

Phân tích dao động máy phát điện đồng trục PTO trong hệ thống đẩy tàu thủy dạng lai

Lê Đình Tuân^{1,2,*}, Ngô Thịnh Duy³, Trần Hải^{1,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUT)

²Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh (VNU-HCMC), Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Công Ty TNHH VARD Vũng Tàu, Khu Công nghiệp Đông Xuyên, Thành phố Vũng Tàu, Việt Nam

Liên hệ

Lê Đình Tuân, Khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUT)

Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh (VNU-HCMC), Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: tuan-ledinh@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 08-10-2023
- Ngày chấp nhận: 23-11-2023
- Ngày đăng:

DOI:



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Hệ thống đẩy tàu thủy dạng lai bao gồm nguồn lực đẩy cơ và điện trên cùng một hệ thống truyền động. Do đó, hiệu suất đẩy được tối ưu hóa và đáp ứng nhu cầu năng lượng thay đổi một cách nhanh chóng và linh hoạt cả về năng lượng cơ học được cung cấp bởi động cơ diesel và / hoặc năng lượng điện thông qua động cơ điện có tốc độ thay đổi được. Sự kết hợp này dẫn đến sự vận hành hệ thống động lực tàu linh hoạt hơn, giúp cung cấp chính xác công suất và mô-men xoắn cần thiết trong tất cả các chế độ hoạt động của tàu và với các chế độ hoạt động khác nhau. Hiện nay, có ít nghiên cứu về dao động của hệ thống đẩy dạng lai trong hệ thống động lực của tàu đóng mới. Dựa trên đo lường thực nghiệm, bài báo nhằm đến việc trình bày một quy trình chung về đo dao động, xử lý dữ liệu, phân tích và đánh giá dao động của máy phát điện đồng trục PTO (Power Take Off generator) trong một chế độ hoạt động của hệ thống đẩy lai như vậy khi tiến hành thử nghiệm tàu trên biển. Một nghiên cứu điển hình cho một tàu được mô tả chi tiết để kiểm tra quy trình đề xuất. Các phân tích tần số được thực hiện trong phạm vi từ 2 đến 100 Hz và so sánh với các tiêu chuẩn liên quan của Hiệp hội Đăng kiểm Na Uy và Đức (DNV - GL, Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd) và cả tiêu chuẩn ISO 10816-3 để đánh giá khả năng chấp nhận mức độ dao động trong các thử nghiệm tàu trên biển. Kết quả từ nghiên cứu này cũng cung cấp một quy trình tin cậy để kiểm tra và đánh giá độ dao động của máy phát điện đồng trục tìm thấy trong bất kỳ hệ thống đẩy tàu dạng lai nào.

Từ khoá: Máy phát điện đồng trục, hệ thống đẩy tàu dạng lai, ISO10816-3, Fast Fourier Transform (FFT)

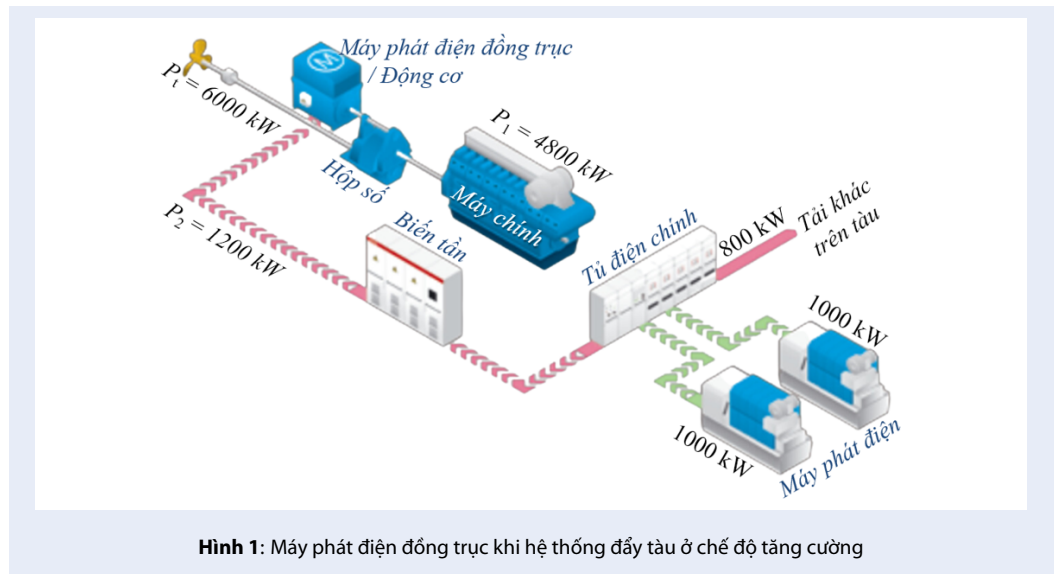
1 GIỚI THIỆU

2 Các hệ thống đẩy tàu dạng lai đã ngày càng phổ biến
3 hơn khi các hệ thống điện và thiết bị cung cấp điện
4 được tích hợp nhiều hơn vào vận tải hàng hải trong
5 vài thập kỷ qua. Lợi ích mà chúng mang lại bao gồm
6 cải thiện việc tuân thủ các quy định quốc tế về tiêu thụ
7 nhiên liệu tàu và phát thải khí nhà kính, tăng cường
8 tính linh hoạt và độ tin cậy cũng như giảm chi phí vận
9 hành và bảo trì^{1,2}.

10 Tuy nhiên, vẫn còn một số lo ngại về sự an toàn và ổn
11 định của các hệ thống lai đa năng lượng trang bị cho
12 các tàu. Đặc biệt, hệ thống động cơ tàu dạng lai, được
13 sử dụng rộng rãi ở giai đoạn hiện nay, có cấu trúc phức
14 tạp hơn với hộp số, nhiều khớp nối đàn hồi và nhiều
15 trục truyền động có nhiều chi nhánh truyền tải. Với
16 tiêu chuẩn lượng khí thải tàu đóng mới với ngưỡng
17 hạn chế cho tiếng ồn và dao động tàu, ngành vận tải
18 biển đã đưa ra yêu cầu cao hơn về tiết kiệm năng lượng
19 và giảm phát thải cùng, đặc biệt với hệ thống động lực
20 có mức tiếng ồn và dao động thấp³. Dao động của hệ
21 thống đẩy tàu ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất và
22 độ an toàn của tàu. So với hệ thống đẩy tàu truyền
23 thống, hệ thống đẩy dạng lai có nhiều bộ phận hơn

