

Design and Fabrication the Nearshore Wave Energy Converter

Cong Binh Phan^{1*}, Nhat Phi Long Nguyen¹, Tien Si Do²

¹Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam

²FPT Polytechnic, FPT University, Vietnam

*Corresponding author. Email: binhpc@hcmute.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 12/04/2025
Revised: 13/06/2025
Accepted: 23/07/2025
Published: 28/11/2025

KEYWORDS

Nearshore WEC;
Hydrodynamic;
Modeling;
Design;
Test rig.

ABSTRACT

This paper presents the computational analysis, design and experimental fabrication of a nearshore wave energy conversion and absorption device (Wave Energy Converter – WEC) developed to harness and convert the mechanical energy of ocean waves into electrical power. The device is specifically designed to operate efficiently under nearshore wave conditions and may also contribute to reducing wave energy impacting coastal dikes, thereby supporting erosion mitigation efforts. Initially, the working principle and structural configuration of the WEC are thoroughly described. Based on the drive system schematic and the geometric parameters of the wave barrier, relevant hydrodynamic parameters are computed using the wave-structure interaction simulation software ANSYS AQWA. These results serve as the basis for designing the WEC's drive system. Subsequently, a prototype of the device is fabricated and installed for experimental testing in a wave tank environment. Experimental results demonstrate that the device operates stably and achieves high performance.

Thiết kế và chế tạo thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng gần bờ

Phan Công Bình^{1*}, Nguyễn Nhật Phi Long¹, Đỗ Tiến Sĩ²

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Cao đẳng FPT Polytechnic, Đại học FPT, Việt Nam

*Tác giả liên hệ. Email: binhpc@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 12/04/2025
Ngày hoàn thiện: 13/06/2025
Ngày chấp nhận đăng: 23/07/2025
Ngày đăng: 28/11/2025

TỪ KHÓA

WEC gần bờ;
Thủy động học;
Mô hình hóa;
Thiết kế;
Hệ thí nghiệm.

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày các tính toán, ý tưởng thiết kế và kết quả chế tạo thử nghiệm một thiết bị chuyển đổi và hấp thụ năng lượng sóng gần bờ (Wave Energy Converter – WEC), giúp khai thác và chuyển hóa năng lượng cơ học của sóng biển thành năng lượng điện. Thiết bị được thiết kế để hoạt động hiệu quả trong điều kiện sóng ven bờ, đồng thời có thể góp phần làm giảm năng lượng sóng tác động lên các tuyến đê, qua đó hỗ trợ hạn chế hiện tượng xói mòn. Trước tiên, nguyên lý hoạt động và các bộ phận của thiết bị WEC được trình bày một cách chi tiết. Nhằm đảm bảo độ chính xác và hiệu quả, các thông số thủy động lực học liên quan được tính toán thông qua phần mềm mô phỏng tương tác sóng ANSYS AQWA, dựa trên đặc điểm hình học và sơ đồ truyền động của tấm chắn sóng. Các kết quả thu được là cơ sở cho thiết kế hệ thống truyền động của thiết bị. Sau đó, mô hình thiết bị được gia công và lắp đặt để tiến hành thử nghiệm trong hồ tạo sóng. Kết quả từ thí nghiệm đã khẳng định thiết bị duy trì trạng thái vận hành ổn định và đạt được hiệu quả tốt trong quá trình chuyển đổi năng lượng với công suất đạt được 14W tại tải tiêu thụ tối ưu và hiệu suất chuyển đổi sấp xỉ 37.1%.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2025.1879>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

Năng lượng từ sóng biển là nguồn năng lượng xanh bền vững và giàu tiềm năng. Tuy nhiên, trên quy mô toàn cầu, việc đạt thu hoạch hiệu quả nguồn năng lượng này gặp nhiều khó khăn. Hiện nay, khi các vấn đề về môi trường vĩ mô như khủng hoảng năng lượng hóa thạch dẫn tới hiệu ứng nhà kính (gây biến đổi khí hậu) trở nên trầm trọng và khó lường, việc sử dụng các phương án thay thế như nguồn năng lượng tái tạo đã được công nhận là một ưu tiên chiến lược. Đặc biệt, với diện tích khổng lồ của các đại dương, năng lượng sóng biển được đánh giá là một giải pháp tiềm năng, hứa hẹn mang lại nền năng lượng xanh bền vững và là yếu tố quan trọng trong sự phát triển hướng tới tương lai. Ở nước ta, một nghiên cứu ứng dụng mô hình Mike 21 SW để tìm ra các thuộc tính của sóng biển tại vùng biển Nam Trung Bộ [1]. Mở rộng ra cả nước thì Việt Nam có đường bờ biển dài 3260km [2]. Trên thế giới, các thiết bị chuyển đổi năng lượng từ sóng đã được giới thiệu trong [3]. Ngoài ra, nhóm tác giả Yongxing Zhang đã giới thiệu một số nguyên lý về chuyển đổi năng lượng sóng trong tài liệu [4], bao gồm nguyên lý hoạt động và phương pháp đánh giá hiệu suất của hệ thống chuyển đổi năng lượng. Thông thường, hệ thống WEC (Wave Energy Converter) được lắp đặt tại ba vị trí chính trên biển: ngoài khơi, gần bờ và trên bờ [5], mỗi vị trí mang những đặc điểm riêng biệt và mật độ năng lượng sóng khác nhau. Trong đó, các thiết bị hấp thụ điểm WEC, đặc biệt là dạng phao hình cầu, tỏ ra hiệu quả hơn khi được triển khai ở khu vực xa bờ và gần bờ nhờ khả năng khai thác sóng từ nhiều hướng. Bên cạnh đó, thiết bị này cũng có thể tích hợp với nhiều hệ thống chuyển đổi năng lượng PTO (Power Take-Off) Cụ thể, thiết bị có thể kết hợp với hệ thống PTO thủy lực, trong đó chuyển động lên xuống của piston được sử dụng để truyền động cho động cơ thủy lực, hoặc hệ thống PTO truyền động trực tiếp – nơi máy phát điện được dẫn động bằng chuyển động tịnh tiến dạng trượt [6], [7].

