Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ – Engineering and Technology 2024, 6(SI2): 23-33

Open Access Full Text Article

Bài nghiên cứu

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 Duy[3], Trần Hải[1,2]

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

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

[3]*Công 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: 31-12-2024

DOI :

https://doi.org/10.32508/stdjet.v6iSI2.1273

Check for updates

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 thuỷ 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)

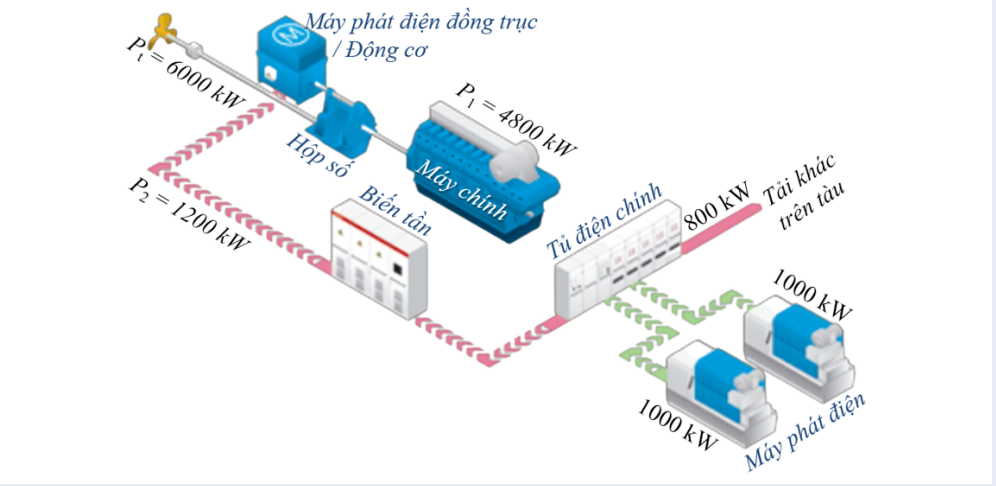
GIỚI THIỆU

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

Tuy nhiên, vẫn còn một số lo ngại về sự an toàn và ổn định của các hệ thống lai đa năng lượng trang bị cho các tàu. Đặc biệt, hệ thống động cơ tàu dạng lai, được sử dụng rộng rãi ở giai đoạn hiện nay, có cấu trúc phức tạp hơn với hộp số, nhiều khớp nối đàn hồi và nhiều trục truyền động có nhiều chi nhánh truyền tải. Với tiêu chuẩn lượng khí thải tàu đóng mới với ngưỡng hạn chế cho tiếng ồn và dao động tàu, ngành vận tải biển đã đưa ra yêu cầu cao hơn về tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải cùng, đặc biệt với hệ thống động lực có mức tiếng ồn và dao động thấp [3]. Dao động của hệ thống đẩy tàu ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất và độ an toàn của tàu. So với hệ thống đẩy tàu truyền 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 ISO10816-3 [4] 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 8.2.1 [5]. 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.* 2024, 6(SI2): 23-33.



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 ra[7] (động cơ, máy phát điện...), tiêu chuẩn ISO 10816-3[4] 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.8.2.1[5] (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 gần 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 Hz[5].

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 sau[5]:

- 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 cẩu hàng, thông gió…).

