (Standards used): in trở chuẩn P327; Gi ện trở chuẩn P33; Giấ	ây CNHC số: 640; Hiệu lực y CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau)	: chuẩn: 10/2019 (TTĐL) chuẩn: 02/2020 (TTĐL)
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp điể Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (J	ng (<i>Standards used</i>): n trở chuẩn P327; Giá ện trở chuẩn P33; Giấ Date of Cal.): 12 - 0	ây CNHC số: 640; Hiệu lực y CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau) 6 - 2019 Số tem hiệu chu	 chuẩn: 10/2019 (TTĐL) chuẩn: 02/2020 (TTĐL) ẩn (N° of Cal. Label): 17617
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp đi Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (J Ngày khuyến nghị	ng (Environmental Co ng (Standards used): n trờ chuẩn P327; Gi ện trở chuẩn P33; Giấ Date of Cal.): 12 - 0 hiệu chuẩn tới (Rea	ây CNHC số: 640; Hiệu lực ý CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau) 6 - 2019 <mark>Số tem hiệu chu</mark>	 chuẩn: 10/2019 (TTĐL) chuẩn: 02/2020 (TTĐL) ẩn (N° of Cal. Label): 17617 12 - 06 - 2020
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp điể Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (J Ngày khuyến nghị	ng (Environmental Co ng (Standards used): n trở chuẩn P327; Giá ện trở chuẩn P33; Giấ Date of Cal.): 12 - 0 hiệu chuẩn tới (Rea	áy CNHC số: 640; Hiệu lực ý CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau) 6 - 2019 Số tem hiệu chu calibration Recommended): Hà Nội nơ	 ichuẩn: 10/2019 (TTĐL) chuẩn: 02/2020 (TTĐL) iẩn (N° of Cal. Label): 17617 12 - 06 - 2020 ày 13 tháng 1 năm 2019
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp đi Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (J Ngày khuyến nghị	ng (<i>Standards used</i>): in trở chuẩn P327; Giá ện trở chuẩn P33; Giấ Date of Cal.): 12 - 0 hiệu chuẩn tới (Rea g thí nghiêm	áy CNHC số: 640; Hiệu lực ý CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau) 6 - 2019 Số tem hiệu chu calibration Recommended): Hà Nội, ng KTA	 chuẩn: 10/2019 (TTĐL) chuẩn: 02/2020 (TTĐL) iẩn (N° of Cal. Label): 17617 12 - 06 - 2020 ày 1³ tháng ý năm 2019 GIÁM ĐÔC
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp đi Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (Angày khuyến nghị (Head of Calibra	Ing (Environmental Composition (Standards used): in trở chuẩn P327; Giá ện trở chuẩn P33; Giấ Date of Cal.): 12 - 0 hiệu chuẩn tới (Rea g thí nghiệm tion Laboratory)	Sonditions): The Public defined of the providence of the provid	 i.o (1) C, Do an (00 1 0) / 10 chuẩn: 10/2019 (TTĐL) chuẩn: 02/2020 (TTĐL) i.o (2000) i.o (100 1 0) / 100 100 i.o (100
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp đị Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (J Ngày khuyến nghị (Head of Calibra	Ing (Environmental Composition (Standards used): in trò chuẩn P327; Giá ện trò chuẩn P33; Giấ Date of Cal.): 12 - 0 hiệu chuẩn tới (Rea g thí nghiệm tion Laboratory)	 áy CNHC số: 640; Hiệu lực y CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau) 6 - 2019 Số tem hiệu chu calibration Recommended): Hà Nội, ng KTA (MARCHAR) 	 i. chuẩn: 10/2019 (TTĐL) chuẩn: 02/2020 (TTĐL) iấn (N° of Cal. Label): 17617 12 - 06 - 2020 ày 13 tháng 6 năm 2019 GIÁM ĐỘC c CIÁNPĐỘC
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp đi Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (A Ngày khuyến nghị (Head of Calibra	Ing (Environmental Composition (Environmental Composition): In trở chuẩn P327; Giá ện trở chuẩn P33; Giấ Date of Cal.): 12 - 0 hiệu chuẩn tới (Rea g thí nghiệm tion Laboratory)	áy CNHC số: 640; Hiệu lực ý CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau) 6 - 2019 Số tem hiệu chu calibration Recommended): Hà Nội, ng KTA	 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C, Do an (00 1 0) 100 i.o (1) C
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp đi Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (A Ngày khuyến nghị (Head of Calibra	Ing (Environmental Composition (Standards used): en trò chuẩn P327; Giá ện trò chuẩn P33; Giấ Date of Cal.): 12 - 0 hiệu chuẩn tới (Rea g thí nghiệm tion Laboratory)	ây CNHC số: 640; Hiệu lực ý CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau) 6 - 2019 Số tem hiệu chu calibration Recommended): Hà Nội, ng	 i.o (1) C, Do an (00 1 0) / 10 chuẩn: 10/2019 (TTĐL) chuẩn: 02/2020 (TTĐL) i.o (17617 12 - 06 - 2020 ày /3 tháng 6 năm 2019 GIÁM ĐÓC CHÁNPĐÓC CULL
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp đi Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (A Ngày khuyến nghị (Head of Calibra Đỗ	Ing (Environmental Control (Environmental Control (Environmental Control (Environmental Control (Environmental Control (Environmental Control (Environmental Control)) Date of Cal.): 12 - 0 hiệu chuẩn tới (Reading thí nghiệm tion Laboratory) Mution Laboratory) Mution Sector (Environmental Control (Environmental Environmental Control (Environmental (Environm	áy CNHC số: 640; Hiệu lực ý CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau) 6 - 2019 Số tem hiệu chu calibration Recommended): Hà Nội, ng KTA	
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp đi Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (A Ngày khuyến nghị (Head of Calibra Đỗ	Ing (Environmental Composition (Environmental Composition): an trở chuẩn P327; Giả ện trở chuẩn P33; Giấ Date of Cal.): 12 - 0 hiệu chuẩn tới (Rea g thí nghiệm tion Laboratory)	ây CNHC số: 640; Hiệu lực ý CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau) 6 - 2019 Số tem hiệu chu calibration Recommended): Hà Nội, ng KTA	 i. chuẩn: 10/2019 (TTĐL) chuẩn: 02/2020 (TTĐL) i. ún (N° of Cal. Label): 17617 12 - 06 - 2020 i. dáng & năm 2019 GIÁM ĐÓC GIÁM ĐÓC GIÁM ĐÓC GIÁM ĐÓC GIÁM ĐÓC MULT M
Chuẩn được sử dụ Hộp điệ Hộp đi Kết quả (Results): Ngày hiệu chuẩn (A Ngày khuyến nghị (Head of Calibra Đỗ	Ing (Environmental Control (Environmental Control (Environmental Control (Environmental Control (Environmental Control (Environmental Control (Environmental Control)) Date of Cal.): 12 - 0 hiệu chuẩn tới (Real g thí nghiệm tion Laboratory) Multiple (Environmental Control (Environmental Cont	Sonditions): Thinke dyn (2 áy CNHC số: 640; Hiệu lực y CNKĐ số: 190; Hiệu lực (Xem trang sau) 6 - 2019 Số tem hiệu chu calibration Recommended): Hà Nội, ng Khi giấy chứng nhận có nhiều trang sau	

