

BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM



HOÀNG VĂN SĨ

**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO MÔ-MEN XOẮN VÀ
PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG XOẮN HỆ TRỤC DIESEL LAI
CHÂN VỊT TÀU THỦY**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HẢI PHÒNG –2019

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM



HOÀNG VĂN SĨ

**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO MÔ-MEN XOẮN
VÀ PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG XOẮN HỆ TRỤC DIESEL LAI
CHÂN VỊT TÀU THỦY**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC;

MÃ SỐ: 9520116

CHUYÊN NGÀNH: KHAI THÁC BẢO TRÌ TÀU THỦY

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS. TSKH. Đỗ Đức Lưu
2. TS. Lê Văn Vang

HẢI PHÒNG – 2019

LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là HOÀNG VĂN SĨ, tác giả của luận án tiến sĩ “Nghiên cứu chế tạo thiết bị đo mô-men xoắn và phân tích dao động xoắn hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy”. Bằng danh dự của mình, tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi, chưa được ai công bố trong bất cứ công trình nào khác. Các số liệu, kết quả nghiên cứu, tài liệu tham khảo nêu trong luận án hoàn toàn chính xác và trung thực.

Hải Phòng, Ngày 06 Tháng 04 Năm 2019

Tác giả luận án

Hoàng Văn Sĩ

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 sửa chữa tàu biển – Trường Đại học Hàng hải Việt Nam; Nhà máy đóng tàu Hồng Hà và Ban chủ nhiệm Đề tài Khoa học Công nghệ cấp Quốc gia, do GS.TS. Lương Công Nhứ - 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 nội dung của luận án tiến sĩ.

Tác giả xin bày tỏ lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc đến PGS.TSKH. Đỗ Đức Lưu và TS. Lê Văn Vang đã hướng dẫn nghiên cứu sinh hết sức chu đáo, tận tình trong thời gian vừa qua để 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 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 cảm ơn toàn thể gia đình, đồng nghiệp và bạn bè thân hữu đã ủng hộ, động viên, chia sẻ với tôi trong suốt thời gian thực hiện luận án này.

Nghiên cứu sinh

Hoàng Văn Sĩ

MỤC LỤC

	Trang
LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	vi
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU	viii
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ	ix
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ THIẾT BỊ ĐO MÔ-MEN XOẮN VÀ PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG XOẮN.....	8
1.1 Quy phạm về tính và đo dao động xoắn hệ trục diesel lai chân vịt	8
1.2 Thực trạng tính, đo MMX và phân tích DĐX	12
1.2.1 Thực trạng chung	12
1.2.2 Tính mô-men xoắn và phân tích dao động xoắn.....	13
1.2.3 Đo MMX và phân tích DĐX.....	19
1.3 Các phương pháp đo mô-men xoắn hiện đại	22
1.4 Phân tích tín hiệu dao động xoắn	26
1.5 Nội dung nghiên cứu	26
1.6 Kết luận chương 1	27
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CHO CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO MÔ-MEN XOẮN VÀ PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG XOẮN HỆ TRỤC DIESEL LAI CHÂN VỊT TÀU THỦY	28
2.1 Cơ sở lý thuyết và công nghệ cảm biến biến dạng xoắn bề mặt trục	28
2.1.1 Xác định MMX, USX trên đoạn trục.....	28
2.1.2 Nguyên lý hoạt động của tem biến dạng.....	30
2.1.3 Đặc điểm của tem biến dạng dùng xác định MMX	34

2.2 Cơ sở khoa học và công nghệ chế tạo thiết bị đo và phân tích DĐX hệ trục diesel tàu thủy.....	35
2.2.1 Nhiệm vụ chung	35
2.2.2 Cơ sở toán học cho đo, phân tích DĐX hệ trục diesel tàu thủy.....	38
2.2.3 Cơ sở công nghệ truyền tin cho xây dựng thiết bị đo DĐX	47
2.3 Kết luận chương 2	51
CHƯƠNG 3. MÔ PHỎNG SỐ VÀ XỬ LÝ TÍN HIỆU MÔ-MEN XOẮN KHI CÓ NHIỀU VÀ SAI SỐ TRÍCH MẪU.....	52
3.1. Đặt vấn đề.....	52
3.2 Mô hình hóa tín hiệu MMX trong miền thời gian thực và miền tần số....	53
3.3 Mô phỏng tín hiệu MMX hệ trục diesel tàu thủy trên động cơ Yanmar 6EY26W.....	59
3.4. Mô phỏng xử lý nhiễu cho tín hiệu MMX.....	60
3.4.1 Mô phỏng lọc nhiễu tín hiệu MMX trong miền thời gian	60
3.4.2 Mô phỏng lọc nhiễu tín hiệu MMX trong miền tần số	63
3.5 Mô phỏng sai số trích mẫu trong đo và xử lý tín hiệu MMX.....	67
3.5.1 Sai số trích mẫu.....	67
3.5.2 Mô phỏng số tín hiệu mô-men xoắn khi có sai số trích mẫu.....	71
3.6 Mô hình và sơ đồ thuật toán tự động tính DĐX và USX.....	77
3.6.1 Mô hình hệ trục diesel tàu thủy tàu kiểm ngư KN168.....	77
3.6.3 Phương pháp tính DĐX.....	84
3.6.4 Kết quả tính DĐX tự do tàu kiểm ngư KN - 168.....	85
3.7 Kết luận chương 3	87
CHƯƠNG 4. CHẾ TẠO THIẾT BỊ VÀ THỰC NGHIỆM ĐO MÔ-MEN XOẮN, PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG XOẮN HỆ TRỤC DIESEL LAI CHÂN VỊT TÀU THỦY	88
4.1 Xây dựng cấu hình của thiết bị đo tín hiệu MMX	88
4.1.1 Xây dựng cấu hình phần cứng	89

4.1.2 Xây dựng cấu hình phần mềm	92
4.2 Thực nghiệm đo và phân tích DDX	101
4.2.1 Cơ sở thực nghiệm trong đo và phân tích DDX	101
4.2.2 Đối tượng nghiên cứu.....	102
4.2.3 Đánh giá kết quả đo và phân tích dao động xoắn	104
4.3 Kết luận chương 4	111
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	112
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ ĐƯỢC CÔNG BỐ.....	114
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	116
PHỤ LỤC 1.....	.
MÔ PHỎNG VÀ XỬ LÝ LỌC NHIỀU ĐỘNG CƠ 02 KỲ	1 ^{PL1}
PHỤ LỤC 2.....	.
BẢNG TÍNH DAO ĐỘNG XOẮN HỆ TRỤC CHÍNH SERI TÀU K3000 SỬ DỤNG DME BỐN KỲ YANMAR 6EY26W.....	1 ^{PL2}
PHỤ LỤC 3.....	.
MỘT SỐ HÌNH ẢNH HIỆU CHUẨN, LẮP ĐẶT VÀ THỰC NGHIỆM	1 ^{PL3}
PHỤ LỤC 4.....	.
KẾT QUẢ ĐO MÔ-MEN XOẮN TẠI TÀU KIỂM NGƯ KN168	1 ^{PL4}

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

STT	CHỮ VIẾT TẮT	Ý NGHĨA
1	Ck/ckct	Chu kỳ công tác
2	CPU	Bộ xử lý trung tâm (Máy tính)
3	DAQ (Data Acquisition)	Bộ góp (thu thập) dữ liệu
4	DĐX / TVs	Dao động xoắn
5	DME (Diesel Main Engine)	Động cơ diesel máy chính
6	ETM (Excited Tors. Moment)	Mô-men xoắn kích thích của xy lanh
7	FFT	Biến đổi Fourier nhanh
8	Gqtk	Góc quay trục khuỷu
9	Misfiring	Chế độ không cháy
10	MMX	Mô-men xoắn
11	MMQTKL	Mô-men quán tính khối lượng
12	Ms	Ma sát
13	NCS	Nghiên cứu sinh
14	NI	National Instruments
15	Normal	Chế độ cháy bình thường
16	QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
17	QT	Quán tính
18	Real time	Miền thời gian thực

STT	CHỮ VIẾT TẮT	Ý NGHĨA
19	SG (Strain Gauge)	Tem dán biến dạng
20	TCQP	Tiêu chuẩn quy phạm
21	TMC (Torsional Moment of Cylinder)	Mô-men xoắn của xylanh
22	Torsionmeter/Torque Meter	Thiết bị đo mô-men xoắn
23	USX	Ứng suất xoắn
24	VI (Virtual Instruments)	Thiết bị ảo
25	v/ph (rpm)	Vòng/phút

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

	Trang
Bảng 1.1 Một số yêu cầu cơ bản của Quy phạm về ĐĐX hệ trục diesel tàu thủy.....	8
Bảng 1.2 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	10
Bảng 1.3 Phân tích ưu nhược điểm 02 phương pháp đo MMX hiện đại	24
Bảng 2.1 Nguyên lý chức năng đo và phân tích tín hiệu MMX	37
Bảng 2.2 Ví dụ thiết lập cấu hình trích mẫu cho hệ trục diesel thấp tốc truyền động trực tiếp chân vịt khi đo MMX (Động cơ 2 kỳ, $m = 1$).....	43
Bảng 2.3 Ví dụ thiết lập cấu hình trích mẫu cho hệ trục diesel 4 kỳ, truyền động gián tiếp chân vịt qua hộp số khi đo MMX (Động cơ 4 kỳ, $m = 2$)	44
Bảng 3.1 Thiết lập cấu hình trích mẫu cho hệ trục diesel Yanmar 6EY26W tàu KN168 ...	71
Bảng 3.2 Sai lệch trích mẫu 25 điều hòa tại vòng quay 750 v/ph	74
Bảng 4.1 Các thông số cơ bản của đối tượng dùng để thử nghiệm và hiệu chuẩn thiết bị đo.....	101
Bảng 4.2 Các thông số cơ bản của hệ động lực chính diesel lai chân vịt tàu kiểm ngư KN168.....	103

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ VÀ ĐỒ THỊ

Trang

Hình 1.1 Bộ đo MMX kiểu phanh hãm thủy lực Omega 1500	19
Hình 1.2 Thiết bị đo MMX dạng từ trường lắp trên tàu Sao Biển	20
Hình 1.3 Thiết bị đo MMX dạng quang học T-SENSE của Hãng VAF [55].	21
Hình 1.4 Công nghệ thu phát tín hiệu MMX và phân tích ĐĐX.....	25
Hình 2.1 Mối quan hệ các biến dạng góc xoắn [41].....	28
Hình 2.2 Mối quan hệ các ứng suất do MMX tạo nên [41].....	29
Hình 2.3 Kết cấu tem dán biến dạng bề mặt Hãng Showa-Nhật Bản [52].	31
Hình 2.4 Nguyên lý đo biến dạng xoắn bằng cầu Wheatstone [3].....	32
Hình 2.5 Phương pháp dùng tem dán biến dạng đo trên tàu Vinashin Sky [22]	33
Hình 2.6 Mạch cầu Wheaston đo biến dạng bề mặt [3].....	33
Hình 2.7 Sơ đồ nguyên lý biến dạng xoắn đường trục bằng tem dán biến dạng [4]	36
Hình 2.8 Sơ đồ cấu trúc - chức năng của thiết bị đo MMX hiện đại.....	36
Hình 2.9 Sơ đồ truyền tin hệ thống đo MMX và phân tích ĐĐX.....	47
Hình 2.10 Sơ đồ nguyên lý hệ thống đo MMX và phân tích ĐĐX	50
Hình 3.1 Đồ thị công chỉ thị và khai triển của động cơ Yanmar 6EY26W.....	58
Hình 3.2 Mô-men khí thể của từng xy lanh và mô-men tổng động cơ 6EY26W.....	59
Hình 3.3 Tín hiệu mô-men tổng có nhiễu khi động cơ làm việc bình thường	61

Hình 3.4 Tín hiệu mô-men tổng có nhiều khi động cơ có xy lanh không cháy	61
Hình 3.5 Lọc nhiễu tín hiệu mô-men tổng khi động cơ làm việc bình thường	62
Hình 3.6 Lọc nhiễu mô-men tổng có nhiều khi động cơ có 1 xy lanh không cháy	62
Hình 3.7 Mô-men tổng không chứa nhiễu khi động cơ cháy bình thường.....	64
Hình 3.8 Mô-men tổng không chứa nhiễu khi động cơ không cháy 1 xy lanh	65
Hình 3.9 Mô-men tổng có nhiễu khi động cơ cháy bình thường.....	66
Hình 3.10 Mô-men tổng có nhiễu khi động cơ không cháy 1 xy lanh	66
Hình 3.11 Trích mẫu tín hiệu mô-men khí thể.....	69
Hình 3.12 Mô-men tổng của động cơ khi làm việc tại 700 v/ph	75
Hình 3.13 Mô-men tổng của động cơ khi làm việc tại 800 v/ph	76
Hình 3.14 Mô hình động học tương đương của hệ trục tàu Kiểm ngư KN168	78
Hình 3.15 Sơ đồ thuật toán tự động tính DĐX và USX	79
Hình 3.16 Sơ đồ thuật toán tính DĐX tự do	80
Hình 3.17 Sơ đồ thuật toán tính lực và MMX cưỡng bức	81
Hình 3.18 Sơ đồ thuật toán tính DĐX cưỡng bức	82
Hình 3. 19 Sơ đồ thuật toán tính USX trên đoạn trục trung gian	83
Hình 3.20 Bảng tính và đồ thị về DĐX tự do tàu kiểm ngư KN168	86
Hình 4.1 Sơ đồ bố trí thiết bị đo và phân tích DĐX hiện đại.....	88

Hình 4. 2 Bộ khung NI cDAQ-9191 và bộ thu phát tín hiệu NI DAQ-9237 [47]	91
Hình 4.3 Mã code Labview xác định pha (vị trí điểm chết trên).....	94
Hình 4.4 Mã code ghi và lưu trữ tín hiệu MMX đo được.....	94
Hình 4.5 Lưu dữ liệu đo vào các files theo chế độ thử nghiệm lặp	95
Hình 4.6 VI phân tích tín hiệu pha (trích mẫu).....	96
Hình 4.7 VI phân tích tín hiệu biến dạng xoắn (Train torsion, micro-train) ..	98
Hình 4.8 VI phân tích tín hiệu mô-men xoắn (Nm).....	99
Hình 4.9 VI phân tích tín hiệu ứng suất xoắn (MPa).....	100
Hình 4.10 Bố trí chung hệ trục diesel tàu kiểm ngư KN168	103
Hình 4.11 Biến dạng xoắn tại chế độ $n_E = 479$ v/ph ($n_p = 215$ v/ph).....	107
Hình 4.12 Mô-men xoắn tại chế độ $n_E = 479$ v/ph ($n_p = 215$ v/ph)	108
Hình 4.13 Ứng suất xoắn tại chế độ $n_E = 479$ v/ph ($n_p = 215$ v/ph).....	109
Hình 4.14 Kết luận của Hãng Yanmar về kết quả tính ĐĐX động cơ 6EY26W	110

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài luận án

Dao động xoắn (ĐĐX) nguy hiểm nhất đối với hệ trục diesel tàu thủy trong tất cả các dạng dao động trên hệ trục. Tính chất quan trọng trong nghiên cứu ĐĐX được thể hiện trong nhiều công trình nghiên cứu trước đây và ngày nay tại các quốc gia có ngành hàng hải mạnh trên thế giới như Liên Bang Nga (Liên Xô cũ), Ba Lan, Bulgaria, Nhật Bản, Hà Lan, Anh, Đức, Mỹ, Trung Quốc, Hàn Quốc,.... Nghiên cứu ĐĐX để hiểu được tính chất vật lý của chúng, triển khai tính toán, kiểm tra, đo đạc, giám sát, trạng thái xoắn của hệ trục để đảm bảo hệ trục hoạt động an toàn tin cậy.

ĐĐX là hiện tượng vật lý phức tạp, nguy hiểm và luôn đồng hành với hệ trục chân vịt khi hoạt động, chính vì vậy các cơ quan chuyên môn như Hiệp hội các tổ chức đăng kiểm thế giới (International association of classification and societies, IACS) [14], trong đó có đăng kiểm Việt Nam (VR, 2015) về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép (QCVN 21:2015/BGTVT) [7]; Đăng kiểm hàng hải Nga (RMR, 2014) [34], [35], [36]; Đăng kiểm Nhật Bản (NK, 2014) [10]; Đăng kiểm Hoàng gia Anh Lloy'd (2014) [11]; Đăng kiểm Hoa Kỳ (ABS, 2014) [8] đều đưa ra các quy định nghiêm ngặt về ĐĐX. Các quy phạm của các Tổ chức Đăng kiểm hàng hải này yêu cầu phải tính ĐĐX hệ trục diesel tàu thủy có công suất trên 110 kW, đồng thời phải tiến hành đo thực tế để kiểm nghiệm sự đúng đắn và tin cậy trong việc tính ĐĐX. Ngoài ra, tổ chức hàng hải quốc tế (IMO) còn yêu cầu quản lý hiệu suất năng lượng tàu (SEEMP) [15], bổ sung trong phụ lục VI MARPOL, có hiệu lực kể từ ngày 01 tháng 01 năm 2013, đưa ra những yêu cầu bắt buộc khi thiết kế đóng mới tàu thủy hoặc hoán cải hệ động lực tàu thủy phải trang bị thiết bị đo công suất, mô-men xoắn (MMX) và suất tiêu hao nhiên liệu lắp cố định trên tàu thủy.

Vì vậy, đo và phân tích DĐX - rất quan trọng và cần thiết nhằm để kiểm chứng, giám sát tính bền, độ an toàn tin cậy cho hệ trục diesel tàu thủy và chẩn đoán tình trạng kỹ thuật cho toàn tàu, đảm bảo khai thác tàu một cách an toàn, tin cậy cũng như đảm bảo tài sản và tính mạng thuyền viên.

Để đáp ứng các yêu cầu trên, trong điều kiện hiện nay ở Việt Nam, với mục tiêu hướng đến là phải có các thiết bị đo MMX và phân tích DĐX động cơ diesel là rất cần thiết, có ý nghĩa khoa học và mang tính thực tiễn.

2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài

Mục tiêu chung: Nghiên cứu chế tạo thiết bị hiện đại đo MMX và phân tích DĐX hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy.

Mục tiêu cụ thể:

Nghiên cứu lựa chọn một phương pháp hiện đại đo tín hiệu MMX phù hợp với nội dung nghiên cứu của đề tài.

Hoàn thiện công nghệ đo tín hiệu MMX, xử lý tín hiệu đo, đảm bảo độ tin cậy, chính xác cho thiết bị đo MMX và phân tích DĐX. Mục tiêu này cần giải quyết các vấn đề khoa học và công nghệ sau đây:

+ *Về khoa học:* Giải quyết bài toán sai số trích mẫu trong đo và xử lý tín hiệu MMX/ DĐX, từ đó đề xuất mô hình hoàn thiện cho xây dựng thiết bị đo tín hiệu này; Giải quyết một số bài toán mô phỏng DĐX liên quan đến chế tạo thiết bị: tính DĐX tự do để xác định vùng tần số cộng hưởng và dạng đường tâm biến dạng xoắn; mô phỏng tín hiệu MMX tổng của động cơ; xử lý tín hiệu DĐX và MMX ở miền thời gian và miền tần số.

+ *Về công nghệ:* Phân tích, tổng hợp cấu trúc thiết bị đo MMX/DĐX phù hợp với công nghệ điện tử và truyền thông tiên tiến, tích hợp phần cứng, phần mềm được lập trình trên LabView (hãng National Instruments của Hoa Kỳ) trong xây dựng thiết bị đo vật lý cũng như thiết bị ảo.

Chế tạo, thử nghiệm thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy tại Việt Nam, với giá thành thấp hơn nhiều so với thiết bị nhập ngoại.

Sản phẩm tích hợp, cụ thể cần đạt được:

- ✓ Xây dựng hệ thống phần cứng (phần cứng tích hợp với phần mềm đo, xử lý, hiển thị kết quả đo ban đầu, lưu trữ dữ liệu đo).
- ✓ Xây dựng hệ thống phần mềm xử lý tín hiệu MMX đo được, phân tích ĐĐX, USX trên đoạn trục đo và các nhiệm vụ khác theo yêu cầu của quy chuẩn Việt Nam (QCVN) cũng như quy phạm tương ứng về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của hiệp hội các tổ chức đăng kiểm quốc tế (IACS).

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

Đối tượng nghiên cứu

MMX và ĐĐX trên các hệ trục chính dùng động cơ diesel máy chính (DME) lai chân vịt tàu thủy bao gồm:

- DME 2 kỳ thấp tốc công suất lớn, lai trực tiếp chân vịt định bước.
- DME 4 kỳ cao/trung tốc, công suất vừa và nhỏ, lai chân vịt định bước hay biến bước thông qua ly hợp/hộp số.

Phạm vi nghiên cứu

Do các vấn đề liên quan đến bài toán rất rộng và phức tạp, trong phạm vi nghiên cứu của luận án tập trung giải quyết các nội dung chính sau:

- Nghiên cứu các phương pháp đo tín hiệu MMX, lựa chọn kiểu không tiếp xúc biến dạng xoắn trên bề mặt trục quay để áp dụng.
- Nghiên cứu tính toán, mô phỏng MMX hệ trục diesel tàu thực.
- Nghiên cứu sai số trích mẫu trong quá trình đo, lọc nhiễu tín hiệu trong quá trình biến đổi tín hiệu từ miền thời gian thực sang miền tần số bằng biến đổi Fourie nhanh (FFT).

- Nghiên cứu chế tạo thiết bị đo tín hiệu MMX để xác định USX trong phạm vi $n_{\min} \div n_{\max}$ cho 12 bậc điều hòa đầu tiên (DME 2 kỳ) và cho 25 bậc điều hòa đầu tiên (DME 4 kỳ).
- Nghiên cứu thử nghiệm tại phòng thí nghiệm động lực học diesel tàu thủy để kiểm tra tính đúng đắn của thiết bị chế tạo.
- Nghiên cứu thực nghiệm trên hệ trục diesel lai chân vịt tàu thực.

4. Phương pháp nghiên cứu

Sử dụng các phương pháp mô hình hóa giải tích và thống kê, lý thuyết động cơ đốt trong, dao động kỹ thuật, xử lý tín hiệu số kết hợp với công nghệ điện tử và truyền thông hiện đại cùng với phần mềm MATLAB, LABVIEW và sản phẩm công nghiệp của hãng National Instruments (NI, Hoa Kỳ). Kết hợp giữa phương pháp lý thuyết và thực nghiệm.

Nghiên cứu lý thuyết bao gồm: Phân tích lựa chọn phương pháp đo tín hiệu MMX trên đoạn trục quay của hệ động lực động cơ diesel tàu thủy; Xử lý tín hiệu MMX đo được trong miền thời gian và trong miền tần số; Dự báo sai số trích mẫu và nhiễu khi đo, xử lý tín hiệu MMX; Mô phỏng đo và xử lý tín hiệu MMX khi có sai số trích mẫu và nhiễu.

Nghiên cứu thực nghiệm bao gồm: Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm hệ thống thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX động cơ diesel lai chân vịt tàu thủy; Nghiên cứu thực nghiệm đo và phân tích ĐĐX động cơ diesel lai chân vịt; Tổng hợp, so sánh, phân tích và đánh giá kết quả thực nghiệm.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học

- Phân tích và đánh giá các yêu cầu quy phạm của các tổ chức đăng kiểm trên thế giới về tính và đo MMX, USX cũng như vùng cấm quay đối với hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy;

- Xây dựng cơ sở lý thuyết về tốc độ trích mẫu. Xác lập cơ sở toán học cho sai số trích mẫu trong một chu kỳ công tác của động cơ diesel 2 kỳ và 4 kỳ;
- Đưa ra cơ sở khoa học và cơ sở công nghệ hiện đại cho đo MMX và phân tích ĐĐX. Giải mã công nghệ chế tạo và nội địa hóa sản phẩm công nghệ chất lượng cao cần thiết cho chế tạo thiết bị liên quan;
- Ứng dụng thành công công nghệ phần cứng và phần mềm LabView của NI trong chế tạo thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX.

Ý nghĩa thực tiễn

- Thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX đã được chế tạo từ đề tài là cơ sở để nghiên cứu phát triển các phương pháp đo giám sát và chẩn đoán động cơ diesel tàu thủy bằng ĐĐX hệ trực.
- Sử dụng kết quả đo MMX và phân tích ĐĐX để kiểm chứng với bảng tính; Đánh giá tình trạng kỹ thuật hiện tại của hệ động lực diesel lai chân vịt;
- Thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX sẽ được hoàn thiện để phục vụ cho ngành công nghiệp đóng tàu, cũng như trong khai thác hệ động lực tàu thủy, cụ thể dùng trong: thử nghiệm bàn giao đường dài; đo đánh giá trạng thái kỹ thuật DME và giám sát công suất thực của hệ động lực chính.

6. Những kết quả đạt được và những đóng góp mới của đề tài luận án

Những kết quả đạt được của luận án

- Chế tạo thành công thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX hai kênh đo trên cơ sở công nghệ cảm biến biến dạng (strain gauge) và cảm biến quang, công nghệ NI (bộ góp DAQ, phần mềm nền LabView cùng các toolkits hỗ trợ khác) với kích thước nhỏ gọn, hiện đại, xách tay cơ động và dễ sử dụng.
- Nghiên cứu sai số trích mẫu và chứng minh sự cần thiết phải có thêm một kênh đo pha – vận tốc quay trực đo MMX/ĐĐX để đề xuất cấu hình thiết bị đo phù hợp nhất cho đo và xử lý tín hiệu MMX/ ĐĐX hệ trực.

- Xây dựng cơ sở toán học và các mô đun (VI, thiết bị ảo) được lập trình trên LabView cho đo và xử lý các tín hiệu đo pha và biến dạng để thu được các đặc tính mà quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép (tương ứng với QCVN 21:2015/BGTVT) yêu cầu.
- Các kết quả thu được trong thử nghiệm, hiệu chỉnh thiết bị đo tại Phòng thí nghiệm động lực học của Viện Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Hàng hải (Trường Đại học Hàng hải Việt Nam) cũng như trên tàu Kiểm ngư (do nhà máy đóng tàu Hồng Hà đóng năm 2016 - 2017) trong quá trình thử nghiệm bàn giao đường dài là tài liệu quan trọng không chỉ dùng trong chế tạo thiết bị, mà còn có ý nghĩa cho nghiên cứu phát triển để giám sát và chẩn đoán MMX/ ĐĐX trên hệ trục diesel tàu thủy.
- Thu được các kết quả mô phỏng số MMX/ ĐĐX trên hệ trục dùng diesel máy chính (2 kỳ và 4 kỳ). Mô phỏng số hệ trục dùng DME - MAN B&W 6S46MC trên tàu 34000 DWT được thể hiện trong các báo cáo khoa học thuộc danh mục các công trình nghiên cứu của tác giả liên quan đến luận án, được chỉ ra trong phần phụ lục 1.
- Trong quá trình thực hiện đề tài, NCS đã báo cáo được 9 công trình KHCN trên các tạp chí chuyên ngành, tại các kỷ yếu Hội nghị KHCN có uy tín trong nước và Quốc tế và 01 Đề tài NCKH cấp cơ sở.

Những đóng góp mới của đề tài luận án

- Đề xuất cơ sở khoa học và công nghệ cho chế tạo (phần cứng và phần mềm) trên cơ sở tem dán biến dạng và cảm biến quang, bộ thu thập dữ liệu (DAQ) theo công nghệ WiFi của hãng NI và phần mềm nền LabView. Xây dựng được phần mềm tự động nhận dạng thiết bị ngoại vi, quản lý quá trình đo, xử lý nhanh thông tin trong khi đo, lưu trữ dữ liệu đo, đọc và xử lý tín hiệu đo.
- Tích hợp thành công lập trình m.file trong MatLab vào lập trình code Mathscript trong LabView để rút ngắn thời gian lập trình code trong LabView

cho xây dựng thiết bị, đặc biệt trong công đoạn xử lý tín hiệu số phức tạp có tận dụng công cụ toán học mạnh của MatLab.

7. Kết cấu của đề tài luận án

Bố cục của luận án tiến sĩ kỹ thuật bao gồm các phần chính: Phần mở đầu; Phần nội dung (gồm có 04 chương); Phần kết luận và kiến nghị; Danh mục các công trình đã công bố liên quan đến đề tài; Tài liệu tham khảo và phần phụ lục.

Phần nội dung chính trong luận án được trình bày gồm 4 chương:

Chương 1. Tổng quan về thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX.

Chương 2. Cơ sở khoa học và công nghệ cho chế tạo thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy.

Chương 3. Mô phỏng số và xử lý tín hiệu MMX khi có sai số trích mẫu và nhiễu.

Chương 4. Chế tạo thiết bị và thực nghiệm đo MMX, phân tích ĐĐX hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ THIẾT BỊ ĐO MÔ-MEN XOẮN VÀ PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG XOẮN

1.1 Quy phạm về tính và đo dao động xoắn hệ trục diesel lai chân vịt

Nghiên cứu chế tạo thiết bị đo MMX và phân tích DĐX động cơ diesel lai chân vịt nhằm đáp ứng yêu cầu bắt buộc của đăng kiểm quốc tế và trong nước về chuẩn giới hạn trạng thái ứng suất bền xoắn của cơ hệ cũng như đưa ra các giải pháp kỹ thuật cần thiết về vùng vòng quay cấm khai thác. Sau đây sẽ tổng hợp đầy đủ các quy chuẩn Việt Nam [7] có sự tham chiếu với quy phạm của nước ngoài như Nhật Bản [10], Anh Quốc Lloyds [11], Nga [33] liên quan đến nội dung nghiên cứu về DĐX.

Bảng 1.1 Một số yêu cầu cơ bản của Quy phạm về DĐX hệ trục diesel tàu thủy

Các yêu cầu, TCQP	QCVN 21:2015/BGTVT Chương 8. Dao động xoắn [7]	Phân tích, đánh giá về DĐX
Đối tượng áp dụng.	Hệ động cơ diesel có công suất $N \geq 110 \text{ kW}$	Áp dụng cho các thành phần trong hệ trục diesel lai chân vịt
Bảng tính DĐX Trình Đăng kiểm khi tính hệ trục mới hoặc hệ trục có sự thay đổi đáng kể.	(1) Bảng tính FTV (1, 2 nút) (2) Tính DĐX cộng hưởng: - $n_{ch} \in \Delta_{kt} = [n_{min}, 1.2n_{max}]$ - Cộng hưởng điều hòa chính: - $n_{ch} \in \Delta_{ktdm} = [0.9 \div 1.2]n_{max}$ (3) Bố trí thứ tự khuỷu trục và thứ tự nổ (4) Tính ETV khi một xy lanh bất kì không nổ (piston nằm trong động cơ) mà gây ra ứng suất cao nhất.	- Đưa ra kết quả tần số tự do và véc tơ dạng dao động. - Trong dải vận tốc khai thác Δ_{kt} tính dao động cộng hưởng (biên độ dao động, ứng suất trên tất cả các đoạn trục). Trên vùng vòng quay khai thác định mức Δ_{ktdm} , nếu có cộng hưởng điều hòa chính sẽ tính các thông số dao động cộng hưởng. - Tính dao động cường bức khi một trong các xy lanh bất kì không cháy (cụm chi tiết trong các xy lanh vẫn chuyển động

		chịu nén nhưng ngắt nhiên liệu) để xác định ĐĐX lớn nhất tại các đoạn trục.
Đo ĐĐX.	- Đo để xác nhận độ chính xác của số liệu tính; - Nếu bảng tính không cần trình duyệt, hoặc Đăng kiểm nhận thấy không có cộng hưởng trong phạm vi khai thác thì không cần tiến hành đo ĐĐX thực tế.	- Cần xây dựng kế hoạch đo và phân tích ĐĐX đoạn trục trung gian để kiểm tra vùng tần số nguy hiểm (nếu có), biên độ ĐĐX tại vòng quay thử nghiệm. - Tiến hành so sánh những khác biệt giữa bảng tính và giá trị đo mức ứng suất, mô-men hay biên độ tăng thì giới hạn ứng suất đo sẽ được xác định thay cho giá trị tính. - Tiến hành đo trong trường hợp một trong các xy lanh không cháy. Xây dựng $\tau = \tau (n_{\text{diesel}})$ MPa
Ứng suất cho phép trục trung gian, trục đẩy, trục chân vịt. Tính theo $\lambda = n/n_{\text{max}}$	- Các giá trị cho phép đối với 3 loại trục trên trong hệ động lực diesel là máy chính được đưa ra theo các phạm vi: $\lambda \in (0.8 \div 1.05)$ và $\lambda < 0.8$ - Các giá trị cho phép đưa ra đối với các vật liệu khác nhau trong chế tạo đoạn trục này.	Trong từng trường hợp vòng quay tính toán ĐĐX, vật liệu sử dụng khác nhau cho trục trung gian. $\tau_{\text{gh.ttg}} = f(\lambda, \text{vật liệu})$ - với trục trung gian dưới dạng bảng hoặc đồ thị.
Tránh bậc cộng hưởng chính	Xét riêng cho hệ trục lai chân vịt	Kiểm tra cộng hưởng chính và biện pháp tránh cộng hưởng chính
Vùng vòng quay cấm khai thác	Khi ứng suất xoắn vượt quá giới hạn cho phép. Đưa ra vùng cấm.	Giới hạn vùng vòng quay cấm khai thác.

- Ứng suất xoắn cho phép trục trung gian, trục đẩy và trục chân vịt $[\tau]_{ttg}$

Theo QCVN chỉ dẫn việc tính $[\tau]_{ttg}$ khi động cơ diesel lai chân vịt hay lai máy phát điện, cũng như tính theo các dải tần vòng quay $\lambda = n/n_{max}$. Thông thường ta tính tại vòng quay cộng hưởng n_{ch} (Bảng 1.2)

Bảng 1.2 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

Loại	(a) Diesel 4 kì thẳng hàng hoặc chữ V, bố trí 45° hoặc 60°	(b) Diesel 2 kì hoặc 4 kì chữ V khác kiểu so với (a)
A	Vật liệu thép rèn (trừ thép không gỉ).	
A.1	Trường hợp xy lanh cháy bình thường $\lambda \in (0.8 \div 1.05)$	
	Khi $\lambda \in (0.8 \div 0.9)$	Khi $\lambda \in (0.9 \div 1.05)$
	$\tau_1 = \frac{\tau_s + 160}{18} \cdot C_k \cdot C_d \cdot (3 - 2\lambda^2)$	$\tau_1 = 1.38 \frac{\tau_s + 160}{18} \cdot C_k \cdot C_d$
Ghi chú	τ_s - Giới hạn bền kéo danh nghĩa của vật liệu trục (MPa hay N/mm²). 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 ăn mòn hoặc các vật liệu khác không bị ăn mòn bởi nước biển. C_K: Hệ số liên quan đến kiểu, hình dáng của trục được quy định trong [7], tr.70. C_d: Hệ số liên quan đến kích thước trục: $C_d = 0.35 + 0.93d^{-0.2}$ d: Đường kính trục (mm).	
A.2	Trường hợp có 01 vôi xy lanh không cháy $\lambda < 0.8$	
	$\tau_2 = \frac{1,7 \cdot \tau_1}{\sqrt{C_k}}$	
B	Vật liệu thép không gỉ	
B.1	Trường hợp xy lanh cháy bình thường $\lambda \in (0.8 \div 1.05)$	

	Khi $\lambda \in (0.8 \div 0.9)$			Khi $\lambda \in (0.9 \div 1.05)$
(7)	$\tau_1 = A - B\lambda^2$			$\tau_1 = C$
Ghi chú	Tên vật liệu	A	B	C
	SUSF 316	40.7	30.6	15.9
	SUSF 316			
	SU			
	SUSF 316 L	37.6	28.3	14.3
SUSF 316L				
SU				
B.2	Trường hợp có 01 vại xy lanh không cháy $\lambda < 0.8$			
	$\tau_2 = 2.3.\tau_1$			

- *Bậc cộng hưởng chính*

Bậc cộng hưởng chính của dao động một nút trong động cơ diesel thẳng hàng (ví dụ bậc thứ z đối với động cơ hai kì và bậc thứ z/2 đối với động cơ bốn kì (z là số xy lanh) không được tồn tại bên trong vùng vòng quay sau đây, trừ khi được Đăng kiểm chấp nhận riêng.

+ Đối với hệ trục lai chân vịt: $0.8 \leq \lambda' \leq 1.1$

+ Đối với hệ trục lai máy phát điện: $0.9 \leq \lambda' \leq 1.1$

λ' : Tỷ số giữa số vòng quay tới hạn trên số vòng quay liên tục lớn nhất.

- *Vùng vòng quay cấm*

1- Trong trường hợp nếu ứng suất DĐX vượt quá giới hạn cho phép τ_1 quy định ở mục ứng suất cho phép, thì phải áp dụng vùng vòng quay cấm giữa các giới hạn tốc độ sau đây. Vùng vòng quay cấm được đánh dấu bằng sơn màu đỏ trên đồng hồ đo tốc độ quay của động cơ để chuyển nhanh qua khỏi khu vực này trong khi khai thác động cơ diesel.

(1) Vùng vòng quay cấm phải giữa các giới hạn tốc độ sau:

$$\frac{16.n_c}{18 - \lambda''} \leq n_o \leq \frac{(18 - \lambda'').n_c}{16} \quad (1.1)$$

Trong đó

n_o : Số vòng quay cấm (v/ph)

n_c : Số vòng quay cộng hưởng (v/ph)

λ'' : Tỉ số giữa số vòng quay cộng hưởng trên số vòng quay liên tục lớn nhất.

(2) Đối với chân vịt biên bước, cả hai trạng thái bước chân vịt lớn nhất và bằng không đều phải được xem xét.

(3) Vùng vòng quay cấm trong trường hợp một xylanh của máy chính không chày phải có khả năng cho phép hành hải an toàn kể cả khi tàu chỉ được trang bị một máy chính.

2 - Nếu dải vòng quay được kiểm tra bằng cách đo mà ứng suất vượt quá giới hạn cho phép τ_1 quy định ở ứng suất cho phép thì dải vòng quay này cũng được coi là khu vực vòng quay cấm để tránh cho động cơ làm việc lâu dài ở đó, bất kể dải vòng quay quy định ở -1. Khi đó, phải lưu ý đến độ chính xác của đồng hồ đo vòng quay.

3 - Đối với động cơ nếu như không thể tránh được làm việc lâu dài ở vùng vòng quay cấm như quy định ở -1 và -2 trên thì phải cho động cơ chuyển nhanh qua vòng quay cộng hưởng và phải đưa ra các biện pháp cần thiết khác.

1.2 Thực trạng tính, đo MMX và phân tích ĐĐX

1.2.1 Thực trạng chung

Theo quy phạm đăng kiểm tàu biển vỏ thép của nhiều nước trên thế giới, trong đó có đăng kiểm Việt Nam (VR) về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép (QCVN 21:2015/BGTVT [7]); Đăng kiểm Hoa Kỳ (2014) [8], Đăng kiểm Nhật Bản (2014) [10]; Đăng kiểm Hoàng gia Anh Lloyd (2014) [11]; Đăng

kiểm hàng hải Nga (2014) [34]; từ nhiều năm trước đây đã đưa ra yêu cầu phải tính ĐĐX hệ trục chính lai chân vịt, máy chính là động cơ diesel hay động cơ tua-bin, cũng như động cơ diesel lai máy phát điện. Những năm trước đây khi tính ĐĐX hệ trục diesel, chỉ xét trường hợp diesel hoạt động bình thường với tất cả các xy lanh, thực tế đã gặp nhiều sự cố gãy trục khi động cơ hoạt động với một số xy lanh không cháy. Điều này đã đặt ra nhiệm vụ nghiên cứu lý thuyết tính toán ĐĐX trong trường hợp một số xy lanh không cháy. Từ nghiên cứu lý thuyết và kiểm chứng thực nghiệm, nhiều cơ quan đăng kiểm thế giới đã bổ sung việc tính toán và đo đạc kiểm tra ĐĐX khi đóng mới, hoán cải hệ động lực diesel tàu thủy. Ví dụ, theo quy phạm của đăng kiểm tàu biển Nga phiên bản gần đây nhất (2014) [34] đã thay đổi so với phiên bản cũ (1995) [35] và (1978) [36].

1.2.2 Tính mô-men xoắn và phân tích dao động xoắn

Yêu cầu phải xuất trình các hồ sơ tính ĐĐX hệ trục diesel tàu thủy, đồng thời phải kiểm tra các tiêu chuẩn cần thiết tương ứng (theo quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của đăng kiểm Việt Nam trước đây, hay hiện nay theo quy chuẩn kỹ thuật quốc gia) về ĐĐX vì một số nguyên nhân sau đây:

- Mô hình toán - cơ viết cho cơ hệ là mô hình có độ chính xác tương đối, với các giả thuyết gần đúng (giả thiết cơ hệ quy đổi tương đương về n khối lượng tập trung nào đó; các giá trị của các đại lượng mô-men quán tính khối lượng (MMQTKL), hệ số cứng xoắn (HSCX) và đặc biệt là hệ số cản xoắn chỉ là gần đúng, có sai số. Ở đây, hệ số cản xoắn có thể nhận các giá trị khác nhau trong phạm vi rộng theo các công thức thực nghiệm mà nhiều nhà khoa học, nhiều viện nghiên cứu, nhiều nhà máy chế tạo đưa ra;
- Phương pháp tính với bài toán phức tạp có các hệ số không chuẩn tắc (không xác định cụ thể, có sai số) sẽ có độ chính xác khác nhau;

- Trong tính toán không xét được cụ thể các yếu tố ảnh hưởng của môi trường thủy động học chân vịt – vỏ tàu đến DĐX.

Như vậy, quá trình nghiên cứu DĐX luôn được quan tâm từ quan điểm tính toán sao cho sát với thực tế bằng cách hoàn thiện dần phương pháp tính; hoàn thiện mô hình tính chi tiết đến một số đặc tính đặc biệt nào đó của các thành phần trong cơ hệ ...

Các trường phái nghiên cứu tính DĐX được kể đến từ các nước Đông Âu cũ (Liên Xô, Bulgari, Ba Lan...) và từ một số nước có nền khoa học công nghệ Hàng hải phát triển hiện nay như Hà Lan, Đan Mạch, Nhật, Trung Quốc, Hàn Quốc. Tuy nhiên trong thực tế các nhà khoa học, các hãng sản xuất động cơ diesel và các nhà máy đóng sửa chữa tàu đều tập trung giải quyết các vấn đề tính DĐX mà các cơ quan Đăng kiểm yêu cầu, đó là tính DĐX tự do (FTV) theo phương trình vi phân (1.2) và DĐX cưỡng bức (ETV) theo phương trình (1.3) viết dưới dạng ma trận cho cơ hệ DĐX tuyến tính [4].

$$J.\ddot{\varphi} + C.\varphi = 0 \quad (1.2)$$

$$J.\ddot{\varphi} + B.\dot{\varphi} + C.\varphi = M(t) \quad (1.3)$$

Trong đó J - véc tơ MMQTKL tập trung; φ - véc tơ trạng thái DĐX; C - ma trận hệ số cứng xoắn và B - ma trận hệ số cản xoắn; M - véc tơ mô-men cưỡng bức sinh ra DĐX cưỡng bức.

Các kết quả của các quá trình tính được báo cáo dưới dạng bảng và đồ thị tương ứng [9], [13], [20], [22], [23] và [24]. Các bảng tính tần số dao động tự do được thực hiện nhiệm vụ xác định 2-3 tần số dao động riêng đầu tiên và tương ứng với từng tần số riêng là đường biến dạng trục (có 1, 2 hoặc 3 tâm). Điểm đặc biệt quan tâm là lân cận điểm tâm, hiệu số giữa hai biên độ dao

động tự do của hai MMQTKL bao quanh điểm tâm đó là lớn nhất (vì các biên độ lệch dấu nhau). Tuy nhiên, tại điểm tâm, biên độ dao động bằng không.

Tần số và dạng dao động riêng của các MMQTKL phụ thuộc vào mô hình động học của hệ trục, ở đó đặc trưng bởi các giá trị MMQTKL và hệ số cứng xoắn của từng thành phần cơ hệ. Khi hệ trục chính thực hiện một phương án khai thác nhất định, lúc đó cơ hệ sẽ có cặp các thông số quan trọng cần xác định về DĐX tự do của nó, đó là tần số dao động riêng ω_{0j} , $j = 1, 2, 3$; và dạng dao động tự do tương ứng α_{ij} , $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, 3 \dots$ [4].

Các phương án khai thác khác nhau của hệ trục chính diesel lai chân vịt trên các tàu hàng công suất lớn, dùng động cơ diesel 2 kỳ thấp tốc lai trực tiếp chân vịt thường được thiết kế có máy phát điện đồng trục làm việc, khi động cơ hoạt động ổn định trên biển. Tại chế độ khai thác này, hệ trục gồm DME đồng thời lai chân vịt và lai máy phát điện, mô hình động học DĐX sẽ là mô hình rẽ nhánh. Khi DME ngắt không lai máy phát đồng trục nữa, cơ hệ DĐX theo mô hình thẳng. Đối với hệ trục chính động cơ diesel trung cao tốc lai chân vịt qua hộp giảm tốc, có sử dụng ly hợp hoặc hệ trục lai chân vịt biến bước, mỗi trường hợp khai thác đặc trưng trong tập hợp các dải chế độ khai thác hệ trục chân vịt đều là trường hợp cụ thể cần nghiên cứu tính toán DĐX nói chung và DĐX tự do nói riêng cho cơ hệ đó.

Để tính DĐX cưỡng bức cần xác định được mô-men cưỡng bức (mô-men xoắn kích thích) tại từng khối lượng tập trung của mô hình. Đối với cơ hệ nghiên cứu, mô-men cưỡng bức cần xác định là mô-men cưỡng bức quy đổi tại từng khuỷu trục của các xy lanh và MMX cưỡng bức tại chân vịt. Mô-men quy đổi tại từng xy lanh gồm các thành phần cưỡng bức sau:

- Mô-men do lực khí thể sinh ra (gọi tắt là mô-men khí thể, $M_{i, \text{gas}}$), mô-men khí thể này tính theo lực khí thể tác động lên đỉnh piston, được xác định theo

giá trị tính toán hay giá trị đo của áp suất trong buồng đốt theo góc quay trục khuỷu (gqtk).

- Mô-men do lực quán tính sinh ra (các khối lượng tham gia chuyển động song phẳng, quy đổi về thành một khối lượng mất cân bằng, đặt tại điểm đặt piston), mô-men này gọi là mô-men quán tính, $M_{i,qt}(t)$. Theo hồ sơ động cơ thường có thông tin về khối lượng mất cân bằng (kg), từ đó ta tính được lực quán tính quy đổi theo định luật hai Newton.

Trong các bảng tính ĐĐX ở các tài liệu tham khảo: [9], [13], [20], [21], [23], ... đều không xét đến thành phần mô-men cưỡng bức quán tính, mà chỉ quan tâm đến thành phần mô-men khí thể. Các bảng tính đều không đưa ra số liệu cụ thể của biên độ và pha từng điều hòa của mô-men khí thể. Theo cách tính truyền thống trước đây thường dùng đồ thị mối quan hệ giữa biên độ và pha của các điều hòa theo áp suất chỉ thị bình quân của động cơ. Phương pháp này có độ chính xác không cao, khó tính được tự động. Chính vì vậy một số công ty tính ĐĐX chuyên nghiệp đã xây dựng phần mềm tự động tính các thành phần của lực cưỡng bức điều hòa theo đồ thị cháy của động cơ.

Thành phần MMX cưỡng bức do chân vệt sinh ra trong các bảng tính báo cáo Đăng kiểm cũng không đề cập đến. Tuy nhiên, trong nghiên cứu, một số nhà khoa học sử dụng công thức thực nghiệm đưa ra từ Viện nghiên cứu Hoàng gia Anh [33]. Trong công thức tính ĐĐX cưỡng bức (1.2), thành phần mô-men cản được quy đổi về các hệ số trong ma trận B (mô-men cản tỉ lệ với dao động vận tốc góc). Các hệ số này biến đổi trong phạm vi rộng và được các tài liệu chuyên về tính ĐĐX đưa ra [33], [40]. Các hệ số cản được phân tích và đưa vào bảng tính dưới dạng hệ số cản ngoài và hệ số cản trong [13], trong khi đó hầu hết các bảng tính khác chỉ xét đến hệ số cản ngoài [9], [21], [23]. Các hệ số cản ngoài $b_{k, k+1}$ (Nms/rad) thường được tính đến do tính chất

cản của vật liệu trực giữa các MMQTKL, còn hệ số cản trong b_k (Nms/rad) tập trung tại các MMQTKL. Mô men cản do các thành phần cản trong và ngoài:

$$M_{d,k} = b_k \cdot \dot{\varphi}_k; M_{d,k,k+1} = b_{k,k+1} \cdot (\dot{\varphi}_{k+1} - \dot{\varphi}_k) \quad (1.4)$$

Hệ số cản ngoài hầu như chưa được các tài liệu nghiên cứu công bố, trong khi đó các hệ số cản trong đối với động cơ diesel được một số nhà khoa học đưa ra [33], [40]. Hệ số cản xoắn do chân vịt sinh ra được đưa ra bởi nhiều nhà nghiên cứu khác nhau và được tập hợp trong sách chuyên khảo [33].

Trong nghiên cứu tính DĐX, để giải phương trình (1.3), các nhà khoa học đã sử dụng nhiều phương pháp khác nhau như phương pháp mô hình hóa giải tích, mô phỏng số. Từ những năm 70 - 80 thế kỷ XX, việc tính DĐX vô cùng khó khăn vì chưa có các công cụ mạnh của toán học và máy tính hiện đại. Tính DĐX hầu như thủ công hoặc bán tự động nhờ lập trình trên ngôn ngữ Fortran hoặc Basic, trên hệ máy tính cổ điển, công kênh, tốc độ thấp bằng phương pháp giải cũ, lạc hậu. Tiếp sau đó, trong những năm 90 của thế kỷ XX, nhờ có máy tính hiện đại hơn, tốc độ cao hơn và đã xây dựng các thuật toán mạnh hơn về giải tìm nghiệm đa thức bậc cao, giải hệ phương trình tuyến tính bằng phương pháp ma trận, ... đã được triển khai trong các phần mềm mô phỏng, phần mềm chuyên dụng như TUTSIM, PS, MCAD, MATLAB, ... giúp cho việc tính toán, nghiên cứu DĐX được thuận tiện và dễ dàng hơn nhiều.