với đặc tính dao động, nguồn kích thích dao động và
cơ chế dao động của hệ thống phức tạp hơn. Do đó,
việc nghiên cứu cơ chế dao động và phương pháp tính
toán của hệ thống động cơ lai điện có ý nghĩa rất lớn.
Nghiên cứu này trình bày một cái nhìn chi tiết trong
việc triển khai đo và phân tích dao động máy phát điện
đồng trục PTO tích hợp trong một hệ thống đẩy dạng
lai cho tàu đóng mới khi thử đường dài. Kết quả đo
dao động, phân tích và đánh giá nhằm đến yêu cầu
về kiểm soát dao động tàu thủy do hệ thống động lực
tàu thủy gây ra. Bài báo này đề cập chính đến máy
phát điện đồng trục (Hình 1) được kiểm soát dao động
theo tiêu chuẩn ISO10816-3⁴ trên cơ sở sử dụng quy
chuẩn kỹ thuật kiểm tra bởi Hiệp hội Đăng kiểm Na
Uy và Đức (DNV - GL) theo Phần 4, Chương 4, Mục
8.2.1⁵. Máy phát điện đồng trục này khi phối hợp với
động cơ chính và máy phát điện phụ tạo nên nhiều
chế độ hoạt động: động cơ chính lai cả chân vịt và
máy phát điện đồng trục, máy phát điện phụ lai động
cơ điện để lai chân vịt, động cơ chính lai chân vịt cùng
với động cơ điện được lai bằng máy phát điện phụ (chế
độ tăng cường),...⁶

Trích dẫn bài báo này: Tuân L D, Duy N T, Hải T. **Phân tích dao động máy phát điện đồng trục PTO trong hệ thống đẩy tàu thủy dạng lai.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2023; (1):1-10.



Hình 1: Máy phát điện đồng trục khi hệ thống đẩy tàu ở chế độ tăng cường

ĐO VÀ PHÂN TÍCH DAO ĐỘNG

Tiêu chuẩn đánh giá dao động

Trong các yêu cầu về kiểm soát dao động tàu thủy do hệ thống động lực tàu thủy gây ra⁷ (động cơ, máy phát điện...), tiêu chuẩn ISO 10816-3⁴ quy định rõ mức vận tốc dao động cho phép. Tiêu chuẩn hướng dẫn này đánh giá mức độ dao động trong máy móc hoạt động trong phạm vi tần số 10 đến 200Hz (tương đương 600 đến 12.000 RPM) nhờ vào một biểu đồ giới hạn vận tốc theo cấp máy (theo công suất) kết hợp với các yếu tố khác (độ cứng vững của đế máy) để đánh giá mức độ dao động tổng thể của máy. Đơn cử, một máy phát điện được kiểm soát dao động theo tiêu chuẩn này trên cơ sở sử dụng quy chuẩn kỹ thuật kiểm tra DNV GL Pt.4 Ch.4 Sec.8.2.1⁵ (Đăng kiểm Na Uy - Đức), chi tiết hơn:

Đo dao động trên máy phát điện trích lực từ trục chính của máy chính thông qua hộp số được tiến hành tại các cấp tốc độ tương đương 90%, 100% và (tối thiểu) 105% so với máy phát không tải và đo khi tàu ở trạng thái ổn định. Việc đo dao động được thực hiện gắn cả hai ổ đỡ đầu cuối theo phương đứng, ngang và dọc trục. Tần số phân tích được khảo sát trong khoảng 2 đến 100 Hz⁵.

Trừ khi có hướng dẫn khác bởi nhà sản xuất và được chấp nhận bởi các cơ quan kiểm định, các mức vận tốc dao động không được vượt quá các giá trị sau⁵:

- Đối với chế độ chạy liên tục lâu dài, tức ở 90% và 100% tốc độ máy phát:

- 4.5 mm/s RMS (căn quân phương) tại mỗi thành phần tần số đối với dao động gây ra bởi các nguồn nội tại;

- 7.1 mm/s RMS tại mỗi thành phần tần số đối với dao động gây ra bởi các nguồn bên ngoài (hoạt động cầu hàng, thông gió...).
- Đối với chế độ chạy giới hạn, tức ở 105% tốc độ máy phát:
- 7.1 mm/s RMS tại mỗi thành phần tần số đối với dao động gây ra bởi các nguồn bên ngoài.

- Dao động gây ra bởi các nguồn nội tại là các nguồn dao động từ máy phát điện, khớp nối trục giữa máy phát với hộp số. Điều đó có nghĩa là với các tần số bậc nhất và bậc hai của tần số quay máy phát cũng như các dao động tương tác cộng hưởng với dao động xoắn và dao động dọc trục.

- Các giá trị giới hạn dao động xác định theo ISO 10816-3:2009 (Hình 2), theo đó việc đánh giá dao động máy được thực hiện bằng cách đo dao động trên các chi tiết không quay (ví dụ: đế máy, bộ động cơ gắn với thân vỏ tàu...) và so sánh với các mức giới hạn đưa ra. Tiêu chuẩn này chuyên áp dụng cho máy móc công nghiệp với công suất trên 15 kW với dải tốc độ từ 120 vòng/phút đến 15000 vòng/phút⁴. Danh mục này bao gồm các động cơ công nghiệp phổ biến, máy bơm, máy phát điện, máy nén quay, máy thổi và quạt, và một số loại tuabin.

Đo dao động máy phát trên trục

Các thiết lập hệ thống đo dao động và quy trình thử nghiệm được thực hiện liên quan đến máy phát điện đồng trục để đánh giá ứng xử dao động của riêng máy phát và của cả ảnh hưởng các máy móc liên quan đến máy phát này (hộp giảm tốc, động cơ chính,...). Sau đó chuyển sang mô tả mức độ dao động với các phổ

ISO 10816-3		Group 1		Group 2	
		Large machines 300 kW < power < 50 MW		Medium machines 15 kW < power < 300 kW	
in/sec peak	mm/sec rms	Motor height >315 mm		Motor height 160 mm < height < 315 mm	
0.61	11.0				
0.39	7.1		Damage occurs		
0.25	4.5		Restricted operation		
0.19	3.5				
0.16	2.8				
0.13	2.3		Unrestricted operation		
0.08	1.4				
0.04	0.7	Newly commissioned machinery			
0.00	0.0				
Foundation		Rigid	Flexible	Rigid	Flexible

Hình 2: ISO 10816-3 áp dụng theo nhóm máy và loại bộ máy

109 dao động của gia tốc, vận tốc theo thời gian được đo
 110 trong suốt thử nghiệm, và sau đó kết thúc với một
 111 phân tích về các quan sát quan trọng nhất liên quan
 112 đến thử nghiệm thông qua các phổ tần số của vận tốc
 113 dao động.

114 **Thiết lập hệ thống đo dao động**

115 Để đánh giá dao động máy phát trên trục cần đến
 116 một loạt các phần cứng và phần mềm phân tích trong
 117 hệ thống đo dao động, như minh họa trong Hình 3.
 118 Thành phần chính của hệ thống đo này bao gồm các
 119 đầu dò gia tốc chịu trách nhiệm chuyển đổi dao động
 120 cơ học thành tín hiệu điện, bộ chuyển đổi tín hiệu
 121 tương tự - số với hệ thống thu thập dữ liệu số. Ngoài
 122 ra, một bộ phân tích dao động dưới dạng một phần
 123 mềm là cần thiết để thu thập và xử lý tín hiệu đo, phân
 124 tích dao động.