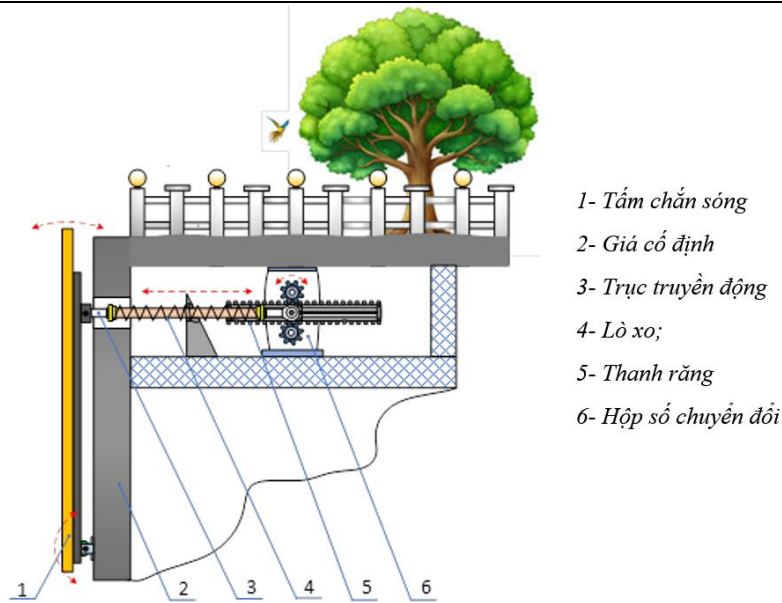
Bên cạnh các nghiên cứu kể trên, nhóm tác giả đã thực hiện các nghiên cứu liên quan đến thiết bị chuyển đổi năng lượng từ sóng (WEC) sử dụng phao nổi [8]–[12]. Trong nghiên cứu [8], một thiết kế bánh đà thủy lực với khả năng thay đổi quán tính (Variable Inertia Hydraulic Flywheel – VIHF) đã được đề xuất nhằm điều chỉnh tần số riêng của hệ thống PTO (Power Take-Off). Tiếp theo, nghiên cứu [9] giới thiệu cơ cấu điều chỉnh độ cứng đàn hồi, trong khi [10] tập trung vào nâng cao độ hiệu quả của cơ cấu này. Mô hình mô phỏng thiết bị nổi đã được chế tạo và chứng minh thông qua thực nghiệm trong nghiên cứu [11]. Trong [12], nhóm tác giả đã đề xuất cơ cấu nhằm tối ưu hiệu suất thu năng lượng sóng của hệ phao nổi. Ngoài ra, thiết bị WEC dạng cánh vó đã được đề cập trong công trình của Truong et al. [13], Sitorus et al. [14], và Sitorus et al. [15], với hệ cơ cấu dao động cánh thủy động học kết hợp truyền động cơ khí để chuyển đổi dao động thành chuyển động quay phục vụ phát điện. Những kết quả này là cơ sở quan trọng cho việc xây dựng mô hình động lực học phi tuyến, cũng như tối ưu hóa hệ thống truyền động – điều khiển trong các thiết bị WEC. Tuy nhiên, để tăng tính ứng dụng thực tế, đặc biệt trong việc giảm thiểu tác động của sóng biển đến các công trình ven bờ, cần có thêm các nghiên cứu về chế tạo và thử nghiệm thiết bị trong điều kiện thực tế.

