

Mô phỏng hệ thống động lực đẩy hàng hải hybrid ứng dụng trên tàu lai dầu chạy điện

■ **ThS. ĐẶNG ĐÌNH PHÚC^(*); ThS. HỨA XUÂN LONG; PGS. TS. VƯƠNG ĐỨC PHÚC**

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: ^(*)phucdd.ddt@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT: Do tác động ngày càng tăng của khí thải tàu thuyền đối với môi trường và các biện pháp phòng ngừa theo quy định hiện hành do Tổ chức Hàng hải Quốc tế (IMO) đưa ra nhằm giảm đáng kể, việc phát triển tàu chạy bằng hệ thống động lực dùng nguồn năng lượng hybrid đã được coi là một khái niệm được áp dụng để đạt được mục tiêu đó. Là một công nghệ đầy hứa hẹn, việc sử dụng các giải pháp thay thế công nghệ như pin nhiên liệu, pin và siêu tụ điện cùng với việc sử dụng nhiên liệu thay thế không carbon như hydro (H_2) và amoniac (NH_3) làm nguồn năng lượng chính. Bài báo đề cập đến một số thách thức tiên tiến liên quan đến tàu không phát thải đi biển để đạt được vận chuyển không phát thải, dựa trên công nghệ liên quan đến tàu hybrid và chạy hoàn toàn bằng điện, tàu không phát thải carbon nhiên liệu thay thế. Về mặt này, quá trình chuyển đổi từ hệ thống động cơ đẩy và phụ trợ dựa trên nhiên liệu hóa thạch sang khái niệm tàu không phát thải có liên quan đến những thách thức nhằm vượt qua nhu cầu về mật độ năng lượng đối với các nguồn năng lượng thay thế mới này so với các lựa chọn nhiên liệu hóa thạch hiện tại. Quá trình chuyển đổi nên xem xét bước đầu tiên trong việc kết hợp hệ thống đẩy và hệ thống phụ trợ của các tàu hiện có để có cơ sở tiến tới cấu hình không phát thải cho các thiết kế mới.

TỪ KHÓA: Động cơ lai, hệ thống hàng hải, lực đẩy tàu.

ABSTRACT: Due to the increasing impact of ship emissions on the environment and the preventive measures of current regulations introduced by the International Maritime Organization to significantly reduce them, the development of ocean-going all-electric ships has been addressed as a concept applied to achieve it. Being a promising technology considers the use of technology alternatives such as fuel cells, batteries, and supercapacitors together with the use of zero-carbon alternative fuels such as hydrogen (H_2) and ammonia (NH_3) as main energy sources. This article addresses a state-of-the-art on several challenges related to the ocean-going zero-emissions ship to achieve a

zero-emissions shipping, based on the technology associated with hybrid and all-electric ship and the zero-carbon fuels alternatives. In this respect, a transition from fossil fuel-based propulsion and auxiliary systems to a zero-emissions ship concept are related to the challenges to overcome the needs of energy density for these new alternatives energy sources compared to current fossil fuel options. The transitional process should consider a first step of hybridization of the propulsion and auxiliary systems of existing ships to get a baseline from where to move forward to a zero-emissions configuration for new designs.

KEYWORDS: Hybrid propulsion, marine system, ship propulsion.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vận tải hàng hải chiếm 2,8% lượng khí nhà kính và khí thải ô nhiễm toàn cầu, tương đương với khoảng 940 triệu [tấn] lượng khí thải carbon dioxide (CO_2) hàng năm, lượng khí thải gây ô nhiễm tương đương với CO_2 cho ước tính này. Để so sánh, chỉ riêng khoảng 15 siêu tàu lớn nhất đã gây ô nhiễm tương đương 760 triệu ô tô. Khí thải chính của vận tải hàng hải bao gồm CO_2 , nitơ dioxide, sulfur dioxide và các chất đặc biệt. Vận chuyển quốc tế chiếm 87% lượng khí thải CO_2 trong vận chuyển, tiếp theo là vận chuyển nội địa với 8% và đánh bắt cá với 5%, với mức tăng trưởng ước tính vào năm 2050 là 50 - 250% lượng khí thải.