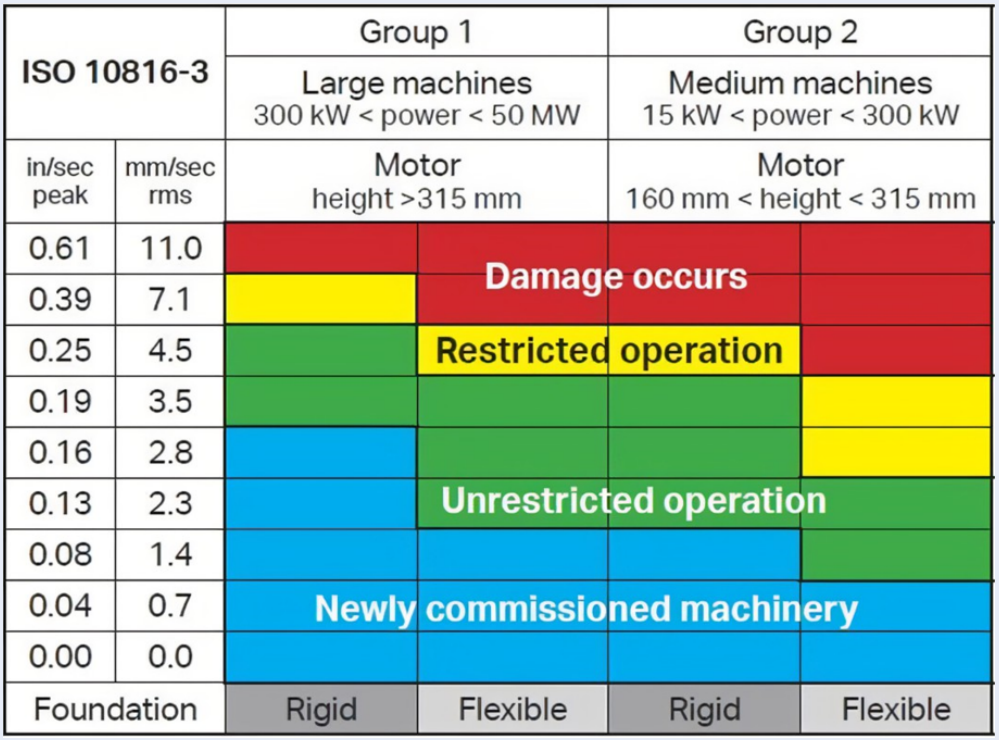
- Đối với chế độ chạy giới hạn, tức ở 105% tốc độ máy phát:

  - 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, bệ 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/phút[4]. 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



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

đó chuyển sang mô tả mức độ dao động với các phổ dao động của gia tốc, vận tốc theo thời gian được đo trong suốt thử nghiệm, và sau đó kết thúc với một phân tích về các quan sát quan trọng nhất liên quan đến thử nghiệm thông qua các phổ tần số của vận tốc dao động.

Thiết lập hệ thống đo dao động

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

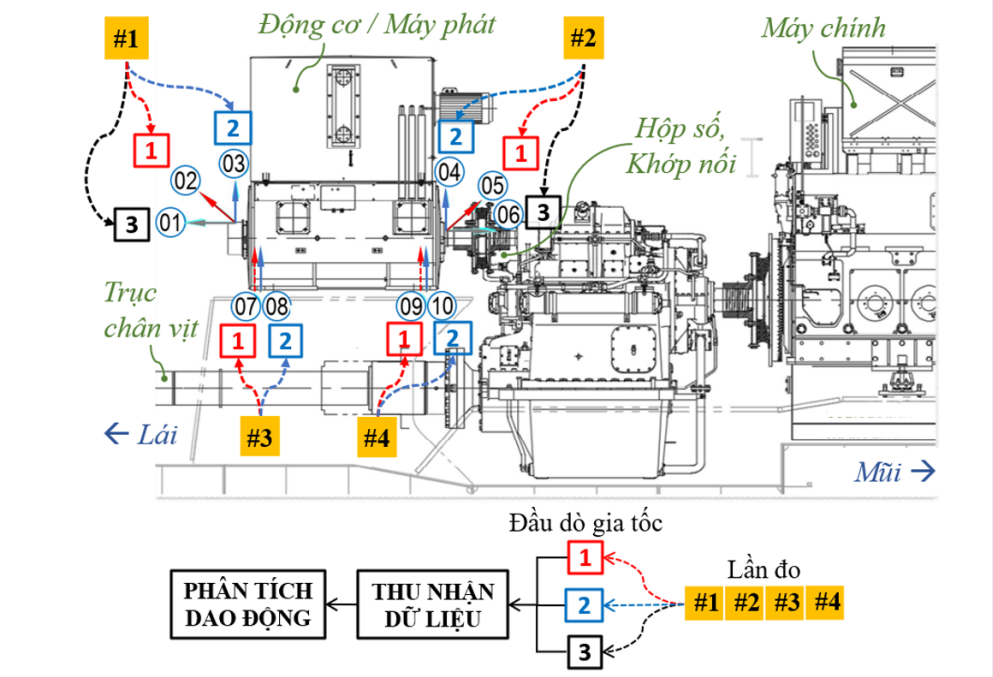
Vị trí đầu dò gia tốc tại vỏ ổ trục động cơ / máy phát về phía đuôi trục (NDE), tức điểm đo 1, 2, 3; tại vỏ ổ trục động cơ / máy phát về phía đầu trục (DE), tức điểm đo 4, 5, 6 và tại các điểm 7, 8, 9, 10 trên bệ máy (hoặc kết cấu đà máy) được thể hiện trong Hình 4. Vị trí điểm đo 1-6 được đề xuất tại Mục 8.2.1 [5] và điểm đo từ 7-10 thường bố trí như trên hay theo yêu cầu của các bên liên quan (tổ chức đăng kiểm, nhà máy đóng tàu).