MATLAB, MCAD, ANSYS hay các phần mềm khác đều mang tính hỗ trợ để tính toán, mô phỏng DĐX trong thí nghiệm, nghiên cứu, chúng thiếu đi tính chuyên dụng của một phần mềm ứng dụng chuyên cho lĩnh vực xây dựng thiết bị đo hiện đại, ứng dụng cho chế tạo thiết bị đo, trong đó có thiết bị đo

và phân tích MMX, ĐĐX chuyên ngành đóng tàu và đăng kiểm hệ trục máy tàu thủy.

Các hãng lớn trên thế giới đều sử dụng các phần mềm tính ĐĐX riêng của mình theo các yêu cầu của đăng kiểm quốc tế cũng như một số đăng kiểm của các nước sở tại. Ở Việt Nam, chưa xây dựng được phần mềm tính nào mà đăng kiểm Việt Nam cũng như nước ngoài công nhận.

Về phương pháp tính ĐĐX có thể kể đến các công trình khoa học của các nhà nghiên cứu nổi tiếng trên thế giới GS.TSKH. Istomin P.A (1986, *Dao động xoắn của động cơ đốt trong tàu thủy, Leningrad, LB Nga*), GS. Minchev N.D (1983, *Bulgari*) và học trò của các giáo sư. Nội dung trong nhiều luận án tiến sĩ chuyên ngành (phó tiến sĩ trước đây) cũng như trong các luận án tiến sĩ khoa học đã nghiên cứu phát triển và hoàn thiện phương pháp tính ĐĐX hệ động lực diesel tàu thủy hiện đại [3], [33].

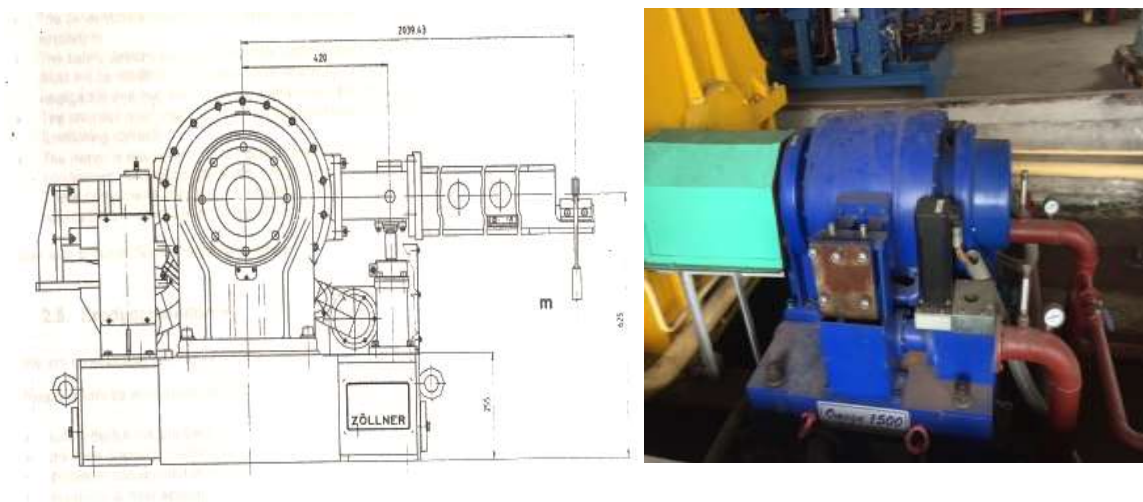
Về nghiên cứu ĐĐX hệ trục diesel tàu thủy tại Việt Nam có thể kể đến các nhà khoa học như: PGS.TSKH. Đỗ Đức Lưu; PGS.TS.Nguyễn Vĩnh Phát; TS.Quản Trọng Hùng (Đại học Hàng hải Việt Nam); GS.TS.Đào Trọng Thắng; TS.Nguyễn Năng Thắng (Học viện Kỹ thuật Quân sự); TS. Nguyễn Đình Tường (Viện kỹ thuật Hải quân) đã nghiên cứu các vấn đề:

- Tần số riêng của ĐĐX tự do, các dạng của ĐĐX tự do;
- Nghiên cứu giải các bài toán ĐĐX cưỡng bức, cộng hưởng và gần cộng hưởng từ đó rút ra vùng khai thác có ứng suất xoắn nguy hiểm. Các phương pháp mô hình hóa năng lượng tương đương; phương pháp hai lần mô hình và phương pháp hệ tọa độ chính [4], [33].
- Ứng dụng mô hình không gian ANSYS để khảo sát ĐĐX;

- Các yếu tố ngẫu nhiên trong quá trình lắp ráp, chế tạo đến biên độ dao động của các khối lượng;
- Nghiên cứu ĐĐX ở các chế độ động cơ diesel làm việc bình thường và chế độ diesel có xy lanh không cháy.

1.2.3 Đo MMX và phân tích ĐĐX

Về thiết bị đo MMX với mục đích phục vụ nghiên cứu khoa học, tại Đại học Hàng hải Việt Nam đã đầu tư lắp đặt thiết bị đo MMX dạng phanh thủy lực, tiêu hao công suất (kiểu tiếp xúc), OMEGA 1500 (hình 1.1).

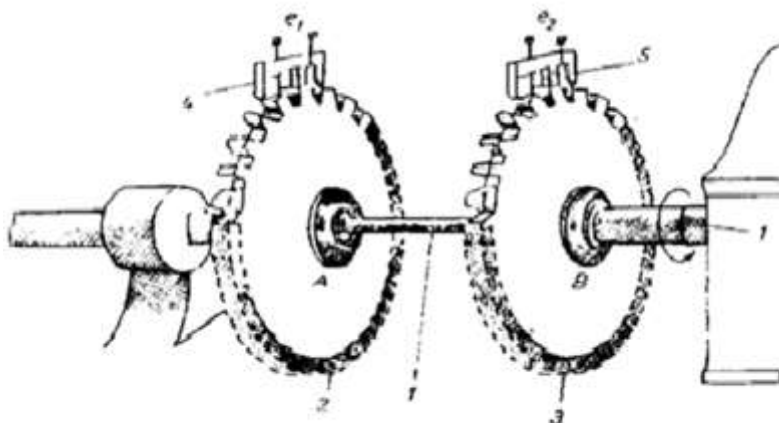


Hình 1.1 Bộ đo MMX kiểu phanh hãm thủy lực Omega 1500

Thiết bị trên hình 1.1 lắp đặt tĩnh tại trên bệ thử, nối với trục động cơ qua khớp nối bích cứng. Nếu đặt ra mục đích ứng dụng đo trên hệ trục các tàu khác thì thiết bị này không thể sử dụng được.

Đối với kiểu đo MMX kiểu không tiếp xúc (không tiêu hao công suất) bằng phương pháp từ trường như hình 1.2 cũng đã được chế tạo cách đây 30 năm, được lắp trên các tàu biển trong những năm cuối thế kỉ XX, ở Việt Nam tàu huấn luyện SAO BIỂN cũng được trang bị thiết bị đo MMX loại này. Viện Công nghiệp tàu thủy (Viện CNTT) Việt Nam, trước đây đã nhập mua

theo dự án đầu tư của chính phủ khi Tập đoàn Công nghiệp tàu thủy Việt Nam đang hoạt động mạnh thiết bị đo MMX theo phương pháp tem dán biến dạng, truyền tín hiệu không dây bằng sóng radio. Tại Việt Nam khi đó đóng thường xuyên nhiều tàu vận tải biển chở hàng tổng hợp với trọng tải đến 54000 tấn.



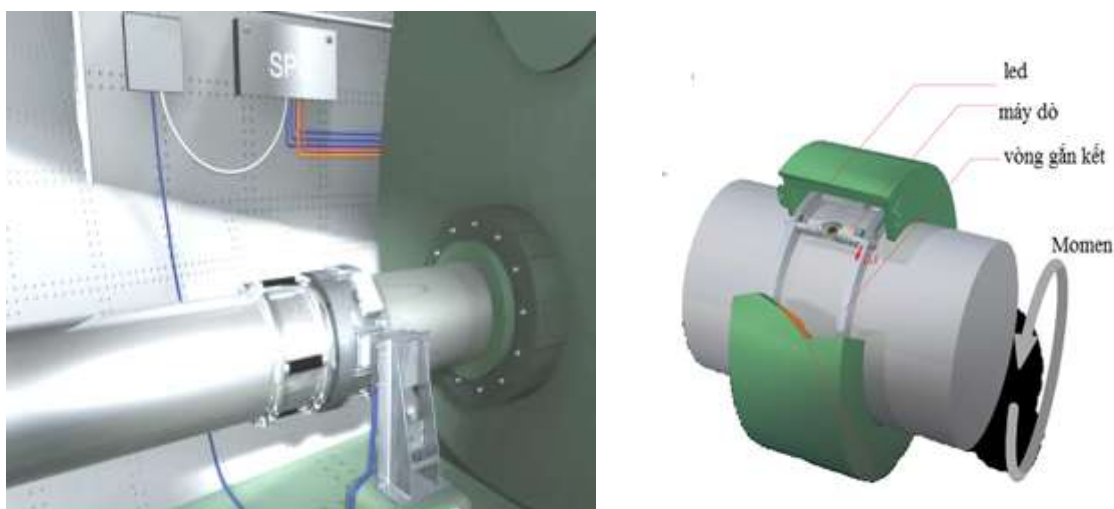
Hình 1.2 Thiết bị đo MMX dạng từ trường lắp trên tàu Sao Biển

1. Trục cân đo MMX; 2, 3. Đĩa sắt từ; 4, 5. Bộ chuyển đổi cảm ứng

Thiết bị đo ĐĐX (kiểu không tiếp xúc dạng tương tự) nhập ngoại đã phát huy tính năng của mình nhưng giá thành quá cao. Đây là thiết bị đo ĐĐX dạng tem dán biến dạng xoắn trên bề mặt trục và tín hiệu được truyền qua sóng radio bằng các anten phát và thu. Theo kinh nghiệm của Viện CNTT, mỗi lần đo ĐĐX thực tế chi phí khoảng 100 triệu đồng.

- Trên thế giới có một số hãng chuyên sản xuất thiết bị đo MMX kiểu tem dán hoạt động theo nguyên tắc cầu wheatstone, bộ phát tín hiệu bằng cảm biến ứng suất xoắn - biến dạng trên bề mặt trục - chuyển thành tín hiệu điện áp dạng tương tự (analog) như của Viện CNTT đã mua. Bộ thu bằng nam châm điện không tiếp xúc trên stator, tín hiệu này chuyển thành tín hiệu số đưa về phần mềm xử lý và hiện thị kết quả như Seatechnik Torsionmeter

TSX5 của Sea-Technik Ltd (Anh Quốc) [50]; Torsion Power Meter TPM2 của Binsfeld (Mỹ) [43]. Hiện nay trên các đội tàu hiện đại công suất lớn của các nước phát triển đã lắp đặt hệ thống đo liên tục và giám sát MMX bằng kỹ thuật số kiểu quang học, hoạt động bằng điện tử là loại không tiếp xúc dạng kỹ thuật số như loại Series 420 của Hãng Datum Electronic (Anh Quốc) [51]; T-Sense của VAF (Hà Lan) [55].



Hình 1.3 Thiết bị đo MMX dạng quang học T-SENSE của hãng VAF [55]

Các thiết bị trên phần lớn là các thiết bị đo MMX cố định lắp đặt sẵn trên đường trục của tàu, chưa thỏa mãn tính cơ động khi các đơn vị có nhiều đội tàu cũng như bất tiện cho các nhà máy sửa chữa và đóng tàu cần sử dụng thiết bị đo cho nhiều loại tàu khác nhau, nhiều đường kính trục khác nhau, giá thành thiết bị lại rất cao (khoảng 55,000 USD/bộ chưa bao gồm chi phí lắp đặt, chuyển giao công nghệ tại các nước hay tại tàu) và đặc biệt khó khăn cho các tàu có công suất vừa và nhỏ vì trình độ ngoại ngữ của các thuyền viên trên những tàu này còn nhiều hạn chế nên tiếp cận các thiết bị ngoại nhập hết sức khó khăn, ảnh hưởng đến việc đo và phân tích ĐĐX.

Tại Việt Nam, phần lớn các nhà máy đóng tàu, các đơn vị sửa chữa tàu cũng như các chủ phương tiện thủy gần như chưa quan tâm và chưa để ý đến tín hiệu quan trọng MMX trên trục ra của động cơ, vì chưa được trang bị thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX khi lắp đặt mới hệ trục, thử tàu bàn giao có giám sát của tổ chức đăng kiểm trước khi đưa vào sử dụng với toàn dải vòng quay khai thác từ tối thiểu đến cực đại, cũng như kiểm tra trạng thái kỹ thuật máy liên quan đến MMX (công suất máy) trước và sau khi sửa chữa tàu hay đóng mới. Hiện chưa có một cá nhân hay tổ chức nào ở Việt Nam công bố chế tạo thiết bị đo và phân tích ĐĐX động cơ diesel lai chân vịt tàu thủy. Các đơn vị sử dụng muốn đầu tư thiết bị, có thể tìm mua từ các hãng nổi tiếng trên thế giới như hệ thống đo MetaPower của Kongsberg (Na Uy) [45]; Hệ thống đo T-Sense của VAF (Hà Lan) [55] hay hệ thống TPM2 của Binsfeld (Mỹ) [43] hoặc các hãng khác trên thế giới. Tuy nhiên, giá thành quá cao và chúng ta cũng không làm chủ được khoa học công nghệ của thiết bị ngoại nhập.

Xuất phát từ thực tế đó, NCS đặt ra nhiệm vụ nghiên cứu chế tạo thử nghiệm thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX động cơ diesel lai chân vịt tàu thủy, làm chủ khoa học công nghệ và hướng tới nội địa hóa sản phẩm tại Việt Nam với giá thành thấp hơn hàng ngoại nhập, lắp đặt và sử dụng dễ dàng, kích thước nhỏ gọn, có thể sử dụng cho nhiều tàu khác nhau và có thể sử dụng tại phòng thực hành, viện hoặc các trường đại học trong nước.

1.3 Các phương pháp đo mô-men xoắn hiện đại

Xét về bản chất vật lý, MMX có thể đo được bằng nhiều phương pháp khác nhau như đo trực tiếp bằng các bộ biến đổi mô-men (torque transducer) cũng như các bộ đo MMX gắn liền trục quay (torsion dynamo-meter) hay các bộ biến đổi mô-men (torque converter)... nhưng các phương pháp này không phù hợp để lắp trên hệ trục diesel tàu thủy lai chân vịt khi đóng mới và/hoặc

khi thử tàu sau sửa chữa. Vì thế trong phần này, chỉ tập trung giới thiệu phương pháp đo độ lệch góc giữa hai mặt cắt trên một đoạn trục và phương pháp biến dạng xoắn trên bề mặt trục trung gian, cụ thể như sau:

(1) Đo biến dạng xoắn bằng các tem dán biến dạng (tenzometer, strain gage).

Đo biến dạng bề mặt trên trục quay có thể đo bằng các tem dán ứng suất dạng mạch cầu wheatston có bù nhiệt và truyền sóng radio (RF) qua các bộ thu phát không dây.

(2) Đo độ lệch góc xoắn kiểu từ trường (magnetic; magneto-elastic); hoặc kiểu quang học (optical).

Độ lệch góc có thể được tính qua tích phân độ lệch vận tốc góc hoặc qua tích phân hai lần độ lệch gia tốc góc giữa hai mặt cắt đo thông qua các công nghệ hiện đại gần đây như Encoder (xung), MPU: Magnetic Pick Up (từ trường) hay Optical (quang học).

Khi dùng kiểu từ trường (MPU) tín hiệu đo được là tín hiệu tương tự, còn tín hiệu đo bằng quang học (Optical) là tín hiệu số phụ thuộc vào đặc điểm cụ thể của từng loại mà chúng ta phân loại ra tín hiệu dao động chuyển vị góc, vận tốc góc hoặc gia tốc góc.

Như vậy: Đo tín hiệu MMX trên trục trung gian có thể thực hiện theo 02 phương pháp khác nhau: Theo nguyên lý biến dạng ứng suất xoắn trên bề mặt hay theo độ lệch góc xoắn. Bảng 1.3 sau đây sẽ đi sâu phân tích ưu nhược điểm của hai phương pháp đo hiện đại trên, để từ đó lựa chọn một phương pháp phù hợp cho nghiên cứu của đề tài.

Bảng 1.3 Phân tích ưu nhược điểm 02 phương pháp đo MMX hiện đại

PHƯƠNG PHÁP ĐỘ LỆCH GÓC <i>(Từ trường/quang học)</i>	PHƯƠNG PHÁP BIẾN DẠNG XOẮN <i>(Tem dán biến dạng)</i>
Có khả năng truyền phát tín hiệu số dễ dàng, công nghệ vi xử lý	Có khả năng truyền phát tín hiệu tương tự dễ dàng, công nghệ truyền phát không dây
Dễ lưu trữ và phân tích dữ liệu trên máy tính, kết hợp vào điều khiển giám sát hệ thống và mạng dữ liệu từ tàu đến công ty quản lý tàu.	Dễ lưu trữ và phân tích dữ liệu trên máy tính, kết hợp vào điều khiển giám sát hệ thống và mạng dữ liệu từ tàu đến công ty quản lý tàu.
Yêu cầu môi trường làm việc IP65	Phù hợp trong môi trường áp suất, nồng độ hơi dầu và nhiệt độ cao
Yêu cầu cao về lắp đặt và hiệu chỉnh	Lắp đặt đơn giản, dễ dàng hiệu chỉnh
Ứng dụng cho từng trường hợp đường kính trục cụ thể, lắp đặt cố định	Có khả năng cơ động, ứng dụng rộng rãi cho các đường kính trục khác nhau, phù hợp với việc thử tàu
Kết quả đo phụ thuộc vào độ kín khít của cảm biến, cần có vòng làm kín nhất là kiểu đo quang học và độ chính xác, kinh nghiệm khi lắp đặt cảm biến	Kết quả đo phụ thuộc nhiều vào loại vật liệu trục quay, kiểu trục, độ sạch bề mặt trục, tốc độ quay
Không phải bảo dưỡng thường xuyên	Cần phải kiểm tra bảo dưỡng định kỳ
Kết cấu cồng kềnh, cần có các bộ gá phù hợp với các trục có đường kính khác nhau	Kết cấu nhỏ gọn, gắn trực tiếp trên trục quay
Giá thành tương đối cao	Giá thành thấp

Qua phân tích ưu nhược điểm của 02 phương pháp (bảng 1.3) có thể lựa chọn phương pháp biến dạng xoắn trên bề mặt trục đo để nghiên cứu trong đề tài luận án vì những ưu điểm vượt trội của phương pháp này:

- Không tiêu tốn công suất trên trục, đáp ứng vì khí hậu buồng máy

- Có thể ứng dụng rộng rãi trên các loại đường kính trục khác nhau, thích hợp khi thực nghiệm nhiều lần, ở nhiều nơi khác nhau, để kiểm chứng kết quả cho các lần đo.
- Tính phổ biến của phương pháp đo này hiện nay đang áp dụng rộng rãi trên thế giới.
- Đặc biệt là chi phí thấp nhất trong các phương pháp đo, càng phù hợp với mục đích nghiên cứu thực nghiệm được nhiều lần.

Những năm trước đây, phương pháp thu thập và truyền dữ liệu tín hiệu MMX đo được thông thường bằng công nghệ sóng tần (RF) nhưng hiện nay nhờ công nghệ truyền thông phát triển mạnh nên rất thuận lợi để sử dụng công nghệ truyền tin không dây (Wifi) khi chế tạo thiết bị đo MMX. Hai công nghệ có thể áp dụng cho nội dung nghiên cứu của đề tài được thể hiện trên hình 1.4 như sau.



Hình 1.4 Công nghệ thu phát tín hiệu MMX và phân tích DDX

Tóm lại, phương án lựa chọn hợp lý cho nghiên cứu thiết kế, chế tạo thử nghiệm thiết bị đo và phân tích DDX động cơ diesel lai chân vịt tàu thủy tại Việt Nam bằng phương pháp biến dạng xoắn trên bề mặt trục trung gian là có ý nghĩa thực tiễn cao.

1.4 Phân tích tín hiệu dao động xoắn

Mục tiêu quan trọng của đo tín hiệu MMX là xử lý tín hiệu này để thu được thông tin DĐX trên các đoạn trục, sao cho USX trên tất cả các đoạn trục đều không vượt quá giới hạn cho phép tương ứng với từng đoạn trục đó.

Thông thường chúng ta triển khai đo tín hiệu MMX ở một vị trí nào đó (thường là ở đoạn trục trung gian), tại đó có không gian cho phép chúng ta triển khai lắp đặt thiết bị đo, mặt khác phải đảm bảo sau khi đo, lưu trữ tín hiệu đo được, chúng ta có thể dùng chúng để tiếp tục xử lý tín hiệu, xác định các DĐX, USX trên đoạn trục đo.

Thứ nhất, vị trí đo DĐX trên đoạn trục không nằm tại “tâm”(hay “node”) của đường biên dạng, có nghĩa là tại đó biên độ dao động tự do phải khác không.

Thứ hai, tại chế độ dao động cộng hưởng ta thu được biên độ DĐX là lớn nhất, nguy hiểm nhất, các DĐX cộng hưởng đều “đồng pha” với nhau, có nghĩa là khi ta đo được dao động tại một vị trí đo, các vị trí khác (MMQTKL) sẽ được suy diễn tương tự.

Như vậy, vấn đề xác định USX tại tất cả các đoạn trục đều tập trung ở khâu tính bài toán DĐX tự do và xử lý tín hiệu MMX đo được về dạng DĐX biến đổi trong miền tần số (qua phép FFT). Việc xử lý tín hiệu MMX để thu được USX thể hiện theo mối quan hệ giữa biên dạng xoắn – MMX và USX đã biết trong chương trình cơ kỹ thuật và sức bền vật liệu.

1.5 Nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu thiết kế chế tạo thử nghiệm thiết bị đo MMX và phân tích DĐX động cơ diesel lai chân vịt phải dựa vào các yêu cầu của hiệp hội các tổ chức đăng kiểm trên thế giới, trong đó có quy phạm QCVN21: 2015/BGTVT. Từ đó đưa ra kết quả tính USX và so với USX cho phép để các cơ quan đăng kiểm xem xét cấp giấy chứng nhận về DĐX.

Nội dung cơ bản cần thực hiện trong luận án:

(1) Phân tích, lựa chọn phương pháp đo MMX hiện đại, đáp ứng QCVN và các tiêu chuẩn quốc tế, phù hợp với công nghệ tiên tiến trên thế giới và phù hợp với điều kiện Việt Nam - Phương pháp tem dán biến dạng, truyền tín hiệu đo bằng phương pháp Wi-fi.

(2) Nghiên cứu cơ sở lý thuyết và công nghệ đo, phân tích tín hiệu MMX/DĐX trên hệ trục động cơ diesel lai chân vịt. Đưa ra yêu cầu kỹ thuật, yêu cầu công nghệ đối với thiết bị cần chế tạo.

(3) Xây dựng sơ đồ nguyên lý cấu tạo thiết bị. Lựa chọn cấu hình và các tính năng quan trọng cần đạt được của thiết bị và từng bộ phận chức năng.

(4) Mô phỏng, tính MMX, DĐX động cơ diesel lai chân vịt tàu thủy.

(5) Nghiên cứu thiết kế thiết bị đo MMX và phân tích DĐX cần chế tạo.

(6) Nghiên cứu thực nghiệm để kiểm tra, đánh giá và hiệu chuẩn thiết bị.

1.6 Kết luận chương 1

Từ phân tích tổng quan nêu trên chúng ta rút ra kết luận sau:

- Quy phạm của các tổ chức đăng kiểm hàng hải quốc tế cũng như trong nước đều yêu cầu bắt buộc phải tính và đo DĐX hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy khi đóng mới hoặc hóa cải tàu. Chính vì vậy, việc nghiên cứu DĐX là một nhiệm vụ hết sức cần thiết hiện nay.
- Nghiên cứu DĐX để xác định vùng vòng quay cộng hưởng đối với hệ trục diesel tàu thủy (nếu có), từ đó đưa ra khuyến cáo trong vận hành khai thác hệ động lực tàu thủy nhằm đảm bảo an toàn bền xoắn cho các đoạn trục trong cơ hệ.
- Đề tài của luận án: “*Nghiên cứu chế tạo thiết bị đo mô-men xoắn và phân tích dao động xoắn hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy*” có tầm quan trọng, tính cấp thiết, ý nghĩa khoa học và thực tiễn đối với tình hình, điều kiện tại Việt Nam.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CHO CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO MÔ-MEN XOẮN VÀ PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG XOẮN HỆ TRỤC DIESEL LAI CHÂN VỊT TÀU THỦY

2.1 Cơ sở lý thuyết và công nghệ cảm biến biến dạng xoắn bề mặt trục

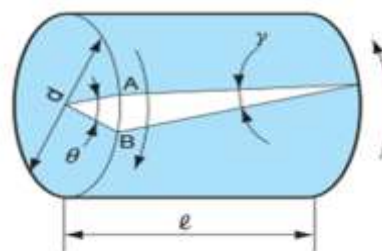
2.1.1 Xác định MMX, USX trên đoạn trục

2.1.1.1 Xác định MMX và USX theo biến dạng góc

Đoạn trục có chiều dài L (m), mô đun đàn hồi trượt vật liệu G (N/m^2), đường kính d (m), chịu một mô-men M (N.m). Khi đó đoạn trục chịu một ứng suất xoắn τ (N/m^2).

Ta xác định các mối quan hệ giữa các đại lượng trên (Hình 2.1).

Độ cứng xoắn C của đoạn trục (N.m/rad) được xác định:



Hình 2.1 Mối quan hệ các biến dạng góc xoắn [41]

$$C = \frac{\pi G}{32} \cdot \frac{D^4}{L} \quad (2.1)$$

Mô-men chống xoắn W (m^3) của đoạn trục được xác định:

$$W = \frac{\pi D^3}{16} \quad (2.2)$$

Ứng suất xoắn và mô men đàn hồi có mối quan hệ:

$$M = C \cdot \Delta\varphi = \tau \cdot W; \Delta\varphi = \gamma;$$

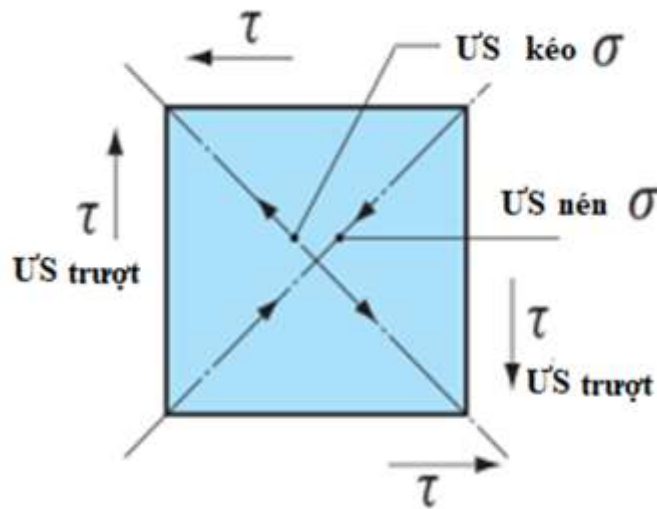
$$\tau = (C/W) \cdot \gamma \quad (2.3)$$

Các công thức trên cho phép ta đo MMX (M) và USX (τ) trên đoạn trục đo bằng phương pháp xác định trực tiếp hay gián tiếp độ lệch góc $\gamma = \Delta\varphi$ (radian) của hai mặt cắt hai đầu đoạn trục dài L .

2.1.1.2 Phương pháp xác định góc biến dạng xoắn $\gamma = \Delta\varphi$

Phương pháp 1. Góc lệch xoắn có thể được xác định trực tiếp bằng cách đo góc xoắn tại hai mặt cắt ở hai đầu đoạn trục, sau đó trừ đi cho nhau. Ngoài ra góc lệch xoắn cũng được đo gián tiếp bằng cách đo vận tốc góc tại hai mặt cắt tương tự rồi tính hiệu của chúng. Hướng đo này cần sử dụng các công nghệ đo hiện đại để xác định góc/vận tốc tức thời tại từng thời điểm đo.

Phương pháp 2. Khi đoạn trục chịu xoắn, xuất hiện USX (trượt). Khi đó trên hai trục vuông góc với nhau, tạo một góc 45° so với đường trục, ứng suất kéo và ứng suất nén xuất hiện tương đương với ứng suất trượt [46]. Như vậy, đo USX bề mặt τ thực hiện gián tiếp qua việc đo ứng suất kéo và nén trên hai trục tạo với đường trục một góc $\pm 45^\circ$ (Hình 2.2).



Hình 2.2 Mối quan hệ các ứng suất do MMX tạo nên [41]

Phương pháp biến dạng sử dụng 1 tem dán trên 1 trục, 2 tem dán trên 1 trục, 4 tem dán trên 1 trục (cả hai phía) sẽ khuếch đại ứng suất kéo nén lên 1, 2 hoặc 4 lần. Các chế độ đo sẽ là $\frac{1}{4}$ cầu (quarter-bridge); $\frac{1}{2}$ cầu (half-bridge) hoặc cầu đủ (full-bridge).

Dựa vào định luật Hooke, mối quan hệ giữa ứng suất trượt τ và biến dạng xoắn được xác định như sau:

- Đo ứng suất cùng $\frac{1}{4}$ cầu (quarter bridge)

Trên trục tạo với đường trục một góc 45° , sẽ xác định được ứng suất kéo/nén σ (N/mm²):

$$\sigma = \frac{E}{1+\nu} \varepsilon_0; \sigma = \tau \quad (2.4)$$

Trong đó: ε_0 : biến dạng tương đối kéo – nén; σ - ứng suất kéo nén; E - mô đun đàn hồi, N/m²; ν - hệ số poisson (pát-xông).

- *Đo ứng suất cùng ½ cầu (haft bridge)*

Trên hai trục tạo với đường trục góc $\pm 45^\circ$, xác định ứng suất kéo/ nén σ (N/mm²) và trừ chúng cho nhau, ta thu được hai lần USX bề mặt.

- *Đo ứng suất cùng cầu đủ (full bridge)*

Trên hai trục tạo với đường trục góc $\pm 45^\circ$ về hai phía, xác định được ứng suất kéo/nén σ (N/mm²), ta thu được bốn lần USX bề mặt.

2.1.2 Nguyên lý hoạt động của tem biến dạng

Tem biến dạng về mặt cấu tạo có dây dẫn kim loại với một điện trở riêng. Lực kéo (nén) tăng /(giảm làm cho đoạn trục đo biến dạng bị kéo dài ra /nén co lại, dẫn đến điện trở của tem biến dạng dán trên bề mặt trục cũng bị kéo dài ra hoặc co lại. Giả sử điện trở ban đầu là R và biến dạng khi thay đổi điện trở trên dây dẫn là ΔR .

$$\frac{\Delta R}{R} = K_s \cdot \frac{\Delta L}{L} = K_s \cdot \varepsilon_0 \quad (2.5)$$

Trong đó: L: Chiều dài dây dẫn điện trở ban đầu (mm)

ΔL : Độ biến thiên dài (mm).

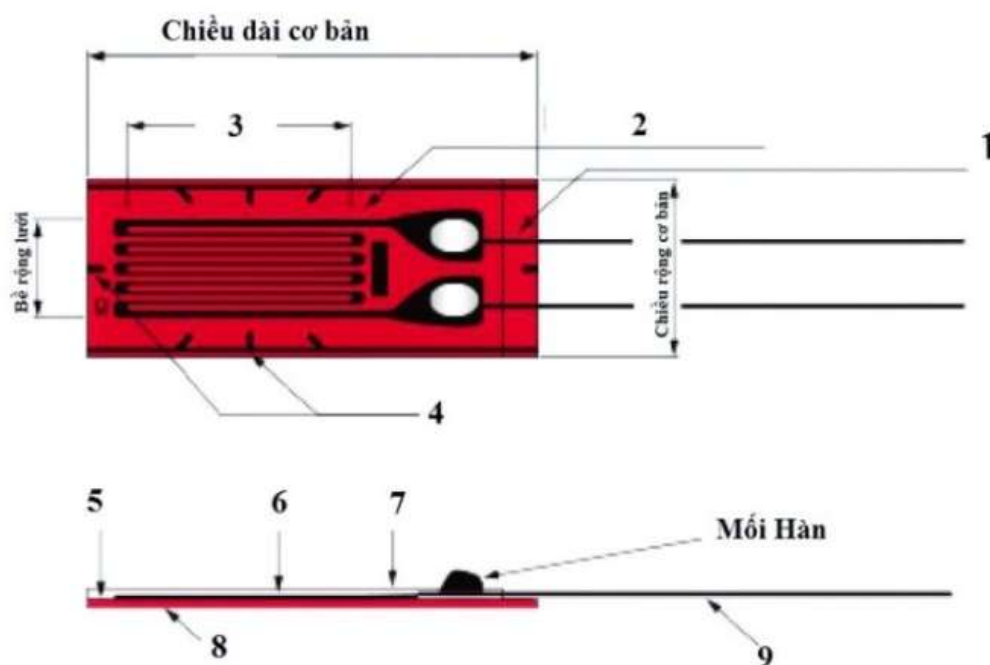
K_s : Hệ số nhạy của tem dán biến dạng.

Vật liệu chế tạo tem dán thường sử dụng dây đồng-niken hoặc hợp kim nhôm niken-crom làm thành phần điện trở và hệ số này xấp xỉ bằng 2.

Tem biến dạng bao gồm lõi, dây dẫn và chất bán dẫn. Cấu trúc của lõi tem dán có sợi kim loại khắc axit phần lưới dẫn trên tấm nhựa màng mỏng cách điện (hình 2.3).

Tem biến dạng được dán trên vật cần đo bằng keo chuyên dụng. Biến dạng sinh ra trên mặt được đo, được truyền đến phần tử cảm ứng biến dạng thông qua chân tem dán. Để đo chính xác thì tem dán biến dạng và keo phải dính chặt trên vật cần đo và lưu ý điều kiện nhiệt độ hoạt động.

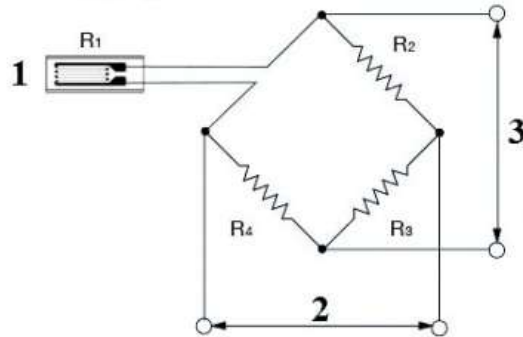
Thông qua việc xác định sự biến đổi tương đối điện trở của cảm biến (strain gauge, SG) ta có thể xác định được ứng suất của trục khi chịu xoắn.



Hình 2.3 Kết cấu tem dán biến dạng bề mặt Hãng Showa-Nhật Bản [52]

- 1- Chân tem dán; 2, 7- Màng mỏng; 3- Chiều dài lưới điện trở; 4- Các điểm chuẩn;
5- Đầu tem dán; 6- Lõi kim loại; 8- Mặt keo dán và 9- Dây nối điện trở

Thực tế, do sự thay đổi điện trở biến dạng ban đầu rất nhỏ và khó xử lý nên thường chuyển sang thay đổi điện áp bằng cách sử dụng cầu Wheatstone. Hình 2.4 là một ví dụ một mạch cầu Wheatstone để biến đổi điện trở thành biến đổi điện áp.



Hình 2.4 Nguyên lý đo biến dạng xoắn bằng cầu Wheatstone [3]

1- Tem dán biến dạng (SG); 2- Điện áp cầu U_0 (V); 3- Điện áp ra U_{out} (V)

Giả sử R_1, R_2, R_3 và R_4 : là các điện trở (Ω); U_0 : Điện áp mạch cầu (V); Thì điện áp ra U_{out} (V) được tính:

$$U_{out} = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \cdot U_0 \quad (2.6)$$

$$U_{out} = \frac{(R_1 + \Delta R) R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + \Delta R + R_2)(R_3 + R_4)} \cdot U_0 \quad (2.7)$$

Nếu điều kiện ban đầu $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, thì

Giả sử điện trở R_1 là tem dán biến dạng và nó thay đổi ΔR do biến dạng, thì điện áp ra là:

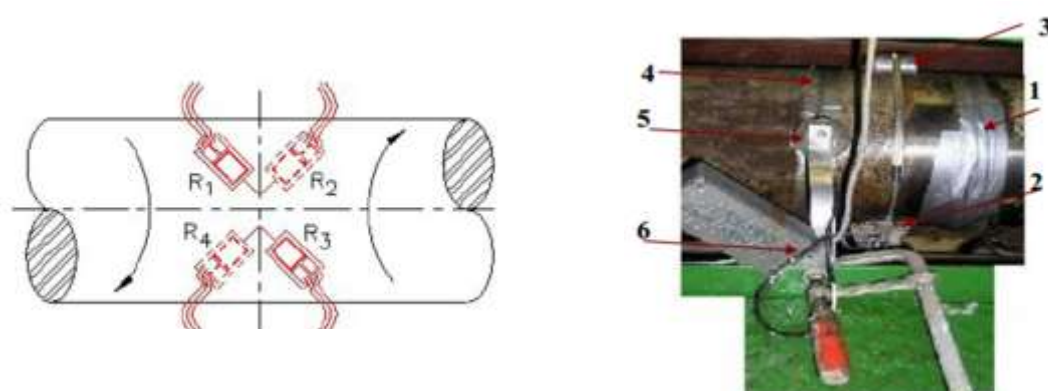
$$U_{out} = \frac{R^2 + R\Delta R - R^2}{(2R + \Delta R)2R} \cdot U_0 \quad (2.8)$$

Vì $R \gg \Delta R$,

$$U_{out} \approx \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R} \cdot U_0 = \frac{1}{4} \cdot k_s \cdot \varepsilon_0 \cdot U_0 \quad (2.9)$$

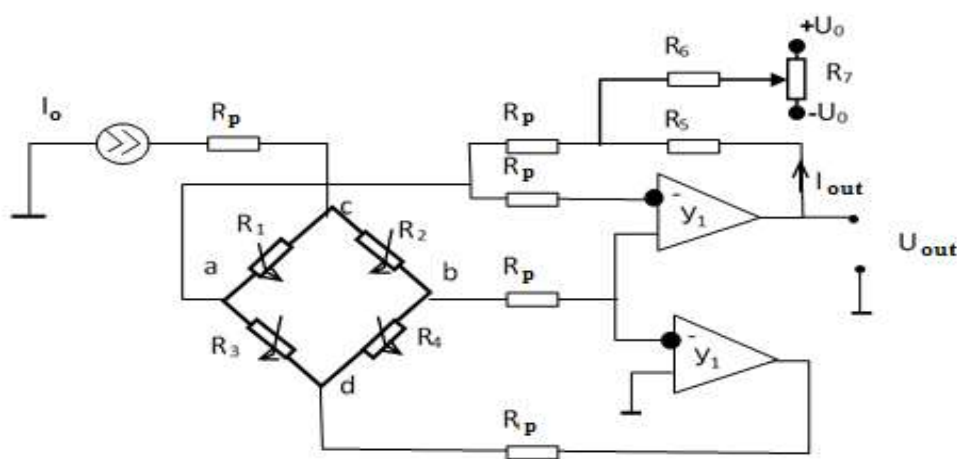
Theo công thức (2.9) điện áp đầu ra tỷ lệ với sự thay biến dạng. Điện áp đầu ra cực nhỏ này cần được khuếch đại.

Phương pháp dựa trên nguyên tắc tem dán ứng suất, khi dán tem ứng suất trên trục $\pm 45^\circ$ so với đường tâm của trục, đoạn trục bị xoắn theo chiều phải (nhìn vào bánh đà động cơ) thì tem ứng suất cũng sẽ giãn ra và do đó điện trở sẽ tăng, ngược lại nếu đường trục bị xoắn theo chiều trái thì tem dán cũng bị ép lại và điện trở của tem dán cũng giảm theo (hình 2.5).



Hình 2.5 Phương pháp dùng tem dán biến dạng đo trên tàu Vinashin Sky [22]

- | | |
|---------------------|-----------------------------|
| 1. Tem dán điện trở | 4. Anten phát |
| 2. Điều chế tần | 5. Anten thu |
| 3. Nguồn DC | 6. Dây dẫn tín hiệu tới CPU |



Hình 2.6 Mạch cầu Wheaston đo biến dạng bề mặt [3]

Để loại trừ ảnh hưởng của nhiệt độ bề mặt đến ứng suất xoắn trong quá trình đo, cần thực hiện mạch bù nhiệt, ví dụ như hình 2.6

Mối quan hệ giữa biến dạng và sự thay đổi điện trở được thể hiện:

$$\Delta R = k_s R_0 \varepsilon_0 \quad (2.10)$$

Trong đó: R_0 – Điện trở ban đầu;

k_s – Hệ số cảm ứng ($k = 2 \div 2.5$ đối với điện trở dây dẫn, hoặc $k_s \approx 200$ đối với tem dán điện trở bán dẫn);

ε_0 – Biến dạng trên bề mặt trục.

2.1.3 Đặc điểm của tem biến dạng dùng xác định MMX

Đầu đo MMX dạng tem biến dạng (SG) tối ưu nhất khi dùng 4 tem dán giống nhau bằng 4 điện trở, dán trên trục và tạo với đường trục một góc 45° theo mạch cầu cân bằng. Dùng nguồn cấp có dòng ổn định (CS). Nguồn tạo sóng mang G, cụm điều chế, khuếch đại ban đầu tại mạch phát (FA_1), anten phát (PA_1) gắn trên trục và quay cùng trục. Bộ điều chế thực hiện điều chế tần số mang. Tín hiệu đó được truyền từ anten phát (quay cùng trục). Độ sâu điều chế tỉ lệ thuận với biến dạng trên trục.

- Phương pháp đo MMX bằng tem dán biến dạng trên bề mặt trục rất phù hợp trong nghiên cứu vì chi phí thấp, áp dụng cho nhiều loại đoạn trục khác nhau về vật liệu, không bị hạn chế về đường kính trục đo, phù hợp với không gian và khí hậu vi kỹ thuật tại buồng máy.

- Với việc xác định được điện áp ra ta sẽ xác định được sự biến dạng tương đối trên bề mặt trục quay, từ đó xác định được ứng suất xoắn

$$\tau = \frac{\varepsilon_0 \cdot E}{1 + \nu} \quad (2.11)$$

- MMX trên hệ trục như sau:

$$M = W \cdot \tau = W \frac{E \cdot \varepsilon_0}{1 + \nu} \quad (2.12)$$

Công thức (2.9), (2.11) và (2.12) là cơ sở cho tiến hành nghiên cứu chế tạo thiết bị đo MMX và xử lý tín hiệu MMX được trình bày ở phần sau.

2.2 Cơ sở khoa học và công nghệ chế tạo thiết bị đo và phân tích ĐĐX hệ trục diesel tàu thủy

2.2.1 Nhiệm vụ chung

Mục tiêu: Tổng hợp cơ sở toán học và công nghệ đảm bảo cho quá trình thu thập thông tin, xử lý thông tin và xuất ra kết quả;

Nhiệm vụ: Để xây dựng thiết bị đo và phân tích ĐĐX dạng tem dán biến dạng đo trên đường trục có các nhiệm vụ:

(a) Cảm biến tín hiệu vật lý MMX theo phương pháp biến dạng bề mặt bằng các tín hiệu điện, truyền tín hiệu qua sóng radio hoặc Wi-fi và xử lý ban đầu tín hiệu thu được để lưu lại dưới dạng cơ sở dữ liệu số hoặc hiển thị nhanh kết quả xử lý;

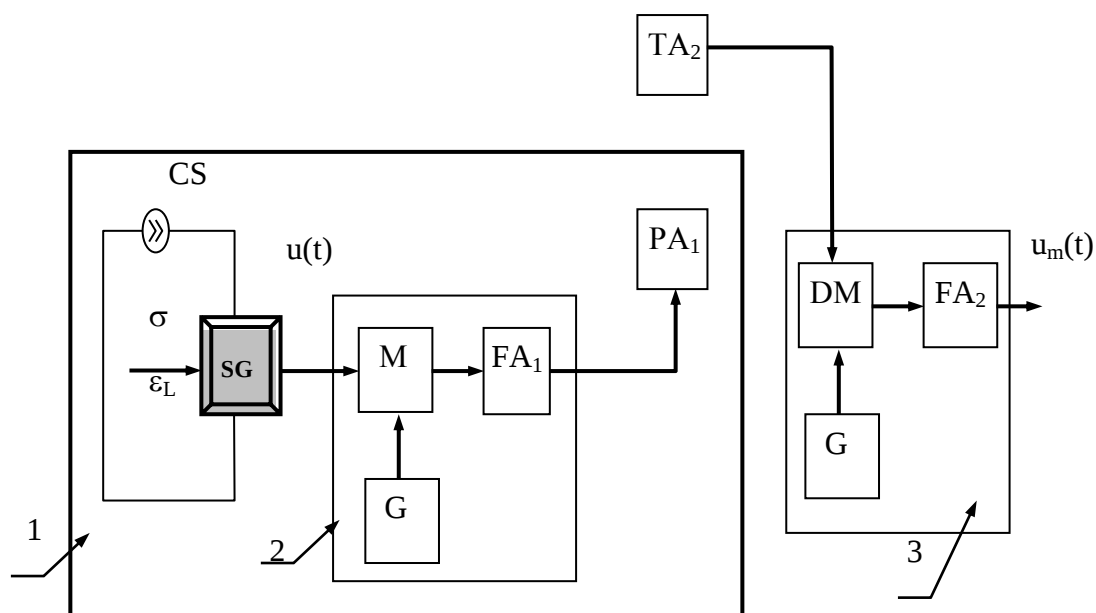
(b) Xử lý tín hiệu số cơ sở dữ liệu đo được theo mục tiêu đặt ra của bài toán chế tạo thiết bị;

(c) Hiển thị kết quả xử lý. Xuất kết quả dưới dạng cần thiết (báo cáo; lưu dưới dạng các file kết quả; in ấn).

Trên hình 2.7 đưa ra sơ đồ nguyên lý cảm biến MMX dạng tem dán điện trở dùng anten thu và phát tín hiệu đo.

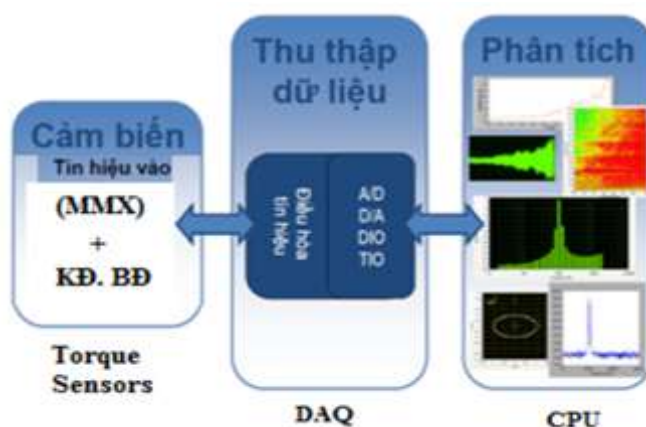
Các nhiệm vụ cơ bản trên được thực hiện trong từng giai đoạn, tại từng khối cấu trúc – chức năng của thiết bị (Hình 2.8).

Chi tiết cảm biến MMX và biến đổi thành tín hiệu điện (hiệu điện thế) là phần tử cảm biến MMX: Torque sensor (SG) và vị trí/pha (điểm chết trên của xy lanh động cơ diesel). Đầu ra của tín hiệu từ SG và vị trí/pha được khuếch đại (phần tử khuếch đại ban đầu, KĐ.BĐ) để đạt chuẩn đầu ra rồi sau đó đưa đến bộ biến đổi tương tự số (ADC, Analog – Digital Convertor).



Hình 2.7 Sơ đồ nguyên lý biến dạng xoắn đường trực bằng tem dán biến dạng [4]

1 – Trục; 2 – Cụm điều chế; 3 – Cụm giải điều chế; SG – Cảm biến biến dạng; M – Bộ điều chế; G – Nguồn sóng mang; FA₁ – Khuếch đại ban đầu; PA₁ – Anten phát; TA₂ – Anten thu; DM – Bộ giải điều chế; FA₂ – Khuếch đại ban đầu 2; CS – Nguồn dòng điện ổn định



Hình 2.8 Sơ đồ cấu trúc - chức năng của thiết bị đo MMX hiện đại

Tại trung tâm xử lý (Central Processing Unit, CPU) diễn ra xử lý tín hiệu đo được theo yêu cầu của nhiệm vụ đặt ra. Để thực hiện được điều này, cần xây dựng cơ sở toán học, thuật toán cũng như phần mềm tương ứng. Trong luận án, NCS tổng hợp cơ sở toán học (được trình bày trong phần sau của

chương này) và xây dựng phần mềm (viết code) trên cơ sở công nghệ phần mềm nền LabView cùng các Toolkits hỗ trợ của hãng National Instruments (USA).