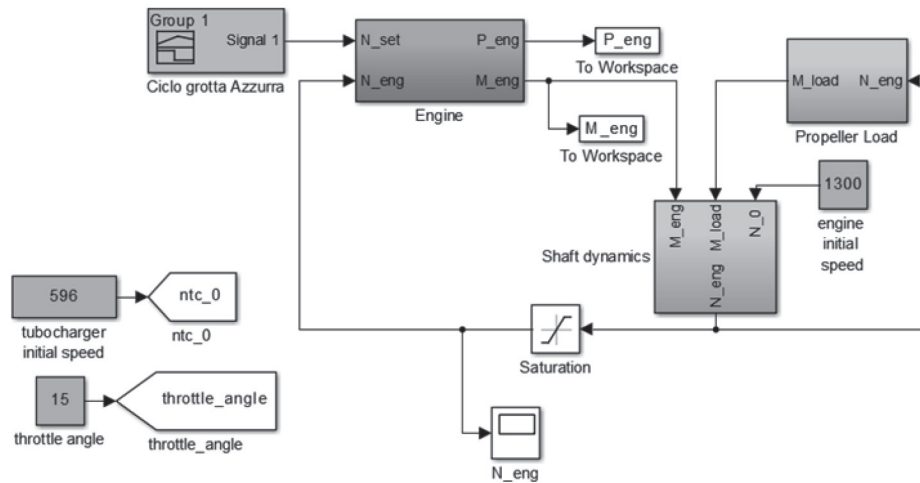
Những lo ngại ngày càng tăng liên quan đến việc sử dụng liên tục nhiên liệu hóa thạch trong các hoạt động vận tải hàng hải đã dẫn đến nhu cầu chuyển đổi từ hệ thống động cơ dựa trên nhiên liệu hóa thạch sang các khái niệm hệ thống động cơ hybrid và động cơ chạy hoàn toàn bằng điện khác nhau, tích hợp nhiên liệu thay thế từ các nguồn năng lượng tái tạo (RES) có hàm lượng carbon thấp và bằng 0.

2. MÔ HÌNH ĐỘNG HPS

Như đã đề cập trong phần giới thiệu, mô hình động Simulink cho phép chúng tôi mô phỏng và sau đó phân tích hoạt động của HPS trên một chu trình làm việc thật sự. Đồng thời, mô hình cho phép chúng tôi đánh giá các đặc điểm về điều kiện vận hành tức thời của hệ thống động cơ hybrid, về trạng thái sạc pin (SOC), mức tiêu thụ động cơ, hiệu suất, vận tốc góc trục khuỷu... Về cơ bản, mô hình được chia thành thành hai khối chính: Phần “động cơ đốt trong” và phần “bộ pin”.

2.1. Khối động cơ đốt trong

Mô hình ICE được phát triển trong môi trường Simulink để mô tả đặc tính động của nó thay đổi theo công suất yêu cầu. Động cơ được mô hình hóa bằng mô hình giá trị trung bình chu trình cùng với các phương trình vi phân để tính tốc độ trục khuỷu động cơ và tốc độ trục tăng áp.



Hình 2.1: Tổng quan mô hình

Đầu vào chính của mô hình là chu trình làm việc được chỉ định *Hình 2.1*. Nó được áp dụng dưới dạng tốc độ quay của trục khuỷu động cơ. Trong loại ứng dụng này, được liên kết trực tiếp với công suất yêu cầu của chân vịt. Nhu cầu tải này cũng bao gồm hiệu suất truyền động cơ học là 98%.