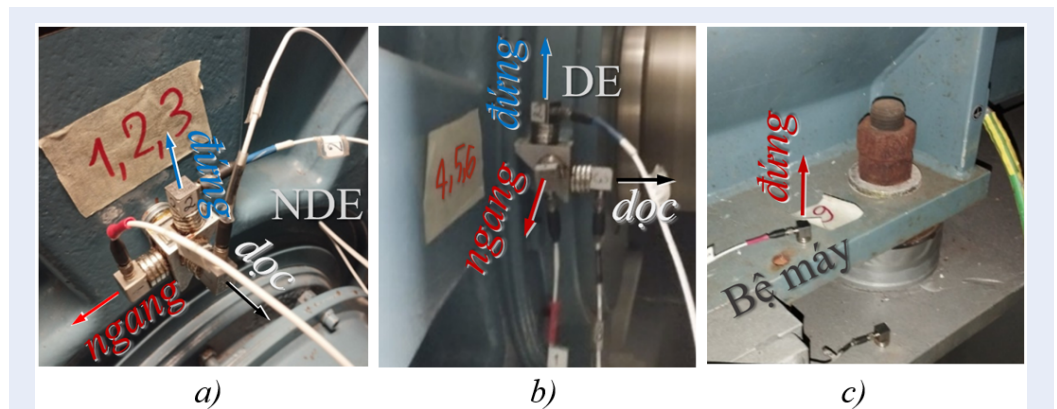
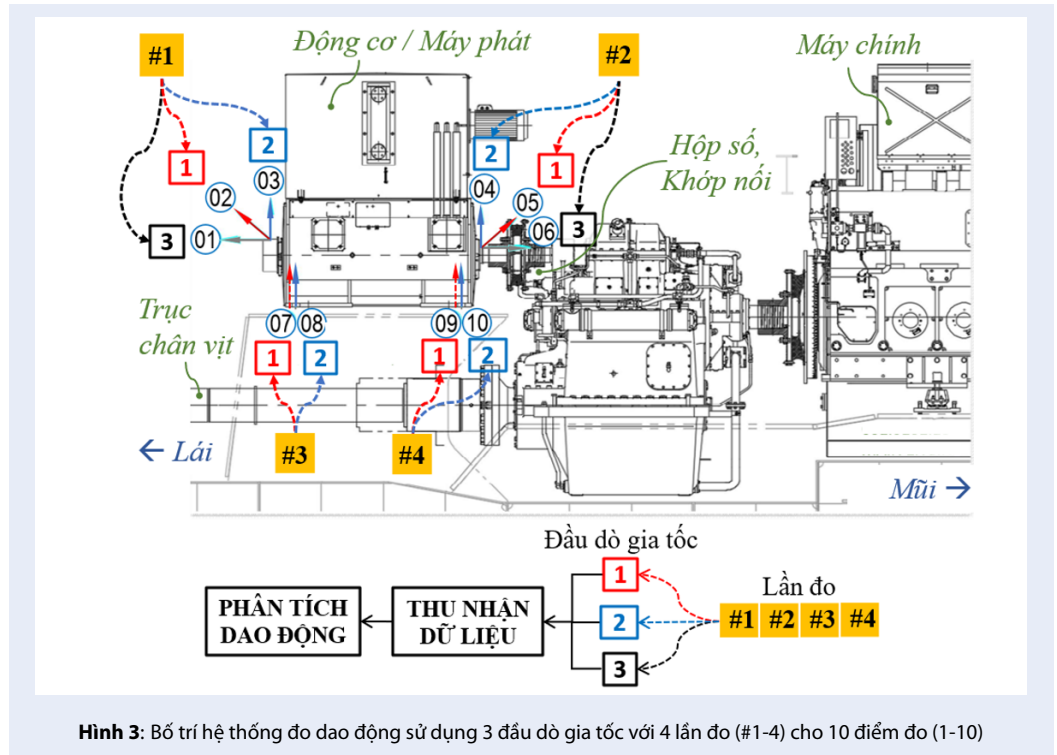
125 Vị trí đầu dò gia tốc tại vỏ ổ trục động cơ / máy phát
 126 về phía đuôi trục (NDE), tức điểm đo 1, 2, 3; tại vỏ
 127 ổ trục động cơ / máy phát về phía đầu trục (DE), tức
 128 điểm đo 4, 5, 6 và tại các điểm 7, 8, 9, 10 trên bộ máy
 129 (hoặc kết cấu đà máy) được thể hiện trong Hình 4. Vị
 130 trí điểm đo 1-6 được đề xuất tại Mục 8.2.1⁵ và điểm
 131 đo từ 7-10 thường bố trí như trên hay theo yêu cầu
 132 của các bên liên quan (tổ chức đăng kiểm, nhà máy
 133 đóng tàu).

134 **Thiết bị đo dao động**

135 Việc thu thập dữ liệu đo được thực hiện trên thiết bị
 136 đo dao động chuyên dùng với 4 kênh sử dụng 3 đầu
 137 dò gia tốc loại 333B40 và thiết bị thu thập dữ liệu, hiển
 138 thị như mô tả trong Bảng I.

139 **Đo dao động**

140 Đặc tính dao động của chức năng máy phát trên trục
 141 cần được đánh giá để hiểu sâu hơn về ứng xử dao động
 142 của nó. Các đặc tính dao động của máy phát trên
 143 trục được kiểm tra trong khi hoạt động ở điều kiện
 144 không tải và và đo khi tàu ở trạng thái ổn định. Thuật
 145 ngữ "không tải" ám chỉ một thử nghiệm trong đó các
 146 thông số điện áp, dòng điện và công suất của máy phát
 147 điện được đo mà không có tải. Điều này liên quan đến
 148 việc đo vận tốc dao động của vỏ ổ trục trên cả hai đầu
 149 trục truyền động (DE) và không truyền động (NDE)
 150 để đánh giá mức độ dao động của máy trong các tình
 151 huống khác nhau về tải, tốc độ. Ở phương pháp này,
 152 đầu dò gia tốc được sử dụng để kiểm tra mức độ dao
 153 động theo hướng mong muốn và được mô tả trong
 154 Hình 3. Kết nối các đầu dò này thông qua bộ thu thập
 155 dữ liệu với phần mềm được sử dụng như một chương
 156 trình phân tích để đo lường. Phổ vận tốc dao động
 157 được đo trong khoảng 2–100 Hz cũng là phạm vi dao
 158 động của máy được quan tâm.