Thiết bị đo dao động

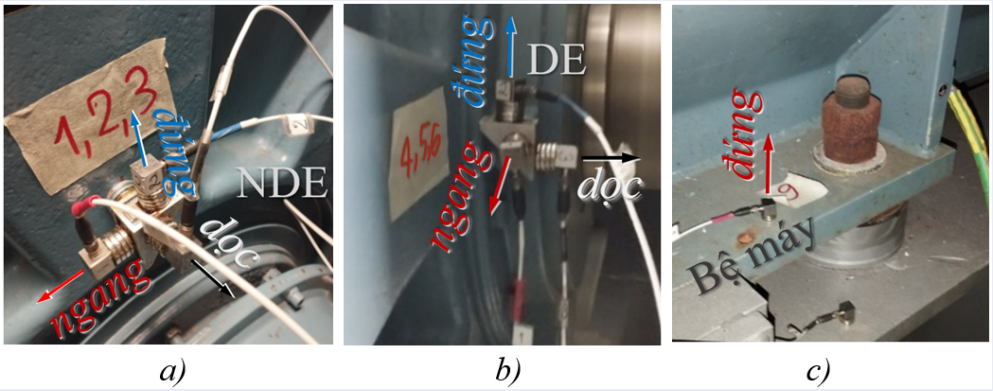
Việc thu thập dữ liệu đo được thực hiện trên thiết bị đo dao động chuyên dùng với 4 kênh sử dụng 3 đầu dò gia tốc loại 333B40 và thiết bị thu thập dữ liệu, hiển thị như mô tả trong Bảng I.

Đo dao động

Đặc tính dao động của chức năng máy phát trên trục cần được đánh giá để hiểu sâu hơn về ứng xử dao động của nó. Các đặc tính dao động của máy phát trên trục được kiểm tra trong khi hoạt động ở điều kiện không tải và và đo khi tàu ở trạng thái ổn định. Thuật ngữ "không tải" ám chỉ một thử nghiệm trong đó các thông số điện áp, dòng điện và công suất của máy phát điện được đo mà không có tải. Điều này liên quan đến việc đo vận tốc dao động của vỏ ổ trục trên cả hai đầu trục truyền động (DE) và không truyền động (NDE) để đánh giá mức độ dao động của máy trong các tình huống khác nhau về tải, tốc độ. Ở phương pháp này, đầu dò gia tốc được sử dụng để kiểm tra mức độ dao động theo hướng mong muốn và được mô tả trong Hình 3. Kết nối các đầu dò này thông qua bộ thu thập dữ liệu với phần mềm được sử dụng như một chương



Hình 3: Bố trí hệ thống đo dao động sử dụng 3 đầu dò gia tốc với 4 lần đo (#1-4) cho 10 điểm đo (1-10)



Hình 4: Vị trí của các đầu dò gia tốc, a) theo phương ngang, đứng, dọc tại vỏ ổ đuôi trục (NDE) - điểm 1, 2, 3, b) theo phương ngang, đứng, dọc tại vỏ ổ đầu trục (DE) - điểm 4, 5, 6, c) theo phương đứng trên bệ máy - điểm 7, 8, 9, 10

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

trình phân tích để đo lường. Phổ vận tốc dao động được đo trong khoảng 2–100 Hz cũng là phạm vi dao động của máy được quan tâm.