Nhằm giải quyết các vấn đề nêu trên, một ý tưởng thiết kế đã được đề xuất, trong đó năng lượng của sóng tác động lên bờ được chuyển đổi thành điện năng thông qua cơ cấu tằm chắn sóng. Trước tiên, nguyên lý hoạt động của thiết bị được trình bày, kèm theo mô tả chi tiết về kết cấu của hệ thống chuyển đổi năng lượng sóng (WEC). Dựa trên sơ đồ truyền động và các thông số hình học của tằm chắn sóng, các đặc tính thủy động lực học của thiết bị được xác định bằng phần mềm mô phỏng tương tác sóng ANSYS AQWA. Các kết quả mô phỏng được sử dụng làm thông số ban đầu cho thiết kế cơ cấu truyền động của WEC. Mô hình thiết bị được gia công, lắp ráp và tiến hành kiểm nghiệm trong điều kiện thực nghiệm tại bể tạo sóng nhằm khẳng định độ hiệu quả của hệ thống.

2. Ý tưởng thiết kế

Tổng quan về ý tưởng thiết kế được trình bày trên Hình 1.

Dưới sự tác động của sóng tới, tằm chắn (1) sẽ hấp thụ năng lượng và truyền vào trục dẫn số (3). Trục dẫn (3) được cố định vào thanh răng (5) làm quay bánh răng dẫn động hộp số chuyển đổi (6). Từ chuyển động quay hai chiều của các bánh răng dẫn, hộp số (6) tạo ra chuyển động quay một chiều tại trục ra để điều khiển máy phát điện. Sau nửa chu kỳ trục dẫn (3) sẽ được đẩy trở về nhờ lực đàn hồi của lò xo (4) để bắt đầu chu kỳ mới.



Hình 1. Thiết kế nguyên lý hoạt động cho WEC

3. Phân tích lực tác động

Trong điều kiện thí nghiệm, sóng điều hòa với li độ được trình bày trong (1):

$$\eta = A \sin \omega t \quad (1)$$

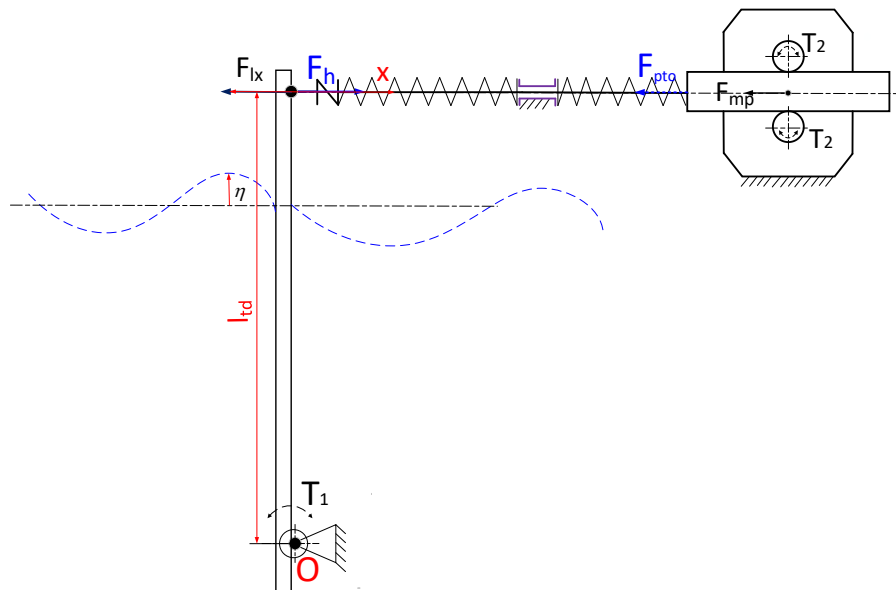
Với

A: biên độ của sóng nước (m)

ω : tần số góc của sóng nước (rad/s)

3.1. Mô hình lực thủy động học lên tấm chắn

Thiết bị có sơ đồ phân tích thủy động lực học được trình bày như trên Hình 2. Dưới tác động của lực sóng ngang lên tấm chắn tạo nên tổ hợp lực thủy động học dẫn động trực truyền động. Trở lực bên trong hệ PTO được sinh ra và góp phần tạo nên chuyển động quanh tâm quay O của thiết bị.



Hình 2. Sơ đồ truyền động của hệ thống WEC

Lực thủy động học tác động lên tấm bao gồm cách thành phần như phương trình (2) như sau:

$$F_h = F_e + F_r + F_v \quad (2)$$

Các lực tác động chính gồm:

Tải kích thích F_e bao gồm hợp lực Froude–Krylov và lực do nhiễu:

$$F_e = f_1 A \sin(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

Trong đó:

f_1 : hệ số biên độ của lực kích thích

φ : góc lệch pha.

Lực cản động lực F_r sinh ra từ dao động điều hòa của tấm trong nước:

$$F_r = -m_a \ddot{x} - R_r \dot{x} \quad (4)$$

Với:

m_a : khối lượng gia tăng

R_r : hệ số suy giảm bức xạ.

Tải giảm chấn F_v do chất lỏng tác dụng lên vật thể chuyển động:

$$F_v = -\frac{1}{2} \rho C_d A_0 (\dot{x} - \dot{\eta}) |\dot{x} - \dot{\eta}| \quad (5)$$

Trong đó:

C_d : hệ số lực cản

A_0 : diện tích mặt cắt ước khi cân bằng của tấm (m^2).