Một thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX hiện đại cần có các đặc tính cơ bản, tối thiểu như bảng 2.1 sau đây:

Bảng 2.1 Nguyên lý chức năng đo và phân tích tín hiệu MMX

STT	ĐẶC TÍNH
(i)	Thiết lập cấu hình đo, hiệu chuẩn hệ thống đo tín hiệu MMX
(ii)	Đo, thu thập các tín hiệu động. Kết quả đo được là tín hiệu động đa hài, chu kì chứa nhiều dao động thành phần với các tần số khác nhau. Tín hiệu thu được ban đầu này thường chứa nhiễu. Tín hiệu thu được là tín hiệu số, có thể được khuếch đại ban đầu tương ứng với mức tín hiệu để đưa vào bộ nhớ lưu trữ
(iii)	Xử lý tín hiệu động trong miền thời gian và miền tần số (có sử dụng các bộ lọc khác nhau), Lọc tín hiệu để xác định phổ tần (biên độ/pha) MMX trên thang tuyến tính hoặc thang dB (dexibel);
(iv)	Lưu lại kết quả (dạng dữ liệu đã xử lý cuối cùng). Báo cáo kết quả. In ấn kết quả
(v)	Kết thúc

Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép của hầu hết các cơ quan Đăng kiểm quốc tế đều yêu cầu phải đo ĐĐX và so sánh với kết quả tính ĐĐX để khẳng định hệ trục không rơi vào vùng cộng hưởng nguy hiểm khi hệ trục làm việc tại dải vòng quay khai thác quy định.

MMX cưỡng bức do lực khí thể tại các xy lanh động cơ diesel trong mô hình tính ĐĐX cưỡng bức là tổng của các điều hòa bậc k , với $k = 1, 2, \dots, 12$ đối với động cơ diesel hai kỳ (tối thiểu 12 điều hòa $M = 12$), còn $k = 0.5, 1$,

1.5,..., 12.5 đối với động cơ diesel bốn kỳ (tối thiểu 25 điều hòa $M = 25$) sẽ gây nên các ĐĐX nguy hiểm bậc k, nếu cơ hệ rơi vào cộng hưởng hoặc vùng gần cộng hưởng.

Để thực hiện được điều này, tiến hành phân tích tín hiệu MMX đo được theo thời gian thực (Real time) về miền tần số qua phép biến đổi Fourier, trong kỹ thuật xử lý tín hiệu hiện đại thường sử dụng công cụ toán học (thuật toán) biến đổi Fourier nhanh (FFT). Trong sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ tính toán, FFT đã được triển khai ứng dụng thành các mô đun độc lập và đã có mặt trong hầu hết các phần mềm ứng dụng như MATLAB, MCAD, LabView...

Để xây dựng phần mềm cho thiết bị đo và phân tích ĐĐX cần có cơ sở toán học và thuật toán triển khai trong quá trình đo, lưu trữ, phân tích tín hiệu MMX đo được rời rạc trong miền thời gian thực. Trên cơ sở thuật toán, lựa chọn ngôn ngữ phù hợp để triển khai phân tích thiết kế hệ thống và cuối cùng là viết phần mềm cho phân tích tín hiệu động MMX trong miền phổ tần.

2.2.2 Cơ sở toán học cho đo, phân tích ĐĐX hệ trục diesel tàu thủy

Giả thiết chu kỳ lấy mẫu T_s (giây) sẽ tiến hành lấy N_s (mẫu, samples). Thời gian lấy 1 mẫu $dt = T_s / N_s$. Tốc độ lấy mẫu (số mẫu lấy được/1 giây) được kí hiệu $F_s = 1/dt = N_s/T_s$ (Hz, samples/second).

Trong từng đoạn lấy mẫu $[(k-1)T_s \rightarrow k.T_s]$ ta trích N_s mẫu:

$$\begin{aligned} \Delta T_s^{(1)} &= [0 \rightarrow T_s] \quad \Rightarrow \{x(1), x(2), \dots, x(N_{sc})\}; \\ \Delta T_s^{(2)} &= [T_s \rightarrow 2T_s] \quad \Rightarrow \{x(N_{sc} + 1), \dots, x(2N_{sc})\}; \\ &\dots \\ \Delta T_s^{(k)} &= [(k-1)T_s \rightarrow k.T_s] \quad \Rightarrow \{x[(k-1)N_{sc} + 1], \dots, x(kN_{sc})\}; \end{aligned} \quad (2.13)$$

2.2.2.1 Xác định số lượng mẫu N_s và tốc độ lấy mẫu F_s

Giả thiết tại đoạn trực đo (thường đo trên trục trung gian) cần tiến hành đo MMX tại các chế độ vòng quay n_E (v/ph), 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 là bội của số xy lanh động cơ (z) và trong chu kỳ trích mẫu, lượng mẫu sẽ bằng hoặc gần bằng với 2^k , với k là một số tự nhiên, ví dụ: $2^k = 256; 512; 1024; \dots$ để thực hiện biến đổi Fourie 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 đúng bằng 2^k . Phép biến đổi FFT khi đó cho ta kết quả với độ chính xác cao [6], [47].

Điều quan trọng cần đảm bảo: trích ra một đoạn mẫu phải là bội số của một số chu kỳ công tác đầy đủ N_{sc} của động cơ.

Tín hiệu đo được trích N_s mẫu:

- (a) $[0 - T_s]; N_s = 1N_{sc}$
 $\Rightarrow \{x(1), x(2), \dots, x(N_{sc})\}$
- (b) $[0 - 2T_s]; N_s = 2N_{sc}$
 $\Rightarrow \{x(1), x(2), \dots, x(N_{sc}); x(N_{sc} + 1), \dots, x(2N_{sc})\}$ (2.14)
- (c) $[0 - 3T_s]; N_s = 3N_{sc}$
 $\Rightarrow \{x(1), x(2), \dots, x(N_{sc}); \dots; x(2N_{sc} + 1), \dots, x(3N_{sc})\}.$
- ...

Động cơ hai kỳ: Trong 1 chu kỳ (tương ứng 1 vòng quay trục khuỷu) sẽ thể hiện hoạt động của z xy lanh.

Động cơ bốn kỳ: Trong 1 chu kỳ (tương ứng 2 vòng quay trục khuỷu) sẽ thể hiện hoạt động của z xy lanh.

Trực đo quay với tốc độ n_d (v/p) hay tương ứng $n_d / 60$ (ck/s).

Phương pháp thiết lập mẫu đo như sau:

- Trục đo quay 01 vòng với vận tốc $n_d / 60$ (ck/s). Như vậy thời gian cần quay 01 vòng là $60/n_d$ (s).
- Đối với động cơ diesel hai kỳ, một vòng (360° gqtk) ta trích N_s mẫu.
Ví dụ $N_s = 1024$ (mẫu), $T_s = 60/n_d$ (s).
- Đối với động cơ diesel bốn kỳ, hai vòng (720° , gqtk) ta trích N_s mẫu.
Ví dụ $N_s = 1024$ (mẫu), $T_s = 120/n_d$ (s).
- Tốc độ trích mẫu $F_s = N_s / T_s$. Như vậy, nếu giả thiết $n_d = 2$ ck/s

$$F_s = N_s \cdot n_d / 60 \text{ cho diesel hai kỳ} = 1024 \times 2 / 60 \approx 34 \text{ Hz};$$

$$F_s = N_s \cdot n_d / 120 \text{ cho diesel bốn kỳ} = 1024 \times 2 / 120 \approx 17 \text{ Hz}$$

Giả thiết cho một cung thời gian ứng với kỳ cháy và giãn nở của một xy lanh N_{cyl} (mẫu).

Vậy số lượng trích mẫu cho 1 chu kỳ là $N_{sc} = z \cdot N_{cyl}$.

Ví dụ: Nếu số xy lanh động cơ $z = 6$; $N_{cyl} = 1024 \text{ mẫu} / 6 = 170.6$ (mẫu)

Chú ý: Khi chúng ta muốn tăng (hoặc giảm) tốc độ lấy mẫu một số lần, yêu cầu phải tăng (hoặc giảm) số mẫu cần trích lên đúng bằng số lần tương ứng thì tổng số mẫu thu được mới tương ứng các chu trình làm việc của động cơ.

Hiện nay, công nghệ NI – DAQ NI 9234 [47] cho phép tốc độ lấy mẫu của DAQ lên tới 51.2 kHz/kênh đo; NI – DAQ NI 9191 cho phép tốc độ lấy mẫu cực đại tới 50.0 kHz/kênh đo.

Tuy nhiên, chúng ta cũng cần lưu ý đến khả năng dung lượng bộ nhớ và tốc độ đọc mẫu của máy tính sử dụng.

❖ **Động cơ diesel máy chính lai chân vịt trực tiếp không qua hộp số**

Đối với động cơ diesel lai chân vịt trực tiếp không qua hộp số (động cơ diesel 2 kỳ, thấp tốc) vòng quay tại trục trung gian (vị trí đo) bằng vòng quay trục khuỷu diesel, $n_d = n_E$ (v/ph).

Nếu động cơ hoạt động ở chế độ vòng quay $n_E = 150$ v/ph, khi đó tại trục trung gian, nơi đo mô-men xoắn cũng quay với tốc độ $n_d = 150$ v/ph. Giả thiết chúng ta muốn trên một vòng quay tương ứng với hoạt động của $z = 6$ xylanh được trích ra 1024 mẫu, một đoạn mẫu có độ dài 1024 k_s mẫu, với số tự nhiên nào đó. Như vậy số mẫu $N_s = k_s \cdot N_{s,0}$ được chọn gấp k_s lần số mẫu một chu kỳ $N_{s,0}$, điều này giúp cho việc xử lý thông tin trong miền thời gian qua phép biến đổi FFT giữ nguyên kết quả.

Thời gian trích mẫu sẽ được xác định theo tốc độ trích mẫu (sample rate F_s): $T_s = k_s T_{s,0}$; $N_{s,0} / F_s = 1/m$, ở đó m là số tự nhiên [47]. Điều này được giải thích trong 1 giây, với tốc độ trích mẫu F_s , chúng ta sẽ trích được một số tự nhiên chu kỳ nhất định. Như vậy, ta có thể chọn $m = k_s$.

Tốc độ lấy mẫu từ thiết bị của DAQ NI 9234: $F_s = 51.2$ kHz/s/ck

Tốc độ lấy mẫu từ thiết bị của DAQ NI 9237: $F_s = 50.0$ kHz/s/ck.

Nếu $F_s = 51.2$ kHz, trích một đoạn mẫu dài $N_s = 5 \cdot 1024 = 5120$ mẫu.

$m = 51200 / 1024 = 50$.

Thời gian trích đoạn mẫu dài $N_{s,0} = 1024$: $T_{s,0} = 1000(\text{ms})/m = 20$ ms.

Thời gian trích đoạn mẫu dài $N_s = 5120$: $T_{s,5} = 5 \cdot T_{s,0} = 100$ ms.

Đối với thiết bị DAQ NI 9237 dùng để đo biến dạng bề mặt, một chu kỳ làm việc ta không thể trích đúng 1024 mẫu, mà cần trích cho số lượng mẫu $N_{s,0} = 1000$ mẫu. Khi đó $m = 50000/1000 = 50$ lần. Thời gian trích cho 1 chu kỳ và cho 5 chu kỳ hoàn toàn giống với thời gian cho trích mẫu đối với DAQ NI 9234 tương ứng.

Khi tăng kích thước một đoạn mẫu cho chu kỳ, ví dụ $N_{s,0} = 10240$ cho DAQ - NI9234. Bộ nhớ ghi dữ liệu tăng nhanh, song 1 giây chúng ta chỉ lưu lại được 5 chu kỳ làm việc của động cơ. Đổi lại, số lượng mẫu nhiều cho phép ta phân tích FFT và tần số cực đại có thể thu được $F_{\max} = N_{s,0} / 2 = 51200$ Hz.

Chúng ta cần làm sáng tỏ vấn đề: *tốc độ quay của trục đo có ảnh hưởng đến quá trình lấy mẫu hay không?*

Trong thời gian động cơ hoạt động với vòng quay 120 v/ph, tương đương với 2 v/giây. Khi đó, nếu chúng ta lấy mẫu với tốc độ trích mẫu 51.2 kHz, trong vòng 100 ms thì toàn dải tín hiệu trích được tuy là 5120 mẫu cũng chỉ phủ 2/5 vòng, tương đương 2/5 chu kỳ công tác của động cơ 6 xy lanh. Như vậy không đáp ứng được yêu cầu phải trích mẫu đầy đủ cho chu kỳ công tác của động cơ. Chúng ta cần thực hiện theo phương án tính từ vòng quay thực tế của trục đo.

Khi trục đo quay với $n_d = 2$ v/s, một vòng cần quay với thời gian 0.5 giây (hay 500 ms). Nếu một vòng này ta trích ra $N_{s,0} = 1024$ mẫu, với thời gian trích mẫu cũng tương ứng 500 ms, từ đó suy ra tốc độ lấy mẫu sẽ là:

$$F_s = N_{s,0} / T_{s,0} = 1024 / 0.5 = 2048 \text{ Hz.}$$

Tương tự, với tốc độ quay của trục đo như vậy, chúng ta trích một đoạn mẫu $N_{s,5} = 5 N_{s,0}$, thời gian trích mẫu tương ứng sẽ là $T_{s,5} = 2.5$ giây, tốc độ trích mẫu vẫn không đổi: $F_s = N_{s,5} / T_{s,5} = 5120 / 2.5 = 2048 \text{ Hz.}$

Với phân tích trên, tốc độ lấy mẫu được xác định theo tốc độ quay của trục đo, số lượng mẫu cần thiết trích cho một chu trình công tác và số chu trình cần trích đồng thời. Vì vậy, nên trích duy nhất một chu kỳ công tác của động cơ, với số trích mẫu cho chu kỳ $N_{s,0}$ (mẫu) là đủ để thực hiện nghiên cứu các tính chất phức tạp diễn ra trong một xy lanh. Ta xác định tần số trích mẫu theo công thức:

$$F_s = N_{s,1} / T_{s,1} = N_{s,1} \times n_d / 60; \text{ (Hz)} \quad (2.15)$$

Khi lựa chọn tần số trích mẫu theo kết quả tính theo công thức (2.15) hay bảng kết quả tính 2.2, trong nhiều trường hợp bộ thu DAQ sẽ không chấp nhận. Theo hướng dẫn sử dụng [47], tần số trích mẫu cho phép chỉ có thể là một trong các giá trị:

$$F_s = F_{s,MAX} / k \quad (2.16)$$

với k là một số tự nhiên nào đó $k = 1, 2, 3, \dots$

Ta sẽ thực hiện bài toán ngược: thiết lập cấu hình bộ DAQ theo tần số trích mẫu của thiết bị, theo công thức (2.15), sau đó xác định số mẫu (S) cần trích đủ cho một số chu kỳ nhất định nào đó, theo công thức:

$$N_{s,0} = [60 * F_s / n_E], (S) \quad (2.17)$$

$$N_{s,k} = [k_s * 60 * F_s / n_E], (S) \quad (2.18)$$

Trong các công thức trên, ký hiệu $[A]$ là phần nguyên của A.

Với công thức thiết lập (2.15) – (2.18), chúng ta có bảng điều khiển tần số trích mẫu khi thiết lập cấu hình tốc độ trích mẫu cho đo MMX và bộ góp dữ liệu tín hiệu MMX tại DAQ được chỉ ra trên bảng 2.2 dưới đây.

Bảng 2.2 Ví dụ thiết lập cấu hình trích mẫu cho hệ trục diesel thấp tốc truyền động trực tiếp chân vịt khi đo MMX (Động cơ 2 kỳ, m = 1) Chọn $F_s = 51200 / 25 = 2048 \text{ S/s} = 2048 \text{ (Hz/s)}$					
n_d (v/ph)	110	120	130	140	150
$N_{s0} (S) = F_s * 60 / N_d$	1117.091	1024	945.231	877.714	819.2
$[N_{s0}], (S)$	1117	1024	945	878	819
$N_{s2} (S) = 2 * F_s * 60 / N_d$	2234.182	2048	1890.46	1755.43	1638.4
$[N_{s2}], (S)$	2234	2048	1890	1755	1638

❖ **Động cơ diesel máy chính lai chân vịt qua hộp số**

Thông thường hệ trục áp dụng cho máy chính dùng diesel bốn kỳ, trung tốc hoặc cao tốc.

Tương tự như phân tích trên, chúng ta bắt đầu từ đặc điểm của các chế độ hoạt động hệ động lực, sau khi thiết lập cấu hình xác định tần số trích mẫu theo công thức (2.15).

Động cơ bốn kỳ, hai vòng quay (tương ứng 720 độ gqtk) thực hiện hoàn toàn một chu trình công tác của động cơ.

Hộp số có tỉ số truyền $K_{hs} = n_E/n_P$ (giả sử $K_{hs} = 2.23$).

Thông thường ta triển khai đo tại trục trung gian, phía sau hộp số. Trục sẽ quay với tốc độ của chân vịt.

Như vậy, trong khi nghiên cứu mô phỏng mô men đầu ra của động cơ, ta sẽ tính theo vòng quay của động cơ n_E (v/ph), còn khi thiết lập cấu hình đo trên trục trung gian, ta xét theo vòng quay của trục chân vịt n_P (v/ph).

Tương tự như nêu trên, ta xác định số mẫu trích khi đo trên trục trung gian (đầu ra của hộp số):

$$n_P = n_E / K_{hs} \quad (2.19)$$

$$N_{s,0} = [120 * F_s / n_P], (S) \quad (2.20)$$

$$N_{s,k} = [k_s * 120 * F_s / n_P], (S) \quad (2.21)$$

Bảng thiết lập cấu hình trích mẫu cho đo MMX bằng DAQ - NI được chỉ ra trên bảng 2.3 như dưới đây.

Bảng 2.3 Ví dụ thiết lập cấu hình trích mẫu cho hệ trục diesel 4 kỳ, truyền động gián tiếp chân vịt qua hộp số khi đo MMX (Động cơ 4 kỳ, m = 2) Chọn $F_s = 51200/25 = 2048 \text{ S/s} = 2048 \text{ (Hz/s)}$; $K_{hs} = 2.23$							
n_e (v/ph)	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
n_d (v/ph)	403.6	448.4	493.3	538.1	583.0	627.8	672.6
$N_{s0} (S) = F_s * 120 / n_P$	608.9	548.0	498.2	456.7	421.6	391.5	365.4
$[N_{s0}], (S)$	609	548	498	457	422	391	365
$[N_{s2}], (S)$	1218	1096	996	913	843	783	731
$[N_{s3}], (S)$	1827	1644	1495	1370	1265	1174	1096
$[N_{s4}], (S)$	2436	2192	1993	1827	1686	1566	1461

2.2.2.2 Cơ sở toán học cho xác định các thông số cơ bản của MMX

❖ Trong miền thời gian thực

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 MMX trong một chu kỳ trích mẫu đó tương ứng với chu kỳ công tác của động cơ (mean), độ lệch lớn nhất các dao động của MMX (peak – to – peak) cũng như giá trị khai căn bình quân phương sai RMS (Root Mean Square) của tín hiệu trích mẫu trong cả chu kỳ.

$$T_{mean} = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} \bar{x}_i; \quad (2.22)$$

$$T_{peak-to-peak} = \max(\{\bar{X}\}) - \min(\{\bar{X}\}); \quad (2.23)$$

$$T_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} \bar{x}_i^2} \quad (2.24)$$

❖ Trong miền tần số

Tín hiệu được trích mẫu có dạng:

$$\mathbf{x} = \{x(N_1), x(N_2), \dots, x(N_s)\} \quad (2.25)$$

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 MMX về:

- (a) Biên độ - Tần số;
- (b) Công suất - Tần số;
- (c) Pha - Tần số.

Theo yêu cầu của Quy phạm khi nghiên cứu ĐĐX, 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) ÷ (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 (FFT) được đề cập đến trong nhiều tài liệu xử lý tín hiệu cũng như trong các phần mềm ứng dụng, ví dụ như MatLab, LabView [16] [19].

Phép biến đổi hàm liên tục Fourier (lý thuyết):

Biến đổi Fourier thuận: từ miền thời gian sang miền tần số.

$$F(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i.z.x} f(t) dt \quad (2.26)$$

Biến đổi Fourier ngược: từ miền tần số sang miền thời gian.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-i.z.x} F(f) df \quad (2.27)$$

Trong đó: $f(t)$ – hàm thời gian, $F(f)$ – biến đổi Fourier sang miền tần số f .

Phép biến đổi Fourier trong dãy số rời rạc (áp dụng lập trình):

FFT thuận:

$$Y(k) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(n).W_N^{-k.n}; W_N = e^{i.\frac{2\pi}{N}} \quad (2.28)$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1$$

FFT ngược:

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} Y(k).W_N^{k.n} \quad (2.29)$$

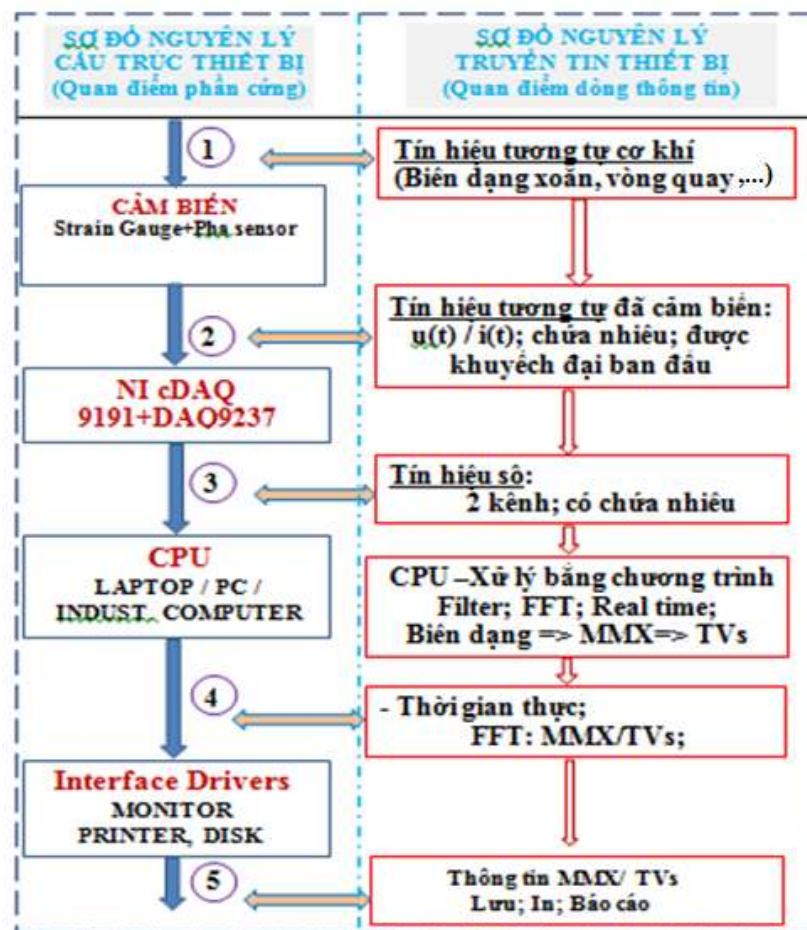
$$n = 0, 1, \dots, N-1$$

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 $N = 2^k$.

2.2.3 Cơ sở công nghệ truyền tin cho xây dựng thiết bị đo MMX/DĐX

2.2.3.1 Nguyên lý truyền tin trong đo và xử lý dòng thông tin

Quan điểm về đảm bảo truyền tin cho quá trình đo MMX, phân tích DĐX là đảm bảo các dòng thông tin (dạng, đặc điểm, đường truyền vào – ra) từ các thiết bị cảm biến đến khi hiển thị kết quả trên màn hình, lưu trữ cũng như báo cáo kết quả cần thiết. Đảm bảo cơ sở truyền tin cho đo MMX, phân tích DĐX sẽ phục vụ cho quá trình thiết kế hệ thống truyền tin (phần cứng và phần mềm)



Hình 2.9 Sơ đồ truyền tin hệ thống đo MMX và phân tích DĐX

- + Sơ đồ dòng truyền tin tín hiệu MMX;
- + Lý thuyết phát và thu tín hiệu MMX;

- + Quá trình truyền tín hiệu MMX kiểu không dây;
- + Dạng tín hiệu trong quá trình đo, xử lý tín hiệu đo, phân tích ĐĐX thông qua tín hiệu MMX có ích.

Sơ đồ nguyên lý truyền tin được phân tích và tổng hợp trên cơ sở các yêu cầu cơ bản của IACS (Hiệp hội các tổ chức đăng kiểm quốc tế) về lắp đặt máy tàu thủy cũng như quy phạm cụ thể của nhiều quốc gia trên thế giới về phân cấp đóng tàu biển vỏ thép.

Trên quan điểm đó, sơ đồ nguyên lý của truyền tin cho quá trình xây dựng thiết bị đo MMX được thể hiện trong hình 2.9 dùng các thiết bị công nghiệp: Tem dán biến dạng xoắn đo trên bề mặt trục (Strain gauge); Cảm biến từ đo vận tốc quay trục và cảm biến quang xác định điểm chết trên của một xylanh (Optical Encoder); Bộ thu thập dữ liệu DAQ (Data Acquisition). Các thiết bị văn phòng như máy tính (PC), máy in (Printer) với cấu hình hiện tại đủ mạnh để thực hiện nhiệm vụ đặt ra. Riêng CPU công nghiệp có đặc điểm chống va đập, chống rung động để tăng tuổi thọ và an toàn hơn trong khai thác thiết bị.

2.2.3.2 Cơ sở công nghệ trong đo và xử lý dòng thông tin MMX/ĐĐX

Trên cơ sở phân tích phương pháp đo MMX dựa trên tem dán biến dạng, truyền tín hiệu qua đường truyền không dây từ DAQ quay cùng với trục và xử lý tín hiệu đo được tại CPU (trung tâm xử lý tín hiệu), chúng ta tìm hiểu cơ sở công nghệ hiện đại, tiên tiến ngày nay để hỗ trợ cho chế tạo thiết bị theo mục tiêu của luận án đặt ra và đề xuất cấu hình thiết bị đo như hình 2.10.

- *Khối đầu cảm biến.*

Cảm biến ứng suất xoắn biến dạng bằng tem dán đã được các nhà cung cấp chế tạo dưới dạng chuẩn công nghiệp. Việc đấu nối, dán trên bề mặt trục cần nghiên cứu đảm bảo theo đúng yêu cầu kỹ thuật đặt ra.

Cảm biến xác định thời điểm bắt đầu đo được thiết kế như là cảm biến xác định pha. Tuy nhiên cần lựa chọn, thiết kế sao cho nó đưa ra thông tin đồng thời về vận tốc quay của trục đo, đồng thời vị trí thời điểm bắt đầu đo và định hướng cho thời gian chu kỳ trích mẫu. Với yêu cầu trên, trên thị trường hiện nay cung cấp các sensor quang, ví dụ hãng OMRON [41], có thể đáp ứng được yêu cầu và nhiệm vụ đặt ra.

Song song với sensors cần có các thông tin về thông số kỹ thuật phù hợp và các phụ kiện đi kèm. Hiện nay, các nhà cung cấp thường khuyến cáo, tư vấn để chúng ta lựa chọn cấu hình đồng bộ và phù hợp với nhiệm vụ đặt ra.

- *Khối thu thập dữ liệu (DAQ)*

Bộ ADC hiện nay thường đa kênh và có thêm một số chức năng hỗ trợ, được các nhà chế tạo đưa ra thị trường với chuẩn công nghiệp, có thể có các tên gọi khác nhau, tuy nhiên hiện nay thường gọi là bộ thu thập dữ liệu (DAQ, Data Acquisition). Từ DAQ tín hiệu đi tới trung tâm xử lý tín hiệu (CPU, Central Processing Unit) để xử lý thông tin dưới dạng số. Điểm khó khăn nhất liên quan đến phương thức truyền tín hiệu từ DAQ đến CPU khi trục đo và DAQ đặt trên đó cùng quay với tốc độ cao, còn CPU (máy tính) đặt tĩnh tại gần với trục quay. Phương thức truyền tin không dây hiện đại sử dụng sóng radio (qua anten phát và thu).

Mỗi DAQ có chức năng thu thập dữ liệu khác nhau. Trong thiết bị đo MMX/ ĐĐX bằng tem biến dạng, chúng ta có hai dạng tín hiệu cần đo không thể dùng chung một bộ DAQ, mà mỗi tín hiệu yêu cầu riêng một bộ DAQ tương ứng. Một DAQ được cắm vào khung tương ứng (Chasis). Riêng khung cắm DAQ đo biến dạng phát tín hiệu Wifi để truyền tin từ DAQ đến CPU. Thường tốc độ trích mẫu cực đại của hai DAQ trên là khác nhau. Do vậy trong lập trình đo, lưu trữ dữ liệu, đọc dữ liệu từ file lưu trữ và xử lý tín hiệu cần chú ý đến tần số trích mẫu của chúng.

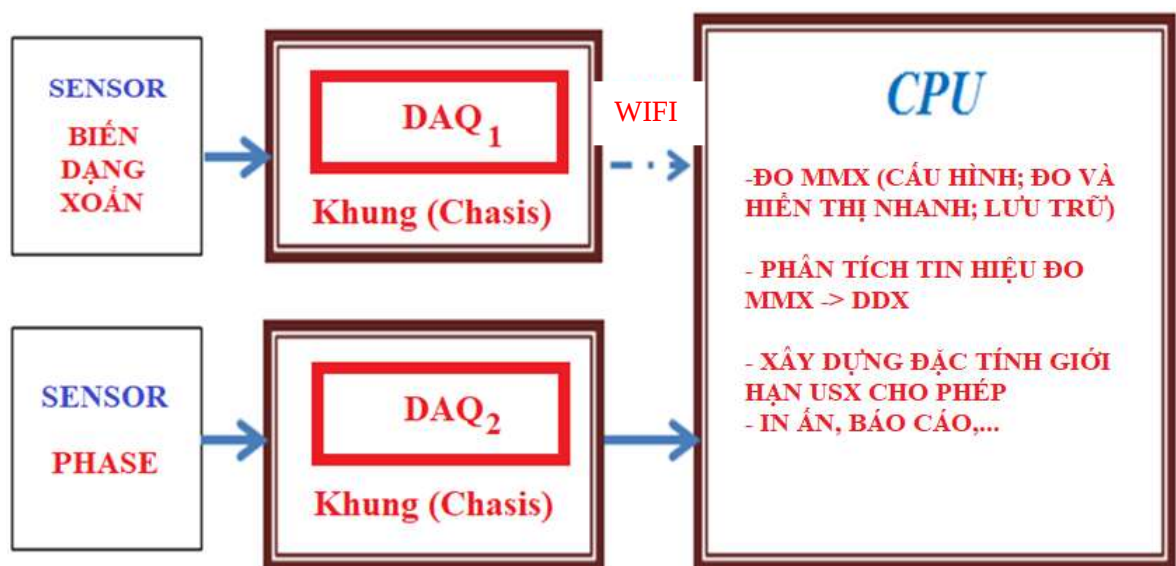
- *Bộ xử lý trung tâm CPU*

Tại CPU xây dựng các phần mềm quản lý thiết bị ngoại vi, lưu dữ liệu đo, đọc dữ liệu đo, xử lý tín hiệu và in ấn, báo cáo kết quả, lưu trữ kết quả chung đã được xử lý.

Với các nhiệm vụ cơ bản nêu trên, để có được sản phẩm phần mềm chuẩn cần phải xây dựng cơ sở toán học tin cậy với độ chính xác cho phép. Các công ty, viện nghiên cứu về thiết bị đo/phân tích MMX, DDX đều không có các công bố chính thức vì liên quan đến bản quyền và sở hữu trí tuệ công nghệ cao, nên các công bố chi tiết đều không đưa ra. Trong phần cơ sở toán học nêu trên, chúng ta đã tổng hợp được công cụ toán học cần thiết về xử lý tín hiệu MMX. Trong quá trình lập trình code xây dựng thiết bị, NCS đã sử dụng phần mềm nền LabView và các công cụ hỗ trợ của hãng NI [47].

- *Thiết bị hiển thị.*

Phần cứng đó là màn hình máy tính. Để điều hành, hiển thị kết quả ta lập trình trên CPU. Trong luận án, NCS đã lập trình trên LabView và sử dụng công cụ hỗ trợ hiển thị của hãng NI.



Hình 2.10 Sơ đồ nguyên lý hệ thống đo MMX và phân tích DDX

2.3 Kết luận chương 2

- Xác định đúng số lượng mẫu cần lấy, tốc độ trích mẫu và xác lập được một kênh đo bổ sung về tốc độ động cơ diesel cũng như về vị trí/pha (điểm chết trên của piston trong xy lanh động cơ) phải đồng bộ và tương ứng với một chu kỳ công tác của động cơ diesel.
- Xây dựng cơ sở toán học cần thiết cho xử lý tín hiệu MMX đo được và phân tích DDX. Tín hiệu được xử lý trong miền thời gian thực và trong miền tần số để triển khai thuật toán và phần mềm cho thiết bị đo sau này.
- Công nghệ hiện đại về điện tử, truyền thông và thông tin hiện nay cho phép chúng ta xây dựng thiết bị đo MMX/ DDX trên nền tảng ghép nối các khối thiết bị chuẩn công nghiệp: đầu đo – DAQ – CPU – thiết bị hiển thị (máy tính hiện đại luôn thực hiện chức năng CPU và hiển thị) theo cấu hình thiết kế.

CHƯƠNG 3. MÔ PHỎNG SỐ VÀ XỬ LÝ TÍN HIỆU MÔ-MEN XOẢN KHI CÓ NHIỀU VÀ SAI SỐ TRÍCH MẪU

3.1. Đặt vấn đề

Trong phân tích chương 2 có đặt ra các bài toán liên quan đến xây dựng cấu hình thiết bị đo MMX/ DĐX hệ trục: Xử lý tín hiệu thu được trong miền thời gian thực và miền tần số để đáp ứng theo yêu cầu của các tổ chức chuyên môn về tính toán DĐX hệ trục và đo thực nghiệm DĐX.

Giải quyết các vấn đề liên quan trực tiếp đến chế tạo thiết bị, cần khẳng định sự cần thiết phải bổ sung 1 kênh đo pha để xác định đúng số mẫu cần thiết phải trích cho đoạn tín hiệu cần ghi. Tiếp theo cần có đầu vào là tín hiệu MMX thu được theo một nguồn nào đó đáng tin cậy để mô phỏng, xử lý tín hiệu theo các mục đích và nhiệm vụ đặt ra của đề tài. Phần mô phỏng MMX sau khi giải quyết được các vấn đề nêu trên sẽ giải mã được nguyên lý cấu hình thiết bị đo, cơ sở toán học và triển khai lập trình xử lý tín hiệu MMX/ DĐX hệ trục.

Vấn đề gián tiếp liên quan đến chế tạo thiết bị đo MMX/ DĐX hệ trục là tính toán DĐX hệ trục diesel tàu thủy. Để tính được DĐX hệ trục cần giải quyết một số bài toán sau đây:

- Bài toán 1. Tính DĐX tự do hệ trục.
- Bài toán 2. Tính MMX cưỡng bức.
- Bài toán 3. Tính DĐX cưỡng bức hệ trục.
- Bài toán 4. Tính USX cho phép và kiểm tra USX cực đại của hệ trục.

Bài toán thứ nhất tính DĐX tự do là cần thiết chung cho cả nghiên cứu tính toán DĐX cũng như thử nghiệm đo DĐX hệ trục động cơ diesel lai chân vịt (như đã phân tích ở chương 1).

Bài toán thứ hai liên quan trực tiếp đến nhiệm vụ thứ nhất xây dựng thiết bị đo MMX, vì đầu ra của bài toán này sẽ là đầu vào cho nhiệm vụ thứ nhất.

Các bài toán còn lại đều đóng vai trò tham chiếu, tham khảo cho quá trình xây dựng phần mềm đo và xử lý tín hiệu đo cho thiết bị đo MMX/ ĐĐX hệ trục diesel tàu thủy. Một số liên quan đó được thể hiện:

- Định hướng thử nghiệm để kiểm tra, chỉnh định thiết bị đo tại các vòng quay của hệ trục diesel tại khu vực gần cộng hưởng hoặc cộng hưởng (liên quan đến bài toán 1 tính ĐĐX tự do).

- Xác định độ lớn, biên độ ĐĐX, USX tại các chế độ cộng hưởng từ số liệu đo bằng thiết bị đo được chế tạo, kiểm chứng với bảng tính để có định hướng hiệu chỉnh và kiểm tra độ tin cậy của thiết bị (liên quan đến bài toán 3, 4 tính ĐĐX cưỡng bức và USX cho phép).

- Phần mềm mô phỏng được xây dựng sẽ là cơ sở nguồn để tham chiếu (có thể sử dụng) cho xây dựng phần mềm thiết bị đo, xử lý tín hiệu MMX/ ĐĐX. Đặc biệt khi triển khai mô phỏng trên MatLab hoặc LabView, vì phần mềm xây dựng thiết bị cũng được lập trình code trên LabView.

3.2 Mô hình hóa tín hiệu MMX trong miền thời gian thực và miền tần số

MMX cưỡng bức ra khỏi động cơ đo tại trục trung gian là tín hiệu đa hài (là tổng của nhiều tín hiệu hình sin ứng với các tần số góc $\omega_k = kz\omega$) và thường được biểu diễn dưới dạng tổng của các hàm lượng giác cơ bản sin và cos:

$$M_o(t) = \sum_{k=1}^M A_k \sin(kz\omega t) + B_k \cos(kz\omega t) \quad (3.1)$$

Hay:
$$M_o(t) = \sum_{k=1}^M M_k \sin(kz\omega t + \gamma_k) \quad (3.2)$$

Trong đó: $M_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}; \gamma_k = \arctan(A_k/B_k); z = 1$ cho diesel hai kỳ, $z = 0.5$ – cho diesel bốn kỳ.

Theo khuyến cáo của các cơ quan đăng kiểm hàng hải Nga [34], khi tính ĐĐX hệ trục chính diesel tàu thủy hai kỳ, cần xét đến ít nhất 12 ($M = 12$)

điều hòa đầu tiên với các hệ số $k = 1, 2, 3, \dots, 12$, còn khi xét hệ trục chính diesel tàu thủy bốn kỳ, số điều hòa sẽ tăng tới 25 ($M = 25$), với các hệ số $k = 1, 2, \dots, 25$. Như vậy, để mô hình hóa mô-men tổng tương ứng với biến dạng đo được tại trục trung gian (Đây là vị trí thường được đo trong thực tế, theo quy phạm thiết kế đường trục thì tại đây, hệ số cứng xoắn của trục trung gian thường là bé nhất. Ngoài ra, đây là vị trí thuận lợi nhất để lắp đặt tem dán biến dạng đo tín hiệu MMX). Trong luận án này, NCS đi sâu nghiên cứu hệ trục tàu kiểm ngư KN168 đã đóng tại nhà máy Hồng Hà - Việt Nam, trên tàu lắp máy chính diesel thuộc hãng Yanmar, model 6EY26W (bốn kỳ, trung tốc), cụ thể sẽ được xét ở mục 3.3 chương này. Tuy nhiên, tại mục này, không làm mất đi tính tổng quát của vấn đề, chúng ta nghiên cứu mô phỏng tín hiệu tổng đa hài, được xây dựng theo mô hình tín hiệu MMX có sai số trích mẫu (phần 3.4) và xử lý tiếp theo để khảo sát bài toán đo, xử lý một tín hiệu đa hài hình sin, có nhiều trong miền thời gian thực và miền tần số (phần 3.5). Mục tiêu của mô phỏng là kiểm chứng các thuật toán, chương trình sau này được sử dụng cho xử lý các tín hiệu đo được một cách chung nhất theo yêu cầu đặt ra đối với thiết bị đo, phân tích ĐĐX hệ trục diesel tàu thủy.

MMX đo trên trục trung gian sẽ là tổng mô-men của từng xy lanh (tổng mô-men cân tương đối hoặc tổng các mô-men đàn hồi xoắn giữa các khối lượng chịu xoắn bằng 0, nên các thành phần này không xét đến). Cán ma sát tại các xy lanh sinh ra mô-men cản, tỉ lệ với vận tốc của từng xy lanh. Lực quán tính và MMQTKL của từng xy lanh sinh ra mô-men quán tính của từng xy lanh. Phần lực khí thể có mức độ thay đổi lớn sinh ra lực khí thể tại xy lanh và quy đổi thành mô-men quay (MMX) của trục khuỷu. Các thành phần đó được thể hiện cho xy lanh k bất kỳ ($k = 1, 2, \dots, z$):

- Mô-men ngoại lực $M_k(t)$;

- Mô-men tổn thất ma sát cản $M_{ms}(t) = \zeta_k \dot{\varphi}_k$;

- Mô-men các lực quán tính: $M_{qt}(t) = J_k \ddot{\varphi}_k + \frac{1}{2} \left(\dot{\varphi}_k \right)^2 \frac{dJ_k}{d\varphi_k}$;

Lực tác động lên piston bao gồm: lực khí thể F_{gas} ; lực quán tính của các cơ cấu chuyển động (cụm piston: piston; chốt piston; xéc măng) $F_{qt,piston}$; lực ma sát (cản) giữa piston – sơ mi xy lanh $F_{ms,p-xl}$. Các lực này tạo thành tổng lực F_{piston} :

$$F_{piston} = F_{gas} + F_{qt,piston} + F_{ms,p-x} \quad (3.3)$$

Lực piston qua cơ cấu biên – thanh truyền chuyển thành mô-men cưỡng bức (ngoại lực) $M_{piston}(\varphi_k)$ nhờ hàm truyền $T(\varphi)$:

$$T(\varphi) = R(\sin\varphi + 0.5\lambda \sin 2\varphi) \quad (3.4)$$

Trong đó: $\lambda = R/L$ – tham số của động cơ;

$R = S/2$; S – hành trình piston, m;

L – chiều dài thanh truyền, m.

$$M_{piston}(\varphi_k) = F_{piston}(\varphi_k) \cdot T(\varphi_k) \quad (3.5)$$

Mô-men $M_{piston}(\varphi_k)$ của từng xy lanh xem như là tổng của 3 thành phần mô-men do khí thể, ma sát piston với xy lanh thông qua các xec-măng và mô-men do lực quán tính piston:

$$M_{piston}(\varphi_k) = M_{gas}(\varphi_k) + M_{qt,piston}(\varphi_k) + M_{ms,p-xl}(\varphi_k) \quad (3.6)$$

Các khối lượng của biên và trục khuỷu tạo thành MMQTKL của cơ cấu biên – trục khuỷu, sẽ tạo ra MMX tác động lên cổ khuỷu thứ k (xy lanh k):

Mô-men tổng của động cơ là tổng các mô-men của từng xy lanh và sẽ bao gồm các mô-men thành phần khí thể (chỉ thị), quán tính và ma sát:

$$M_0(t) = \sum_{k=1}^i M_k(t) = \sum_{k=1}^i M_{k-gas}(t) + \sum_{k=1}^i M_{k-qt}(t) + \sum_{k=1}^i M_{k-ms}(t) \quad (3.7)$$

Xét thành phần mô-men quán tính:

$$M_{qt}(t) = \sum_{k=1}^i M_{k_{-qt}}(t) \approx 0$$

Khi động cơ được cân bằng tốt về phân bố khối lượng nhờ các đối trọng, tổng mô-men quán tính rất nhỏ (có thể xem bằng không). Khi đó phương trình mô-men tổng (3.7) sẽ là tổng của hai thành phần mô-men khí thể và mô-men ma sát. Điều này phù hợp với những gì chúng ta đã hiểu về công suất chỉ thị và công suất ma sát.

$$M_0(t) = \sum_{k=1}^i M_k(t) = \sum_{k=1}^i M_{k-gas}(t) + \sum_{k=1}^i M_{k-ms}(t) = M_{k-gas}(t) + M_{k-ms}(t) \quad (3.8)$$

Mô-men ma sát thường rất nhỏ, thay đổi không nhiều so với mô-men khí thể. Chính vì vậy, tại trục trung gian, nơi ta đo MMX, mô-men cường bức chính là mô-men tổng của động cơ, đó cũng chính là mô-men có ích của động cơ (khi động cơ được cân bằng tốt và bôi trơn tốt).

$$M_0(t) \approx \sum_{k=1}^i M_{k-gas}(t) = M_{0-gas}(t) \quad (3.9)$$

Trong phần này, chúng ta mô phỏng mô-men khí thể của từng xy lanh qua mô phỏng áp suất cháy trong buồng đốt (đồ thị công khai triển $p(\varphi_k)$ của từng xy lanh k , hàm truyền theo phương trình (3.5). Mô-men khí thể của một xy lanh được tính:

$$M_{gas}(\varphi_k) = p(\varphi_k) \cdot TF(\varphi_k), \quad (3.10)$$

$$TF(\varphi) = (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot R \cdot (\sin \varphi + 0.5 \lambda \sin 2\varphi) \quad (3.11)$$

Hình 3.1 - Đồ thị công khai triển $p(\varphi_k)$ được xây dựng trên cơ sở tính nghiệm nhiệt quá trình công tác của động cơ diesel máy chính bốn kỳ của Hãng Yanmar, model 6YE26W gồm 06 xy lanh; bố trí thẳng hàng, có tăng áp bằng tuabin khí xả, làm mát gió tăng áp.

Phương pháp tính nghiệm nhiệt động cơ truyền thống được trình bày trong nhiều tài liệu chuyên ngành về động cơ đốt trong. Bản chất của phương pháp tính nghiệm nhiệt của quá trình công tác động cơ đốt trong là chúng ta dựa vào các thông số đầu vào (các thông số kết cấu; các thông số khai thác được đưa ra từ hồ sơ kỹ thuật của động cơ, do nhà chế tạo động cơ cung cấp) như nhiệt độ, áp suất của khí nạp tăng áp (P_s, T_s), để tính quá trình nén tại điểm chết trên (P_c, T_c), rồi tiếp sau đó là quá trình cháy, giãn nở cũng như các thông số tại điểm có áp suất cháy cực đại ($P_{z\max}, T_{z\max}$), điểm kết thúc cháy và giãn nở ($P_{\phi 0}, T_{\phi 0}$). Các quá trình công tác (nén, cháy, giãn nở, xả, nạp) được mô hình hóa và tính gần đúng trong lý thuyết động cơ đốt trong, có tính đến điều kiện thực tế của động cơ diesel tàu biển bằng các hệ số thực nghiệm.

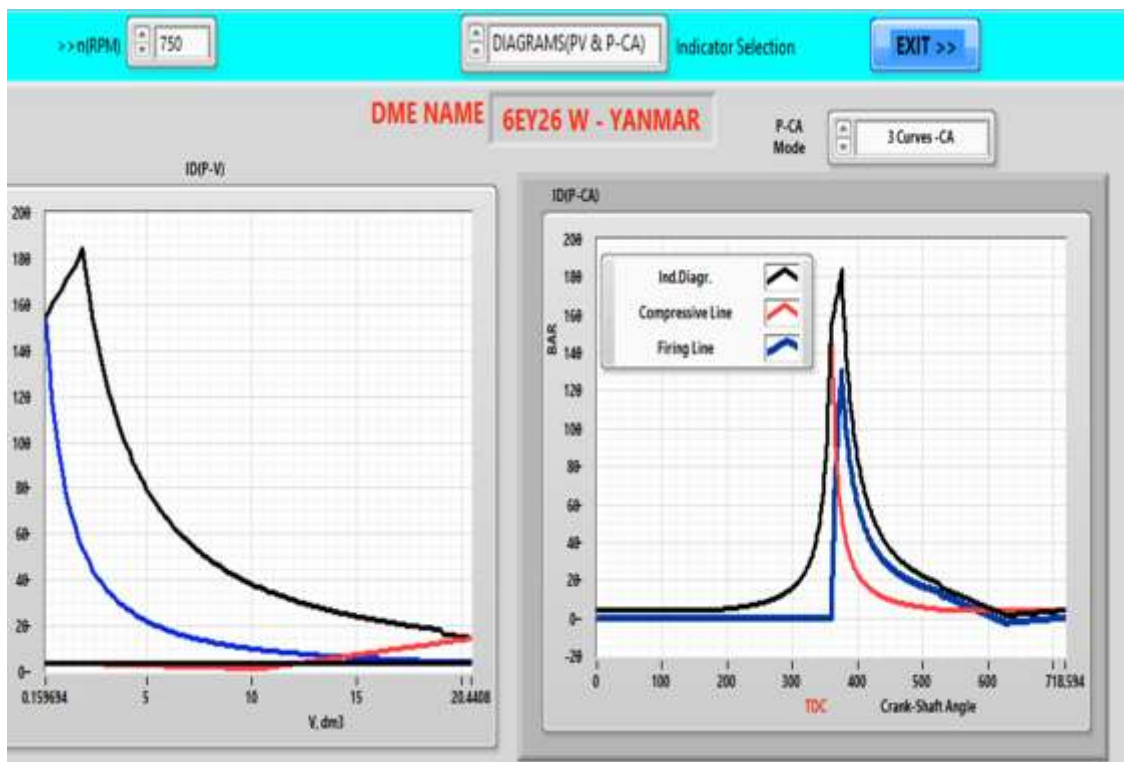
Theo lý thuyết động cơ đốt trong, thường giả thuyết quá trình nén đặc trưng bởi chỉ số nén đa biến trung bình n_1 , tuy nhiên thực nghiệm đối với từng loại động cơ có chỉ số này khác nhau, thậm chí giá trị của chỉ số này khác nhau ở từng chế độ vòng quay khai thác. Trên cơ sở đó, NCS đã dùng số liệu từ hồ sơ kỹ thuật của động cơ (P_s, T_s , tỉ số nén ε của động cơ) để xác định chỉ số này theo từng chế độ vòng quay $n_t = n/n_{\text{nor}} = n/750$. Theo hồ sơ mà nhà chế tạo Yanmar đưa ra chỉ có một số chế độ khai thác đặc trưng, NCS đã mô hình hóa và thu được mô hình toán hồi quy (đa thức bậc hai theo biến $n_t\%$) viết cho các thông số trên với độ tin cậy cao (mô hình viết cho P_s, P_c đạt 99%; T_s – mô hình đạt độ tin cậy trên 95%), rất phù hợp cho tính toán đối với các bài toán kỹ thuật của đối tượng. Các kết quả này NCS thu được trong quá trình tham gia thực hiện đề tài NCKH - CN cấp Quốc gia do GS.TS. Lương Công Nhó làm chủ nhiệm, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam chủ trì. Do vậy NCS xin kế thừa sử dụng cơ sở dữ liệu từ hồ sơ tính nghiệm nhiệt động cơ để mô phỏng đồ thị công chỉ thị như hình 3.1.