Các vị trí đo bao gồm các điểm nằm gần nhất các ổ đỡ của máy phát điện (NDE và DE) và ở chân đế của động cơ (bệ máy) ứng với 4 lần đo #1, #2, #3, #4 trên Hình 3. Số lần đo phụ thuộc vào số đầu dò gia tốc được trang bị, tình trạng hiện tại của động cơ. Máy phát sẽ được đo dao động 3 lần ở 3 mức độ hoạt động khác nhau tùy theo công suất liên tục định mức (NCR) của động cơ chính bao gồm: 90% NCR, 100% NCR, 105% NCR, nghĩa là sẽ đo ở 3 mức tốc độ vòng quay là 90%, 100%, 105% so với tốc độ định mức của máy phát trên trục trong điều kiện không tải và khi tàu đang di chuyển với tốc độ ổn định và điều kiện hoạt động bình thường. Ở mỗi vị trí đo NDE, DE hay bệ máy cần phải thực hiện đo theo 3 phương: phương dọc tàu L (Longitudinal), phương ngang T (Transverse) và phương thẳng đứng V (Vertical). Đối với các vị trí ở chân động cơ chỉ đo theo phương thẳng đứng.

Theo bố trí chung của hệ thống đẩy tàu, các giai đoạn đo được bố trí như sau: thiết bị đo dao động gồm có 3 đầu dò gia tốc được đánh số từ 1 đến 3. Đầu dò số 1 sẽ đo theo phương ngang tàu (T), đầu dò số 2 đo theo phương thẳng đứng (V), đầu dò số 3 sẽ đo theo phương dọc tàu (L).

Ba lần đo dao động theo công suất liên tục định mức (NCR) của máy chính, cũng có nghĩa khi máy phát ở tốc độ ứng với 90%, 100% và 105% NCR theo 4 bước lần lượt (Hình 3):

#1: Đo các điểm 1, 2, 3 (3 kênh đồng thời);
#2: Đo các điểm 4, 5, 6 (3 kênh đồng thời);
#3: Đo các điểm 7, 8 (2 kênh đồng thời);
#4: Đo các điểm 9, 10 (2 kênh đồng thời).

Thứ tự đo giữ các lần đo, điểm đo có thể điều chỉnh tùy theo điều kiện không gian, chế độ làm việc của máy chính, máy phát, thời gian di chuyển và gắn các đầu dò gia tốc, đi dây tín hiệu…

Điều kiện đo và thiết lập thông số đo

Thông số chính và điều kiện đo

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

Thiết lập thông số đo

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

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

PHƯƠNG PHÁP ĐO VÀ XỬ LÝ TÍN HIỆU

Để có được giá trị vận tốc dao động tại các điểm đo đã chỉ ra (10 điểm) từ đó đánh giá theo các ngưỡng theo quy chuẩn kỹ thuật kiểm tra của DNV-GL (Pt.4 Ch.4 Sec.8.2.1)[5] xác định từ ISO 10816-3 (Mục 2.1), nghiên cứu này thực hiện:

- Cài đặt thông số đo (Mục 2.3.2);
- Tiến hành đo gia tốc theo thời gian (phổ thời gian của gia tốc) ở tại tất cả các điểm và ở các chế độ tải khác nhau (90%, 100% và 105% NCR);
- Phổ thời gian của vận tốc dao động được tính từ phổ gia tốc bằng tích phân số;
- Phổ tần số của vận tốc dao động thu được bằng phân tích FFT (Fast Fourier Transform);
- Ở mỗi phổ tần số của vận tốc dao động, giá trị vận tốc lớn nhất V_{max} tại tần số tương ứng sẽ được xác định cho mỗi điểm đo (gọi tên là NDE1, NDE2, NDE3, DE4, DE5, DE6, Foundation 7, 8, 9, 10 tùy theo vị trí ở ổ đỡ hay ở bệ máy) mô tả trên Hình 3, Hình 4. Cuối cùng giá trị trung bình (căn quân phương) V_{RMS}, giá trị lớn nhất V_{max} cũng được tính tại các điểm nói trên;
- Các giá trị này (tần số, V_{max}, V_{RMS}) sẽ được tóm tắt như là các mức đo dao động và so sánh với các ngưỡng vận tốc dao động căn cứ theo DNV - GL Pt.4 Ch.4 Sec.1.8.2 và ISO 10816-3. Từ đó việc đánh giá mức dao động của máy phát trên trục được thực hiện.

Xử lý nhiễu DC và nhiễu tần số cao

Nhiễu tín hiệu hay còn gọi là nhiễu điện làm giảm chất lượng và sai lệch tín hiệu đo dao động. Nguồn gây nhiễu tín hiệu có thể bao gồm các thiết bị điện tử khác trong mạch điện, sự nhiễu từ các nguồn ngoài như sóng vô tuyến, sóng radio, tín hiệu từ các thiết bị điện, các yếu tố môi trường xảy ra trong quá trình thu thập thông tin dữ liệu.

Hệ thống đo lường điện tử khi thu nhận tín hiệu thường kèm theo nhiễu điện và cần thiết phải khử chúng. Có nhiều phương pháp lọc như sử dụng các bộ lọc điện tử, lọc số. Bộ lọc thông thấp được tích hợp trong hệ thống đo dao động kể trên, bộ lọc số Butterworth được xác định bởi bậc của bộ lọc và ngưỡng tần số cắt[8]. Để lọc các tín hiệu nhiễu DC, cần chỉ định tần số cắt ở mức thấp, các tần số dưới 2 Hz (xét đến tốc độ vòng quay của trục chân vịt 120 RPM, tương ứng tần số quay 2Hz). Các tần số thấp này gây nhiễu trong quá trình thiết bị đo đạc nên sẽ được loại bỏ.

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 Loại: Bergen B33:45L9P Công suất: 5400 kW Tốc độ quay: 750 RPM	Gió: 12-14 hải lý/giờ Trạng thái biển: 5 Độ sâu vùng nước:11 m 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 dằn	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	☑	Ain 0	-1V to 1V	DC	☐	m/s^2	51.400...	0.0020...
DT9837-A(00)-1	☑	Ain 1	-1V to 1V	DC	☐	m/s^2	50.799...	0.0099...
DT9837-A(00)-2	☑	Ain 2	-1V to 1V	DC	☐	m/s^2	47.200...	0.0099...
DT9837-A(00)-3	☐	Ain 3	-1V to 1V	DC	☐	m/s^2	1	0

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

Có thể sử dụng hàm "butter" trong Matlab để xử lý nhiễu đề cập[8]. Cụ thể các hệ số lọc a, b được tính theo:

$$[b,\ a] = butter\,(n, W_n, 'low') \tag{1}$$

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

$$W_n = \frac{f_c}{f_s/2} \tag{2}$$

trong đó:

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

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

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

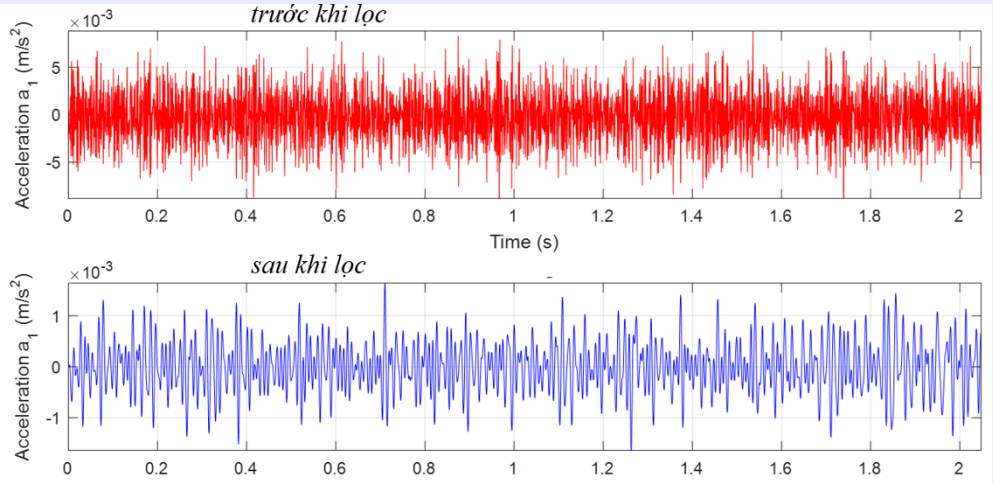
$$[b,\ a] = butter\,(4, [0.002, 0.1]) \tag{3}$$