ρ : khối lượng riêng của chất lỏng (kg/m^3)

3.2. Mô hình trở lực PTO

Lực cản từ hệ thống PTO được biểu diễn như sau:

$$F_{PTO} = F_{lx} + F_{ms} + F_{mp} \quad (6)$$

Trong đó:

Lực đàn hồi của lò xo đưa hệ thống trở về trạng thái cân bằng thủy tĩnh F_{lx} :

$$F_{lx} = -Kx \quad (7)$$

Với K : hệ số độ cứng của lò xo

Lực ma sát F_{ms} được mô hình hóa theo phương pháp của Brian Armstrong:

Với:

f_v : hệ số ma sát nhớt, F_{br} : lực ma sát nghỉ, F_c : lực ma sát Coulomb và c_F : hệ số bù chuyển tiếp.

Lực từ máy phát điện F_{mp} được xác định bởi hệ phương trình (8):

$$F_{mp} = \begin{cases} \frac{(T_{bd} + T_{mp})}{r_{br}} \times u_h, & \text{khi } n \geq \dot{\theta} \\ 0, & \text{khi } n < \dot{\theta} \end{cases} \quad (8)$$

$$n = \frac{\dot{x}}{r_{br}} \times u_h \quad (9)$$

trong đó T_{bd} và T_{mp} lần lượt là mô-men xoắn của bánh đà (do quán tính) và máy phát; r_{br} là chiều dài cần nối; $\dot{\theta}$ là vận tốc vòng tại trục máy phát; n là vận tốc quay tức thời tại trục máy phát và u_h là tỷ số truyền của hộp số.

3.3. Mô hình toán hoàn chỉnh của tấm

Theo định luật 2 Newton, phương trình (10) mô tả chuyển động của tấm như sau:

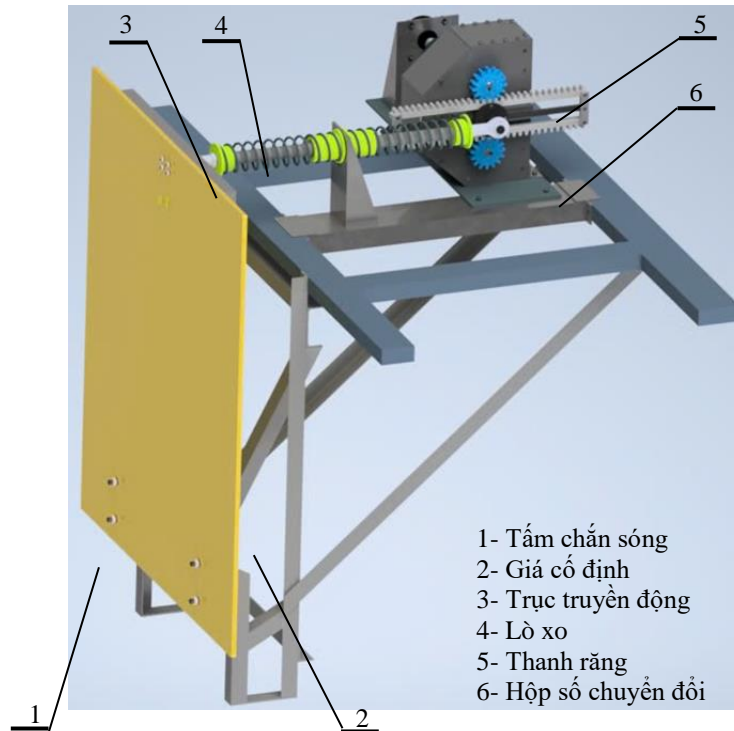
$$I_t \ddot{\phi} = (F_h + F_{PTO}) \times l_{td} \quad (10)$$

trong đó ϕ là vị trí góc quay của tấm, I_t là moment quán tính của tấm chắn và là l_{td} khoảng cách cánh tay đòn từ tâm quay đến điểm đặt lực