Kết quả mô phỏng tính đồ thị công $p(\varphi)$ cho một xy lanh được chỉ ra hoàn toàn phù hợp giữa kết quả mô phỏng và các điểm đặc trưng theo hồ sơ do nhà chế tạo đưa ra.

Để mô phỏng tín hiệu MMX/DĐX của hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy khi có một xy lanh không cháy, song xy lanh đó vẫn thực hiện quá trình nén (Theo quy phạm), NCS đã phân tích và mô phỏng đặc tính đường $p(\varphi)$ thành tổng của hai đường nén $p_{cp}(\varphi)$ và đường cháy $p_{fire}(\varphi)$ tương ứng với hệ số cháy $C_f = 0$ (khi xy lanh không diễn ra quá trình cháy) và $C_f = 1$ (khi xy lanh diễn ra quá trình cháy bình thường)

$$p(\varphi_k) = p_{cp}(\varphi) + C_f \cdot p_{fire}(\varphi)$$

Đặc tính công chỉ thị $p(\varphi_k)$ được mô phỏng cho chế độ xy lanh cháy bình thường, đặc tính này sẽ tạo ra hai đường đặc tính mô-men xy lanh khi thể động cơ diesel cháy bình thường và động cơ diesel không cháy.

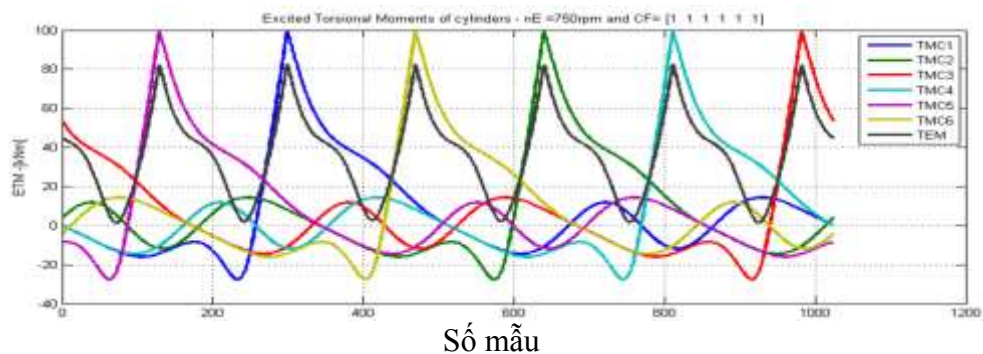


Hình 3.1 Đồ thị công chỉ thị và khai triển của động cơ Yanmar 6EY26W

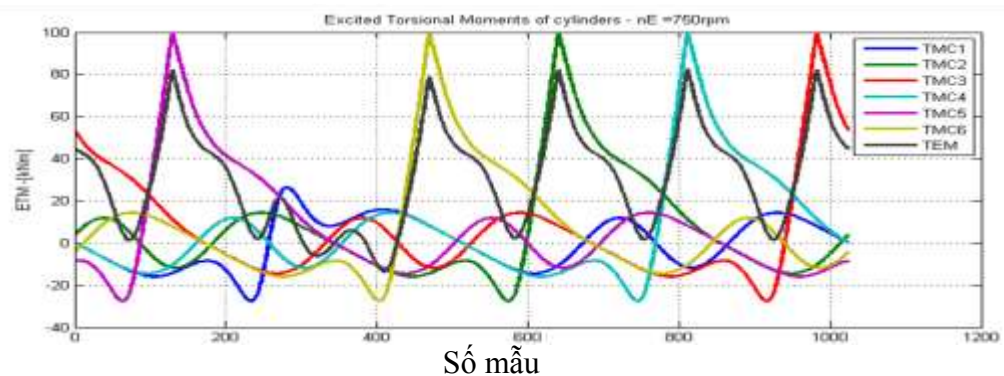
3.3 Mô phỏng tín hiệu MMX hệ trục diesel tàu thủy trên động cơ Yanmar 6EY26W

Từ các đặc tính mô phỏng áp suất trong xy lanh (đồ thị công khai triển hình 3.1) như trên, ta có thể tính và biểu thị các đặc tính MMX như sau:

Mô-men khí thể của các xy lanh lệch pha nhau theo thứ tự cháy của động cơ. Đối với động cơ được xét, Yanmar 6EY26W, thứ tự nổ: 1 – 6 – 2 – 4 – 3 – 5, lệch pha theo thứ tự cháy là 120 độ góc quay trục khuỷu (gqtk). Nếu ta trích mẫu $N = 1024$ mẫu, góc kẹp nổ liên tiếp nhau sẽ có độ lệch khoảng 170 mẫu. Lập trình trong MATLAB, với giả thiết áp lực của tất cả các xy lanh là như nhau, ta thu được mô-men khí thể riêng cho từng xy lanh và mô-men tổng theo số mẫu cho một chu kỳ, được thể hiện trên hình 3.2 tương ứng với trường hợp các xy lanh cháy bình thường (hình 3.2a) và trường hợp có 1 xy lanh không cháy TMC_1 (hình 3.2b).



(a) Khi động cơ cháy bình thường



(b) Khi động cơ có 1 xy lanh không cháy (TMC_1)

Hình 3.2 Mô-men khí thể của từng xy lanh và mô-men tổng động cơ 6EY26W

3.4. Mô phỏng xử lý nhiễu cho tín hiệu MMX

3.4.1 Mô phỏng lọc nhiễu tín hiệu MMX trong miền thời gian

Tín hiệu MMX đo được trong miền thời gian thực (real time) thường chứa nhiễu do nhiều nguyên nhân khác nhau. Đối với tín hiệu MMX, theo các mục đích sử dụng cụ thể MMX mà chúng ta cần xử lý tín hiệu có nhiễu này để xác định các đặc tính như giá trị trung bình trong một chu kỳ làm việc, giá trị trung bình đặc trưng cho giai đoạn công tác của từng xy lanh tương ứng, các đặc tính cực trị của tín hiệu. Như vậy, tín hiệu mô phỏng có nhiễu cần được xử lý để loại bỏ nhiễu và xử lý tín hiệu có ích theo mục đích sử dụng.

Các dạng bộ lọc được xây dựng đa dạng, phong phú trong MATLAB cũng như trong xử lý tín hiệu số nói chung, song vấn đề cần áp dụng cho bài toán của chúng ta là lọc tách nhiễu khỏi tín hiệu số đo được.

Với nhiệm vụ đặt ra, sau khi khảo sát khả năng sử dụng một số bộ lọc có trong MATLAB, chúng ta sẽ vận dụng vào mô phỏng xử lý tín hiệu MMX có nhiễu qua lọc tín hiệu số. Theo trợ giúp của MATLAB –Help, chúng ta tìm hiểu khả năng ứng dụng bộ lọc Kalman vào dự báo đoạn tín hiệu còn thiếu trên cơ sở tập dữ liệu đã thu thập.

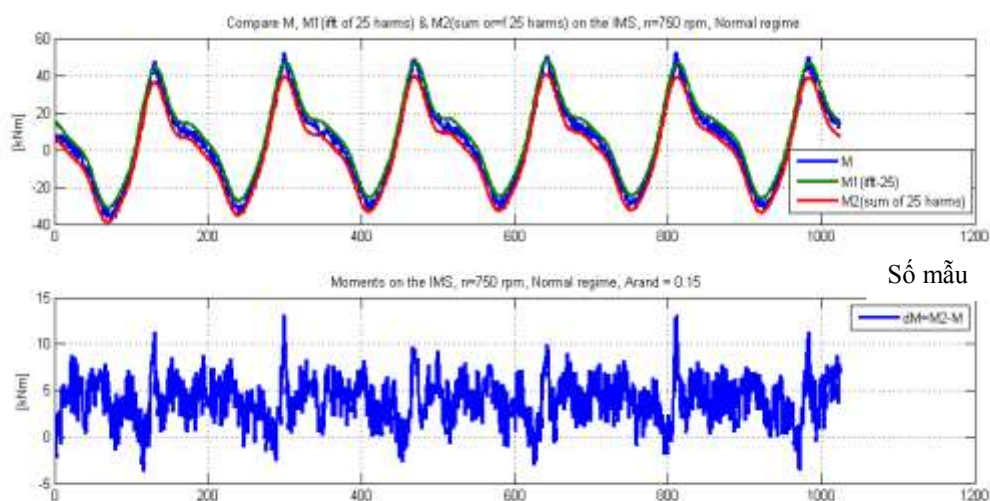
Khi khảo sát MMX ở chế độ tắt cả các xy lanh hoạt động bình thường (chế độ NORMAL), MMX được mô phỏng với mức độ nhiễu Arand = 15. Giá trị này được hiểu là % của biên độ có ích cực đại. Tín hiệu có nhiễu cần lọc:

$$Mo_r(k) = Mo + Arand*rand(k) \quad (3.12)$$

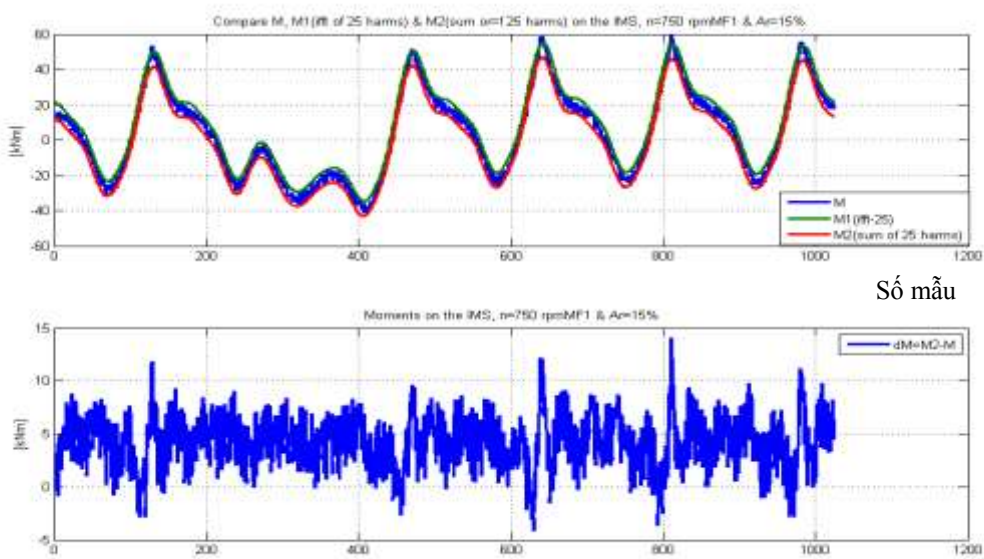
NCS đã sử dụng bộ lọc trượt trung bình (Filter Average Slide - FAS), mô phỏng mô-men tổng có nhiễu, kết quả đầu ra được chỉ ra là đường màu đỏ, đường màu xanh - tín hiệu chưa được xử lý nhiễu (hình 3.3).

Kết quả xây dựng các bộ lọc cho trường hợp MMX đa hài, có nhiễu với biên độ $A_{rand} = 15\%$ (kN.m), của động cơ diesel Yanmar 6EY26W khi động cơ cháy bình thường được mô phỏng trên hình 3.3.

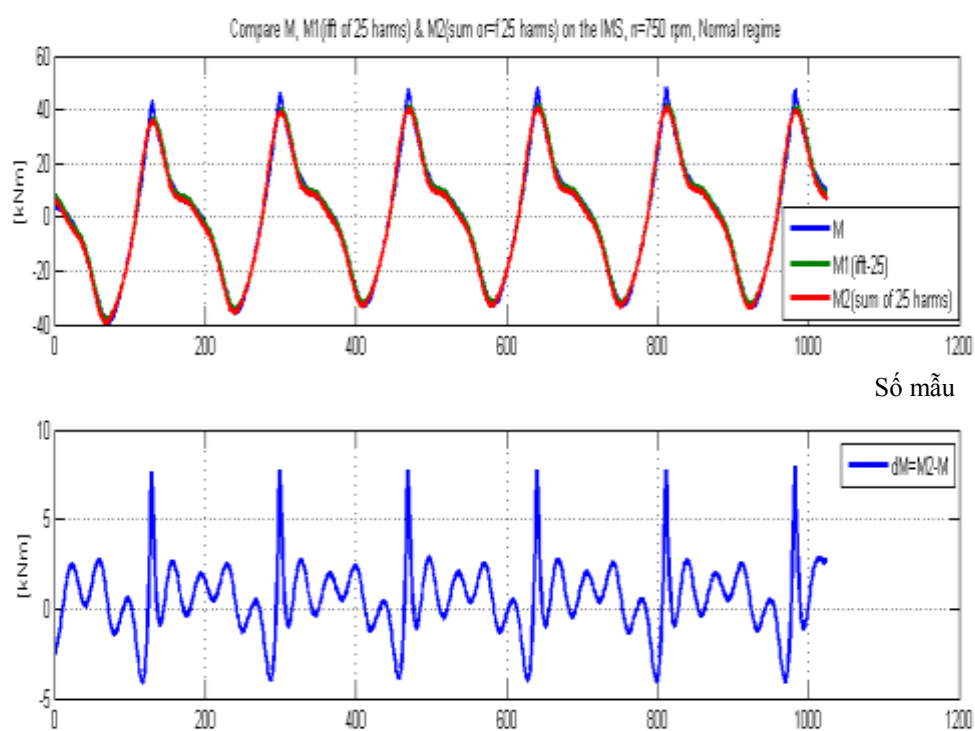
Tương tự kết quả xây dựng các bộ lọc cho trường hợp MMX đa hài, có nhiễu với biên độ $A_{rand} = 15\%$ (kN.m), của động cơ diesel Yanmar 6EY26W khi động cơ có một xy lanh mất cháy được mô phỏng như trên hình 3.4.



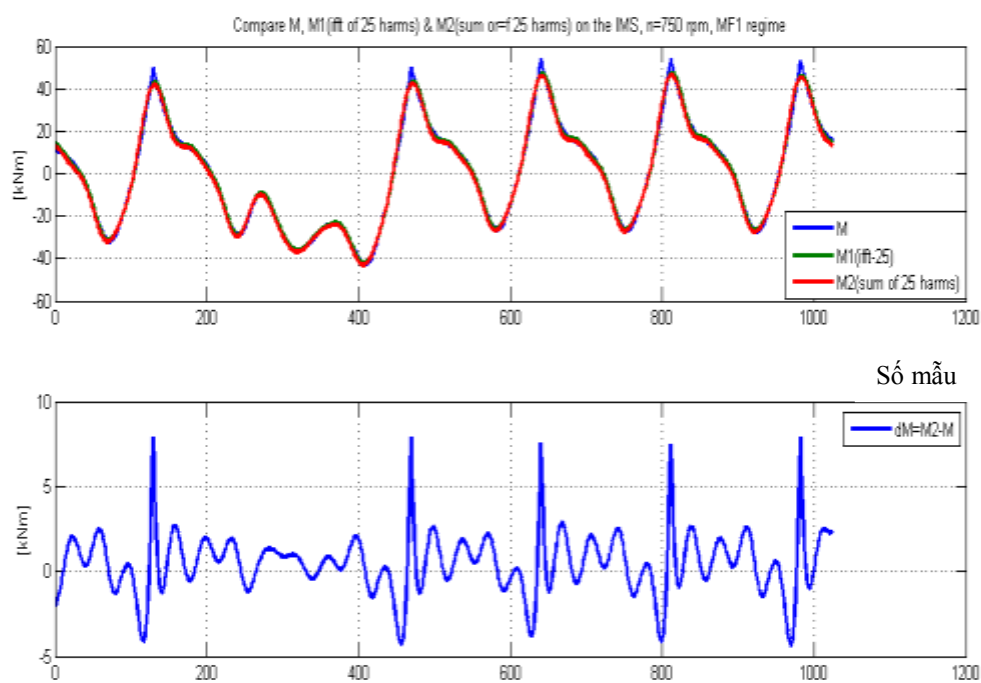
Hình 3.3 Tín hiệu mô-men tổng có nhiễu khi động cơ làm việc bình thường



Hình 3.4 Tín hiệu mô-men tổng có nhiễu khi động cơ có xy lanh không cháy



Hình 3.5 Lọc nhiễu tín hiệu mô-men tổng khi động cơ làm việc bình thường



Hình 3.6 Lọc nhiễu mô-men tổng có nhiễu khi động cơ có 1 xy lanh không cháy

Tín hiệu mô-men tổng đo được luôn chứa nhiễu như trên hình 3.3 và hình 3.4 đã được xử lý nhiễu bằng các bộ lọc số khác nhau như bộ lọc trượt trung bình; bộ lọc pha-zero; bộ lọc thích nghi;.... Trong nội dung này NCS đã sử dụng bộ lọc số kiểu trượt trung bình để tăng độ chính xác trong xử lý nhiễu cho tín hiệu MMX tổng đa hài đo được với kết quả mô phỏng đúng quy luật và thuận tiện để nghiên cứu xây dựng phần mềm chuyên dụng có độ chính xác cao tiếp theo. Kết quả mô phỏng tín hiệu mô-men tổng có nhiễu đã được xử lý lọc nhiễu được thể hiện cho cả 2 trường hợp: động cơ làm việc bình thường (hình 3.5) và động cơ làm việc khi một xy lanh không cháy (hình 3.6).

3.4.2 Mô phỏng lọc nhiễu tín hiệu MMX trong miền tần số

Tín hiệu đo được trong miền thời gian thực (real time) như trên đã phân tích luôn chứa nhiễu. Theo quy định của tổ chức Đăng kiểm quốc tế (IACS) tín hiệu ĐĐX cần được phân tích để xác định khả năng xảy ra cộng hưởng cũng như biên độ của các điều hòa quan trọng, ĐĐX lớn nhất (peak to peak) ở tất cả các vòng quay nằm trong vùng khai thác vận tốc quay của hệ trục, sao cho ứng suất cực đại này không vượt quá giới hạn quy định. Tín hiệu MMX cưỡng bức được xét tối thiểu $M = 12$ điều hòa đối với động cơ diesel hai kỳ, còn đối với động cơ 4 kỳ, số lượng điều hòa sẽ xem xét là $M = 25$. Như vậy, dải tần cần nghiên cứu là dải thông thấp, từ f_L đến f_H ,

+ Đối với động cơ hai kỳ: $f_L = n/60$; còn $f_H = 12.n/60 = n/5$ (Hz)

+ Đối với động cơ bốn kỳ: $f_L = n/120$; $f_H = 25.n/120 = 5n/24$ (Hz)

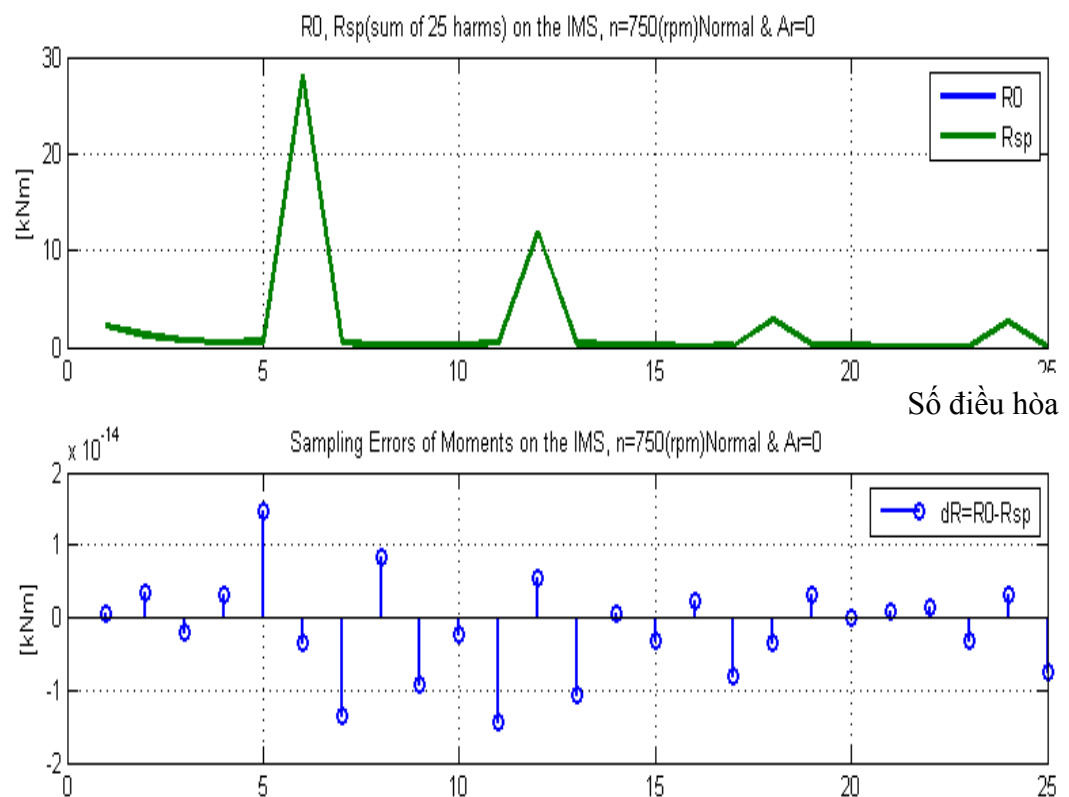
Công cụ toán học hữu hiệu nhất trong xử lý ĐĐX là phép biến đổi FFT trong miền tần số. Đối với tín hiệu rời rạc đo được trong miền thời gian thực, ta biến đổi FFT để xác định phổ tần của tín hiệu này trong miền tần số.

Về cơ sở toán học đã được đưa ra như là công cụ toán học kinh điển cho xử lý tín hiệu số. Tuy nhiên, chúng ta cần tìm hiểu ý nghĩa của chúng và

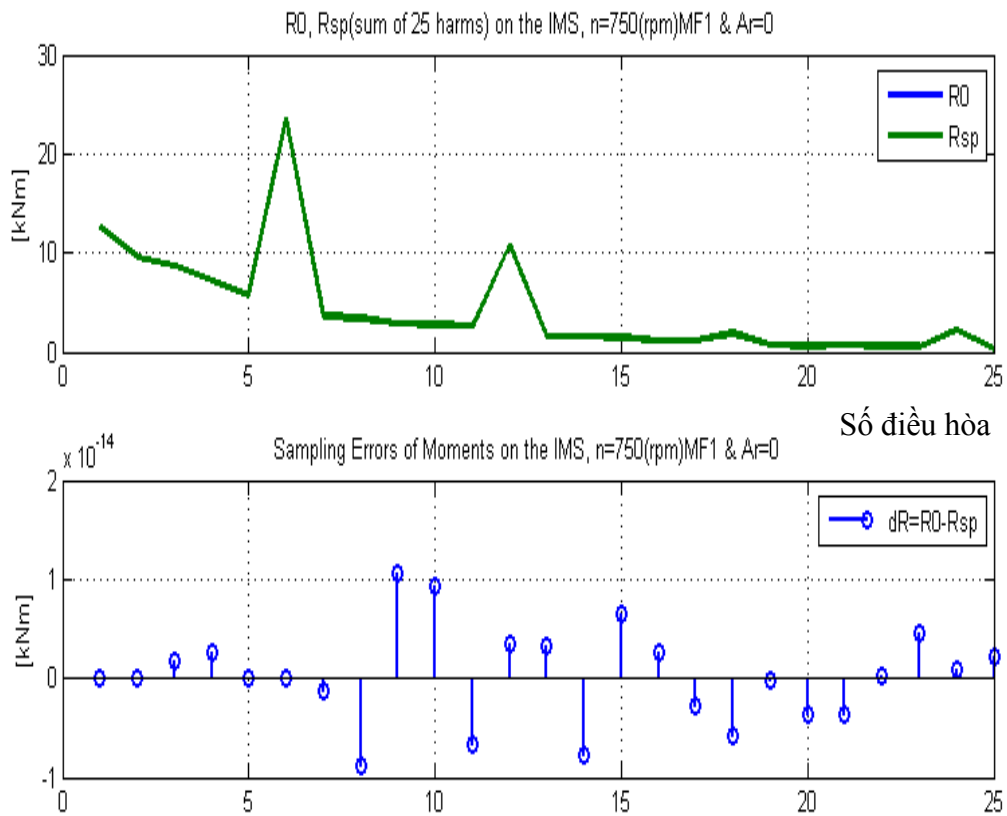
phương thức sử dụng cho lập trình xử lý tín hiệu trong LabView cũng như trong MatLab.

Trong LabView cũng như trong MatLab đã có sẵn thư mục các câu lệnh cho xử lý FFT cũng như biến đổi FFT ngược. Đây là hai công cụ mạnh cần sử dụng đúng để hạn chế sai số do “rò rỉ”, hay “méo” tín hiệu phổ tần.

Công nghệ xử lý tín hiệu trong miền tần số, trong MatLab cũng như trong LabView đã có sẵn các lệnh, sử dụng một số dạng cửa sổ (Hanning; Hamming; Blackman – Harris; Kaiser...), chúng ta dễ dàng sử dụng cũng như tham khảo để lập trình qua các ví dụ liên quan, tương ứng, đặc biệt trong LabView.



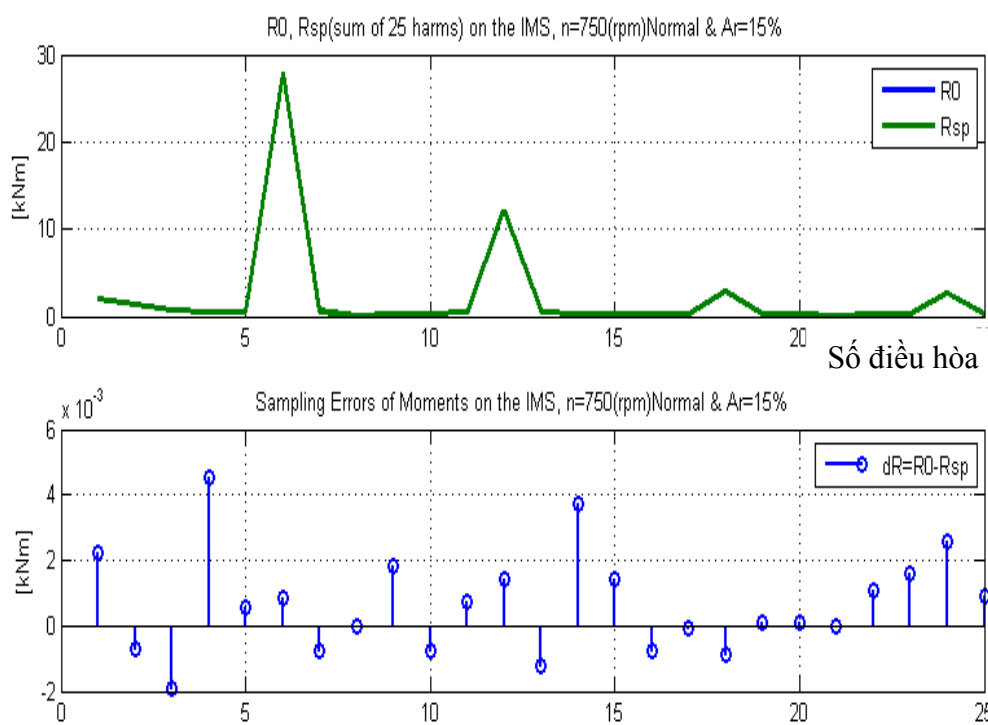
Hình 3.7 Mô-men tổng không chứa nhiễu khi động cơ chạy bình thường



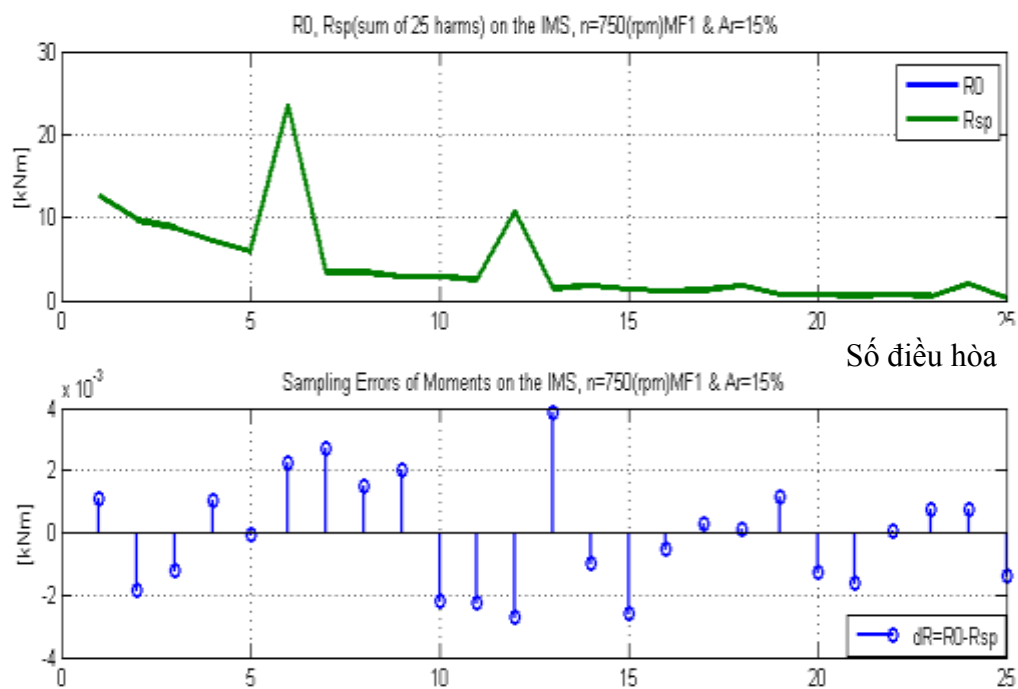
Hình 3.8 Mô-men tổng không chứa nhiễu khi động cơ không cháy 1 xy lanh

Kết quả mô phỏng trên hình 3.7 cho thấy khi động cơ diesel Yanmar 6EY26W làm việc tại vòng quay định mức 750 v/ph, nếu tín hiệu MMX đo được không chứa nhiễu, các xy lanh cháy bình thường thì độ lệch mô-men tổng theo số bậc điều hòa là rất bé $(1 \div 1.5) \times 10^{-14}$ KN.m, đường R_0 gần như trùng với đường R_{sp} , kể cả khi động cơ diesel không cháy 1 xy lanh thì độ lệch mô-men tổng này cũng rất nhỏ (hình 3.8).

Cũng ở chế độ vòng quay định mức 750 v/ph như trên nhưng nếu tín hiệu MMX đo được có chứa nhiễu $Arand = 15\%$ thì độ lệch mô-men tổng theo số bậc điều hòa sẽ bắt đầu xuất hiện như hình 3.9 (cháy bình thường, có nhiễu) và hình 3.10 (không cháy 01 xy lanh, có nhiễu) thì giá trị sai lệch mô-men tổng có sự thay đổi nhưng vẫn còn tương đối nhỏ $(2 \div 4) \times 10^{-3}$ KN.m.



Hình 3.9 Mô-men tổng có nhiễu khi động cơ cháy bình thường



Hình 3.10 Mô-men tổng có nhiễu khi động cơ không cháy 1 xy lạnh

3.5 Mô phỏng sai số trích mẫu trong đo và xử lý tín hiệu MMX

3.5.1 Sai số trích mẫu

Sai số trích mẫu (lấy mẫu) là hệ quả của việc chọn (thiết lập cấu hình) lấy mẫu sai, đoạn trích mẫu không tương thích cho một chu kỳ làm việc của động cơ (gồm z xy lanh). Đoạn trích mẫu lý tưởng là đoạn phủ vừa kín chu trình làm việc của động cơ, đối với động cơ diesel hai kỳ, đoạn đó tương ứng 360 độ theo góc quay trục khuỷu (gqtk), còn đối với diesel bốn kỳ, đó là góc phủ đủ 720 độ gqtk.

Các phương pháp trích mẫu có thể triển khai:

(a) Giữ nguyên tần số trích mẫu F_s (Hz, S/s) của bộ góp dữ liệu DAQ ($F_s = \text{constant}$), khi đó trích mẫu theo khoảng thời gian nhất định ($T_s = \text{constant}$);

(b) Giữ nguyên tần số trích mẫu F_s (Hz, S/s) bằng cách không thay đổi cấu hình của bộ góp dữ liệu DAQ ($F_s = \text{constant}$), số lượng mẫu không đổi ($N_s = \text{constant}$);

(c) Giữ nguyên tần số trích mẫu của bộ góp dữ liệu DAQ ($F_s = \text{Constant}$) và đặt số lượng mẫu N_s thay đổi theo số vòng quay thực tế của động cơ.

Phương pháp (a và b) sẽ cho ta một lượng mẫu đo được thay đổi theo vòng quay của động cơ trong một đơn vị thời gian không đổi (trong khoảng thời gian không đổi, lượng mẫu trích ra tỉ lệ thuận với thời gian trích đoạn mẫu đó, vì tần số trích mẫu không đổi, thời gian trích một mẫu cũng không đổi). Khi động cơ quay nhanh hơn, lượng mẫu trích được sẽ lớn hơn lượng mẫu ở tốc độ đặt ban đầu (giả sử đặt chuẩn cho một chu kỳ làm việc). Ngược lại, khi động cơ quay chậm hơn, lượng mẫu trích ra không đủ thông tin cho một chu kỳ. Về bản chất của quá trình, chúng ta sẽ không đủ thông tin để đo tín hiệu MMX chính xác, còn về kết quả xử lý FFT sẽ cho sai số rất lớn.

Phương pháp (c) cho ta lượng thông tin đúng, đủ cho một chu kỳ hoạt động của đối tượng. Khi động cơ quay nhanh, số lượng trích mẫu trong một chu kỳ sẽ ít đi, còn khi động cơ quay chậm lại, số lượng trích mẫu sẽ tăng lên, tuy nhiên thông tin vẫn đảm bảo đủ cho một chu kỳ làm việc.

Phần nội dung trên đã cho thấy rằng có thể xảy ra sai số khi lấy trích mẫu tín hiệu MMX đo được. Sự không chuẩn trong việc trích mẫu được thể hiện ở chỗ đoạn trích mẫu ngắn hơn hoặc dài hơn một chu kỳ cần trích mẫu. Điều này thường gắn với thực tế khi cài đặt cấu hình đo, cũng như trong thực tế đo, vòng quay của hệ trục chân vịt thay đổi, làm cho việc thiết lập cấu hình trước đây không đúng.

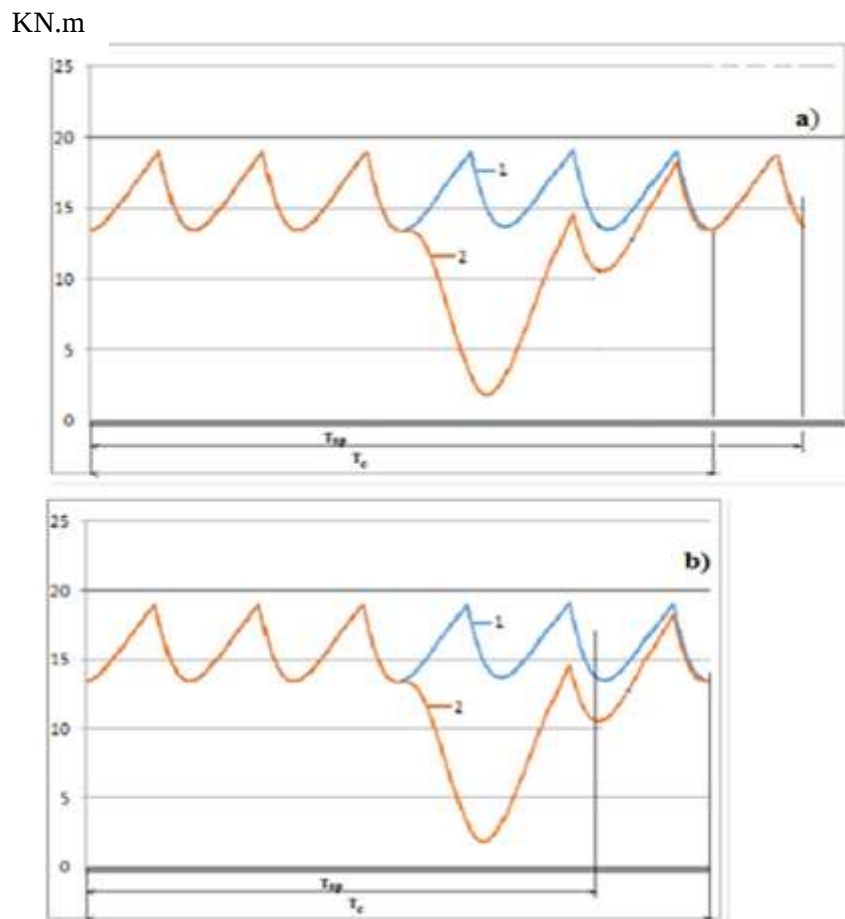
Sai số trích mẫu như trên phân tích có thể xảy ra khi: Tốc độ trích mẫu đã thiết lập không đổi ($F_s = \text{const}$), đoạn trích mẫu thiết lập bằng đoạn tương ứng với chu kỳ làm việc được thiết lập ($T_{sp} = T_c = \text{const}$, giây), hay tương ứng với số lượng mẫu ta cố định trước.

Trong nội dung này, chúng ta sẽ nghiên cứu 2 bài toán:

- (1) - Khi có sai số trong trích mẫu, xác định mức độ sai số (sai lệch so với giá trị ban đầu không có sai số trích mẫu) của các biên độ phân tích mà thiết bị đo (phần mềm tính) đưa ra;
 - (2) - Nếu có sai số lớn, cần tìm phương án giảm thiểu sai số từ phương pháp lọc, hoặc có biện pháp hiệu chỉnh cài đặt lại cấu hình trích mẫu. Động cơ làm việc ở tốc độ khác nhau, nhưng khi trích mẫu chúng ta phải chọn chế độ ổn định cụ thể, ví dụ $n = 750$ v/ph và tương ứng với vòng quay này, ta chọn số lượng mẫu đủ cho triển khai FFT đảm bảo được độ chính xác trong xử lý dữ liệu đo, kể cả khi tín hiệu có nhiễu (ví dụ $N_s = 1024$ mẫu).
- (a) Số lượng trích mẫu nhiều hơn cho một chu kỳ công tác của động cơ, (thời gian trích mẫu T_{sp} lớn hơn thời gian chu kỳ thực tế động cơ cần có T_c), hay

tương đương với vận tốc quay động cơ thực tế n_E lớn hơn vận tốc quay thiết lập n_c) được thể hiện trên hình 3.11.a.

(b) Số lượng trích mẫu không đủ cho một chu kỳ công tác của động cơ (thời gian trích mẫu T_{sp} nhỏ hơn thời gian chu kỳ thực tế động cơ cần có T_c), hay tương đương với vận tốc quay động cơ thực tế n_E nhỏ hơn vận tốc quay thiết lập n_c) được thể hiện trên hình 3.11.b.



Hình 3.11 Trích mẫu tín hiệu mô-men khí thể

(a): Đoạn trích $N_{s*} > N_s$ (thiết lập), khi $n_E > n_c$ (thiết lập), $T_{sp} > T_c$

(b): Đoạn trích $N_{s*} < N_s$ (thiết lập), khi $n_E < n_c$ (thiết lập), $T_{sp} < T_c$

Đường 1: Mô-men tổng ở chế độ các xy lanh cháy bình thường;

Đường 2: Mô-men tổng ở chế độ một xy lanh không cháy.

Số lượng mẫu được trích N_s (mẫu), trong một khoảng thời gian T_s (giây). Trong cài đặt, ta chọn tốc độ lấy mẫu F_s (Hz, mẫu/giây) và số lượng mẫu N_s . Với tốc độ lấy mẫu cài đặt, thời gian trích 1 mẫu $dt = 1/F_s$ (s, hoặc ms, hoặc μs) và thời gian trích mẫu lựa chọn tương ứng, ta có: $N_s = T_s/F_s$;

Về phía hoạt động của động cơ, thông số tốc độ quay của trục cần được xem xét sao cho trong một vòng, đối với động cơ bốn kỳ ta trích đủ N_s mẫu, $N_s = 2^p$, p số tự nhiên (thông thường $p = 9$ hoặc $p = 10$). Chu kỳ T_c (s) với vận tốc quay n (v/ph) tương ứng là $T_c = 1/\omega_c = 60/(2\pi n) = 30/(\pi n)$ trích được đủ $N_s = 2^p$ mẫu.

Mối quan hệ ở đây cần thiết lập tốc độ lấy mẫu:

$$F_s = 2^p \cdot n / 120 \quad (3.13)$$

Trong thực tế, tốc độ trích mẫu được thiết lập, phụ thuộc vào loại DAQ (phần cứng) chúng ta sử dụng. Ví dụ, DAQ 9184 của National Instruments có tần số trích mẫu cực đại cho 1 kênh là 50 kHz (tương đương 50000 mẫu/giây/kênh). Khi ta thiết lập cấu hình đo từ khai báo cấu hình hệ thống, thông thường giá trị này không đổi. Giả thiết $F_s = 25000$ mẫu/giây/kênh, khi đo nếu vòng quay khai thác của động cơ thay đổi (điều này thường xảy ra, đặc biệt là những động cơ trang bị bộ điều tốc nhiều chế độ), chúng ta sẽ có được lượng mẫu trong một chu kỳ làm việc của động cơ thay đổi. Giả thiết vòng quay động cơ tăng lên (so với vòng quay đã tính toán tương ứng với số mẫu N_s), số lượng mẫu ở chế độ này cần thiết sẽ nhỏ hơn N_s và ngược lại, khi vòng quay động cơ chậm hơn so với giá trị vòng quay tính toán tương ứng, số lượng mẫu sẽ cần trích lớn hơn N_s .

Trong cài đặt $N_s = 2^p = 1024$ mẫu, dải vòng quay thay đổi thì tần số lấy mẫu cùng thay đổi theo công thức (3.13) và được chỉ ra trong bảng 3.1.

Bảng 3.1 Thiết lập cấu hình trích mẫu cho hệ trục diesel Yanmar 6EY26W tàu KN168					
N_s (mẫu)	1024				
K_{hs}	2.23				
n_E (v/p)	550	600	650	700	750
n_p (v/p)	246.6	269.1	291.5	313.9	336.3
T_s (s) = 120/n_d	0.487	0.446	0.412	0.382	0.357
F_s (Hz) = N_s*n_d/120	2104.63	2295.96	2487.29	2678.62	2869.96
[F_s] (Hz)	2104	2295	2487	2678	2869

3.5.2 Mô phỏng số tín hiệu mô-men xoắn khi có sai số trích mẫu

Chương trình mô phỏng trên Matlab với điều khiển số mẫu trích tương ứng cho $N_s = 1024$ điểm, bước nhảy góc (theo gqtk) trong lập trình sẽ thay đổi tốc độ quay được lựa chọn ± 10 v/ph. Một đoạn cơ sở dữ liệu tương ứng cho biến góc quay có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn một chu trình công tác (720 độ gqtk). Các bước thuật toán để thực hiện mô phỏng số như sau:

Bước 1. Bố trí các hằng số trong chương trình (chung cho tất cả các trường hợp thay đổi biến vòng quay động cơ) như: $N_s = 1024$ mẫu; $F_s = 2048$ (Hz); $T_s = 0,5$ (s);... Trong trường hợp mô phỏng MMX theo 25 điều hòa, chúng ta cần có biên độ các điều hòa (véctơ A, B trong công thức 3.1). Trong trường hợp mô phỏng MMX theo mô hình tính quá trình công tác của động cơ, chúng ta sẽ sử dụng kết quả tính MMX cho trường hợp không có sai số trích mẫu.

Bước 2. Xây dựng biến điều khiển trong lập trình mô phỏng – vòng quay của động cơ, được điều khiển cho 11 trường hợp xét (700 - 800) v/ph. Bố trí các biến (các ma trận) lưu trữ kết quả trong quá trình tính của bước tiếp sau.

Bước 3. Thu thập tín hiệu MMX theo vòng quay khai thác được trích mẫu theo giả định có độ dài 1024 điểm, tương ứng với biến góc quay φ_s nằm trong đoạn trích mẫu $\Delta\varphi$. Đây là công đoạn quan trọng sao cho đầu vào đảm bảo để tiếp tục xử lý tín hiệu ở bước tiếp theo.

Kết quả của dãy tín hiệu đầu vào được biểu thị rời rạc theo miền thời gian (tương ứng với các góc quay trực khuỷu).

Bước 4. Phân tích điều hòa trong miền tần số cho tín hiệu MMX đã được trích mẫu, tương ứng với từng giá trị vòng quay đã chọn. Kết quả của bước này đưa ra vectơ biên độ và pha của tín hiệu được trích mẫu trong từng trường hợp vòng quay được xét (ta bố trí cho mảng gồm 25 điều hòa đầu tiên), độ sai lệch của các biên độ điều hòa (có thể minh họa thêm ma trận pha của 25 điều hòa).

Bước 5. Lưu lại kết quả mô phỏng dưới dạng file dữ liệu *.data các kết quả cần thiết để xử lý (có định dạng phù hợp trong MatLab). Đưa ra màn hình (vẽ đồ thị) những kết quả cần quan tâm.

Những kết quả lưu lại sẽ được tải ra (load) để tiếp tục xử lý cho các mục tiêu phân tích và xử lý tín hiệu ĐĐX sau này.

❖ *Một số đặc điểm trong mô phỏng tín hiệu MMX đa hài:*

- Bước 3 và 4 sẽ cùng nằm trong một vòng lặp (for) khi cho biến điều khiển vòng quay động cơ thay đổi.

- Mô hình đề xuất là mô hình giải tích, tường minh theo công thức tính tổng các MMX dạng sin và cos được nêu trong nội dung 3.1.

- Yêu cầu đầu vào ngoài biến điều khiển chế độ thử nghiệm n_E (v/ph), chúng ta cần biến điều khiển góc φ , với $d\varphi = \Delta\varphi / 1024$.

Có hai cách để xây dựng tín hiệu MMX cần trích mẫu đã mô phỏng trong miền thời gian. Cách thứ nhất dùng nội ngoại suy từng đoạn để được giá trị trích mẫu. Cách này khá phức tạp và đưa ra sai số thuật toán của phép nội suy tuyến tính. Cách thứ hai dựa trên mô hình hóa giống như trường hợp đầu ta đưa vào các véc tơ biên độ và pha (25 điều hòa). Như vậy, tín hiệu đầu vào ở miền thời gian được biến đổi FFT để thu được các véc tơ điều hòa.

Với phân tích trên, việc nghiên cứu mô phỏng cả hai trường hợp đều giống nhau về nguyên tắc, chúng ta chỉ cần triển khai cho một trường hợp mà thôi. Trong nội dung nghiên cứu này, sẽ triển khai nghiên cứu áp dụng cho dãy tín hiệu được mô phỏng đối với động cơ Yanmar 6EY26W.

Thực nghiệm được xây dựng trên cơ sở giữ nguyên tốc độ trích mẫu và đoạn trích mẫu (F_s không đổi và $N_s = 1024$ mẫu).

Chúng ta khảo sát các chế độ vòng quay của động cơ bốn kỳ, Yanmar 6EY26W, tại vòng quay 750 v/ph, sai số trích mẫu khi động cơ thay đổi ở dải tốc độ ± 10 v/ph, hay $[700, 800]$ v/ph, với bước: 10 v/ph là: 700, 710, 720, 730, 740, 750, 760, 770, 780, 790 và 800 v/ph.

Đầu vào tín hiệu chuẩn (mô-men tổng) sẽ được mô phỏng:

$$R_0 = [R_0(1), \dots, R_0(25)]; \quad (3.14)$$

$$R_{sp} = [R_{sp}(1), \dots, R_{sp}(25)]; \quad (3.15)$$

Trong đó véc tơ R_0 – véc tơ biên độ; R_{sp} – véc tơ pha của 25 điều hòa.

Sau khi gọi dữ liệu được lưu từ file **MOMENT_Total_nor.data** bằng lệnh trong MATLAB:

Load **MOMENT_Total_nor**

Ta có véc tơ biên độ R_0 và R_{sp} ở chế độ vòng quay khai thác chuẩn $n = 750$ v/ph như bảng 3.2.

Bảng 3.2 Sai lệch trích mẫu 25 điều hòa tại vòng quay 750 v/ph

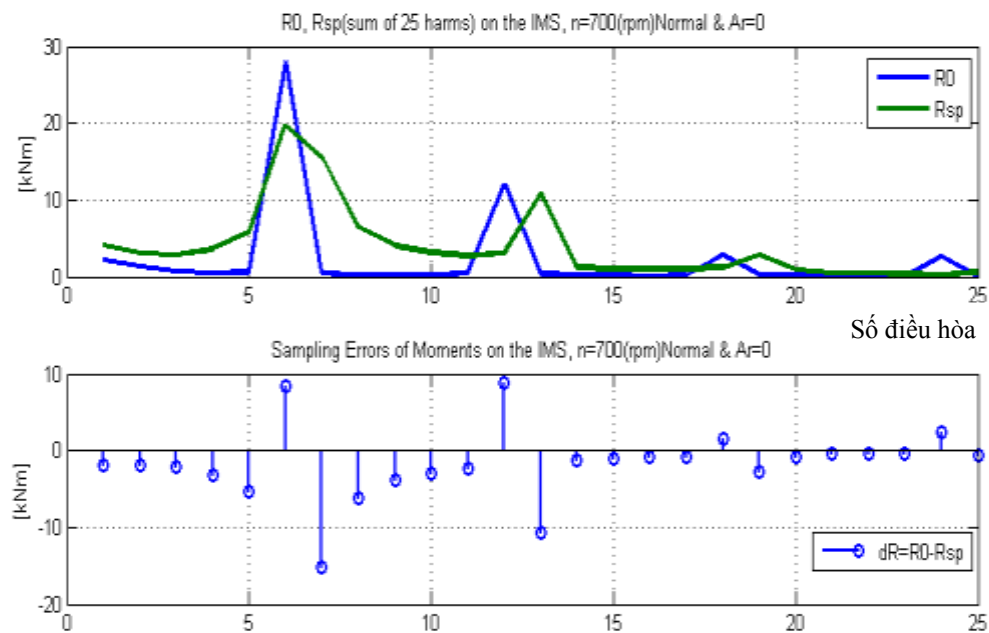
Số điều hòa	R_0[kNm]	$R_{sp}(\text{sum}25)$	$dR = R_0 - R_{sp}$
1	2.050731	2.05073076	-8.88178E-16
2	1.337999	1.33799876	1.33227E-15
3	0.725164	0.72516422	1.22125E-15
4	0.481587	0.48158697	1.11022E-15
5	0.518853	0.51885332	4.88498E-15
6	27.98487	27.984873	0
7	0.636154	0.63615429	-4.32987E-15
8	0.049433	0.04943296	-4.04538E-15
9	0.228939	0.22893891	-8.32667E-16
10	0.23516	0.2351595	4.63518E-15
11	0.462483	0.4624834	-3.55271E-15
12	11.9894	11.9893961	1.77636E-15
13	0.467789	0.46778908	2.05391E-15
14	0.278831	0.27883138	2.16493E-15
15	0.304336	0.30433645	-1.16573E-15
16	0.186027	0.18602724	4.996E-16
17	0.170164	0.17016413	-2.19269E-15
18	2.778866	2.77886572	-8.88178E-16
19	0.278458	0.27845758	-6.10623E-16
20	0.132736	0.13273553	3.88578E-16
21	0.046875	0.04687509	-4.02456E-16
22	0.266876	0.26687559	5.55112E-17
23	0.166414	0.16641433	9.99201E-16
24	2.563125	2.56312521	0
25	0.206225	0.20622517	-3.05311E-16

Chúng ta so sánh độ lệch giữa véc tơ biên độ đầu vào R_0 với véc tơ biên độ tính được trong từng trường hợp trích mẫu R_{sp} . Kết quả này được thể hiện trong ma trận MR_Ar đã khởi tạo.