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

Phân tích Fourier

Biến đổi Fourier cho tín hiệu rời rạc (DFT) được phổ biến rộng rải ở hầu hết các phần mềm ứng dụng[9]. Cho x_k, k = 1,2,… N là dãy N số (số phức trong trường hợp tổng quát). Hàm liên tục $x(t)$ được biểu diễn bởi N điểm này cho phép mô tả rời rạc sau đây về chuỗi Fourier hữu hạn:

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



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

trong đó các hệ số:

$$a_0 = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} x_k \tag{5}$$

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

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

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

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

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

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

Chú ý:

- DFT là phương pháp phân tích được sử dụng rộng rãi nhất trong thiết bị thu thập dữ liệu hiện đại (đặc biệt là với bộ phân tích phổ kỹ thuật số).
- DFT dựa trên giả thuyết hàm đo x(t) là hàm có chu kỳ.
- DFT chỉ có giá trị đối với các giá trị cụ thể x_k ($x(t)$ tại $t = t_k$) được sử dụng cho mô tả số của x(t)).

Việc đánh giá trực tiếp các chuỗi (8) và (9) đòi hỏi một số lượng lớn các tính toán (tỷ lệ thuận với N^2). Trong thực tế, thuật toán Biến đổi Fourier nhanh (Fast Fourier Transform hay FFT) thường được sử dụng để đánh giá DFT. Nó bao gồm một nhóm các tính toán cụ thể để giảm số lượng tính toán cần thiết [9].

Giá trị căn quân phương

Giá trị vận tốc dao động được tính trung bình theo giá trị căn quân phương (RMS). Với một tập gồm n giá trị rời rạc $\{v_1, v_2,\ldots, v_n\}$, giá trị RMS được cho bởi:

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

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).

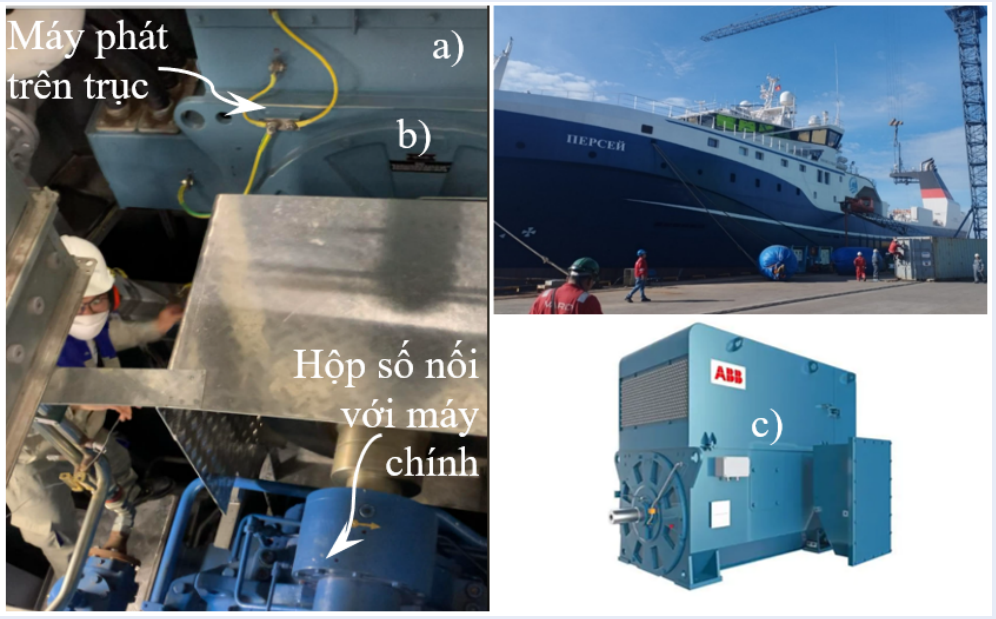
Hệ thống đo dao động sử dụng 3 đầu dò gia tốc PCB loại 333B40, thiết bị thu thập dữ liệu và hiển thị DT9837A với phần mềm QuickDAQ (Bảng I).

