

THIẾT KẾ CHẾ TẠO VÀ THỬ NGHIỆM THIẾT BỊ THU HỒI NĂNG LƯỢNG SÓNG DẠNG PHAO

DESIGN FRABRICATION AND EXPERIMENT WAVE ENERGY CONVERTER USING A FLOATING BUOY

Phan Công Bình, Trương Phước Thọ, Phùng Sơn Thanh

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày thiết kế, chế tạo và thực nghiệm một thiết bị thu hồi năng lượng sóng dạng phao. Trước hết, ý tưởng thiết kế được thực hiện bao gồm phao tương tác, hộp số và cụm chuyển đổi năng lượng. Nhờ vào tương tác với sóng biển, phao chuyển động lên xuống dẫn động hộp số. Hộp số được thiết kế đặc biệt để biến đổi chuyển động lên xuống của phao thành chuyển động quay một chiều của cụm chuyển đổi năng lượng điện. Kế đến, chương trình phân tích thủy động học của cơ hệ được thực hiện để mô tả hoạt động của thiết bị. Dựa trên kết quả mô phỏng, một thiết bị được thiết kế và chế tạo thử nghiệm để đánh giá. Cuối cùng, kết quả thử nghiệm cho thấy thiết bị làm việc ổn định với hiệu suất cao.

Từ khóa: Điện năng lượng sóng biển; Thiết bị thu hồi năng lượng; Hộp số chuyển đổi; Mô hình hóa.

ABSTRACT

This paper presents a study on design, fabrication and experiment a wave energy converter (WEC) using a floating buoy. Firstly, a conceptual design of the proposed WEC consists of a floating buoy; a gear box and a conversion unit. Based on the interaction with the sea wave, the floating buoy is forced to oscillate upward and downward. An innovative gear box is design to convert the buoy's motion into one-way rotation of the conversion unit. Next, a hydrodynamic model is presented to describe the performance of the WEC. Based on the simulation results, a test rig of the proposed WEC is fabricated to do experimental investigation. Finally, experimental results indicate that the proposed device can work stable in high efficiency.

Keywords: Ocean energy; Wave energy converter; Conversion Gear box; Modelling.

1. TỔNG QUAN

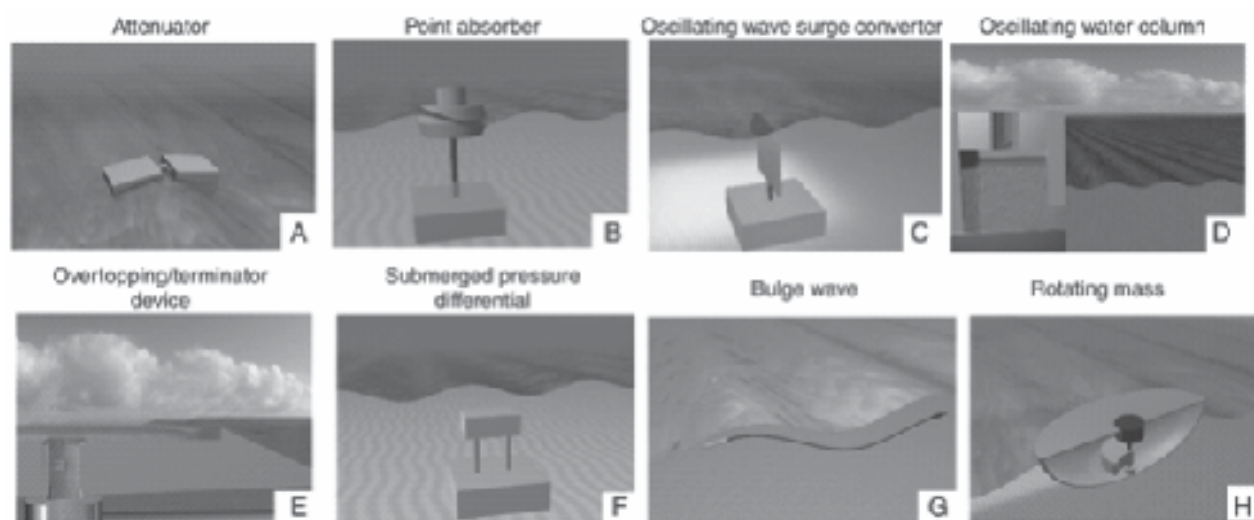
Việt Nam là một trong những nước có nguồn tài nguyên năng lượng tái tạo khá dồi dào và đa dạng gồm: năng lượng gió, năng lượng mặt trời, năng lượng sóng biển, nhiên liệu sinh học và địa nhiệt... Trong hình 1 cho thấy năng lượng sóng có một tiềm năng khổng lồ với hơn 3200 km bờ biển có sóng trung bình 0,6 m suốt 2/3 thời gian của năm và mật độ trung bình 15-20 kW/m [1].