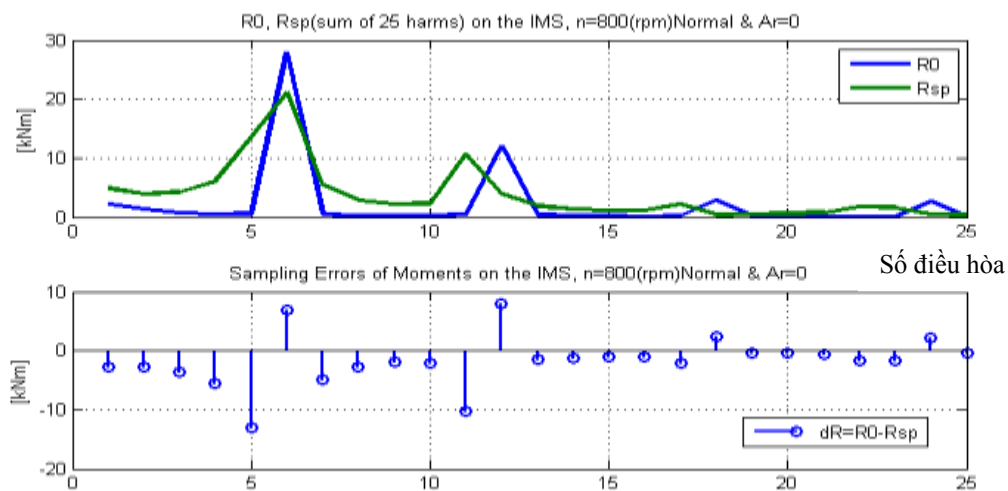
$$\begin{aligned} A1 &= MR_Ar(:, :, 1); \\ A2 &= MR_Ar(:, :, 2); \\ &\dots \\ A24 &= MR_Ar(:, :, 24); \\ A25 &= MR_Ar(:, :, 25); \end{aligned} \quad (3.16)$$

Sau khi lưu lại dữ liệu ở file `sample_study.data`, ta có thể đọc và xử lý dữ liệu dưới dạng ma trận 2 chiều, với đoạn code chuyển đổi từ 3 chiều sang 2 chiều (3.16). Đoạn code viết 11 ma trận kích thước $3 \times 25 \times 11$ tương ứng với 11 trường hợp trích mẫu, 25 điều hòa và 3 biên độ R_0 , R_{sp} và $dR = R_0 - R_{sp}$.

Khởi tạo biến ma trận MR_Ar có kích thước $3 \times 25 \times 11$ với giá trị ban đầu bằng 0 để lưu trữ kết quả cho 11 trường hợp trích mẫu N_s theo véc tơ điều khiển vòng quay của 11 trường hợp ($700 \text{ v/ph} \div 800 \text{ v/ph}$).



Hình 3.12 Mô-men tổng của động cơ khi làm việc tại 700 v/ph



Hình 3.13 Mô-men tổng của động cơ khi làm việc tại 800 v/ph

Khác với trường hợp tín hiệu có chứa nhiều, trường hợp trích mẫu sai (số lượng mẫu 1024 / đoạn trích mẫu không phủ chính xác đối với 1 chu kỳ công tác của động cơ (tương ứng 2 vòng quay trục khuỷu, 720 độ gqtk), ngay cả khi tín hiệu 25 điều hòa không chứa nhiễu ($A_{rand} = 0$), động cơ cháy bình thường ở tất cả các xy lanh thì độ lệch mô-men tổng xuất hiện rất lớn $\pm (10 \div 15)$ KN.m, kết quả mô phỏng chỉ ra trên hình 3.12 khi giảm vòng quay từ 750v/ph xuống còn 700 v/ph ($dn = - 6.6\%$) và hình 3.13 khi tăng vòng quay từ 750v/ph lên 800 v/ph ($dn = + 6.6\%$) thì độ lệch mô-men tổng theo bậc điều hòa thay đổi rất lớn khi vòng quay biến thiên. Điều đó có nghĩa là khi có sai số trích mẫu trong đo tín hiệu MMX thì sẽ ảnh hưởng rất lớn đến kết quả đo và phân tích ĐĐX.

Kết luận:

- Điều đầu tiên nhận thấy là khi một xy lanh không cháy, biên độ của các điều hòa thứ cấp rất lớn, thậm chí còn lớn hơn cả biên độ của điều hòa chính (so sánh với biên độ điều hòa số 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 và 24).
- Kết quả chứng minh tính đúng đắn trong lập trình mô phỏng, đúng quy luật khi động cơ có 6 xy lanh làm việc bình thường và không cháy 1 xy lanh.

- Theo số liệu trong phụ lục đã chỉ ra sai số khi vòng quay thực tế bị sai lệch so với giá trị vòng quay thiết lập trong trích mẫu, ngay cả khi độ lệch chỉ có ± 10 v/ph. Giá trị thay đổi vòng quay càng lớn thì sai số trích mẫu sai lệch đối với tín hiệu mô-men tổng càng lớn (phụ lục 1).

Tóm lại, với kết quả thu được trong trường hợp mô phỏng tín hiệu MMX có nhiều $Ar = 15$ (nhiều trắng, có giá trị trung bình bằng không) khi trích mẫu có sai số, cần có biện pháp giảm sai số. Ngoài ra, đối với các điều hòa bậc cao hay có giá trị quá nhỏ, chúng ta có thể bỏ qua không xét đến chúng, vì đó là do sai số trong tính toán và bản thân những điều hòa đó cũng không có ý nghĩa trong quá trình nghiên cứu. Nhưng phải đặc biệt lưu ý vấn đề sai số khi trích mẫu không đúng cho một chu kỳ công tác của động cơ diesel lai chân vịt thường xuyên dao động vòng quay do tải ngoài thay đổi làm thay đổi vòng quay cho trước.

3.6 Mô hình và sơ đồ thuật toán tự động tính DĐX và USX

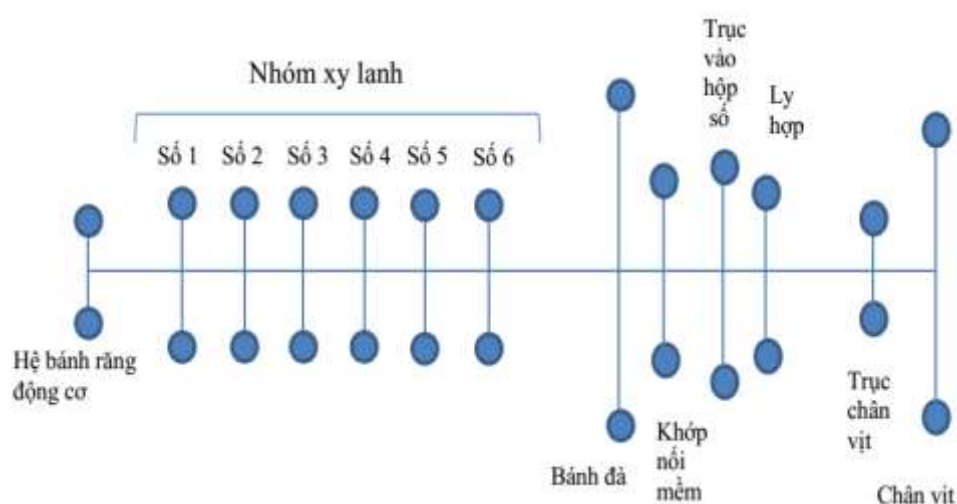
Giải bài toán DĐX, USX hệ trục diesel tàu thủy nhằm kiểm tra trên từng đoạn trục xem có đảm bảo tiêu chuẩn USX nhỏ hơn giá trị cho phép hay không tại tất cả các dải vòng quay khai thác, ở tất cả các chế độ khai thác có thể diễn ra trong sơ đồ vận hành hệ trục (đối với tải từ chân vịt) và khi động cơ hoạt động bình thường (tất cả các xy lanh đều cháy bình thường) cũng như một xy lanh không cháy (song quá trình nén vẫn hoạt động bình thường). Để đạt được mục tiêu trên cần giải các bài toán tính DĐX cho từng trường hợp cụ thể, trước tiên phải mô hình hóa hệ động lực thành một hệ động học tương tự, được biểu diễn bằng một hệ phương trình toán học (mô hình toán học), sau đó xây dựng thuật giải để liên kết trực tiếp các bài toán thành phần với nhau.

3.6.1 Mô hình hệ trục diesel tàu thủy tàu kiểm ngư KN168

Việc xây dựng mô hình động học hệ trục diesel tàu thủy càng đầy đủ và

mô tả chi tiết tất cả các khâu liên kết trong cơ hệ không những có một ý nghĩa đưa mô hình đang xét về gần với thực tế, mà còn làm tăng độ chính xác khi xét bản chất ĐĐX.

Các đoạn trục có cùng chức năng thường được mô phỏng về một hoặc một số khối lượng tập trung, liên kết với nhau bởi lò xo biến dạng xoắn không trọng lượng. Nếu hệ trục gồm diesel lai trực tiếp chân vịt, không lai máy phát đồng trục, mô hình tính ĐĐX sẽ có dạng mô hình thẳng. Khi hệ trục diesel lai đồng thời lai chân vịt và máy phát điện, mô hình tính ĐĐX sẽ tương ứng đưa về dạng mô hình rẽ nhánh.

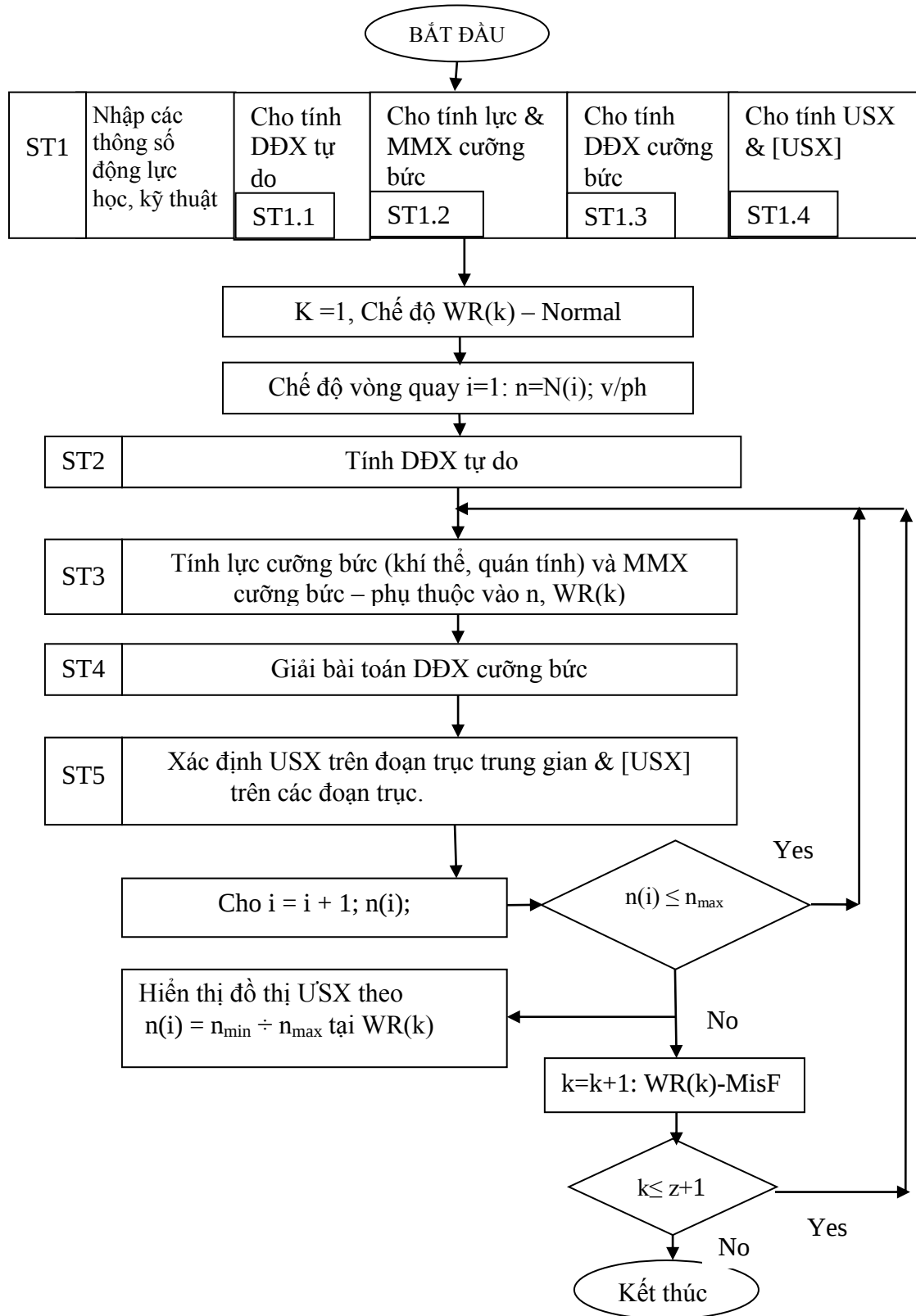


Hình 3.14 Mô hình động học tương đương của hệ trục tàu kiểm ngư KN168

Hệ trục chính diesel lai chân vịt được tính cho tàu kiểm ngư KN168 được mô hình hóa thành 13 khối lượng [24], tạo thành mô hình động lực thẳng (hình 3.14), trong đó có các MMQTKL tập trung tại cơ cấu truyền chuyển động đầu trục, tại 6 xy lanh, bánh đà, ly hợp, hộp số, trục chân vịt và chân vịt.

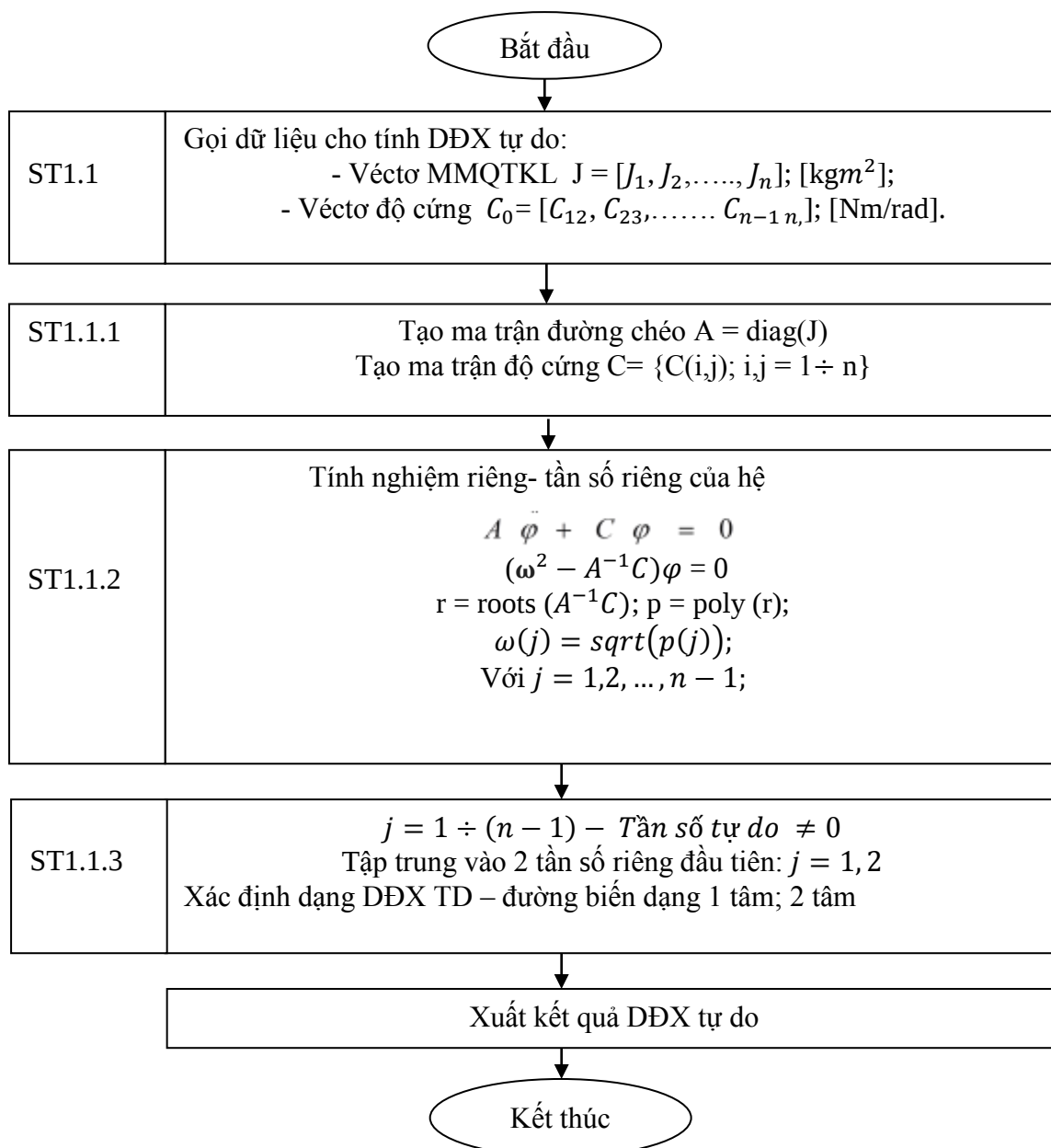
Các thông số động lực học cơ bản của cơ hệ tính ĐĐX được xây dựng trên cơ sở kích thước hình học, đặc tính khối lượng, đặc tính đàn hồi dọc và hệ số trượt của vật liệu chế tạo từng đoạn trục lập theo bảng cơ sở dữ liệu cho trước của nhà sản xuất Yanmar được đăng kiểm NK giám sát và chấp thuận.

3.6.2 Giải thuật tự động tính DĐX



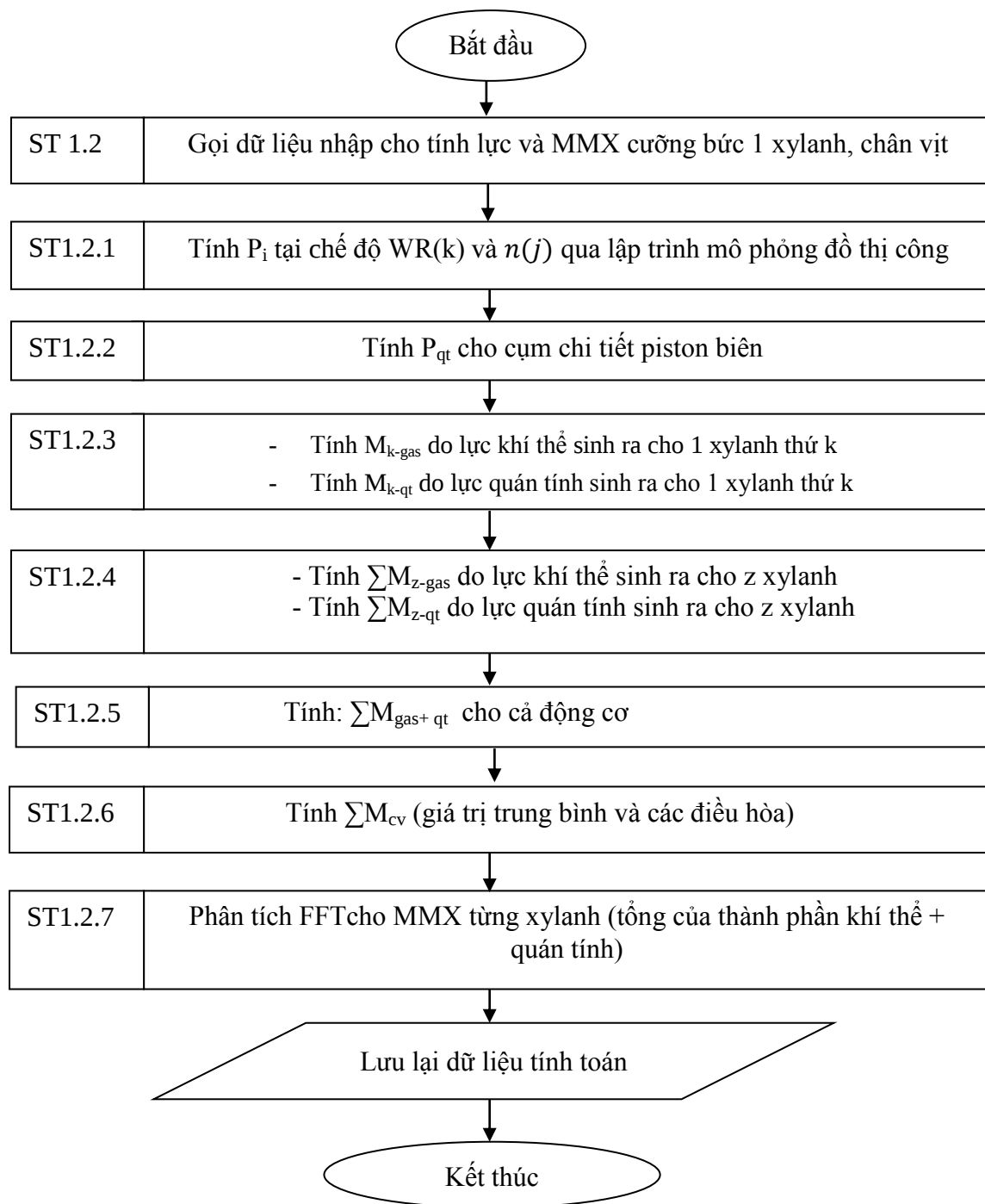
Hình 3.15 Sơ đồ thuật toán tự động tính DĐX và USX

Đầu tiên cần nhập các thông số động lực học kỹ thuật hệ động lực cần tính ĐĐX và ÚSX (ST1) theo sơ đồ thuật toán chung (hình 3.15), sau đó triển khai các bước tiếp theo cho lưu đồ tính ĐĐX tự do (ST2); tính lực cưỡng bức và MMX cưỡng bức (ST3); tính ĐĐX cưỡng bức (ST4) và xác định ÚSX trên đoạn trục trung gian, ÚSX cho phép trên các đoạn trục (ST5) cụ thể như sau:

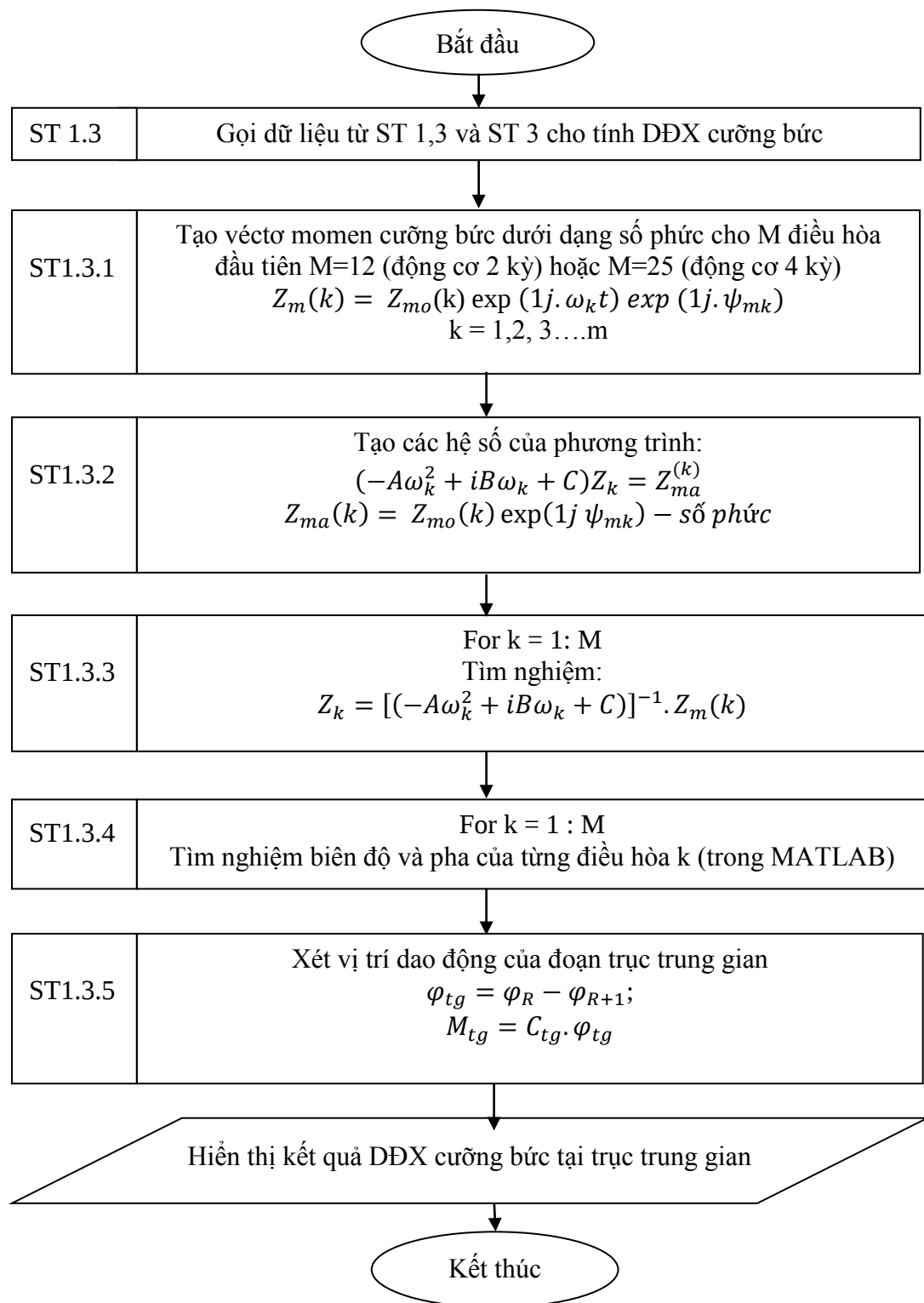


Hình 3.16 Sơ đồ thuật toán tính ĐĐX tự do

- Tính DĐX tự do (ST2) để tìm tần số riêng (tự do) ω_p và dạng dao động riêng của hệ ứng với mỗi tần số riêng ω_p , qua đó xác định vùng vòng quay cấm khai thác (hình 3.16);

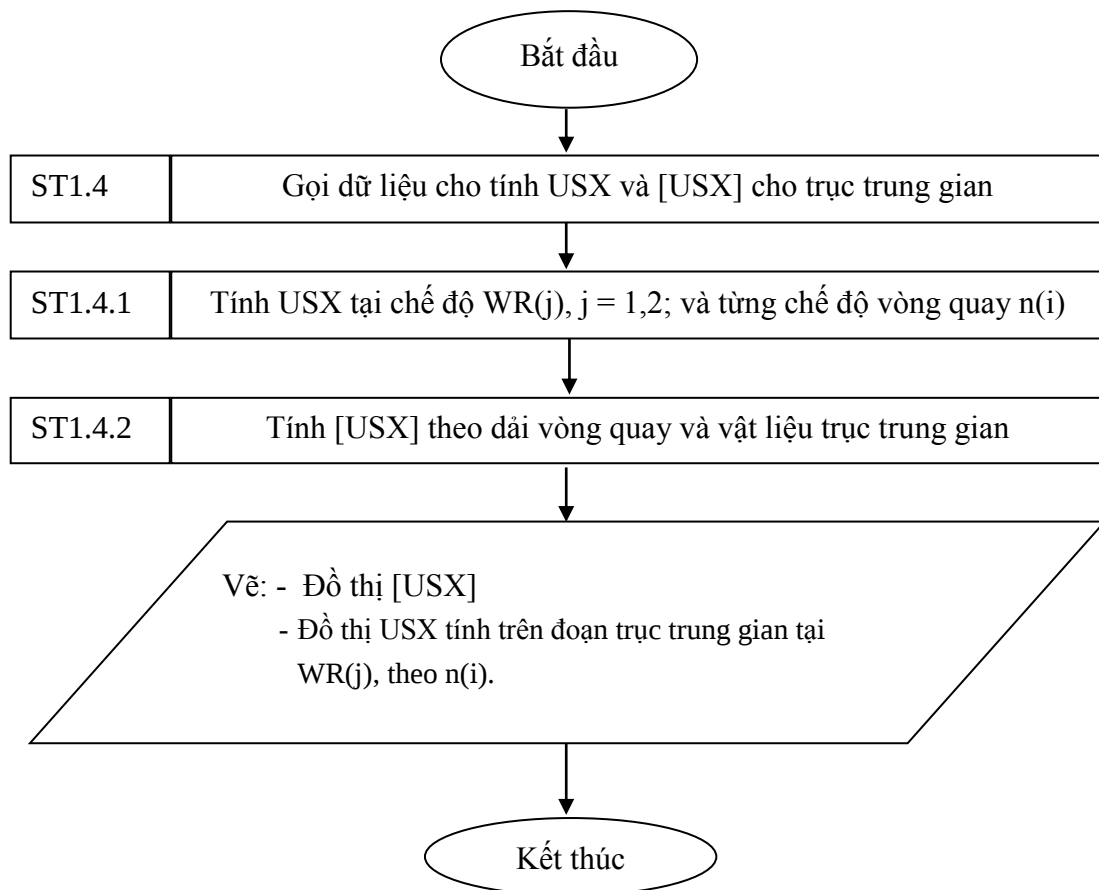


Hình 3.17 Sơ đồ thuật toán tính lực và MMX cường bức



Hình 3.18 Sơ đồ thuật toán tính DDX cường bức

- Tính lực và MMX cưỡng bức (ST3), các lực kích thích, lực cản khi dao động và các ngoại lực luôn diễn ra đồng thời với chuyển động quay của hệ trục. Dựa vào công chỉ thị tính lực quán tính do cụm chi tiết chuyển động tịnh tiến, tính MMX do lực khí thể sinh ra và tính mô-men chân vịt (giá trị trung bình và các điều hòa) để biến đổi fourier nhanh MMX (hình 3.17);
- Tính ĐĐX cưỡng bức (ST4) để xác định biên độ ĐĐX của các khối lượng tại các chế độ khác nhau, qua đó xác định ĐĐX cưỡng bức xuất hiện trên toàn bộ cơ hệ (hình 3.18);
- Và tính U_{SX} , U_{SX} cho phép (ST5) theo dải vòng quay động cơ và vật liệu đoạn trục trung gian (hình 3.19).



Hình 3. 19 Sơ đồ thuật toán tính U_{SX} trên đoạn trục trung gian

3.6.3 Phương pháp tính DĐX

Do các vấn đề liên quan đến bài toán rất lớn, trong khuôn khổ nội dung của luận án chỉ trình bày thuật toán và đi sâu lập trình, giải quyết phần thuật toán DĐX tự do hệ n bậc tự do trên MATLAB với trình tự các bước sau:

Hệ trục diesel tàu thủy thực hiện DĐX theo hệ phương trình dưới đây:

$$J\ddot{\varphi} + B\dot{\varphi} + C\varphi = M(t) \quad (3-17)$$

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

B - Ma trận hệ số cản xoắn (HSCX);

C - Ma trận hệ số cứng xoắn (HSCX);

$\varphi = [\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n]^T$ - Véc tơ trạng thái DĐX;

$M = [M_1, M_2, \dots, M_n]^T$ - Véc tơ MMX cưỡng bức.

Giả thiết các hệ số J, B, C đã biết cho cơ hệ.

Việc tính DĐX tự do đối với bài toán tính DĐX tự do cần giải hệ phương trình viết dưới dạng ma trận sau đây:

$$J\ddot{\varphi} + B\dot{\varphi} + C\varphi = 0 \quad (3-18)$$

Trong tất cả các bảng tính DĐX tự do đều bỏ qua hệ số B , coi $B = 0$. Thực tế cũng như lý thuyết có chứng minh khi hệ số cản nhỏ, tần số riêng của cơ hệ chịu ảnh hưởng không nhiều từ các giá trị hệ số cản này. Trong các bài toán tính DĐX hệ trục, chúng ta có thể coi $B = 0$ và kết quả luôn đảm bảo độ chính xác cần thiết.

Sử dụng phần mềm MatLab, viết dưới dạng m.file, chúng ta có thể tính được nghiệm DĐX tự do. Trên cơ sở m.file viết code trong Mathscript của LabView và xây dựng phần mềm tự động tính DĐX tự do: tính tần số riêng và các dạng tương ứng của chúng trình tự theo các bước sau:

Bước 1. Nhập ma trận độ cứng chống xoắn: C_0 - N.m/rad; Véc tơ mô-men quán tính khối lượng (MMQTKL): J - kg.m²

Việc nhập các giá trị véc tơ MMQTKL J và hệ số cản xoắn C_0 không gặp nhiều khó khăn. Đối với hệ trục tàu kiểm ngư KN168, chương trình con nhập MMQTKL của 13 khối lượng tập trung đặc trưng: $J = (J_1 \dots J_{13})$; $C_0 = (C_{1,2}, C_{2,3}, \dots, C_{13,14})$.

Bước 2. Tạo $A = \text{diag}(J)$ là ma trận đường chéo từ J . Tính ma trận đảo $A^{-1} = \text{inv}(A)$

Ma trận A là ma trận đường chéo dễ dàng được xây dựng qua lệnh $A = \text{diag}(J)$; tương tự cho lệnh xác định ma trận nghịch đảo: $A^{-1} = \text{inv}(A)$.

Bước 3. Tích $B = A^{-1} \cdot C$

Bước 4. Xác định hệ số của đa thức đặc trưng:

$\det(B - I \cdot \lambda) = 0$ qua lệnh: $p = \text{poly}(B)$, ta được một đa thức với các hệ số $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0$ sao cho:

$$p = a_n \cdot \lambda^n + a_{n-1} \cdot \lambda^{n-1} + \dots + a_0$$

Bước 5. Tìm nghiệm của đa thức đặc trưng qua lệnh: $r = \text{roots}(p)$; được nghiệm $p = p(\lambda) = 0$.

Xác định phần thực của nghiệm.

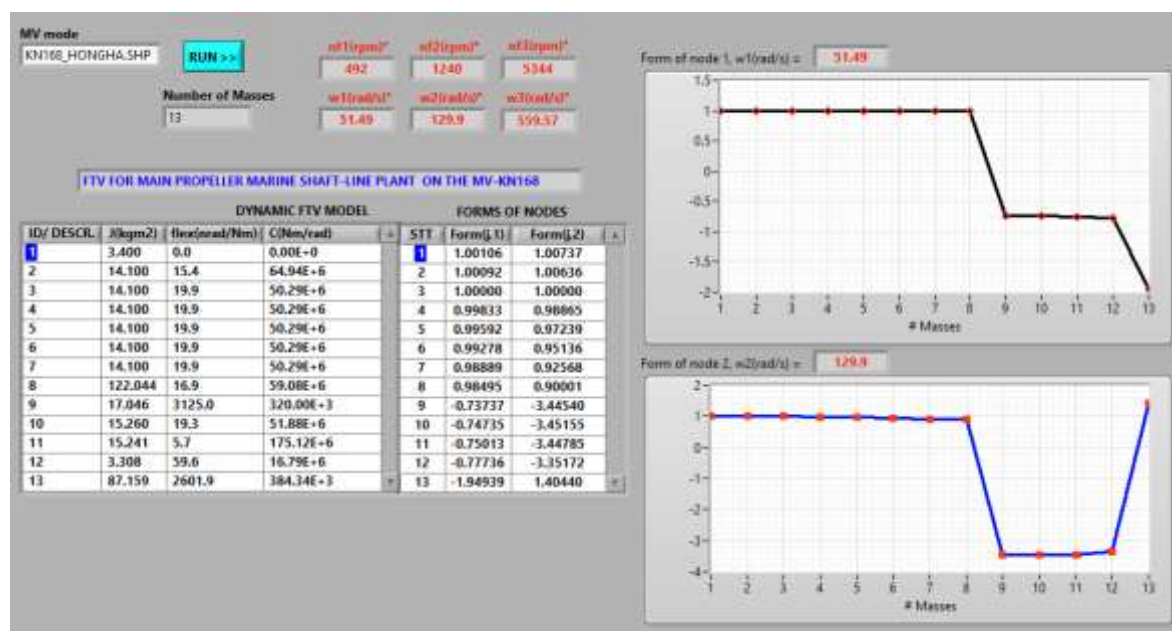
Bước 6. Tìm dạng của các dao động tự do.

3.6.4 Kết quả tính DĐX tự do tàu kiểm ngư KN - 168

Số liệu đầu vào để tính DĐX hệ trục được sử dụng từ bảng báo cáo tính DĐX của hãng sản xuất động cơ Yanmar, có xét duyệt của đăng kiểm NK (Nhật Bản) [23]. Xét về tính đầy đủ của bảng tính DĐX theo quy phạm đăng kiểm, bảng tính DĐX này quá sơ sài, không nêu được các kết quả cần thiết để tính DĐX ở các chế độ cộng hưởng cũng như xa cộng hưởng. Chính lẽ đó, NCS đã xây dựng phương pháp và thuật toán cho tự động tính DĐX hệ trục ở tất cả các chế độ vòng quay (cộng hưởng, gần cộng hưởng cũng như xa cộng hưởng), với trạng thái khai thác của động cơ làm việc bình thường (tất cả các

xy lạnh đều cháy, chế độ Normal) và trạng thái sự cố (một xy lạnh không cháy, Misfire)

Trên cơ sở toán học và thuật toán đã trình bày trên, NCS đã lập trình code trong Matlab, dưới dạng m.file sau đó lập trình trong LabView để có chương trình với giao diện đẹp, dễ thực hiện tự động tính toán ĐĐX tự do.



Hình 3.20 Bảng tính và đồ thị về ĐĐX tự do tàu kiểm ngư KN168

Do giới hạn nội dung nghiên cứu, NCS xin được trích lược kết quả tính ĐĐX tự do ST2 cho hệ động lực máy chính tàu kiểm ngư KN168 (như hình 3.20). Còn các kết quả tính MMX cưỡng bức, tính ĐĐX cưỡng bức cũng như ÛSX ở các thuật toán ST3, ST4, và ST5 sẽ không trình bày trong luận án kỹ thuật này.

So sánh với bảng tính của hãng Yanmar đưa ra trong bảng tính và đồ thị ĐĐX tại 1 tâm (node 1) tương ứng với vòng quay động cơ 492 vòng/phút (51.49 rad/s) và 2 tâm (node 2) tương ứng với 1240 vòng/phút (129.9 rad/s) đối với 13 khối lượng như mô hình tương đương ở phần trên.

Kết quả trên cho thấy các giá trị ĐĐX tự do tại 13 khối lượng tương đương của hệ trục diesel tàu kiểm ngư KN-168 gần giống với bảng tính cũng

như kết luận của Hãng sản xuất động cơ Yanmar đã công bố (đã được đăng kiểm NK chấp thuận) [23]: là không có dao động cộng hưởng nguy hiểm nào ở bất kỳ vòng quay nào trong dải vòng quay tàu khai thác.

3.7 Kết luận chương 3

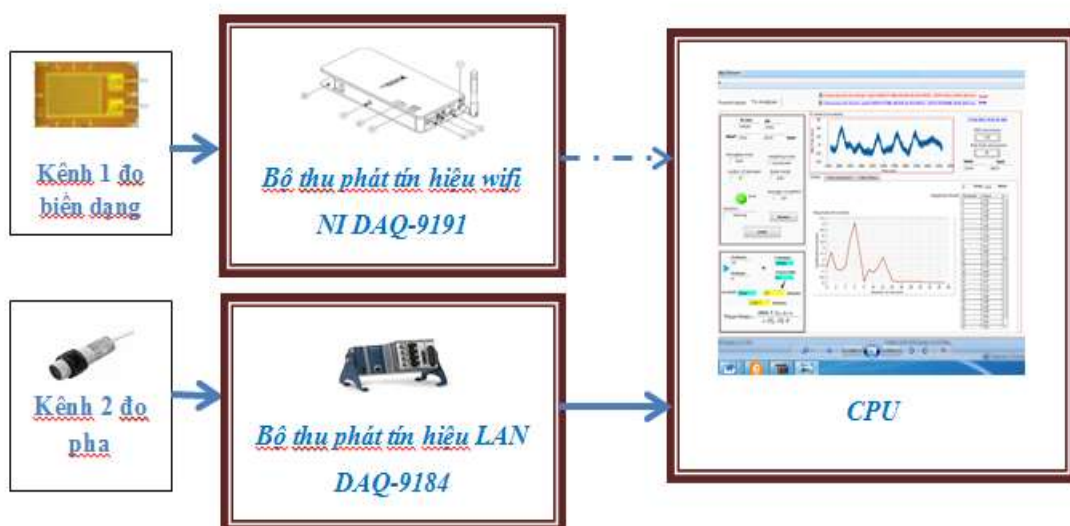
- Mô phỏng MMX tổng (đầu ra) là tín hiệu mang tính quy luật qua phân tích phổ tần, mang đặc thù của tín hiệu đa hài hình sin (đa điều hòa) với các điều hòa chính - là bội của z xylanh đối với động cơ diesel hai kỳ, còn đối với động cơ diesel bốn kỳ - là bội của $z/2$.
- Nghiên cứu mô phỏng đặc tính của MMX tổng chỉ ra sai số rất lớn (sai số thô) khi trích mẫu không đúng với đoạn thời gian (số mẫu) vừa đủ cho một chu trình công tác của động cơ diesel.
- Sai số trích mẫu là nguyên nhân cơ bản dẫn đến sai số thô, dẫn đến thông tin không chính xác của tín hiệu đo. Biện pháp tốt nhất để tránh sai số thô này là trong hệ thống đo MMX/DDX cần dùng thêm thiết bị đo chính xác vòng quay và thiết lập cấu hình chuẩn cho trích mẫu.
- Kết quả tính DDX tự do được tác giả thực hiện trong lập trình LabView và bảng tính, kết luận của Hãng Yanmar đưa ra (được chấp thuận của đăng kiểm NK) là giống nhau, kết quả có ý nghĩa cho thực nghiệm trên tàu thực sau này.

CHƯƠNG 4. CHẾ TẠO THIẾT BỊ VÀ THỰC NGHIỆM ĐO MÔ-MEN XOẮN, PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG XOẮN HỆ TRỤC DIESEL LAI CHÂN VỊT TÀU THỦY

4.1 Xây dựng cấu hình của thiết bị đo tín hiệu MMX

Qua nghiên cứu tổng quan tại chương 1 và cơ sở ở chương 2, liên quan đến chế tạo thiết bị đo MMX và phân tích ĐĐX hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy bằng tem dán biến dạng, NCS đã triển khai xây dựng cơ sở vật chất cho thực nghiệm đo, xây dựng hệ thống đo MMX, triển khai đo đặc thực nghiệm tại phòng thí nghiệm cũng như trên các tàu biển. Quá trình nghiên cứu được diễn ra trong sự phối hợp nghiên cứu lý thuyết – xây dựng thiết bị đo – thực nghiệm – hiệu chỉnh cấu hình thiết bị đo và hoàn thiện phần mềm thiết bị - thử nghiệm – hiệu chỉnh tinh thiết bị - hoàn thiện cấu hình phần mềm xử lý tín hiệu và báo cáo kết quả.

Như vậy, quá trình xây dựng thiết bị bắt đầu từ phân tích thiết kế, lựa chọn đối tượng nghiên cứu để triển khai thí nghiệm, tiếp đó (song song đồng thời) là xây dựng cấu hình phần cứng để triển khai tích hợp thiết bị; xây dựng phần mềm; lắp đặt thiết bị đo trên hệ trục trung gian.



Hình 4.1 Sơ đồ bố trí thiết bị đo và phân tích ĐĐX hiện đại

Tại phòng thí nghiệm, để xây dựng một hệ thống đo MMX trên trục quay của máy công tác, sao cho nó hoàn chỉnh, chính xác, phù hợp, tiết kiệm,...đòi hỏi rất nhiều yếu tố quan trọng như việc lựa chọn phương pháp đo, lựa chọn cảm biến, lựa chọn thiết bị thu phát, truyền tín hiệu cho đúng với yêu cầu trong xử lý tín hiệu, cũng như kỹ năng thực hiện trong suốt quá trình đo và xử lý một cách chính xác đòi hỏi phải có chuyên môn sâu nhất định. Dựa trên nền tảng công nghệ thông tin truyền thông hiện nay có trên thị trường, NCS xây dựng cấu hình phần cứng để đo tín hiệu MMX trên trục quay như hình 4.1, đó là hệ thống đo 02 kênh, tích hợp công nghệ theo dạng mô đun cho đo và truyền tín hiệu không dây, cụ thể như sau:

4.1.1 Xây dựng cấu hình phần cứng

❖ **Cảm biến:** gồm 02 kênh, kênh thứ nhất là loại tem dán biến dạng trên bề mặt trục quay, kênh thứ hai là loại quang, đánh dấu pha (vị trí) cũng như xác định vận tốc quay của trục. Xác định pha của động cơ diesel tương ứng với việc xác định điểm chết trên của xy lanh thứ nhất hoặc của bất kỳ xy lanh nào trên động cơ diesel.

- **Cảm biến ứng suất xoắn:** Việc lựa chọn kiểu loại cảm biến cho phù hợp với cấu hình chung của hệ thống là một công việc phức tạp như lựa chọn loại cầu $\frac{1}{4}$ bridge; $\frac{1}{2}$ bridge hay full bridge, điện trở, bù nhiệt, vật liệu...

Cảm biến ứng suất kiểu biến dạng xoắn trên bề mặt trục được lựa chọn trong chế tạo thiết bị đo là của Hãng Showa - Nhật Bản [52] có các thông số kỹ thuật như sau:

- + Loại bán cầu (half bridge)
- + Điện trở $350 \Omega \pm 0.3 \%$; Chiều dài 2mm
- + Hệ số GF = $2.05 \pm 2\%$; (GF, Gauge Factor)

+ Độ nén nhiệt trên vật liệu thép 11 ppm/ °C (Đối với thép không gỉ 16 ppm/ °C, đối với nhôm là 23ppm/ °C)

+ Vật liệu lõi biến dạng là hợp kim Cu-Ni

+ Vật liệu nền cảm biến là polyimide

+ Giới hạn nhiệt độ -30°C đến $+180^{\circ}\text{C}$

- **Cảm biến vị trí (Pha):** Là loại cảm biến quang, xác định đặc tính Trigger (sườn lên của xung thu được để xác định thời điểm bắt đầu lấy mẫu và sườn xuống để kết thúc thời điểm lấy mẫu đúng cho một chu kỳ công tác của động cơ diesel). Cảm biến quang loại E3FA – DP11 của hãng Omron [41], có nguồn điện DC độc lập cấp, có các thông số kỹ thuật cơ bản như sau:

+ Loại: Thu phát phản xạ gương, phản xạ khuếch tán

+ Nguồn: 10 - 30 VDC $\pm 10\%$

+ 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

❖ **Bộ thu thập dữ liệu:** là loại đa kênh của NI (National Instruments – USA) [47] bao gồm 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 tự khác nhau.



Hình 4.2 Bộ khung NI cDAQ-9191 và bộ thu phát tín hiệu NI DAQ-9237 [47]

- + 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...
- **Bộ ghi tín hiệu NI DAQ-9237** là loại 4 kênh, 24 bit, 50 kS/s/ch, nhiệt độ hoạt động -40 đến 70 °C; có bù nhiệt và khả năng tương thích với tem dán loại: Quarter bridge, Half bridge và Full bridge.
- ❖ **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, có tính năng nhận wifi802.11. 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.

4.1.2 Xây dựng cấu hình phần mềm

Nhằm nghiên cứu ĐĐX, giám sát và chẩn đoán tình trạng kỹ thuật trong khai thác hệ động lực diesel lai máy công tác, ngoài việc xây dựng phần cứng chính xác như trên, còn phải xây dựng phần mềm tương ứng, NCS đã tiến hành xây dựng chúng trên nền tảng ngôn ngữ LabView (NI). Phần mềm LabView (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench) là một phần mềm máy tính được phát triển bởi công ty NI của Hoa Kỳ, về bản chất nó là một phần mềm ngôn ngữ lưu đồ họa (được gọi là lập trình G) hấp dẫn các kỹ sư và nhà khoa học trên toàn thế giới như một phương pháp trực giác hơn trong việc tự động hóa các hệ thống đo lường và điều khiển. Ngôn ngữ lưu đồ kết hợp với I/O gắn liền và điều khiển giao diện người sử dụng tương tác nên chúng được dung trong hầu hết các phòng thí nghiệm, trong các ngành công nghiệp.