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).

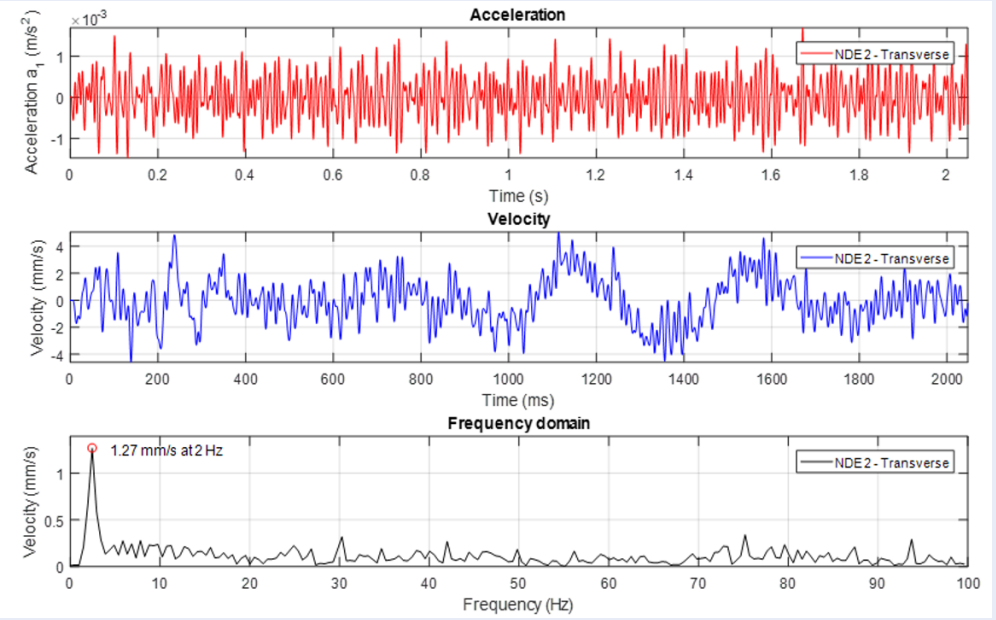
Các bước thiết lập thông số đo, đo, xử lý dữ liệu, phân tích dao động và lập bảng kết quả tổng kết được thực hiện theo mô tả ở Mục 3.

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).



Hình 7: Bố trí thực tế của máy phát ABB 1200 kW (a, c) trên tàu PERSEUS (b)



Hình 8: Phổ gia tốc và vận tốc dao động và phổ tần số của vận tốc tại điểm NDE 2 ở mức 90% NCR

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

V_{max} = 1.27 mm/s tại tần số 2 Hz

V_{RMS} = 1.65 mm/s

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

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

Tổng hợp kết quả

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

Thảo luận

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

Nhìn chung, dựa trên kết quả đo và phân tích dao động của các điểm khảo sát với các chế độ vận hành khác nhau, đối với hoạt động liên tục ổn định trong thời gian dài của động cơ, đặc biệt ở tốc độ máy phát 90% và 100% NCR, vận tốc dao động tại tất cả các vị trí đo không vượt quá các giá trị giới hạn được quy 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.