4. Thiết kế và chế tạo mô hình thử nghiệm

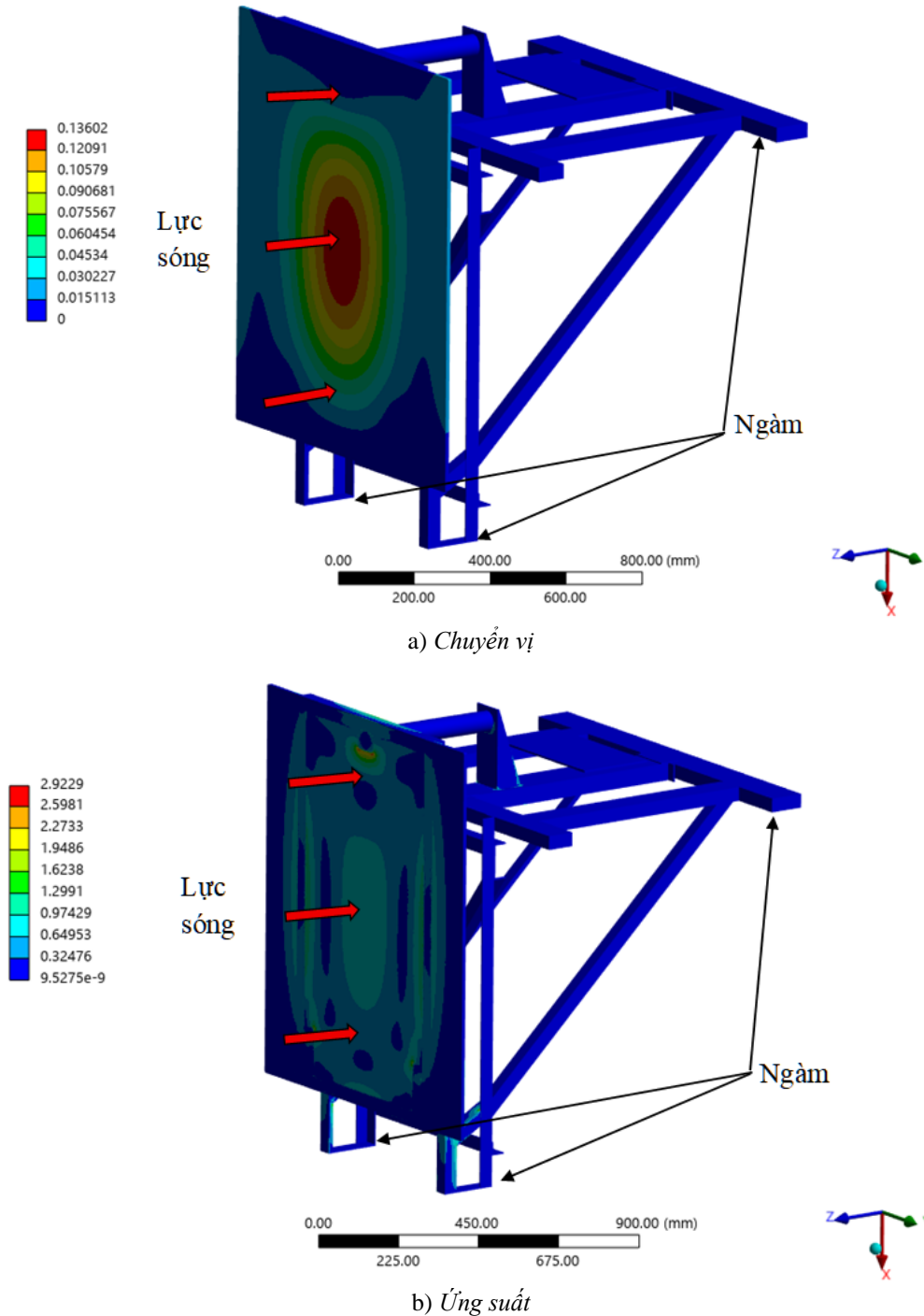
4.1. Tính toán thiết kế

Mô hình thiết bị chuyển đổi năng lượng của sóng dạng tấm được tính toán và thiết kế bằng phần mềm INVENTOR như trên Hình 3. Sau khi tính toán thiết kế, phần khung của hệ được kiểm nghiệm bền bằng phần mềm Ansys và kết quả như trên Hình 4. Như trên Hình 4a, chuyển vị lớn nhất 0.14 mm tại vị trí nguy hiểm nhất. Hình 4b chỉ ra ứng suất lớn nhất sinh ra là 2.9 MPa nên thoả mãn điều kiện bền với vật liệu chế tạo là thép SS400 và C45 trong trường hợp nguy hiểm nhất.

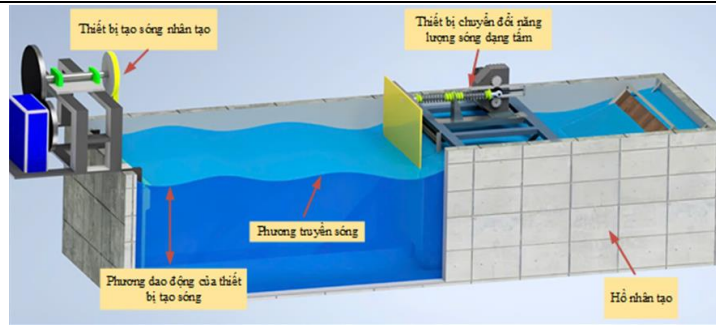


Hình 3. Thiết kế mô hình 3D của thiết bị bằng phần mềm Inventor

Hình 5 mô tả thiết kế hệ thống thử nghiệm trong hồ tạo sóng nhân tạo. Hệ thống bao gồm thiết bị tạo sóng và thiết bị chuyển đổi dạng tấm được lắp trên khung cố định. Thiết bị tạo sóng được khởi động dựa trên các thông số yêu cầu về tần số và biên độ sóng. Sóng tạo ra sẽ lan truyền theo phương ngang đến tấm tương tác. Tấm tương tác nhận được năng lượng và chuyển động đẩy trực truyền động làm quay hộp số của thiết bị chuyển đổi năng lượng.