Giao diện phần mềm gồm Thiết bị ảo (Virtual Instruments - VI): Lập trình LabView được thực hiện trên cơ sở là các thiết bị ảo, các đối tượng trong các thiết bị ảo được sử dụng để mô phỏng các thiết bị thực, nhưng chúng được thêm vào bởi phần mềm và Mặt máy (Front Panel) là giao diện của thiết bị và người dùng, từ Front Panel người dùng chạy và quan sát kết quả, Front Panel thường bao gồm các bộ điều khiển (Control) và các bộ hiển thị (Indicator).

Thực tế đo và lưu trữ dữ liệu thực hiện trên cơ sở thuật toán và phần mềm triển khai. Thiết lập cấu hình đo, ghi dữ liệu một cách tự động trong lập trình LabView tương ứng với các kênh đo được xây dựng. Trong quá trình xây dựng code cho lưu trữ dữ liệu đo được, chúng ta có thể sử dụng các modul (VI) có sẵn trong LabView Express hoặc có thể lập trình code bậc thấp. NCS nhận thấy việc lập trình qua LabView Express rất thuận tiện,

nhANH chóng và đáp ứng được mục tiêu đặt ra trong đo, xử lý và phân tích tín hiệu MMX trên trục trung gian của hệ động lực động cơ diesel lai chân vịt tàu thủy.

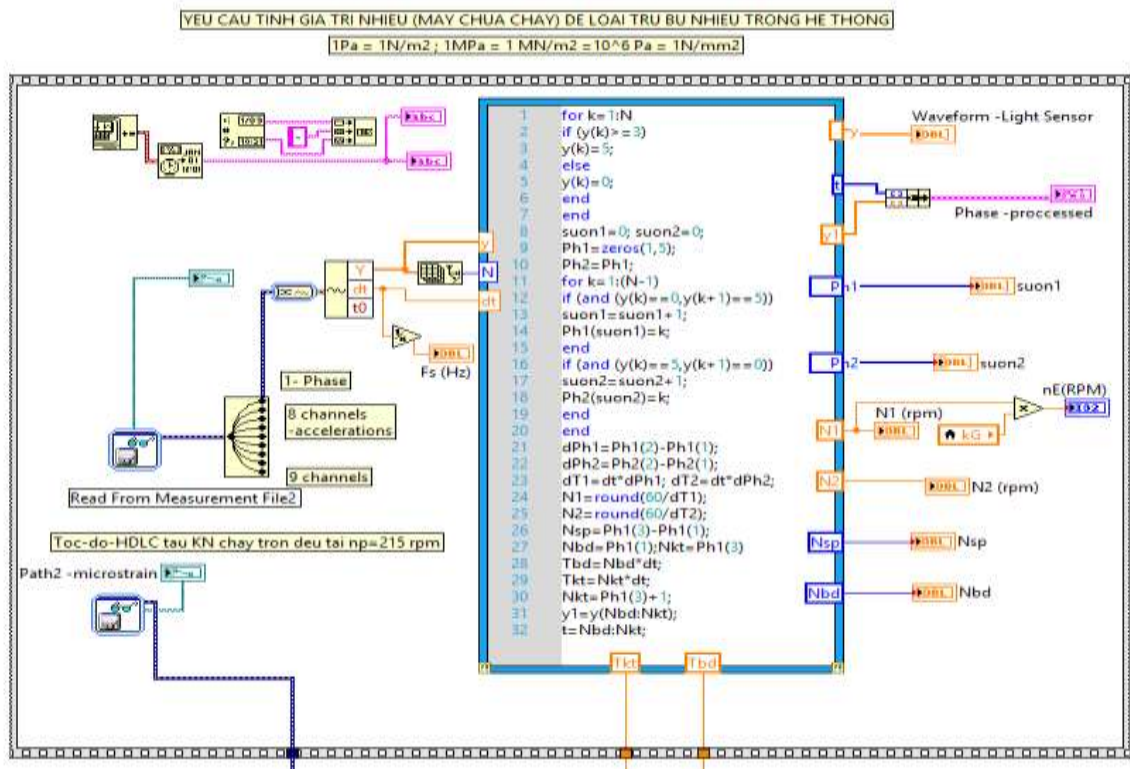
4.1.2.1 Xây dựng phần mềm đo, hiển thị nhanh và lưu trữ dữ liệu

NCS đã xây dựng phần mềm cho thiết bị đo 02 kênh đồng thời: cho đo biến dạng xoắn trên bề mặt trục gồm: gồm 01 kênh đo pha, 01 kênh đo biến dạng xoắn trên bề mặt đoạn trục đo.

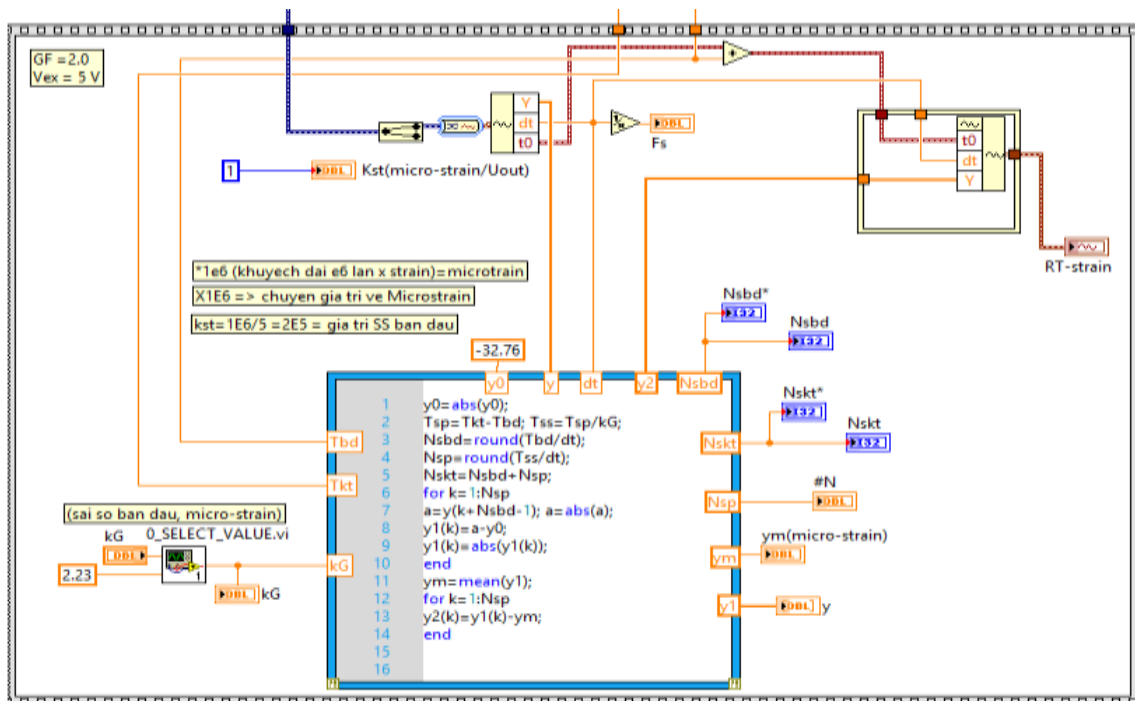
Trên giao diện chính (Front panel) được thể hiện nhanh kết quả đo và hiển thị các tín hiệu cơ bản để người đo quan sát xem chất lượng tín hiệu đo đảm bảo hay không.

Để đảm bảo tín hiệu đo được lưu trữ theo vận tốc quay của trục động cơ, số lượng trích mẫu đủ để xử lý sau này đảm bảo độ chính xác, không để xảy ra sai số trích mẫu, phần mềm có sử dụng thuật toán xác định vận tốc trung bình cho một vòng quay ($1/2$ chu kỳ đối với động cơ bốn kỳ Yanmar 6YE26W) theo sườn lên và sườn xuống của xung (pha). Mã codes lập trình bậc thấp trên nền LabView VI cho tín hiệu pha (vị trí điểm chết trên của đối tượng nghiên cứu là động cơ diesel 4 kỳ trung tốc hãng Yanmar 6EY26W) được lập trình như hình 4.3.

Trong quá trình lưu trữ, chúng ta trích ra một đoạn tín hiệu đủ lớn, hai chu kỳ công tác để sau này xử lý tín hiệu được chính xác, không bị thiếu đối với một chu kỳ công tác và tín hiệu biến dạng xoắn đo được cần phải khuếch đại để đảm bảo dễ dàng xử lý sau này. Mã codes cho ghi tín hiệu biến dạng xoắn (micro-train) và tự động lưu trữ dữ liệu đo theo từng chế độ và thời gian cụ thể cũng đã được lập trình trên nền Labview như hình 4.4.



Hình 4.3 Mã code Labview xác định pha (vị trí điểm chết trên)



Hình 4.4 Mã code ghi và lưu trữ tín hiệu MMX đo được

DATA_2017 > DOT5_250517 > 17-N1500-I100-A				
Include in library ▾ Share with ▾ Burn New folder				
Name	Date modified	Type	Size	
172617_250517Data_14971_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	346 KB	
172617_250517STRAIN_14971_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	
172618_250517Data_14972_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	346 KB	
172618_250517Data_14973_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	346 KB	
172618_250517Data_14974_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	345 KB	
172618_250517Data_14975_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	345 KB	
172618_250517Data_14976_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	346 KB	
172618_250517Data_14977_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	346 KB	
172618_250517STRAIN_14972_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	
172618_250517STRAIN_14973_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	
172618_250517STRAIN_14974_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	
172618_250517STRAIN_14975_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	
172618_250517STRAIN_14976_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	
172618_250517STRAIN_14977_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	
172619_250517Data_14978_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	346 KB	
172619_250517Data_14979_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	346 KB	
172619_250517Data_14980_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	346 KB	
172619_250517Data_14981_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	346 KB	
172619_250517STRAIN_14978_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	
172619_250517STRAIN_14979_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	
172619_250517STRAIN_14980_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	
172619_250517STRAIN_14981_001	5/25/2017 5:26 PM	LVM File	228 KB	

Hình 4.5 Lưu dữ liệu đo vào các files theo chế độ thử nghiệm lặp

Khi nhấn nút lưu “SAVE”, dữ liệu tự động được lưu lại toàn bộ theo từng chế độ thử nghiệm và một lần ấn nút lưu dữ liệu, một loạt files dữ liệu được lặp lại cùng chế độ có đầy đủ cơ sở như trên hình 4.5 (có thể chế độ vòng quay dao động quanh một giá trị trung bình đang thử nghiệm).

Tuy nhiên sau này đọc dữ liệu từ từng files, tốc độ quay trục động cơ được nhận dạng đúng với chế độ đo được tại thời điểm ghi file dữ liệu đó.

Ví dụ:

File dữ liệu thể hiện trên hình 4.5 với tên tệp tin:

172619_250517Data_14981_001

172619_250517STRAIN_14981_001

Là hai file dữ liệu ghi các tín hiệu rung động khác nhau tại thời điểm đo 17 giờ 26 phút 19 giây _ngày 25 tháng 05 năm 2017, một file dữ liệu (Data) ghi từ 01 bộ thu thập dữ liệu DAQ NI-9234, còn file ghi biến dạng (STRAIN) lưu dữ liệu MMX dưới dạng file *.lvm (file text) theo định dạng của LabView, sau này ta đọc đồng thời và xử lý thuận tiện.

4.1.2.2 Xây dựng phần mềm đọc dữ liệu từ file, phân tích tín hiệu

NCS đã xây dựng, lập trình triển khai trên LabView, có sử dụng các VIs trong thư viện của chương trình rung động âm thanh, để xử lý dữ liệu MMX đo được. Dữ liệu được đọc từ files đã lưu trữ và tiến hành xử lý tín hiệu đo theo mục đích sử dụng kết quả đo.



Hình 4.6 VI phân tích tín hiệu pha (trích mẫu)

Dữ liệu đo được xử lý theo 01 kênh a_0 – đo pha. Xác định thời điểm đầu của mảng dữ liệu cần trích ra để xử lý. Thông thường chọn điểm đầu là điểm bắt đầu lên của tín hiệu xung đầu tiên (sườn 1), và điểm cuối – kết thúc mảng dữ liệu đo – số mẫu trích trong 1 chu kỳ (01 vòng quay hay 02 vòng quay).

Kết quả của quá trình xử lý này được đưa tới phần xử lý tín hiệu đo biến dạng xoắn (Torsional Strain) tiếp theo. Điều đầu tiên cần chú ý là đọc cả hai file dữ liệu ghi cho cùng chế độ đo được thể hiện bằng đường dẫn màu xanh và màu đỏ trên cùng của thiết bị ảo phân tích tín hiệu pha (hình 4.6).

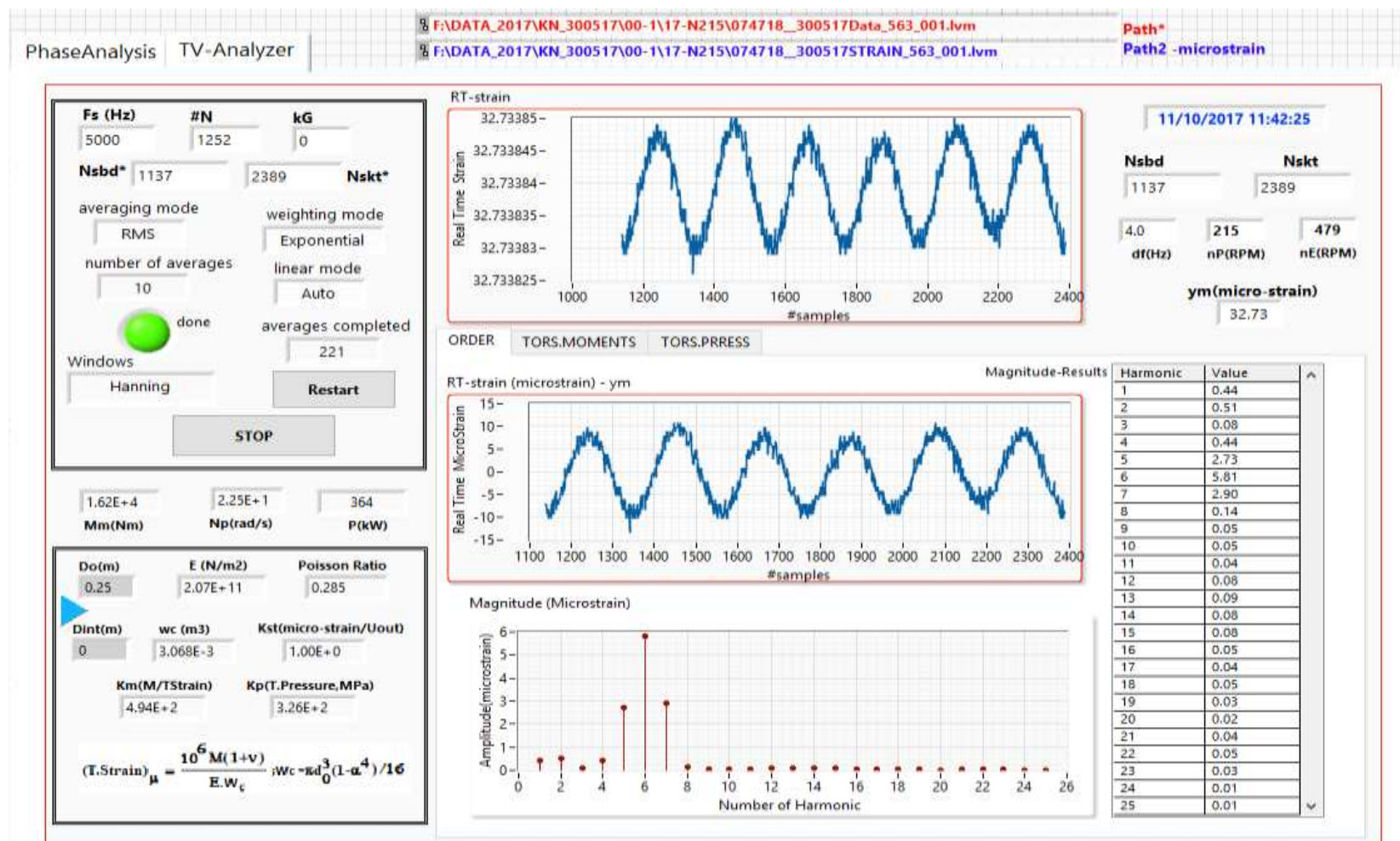
Với kết quả số mẫu cần lấy cho 1 chu kỳ công tác của động cơ Yanmar 6EY26W là 678 mẫu (Mẫu kết thúc 1144 trừ cho mẫu bắt đầu 466); tốc độ lấy mẫu 2049.18 (Hz) tương ứng với vòng quay trên trục đo được là 215 v/ph, tại thời điểm 11:42:25 ngày 11/10/2017.

Từ những dữ liệu lưu trữ giá trị biến dạng xoắn theo miền thời gian thực ở từng chế độ đo được để phân tích ĐĐX và khai báo thông số đầu vào đối với kiểu loại động cơ (2 kỳ hay 4 kỳ), kết cấu trục trung gian như đường kính trục (mm), vật liệu thép carbon hay thép không gỉ..., loại trục đặc hay rỗng, hệ số cứng xoắn, hệ số poisson, hệ số nhảy của tem dán...trên phần mềm phân tích ĐĐX đã xây dựng để biến đổi sang miền tần số các giá trị về biến dạng xoắn, MMX và USX cụ thể như:

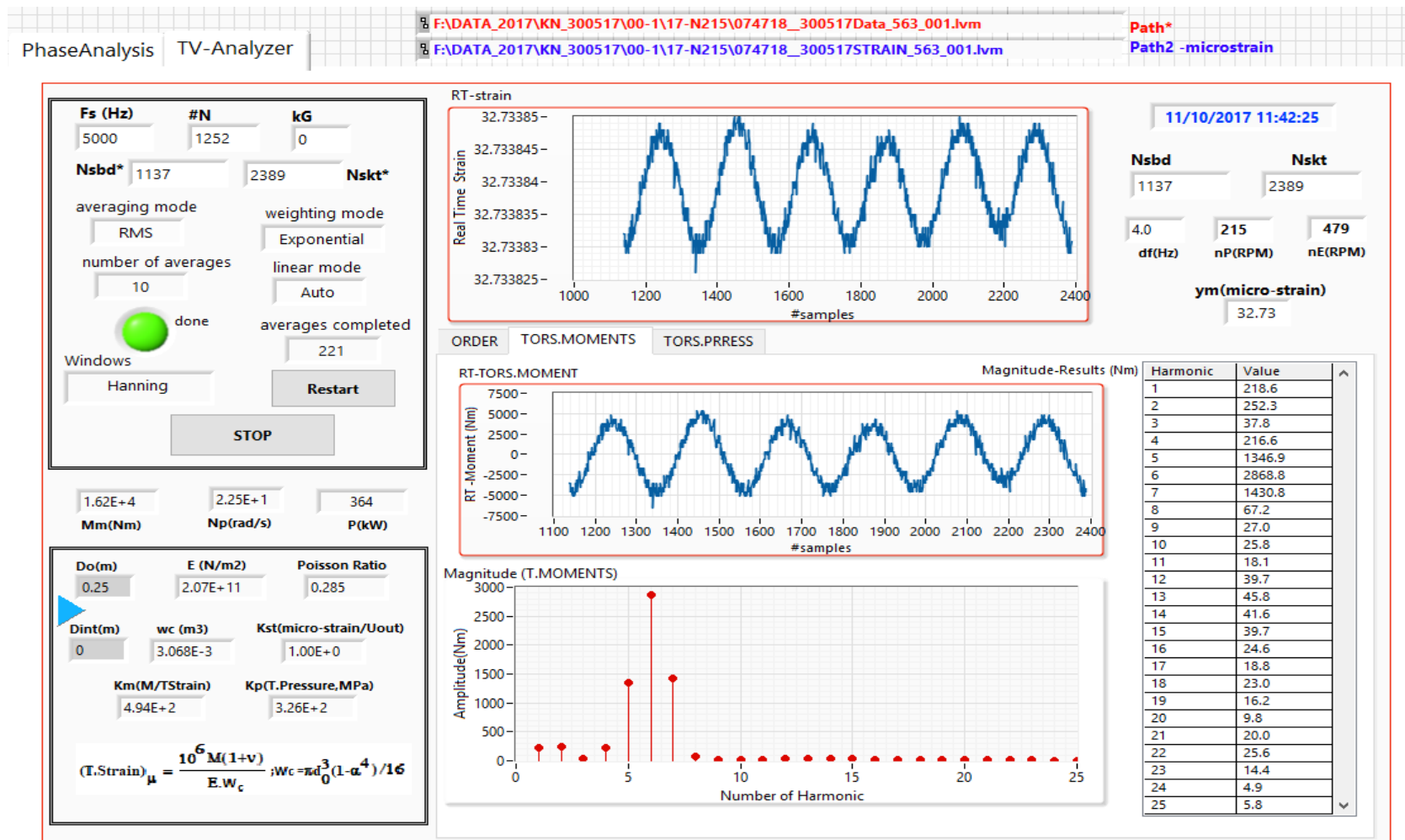
Tín hiệu đo biến dạng xoắn được phân tích tại miền thời gian và miền tần số như giao diện trên hình 4.7

Tín hiệu MMX được phân tích tại miền thời gian và miền tần số như giao diện trên hình 4.8

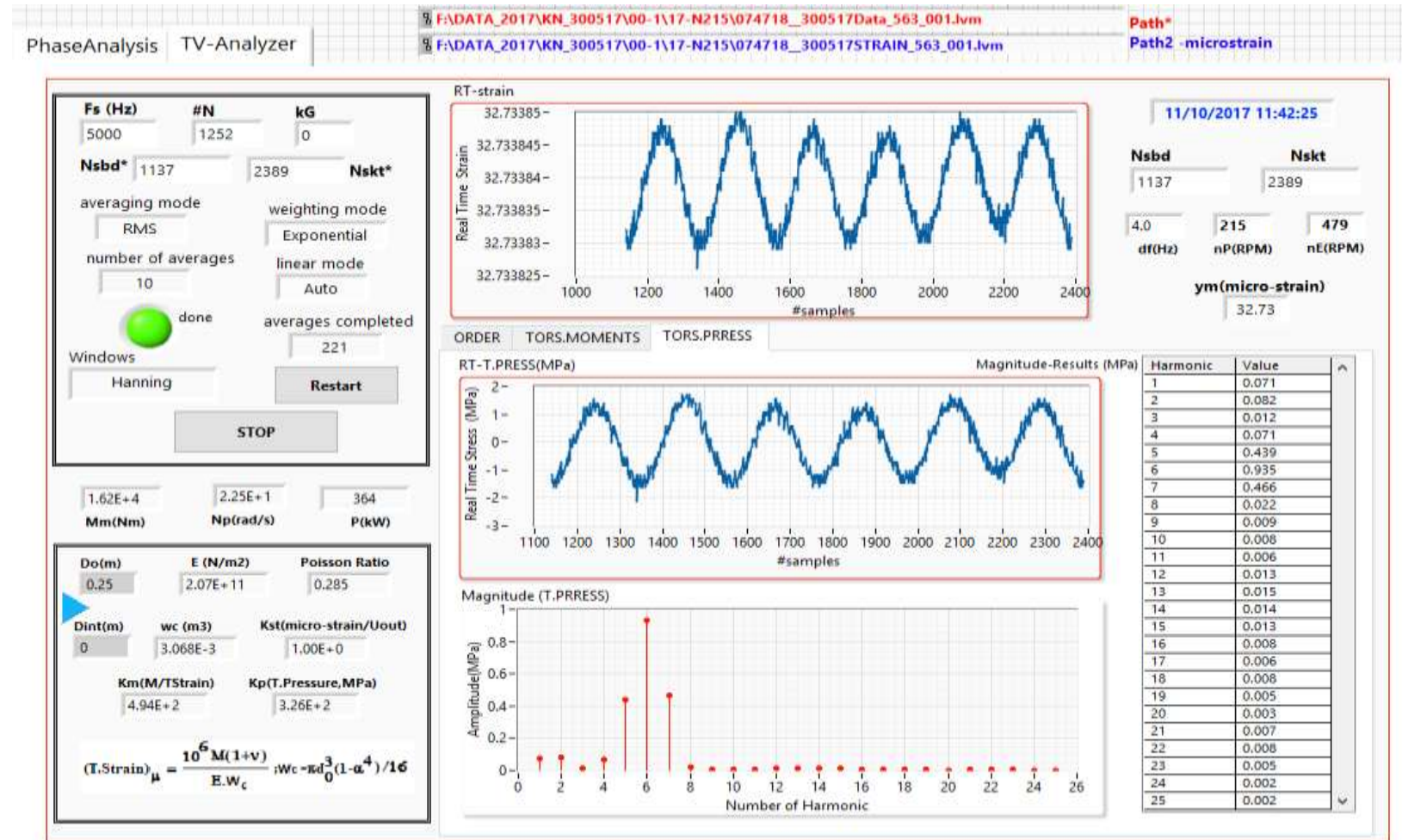
Tín hiệu USX được phân tích tại miền thời gian và miền tần số như giao diện trên hình 4.9



Hình 4.7 VI phân tích tín hiệu biến dạng xoắn (Train torsion, micro-train)



Hình 4.8 VI phân tích tín hiệu mô-men xoắn (Nm)



Hình 4.9 VI phân tích tín hiệu ứng suất xoắn (MPa)

4.2 Thực nghiệm đo và phân tích DĐX

4.2.1 Cơ sở thực nghiệm trong đo và phân tích DĐX

Sau khi xây dựng hoàn thiện phần cứng và phần mềm, trước khi tiến hành thực nghiệm trên đối tượng tàu thực tế. NCS đã thực nghiệm đo, hiệu chuẩn thiết bị, xử lý tín hiệu MMX và phân tích DĐX trên tổ hợp động cơ diesel 4 kỳ, có hoán cải đường trực truyền động máy phát điện 100kW với bộ thử tải dạng muối tại phòng thí nghiệm Trường Đại học Hàng hải Việt Nam như bảng 4.1 bên dưới.

Bảng 4.1 Các thông số cơ bản của đối tượng dùng để thử nghiệm và hiệu chuẩn thiết bị đo

STT	Đặc tính	Thông số kỹ thuật
1	Thông số động cơ diesel	
	Hãng sản xuất	Deutz- Đức, sản xuất tại nhà máy WEICHAI - Trung Quốc
	Kiểu động cơ	TBD226B-6D1
	Loại động cơ	4 kỳ, 6 xy lanh, thẳng hàng, có tuabin tăng áp, lai máy phát điện
	Công suất định mức	120 Kw
	Vòng quay định mức	1500 v/ph
	Đường kính xy lanh	105 mm
	Hành trình piston	120 mm
	Dung tích xy lanh	6 lít
2	Thông số đường trực hoán cải lai máy phát điện	
	Đường kính trục trung gian	50 mm
	Chiều dài đoạn trục	1 m
	Vật liệu trục	Thép carbon đặc, độ cứng xoắn 206800 N/mm ²
	Hệ số Poisson	0.3

- Chế độ thử nghiệm đã tiến hành trong dải vòng quay từ 650 v/ph đến 1500 v/ph, tương ứng chế độ tải trên máy phát 0 A, 50 A và 100 A.

- Quá trình thử nghiệm cả chế độ động cơ diesel cháy bình thường và chế độ không cháy trên xy lanh số 01 trên động cơ Deutz bằng cách ngắt nhiên liệu vào vòi phun của xy lanh thứ nhất như hình PL3-5 trong phụ lục 3.

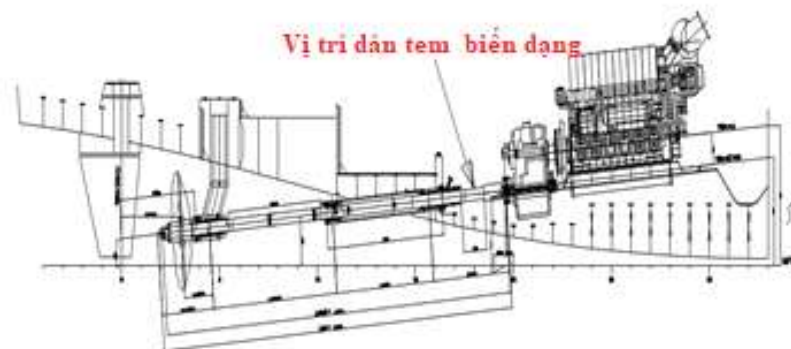
- Kết quả đo, hiển thị nhanh, lưu lại dữ liệu, đọc dữ liệu từ file ghi và xử lý tín hiệu đã minh chứng kết quả triển khai từ nghiên cứu lý thuyết mô phỏng tín hiệu đo mô-men tổng, nghiên cứu mô phỏng sai số do trích mẫu và các biện pháp đảm bảo độ chính xác của thiết bị đo tới chế tạo thiết bị, viết phần mềm cho thiết bị đo và tiến hành thí nghiệm đo kiểm chứng độ tin cậy của thiết bị đã chế tạo tại phòng thí nghiệm nhiều lần trước khi thực hiện thực nghiệm trên đối tượng tàu thực KN168.

4.2.2 Đối tượng nghiên cứu

Để phân tích DĐX, điều đầu tiên cần phải đo được tín hiệu MMX trên trục trung gian của hệ trục động cơ diesel tàu thủy lai chân vịt vì:

- + Trục trung gian có đường kính nhỏ hơn các đường kính trục lực đẩy và trục chân vịt (theo quy phạm thiết kế);
- + Tại vị trí trục trung gian thường xảy ra ứng suất hơn do bố trí nằm giữa đường trục của cơ hệ;
- + Trục trung gian có thể là nơi dễ dàng lắp đặt thiết bị đo tín hiệu MMX.
- + Và qua tính toán DĐX ở chương 3, cũng như kết quả tính DĐX của nhà sản xuất Yanmar công bố vị trí tâm dao động không nằm trên trục trung gian.

Vì cơ sở dữ liệu tương đối nhiều nên sau đây NCS trình bày kết quả thực nghiệm cho một tàu kiểm Ngư KN168 (tàu được đóng tại nhà máy đóng tàu Hồng Hà - Bộ Quốc Phòng).



Hình 4.10 Bố trí chung hệ trục diesel tàu kiểm ngư KN168

Bảng 4.2 Các thông số cơ bản của hệ động lực chính diesel lai chân vịt tàu kiểm ngư KN168

STT	Đặc tính	Thông số kỹ thuật
1	Thông số động cơ diesel	
	Hãng sản xuất	Yanmar – Nhật Bản
	Kiểu động cơ	6EY260W
	Loại động cơ	4 kỳ, 6 xy lanh, thẳng hàng, có tuabin tăng áp, làm mát gió tăng áp, truyền động lai chân vịt biên bước thông qua hộp số có tỷ số truyền 2.23:1
	Công suất định mức	1471 kW / 2000 PS
	Vòng quay định mức	750 v/ph
	Đường kính xy lanh	260 mm
	Hành trình piston	385 mm
	Tốc độ piston	9.63 m/s
	Áp suất có ích bình quân	1.92 – 2.50 MPa
2	Thông số hệ trục	
	Kiểu hệ trục	Diesel lai hệ trục gián tiếp thông qua hộp số
	Đường kính trục trung gian	250 mm

	Chân vịt	Loại biến bước
	Vật liệu trục	Thép carbon đặc, độ cứng xoắn 206800 N/mm ²
	Hệ số Poisson	0.3

4.2.3 Đánh giá kết quả đo và phân tích dao động xoắn

Để đảm bảo được kỹ thuật trích mẫu và lưu lại dữ liệu theo phương pháp này, cần có thêm thiết bị đo vòng quay ở chế độ trích mẫu. Khi đó, với phương pháp trích mẫu lại (resampling) tập dữ liệu thu được cho đủ một chu kỳ làm việc, số lượng mẫu N_s không đúng 2^k cần thiết (dùng cho thuật toán FFT), ta phải phân chia lại lượng mẫu trên theo phương pháp gần đúng (xấp xỉ hàm, tuyến tính hóa) để có được tập mẫu mới đủ cho một chu kỳ làm việc và đồng thời giúp cho việc tính FFT được chính xác.

Để tách nhiễu khỏi tín hiệu MMX đo được, dự báo sai số của tín hiệu khi có sai số trích mẫu bằng các bộ lọc truyền thống và bộ lọc thích nghi. Vì bộ lọc truyền thống đưa ra tín hiệu đầu ra dịch chuyển về một phía nên chúng không phù hợp với bài toán đặt ra, trong khi đó bộ lọc thích nghi dự báo tín hiệu cho chu kỳ, tập hợp dữ liệu khi thiếu hoặc bỏ bớt dữ liệu khi thừa và tính lại giá trị mới bằng nội suy tuyến tính, sẽ phù hợp cho bài toán trích mẫu đúng của đề tài nên NCS sử dụng các bộ lọc cửa sổ dạng cửa sổ Window (bao gồm các kiểu: Hanning, Hamming, Blackman - Haris, Kaiser). Trong phần thực nghiệm này, đề tài sử dụng bộ lọc Hanning để xây dựng cơ sở dữ liệu trong xử lý tín hiệu MMX đo được.

Dựa vào kết quả tính ĐĐX từ nhà sản xuất Yanmar, cũng như kết quả tính ĐĐX tự do của NCS ở phần 3.6.4 chương 3 đã chỉ ra rằng:

- Tâm dao động không nằm trên trục trung gian.

- Biên độ dao động lớn nhất tại tâm 2 (node 2) thuộc bảng tính R4B54801 ngày 6/11/2016 của hãng Yanmar cung cấp là 85 kgf/cm^2 tại chế độ vòng quay động cơ $n_E = 495 \text{ v/ph}$, tương đương với vòng quay tại trục chân vịt là $n_p = 221 \text{ v/ph}$.
- Tần số dao động tự do tại tâm 1 (node 1) thuộc chương trình tính tại chương 3 là 51.49 rad/s , tương ứng với $n_E = 492 \text{ v/ph}$ ($n_p = 220 \text{ v/ph}$).

Để có cơ sở so sánh, đánh giá với các kết quả tính toán trên, NCS tiến hành đo, xử lý tín hiệu MMX trên hệ trục tàu KN168 cũng tương đương với chế độ vòng quay như trên và có kết quả như sau:

Tại chế độ vòng quay động cơ $n_E = 479 \text{ v/ph}$ ($n_p = 215 \text{ v/ph}$), số mẫu bắt đầu $N_{sbd} = 1137$ (mẫu), số mẫu kết thúc cho một chu kỳ công tác của động cơ diesel là $N_{skt} = 2389$ (mẫu) tương ứng với lượng mẫu cần lấy là 1252 mẫu. Kết quả giá trị biến dạng xoắn, MMX và ứng suất xoắn được ghi lại trong miền thời gian thực và trong miền phổ tần qua phép biến đổi FFT cho 25 bậc điều hòa được thể hiện trên các hình 4.11; hình 4.12 và hình 4.13

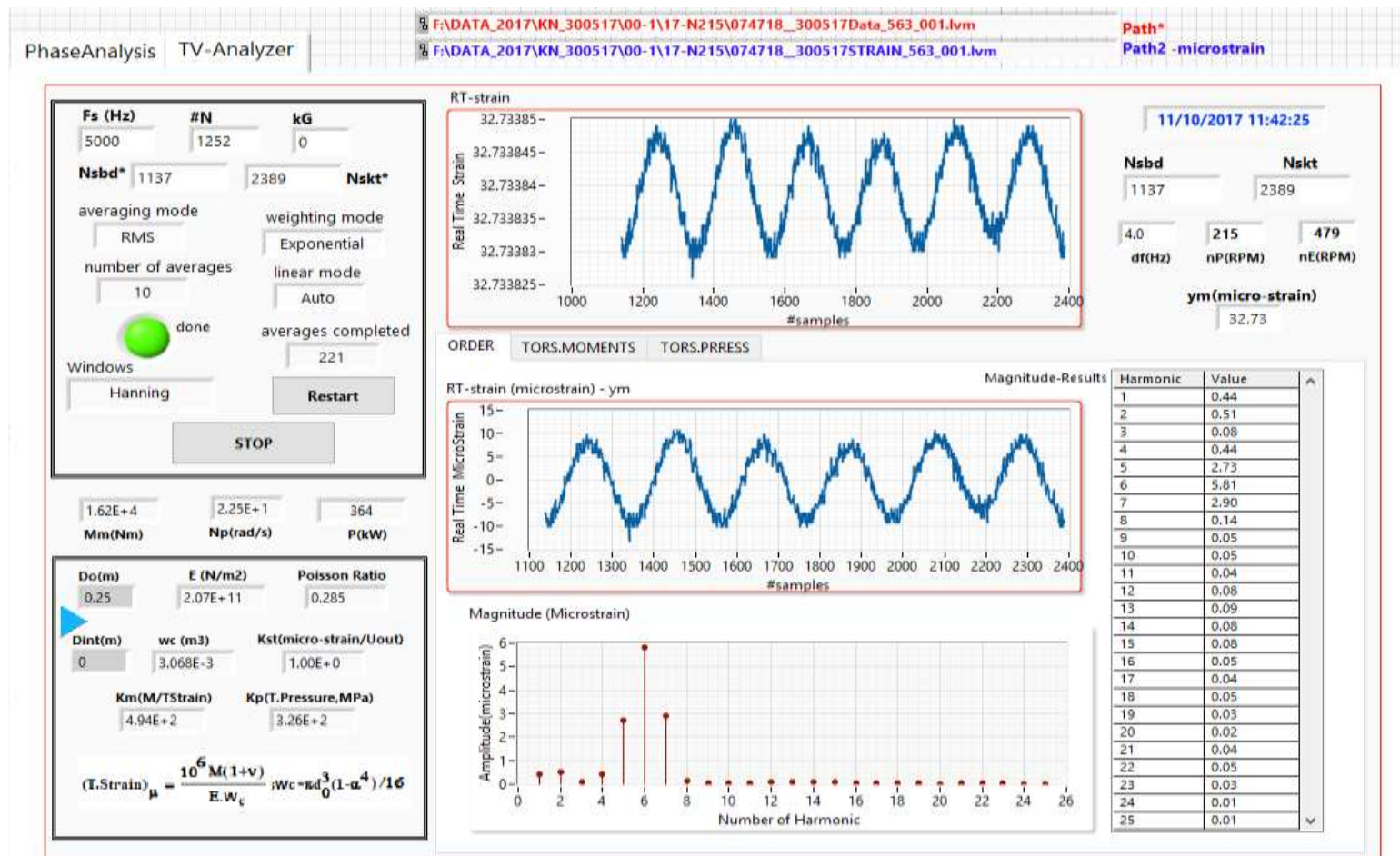
Kết quả trên hình 4.11 cho thấy từng giá trị biến dạng xoắn theo số mẫu được lấy, cũng như giá trị bình quân biến dạng xoắn trong miền thời gian thực là $32.73 \text{ (}\mu\text{m)}$ và sau khi biến đổi FFT sang miền tần số ta thu được biên độ của biến dạng xoắn tương ứng với 25 bậc điều hòa trong miền tần số. Giá trị cực đại là 5.81 microstrain tại bậc điều hòa thứ 6.

Đối với giá trị MMX (hình 4.12) cũng phù hợp với quy luật như trên biến dạng xoắn, giá trị MMX cũng đạt cực đại là 2868.8 (N.m) , bậc điều hòa thứ 6.

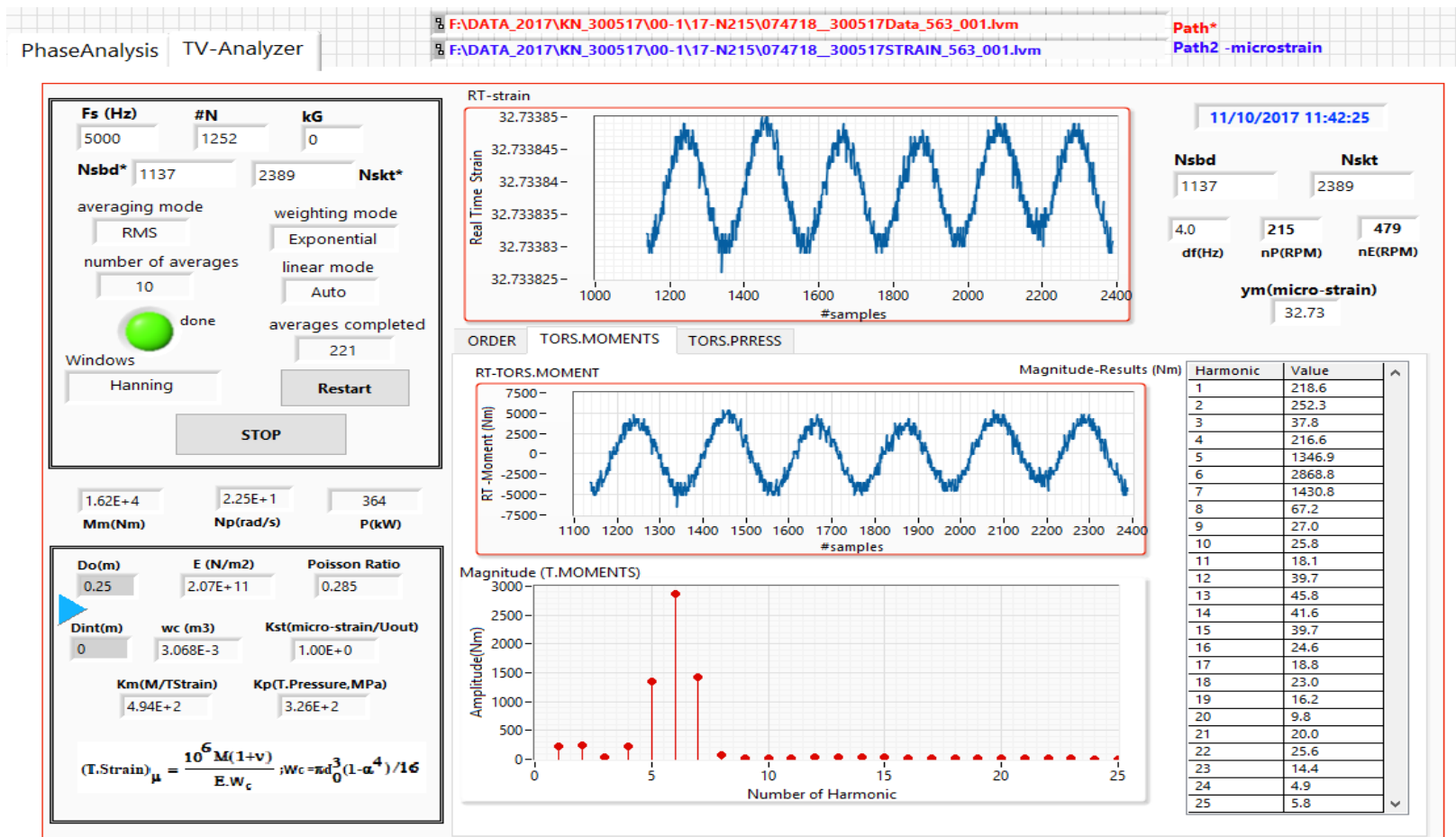
Tương tự biến dạng xoắn và MMX, giá trị ứng suất xoắn cực đại tại cùng chế độ như trên là tương đối nhỏ $0,935 \text{ MPa}$ (hình 4.13).

Từ những kết quả trên, NCS nhận thấy tính phù hợp quy luật biến thiên MMX và USX giữa kết quả đo và các giá trị trong bảng tính đối với chế độ khai thác trên là các giá trị ứng suất cực đại trên trục ra của hộp số lai trực chân vịt là lớn nhất tại vòng quay động cơ 479 (v/ph), tương ứng với vòng quay chân vịt 215 (v/ph) và các giá trị ứng suất xoắn lớn nhất 91 kG/cm^2 nhỏ hơn nhiều so với quy định (38708 kG/cm^2), hoàn toàn đúng với kết luận của hãng Yanmar theo quy phạm đăng kiểm NK là không có dao động cộng hưởng ở bất kỳ node nào trong dải vòng quay khai thác khi chạy thử tàu trên biển, khi mất cháy 1 xy lanh hay khi chạy không tải (xem đối chứng hình 4.14 phần lưu ý - Caution và chi tiết trong phụ lục đính kèm).

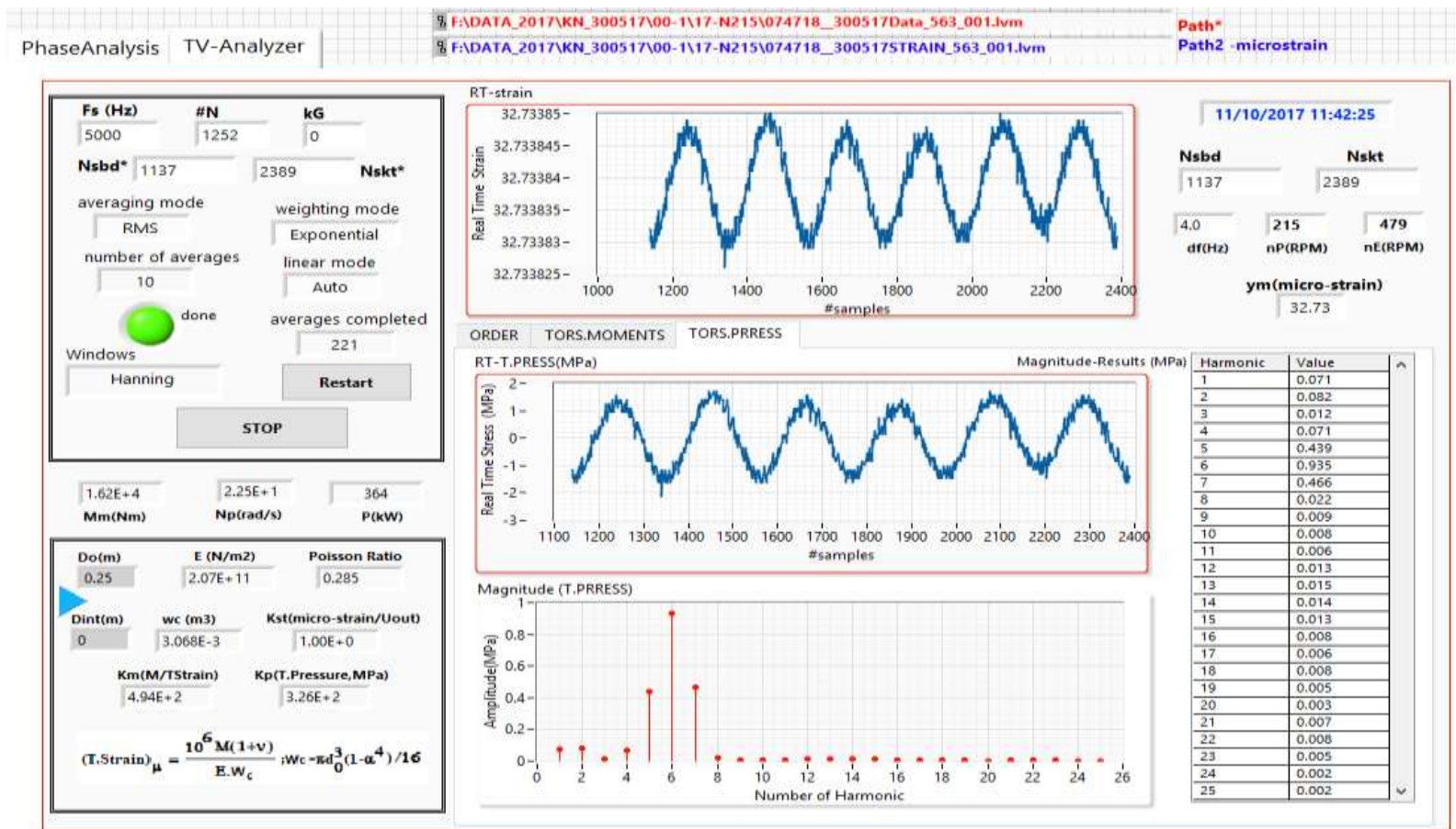
Tuy nhiên, quá trình thực nghiệm chưa thể tiến hành ở chế độ không cháy một xy lanh vì liên quan đến tiến trình thử tàu của nhà máy cũng như một số công đoạn khác mà NCS không được phép tiến hành cùng các bên.



Hình 4.11 Biến dạng xoắn tại chế độ $n_E = 479$ v/ph ($n_p = 215$ v/ph)



Hình 4.12 Mô-men xoắn tại chế độ $n_E = 479$ v/ph ($n_p = 215$ v/ph)



Hình 4.13 Ứng suất xoắn tại chế độ $n_E = 479$ v/ph ($n_p = 215$ v/ph)

軸系ねじり振動計算書

THE CALCULATION SHEET FOR THE TORSIONAL VIBRATION

DATE : 6 November 2016

船主 : VIETNAM COAST GUARD 殿

造船所 : HONG HA SHIPYARD 殿

船番 : H222 / K3000 船名 : SHIP NAME : 殿

主機関形式 : 6EY26W (1920kW / 750min⁻¹)

減速逆転機形式 : Scana Volda A.S. ACG68/525/PF500-1

プロペラ形式 : CPP, NUMBER OF BLADES 4, DIAMETER 2900 mm

主機前駆動機形式 : ENG. P.T.O. DRIVEN MODEL :

駆動パターン RUNNING MODE 計算番号	減速逆転機 クラッチ R/G CLUTCH	主機前 クラッチ P.T.O. CLUTCH	連続使用回避回転域 BARRED SPEED RANGE	
			回避回転域 RANGE (min ⁻¹)	危険次数 ORDER
航海時 SEA GOING D3-51695-390B (2/9~5/9)	嵌 ON	無 NOTHING	無 NOTHING	一節一次 NODE ORDER
航海時 (NO.1 気筒減筒) NO.1 CYL. MISS FIRING CONDITION D3-51695-390B (6/9~9/9)	嵌 ON	無 NOTHING	無 NOTHING	一節一次 NODE ORDER
中立時 NEUTRAL D3-51695-391B (2/4~4/4)	脱 OFF	無 NOTHING	無 NOTHING	一節一次 NODE ORDER

【注 記】

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。

ACCORDING TO THE CALCULATION OF TORSIONAL VIBRATION, THERE IS NO PROBLEM FOR THE STRESS AND TORQUE IN THE NORMAL USING SPEED RANGE.