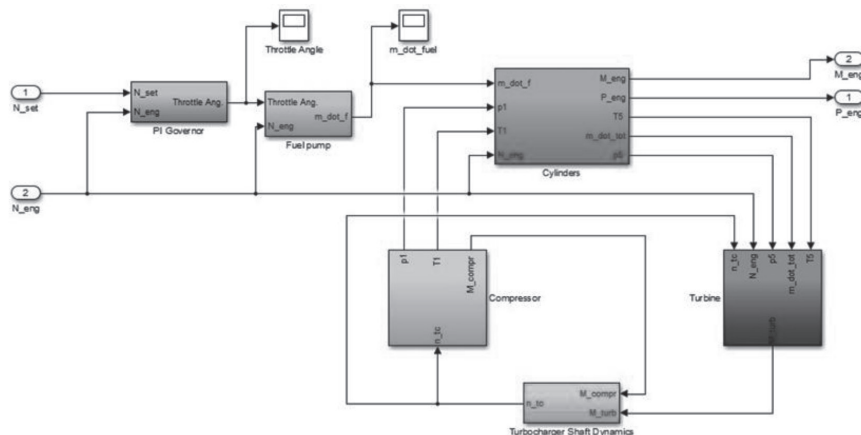
Hơn nữa, trong bước mô phỏng đầu tiên, mô hình cần tốc độ quay trục khuỷu ban đầu và tốc độ quay của trục tăng áp vượt quá giá trị ban đầu của bộ điều tốc. Sau mỗi lần lặp, mô hình sẽ tính toán công suất và mô-men xoắn được cung cấp tức thời.

Một mô tả tổng thể về cách hoạt động của mô hình được cung cấp dưới đây. Trong phần tài liệu sổ sung, các phương trình quản lý, từng khối được mô tả và thảo luận.

Ở lần lặp đầu tiên, mô hình so sánh giá trị ban đầu của tốc độ trục khuỷu động cơ với giá trị đã đặt để xác định, thông qua hệ thống con PI (tích phân tỷ lệ), góc điều chỉnh tốc độ.

Xem xét thông số như vậy cùng với tốc độ trục khuỷu của động cơ và mức tiêu thụ liên quan ở chế độ đầy tải. Giá trị này được sử dụng trong hệ thống “xi-lanh” cùng với thông tin về áp suất và nhiệt độ trong đường ống nạp (được tính trong “Hệ thống máy nén”), để xác định công suất và mô-men xoắn.

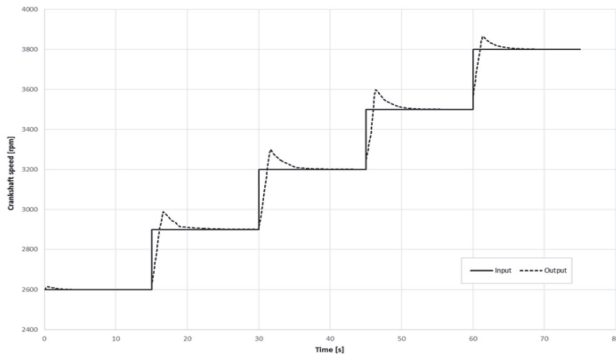
Các thông số tính toán khi kết thúc quá trình cháy được khai thác trong khối “tua-bin” để xác định mô-men xoắn do tua-bin sinh ra trong ống xả. Áp dụng định luật bảo toàn mô-men động lượng, giữa mô-men được máy nén hấp thụ và giá trị ban đầu của tốc độ quay của bộ tăng áp sẽ thu được một chế độ quay mới.



Hình 2.2: Chi tiết khối ICE

Tính hợp lệ của các kết quả mô phỏng động đã được xác minh dựa trên dữ liệu được ghi lại tại bàn thử nghiệm, đặc điểm của hoạt động trong điều kiện đứng yên. Do đó, các biến đổi từng bước về tốc độ quay của trục khuỷu cần thiết để đáp ứng các điểm làm việc được thử nghiệm tại bằng thử nghiệm được áp dụng làm đầu vào mô hình. Trong mô phỏng này, động cơ hoạt động ở mức đầy tải.