	Dja chi (Add): Số 1 Diện thoại (Te	IUAN - BO LUONG - CHAT LUONG It for Standard, Metrology and Quality) IUNG TÂM ĐO LƯỜNG (Metrology Center) (DK 35) II Hoàng Săm - Nghĩa Đỗ - Cầu Giấy - Hà Nội Đ: 024.38361108 Fax: 024.37563660
12-6-2020	GIÁY CHI	ỨNG NHẠN HIỆU CHUẨN
	The second second	(Calibration Certificate)
	5	số (N°): 5256
Tân nhương tiế	n do (Obienti)	
i en phương uệ	ii uu (Oojeci):	Thiết bị do phả và tốc độ quảy của trực
Kiểu (Type): E3	FA-DP11	Số (Serial N°): 18314HI
Nơi săn xuất (M	lanufacturer):	
Đặc tính kỹ thu	ật (Technical Specifica	tion):
		Phạm vi do: (0 đến 5 000) r/min Tấn số ra tượng ứng: (0 đến 83 3) Hợ
		ran so ta toong ung. (o den 85,5) Hz
Phương pháp ti Diễn kiến mỗi t	Viện nghiên cứu Kł hực hiện (Method of C	ioa học và Công nghệ Hàng Hải-Đại học Hàng Hải Việt Nam ĐC:Số 484 Lạch Tray, TP.Hải Phòng <i>Calibration</i>): A1-04.PP02.10
Dieu Kiçii mort	NhiAt AA/Tomm	Continons):
Chuẩn được sử Kết quả (Resulti)	dụng (Standards used Máy hiện Máy ph Chuẩn Thiết bị ci	sóng MSO-X 2024A; Sai số cho phép: ± 2,5 x 10 ⁻⁴ át chức năng 33210A; Sai số cho phép: ± 1 x 10 ⁻⁴ tốc độ vông quay YT05-60; Cấp chính xác: 0,05 huẩn đã được liên kết chuẩn tại trung tâm Đo lường Xem trang sau
Ngày hiệu chuẩ	n (Date of Cal.): 12-06	-2019 Số tem hiệu chuẩn (N° of Cal. Label): 19739
Ngày khuyến ng	hị hiệu chuẩn tới d	Recalibration Recommended): 12-06-2020
f Trường ph (Head of Cali	òng thí nghiệm bration Laboratory)	Hà Nội, ngày thàng 6 năm 2049 KT.GIÁM ĐÓC PHÓ GIXM ĐÓC
	Thank Th	and a second