船 級 : NK

工事番号 : R4B54801/54901

図面番号 : D3-51695-390B/391B

YANMAR CO., LTD.

特機エンジン統括部 開発部 システム開発部
LARGE POWER PRODUCTS OPE. BUSINESS
DEVELOPMENT DIV. ENGINEERING DIV., MARINE

リーダー 検 図 設 計
SEC. MANAGER CHECKED DESIGNED

H. Chung *J. H. H. H.* *S. Nishimura*

Hình 4.14 Kết luận của hãng Yanmar về kết quả tính DDV động cơ 6EY26W

4.3 Kết luận chương 4

Trên cơ sở kết quả đạt được từ chương 2 và chương 3, trong chương 4 đã chế tạo thiết bị và tiến hành thực nghiệm trên tàu thực để kiểm chứng cho một số kết quả chính đạt được của luận án cụ thể:

- Đã chế tạo thành công thiết bị đo MMX và phần mềm phân tích DĐX động cơ diesel lai chân vịt và đã tiến hành hiệu chỉnh trong quá trình thử nghiệm tại phòng thí nghiệm và áp dụng đo, phân tích trên tàu thực KN168.
- Kết quả tính toán mô phỏng DĐX và thực nghiệm trên tàu kiểm ngư KN168 phù hợp với các yêu cầu quy phạm NK - Nhật Bản, phù hợp với kết quả của bảng tính DĐX mà nhà máy chế tạo động cơ diesel Yanmar đưa ra. Điều đó góp phần minh chứng cho độ tin cậy của thiết bị đã chế tạo.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ các kết quả nghiên cứu lý thuyết, mô phỏng và thực nghiệm, luận án rút ra một số kết luận cũng như kiến nghị sau.

I. Kết luận:

1. Đề tài đã xây dựng và đề xuất nguyên lý đo tín hiệu MMX hệ trục diesel tàu thủy lai chân vịt bằng cảm biến biến dạng trên bề mặt trục trung gian.
2. Xác lập cơ sở toán học cũng như cơ sở công nghệ cho trích mẫu đúng trong một chu kỳ công tác đối với các loại động cơ diesel tàu thủy 2 kỳ và 4 kỳ.
3. Nghiên cứu mô phỏng số tín hiệu MMX đo được có chứa nhiễu trong các trường hợp động cơ diesel cháy bình thường và trường hợp có một xy lanh không cháy đáp ứng quy phạm của các tổ chức đăng kiểm hàng hải trong nước (VR) và quốc tế.
4. Tác giả đã chế tạo, thử nghiệm thành công thiết bị đo và phân tích ĐĐX hệ trục diesel lai chân vịt tàu thủy bằng phương pháp tem dán biến dạng bao gồm xây dựng phần mềm trên cơ sở sử dụng LabView và phần cứng chuẩn công nghiệp của hãng NI (Hoa Kỳ).
5. Tác giả tiến hành lắp đặt, hiệu chuẩn thiết bị đo và thực nghiệm đo, xử lý tín hiệu MMX trên trục trung gian tàu kiểm ngư KN168 do Nhà máy đóng tàu Hồng Hà (Bộ quốc phòng) đóng mới và được thử nghiệm đường dài vào ngày 29 - 30 tháng 5 năm 2017) với các chế độ khai thác cụ thể, để làm rõ hơn ý nghĩa thực tiễn của luận án.
6. Các kết quả mô phỏng, bảng tính và giá trị thực nghiệm đều chỉ ra rằng các biên độ MMX, USX của hệ trục tàu kiểm ngư KN168 là không lớn, đúng với quy luật biến thiên tín hiệu MMX, phù hợp với kết luận của hãng Yanmar công bố theo quy trình quy phạm đăng kiểm NK.

II. Kiến nghị:

Kiến nghị của luận án cũng chính là những vấn đề cần nghiên cứu tiếp theo của đề tài, cụ thể như:

1. Khi có điều kiện sẽ tiến hành đo thực nghiệm trên các động cơ diesel 2 kỳ thấp tốc công suất lớn và thực nghiệm chế độ một xy lanh không cháy.
2. Trong thời gian tới sẽ sử dụng một thiết bị đo MMX khác, của một hãng nổi tiếng trên thế giới đã được đăng kiểm công nhận để kiểm chứng độ chính xác của thiết bị đo đã được chế tạo và có hướng phát triển tiếp để đưa thiết bị vào sử dụng thực tế trong ngành công nghiệp đóng tàu Việt Nam.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ ĐƯỢC CÔNG BỐ

1. Si Hoang Van, Luu Do Duc (2018). “*Nghiên cứu thuật toán tự động tính dao động xoắn, ứng suất xoắn cho hệ trục diesel tàu thủy*”. Hội nghị Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải lần thứ IV năm 2018, Ngày 17-05-2018 tại Đại học Giao thông Vận tải Tp.HCM, ISBN 978-604-76-1578-0.
2. Si Hoang Van, Vang Le Van, Luu Do Duc (2017), “*Solutions to enhance the accuracy of measurement, processing and analyzing torsional vibration Signals by strain gauge method*”. The 16th Asia maritime & fisheries universities forum, November 9th -11th, 2017, HCM City University of Transport, Vietnam. ISSN 2508-5247.
3. Đỗ Đức Lưu, Hoàng Văn Sĩ, Lê Văn Vang (2017), “*Nghiên cứu đo và xử lý tín hiệu mô-men xoắn bằng phương pháp tem dán biến dạng trên đường trục diesel lai máy công tác*”. Hội nghị khoa học công nghệ toàn quốc về Cơ khí - Động lực năm 2017, Ngày 14-10-2017 tại Trường ĐH Bách Khoa – ĐHQG TP.HCM. ISBN 978-604-73-5603-4.
4. Hoàng Văn Sĩ, Đỗ Đức Lưu, Lại Huy Thiện, Cao Đức Hạnh (2017), “*Một số vấn đề trong xây dựng hệ thống đo đa kênh rung động trên tổ hợp diesel lai máy phát điện 110 kW tại Trường đại học hàng hải Việt Nam*”. Tập chí Khoa học Công nghệ Hàng hải số 50 – 04/2017. Tr 5-10, NXB Hàng hải. ISSN 1859-316X.
5. Đỗ Đức Lưu, Hoàng Văn Sĩ, Lê Văn Vang (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 năm 2016, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam. ISBN 978-604-937-127-1.
6. Đỗ Đức Lưu, Hoàng Văn Sĩ (2015), “*Nghiên cứu giảm dao động xoắn nguy hiểm cho hệ động lực diesel-máy công tác tàu thủy*”. Hội nghị khoa

học công nghệ Giao thông Vận tải năm 2015, Trường Đại học Giao Thông Vận tải Tp.HCM, Tr 163-167. ISBN 978-604-76-0594-1.

7. Hoàng Văn Sĩ, Lê Văn Vang, Đỗ Đức Lưu (2015), *“Các phương pháp đo mô-men xoắn hiện đại trên hệ trục diesel tàu thủy”*. Tạp chí Giao thông Vận tải, Tr 59-62. ISSN 2354-0818.
8. Đ.Đ.Lưu, H.V.Sĩ, L.V.Vang (2014), *“Quy chuẩn Việt Nam về dao động xoắn hệ trục diesel và ứng dụng xây dựng phần mềm tự động tính giới hạn xoắn các thành phần hệ trục diesel lai máy công tác”*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải. Số 40, NXB. Hàng hải. ISSN 1859-316X.
9. Đ.Đ.Lưu, H.V.Sĩ, L.V.Vang (2014), *“Thiết bị ảo xây dựng tự động tính ứng suất xoắn cực đại cho phép trong hệ trục diesel tàu biển”*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải. Số 40, NXB. Hàng hải. ISSN 1859-316X.
10. Hoàng Văn Sĩ (2016), *“Nghiên cứu lựa chọn phương pháp đo mô-men xoắn trong thiết kế chế tạo thiết bị đo mô-men xoắn hệ trục Diesel tàu thủy tại Việt Nam”*. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường, Đại học Giao thông Vận tải Tp.HCM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

TIẾNG VIỆT

- [1] Hải Nguyễn Bá (2010), “Lập trình LabVIEW”. Tủ sách hocdelam Group, Đại học sư phạm kỹ thuật Tp.HCM.
- [2] Khang Nguyễn Văn (2004), “Dao động kỹ thuật”. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.
- [3] Lưu Đỗ Đức (2006), “Chẩn đoán trạng thái kỹ thuật diesel tàu thủy bằng dao động xoắn đường trục”. Luận án TSKH. Học viện Hàng hải Quốc gia Macarov, L.Bang Nga.
- [4] Lưu Đỗ Đức (2009), “Động lực học và chẩn đoán kỹ thuật diesel tàu thủy bằng dao động”. NXB GTVT. Hà Nội.
- [5] Sơn Trần Đình (1996). Tính toán dao động xoắn của các hệ có khối lượng thu gọn biến đổi. Luận án PTS, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [6] Trung Nguyễn Quốc (2006), “Xử lý tín hiệu và lọc số”. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.
- [7] Quy chuẩn kỹ thuật Quốc Gia (2015). QCVN 21: 2015/BGTVT. “Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép”. (Phần 3. Hệ thống máy tàu. Chương 8. Dao động xoắn hệ trục).

TIẾNG ANH

- [8] ABS Register (2014). “Rules and Regulations for the Classification of ships”. (Part: Main And Auxiliary Machinery – Chapter 8: Shaft Vibration And Alignment).
- [9] Bach Dang Shipyard T209/ HT30. (Jun 03nd 2005). Torsional Vibration Calculation.
- [10] Class NK Register (2014). “Rules for the Survey and Construction of Steel Ships” (Part D, Chapter 8: Torsional Vibration of shaftings)

- [11] Class Lloyd's Register (2014). "Rules and Regulations for the Classification of ships". (Part: Main And Auxiliary Machinery – Chapter 8: Shaft Vibration And Alignment).
- [12] Garshelis (2002). Circularly magnetized non-contact torque sensor and method for measuring torque using the same. United States Patent. Patent Number: US 6,490,934 B2.
- [13] Hudong Heavy Machinery Company (June 06th 2007). Torsional Vibration Calculation Reports. DE 6S46MC-C 7860kW/ 129 rpm, 34000 DWT Double Hull Handysize Bulk Carrier. Pha Rung Shipyard, Hull No HR34-01/02/04, DNV Class.
- [14] IACS (req. 2008), "Requirements concerning MACHINERY INSTALLATIONS" (M53.Calculation of Crankshafts for I.C. Engines; M68. Dimensions of Propulsion shafts and their permissible torsional vibration stresses.
- [15] IMO. Ship Energy Efficiency Management Plan –SEEMP (2013)
- [16] Labview 2015
- [17] MAN B&W 24-42 MC Engines. Operation. 2002.
- [18] Matzoll et al. (2010). Optical sensor for measurement of static and dynamic torque. U.States Patent. Patent Number: US 7,784,364 B2.
- [19] Matlab Tool USA, R2014a.
- [20] Renold Hi-Tech Couplings (2013), Torsional Vibration Analysis. Report Reference 444507, date April 11th 2013.
- [21] Rolls Royce AB (2014). Torsional Vibration Calculation. Doc No 18W6OG7-1, Report No 2014-0429-Rev1, M/V JASON ENERGY BINH AN 27; Sai Gon Shipmarin Shipyard, Rull DNV-GL class;

- [22] Vibration Measurement Sea-trial (2007). MAN B&W 6S50MC-C, DALIEN MARINE M/V Graiglas Douglas, Nam Trieu Hull 01 (NT01), date May 29th 2007.
- [23] Yanmar Co., ltd (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).
- [24] Yanmar Products guide and Operation manual, Torsional vibration. No 4-03-00.

TIẾNG NGÀ

- [25] Афифи А, Эйзен С. (1982). Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. М: «Мир», 488 с. Phân tích thống kê. Sử dụng máy tính. NXB”Thế giới”, Matxcova.
- [26] Бендат Д., Пирсол А (1971 г.). Измерение и анализ случайных процессов. М.: «Мир», 408 с. Đo và phân tích quá trình ngẫu nhiên. NXB”Thế giới”, Matxcova.
- [27] Бендат Д., Пирсол А. (1983) Применение корреляционного и спектрального анализа. М.313 с. Ứng dụng phân tích tương quan và phổ tần. NXB”Thế giới”, Matxcova.
- [28] Болотина В.В. (Под ред. Акад., 1999). Вибрация в технике. Справочник в 6 т. Т. 1. Колебания линейных систем. М: «Машиностроение», 504 с. Sách tra cứu: Rung động kỹ thuật, Tập 1. Hệ thống dao động tuyến tính. NXB”Chế tạo máy”, Matxcova.
- [29] Добролюбов И.П., Альт В.В, Савченко О.Ф.(1998) Измерительный технологический комплекс экспертизы технического состояния ДВС. Двигателестроение, №2, 1998. – с.27 – 30. Tổ hợp công nghệ đo –chẩn đoán chuyên gia động cơ đốt trong. Tạp chí “Động cơ đốt trong”, số 2, 1998.

- [30] Корн Г, Корн Т. (2003). Справочник по математике для научных работников и инженеров. «Лань» – 831 с. Sách tra cứu toán cho các nhà khoa học và kĩ sư. NXB”Lan”.
- [31] Крюков В.В, Будзинский В.В (1971). Методы экспериментального исследования судовых малооборотных дизелей. Л: «Судостроение», 264 с. Các phương pháp thực nghiệm động cơ diesel thấp tốc. NXB “Đóng tàu”, Leningrad.
- [32] Макс Ж. (1983). Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: в 2 т. М: «Мир», Т.1. Основные принципы и классические методы – 311 с. Т.2. Теория обработки сигналов. Применения. Новые методы. – 256 с. Phương pháp và kỹ thuật xử lý tín hiệu trong đo các đại lượng vật lý: 2 tập. Tập 1 –Nguyên lý cơ bản và các phương pháp truyền thống. Tập 2 –Lý thuyết xử lý tín hiệu. Ứng dụng. Các phương pháp mới. NXB”Thế giới”, Matxcova.
- [33] Минчев Н.Д. Динамика судовых машин. София, «В. Издательство», 1983. – 488 с. Minchev Nh. D. Động lực học máy tàu biển. Sofia. NXB. ”Quân đội”. 1983.
- [34] Russian Marine Register. Морской регистр судоходства (2014). Правила классификации и постройки морских судов. Т. 2. Đăng kiểm Hàng hải Nga (2014). Tập 2.
- [35] Russian Marine Register. Морской регистр судоходства (1995). Правила классификации и постройки морских судов. Т. 2. Đăng kiểm Hàng hải Nga (1995). Tập 2.
- [36] Russian Marine Register. Морской регистр судоходства (1978). Правила классификации и постройки морских судов. Т. 2. Đăng kiểm Hàng hải Nga (1978). Tập 2.

- [37] Тарасик В.П. (2004). Математическое моделирование технических систем. Минск: «Дизайн ПРО», 640 с. Mô hình hóa toán học các hệ thống kỹ thuật. NXB “DisignPro”, Minsk.
- [38] Туричин А.М. и др. (1975). Электрические измерения неэлектрических величин.Л: «Энергия», 576 с. Đo điện các đại lượng không điện. NXB “Năng lượng”, Leningrad.
- [39] Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. (1986). Статистическая теория распознавания образов. М: «Радио и Связь», 264 с. Lý thuyết thống kê trong nhận dạng. NXB “Thông tin truyền thông”, Matxcova.
- [40] Яманин А.И. и Жаров А.В. Динамика поршневых машин. М.: Машиностроение, 2003. – 464с. IaManhin A., Djarov A. Động lực học máy piston. Matxcova, NXB. “Chế tạo máy”. 2003.

WEBSITES

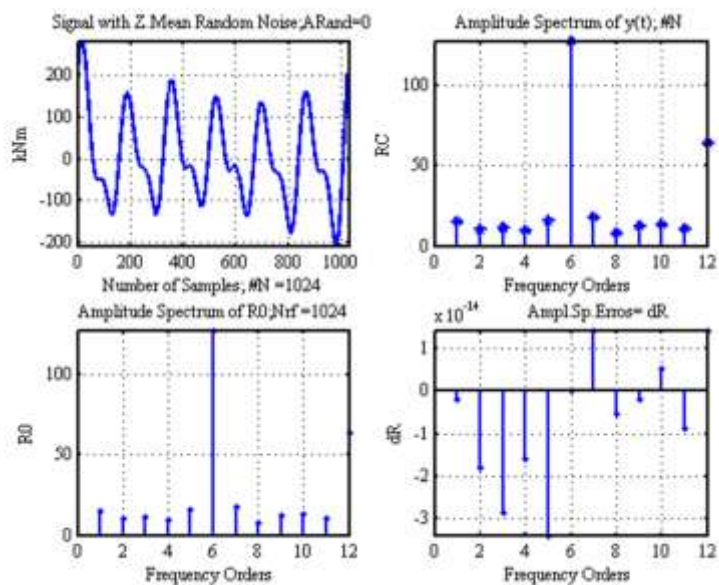
- [41] www.ia.omron.com Truy cập 15-04-2017.
- [42] baoanjsc.com.vn/vn/sanpham-31755/Cam-bien-quang/Omron/Cam-bien-quang-Omron-E3FA-series-E3FA-DN12-2M.aspx. TC 15-04-2017.
- [43] www.binsfeld.com. Truy cập 15-04-2015.
- [44] www.honeywell.com. Truy cập 10-04-2015.
- [45] <http://www.km.kongsberg.com/> MetaPower - Shaft power. Torque and Power measurement system for rotating shafts. TC 10-04-2015.
- [46] www.kyowa-ei.com/eng/technical/notes/measurement/axis.html. Torsional and Shearing Stress Measurement of Axis. TC 10-04-2015.
- [47] www.ni.com. Truy cập 15-04-2015.
- [48] <http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering>. David Roylance (June 23, 2000). Department of Materials Science and Engineering Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139. Shear and torsion. Truy cập 10-04-2015.

- [49] www.omega.com/faq/pressure/pdf/positioning.pdf. Positioning strain gauges to monitor bending axial, shear and torsional loads. TC 10-04-2015.
- [50] <http://seatechnik.com/brochures/TSX5%20Issue%201.pdf>
- [51] www.ship-technology.com/contractors/propulsion/datum. Datum Electronics - Torsionmeters and Shaft Power Meters. TC 15-04-2015.
- [52] www.showa-sokki.co.jp/english/index_e.html
- [53] [www.sintechtechnology.com/strain-gauge_measurements / Torque and Torsional vibration measurements.html](http://www.sintechtechnology.com/strain-gauge_measurements/Torque_and_Torsional_vibration_measurements.html). Truy cập 10-04-2015.
- [54] www.torsionmeter.com. Truy cập 10-04-2015.
- [55] www.vaf.com. Truy cập 15-04-2015.
- [56] www.vold.com. Truy cập 15-04-2015.

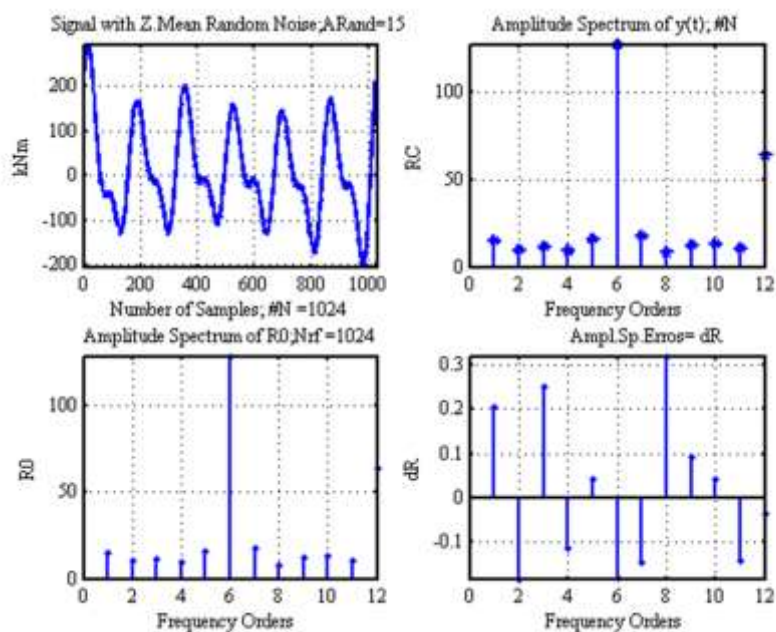
PHỤ LỤC 1

MÔ PHỎNG VÀ XỬ LÝ LỌC NHIỀU ĐỘNG CƠ 02 KỲ

1. Mô phỏng tín hiệu MMX cho động cơ diesel 02 kỳ

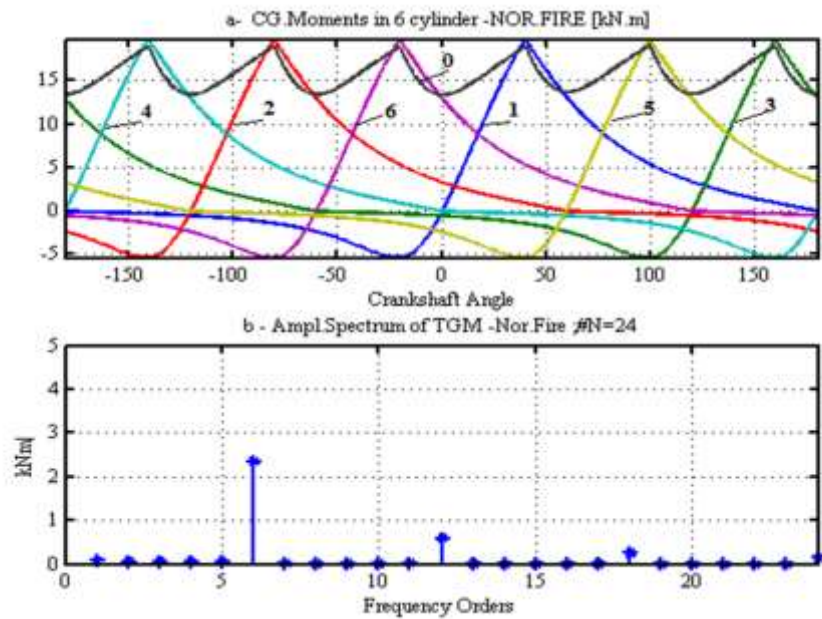


Hình PL1-1 Kết quả mô phỏng tín hiệu đa hài không nhiễu ($ARand = 0$)

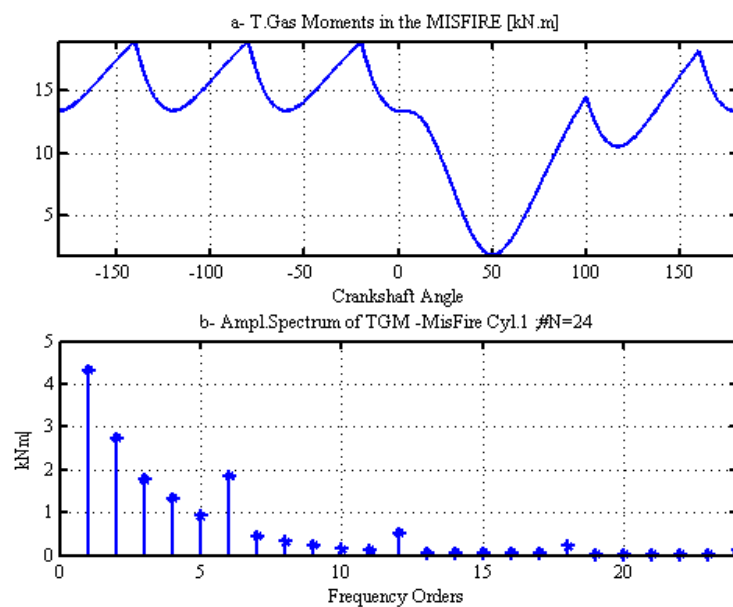


Hình PL1-2 Kết quả mô phỏng tín hiệu đa hài có nhiễu, $Ar = 15$

2. Mô phỏng tín hiệu mô-men xoắn hệ trục diesel tàu thủy trên động cơ MAN B&W 6S46MC-C tàu 34000 DWT

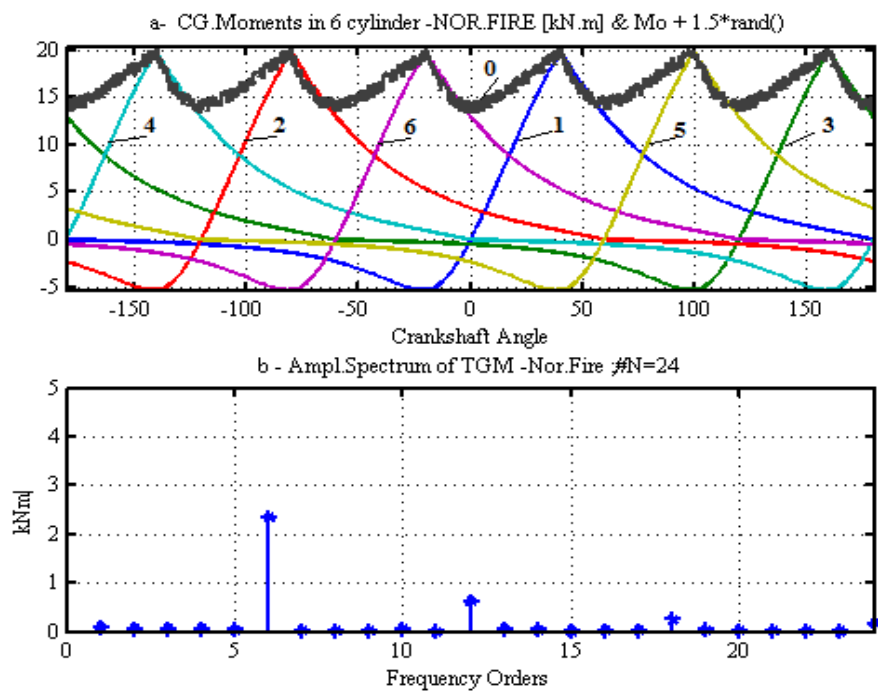


Hình PL1-3. Mô-men khí thể khi các xilanh cháy bình thường
 (c) Mô-men từng xilanh (1- 6) và mô-men tổng (0) theo thời gian;
 (d) Phổ biên độ của mô-men tổng M_0



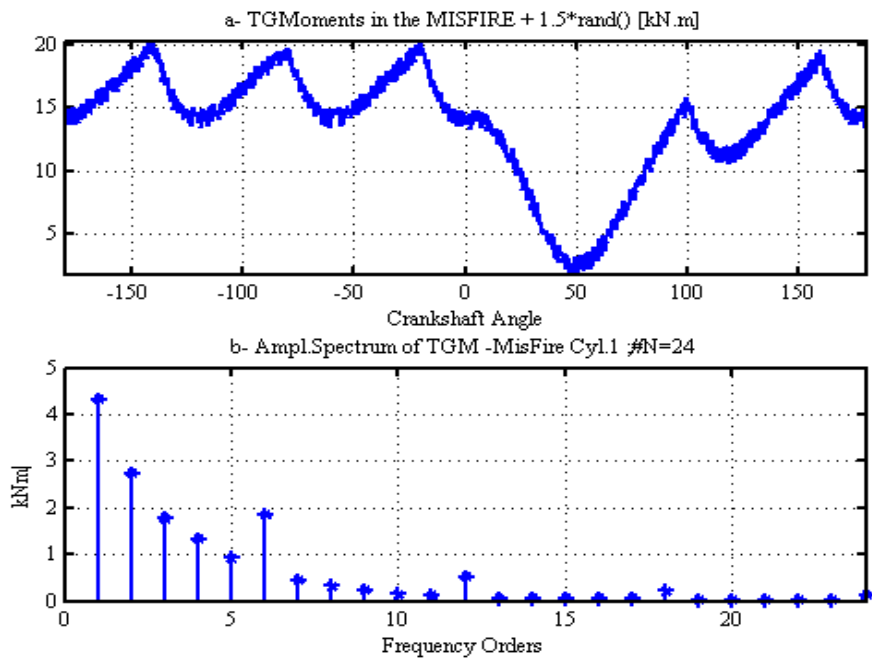
Hình PL1-4. Mô-men khí thể từng xilanh và mô-men tổng (M_0) khi các xilanh cháy bình thường, trừ xilanh số 1 không cháy

(a) – Mô-men chung $M_o(t)$ và (b) - Phổ biên độ của mô-men tổng (M_o) khi xilanh số 1 không cháy;



Hình PL1-5. Mô-men khí thể khi các xilanh cháy bình thường có nhiễu

- (a) Mô-men từng xilanh (1- 6) và mô-men tổng (0) theo thời gian;
 (b) Phổ biên độ của mô-men tổng M_o



Hình PL1-6. Mô-men khí thể khi xilanh số 1 không cháy, mô-men tổng có nhiễu

a - Mô men tổng (0) theo thời gian; b - Phổ biên độ của mô-men tổng

Bảng PL1-1. Kết quả mô phỏng tín hiệu Mo tổng 12 hài với biên độ cho bởi véc tơ R0 và pha0, như trong nội dung số 1, không có nhiễu, có sai số trích mẫu, diesel												
NORMAL												
R ₀	0.0775	0.0656	0.0531	0.0479	0.0504	2.3440	0.0170	0.0108	0.0116	0.0119	0.0185	0.5966
n=110	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _c	0.0589	0.1493	0.1096	0.2441	0.4467	1.2857	1.6775	0.5529	0.3276	0.2524	0.1813	0.1251
R ₀ - R _c	0.0186	-0.0837	-0.0566	-0.1962	-0.3964	1.0583	-1.6605	-0.5421	-0.3160	-0.2405	-0.1628	0.4715
N=112	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _c	0.1249	0.1979	0.1356	0.2893	0.4946	1.6470	1.3180	0.5117	0.3189	0.2629	0.2293	0.2356
R ₀ - R _c	-0.0474	-0.1323	-0.0825	-0.2415	-0.4442	0.6970	-1.3010	-0.5009	-0.3073	-0.2510	-0.2107	0.3610
N=114	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _c	0.1432	0.2099	0.1387	0.2869	0.4830	1.9501	0.9418	0.4113	0.2652	0.2335	0.2375	0.3607
R ₀ - R _c	-0.0657	-0.1442	-0.0857	-0.2390	-0.4326	0.3939	-0.9249	-0.4005	-0.2536	-0.2216	-0.2190	0.2359
N=116	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _c	0.1284	0.1878	0.1067	0.2377	0.4010	2.1746	0.5800	0.2768	0.1790	0.1695	0.2012	0.4779
R ₀ - R _c	-0.0509	-0.1221	-0.0536	-0.1898	-0.3507	0.1694	-0.5630	-0.2660	-0.1674	-0.1576	-0.1827	0.1187
N=118	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _c	0.0962	0.1395	0.0470	0.1504	0.2505	2.3094	0.2579	0.1341	0.0801	0.0867	0.1243	0.5651
R ₀ - R _c	-0.0187	-0.0739	0.0061	-0.1025	-0.2001	0.0345	-0.2409	-0.1232	-0.0685	-0.0748	-0.1058	0.0314
N=120	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12

R_c	0.0775	0.0656	0.0531	0.0479	0.0504	2.3440	0.0170	0.0108	0.0116	0.0119	0.0185	0.5966
$R_0 - R_c$	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000
N=122	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.1203	0.0322	0.1528	0.1363	0.2490	2.2941	0.1993	0.0922	0.0871	0.0845	0.1395	0.5544
$R_0 - R_c$	-0.0428	0.0334	-0.0997	-0.0884	-0.1987	0.0498	-0.1823	-0.0814	-0.0755	-0.0726	-0.1210	0.0422
N=124	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.1592	0.0812	0.2253	0.2474	0.5217	2.1949	0.3561	0.1818	0.1488	0.1503	0.2866	0.4721
$R_0 - R_c$	-0.0817	-0.0156	-0.1723	-0.1996	-0.4714	0.1490	-0.3391	-0.1710	-0.1372	-0.1384	-0.2681	0.1245
N=126	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.1437	0.0861	0.2482	0.3098	0.7803	2.0613	0.4756	0.2547	0.1824	0.1660	0.3768	0.3971
$R_0 - R_c$	-0.0662	-0.0205	-0.1952	-0.2619	-0.7300	0.2826	-0.4586	-0.2439	-0.1709	-0.1541	-0.3583	0.1995
N=128	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.0782	0.0912	0.2481	0.3455	1.0371	1.8847	0.5481	0.3088	0.2031	0.1513	0.4026	0.3166
$R_0 - R_c$	-0.0007	-0.0256	-0.1951	-0.2976	-0.9868	0.4593	-0.5311	-0.2980	-0.1915	-0.1394	-0.3841	0.2800
N=130	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.0244	0.1486	0.2676	0.3878	1.3038	1.6611	0.5693	0.3429	0.2327	0.1802	0.4119	0.2075
$R_0 - R_c$	0.0531	-0.0830	-0.2145	-0.3399	-1.2534	0.6828	-0.5523	-0.3320	-0.2211	-0.1683	-0.3934	0.3891

Bảng PL1-2 Kết quả mô phỏng tín hiệu Mo tổng 12 hài với biên độ cho bởi véc tơ R_{mf1} và ph_{mf1} , như trong nội dung số 1, không có nhiễu, có sai số trích mẫu, diesel MISFIRE1												
R_{MF1}	4.3275	2.7333	1.7725	1.3345	0.9192	1.8486	0.4560	0.3194	0.2347	0.1483	0.1180	0.5212
n=110	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.0732	2.6718	1.8984	1.1265	1.3970	0.7498	1.3453	0.8025	0.3505	0.3185	0.2572	0.1097
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.2544	0.0615	-0.1259	0.2080	-0.4779	1.0988	-0.8892	-0.4831	-0.1158	-0.1702	-0.1392	0.4115
N=112	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.0742	2.6902	1.9086	1.0980	1.4435	1.0799	1.0555	0.7150	0.4043	0.2599	0.3237	0.1524
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.2534	0.0431	-0.1361	0.2365	-0.5243	0.7686	-0.5994	-0.3956	-0.1696	-0.1116	-0.2057	0.3689
N=114	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.1115	2.6984	1.9041	1.1034	1.4193	1.3880	0.7615	0.5959	0.3901	0.2060	0.3330	0.2707
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.2160	0.0350	-0.1315	0.2311	-0.5001	0.4606	-0.3055	-0.2765	-0.1554	-0.0577	-0.2150	0.2506
N=116	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.1711	2.7042	1.8800	1.1446	1.3209	1.6293	0.5199	0.4712	0.3369	0.1554	0.2956	0.3885
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.1565	0.0291	-0.1075	0.1899	-0.4018	0.2193	-0.0638	-0.1518	-0.1022	-0.0071	-0.1776	0.1327
N=118	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.2436	2.7140	1.8369	1.2209	1.1533	1.7869	0.4114	0.3706	0.2753	0.1305	0.2199	0.4804
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.0840	0.0193	-0.0644	0.1136	-0.2341	0.0617	0.0447	-0.0512	-0.0406	0.0179	-0.1019	0.0408
N=120	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.3275	2.7333	1.7725	1.3345	0.9192	1.8486	0.4560	0.3194	0.2347	0.1483	0.1180	0.5212
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0
N=122	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.4144	2.7613	1.6987	1.4672	0.6455	1.8270	0.5516	0.3145	0.2181	0.1989	0.0751	0.4924
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.0869	-0.0280	0.0738	-0.1327	0.2737	0.0215	-0.0956	0.0050	0.0166	-0.0506	0.0429	0.0289
N=124	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12

R_{MFC}	4.4889	2.7800	1.6472	1.5787	0.3831	1.7586	0.6296	0.3615	0.1917	0.2588	0.1969	0.4206
$R_{MFI} - R_{MFC}$	-0.1613	-0.0466	0.1253	-0.2442	0.5361	0.0899	-0.1735	-0.0421	0.0430	-0.1105	-0.0789	0.1007
N=126	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.5428	2.7668	1.6450	1.6431	0.2035	1.6674	0.6586	0.4461	0.1213	0.2784	0.2931	0.3504
$R_{MFI} - R_{MFC}$	-0.2152	-0.0335	0.1275	-0.3086	0.7157	0.1812	-0.2026	-0.1267	0.1134	-0.1301	-0.1751	0.1708
N=128	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.5829	2.7200	1.6874	1.6722	0.2896	1.5521	0.6280	0.5250	0.0117	0.2430	0.3368	0.2754
$R_{MFI} - R_{MFC}$	-0.2554	0.0133	0.0851	-0.3377	0.6296	0.2965	-0.1720	-0.2056	0.2230	-0.0947	-0.2188	0.2458
N=130	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.6218	2.6633	1.7407	1.6929	0.5392	1.4067	0.5519	0.5674	0.1040	0.1949	0.3632	0.1745
$R_{MFI} - R_{MFC}$	-0.2943	0.0700	0.0318	-0.3584	0.3800	0.4419	-0.0959	-0.2480	0.1307	-0.0465	-0.2452	0.3468

Bảng PL1-3. Kết quả mô phỏng tín hiệu Mo tổng 12 hài với biên độ cho bởi véc tơ R_0 và pha0, như trong nội dung số 1, có nhiều Arand = 1.5, có sai số trích mẫu, diesel NORMAL												
R_0	0.0775	0.0656	0.0531	0.0479	0.0504	2.3440	0.0170	0.0108	0.0116	0.0119	0.0185	0.5966
n=110	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.0661	0.1586	0.1178	0.2365	0.4608	1.2722	1.6812	0.5611	0.3417	0.2514	0.2003	0.1397
$R_0 - R_c$	0.0114	-0.0930	-0.0647	-0.1887	-0.4104	1.0718	-1.6642	-0.5503	-0.3302	-0.2395	-0.1817	0.4569
N=112	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.1280	0.2136	0.1446	0.2826	0.5155	1.6444	1.3224	0.5119	0.3328	0.2531	0.2567	0.2498
$R_0 - R_c$	-0.0505	-0.1480	-0.0915	-0.2348	-0.4651	0.6995	-1.3054	-0.5011	-0.3212	-0.2412	-0.2382	0.3468
N=114	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.1469	0.2276	0.1468	0.2816	0.5066	1.9576	0.9465	0.4018	0.2770	0.2111	0.2781	0.3694
$R_0 - R_c$	-0.0694	-0.1620	-0.0937	-0.2337	-0.4562	0.3863	-0.9295	-0.3910	-0.2654	-0.1992	-0.2596	0.2271
N=116	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.1342	0.2065	0.1140	0.2341	0.4251	2.1911	0.5842	0.2582	0.1861	0.1389	0.2438	0.4763
$R_0 - R_c$	-0.0567	-0.1409	-0.0610	-0.1862	-0.3748	0.1528	-0.5672	-0.2473	-0.1746	-0.1269	-0.2253	0.1202
N=118	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.1059	0.1588	0.0548	0.1493	0.2739	2.3331	0.2610	0.1093	0.0814	0.0631	0.1549	0.5543
$R_0 - R_c$	-0.0284	-0.0931	-0.0018	-0.1014	-0.2235	0.0108	-0.2440	-0.0985	-0.0699	-0.0512	-0.1364	0.0423
N=120	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.0775	0.0656	0.0531	0.0479	0.0504	2.3440	0.0170	0.0108	0.0116	0.0119	0.0185	0.5966
$R_0 - R_c$	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000
N=122	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.0913	0.0846	0.0537	0.0543	0.0734	2.3724	0.0127	0.0155	0.0255	0.0414	0.0587	0.5819
$R_0 - R_c$	-0.0138	-0.0189	-0.0007	-0.0065	-0.0230	-0.0284	0.0043	-0.0047	-0.0139	-0.0295	-0.0402	0.0147
N=124	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.1303	0.0239	0.1521	0.1393	0.2402	2.3244	0.1989	0.1142	0.1006	0.0916	0.1755	0.5426
$R_0 - R_c$	-0.0528	0.0417	-0.0991	-0.0915	-0.1898	0.0196	-0.1819	-0.1034	-0.0891	-0.0796	-0.1570	0.0540
N=126	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.1664	0.0645	0.2261	0.2473	0.5171	2.2239	0.3573	0.1987	0.1630	0.1417	0.3295	0.4687
$R_0 - R_c$	-0.0889	0.0011	-0.1731	-0.1994	-0.4668	0.1200	-0.3403	-0.1879	-0.1514	-0.1297	-0.3110	0.1278
N=128	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.1501	0.0749	0.2516	0.3068	0.7829	2.0867	0.4779	0.2683	0.1966	0.1516	0.4182	0.4036

$R_0 - R_c$	-0.0726	-0.0093	-0.1986	-0.2589	-0.7325	0.2573	-0.4609	-0.2575	-0.1850	-0.1397	-0.3997	0.1929
N=130	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_c	0.0858	0.0974	0.2549	0.3397	1.0472	1.9049	0.5511	0.3204	0.2172	0.1408	0.4288	0.3292
$R_0 - R_c$	-0.0083	-0.0318	-0.2018	-0.2918	-0.9968	0.4390	-0.5341	-0.3096	-0.2057	-0.1289	-0.4103	0.2674

Bảng PL1-4. Kết quả mô phỏng tín hiệu Mo tổng 12 hài với biên độ cho bởi véc tơ Rmf1 và phmf1, như trong chương 1, có nhiễu Arand=1.5, có sai số trích mẫu, diesel MISFIRE1

R_{MF1}	4.3275	2.7333	1.7725	1.3345	0.9192	1.8486	0.4560	0.3194	0.2347	0.1483	0.1180	0.5212
n=110	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.0955	2.6785	1.8783	1.0834	1.3851	0.7588	1.3290	0.7942	0.3350	0.2959	0.2504	0.1247
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.2320	0.0548	-0.1058	0.2512	-0.4660	1.0897	-0.8730	-0.4748	-0.1003	-0.1475	-0.1324	0.3965
N=112	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.0969	2.6965	1.8904	1.0585	1.4391	1.0895	1.0417	0.7091	0.4011	0.2427	0.3138	0.1718
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.2306	0.0368	-0.1179	0.2760	-0.5199	0.7590	-0.5857	-0.3897	-0.1664	-0.0944	-0.1958	0.3495
N=114	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.1345	2.7041	1.8883	1.0706	1.4222	1.3961	0.7502	0.5942	0.4004	0.2016	0.3225	0.2839
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.1931	0.0292	-0.1157	0.2639	-0.5030	0.4524	-0.2942	-0.2748	-0.1656	-0.0533	-0.2045	0.2373
N=116	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.1941	2.7093	1.8668	1.1214	1.3307	1.6351	0.5089	0.4750	0.3583	0.1707	0.2887	0.3881
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.1334	0.0241	-0.0943	0.2131	-0.4115	0.2134	-0.0529	-0.1555	-0.1236	-0.0224	-0.1707	0.1332
N=118	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.2666	2.7182	1.8265	1.2094	1.1691	1.7899	0.3975	0.3792	0.3036	0.1555	0.2193	0.4664
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.0609	0.0152	-0.0539	0.1251	-0.2499	0.0587	0.0585	-0.0597	-0.0689	-0.0072	-0.1013	0.0549
N=120	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.3505	2.7365	1.7649	1.3355	0.9399	1.8485	0.4406	0.3282	0.2667	0.1561	0.1219	0.5006
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.0230	-0.0032	0.0076	-0.0010	-0.0207	0.0000	0.0155	-0.0088	-0.0320	-0.0078	-0.0039	0.0206
N=122	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.4373	2.7633	1.6940	1.4803	0.6690	1.8240	0.5372	0.3181	0.2518	0.1828	0.0690	0.4743
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.1098	-0.0300	0.0786	-0.1457	0.2502	0.0245	-0.0812	0.0014	-0.0170	-0.0345	0.0490	0.0469
N=124	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.5115	2.7809	1.6455	1.6026	0.4046	1.7530	0.6179	0.3586	0.2254	0.2338	0.1894	0.4134
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.1840	-0.0476	0.1270	-0.2681	0.5146	0.0955	-0.1618	-0.0391	0.0093	-0.0855	-0.0714	0.1078
N=126	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.5650	2.7668	1.6466	1.6765	0.2056	1.6599	0.6504	0.4392	0.1534	0.2541	0.2895	0.3575
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.2375	-0.0334	0.1259	-0.3420	0.7135	0.1886	-0.1944	-0.1197	0.0813	-0.1057	-0.1715	0.1638
N=128	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.6047	2.7191	1.6925	1.7129	0.2662	1.5434	0.6238	0.5162	0.0404	0.2216	0.3394	0.2921
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.2771	0.0143	0.0800	-0.3784	0.6529	0.3052	-0.1677	-0.1968	0.1943	-0.0733	-0.2214	0.2292
N=130	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	4.6429	2.6615	1.7491	1.7377	0.5183	1.3973	0.5524	0.5580	0.0859	0.1749	0.3716	0.1949
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.3153	0.0719	0.0234	-0.4032	0.4009	0.4513	-0.0963	-0.2386	0.1489	-0.0266	-0.2536	0.3264

Bảng PL1-5. Sai số biên độ điều hòa chính (bậc 6) của Mo tổng không có nhiễu, có sai số trích mẫu, diesel NORMAL, R0(6)=2.3440 kN											
n(v/p)	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130
dR(6)	1.099	0.769	0.461	0.219	0.062	0	0.022	0.090	0.181	0.297	0.442
dR(6)%	46.9%	32.8%	19.7%	9.3%	2.6%	0.0%	0.9%	3.8%	7.7%	12.7%	18.9%

Bảng PL1-6. Sai số biên độ điều hòa chính (bậc 6 và bậc 12) của Mo tổng có nhiễu, Arand=1.5 kNm, có sai số trích mẫu, diesel NORMAL, R0(6)=3.3440 kN, R0(12)=0.5966 kN											
n(v/p)	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130
dR(6)	1.0718	0.6994	0.3863	0.1528	0.0108	0	-0.028	0.020	0.120	0.27	0.439
dR(6)%	32.1%	20.9%	11.6%	4.6%	0.3%	0.0%	-0.8%	0.6%	3.6%	8.1%	13.1%
dR(12)	0.457	0.3468	0.2271	0.1262	0.0423	0	0.0147	0.0540	0.1278	0.1929	0.2674
dR(12)%	76.6%	58.1%	38.1%	21.2%	7.1%	0.0%	2.5%	9.1%	21.4%	32.3%	44.8%

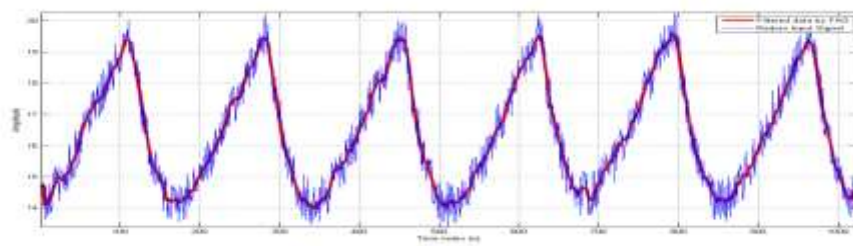
Bảng PL1-7 Kết quả phân tích sai số trích mẫu cho Mo tổng 12 hài với biên độ cho bởi véc tơ Rmf1 và phmf1 (từ bảng 2.4) không có nhiễu, diesel MISFIRE1												
R _{MF1}	4.3275	2.7333	1.7725	1.3345	0.9192	1.8486	0.4560	0.3194	0.2347	0.1483	0.1180	0.5212
n=110	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _{MF1} -R _{MFC}	0.2544	0.0615	-0.1259	0.2080	-0.4779	1.0988	-0.8892	-0.4831	-0.1158	-0.1702	-0.1392	0.4115
dR%	5.88	2.25	-7.10	15.58	-51.99	59.44	-194.99	-151.23	-49.33	-114.74	-117.93	78.95
N=112	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _{MF1} -R _{MFC}	0.2534	0.0431	-0.1361	0.2365	-0.5243	0.7686	-0.5994	-0.3956	-0.1696	-0.1116	-0.2057	0.3689
dR%	5.85	1.58	-7.68	17.72	-57.04	41.58	-131.44	-123.83	-72.25	-75.25	-174.30	70.77
N=114	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _{MF1} -R _{MFC}	0.2160	0.0350	-0.1315	0.2311	-0.5001	0.4606	-0.3055	-0.2765	-0.1554	-0.0577	-0.2150	0.2506
dR%	4.99	1.28	-7.42	17.31	-54.41	24.92	-66.99	-86.56	-66.22	-38.90	-182.18	48.07
N=116	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _{MF1} -R _{MFC}	0.1565	0.0291	-0.1075	0.1899	-0.4018	0.2193	-0.0638	-0.1518	-0.1022	-0.0071	-0.1776	0.1327
dR%	3.62	1.06	-6.06	14.23	-43.71	11.86	-14.00	-47.52	-43.55	-4.79	-150.53	25.47
N=118	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _{MF1} -R _{MFC}	0.0840	0.0193	-0.0644	0.1136	-0.2341	0.0617	0.0447	-0.0512	-0.0406	0.0179	-0.1019	0.0408
dR%	1.94	0.71	-3.631	8.511	-25.471	3.34	9.80	-16.02	-17.28	12.048	-86.36	7.84
N=120	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R _{MFC}	4.3275	2.7333	1.7725	1.3345	0.9192	1.8486	0.4560	0.3194	0.2347	0.1483	0.1180	0.5212
R _{MF1} -R _{MFC}	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0