Hình 4. Kết quả kiểm nghiệm khung đỡ hệ



Hình 5. Sơ đồ triển khai thiết bị trong hồ tạo sóng nhân tạo

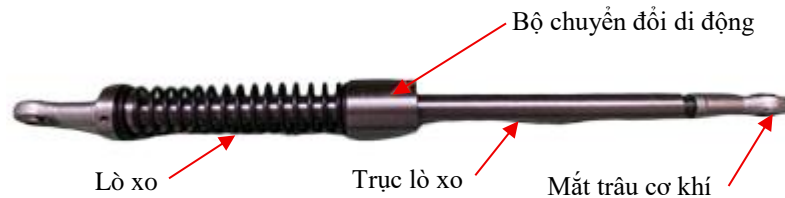
4.2. Gia công chế tạo

Các chi tiết được gia công và lắp ráp thành hệ hoàn chỉnh như trên Hình 6.



Hình 6. Hình ảnh thực tế của hệ thống PTO trong hồ tạo sóng

Trục truyền động được cấu tạo gồm các chi tiết trên Hình 7. Hai đầu trục lò xo là các khớp cầu được lắp vào tấm chắn sóng và thanh răng của hộp số. Phần giữa là một ổ trượt hay còn gọi là bộ chuyển đổi di động có tác dụng như cữ chặn lò xo trong khi vẫn cho trục di chuyển qua lại nhẹ nhàng



Hình 7. Trục truyền động giữa tấm chắn sóng và hộp số

5. Thực nghiệm hệ thống WEC trong hồ tạo sóng

5.1. Thông số thí nghiệm

Bảng 1 liệt kê các thông số chính của hệ thống PTO, còn Bảng 2 thể hiện các điều kiện hoạt động đã được thiết lập cho thiết bị.

Bảng 1. Thông số chính hệ thống PTO

Thông số	Giá trị
Kích thước tấm chắn LxWxT (m)	$0.95 \times 1.124 \times 0.002$
Khối lượng tấm chắn (kg)	$M_t = 16.8$
Chiều dài cánh tay đòn (m)	$l_{td} = 0.99$
Độ cứng lò xo (N/m)	$K = 1237.6$

Bán kính bánh răng (m)	$r_{br} = 0.05$
Tỷ số truyền chung của hộp số	$u_h = 4$

Bảng 2. Thông số hồ thí nghiệm

Tần số góc ω (rad/s)	Chiều cao H (m)	Chiều sâu h (m)	Số sóng k (rad/m)
3.6	0.2	0.83	1.25

Công suất sóng trung bình tác động lên tấm chắn ngang được xác định như sau:

$$P_t = P_s L \quad (11)$$

trong đó L là chiều ngang của tấm chắn và P_s là công suất trung bình của sóng gần bờ được tính từ mật độ năng lượng và vận tốc nhóm

$$P_s = EC_g \quad (12)$$

trong đó, E được xác định theo công thức (14)

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (13)$$

với H là chiều cao của sóng tới.

Vận tốc nhóm C_g cho vùng gần bờ độ sâu không đổi được xác định như sau:

$$C_g = \frac{1}{2} \frac{g}{\omega} D(kh) \quad (14)$$

với $D(kh)$ là đại lượng phụ thuộc vào chiều sâu được xác định theo (15)

$$D(kh) = \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] \tanh(kh) \quad (15)$$

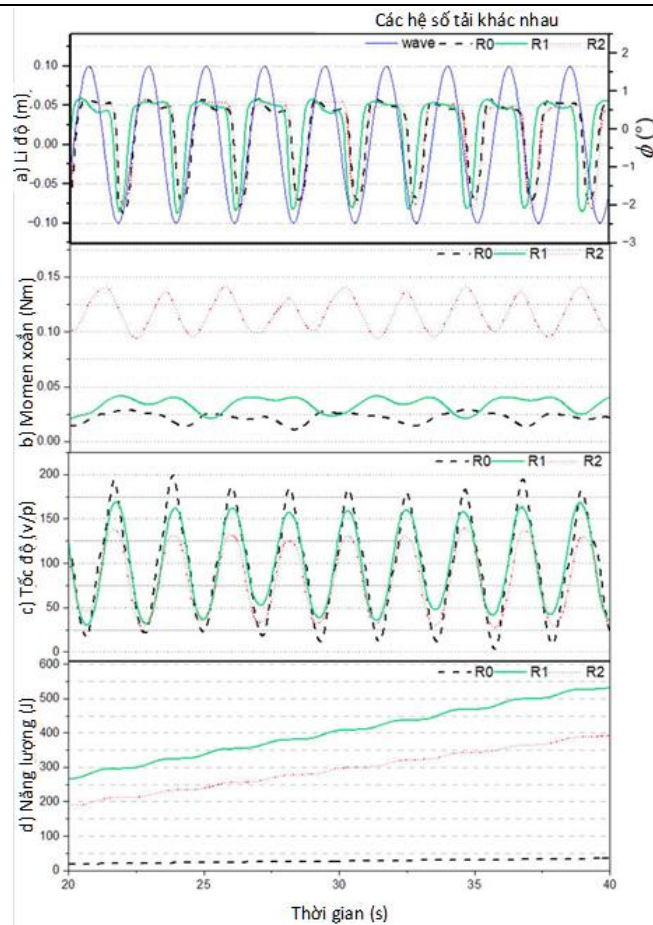
Công suất chuyển đổi được tính thông qua kết quả đo trực tiếp momen xoắn và tốc độ trên trục lắp máy phát