Hình 2.3 thể hiện sự so sánh về mặt tốc độ trục khuỷu giữa giá trị tính toán (nét đứt) và bước áp đặt (nét liền). Có thể thấy, sau một thời gian ngắn ban đầu, đối với mỗi bước, mô hình sẽ đạt được chế độ xoay áp đặt. Độ lệch ban đầu nhỏ là do mô-men hãm làm cản trở sự thay đổi tốc độ và do phản ứng không tức thời của bộ điều khiển PI. Hơn nữa, Hình 3.2 cho thấy sự so sánh giữa các giá trị mô phỏng và thử nghiệm của công suất và mô-men xoắn. Sau một thời gian rất ngắn, các giá trị được tính toán vẫn trùng khớp với giá trị thử nghiệm.



Hình 2.3: So sánh giữa tốc độ trục khuỷu được đặt (đầu vào) và tính toán (đầu ra)

Từ những điều trên trên, có thể nói rằng mô hình thể hiện gần đúng hoạt động thực tế của ICE ở mức đầy tải. Kết quả này cho phép ứng dụng mô hình vào nghiên cứu trường hợp với độ tin cậy cao về độ chính xác của kết quả.

2.2. Mô hình khối pin

Một mô hình động của bộ pin đã được phát triển để phân tích hành vi nhất thời của nó trong HPS. Trong một số thông số, mô hình này đánh giá đặc điểm nguồn điện đến/từ pin và do đó lượng năng lượng được lưu trữ và phân phối đến động cơ điện trong một hoặc nhiều chu kỳ làm việc.

Các tác giả đã điều chỉnh mô hình ở các công trình nghiên cứu trước đây. Cụ thể, dung lượng Q (Ah) được đặt để xác định xu hướng SOC của pin theo đặc điểm của bảng dữ liệu pin. Cụ thể, điện áp mạch hở (V_{ocv}), sự thay đổi điện trở trong trong quá trình sạc (R_{ch}) hoặc phóng điện (R_{dis}) được sử dụng để mô tả hoạt động của pin.

Trong mô hình này, dòng điện (I_{bat}) và điện áp (V_{bat}) được đặc trưng như sau:

$$V_{bat} = V_{ocv} - R_{bat}^{int} I_{bat} \quad (1)$$

$$I_{bat} = \frac{V_{ocv} - \sqrt{V_{ocv}^2 - 4R_{bat}^{int} P}}{2R_{bat}^{int}} \quad (2)$$

Trong đó: P - Công suất cần thiết/được nạp cho pin.

$$V_{ocv} = \begin{cases} V_{ocvc} = f_1(SOC), Charge \\ V_{ocvd} = f_2(SOC), Discharge \end{cases} \quad (3)$$

$$R_{bat}^{int} = \begin{cases} R_{ch} = f_3(SOC), Charge \\ R_{dis} = f_4(SOC), Discharge \end{cases} \quad (4)$$

Các phương trình (3) và (4) được thực hiện bằng cách sử dụng bảng tra cứu dựa trên dữ liệu thực nghiệm.

Xu hướng V_{ocv} và R_{int} của pin LFP được báo cáo. Việc xác định SOC được thực hiện như sau:

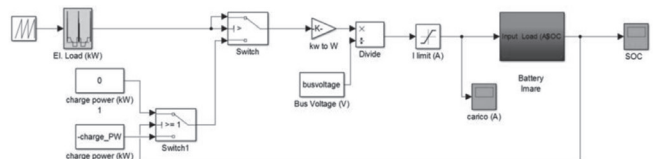
$$SOC = SOC_{ini} - \int \frac{\theta I_{bat}}{Q} \quad (5)$$

Và:

$$\theta = \begin{cases} \theta_{ch} = \frac{v_{ocv}}{v_{ocv} - I_{bat} R_{ch}}, charge \\ \theta_{dis} = \frac{v_{ocv} - I_{bat} R_{dis}}{v_{ocv}}, discharge \end{cases} \quad (6)$$

Trong đó, SOC_{ini} là giá trị ban đầu của SOC và Q [Ah] đại diện cho dung lượng pin. Trong nghiên cứu hiện tại, dung lượng pin và công suất lưu trữ danh nghĩa được đặt như được chỉ ra trong Bảng 3.1.