Bảng 1: Thông số thiết bị đo

Thiết bị đo	Tên	Nhà sản xuất	Loại, đặc tính
Đầu dò dao động	Đầu dò gia tốc ICP	Công ty PCB - Mỹ	333B40, độ nhạy 504, 498, 463 mV/g
Thiết bị thu thập dữ liệu và hiển thị	Bộ thu thập dữ liệu đa kênh Phần mềm phân tích dao động	Công ty Measurement Computing - Mỹ	DT9837A độ phân giải 24-bit, tần số lấy mẫu max 52.7 kS/s/ch QuickDAQ ver. 3.7.0.46

159 Các vị trí đo bao gồm các điểm nằm gần nhất các
 160 ổ đỡ của máy phát điện (NDE và DE) và ở chân đế
 161 của động cơ (bộ máy) ứng với 4 lần đo #1, #2, #3,
 162 #4 trên Hình 3. Số lần đo phụ thuộc vào số đầu dò
 163 gia tốc được trang bị, tình trạng hiện tại của động cơ.
 164 Máy phát sẽ được đo dao động 3 lần ở 3 mức độ hoạt
 165 động khác nhau tùy theo công suất liên tục định mức
 166 (NCR) của động cơ chính bao gồm: 90% NCR, 100%
 167 NCR, 105% NCR, nghĩa là sẽ đo ở 3 mức tốc độ vòng
 168 quay là 90%, 100%, 105% so với tốc độ định mức của
 169 máy phát trên trục trong điều kiện không tải và khi tàu
 170 đang di chuyển với tốc độ ổn định và điều kiện hoạt
 171 động bình thường. Ở mỗi vị trí đo NDE, DE hay bộ
 172 máy cần phải thực hiện đo theo 3 phương: phương
 173 dọc tàu L (Longitudinal), phương ngang T (Trans-
 174 verse) và phương thẳng đứng V (Vertical). Đối với
 175 các vị trí ở chân động cơ chỉ đo theo phương thẳng
 176 đứng.
 177 Theo bố trí chung của hệ thống đẩy tàu, các giai đoạn
 178 đo được bố trí như sau: thiết bị đo dao động gồm có
 179 3 đầu dò gia tốc được đánh số từ 1 đến 3. Đầu dò số
 180 1 sẽ đo theo phương ngang tàu (T), đầu dò số 2 đo
 181 theo phương thẳng đứng (V), đầu dò số 3 sẽ đo theo
 182 phương dọc tàu (L).
 183 Ba lần đo dao động theo công suất liên tục định mức
 184 (NCR) của máy chính, cũng có nghĩa khi máy phát ở
 185 tốc độ ứng với 90%, 100% và 105% NCR theo 4 bước
 186 lần lượt (Hình 3):
 187 #1: Đo các điểm 1, 2, 3 (3 kênh đồng thời);
 188 #2: Đo các điểm 4, 5, 6 (3 kênh đồng thời);
 189 #3: Đo các điểm 7, 8 (2 kênh đồng thời);
 190 #4: Đo các điểm 9, 10 (2 kênh đồng thời).
 191 Thứ tự đo giữ các lần đo, điểm đo có thể điều chỉnh
 192 tùy theo điều kiện không gian, chế độ làm việc của
 193 máy chính, máy phát, thời gian di chuyển và gắn các
 194 đầu dò gia tốc, đi dây tín hiệu...

195 Điều kiện đo và thiết lập thông số đo

196 Thông số chính và điều kiện đo

197 Thử nghiệm đo dao động trên máy phát đồng trục
 198 được tiến hành trên tàu tàu đánh cá được đóng
 199 mới trong năm 2023 (PERSEUS, mang số hiệu IMO
 200 9924338). Các thông số chính và điều kiện đo dao
 201 động của tàu này được cho trong Bảng II.

202 Thiết lập thông số đo

203 Việc cài đặt thông số đo được cho trên Hình 5 với các
 204 thông tin chính sau:

- 205 • Tần số lấy mẫu:
- 206 • Thời gian đo: 10 s (hay số điểm đo)
- 207 • Đơn vị đo: m/s
- 208 • Độ nhạy: 51.4, 50.8, 47.2 mV/m/s

PHƯƠNG PHÁP ĐO VÀ XỬ LÝ TÍN HIỆU

209 Để có được giá trị vận tốc dao động tại các điểm đo
 210 đã chỉ ra (10 điểm) từ đó đánh giá theo các ngưỡng
 211 theo quy chuẩn kỹ thuật kiểm tra của DNV-GL (Pt.4
 212 Ch.4 Sec.8.2.1)⁵ xác định từ ISO 10816-3 (Mục 2.1),
 213 nghiên cứu này thực hiện:
 214 - Cài đặt thông số đo (Mục 2.3.2);
 215 - Tiến hành đo gia tốc theo thời gian (phổ thời gian
 216 của gia tốc) ở tại tất cả các điểm và ở các chế độ tải
 217 khác nhau (90%, 100% và 105% NCR);
 218 - Phổ thời gian của vận tốc dao động được tính từ phổ
 219 gia tốc bằng tích phân số;
 220 - Phổ tần số của vận tốc dao động thu được bằng phân
 221 tích FFT (Fast Fourier Transform);
 222 - Ở mỗi phổ tần số của vận tốc dao động, giá trị
 223 vận tốc lớn nhất V_{max} tại tần số tương ứng sẽ được
 224 xác định cho mỗi điểm đo (gọi tên là NDE1, NDE2,
 225 NDE3, DE4, DE5, DE6, Foundation 7, 8, 9, 10 tùy
 226 theo vị trí ở ổ đỡ hay ở bộ máy) mô tả trên Hình 3,
 227 Hình 4. Cuối cùng giá trị trung bình (căn quân
 228 phương) V_{RMS} , giá trị lớn nhất V_{max} cũng được tính
 229 tại các điểm nói trên;
 230 - Các giá trị này (tần số, V_{max} , V_{RMS}) sẽ được tóm
 231 tắt như là các mức đo dao động và so sánh với các
 232 ngưỡng vận tốc dao động căn cứ theo DNV - GL Pt.4
 233 Ch.4 Sec.1.8.2 và ISO 10816-3. Từ đó việc đánh giá
 234 mức dao động của máy phát trên trục được thực hiện.
 235