VIỆN ĐO LƯỜNG VIỆT NAM (ĐK 05)

(Vietnam Metrology Institute) Địa chỉ (Add.): Số 8 Đường Hoàng Quốc Việt, Phường Nghĩa Đô, Quận Cầu Giấy, Thành phố Hà Nội Điện thoại (Tel.): (84-024) 37914876 ; Fax: (84-024) 37564260

GIẤY CHỨNG NHẬN HIỆU CHUẨN

(Calibration Certificate)

Số (N²): V12.CN5.114.19

Tên đối tượng (Object): Hệ thống đo rung động

Kiểu (Type): cDAQ-9184

Số (Serial №): 1BD49BB

Noi sản xuất (Manufacturer): Hungary.

Đặc trưng kỹ thuật đo lường *(Specification):* Phạm vi đo *(Measurement Range):* Dải tần *(Frequency range):* (0 ÷ 8000) Hz ; Gia tốc *(Acceleration):* ± 50g (± 490 m/s²)

Cơ sở sử dụng (Customer): Viện nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Hàng Hải.

Trường Đại học Hàng Hải Việt Nam.

Phương pháp thực hiện (Method of calibration): V09.M-13.13

Chuẩn được sử dụng (Standards used): Cảm biến gia tốc chuẩn 8305-001, 4371 (V12.TB1.23, 25) Độ không đảm bảo đo mở rộng: U = 0.5 % (k =2; 95 % CL); Conditioner 2647 (V12.TB1.29.01,02); Thiết bị đo và phân tích rung động Pulse 3560C (V12.TB1.30); Thiết bị tạo rung 4808 (V12.TB1.32)

Kết quả (Results): Xem kết quả trang sau (Results of calibration enclosed).