Mô hình pin Simulink được hiển thị trong Hình 2.4. Cụ thể, các đặc tính của pin (điện áp mạch hở và điện trở trong) được triển khai trong tiểu khối "Battery Imare".

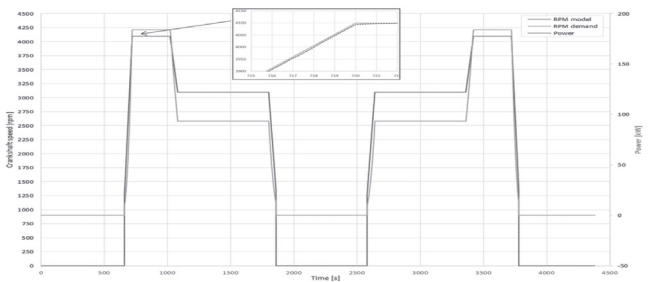


Hình 2.4: Mô hình pin

3. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

3.1. Kết quả mô phỏng HPS: Giai đoạn đầy ICE

Dưới đây trình bày các kết quả mô phỏng được thực hiện trên động cơ diesel trong trường hợp cấu trúc hybrid. Hình 3.1 cho thấy kết quả đầu ra của mô hình về tốc độ quay của trục khuỷu và công suất được cung cấp trong trường hợp, như một mô phỏng sơ bộ, bộ pin không được sạc.



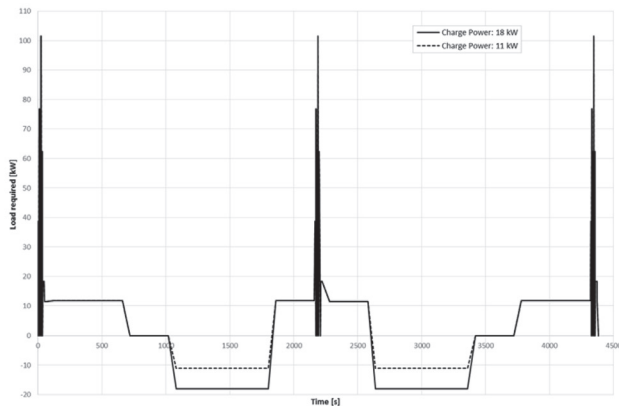
Hình 3.1: Chu kỳ làm việc không cần sạc pin

Có thể thấy, xu hướng tốc độ được tính toán tuân theo xu hướng áp đặt và không có sai lệch đáng kể trong toàn bộ phạm vi hoạt động. Phần duy nhất mà hai xu hướng phân kỳ tương ứng với tốc độ tối đa.

3.2. Kết quả mô phỏng HPS: Pha đầy điện

Trong các mô phỏng này, đầu vào của mô hình là cấu hình tải điện được hiển thị trong Hình 3.2. Để phân tích

hoạt động của bộ pin, các giai đoạn sạc trong quá trình di chuyển đã được thêm vào đường cong tải.



Hình 3.2: Tải đầu vào của bộ pin

3.3. Những cân nhắc sâu hơn về kết quả mô phỏng

Các kết quả thu được cũng có thể được khai thác để đánh giá những lợi thế của việc áp dụng cấu trúc lai về mặt lợi ích môi trường và hiệu quả tổng thể của hệ thống. Động cơ đẩy lai cho phép điều hướng và di chuyển trong các cảng và khu vực được bảo vệ ở chế độ hoàn toàn bằng điện, không phát ra âm thanh và chất gây ô nhiễm. Hơn nữa, điều này đạt được với những lợi thế hơn nữa về việc giảm tiêu thụ nhiên liệu.

Để định lượng những lợi ích do HPS mang lại, do hiệu suất trung bình cao hơn, trường hợp tham chiếu được thể hiện bằng việc sử dụng động cơ diesel để bao trùm toàn bộ chu trình làm việc được xem xét. Để đạt được mục đích này, một mô phỏng đã được thực hiện để xác định mức tiêu thụ nhiên liệu cụ thể tổng thể và trung bình trong một chu kỳ.