$$P_{mp} = T_{mp} \dot{\theta} \quad (16)$$

5.2. Kết quả và thảo luận

Các thử nghiệm được tiến hành trong những trường hợp hệ số tải nặng nhẹ khác nhau và kết quả được thể hiện trên Hình 8.

Dữ liệu sóng và vị trí của tấm thực nghiệm được ghi nhận trực tiếp tại bể tạo sóng và được mô tả trong Hình 8-(a). Kết quả đo mô-men xoắn tại trục máy phát được thể hiện ở Hình 8-(b). Hình 8-(c) trình bày vận tốc đầu ra của máy phát tương ứng với các mức tải khác nhau. Trong khi đó, Hình 8-(d) cho thấy năng lượng phát, xác định bằng cách tích phân mô-men xoắn và vận tốc theo thời gian. Như vậy, kết quả thử nghiệm cho thấy mức năng lượng phụ thuộc vào tải tiêu thụ của hệ thống và kết quả ở trường hợp tải R1 đạt được năng lượng cao nhất gần 14 W. Kết quả tính toán công suất sóng trung bình được xác định theo (12) và hấp thụ tối đa của tấm theo phương ngang là 37.7 W. Nên hiệu suất chuyển đổi trong thiết bị có thể đạt được sấp xỉ 37.1%. Ngoài ra, các tín hiệu đo được cũng thể hiện thiết bị làm việc ổn định trong điều kiện thử nghiệm.



Hình 8. Kết quả thí nghiệm trong các trường hợp khác nhau

6. Kết luận

Bài báo này trình bày các kết quả của quá trình thiết kế và chế tạo của cơ cấu hấp thụ và chuyển đổi năng lượng sóng dạng tấm, vận hành trong khu vực gần bờ. Ý tưởng thiết kế cũng như nguyên lý hoạt động của thiết bị được trình bày chi tiết, làm cơ sở để hoàn thành mô hình thực nghiệm. Sơ đồ truyền động được phân tích nhằm xác định lực tác động, đồng thời tính toán các thông số thủy động lực học, phục vụ cho quá trình thiết kế các chi tiết cơ khí của hệ thống. Sau khi hoàn thiện quá trình gia công, thiết bị được tích hợp trong hồ tạo sóng và tiến hành thực nghiệm. Quá trình thử nghiệm được triển khai thành công dưới các điều kiện tải khác nhau, với hệ thống thu thập dữ liệu được tích hợp nhằm ghi nhận các thông số như mômen xoắn, vị trí của tấm chuyển động, vận tốc quay và năng lượng chuyển hóa. Kết quả thử nghiệm cho thấy thiết bị được vận hành ổn định, với hiệu suất thu hồi đạt đến 37.1%.

Lời cảm ơn

Bài báo này thuộc Đề tài cấp trường mã số T2024-18 được tài trợ kinh phí bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành Phố Hồ Chí Minh

Xung đột lợi ích

Các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích trong bài báo này.