236 Xử lý nhiễu DC và nhiễu tần số cao

237 Nhiễu tín hiệu hay còn gọi là nhiễu điện làm giảm
 238 chất lượng và sai lệch tín hiệu đo dao động. Nguồn
 239 gây nhiễu tín hiệu có thể bao gồm các thiết bị điện tử
 240 khác trong mạch điện, sự nhiễu từ các nguồn ngoài
 241 như sóng vô tuyến, sóng radio, tín hiệu từ các thiết bị
 242 điện, các yếu tố môi trường xảy ra trong quá trình thu
 243 thập thông tin dữ liệu.
 244 Hệ thống đo lường điện tử khi thu nhận tín hiệu
 245 thường kèm theo nhiễu điện và cần thiết phải khử
 246 chúng. Có nhiều phương pháp lọc như sử dụng các
 247 bộ lọc điện tử, lọc số. Bộ lọc thông thấp được tích hợp
 248 trong hệ thống đo dao động kể trên, bộ lọc số Butter-
 249 worth được xác định bởi bậc của bộ lọc và ngưỡng tần
 250 số cắt⁸. Để lọc các tín hiệu nhiễu DC, cần chỉ định tần
 251 số cắt ở mức thấp, các tần số dưới 2 Hz (xét đến tốc
 252 độ vòng quay của trục chân vịt 120 RPM, tương ứng
 253 tần số quay 2Hz). Các tần số thấp này gây nhiễu trong
 254 quá trình thiết bị đo đặc nên sẽ được loại bỏ.
 255 Có thể sử dụng hàm “butter” trong Matlab để xử lý
 256 nhiễu để cập⁸. Cụ thể các hệ số lọc a , b được tính
 257 theo:
 258

$$[b, a] = butter(n, W_n, 'low')$$

Bảng 2: Thông số chính và điều kiện đo

Kích thước chính		
Chiều dài toàn bộ LOA: 93.0 m		
Chiều dài hai trụ LPP: 85.3 m		
Bề rộng B: 18.0 m		
Mớn nước D: 6.5 m		
Điều kiện đo	Điều kiện thời tiết	
Động cơ chính: Roll-Royce (1 máy), 9 xy-lanh	Gió: 12-14 hải lý/giờ	
Loại: Bergen B33:45L9P	Trạng thái biển: 5	
Công suất: 5400 kW	Độ sâu vùng nước: 11 m	
Tốc độ quay: 750 RPM	Hướng đi ra biển	
Máy phát điện đồng trục	Tên: ABBRated	
	Công suất: 1200 kW	
	440 V- 60,6 Hz	
Chân vịt (số lượng: 1)	Tên: Kongsberg 111A1/4 E-B/P/N	
	Công suất: 6000 kW	
	Đường kính 4200 mm, 4 cánh, quay cùng chiều kim đồng hồ	
Chiều chìm	Mũi: 4.91 m	Lái: 7.0 m
Điều kiện tải, nước dẫn	Thử tàu đường dài	
Máy chính (NCR%)	90%, 100%, 105% (trục máy phát ở tốc độ 1080, 1200 và 1260 RPM)	

Channel	Enable	Channel Name	Range	Coupling	Current Source	Engineering Unit (EU)	mV/EU	EU Offset
DT9837-A(00)-0	<input checked="" type="checkbox"/>	Ain 0	-1V to 1V	DC	<input type="checkbox"/>	m/s ²	51.400...	0.0020...
DT9837-A(00)-1	<input checked="" type="checkbox"/>	Ain 1	-1V to 1V	DC	<input type="checkbox"/>	m/s ²	50.799...	0.0099...
DT9837-A(00)-2	<input checked="" type="checkbox"/>	Ain 2	-1V to 1V	DC	<input type="checkbox"/>	m/s ²	47.200...	0.0099...
DT9837-A(00)-3	<input type="checkbox"/>	Ain 3	-1V to 1V	DC	<input type="checkbox"/>	m/s ²	1	0

Hình 5: Cài đặt thông số đo dao động cho 3 kênh đầu tiên

259 cho thiết kế bộ lọc Butterworth thông thấp ('low'),
260 thông cao ('high') bậc n với tần số cắt chuẩn hóa W_n .

$$W_n = \frac{f_c}{f_s/2} \quad (2)$$

261 trong đó:

262 f_c – tần số cắt ($f_c = 2$ Hz cho thiết kế bộ lọc thông cao
263 hay $f_c = 100$ Hz cho thiết kế bộ lọc thông thấp);

264 f_s – tần số lấy mẫu ($f_{samp} = 2000$ Hz).

265 Khi gộp hai bộ lọc nhiều thông thấp và thông cao, việc
266 kết hợp cả hai bộ lọc thành một bộ lọc duy nhất là cần
267 thiết, tức:

$$[b, a] = \text{butter}(4, [0.002, 0.1]) \quad (3)$$

268 cho phép lọc bỏ các tín hiệu có tần số nằm ngoài
269 khoảng từ 2 Hz đến 100 Hz của tín hiệu đầu vào
270 (Hình 6).

Phân tích Fourier

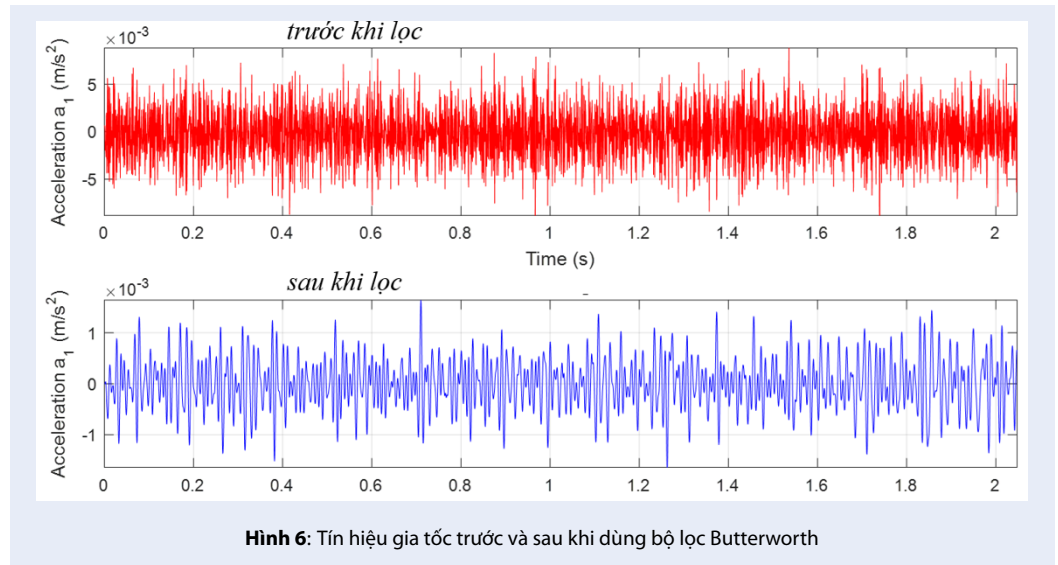
271 Biến đổi Fourier cho tín hiệu rời rạc (DFT) được phổ
272 biến rộng rãi ở hầu hết các phần mềm ứng dụng⁹.
273 Cho $x_k, k = 1, 2, \dots, N$ là dãy N số (số phức trong trường
274 hợp tổng quát). Hàm liên tục $x(t)$ được biểu diễn bởi
275 N điểm này cho phép mô tả rời rạc sau đây về chuỗi
276 Fourier hữu hạn:
277

$$x_k = a_0 + \sum_{p=1}^{N/2} \left[a_p \cos\left(\frac{2\pi pk}{N}\right) + b_p \sin\left(\frac{2\pi pk}{N}\right) \right] \quad (4)$$