N=122	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.0869	-0.0280	0.0738	-0.1327	0.2737	0.0215	-0.0956	0.0050	0.0166	-0.0506	0.0429	0.0289
dR%	-2.01	-1.02	4.16	-9.95	29.78	1.168	-20.97	1.557	7.077	-34.13	36.33	5.55
N=124	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.1613	-0.0466	0.1253	-0.2442	0.5361	0.0899	-0.1735	-0.0421	0.0430	-0.1105	-0.0789	0.1007
dR%	-3.73	-1.71	7.07	-18.30	58.32	4.87	-38.05	-13.16	18.33	-74.48	-66.86	19.32
N=126	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.2152	-0.0335	0.1275	-0.3086	0.7157	0.1812	-0.2026	-0.1267	0.1134	-0.1301	-0.1751	0.1708
dR%	-4.97	-1.23	7.19	-23.13	77.87	9.80	-44.42	-39.66	48.33	-87.67	-148.38	32.78
N=128	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.2554	0.0133	0.0851	-0.3377	0.6296	0.2965	-0.1720	-0.2056	0.2230	-0.0947	-0.2188	0.2458
dR%	-5.90	0.49	4.80	-25.30	68.49	16.04	-37.71	-64.37	95.03	-63.87	-185.43	47.17
N=130	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.2943	0.0700	0.0318	-0.3584	0.3800	0.4419	-0.0959	-0.2480	0.1307	-0.0465	-0.2452	0.3468
dR%	-6.81	2.56	1.79	-26.85	41.34	23.91	-21.02	-77.64	55.69	-31.39	-207.76	66.52

Bảng PL1-8. Kết quả phân tích sai số trích mẫu cho Mo tổng 12 hài với biên độ cho bởi véc tơ R_{mf1} và $phmf1$ (từ bảng 2.6) có nhiễu, $Arand=1.5$, diesel MISFIRE1												
R_{MF1}	4.3275	2.7333	1.7725	1.3345	0.9192	1.8486	0.4560	0.3194	0.2347	0.1483	0.1180	0.5212
n=110	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.2443	0.0538	-0.1221	0.2127	-0.4865	1.0908	-0.8856	-0.4738	-0.1108	-0.1815	-0.1739	0.4476
dR%	5.65	1.97	-6.89	15.94	-52.93	59.01	-194.20	-148.31	-47.19	-122.36	-147.33	85.89
N=112	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.2444	0.0332	-0.1352	0.2412	-0.5324	0.7804	-0.5966	-0.3802	-0.1671	-0.1259	-0.2345	0.4093
dR%	5.65	1.22	-7.65	18.08	-57.93	42.22	-130.83	-119.01	-71.19	-84.87	-198.69	78.52
N=114	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.2080	0.0226	-0.1331	0.2355	-0.5069	0.4851	-0.3034	-0.2568	-0.1560	-0.0733	-0.2279	0.2861
dR%	4.81	0.83	-7.51	17.65	-55.15	26.24	-66.53	-80.40	-66.47	-49.46	-193.11	54.89
N=116	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.1494	0.0142	-0.1112	0.1937	-0.4066	0.2516	-0.0618	-0.1333	-0.1056	-0.0171	-0.1683	0.1468
dR%	3.45	0.52	-6.28	14.52	-44.24	13.61	-13.56	-41.72	-44.99	-11.53	-142.63	28.16
N=118	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	0.0778	0.0020	-0.0701	0.1166	-0.2366	0.0976	0.0475	-0.0430	-0.0459	0.0245	0.0742	0.0272
dR%	1.80	0.07	-3.95	8.74	-25.74	5.28	10.42	-13.45	-19.56	16.53	-62.90	5.22
N=120	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
R_{MFC}	-0.0053	-0.0195	-0.0074	0.0018	0.0004	0.0357	0.0034	-0.0079	-0.0066	0.0156	0.0341	-0.0340
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.12	-0.71	-0.42	0.14	0.044	1.94	0.74	-2.464	-2.804	10.544	28.94	-6.55
N=122	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.0914	-0.0492	0.0649	-0.1321	0.2774	0.0535	-0.0926	-0.0138	0.0093	-0.0436	0.0474	-0.0116
dR%	-2.11	-1.80	3.66	-9.90	30.18	2.89	-20.30	-4.31	3.95	-29.40	40.17	-2.22
N=124	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.1649	-0.0690	0.1151	-0.2448	0.5434	0.1154	-0.1713	-0.0612	0.0353	-0.1137	-0.0734	0.0702
dR%	-3.81	-2.52	6.49	-18.35	59.12	6.24	-37.57	-19.16	15.05	-76.64	-62.21	13.46

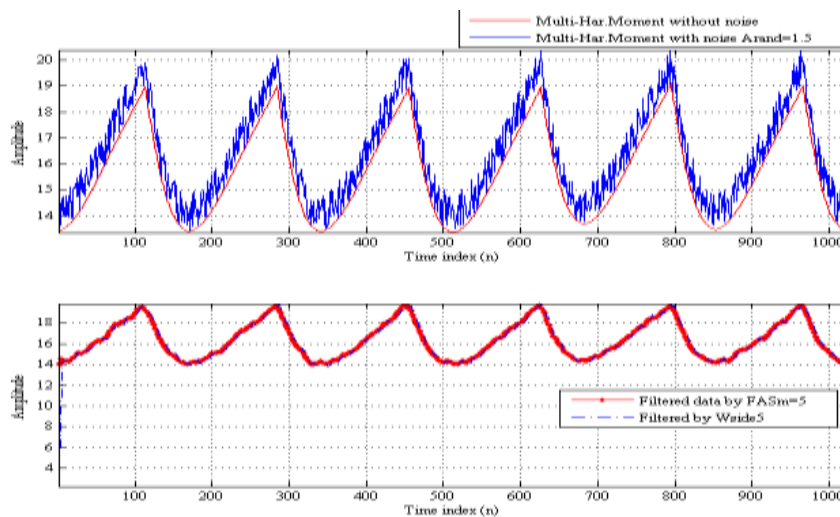
N=126	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.2177	-0.0564	0.1161	-0.3105	0.7232	0.1989	-0.2013	-0.1405	0.1058	-0.1393	-0.1544	0.1632
dR%	-5.03	-2.06	6.55	-23.27	78.67	10.76	-44.15	-43.99	45.08	-93.95	-130.81	31.32
N=128	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.2566	-0.0098	0.0727	-0.3407	0.6261	0.3065	-0.1718	-0.2133	0.2172	-0.1070	-0.1854	0.2610
dR%	-5.93	-0.36	4.12	-25.53	68.11	16.58	-37.66	-66.77	92.55	-72.12	-157.15	50.07
N=130	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12
$R_{MF1} - R_{MFC}$	-0.2942	0.0471	0.0188	-0.3623	0.3725	0.4449	-0.0969	-0.2494	0.1367	-0.0596	-0.2126	0.3760
dR%	-6.80	1.72	1.06	-27.15	40.53	24.07	-21.24	-78.07	58.24	-40.19	-180.13	72.14

3. Kết quả mô phỏng xử lý lọc nhiễu tín hiệu MMX

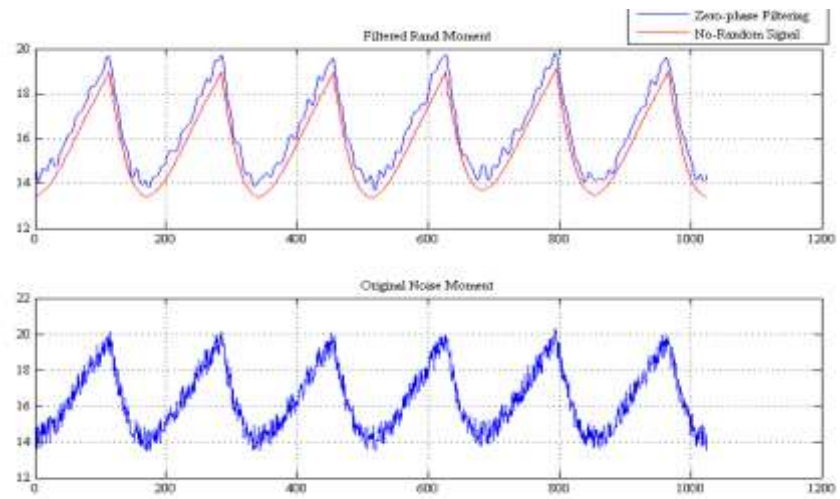


Hình PL1-7 Kết quả lọc nhiễu qua bộ lọc trượt trung bình (2m+1)

Đường lọc trơn – theo phương pháp trượt trung bình;
Đường nhấp nhô – tín hiệu MMX (đầu vào có nhiễu).



Hình PL1-8. Mô phỏng lọc nhiễu qua bộ lọc trượt trung bình (2m+1) và cửa sổ lọc



Hình PL1-9. Mô phỏng lọc nhiễu qua bộ lọc Zero-Pha

PHỤ LỤC 2
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 : OWNER : VIETNAM COAST GUARD 殿 造船所 : DOCKYARD : HONG HA SHIPYARD 殿 船番 : H222 / K3000 船名 : SHIP NO. : SHIP NAME : 殿 主機関形式 : MAIN ENG. MODEL : 6EY26W (1920kW / 750min ⁻¹) 減速逆転機形式 : REVERSE & REDUCTION GEAR MODEL : Scana Volda A.S. ACG68/525/PF500-1 プロペラ形式 : PROPELLER MODEL : CPP, NUMBER OF BLADES 4, DIAMETER 2900 mm 主機前駆動機形式 : ENG. P.T.O. DRIVEN MODEL :										
駆動パターン RUNNING MODE	減速逆転機 クラッチ R/G CLUTCH	主機前 クラッチ P.T.O. CLUTCH	連続使用回避回転域 BARRED SPEED RANGE							
計算番号 CALCULATION SHEET NO.			回避回転域 RANGE (min ⁻¹)	危険次数 ORDER						
航海時 SEA GOING	嵌 ON	無 NOTHING	無 NOTHING	一節一次 NODE — ORDER —						
D3-51695-390B (2/9~5/9)										
航海時 (NO.1 気筒減筒) NO.1 CYL. MISS FIRING CONDITION	嵌 ON	無 NOTHING	無 NOTHING	一節一次 NODE — ORDER —						
D3-51695-390B (6/9~9/9)										
中立時 NEUTRAL	脱 OFF	無 NOTHING	無 NOTHING	一節一次 NODE — ORDER —						
D3-51695-391B (2/4~4/4)										
【注 記】 【CAUTION】 1. <u>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> <u>FOR THE STRESS AND TORQUE IN THE NORMAL USING SPEED RANGE.</u>										
船 級 : RULE : NK			YANMAR CO.,LTD. 特機エンジン統括部 開発部 システム開発部 LARGE POWER PRODUCTS OPE. BUSINESS DEVELOPMENT DIV. ENGINEERING DIV., MARINE							
工事番号 : WORK NO. : R4B54801/54901 図面番号 : DRAW NO. : D3-51695-390B/391B			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">リーダー SEC. MANAGER</td> <td style="text-align: center;">検 図 CHECKED</td> <td style="text-align: center;">設 計 DESIGNED</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><i>H. Onogaki</i></td> <td style="text-align: center;"><i>T. Ito</i></td> <td style="text-align: center;"><i>S. Nishimatsu</i></td> </tr> </table>		リーダー SEC. MANAGER	検 図 CHECKED	設 計 DESIGNED	<i>H. Onogaki</i>	<i>T. Ito</i>	<i>S. Nishimatsu</i>
リーダー SEC. MANAGER	検 図 CHECKED	設 計 DESIGNED								
<i>H. Onogaki</i>	<i>T. Ito</i>	<i>S. Nishimatsu</i>								

機 関 要 目 ENGINE DATA

機関形式 ENGINE MODEL : 6 EY26W

定格出力 RATED OUTPUT : 1920 W 定格回転数 RATED SPEED : 750 min⁻¹

図示平均有効圧力 MEAN INDICATED PRESSURE : 2.637 MPa

気筒数 NO. OF CYLINDER : 6 着火順序 FIRING ORDER : 1-3-5-6-4-2

シリンダ径 CYLINDER BORE : 26.0 cm ストローク STROKE : 38.5 cm

減速逆転機形式 R/G MODEL : Scana Volda A.S. ACG68/525/PF500-1

減速比 R/G RATIO : 3.488

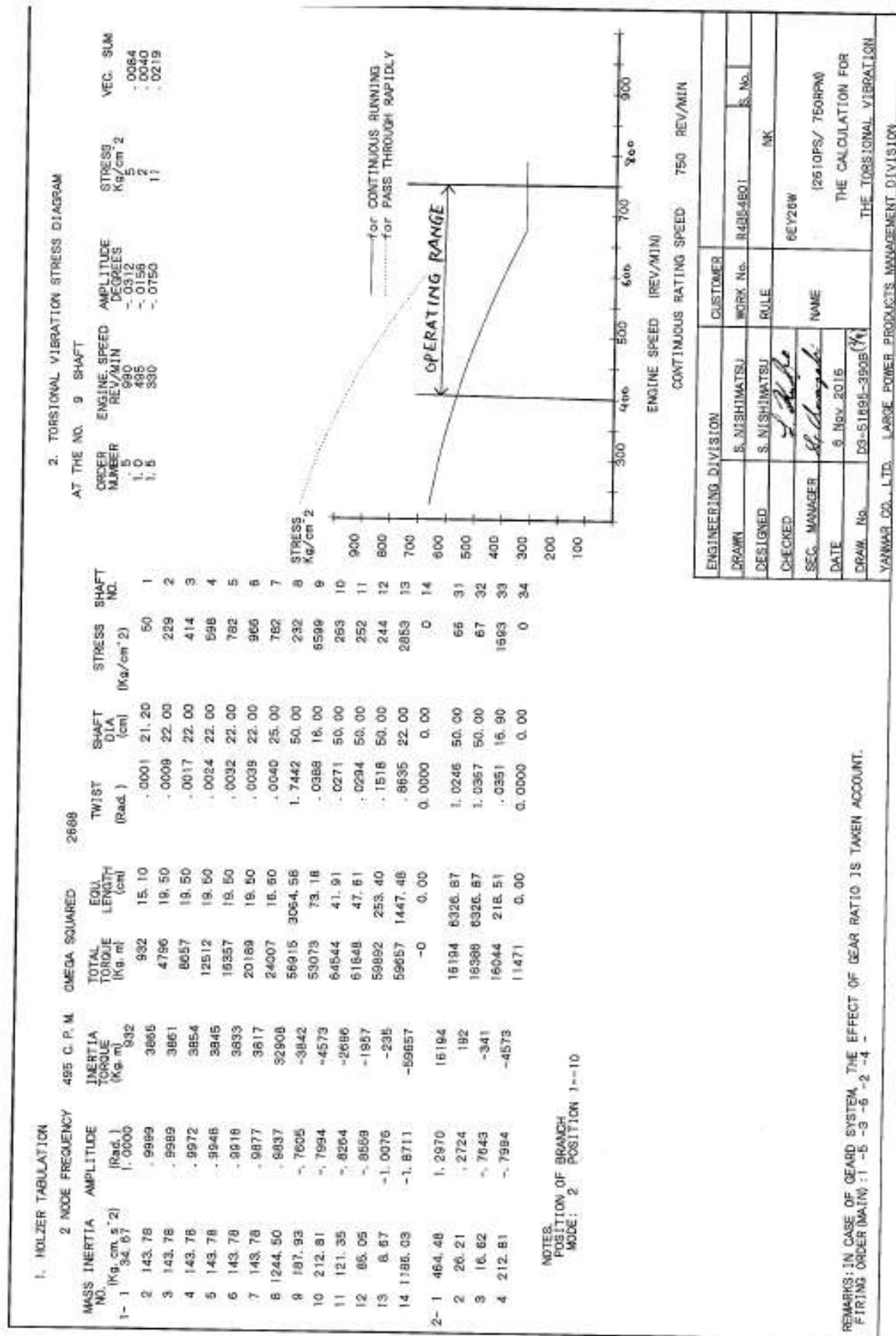
弾性継手形式 ELASTIC COUPLING MODEL : RATO-S G2911-BR2300 (For Propeller)
RATO-R K4925-BR2900 (For Shaft Generator)

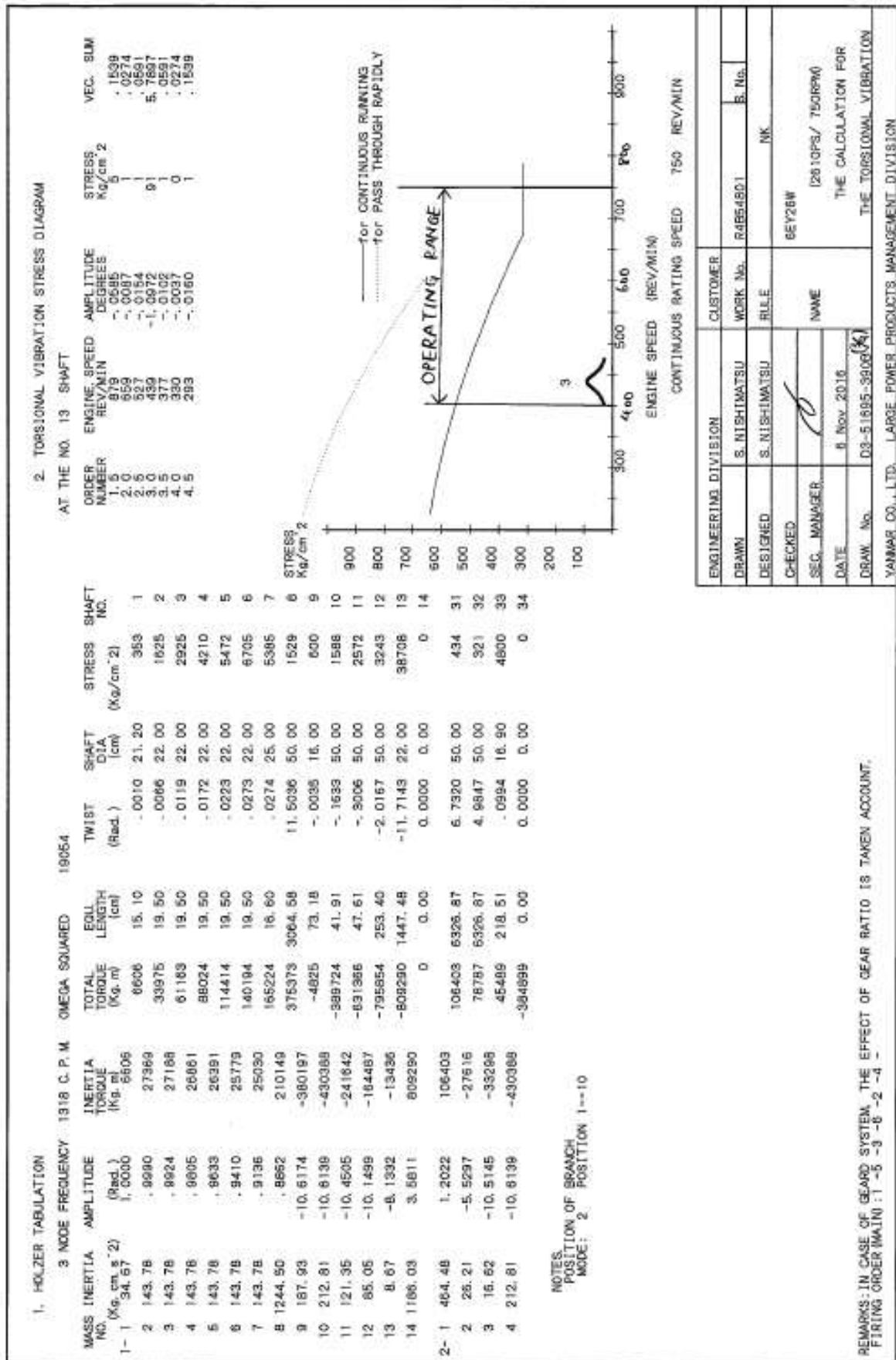
計算モード : 航行モード

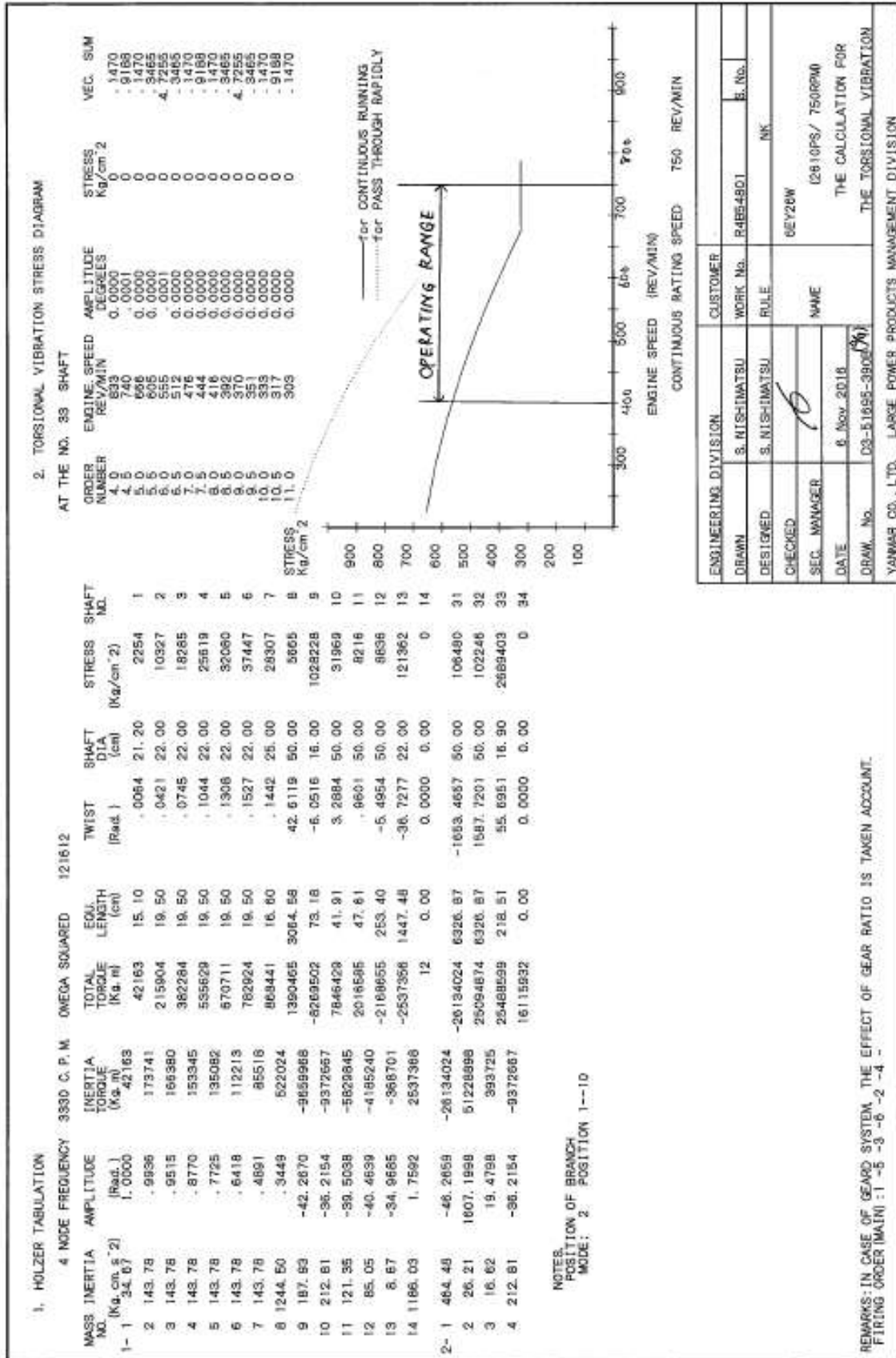
Calculation Mode : Sea Going

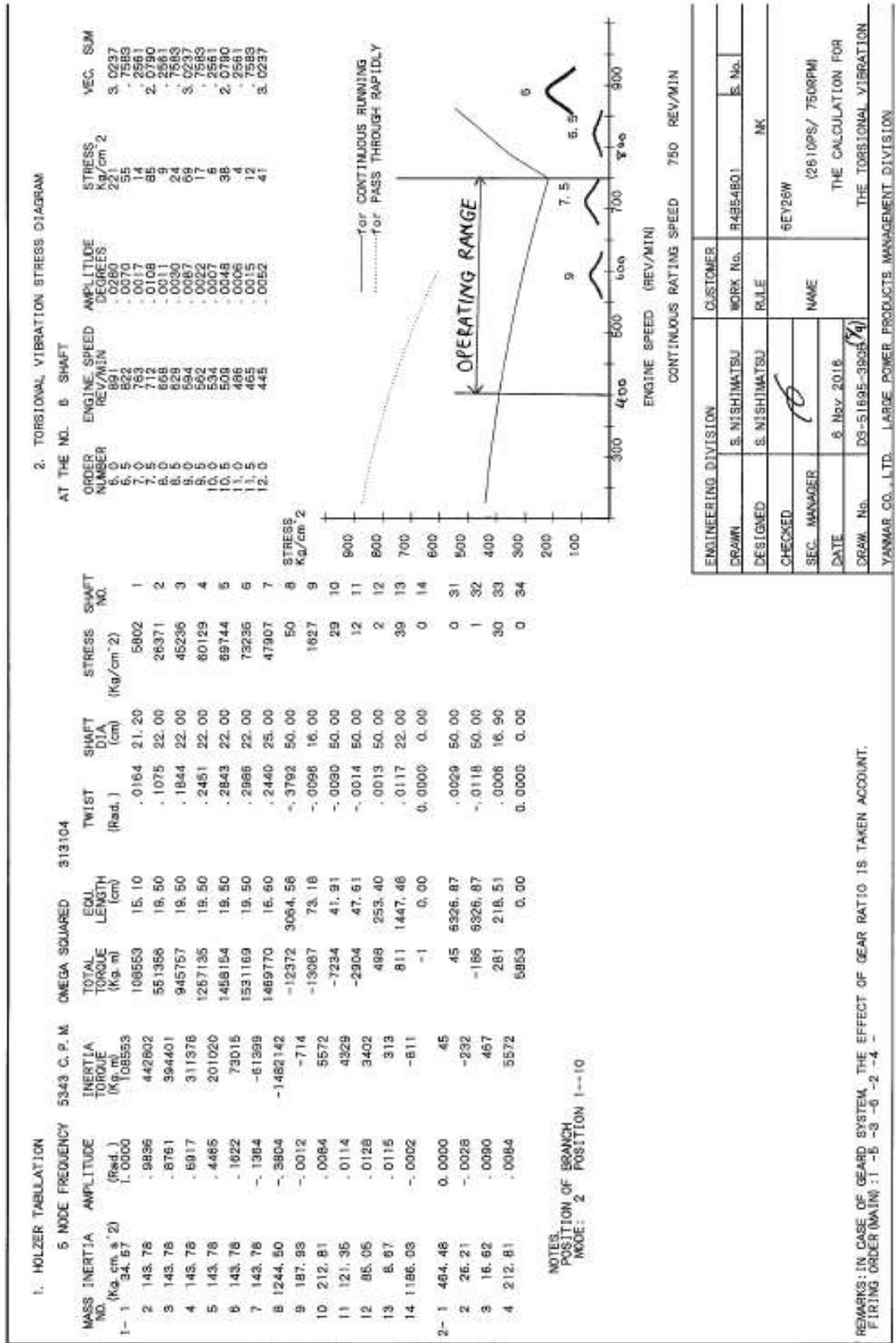
マス番号 MASS NO.	マス名称 MASS NAME	慣性モーメント INERTIA (kg・cm・s ²)	等価長 EQE. LENGTH (cm)	最小軸径 SHAFT DIA. (cm)	減速比 REDUC. RATIO
1-1	Engine Gears	34.67	15.10	21.20	1.00
1-2	Piston	143.78	19.50	22.00	1.00
1-3	Piston	143.78	19.50	22.00	1.00
1-4	Piston	143.78	19.50	22.00	1.00
1-5	Piston	143.78	19.50	22.00	1.00
1-6	Piston	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
1-10	Reduction Gear Input Shaft	212.81	41.91	50.00	1.00
1-11	Clutch	121.35	47.61	50.00	1.00
1-12	Gear	85.05	258.40	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	Elastic Coupling	16.62	218.51	16.90	0.495
2-4	Gear	212.81	—	—	—

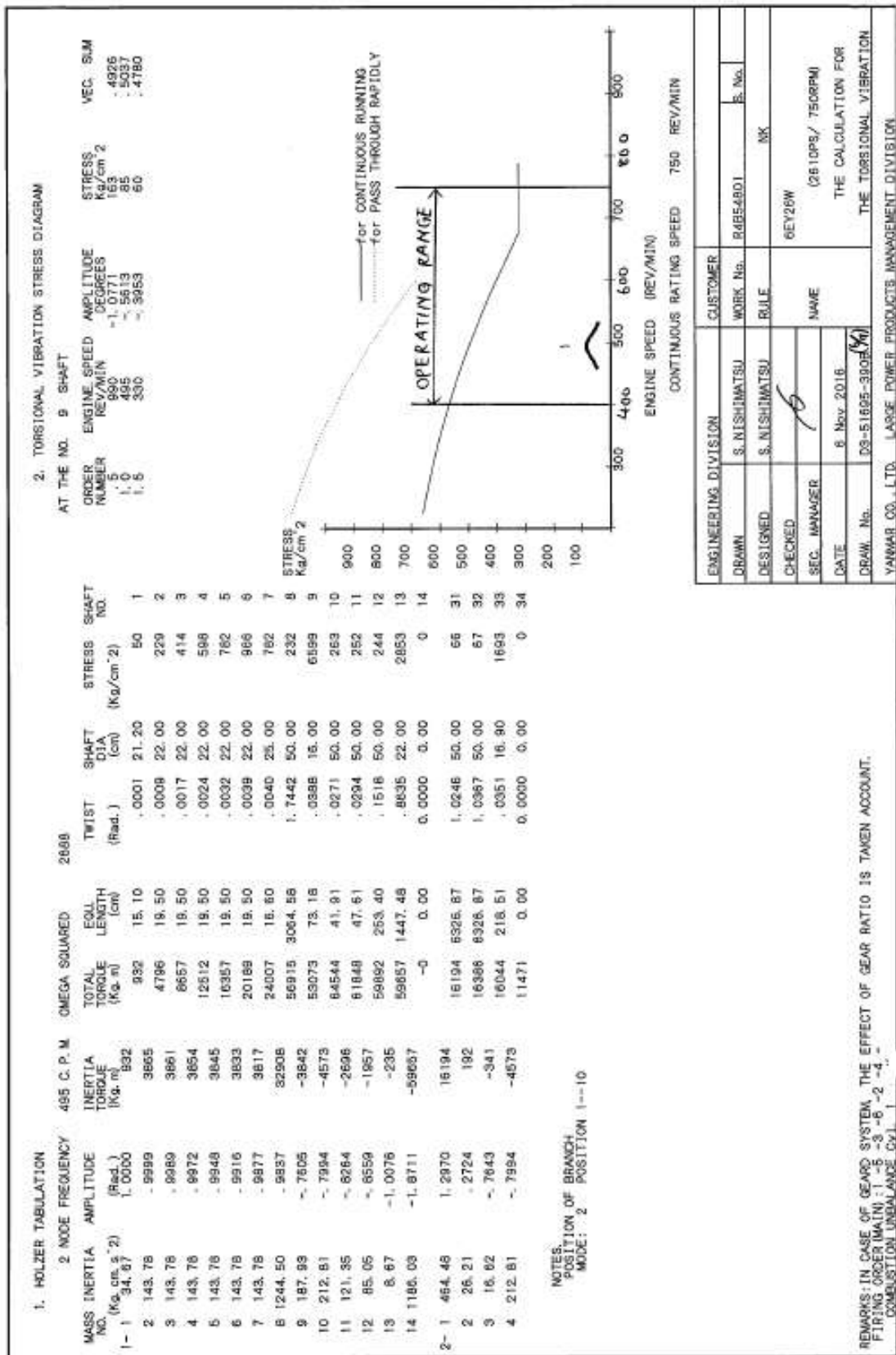
DRAW NO. : D3-51695-390B (1/9)

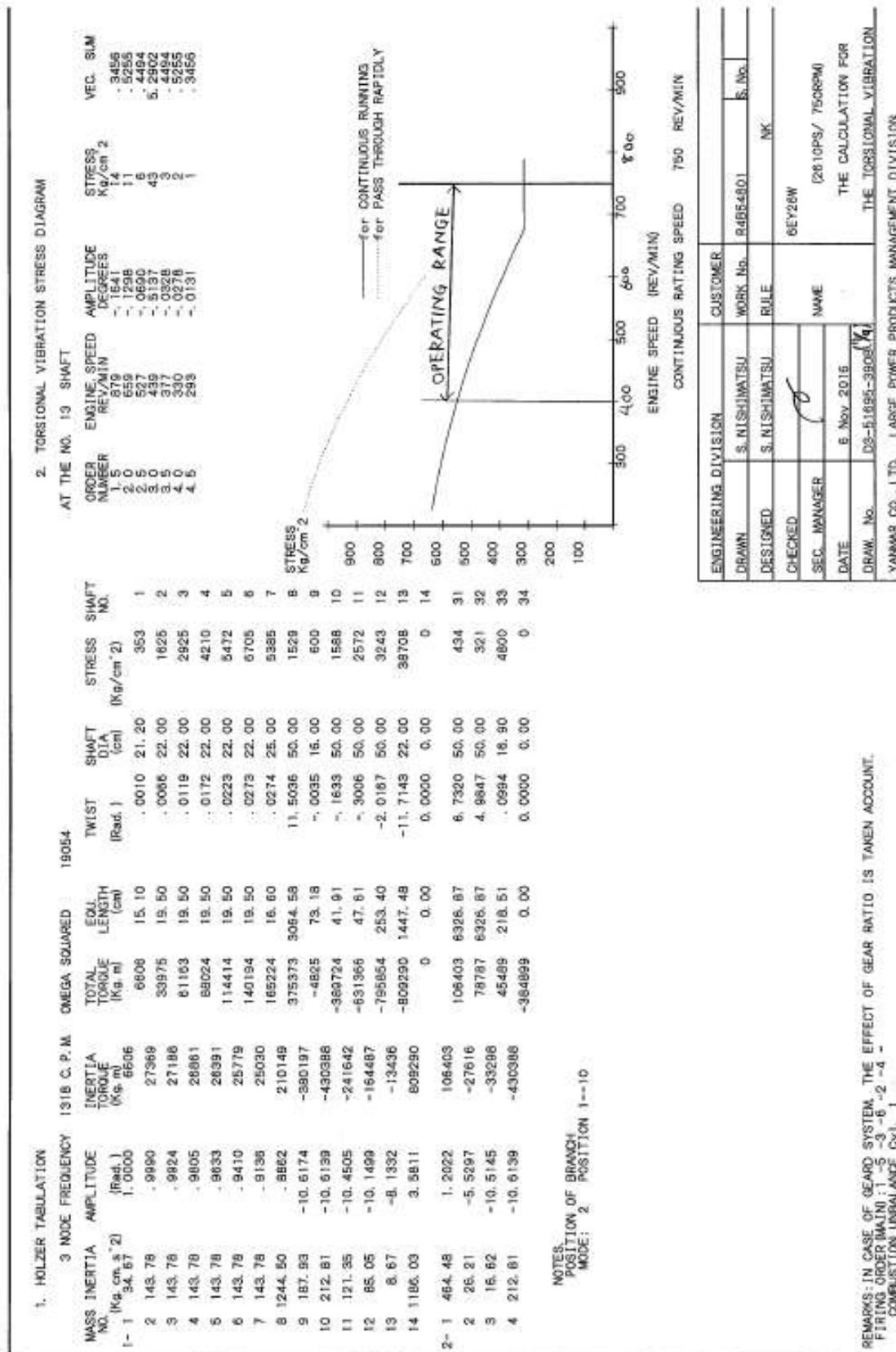


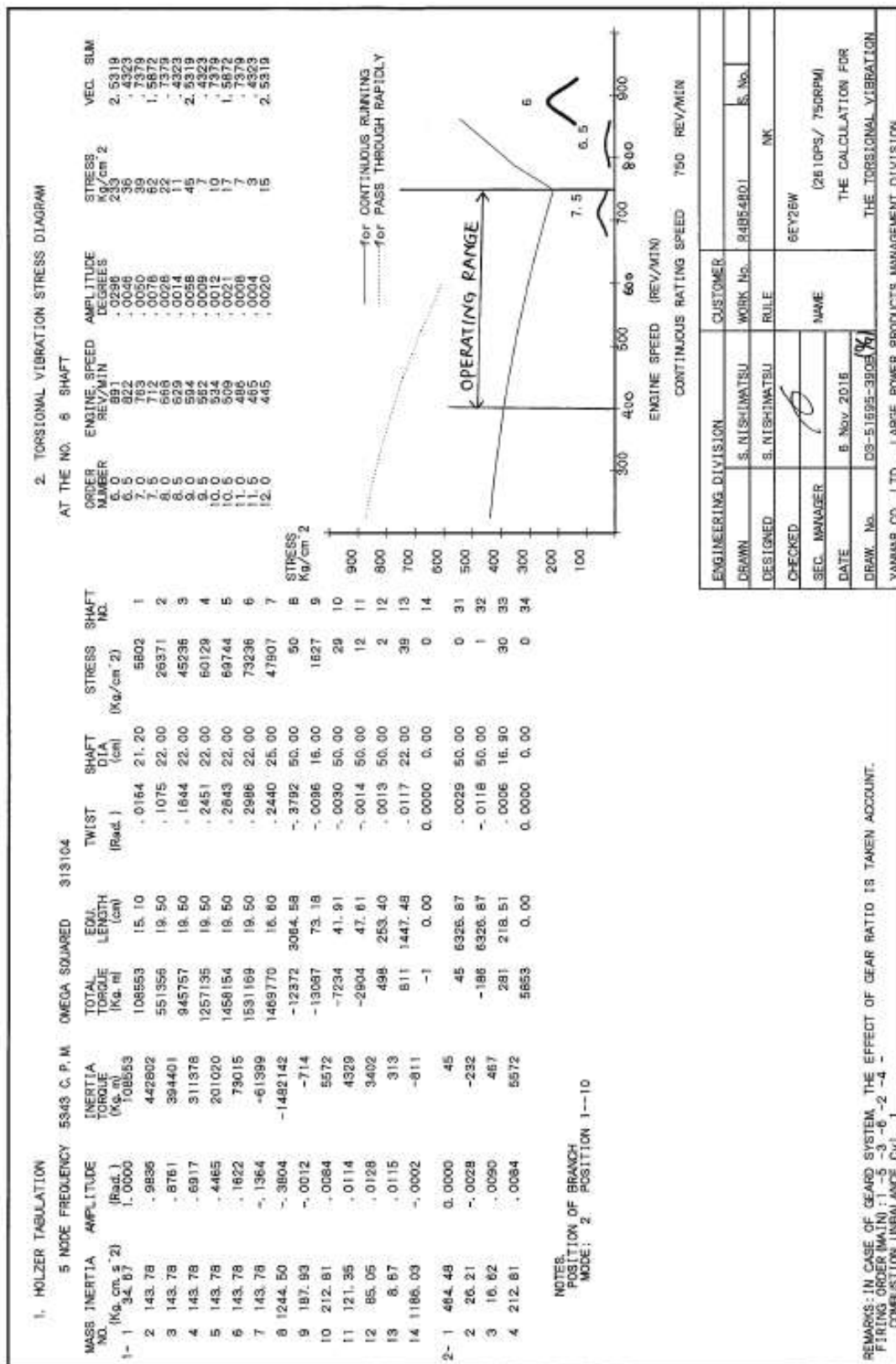










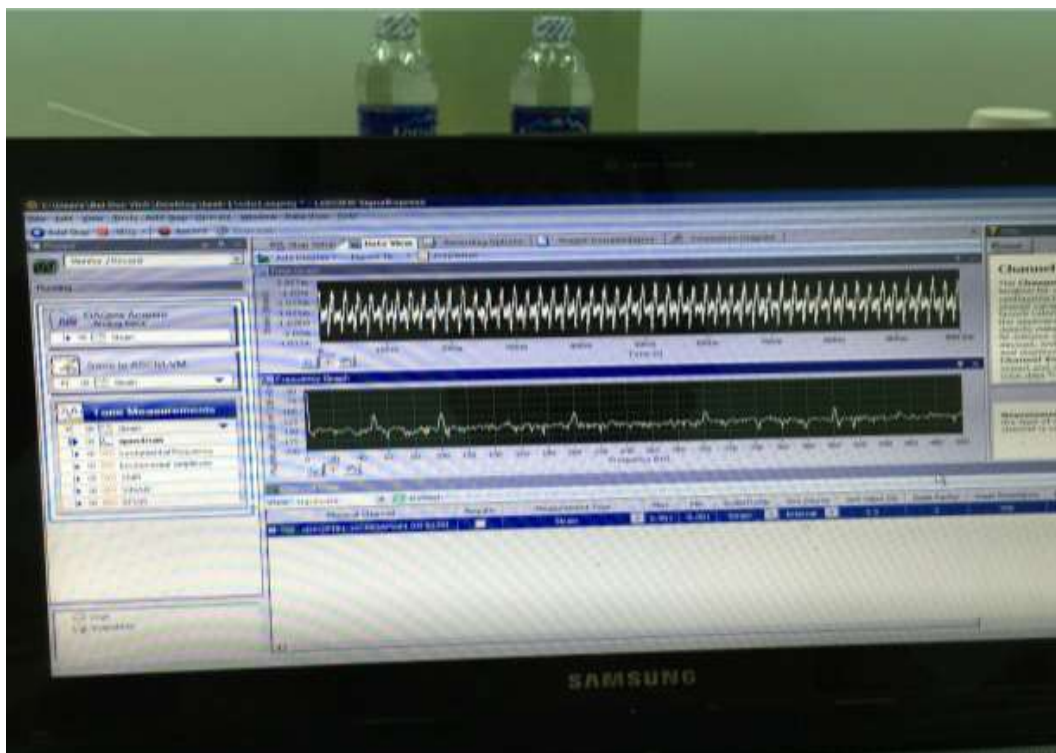


PHỤ LỤC 3

MỘT SỐ HÌNH ẢNH HIỆU CHUẨN, LẮP ĐẶT VÀ THỰC NGHIỆM



Hình PL3-1 Kiểm tra tính đáp ứng của tem dán biến dạng



Hình PL3-2 Hiệu chuẩn tem dán biến dạng



Hình PL3-3 Tổ hợp diesel lai máy phát có hoán cải đường trục tại PTN



Hình PL3-4 Chế độ thử nghiệm tại vòng quay 1500 v/ph tại tải 100 A



Hình PL3-5 Thực nghiệm chế độ không cháy một xy lanh tại PTN



Hình PL3-6 Vệ sinh trục trung gian để dán tem biến dạng xoắn



Hình PL3-7 Lắp đặt thiết bị đo MMX trên trục trung gian



Hình PL3-8 Thực nghiệm đo tín hiệu biến dạng xoắn tại tàu



Hình PL3-9 Ghi lưu dữ liệu tín hiệu MMX trên trực trung gian

PHỤ LỤC 4

KẾT QUẢ ĐO MÔ-MEN XOẮN TẠI TÀU KIỂM NGU' KN168

```

LabVIEW Measurement
Writer_Version          2
Reader_Version          2
Separator               Tab
Decimal_Separator       .
Multi_Headings          Yes
X_Columns               One
Time_Pref               Absolute
Operator                Hoang Van Si
Description              Measurements 2 channel -strain gauge (TV+Axial)
Date                    5/30/2017
Time                    07:39.5

```

End_of_Header

```

Channels                2
Samples                 4186          4186
Date                    5/30/2017      5/30/2017
Time                    07:47.3        07:47.3
Y_Unit_Label           Strain          Strain
X_Dimension            Time           Time
X0                      0.00E+00      0.00E+00
Delta_X                 0.0002        0.0002

```

End_of_Header

#SAMPLES	X_Value	Strain_0	Strain_1	Comment
1	0	-0.026155	0.001495	
2	0.0002	-0.026153	0.001494	
3	0.0004	-0.026153	0.001494	
4	0.0006	-0.026152	0.001496	
5	0.0008	-0.026154	0.001496	
6	0.001	-0.026152	0.001496	
7	0.0012	-0.026153	0.001495	
8	0.0014	-0.026153	0.001494	
9	0.0016	-0.026154	0.001494	
10	0.0018	-0.026153	0.001496	
11	0.002	-0.026153	0.001495	
12	0.0022	-0.026154	0.001496	
13	0.0024	-0.026156	0.001496	
14	0.0026	-0.026154	0.001495	
15	0.0028	-0.026155	0.001494	
16	0.003	-0.026155	0.001495	
17	0.0032	-0.026153	0.001494	
18	0.0034	-0.026154	0.001495	
19	0.0036	-0.026154	0.001495	
20	0.0038	-0.026156	0.001495	

21	0.004	-0.026155	0.001496
22	0.0042	-0.026155	0.001496
23	0.0044	-0.026156	0.001496
24	0.0046	-0.026158	0.001495
25	0.0048	-0.026157	0.001496
26	0.005	-0.026158	0.001496
27	0.0052	-0.026159	0.001495
28	0.0054	-0.026156	0.001496
29	0.0056	-0.026158	0.001495
30	0.0058	-0.026157	0.001496
31	0.006	-0.026157	0.001496
32	0.0062	-0.026157	0.001496
33	0.0064	-0.026158	0.001494
34	0.0066	-0.026159	0.001496
35	0.0068	-0.026157	0.001495
36	0.007	-0.026158	0.001495
37	0.0072	-0.026158	0.001497
38	0.0074	-0.026161	0.001495
39	0.0076	-0.026159	0.001496
40	0.0078	-0.026161	0.001495
41	0.008	-0.026159	0.001496
42	0.0082	-0.026161	0.001495
43	0.0084	-0.026161	0.001496
44	0.0086	-0.026159	0.001496
45	0.0088	-0.02616	0.001495
46	0.009	-0.026162	0.001495
47	0.0092	-0.026161	0.001495
48	0.0094	-0.026163	0.001495
49	0.0096	-0.026164	0.001495
50	0.0098	-0.026164	0.001494
51	0.01	-0.026165	0.001495
52	0.0102	-0.026165	0.001495
53	0.0104	-0.026163	0.001495
54	0.0106	-0.026164	0.001496
55	0.0108	-0.026164	0.001494
56	0.011	-0.026164	0.001495
57	0.0112	-0.026165	0.001495
58	0.0114	-0.026165	0.001495
59	0.0116	-0.026164	0.001495
60	0.0118	-0.026165	0.001496
61	0.012	-0.026166	0.001495
62	0.0122	-0.026164	0.001495
63	0.0124	-0.026165	0.001496
64	0.0126	-0.026164	0.001495
65	0.0128	-0.026165	0.001496
66	0.013	-0.026166	0.001496
67	0.0132	-0.026165	0.001495
68	0.0134	-0.026168	0.001496

69	0.0136	-0.026165	0.001496
70	0.0138	-0.026166	0.001496
71	0.014	-0.026166	0.001496
72	0.0142	-0.026167	0.001496
73	0.0144	-0.026168	0.001495
74	0.0146	-0.026168	0.001496
75	0.0148	-0.026168	0.001495
76	0.015	-0.026167	0.001495
77	0.0152	-0.026169	0.001495
78	0.0154	-0.026169	0.001496
79	0.0156	-0.026169	0.001496
80	0.0158	-0.026169	0.001495
81	0.016	-0.026169	0.001496
82	0.0162	-0.02617	0.001495
83	0.0164	-0.026169	0.001496
84	0.0166	-0.026169	0.001496
85	0.0168	-0.026169	0.001495
86	0.017	-0.026168	0.001496
87	0.0172	-0.026168	0.001495
88	0.0174	-0.026167	0.001496
89	0.0176	-0.026167	0.001497
90	0.0178	-0.026168	0.001496
91	0.018	-0.026168	0.001497
92	0.0182	-0.026169	0.001495
93	0.0184	-0.026168	0.001496
94	0.0186	-0.02617	0.001495
95	0.0188	-0.02617	0.001496
96	0.019	-0.026168	0.001494
97	0.0192	-0.026169	0.001496
98	0.0194	-0.02617	0.001494
99	0.0196	-0.026168	0.001497
100	0.0198	-0.026169	0.001496
101	0.02	-0.026168	0.001496
102	0.0202	-0.02617	0.001496
103	0.0204	-0.026169	0.001496
104	0.0206	-0.026168	0.001495
105	0.0208	-0.02617	0.001495
106	0.021	-0.026169	0.001496
107	0.0212	-0.026169	0.001496
108	0.0214	-0.026169	0.001498
109	0.0216	-0.026168	0.001494
110	0.0218	-0.026166	0.001495
111	0.022	-0.026168	0.001496
112	0.0222	-0.026167	0.001496
113	0.0224	-0.026167	0.001497
114	0.0226	-0.026168	0.001495
115	0.0228	-0.026166	0.001496

.....
.....

4147	0.8292	-0.026154	0.001496
4148	0.8294	-0.026156	0.001495
4149	0.8296	-0.026154	0.001496
4150	0.8298	-0.026156	0.001496
4151	0.83	-0.026151	0.001495
4152	0.8302	-0.026154	0.001496
4153	0.8304	-0.026154	0.001494
4154	0.8306	-0.026153	0.001495
4155	0.8308	-0.026155	0.001498
4156	0.831	-0.026153	0.001496
4157	0.8312	-0.026154	0.001496
4158	0.8314	-0.026154	0.001494
4159	0.8316	-0.026155	0.001497
4160	0.8318	-0.026152	0.001496
4161	0.832	-0.026153	0.001496
4162	0.8322	-0.026151	0.001494
4163	0.8324	-0.026153	0.001496
4164	0.8326	-0.026153	0.001495
4165	0.8328	-0.026154	0.001494
4166	0.833	-0.026152	0.001496
4167	0.8332	-0.026153	0.001495
4168	0.8334	-0.026151	0.001496
4169	0.8336	-0.026153	0.001494
4170	0.8338	-0.026152	0.001495
4171	0.834	-0.026152	0.001496
4172	0.8342	-0.026153	0.001495
4173	0.8344	-0.026152	0.001495
4174	0.8346	-0.026153	0.001495
4175	0.8348	-0.026152	0.001495
4176	0.835	-0.026152	0.001495
4177	0.8352	-0.026152	0.001495
4178	0.8354	-0.026151	0.001495
4179	0.8356	-0.026151	0.001495
4180	0.8358	-0.02615	0.001495
4181	0.836	-0.026154	0.001497
4182	0.8362	-0.026153	0.001496
4183	0.8364	-0.026153	0.001495
4184	0.8366	-0.026153	0.001495
4185	0.8368	-0.026154	0.001495
4186	0.837	-0.026153	0.001496