KẾT LUẬN

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

Lời Cám Ơn

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

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

PTO: Power Take-Off (trích công suất)

NCR: Normal Continuous Rating (công suất liên tục định mức)

DFT: Discrete Fourier Transform

FFT: Fast Fourier Transform

NDE: Non-Drive End (phía đuôi trục động cơ / máy phát)

DE: Drive End (phía đầu trục động cơ / máy phát)

RMS: Root Mean Square (căn quân phương)

RPM: Round Per Minute (vòng/phút)

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

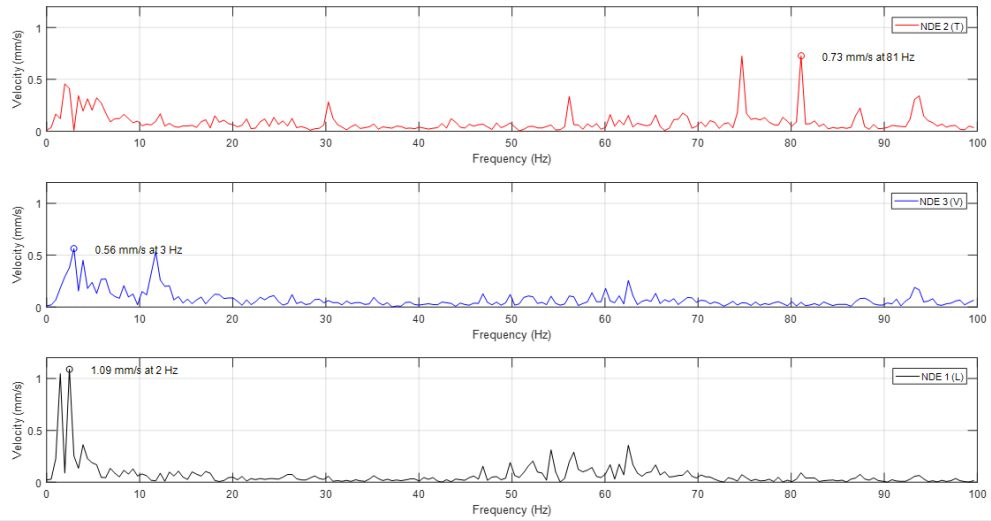
Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

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

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Yuan Y et al. A review of multi-energy hybrid power system for ships. Renew Sustain Energ Rev. 2020;132;Available from: https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110081.
2. Damian E et al. Sophea. Rev Chall Hybrid Propul Syst Mar Transp Syst, Journal of Energy Storage. 2022;56(B);.
3. Xiao N, Zhou R, Xu X. Vibration of diesel-electric hybrid propulsion system with nonlinear component. J Vib Control. 2018;13:l;Available from: https://doi.org/10.1177/1077546317753010.
4. ISO10816. Mechanical vibration-evaluation of machine vibration by measurements on nonrotating parts, Part 3; 1998;.
5. DNV.GL - Chap 4 Rotating machinery - power transmission. Rules for classification, Part 4. In: Systems & components; 2019;.
6. Roslan SB, Konovessis D, Tay ZY. Sustainable hybrid marine power systems for power management optimisation: a review. Energies. 2022;15(24):9622;Available from: https://doi.org/10.3390/en15249622.



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

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

7. Lê Đình Tuân, Trần Hải, "Kiểm soát dao động thân tàu theo tiêu chí đáp ứng dao động", Tạp chí Phát triển KH&CN, Tập 18, Số K8-2015;.
8. ;Available from: https://nl.mathworks.com/help/signal/ref/butter.html.
9. Randall RB, Tech B, et al. "Frequency Analysis", ISBN 87 87355 078, 3rd Ed, 1987;.

Science & Technology Development Journal – Engineering and Technology 2024, 6(SI2): 23-33

Open Access Full Text Article

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

Tuan Le Dinh[1,2,*], Duy Ngo Thinh[3], Hai Tran[1,2]

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)

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

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

[3]*VARD 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: 31-12-2024

DOI : https://doi.org/10.32508/stdjet.v6iSI2.1273

Check for updates

Copyright

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

VNUHCM PRESS

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* 2024, 6(SI2): 23-33.