Ngày hiệu chuẩn đề nghị (Recalibration recommended): 30-06-20

Trưởn (Head	ig phòng thí nghiệm of calibration Laboratory)	Ngày 12 tháng 06 năm 2019 (Date of issue) YIVIỆN TRƯỞNG (Director)
Iac ME	bàng Lê Tuận VILAS 072	VIỆN VIỆN VIỆT NAM BO LƯỜNG VIỆT NAM Bùi Quốc Chụ
Trang: $1/7$ (N ^Q of pages)	Không được sao chép rời khi giấy c bằng văn bản của Viện Đo lường Việ (This certificate shall not be reproduced c	hứng nhận có nhiều trang nếu không được sự đồng ý t Nam except in full, without written approval of VMI)
Ngày BH: 01-07-	17	F-01a/P5.10

CHI CỤC TIÊU CHUẨN ĐO LƯỜNGCHẤT LƯỢNG TRUNG TÂM KỸ THUẬT TIÊU CHUẨN ĐO LƯỜNG CHẤT LƯỢNG HẢI PHÒNG CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

Số: 40 .19/KL-TTKTTĐC



KÉT LUẬN

THẨM ĐỊNH KỸ THUẬT CHẤT LƯỢNG SẢN PHẨM HÀNG HÓA

Căn cứ Luật Chất lượng sản phẩm, hàng hóa và Nghị định số 132/2008/NĐ-CP ngày 31 tháng 12 năm 2008 của Chính phủ quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Chất lượng sản phẩm, hàng hóa;

Căn cứ Quyết định số 409/QĐ-UBND ngày 23 tháng 3 năm 2011 của Ủy ban nhân dân thành phố Hải Phòng về việc thành lập Trung tâm kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng trực thuộc Chi cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thành phố Hải Phòng;

Căn cứ Quyết định số 1765/QĐ-UBND ngày 12 tháng 9 năm 2013 của Ủy ban nhân dân thành phố Hải Phòng về việc phê duyệt Đề án đổi mới tổ chức và hoạt động của Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Hải Phòng;

Căn cứ Biên bản thẩm định số 15/TĐ/BB-TTKTTĐC ngày 17 tháng 05 năm 2019 của Trường Đại học Hàng Hải Việt Nam và Trung tâm kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Hải Phòng,



TRUNG TÂM

KỸ THUẬT TIÊU CHUẨN ĐO LƯỜNG CHẤT LƯỢNG HẢI PHÒNG KẾT LUẬN:

Căn cứ kết quả kiểm tra thực tế tại thời điểm thẩm định xác định được:

Thiết bị giám sát rung động

Phần cứng:

- Hệ thống phần cứng chuẩn công nghiệp gồm:

- 6 SENSORS rung động chuẩn công nghiệp hãng IMI (02 chân, 100 mV/g);

- Cáp dài 3 m; Đế nam châm vĩnh cửu.

- 01 DAQ NI9234 và khung cDAQ9184,16 kênh, tốc độ trích mẫu 51 kS/s/kênh;

- 01 DAQ NI9237 và khung cDAQ9191, 04 kênh,tốc độ trích mẫu 50 kS/s/kênh.

- CPU công nghiệp.

Phần mềm:



BM – NV – 01 – 03: Kết luận thẩm định

Ngày ban hành: 18/4/2018

Trang 1/5

Xây dựng trên nền LabView, chạy độc lập bằng file *.EXE.

Có tính năng đo, phân tích rung động trong miền thời gian và tần số (FFT, lọc, octave, orders). Tốc độ trích mẫn được điều khiển với f_{smax} =20 KHz. Số lượng điều hòa M=25 khi giám sát dao động con động, cơ diesel 4 kỳ; M=12 cho diesel 2 kỳ; tần số dao động thẳng (2-8000)Hz.



KT.GIÁM ĐỐC PHÓ GIÁM ĐỐC TRUNG TÂN KŸ THUẬT TIÊU CHUẨN ĐO LƯỜNG CHẤT LƯỢN HẢI PHÒNG Nguyễn Thành Liêm

11×1 2:2:2:2 121



BM – NV – 01 – 03: Kết luận thẩm định Ngày ban hành: 18/4/2018

Trang 2/5