- Vùng 1: Dòng năng lượng sóng trung bình đạt khoảng 15 kW/m.
- Vùng 2: Dòng năng lượng sóng trung bình đạt khoảng 25 kW/m.
- Vùng 3: Dòng năng lượng sóng trung bình đạt khoảng 10 kW/m.
- Vùng 4: Dòng năng lượng sóng trung bình đạt khoảng 18 kW/m.
- Vùng 5: Dòng năng lượng sóng trung bình của khu vực này đạt khoảng 18 kW/m.
- Vùng 6: Dòng năng lượng sóng trung bình của khu vực này đạt khoảng 5-6 kW/m.



Hình 1. Mật độ năng lượng sóng bờ biển Việt Nam [1].

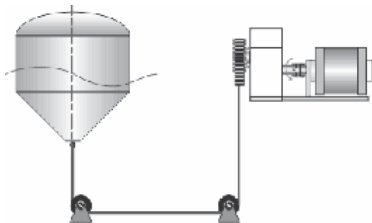
Vì vậy, việc nghiên cứu thiết bị biến đổi năng lượng sóng có ý nghĩa vô cùng lớn mở ra một hướng mới nhằm giải quyết nhu cầu năng lượng chung của đất nước cũng như cho các khu vực và lĩnh vực hoạt động mà nguồn cung cấp năng lượng thủy điện và nhiệt điện còn hạn chế, khó khăn trong tương lai. Hình 2 mô tả các nguyên lý thu hồi năng lượng chính hiện nay trên thế giới [2].



Hình 2. Những phân loại chính trong thu hồi năng lượng sóng [2].

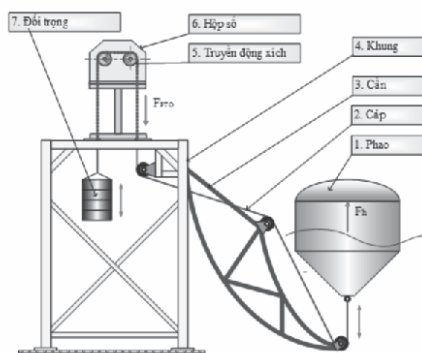


Trong các dạng thiết bị thu hồi năng lượng chính trên thì phao nổi thường được thiết kế thông dụng nhất bởi kết cấu đơn giản và tính linh hoạt cao. Vì thế, bài báo này chọn phương án thiết kế theo dạng phao nổi. Trước hết, ý tưởng thiết kế được thực hiện bao gồm phao tương tác, hộp số và cụm chuyển đổi năng lượng như hình 3. Nhờ vào tương tác với sóng biển, phao chuyển động lên xuống dẫn động hộp số. Hộp số được thiết kế đặc biệt để biến đổi chuyển động lên xuống của phao thành chuyển động quay một chiều của cụm chuyển đổi năng lượng điện. Sau đó, chương trình phân tích thủy động học của cơ hệ được thực hiện để mô tả hoạt động của thiết bị. Dựa trên kết quả mô phỏng, một thiết bị được thiết kế và chế tạo thử nghiệm để đánh giá. Cuối cùng, kết quả thử nghiệm cho thấy thiết bị làm việc ổn định với hiệu suất cao.



Hình 3. Đề xuất thiết kế hệ thống thu hồi năng lượng sóng dạng phao.

2. CẤU TẠO CHI TIẾT VÀ NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC



Hình 4. Cấu tạo hệ thống thu hồi năng lượng.

Kết cấu của hệ thống được mô tả trên hình 4. Khi phao (1) chuyển động lên xuống kéo theo cáp (2) dẫn động bộ truyền xích. Hộp số (6) biến chuyển động hai chiều của xích thành chuyển động một chiều dẫn động cho máy phát điện.

3. MÔ HÌNH TOÁN CỦA CƠ HỆ

Công suất trung bình của sóng được xác định theo lý thuyết tuyến tính và được tính theo công thức sau [3]:

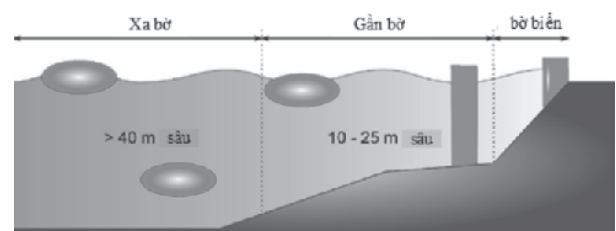
$$P_w = Ec_g, (kW / m) \quad (1)$$

Trong đó:

E là mật độ năng lượng trung bình trên một đơn vị diện tích, được tính bằng tổng của động năng E_k và thế năng E_p . Mật độ năng lượng được tính theo công thức:

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

c_g là vận tốc nhóm và phụ thuộc vào chiều sâu h .