278 trong đó các hệ số:

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \quad (5)$$

$$a_p = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \cos\left(\frac{2\pi pk}{N}\right) \quad (6)$$



Hình 6: Tín hiệu gia tốc trước và sau khi dùng bộ lọc Butterworth

rời rạc $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, giá trị RMS được cho bởi:

$$b_p = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \sin\left(\frac{2\pi pk}{N}\right) \quad (7)$$

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (10)$$

279 Biến đổi Fourier rời rạc (Discrete Fourier Transform
280 hay DFT) được xác định bởi:

$$X(n) = \sum_{k=1}^N x_k e^{-i \frac{2\pi nk}{N}} \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (8)$$

281 Biến đổi ngược (Inverse Discrete Fourier Transform
282 hay IDFT) sẽ là:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} X(n) e^{i \frac{2\pi nk}{N}} \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (9)$$

283 Chú ý:

284 - DFT là phương pháp phân tích được sử dụng rộng
285 rãi nhất trong thiết bị thu thập dữ liệu hiện đại (đặc
286 biệt là với bộ phân tích phổ kỹ thuật số).

287 - DFT dựa trên giả thuyết hàm đo $x(t)$ là hàm có chu
288 kỳ.

289 - DFT chỉ có giá trị đối với các giá trị cụ thể $x_k(x(t)$
290 tại $t = t_k$) được sử dụng cho mô tả số của $x(t)$.

291 Việc đánh giá trực tiếp các chuỗi (8) và (9) đòi hỏi
292 một số lượng lớn các tính toán (tỷ lệ thuận với N^2).

293 Trong thực tế, thuật toán Biến đổi Fourier nhanh (Fast
294 Fourier Transform hay FFT) thường được sử dụng để
295 đánh giá DFT. Nó bao gồm một nhóm các tính toán
296 cụ thể để giảm số lượng tính toán cần thiết⁹.

297 Giá trị căn quân phương

298 Giá trị vận tốc dao động được tính trung bình theo giá
299 trị căn quân phương (RMS). Với một tập gồm n giá trị

KẾT QUẢ ĐO VÀ PHÂN TÍCH

Thử nghiệm trên máy phát trên trục

Để đánh giá tính hiệu quả của quy trình đo dao động,
xử lý và phương pháp phân tích dao động, một máy
phát đồng trục của hệ thống đẩy tàu dạng lai của tàu
PERSEUS (mang số hiệu IMO: 9924338, đóng mới
2023) được sử dụng để thực nghiệm (Hình 7).

Hệ thống đo dao động sử dụng 3 đầu dò gia tốc
PCB loại 333B40, thiết bị thu thập dữ liệu và hiển thị
DT9837A với phần mềm QuickDAQ (Bảng I).

Quy trình thực nghiệm với 2 lần đo dao động theo
công suất liên tục định mức (NCR) của máy chính,
tức 90%, 100% NCR ứng với khi máy phát ở tốc độ
tương ứng theo hai mức NCR này qua 4 bước lần lượt
tùy theo điểm đo NDE 1, 2, 3; DE 4, 5, 6; Foundation
7, 8; Foundation 9, 10 (Mục 2.2.3).

Các bước thiết lập thông số đo, đo, xử lý dữ liệu, phân
tích dao động và lập bảng kết quả tổng kết được thực
hiện theo mô tả ở Mục 3.

Kết quả đo, xử lý và phân tích dao động

Kết quả đo gia tốc dao động đã qua khử nhiễu, vận
tốc dao động từ tích phân gia tốc dao động và phân
tích FFT (theo miền tần số) của vận tốc được minh
họa tại điểm đo với mức NCR xác định (Hình 8).

Kết quả đo và phân tích dao động của điểm NDE 2
cho:

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

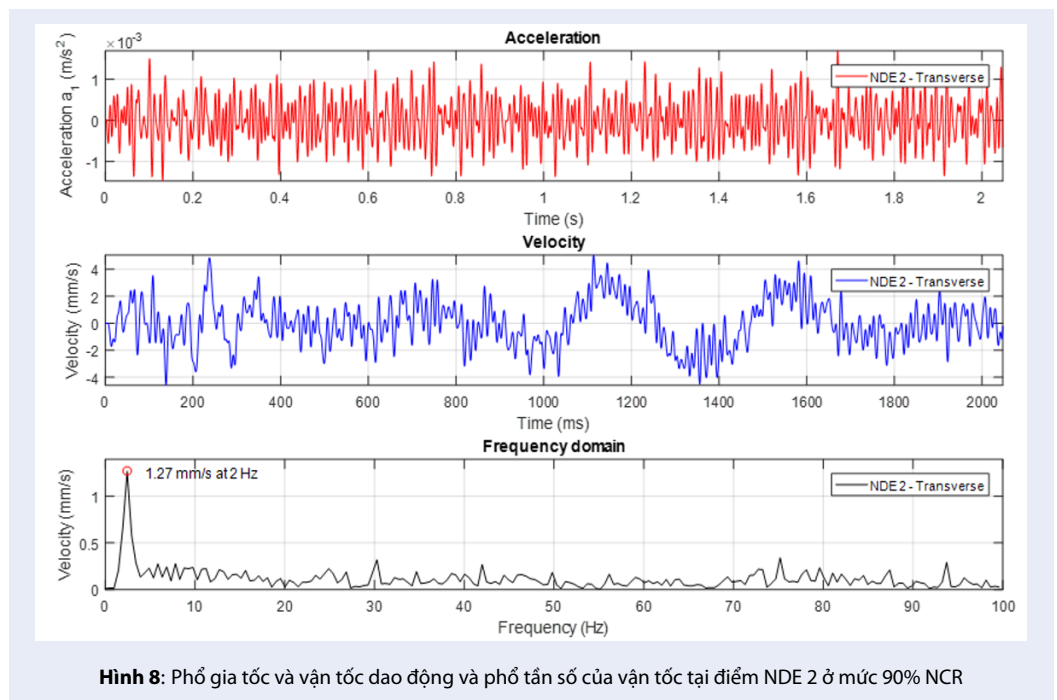
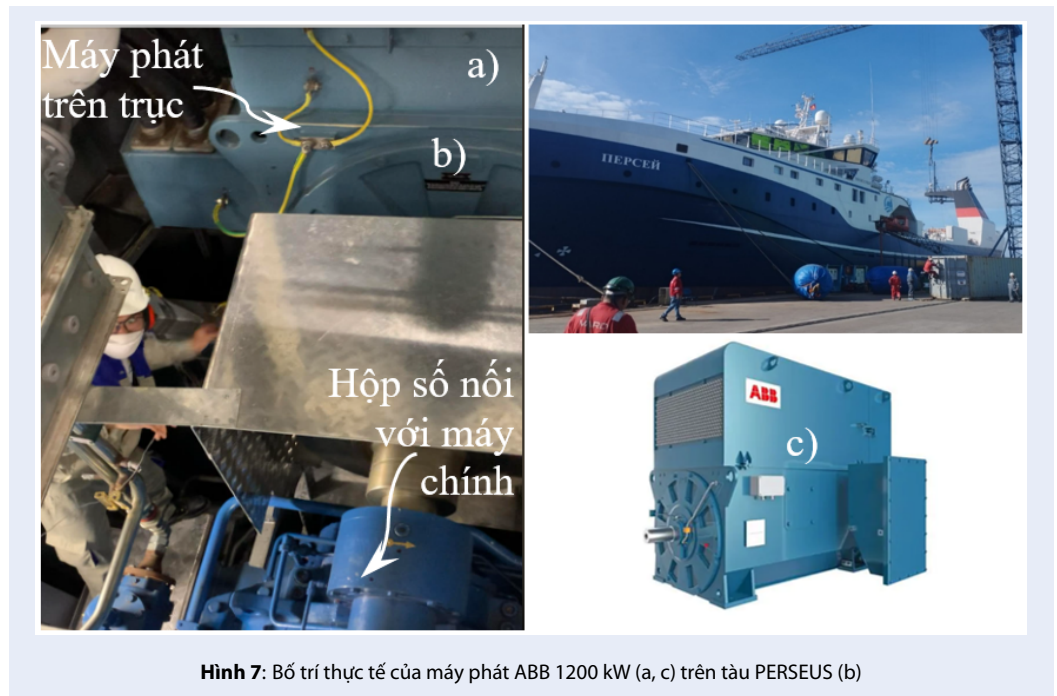
322