Tuyên bố dữ liệu sẵn có

Dữ liệu hỗ trợ cho các khám phá của nghiên cứu này khi độc giả yêu cầu một cách hợp lý sẽ được tác giả liên hệ cung cấp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N. T. Ngo, V. N. Do, T. P. Le, and T. B. Nguyen, "Nghiên cứu xác định năng lượng sóng biển khu vực Nam Trung Bộ," *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, no. 722, pp. 58–67, 2021, doi: 10.36335/VNJHM.2021(722).58–67.
- [2] D. N. Quynh, "Đánh giá tiềm năng năng lượng biển Việt Nam," *Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, 2002–2003, Hà Nội, 2004.
- [3] A. F. de O. Falcão, "Wave energy utilization: A review of the technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 3, pp. 899–918, Apr. 2010, doi: 10.1016/j.rser.2009.11.003.
- [4] Y. Zhang, Y. Zhao, W. Sun, and J. Li, "Ocean wave energy converters: Technical principle, device realization, and performance evaluation," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 141, p. 110764, May 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.110764.
- [5] M. M. Ahmad, A. Kumar, and M. S. Alam, "Harnessing of Wave Energy as Renewable Energy: An Overview," *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.*, vol. 4, no. 8, pp. 71–88, 2019. [Online]. Available: www.ijisrt.com
- [6] S. J. Kim, W. Koo, and M. J. Shin, "Numerical and experimental study on a hemispheric point-absorber-type wave energy converter with a hydraulic power take-off system," *Renew. Energy*, vol. 135, pp. 1260–1269, May 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.09.097.
- [7] N. T. K. Loan, P. T. Long, and L. M. Tien, "TIME Domain Modeling for a Floating-point Absorber Wave Energy Converter," *The Univ. Danang – J. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 5, pp. 1–5, 2021.
- [8] P. C. Binh and K. K. Ahn, "Performance optimization of dielectric electro active polymers in wave energy converter application," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, vol. 17, no. 9, pp. 1175–1185, Sep. 2016, doi: 10.1007/s12541-016-0141-6.
- [9] T. D. Dang, C. B. Phan, and K. K. Ahn, "Design and investigation of a novel point absorber on performance optimization mechanism for wave energy converter in heave mode," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 477–488, Mar. 2019, doi: 10.1007/s40684-019-00065-w.
- [10] T. D. Dang, M. T. Nguyen, C. B. Phan, and K. K. Ahn, "Development of a wave energy converter with mechanical power take-off via supplementary inertia control," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 497–509, Mar. 2019, doi: 10.1007/s40684-019-00098-1.
- [11] P. C. Binh *et al.*, "Analysis, design and experiment investigation of a novel wave energy converter," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 10, no. 2, pp. 460–469, Feb. 2016, doi: 10.1049/iet-gtd.2015.0821.
- [12] C. B. Phan, N. P. L. Nguyen, X. T. Ho, and T. S. Do, "Design and fabrication the control mechanism to improve the wave energy converter's efficiency," *J. Tech. Educ. Sci.*, vol. 19, no. 05, Oct. 2024, doi: 10.54644/jte.2024.1616.
- [13] T. Q. Trung *et al.*, "Nonlinear dynamic model for flapping-type tidal energy harvester," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 19, no. 4, pp. 406–414, 2014.
- [14] P. E. Sitorus *et al.*, "Design, implementation, and power estimation of a lab-scale flapping-type turbine," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 21, no. 1, pp. 115–128, 2016.
- [15] P. E. Sitorus *et al.*, "Progress on development of a lab-scale flapping-type tidal energy harvesting system," in *Proc. IEEE Conf. Clean Energy Technol. (CEAT)*, Langkawi, Malaysia, Nov. 2013, pp. 42–47.

Cong Binh Phan received his B.S. degree in Mechanical Engineering from Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam, in 2005, followed by an M.S. degree from Ho Chi Minh City University of Technology in 2009. He earned his Ph.D. in Mechanical Engineering from the University of Ulsan, South Korea, in 2015. He has over 15 years of professional experience in mechanical engineering, particularly in machine design, fabrication, and maintenance. Since 2017, he has served as a lecturer at Ho Chi Minh City University of Technology and Education, where he teaches courses related to machine design. His expertise includes conceptualizing innovative mechanical systems and simulating wave energy converters (WECs). He has a strong academic record, with 17 peer-reviewed journal publications, 11 patents, and 20 presentations at international conferences, many of which were completed during his doctoral and post-doctoral research at the University of Ulsan. He also has practical experience in developing experimental test benches for mechanical systems and conducting performance evaluations. In addition to his academic role, he has served as a consultant in industrial maintenance and Kaizen-based machine improvement in manufacturing settings. Currently, he is a Lecturer in the Department of Mechanical Engineering at Ho Chi Minh City University of Technology and Education. His research interests include mechanical structure design and optimization, modeling of wave energy converters with mechanical power take-off systems, and industrial maintenance engineering.

Email: binhpc@hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9137-2227>

Nhut Phi Long Nguyen received the B.Sc. and M.Sc. degrees in machine manufacturing technology and the Ph.D. degree in engineering mechanics from the HCMC University of Technology and Education (HCMUTE), Ho Chi Minh City, Vietnam, in 2004, 2007, and 2021, respectively. He is currently with the Faculty of Mechanical Engineering, the HCMUTE, Ho Chi Minh City, Vietnam. His research interests include Engineering Mechanics, Materials in Engineering, and Machinery Manufacturing Technology.

Email: longnnp@hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2303-5989>

Tien Si Do was born on January 15, 1995, in Dong Nai, Vietnam, is a passionate engineer and researcher. His expertise lies in the fields of Machine Design and Computational Mechanics. In 2018, He graduated from Ho Chi Minh City University of Technology with a Bachelor's degree in Mechanical Engineering. Continuing his quest for knowledge, he pursued a Master's degree in Mechanical Engineering at the same university, successfully obtaining it in 2019. Currently, he is a PhD candidate at Ho Chi Minh City University of Technology (since April 2024) and is lecturer in the Electrical-Mechanical department at FPT Polytechnic, FPT University. His interests include *Finite Element Analysis, Deep Learning*.

Email: sidt.ncs@hcmute.edu.vn / sidt3@fe.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6548-7396>