Tất cả các dữ liệu thu được được thể hiện trong Bảng 3.1.
Bảng 3.1. So sánh mức tiêu thụ cụ thể

Architecture	Fuel	Additional Fuel	Propeller Energy	Average Specific Consumption
(kg)			(kWh)	(g/kWh)
Only Diesel Engine 19.03	-	-	82.7	230.1
HPS with 10.8 kWh battery 18.305	14.6	0.36	82.7	225.7
HPS with 18 kWh battery 18.91	0	0	82.7	228.6

So sánh mức tiêu thụ cụ thể từ bảng này có thể suy ra rằng cấu trúc hybrid chắc chắn có lợi thế về mặt tiêu thụ. Trên thực tế, nó cho phép cung cấp năng lượng được tạo ra khi vận hành hành trình và do đó dưới hiệu suất cao của ICE, ở các chế độ vận hành không ở mức tối ưu. Hơn nữa, hiệu suất ICE ở tốc độ hành trình tăng nhẹ do tải hoạt động

để sạc pin cao hơn, như được chứng minh bằng dữ liệu tiêu thụ cụ thể đã thảo luận trước đó.

Những gì được nêu ở trên làm cho kích thước HPS trong hoạt động này hiệu quả hơn động cơ đẩy thu nhiệt, mặc dù hiệu suất thấp hơn 1, mặc dù cao, đang được xem xét đối với bộ pin và máy điện được thêm vào chuỗi hiệu suất.

4. KẾT LUẬN

Bộ pin 18 kWh (mô-đun 60 Ah) có thể cung cấp công suất khởi động cao hơn và khả năng tránh phải sạc lại trong thời gian lắp ghép, nhưng mặt khác, giải pháp này đắt hơn và nặng hơn.

Từ quan điểm năng lượng, việc áp dụng cấu trúc hybrid đã dẫn đến sự cải thiện hiệu suất tổng thể của hệ thống động cơ trên tuyến đường được xem xét. Liên quan đến mức tiêu thụ cụ thể, việc áp dụng HPS cho phép chúng tôi giảm khoảng 2% trong trường hợp bộ pin 10,8 kWh đối với trường hợp chỉ có động cơ diesel được thiết kế để đi trên toàn tuyến.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT23-24.45.

Tài liệu tham khảo

- [1]. De Meyer, P.; Maes, F.; Volckaert, A. (2008), *Emissions from international shipping in the Belgian part of the North Sea and the Belgian seaports*, Atmos. Environ.
- [2]. Deniz, C.; Kilic, A. (2010), *Estimation and assessment of shipping emissions in the region of Ambarli Port, Turkey*, Environ. Prog. Sustain. Energy.
- [3]. Song, S.K.; Shon, Z.H. (2014), *Current and future emission estimates of exhaust gases and particles from shipping at the largest port in Korea*, Environ. Sci. Pollut. Res.
- [4]. Tichavska, M.; Tovar, B. (2015), *Environmental Cost and Eco-efficiency from Vessel Emissions in Las Palmas Port*, Transp. Res. Part E, 83, 126-140.
- [5]. Maragkogianni, A.; Papaefthimiou, S. (2015), *Evaluating the social cost of cruise ships air emissions in major ports of Greece*, Transp. Res. Part D Transp. Environ.
- [6]. Geertsma, R.D.; Negenborn, R.R.; Visser, K.; Hopman, J.J. (2017), *Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments*, Appl. Energy, 194, 30-54.
- [7]. Capasso, C.; Veneri, O. (2014), *Experimental analysis on the performance of lithium based batteries for road full electric and hybrid vehicles*, Appl. Energy.

Ngày nhận bài: 24/3/2024

Ngày nhận bài sửa: 12/4/2024

Ngày chấp nhận đăng: 26/4/2024