Hình 5. Phân loại chiều sâu mực nước.

Phương trình chuyển động của phao trên mặt sóng được xác định theo định luật 2 Newton như sau:

$$M_b \ddot{z}(t) = F_h(t) + F_{pto}(t) \quad (3)$$

Trong đó:

$F_h(t)$ là hợp lực do thủy động học tương tác của sóng tác động lên phao.

F_{pto} là trở lực từ hệ thống trong thiết bị tác động lên phao.

M_b là khối lượng của phao.

Hợp lực tác động lên phao gồm các thành phần thể hiện ở phương trình:

$$F_h(t) = F_e(t) + F_r(t) + F_v(t) + F_s(t) \quad (4)$$

Trong đó:

$F_e(t)$: Lực tác động của sóng vào phao [3].

$F_r(t)$: Lực nhiễu xạ, gây ra bởi sự dao động của phao trên mặt nước.

$F(t)$: Lực ma sát nhớt giữa phao tương tác trong nước.

$F_s(t)$: Lực thủy tĩnh, gây ra do sự chênh lệch vị trí của phao với vị trí cân bằng.

Trở lực kỹ thuật tác động lên phao gồm các thành phần thể hiện ở phương trình:

$$F_{PTO}(t) = \frac{T_{bd} + T_{mp}}{r_{br}} i_{hs} \quad (5)$$

Trong đó:

T_{bd} là momen quán tính bánh đà.

i_{hs} là tỉ số truyền.

r_{br} là bán kính bánh răng.

T_{mp} là momen trở lực do máy phát sinh ra, được xác định bằng lý thuyết tuyến tính như sau:

$$T_{mp} = R_u \dot{\theta} \quad (6)$$

Trong đó:

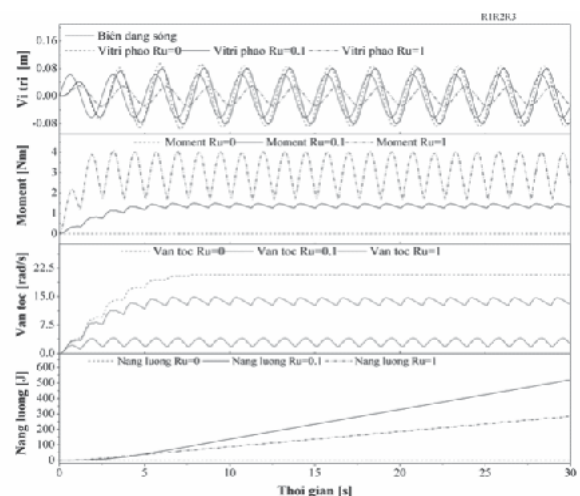
R_u là hệ số sử dụng máy phát.

$\dot{\theta}$ là tốc độ quay của máy phát.

4. MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG THIẾT BỊ BẰNG MATLAB

Chương trình mô phỏng được thực hiện trong ba trường hợp R_u khác nhau. Kết quả mô phỏng được thể hiện trên hình 6. Kết quả mô phỏng được thực hiện trong 30s được in trên hình, thể hiện vị trí của phao, vận tốc, momen và năng lượng cấp cho máy phát. Đối với hệ số tải của máy phát $R_u = 0$, biên độ dao động của phao là lớn nhất, dẫn đến vận tốc của phao là lớn nhất, nhưng năng lượng thu được bằng 0 (do không có tải). Đối với hệ số tải của máy phát $R_u = 1$, biên độ dao động của phao là thấp nhất, nên vận tốc của phao là thấp nhất và năng lượng thu được là E. Đối với hệ số tải của máy phát $R_u = 0,1$ thì chuyển động của phao nhỏ hơn trường hợp $R_u = 0$ và lớn hơn trường hợp $R_u = 1$, nhưng năng lượng thu được cao hơn hai trường hợp trên.

Kết quả mô phỏng trên cho thấy việc chọn trở lực kỹ thuật ảnh hưởng đến năng lượng thu được rất lớn. Nếu trở lực quá lớn thì chuyển vị của phao nhỏ và ngược lại. Chọn trở lực phù hợp giúp cho năng lượng thu hồi được nhiều hơn.