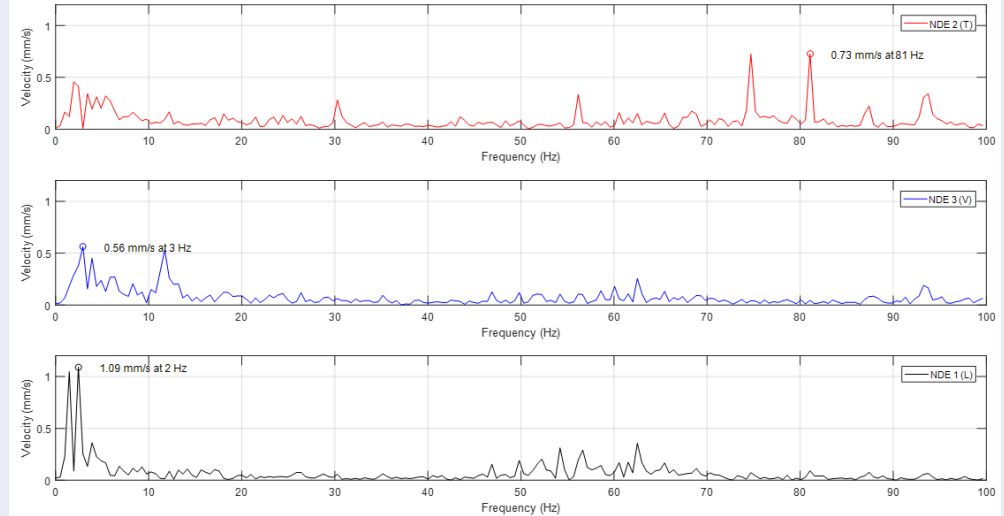
323

324

325

326





Hình 9: Phổ tần số của vận tốc tại điểm NDE 1, 2, 3 ở mức 100% NCR

327 $V_{max} = 1.27$ mm/s tại tần số 2 Hz

328 $V_{RMS} = 1.65$ mm/s

329 Kết quả phân tích dao động của điểm NDE 1, 2, 3 cho
330 trên Hình 9:

331 $V_{max} = 1.09, 0.73, 0.56$ mm/s tương ứng tại tần số 2,
332 81, 3 Hz.

333 Tổng hợp kết quả

334 Các kết quả phân tích (tần số, V_{max} , V_{RMS}) được tổng
335 kết trong Bảng III cho tất cả các điểm đo với 2 chế
336 độ chạy máy phát ứng với 90% và 100% NCR. Giá trị
337 ngưỡng vận tốc dao động theo quy chuẩn (Mục 2.1)
338 cũng được đưa ra trong bảng này nhằm đánh giá mức
339 độ đáp ứng dao động của máy phát tại từng điểm đo.

340 Thảo luận

341 Kết quả phân tích dao động trên Bảng III cho thấy
342 không có dao động nào tại các điểm đo có tần số dao
343 động trùng với tần số quay của trục máy phát ở tốc độ
344 1080, 1200 RPM (tương ứng 18 Hz và 20 Hz). Mức
345 vận tốc dao động được ghi nhận cao nhất tìm thấy
346 tại điểm đo NDE 1 ở chế độ 90% NCR ($V_{max} = 2.11$
347 mm/s, $V_{RMS} = 3.13$ mm/s) thấp hơn ngưỡng vận tốc
348 do Hiệp hội Đăng kiểm Na Uy và Đức (DNV - GL) đề
349 xuất ($V_{limit} = 4.5$ mm/s).

350 Nhìn chung, dựa trên kết quả đo và phân tích dao
351 động của các điểm khảo sát với các chế độ vận hành
352 khác nhau, đối với hoạt động liên tục ổn định trong
353 thời gian dài của động cơ, đặc biệt ở tốc độ máy phát
354 90% và 100% NCR, vận tốc dao động tại tất cả các vị
355 trí đo không vượt quá các giá trị giới hạn được quy
356 định bởi DNV - GL Pt.4 Sec.1.8.2 và tiêu chuẩn ISO

10816-3. Điều này đồng nghĩa là hệ thống máy phát /
động cơ hoạt động ổn định và an toàn trong quá trình
vận hành, một yếu tố quan trọng để đảm bảo hiệu suất
và độ tin cậy của hệ thống đẩy tàu dạng lai trong quá
trình hoạt động liên tục và lâu dài.

362 KẾT LUẬN

363 Dao động của máy phát trên trục trong hệ thống đẩy
364 tàu dạng lai là yếu tố quan trọng cần kiểm soát ngay
365 từ khi lắp đặt và chạy thử tàu lần đầu tiên. Ý nghĩa
366 của nghiên cứu này chính là cung cấp một quy trình
367 đo dao động, xử lý, phân tích dữ liệu nhằm đưa ra
368 các giá trị đặc trưng về dao động của máy phát trên
369 trục và được đánh giá theo quy chuẩn kỹ thuật kiểm
370 tra bởi Hiệp hội Đăng kiểm Na Uy và Đức (DNV -
371 GL) cùng với tiêu chuẩn ISO10816-3. Hệ thống đẩy
372 dạng lai này được thử nghiệm dao động với hệ thống
373 đo và phân tích dao động tin cậy. Kết quả của nghiên
374 cứu bước đầu đã được áp dụng trong việc đo, xử lý và
375 phân tích dao động máy phát điện đồng trục trong
376 hệ thống đẩy dạng lai cho nhiều tàu đóng mới khi
377 thử đường dài gần đây như tàu PERSEUS (đóng mới
378 2023), tàu LUNTOS (đóng mới 2021), tàu ANTAR-
379 TICA AURORA (đóng mới 2020). Các kết quả đánh
380 giá dao động cho phép kiểm soát chính xác hơn dao
381 động tàu thủy do hệ thống đẩy tàu dạng lai gây ra và
382 tạo ra một cơ sở kiểm soát dao động thực nghiệm tin
383 cậy khi khai thác các hệ thống động lực dạng lai khác
384 tương tự.

385 Lời Cảm Ơn

386 Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn Trường Đại học Bách
387 Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện
388 và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.

Bảng 3: Kết Quả Phân Tích Dao Động

No	Vị trí đo	Hướng	90% NCR			100% NCR			Vlimit [mm/s]
			Hz	Vmax	VRMS	Hz	Vmax	VRMS	
1	NDE 1	L	1	2.11	3.13	2	1.09	1.38	4.5
2	NDE 2	T	2	1.34	1.91	81	0.73	1.36	4.5
3	NDE 3	V	94	0.86	1.45	3	0.56	1.21	4.5
4	DE 4	V	17	0.97	1.70	2	0.70	0.90	4.5
5	DE 5	T	2	1.21	2.19	3	1.34	2.31	4.5
6	DE 6	L	2	1.25	2.30	2	1.32	1.42	4.5
7	Foundation 7	V	2	1.65	2.02	2	1.71	2.52	4.5
8	Foundation 8	V	3	0.95	1.15	2	0.36	0.81	4.5
9	Foundation 9	V	2	2.11	2.15	2	2.21	2.46	4.5
10	Foundation 10	V	4	0.71	0.92	2	0.48	0.72	4.5

Chú thích: L (Lo gitudi al): dọc
 T (Transverse): ngang
 V (Vertical): đứng

389 DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

- 390 PTO: Power Take-Off (trích công suất)
 391 NCR: Normal Continuous Rating (công suất liên tục
 392 định mức)
 393 DFT: Discrete Fourier Transform
 394 FFT: Fast Fourier Transform
 395 NDE: Non-Drive End (phía đuôi trục động cơ / máy
 396 phát)
 397 DE: Drive End (phía đầu trục động cơ / máy phát)
 398 RMS: Root Mean Square (căn quân phương)
 399 RPM: Round Per Minute (vòng/phút)

400 XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

401 Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung
 402 đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

403 ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

404 Lê Đình Tuấn đưa ra ý tưởng viết bài, xây dựng quy
 405 trình đo và phân tích dữ liệu, đánh giá kết quả theo
 406 tiêu chuẩn kiểm soát dao động. Ngô Thịnh Duy chịu
 407 trách nhiệm đo dao động, xử lý dữ liệu số và tạo các
 408 kết quả đồ thị cuối cùng. Trần Hải chịu trách nhiệm
 409 kiểm tra nội dung và hỗ trợ ý tưởng viết bài.

410 TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 411 1. Yuan Y et al. A review of multi-energy hybrid power system for
 412 ships. *Renew Sustain Energ Rev.* 2020;132;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110081>.
 413 2. Damian E et al. Sophea. *Rev Chall Hybrid Propul Syst Mar Transp*
 414 *Syst, Journal of Energy Storage.* 2022;56(B);
 415

3. Xiao N, Zhou R, Xu X. Vibration of diesel-electric hybrid
 416 propulsion system with nonlinear component. *J Vib*
 417 *Control.* 2018;13;Available from: <https://doi.org/10.1177/1077546317753010>.
 418 4. ISO10816. Mechanical vibration-evaluation of machine vibra-
 419 tion by measurements on nonrotating parts, Part 3; 1998;
 420 5. DNV.GL - Chap 4 Rotating machinery - power transmission.
 421 Rules for classification, Part 4. In: *Systems & components*; 2019;
 422 6. Roslan SB, Konovessis D, Tay ZY. Sustainable hybrid marine
 423 power systems for power management optimisation: a review.
 424 *Energies.* 2022;15(24):9622;Available from: <https://doi.org/10.3390/en15249622>.
 425 7. Lê Đình Tuấn, Trần Hải, "Kiểm soát dao động thân tàu theo tiêu
 426 chí đáp ứng dao động", Tạp chí Phát triển KH&CN, Tập 18, Số
 427 K8-2015;
 428 ;Available from: <https://nl.mathworks.com/help/signal/ref/butter.html>.
 429 9. Randall RB, Tech B, et al. "Frequency Analysis", ISBN 87 87355
 430 078, 3rd Ed, 1987;.
 431
 432
 433
 434

Vibration analysis on Power Take Off generators in hybrid ship propulsion system

Tuan Le Dinh^{1,2,*}, Duy Ngo Thinh³, Hai Tran^{1,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Faculty of Transportation Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT)

²Viet Nam National University-Ho Chi Minh City (VNU-HCMC), Ho Chi Minh City, Vietnam

³VARD Vung Tau Ltd., Street No. 6, Dong Xuyen Industrial Park, Vung Tau City, Vietnam

Correspondence

Tuan Le Dinh, Faculty of Transportation Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT)

Viet Nam National University-Ho Chi Minh City (VNU-HCMC), Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: tuan-ledinh@hcmut.edu.vn

History

- Received: 08-10-2023
- Accepted: 23-11-2023
- Published Online:

DOI :



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

The hybrid propulsion in vessels comprises mechanical and electrical propulsion in the kinematic drivetrain. Hence, propulsion efficiency is optimised and responding to a variable power demand quickly and flexibly both in mechanical power delivered by diesel engines and/or electric power through variable speed electric motors. This combination leads to an extensive operating flexibility, making it possible to precisely provide the power and torque in all of the vessel's operating modes with different operating modes. At present, there are few works in literature about the research on the vibration of the hybrid propulsion system in new ship propulsion plant. Based on experimental measurements, the paper aims to present a framework of vibration measurement, data processing, analyses and evaluation for the vibration of Power Take Off (PTO) generators in one operating mode of such hybrid propulsion system during vessels' sea trials. A case study for a vessel is described in detail to verify the procedure. The frequency analyses are made in the range of 2 to 100 Hz and compared to relevant DNV - GL (Det Norske Veritas - Germanischer Lloyd) criteria and also ISO 10816-3 for assessing the acceptability of the vibration levels during the sea trials. The results from this study also provide a reliable procedure for testing and evaluating the vibration of shaft generators founded in any hybrid propulsion shafting.

Key words: PTO generator, hybrid propulsion system, ISO10816-3, Fast Fourier Transform (FFT)

Cite this article: Dinh T L, Thinh D N, Tran H. **Vibration analysis on Power Take Off generators in hybrid ship propulsion system.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2023; ():1-1.