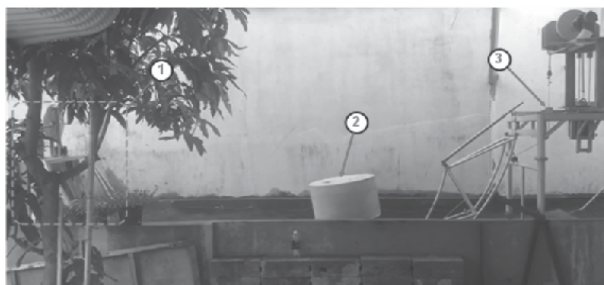


Hình 6. Kết quả mô phỏng cho trường hợp tải khác nhau.

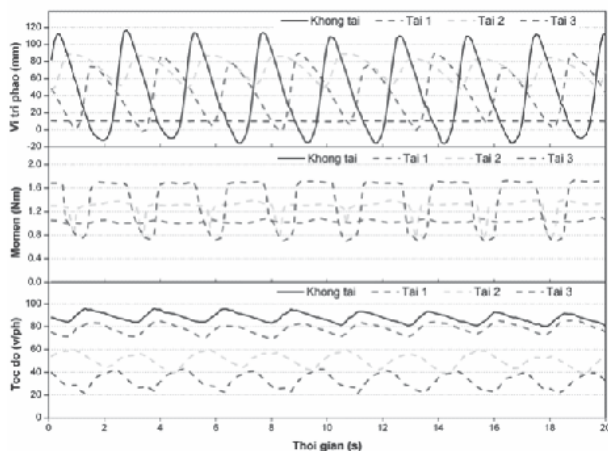


5. THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Tổng thể hệ thí nghiệm được trình bày trong hình 7. Trong đó (1) là hệ tạo sóng, (2) là phao nổi và (3) là hệ thống thu hồi và chuyển đổi năng lượng. Kết quả thí nghiệm được trình bày ở hình 8. Momen và tốc độ ở trục hộp số chịu ảnh hưởng của tải. Khi tăng tải thì momen của máy phát tăng và tốc độ giảm. Đối với trường hợp không có tải, biên độ dao động của phao đạt giá trị lớn nhất tại 115 mm, dẫn đến tốc độ của trục hộp số là lớn nhất tại 95 vòng/phút (v/p), khi đó công suất thu được bằng 0 do không có momen.



Hình 7. Mặt bằng bố trí hệ thí nghiệm.



Hình 8. Kết quả thí nghiệm cho trường hợp tải khác nhau.

Khi tăng tải lên cao nhất thì biên độ dao động của phao là thấp nhất tại 10 mm, dẫn đến tốc độ của trục hộp số là thấp nhất tại 25 v/p và

momen đạt giá trị cao nhất 1,7 Nm. Trường hợp tăng tải lên có vị trí biên độ dao động của phao lớn nhất là 50 mm, tốc độ của trục hộp số lớn nhất là 80 v/p và momen đạt giá trị cao nhất 1,2 Nm.

6. KẾT LUẬN

Bài báo này đề xuất thiết kế, tính toán thiết kế và gia công chế tạo thử nghiệm thành công thiết bị thu hồi năng lượng sóng biển dạng phao. Cấu tạo thiết bị và nguyên lý làm việc được trình bày chi tiết. Chương trình mô phỏng hoạt động của thiết bị đã được xây dựng trên Matlab/Simulink. Dựa vào kết quả tính toán các thông số, thiết bị đã được chế tạo và thử nghiệm thành công trên hồ tạo sóng biển. Hệ thống đo dữ liệu được triển khai để thu thập kết quả thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm đo được phù hợp với mô hình phân tích thủy động học. Ngoài ra, kết quả thí nghiệm đã thu hồi được công suất cao nhất ở chiều cao sóng 250 mm là 20,05 W cho thấy hiệu suất thiết bị có nhiều tiềm năng triển khai vào thực tế.

Ngày nhận bài: 06/8/2022

Ngày phản biện: 20/8/2022

Lời cảm ơn:

Bài báo này thuộc Đề tài cấp trường mã số T2021-13TD, được tài trợ kinh phí bởi Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam. ❖

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Đỗ Ngọc Quỳnh (2004); “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.
- [2]. Eugen R. and Florin O. (2018); *A review of the technologies for wave energy extraction*. Clean Energy, 2(1), 10–19.
- [3]. Falnes, J.; “*Ocean Waves and Oscillating Systems, Linear Interaction Including Wave-Energy Extraction*”, Cambridge University (2002).