

Ứng dụng con quay hai bậc tự do để chế tạo thiết bị hỗ trợ giảm lắc cho tàu kích thước nhỏ

Lê Công Danh* và Lưu Tuấn Anh

Trường Sĩ quan Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu phương pháp sử dụng hiệu ứng con quay chủ động để giảm lắc ngang cho tàu kích thước nhỏ có chiều dài từ 7m đến 25m và lượng giãn nước không quá 100 tấn neo đậu trên mặt nước có biên độ dao động nhỏ. Mặc dù việc ứng dụng hiệu ứng con quay đã được biết đến từ lâu, tuy nhiên phương pháp điều khiển nó là một vấn đề khó. Phạm vi nghiên cứu của bài báo này là đưa ra cấu tạo của thiết bị giảm lắc sử dụng hiệu ứng con quay chủ động và phương pháp điều khiển hiệu quả để dễ dàng sử dụng hiệu ứng đó. Nội dung bài báo mở đầu bằng việc phân tích nguyên nhân gây lắc và nguyên lý chung để giảm lắc, trên cơ sở đó bài báo chỉ ra nguyên lý chống lắc của thiết bị sử dụng hiệu ứng con quay. Tiếp theo, bài báo trình bày thiết kế và thuật toán điều khiển của bộ phận điều khiển cho thiết bị, đây là phần nghiên cứu có tính mới và cũng là nội dung chính của bài báo. Kết quả thực nghiệm của thiết bị với nguyên lý và thiết kế như trên cho tàu mô hình trong điều kiện gây lắc nhân tạo, cho thấy hiệu suất giảm lắc tốt làm cơ sở để hướng nghiên cứu tiếp theo.

Từ khóa: Lắc ngang, hiệu ứng con quay, tâm nổi, đơn vị đo quán tính

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tàu thuyền làm việc trên mặt nước luôn có xu hướng bị mất ổn định (lắc ngang, lắc dọc, nhồi) bởi nhiều tác nhân ví dụ như gió, sóng nước, sự xô dịch khối tâm (xê dịch hàng hóa, người đi lại trên tàu), sự va chạm... Các tác nhân này gây ra mômen cưỡng bức lên tàu, kết quả là tàu bị mất ổn định. Tàu càng nhỏ thì khả năng bị mất ổn định càng lớn. Đối với các tàu bè thực hiện nhiệm vụ kiểm tra đo đạc, khảo sát tại các vùng biển nhiệt đới hoặc các vùng biển có nhiều đá ngầm, san hô thì kích thước của chúng bị giới hạn với chiều dài từ 7m đến 25m và độ giãn nước không quá 100 tấn. Đặc điểm chung của những phương tiện này là có rất nhiều trang thiết bị, vật tư và các thiết bị đo luôn đòi hỏi sự ổn định, tránh xáo trộn.

Những phương pháp giảm lắc phổ biến hiện nay (dùng kết dẫn linh hoạt chống lắc ngang, biến đổi vỏ tàu, ổn định lắc ngang bằng vây,...) có thể dùng cho tất cả các tàu. Phương pháp sử dụng thiết bị con quay chủ động (flywheel) nhỏ gọn dễ dàng lắp đặt, chi phí sản xuất hợp lý, có khả năng vận hành tự động, phù hợp cho tàu bè kích thước nhỏ. Đây là phương pháp không mới nhưng ít phổ biến trước đây do hạn chế trong phương pháp điều khiển. Mặt khác, hiện nay trong nước chưa có đơn vị nào nghiên cứu chế tạo sản xuất, vì vậy

nếu muốn sử dụng phương pháp giảm lắc này đòi hỏi phải nhập khẩu với giá thành rất cao (ví dụ thiết bị giảm lắc bằng con quay hồi chuyển của công ty Seakeeper). Nội dung bài báo trình bày nguyên lý hoạt động của con quay chủ động cùng với phương pháp điều khiển tương ứng nhằm giảm rung lắc cho tàu có kích thước nhỏ trong điều kiện phòng thí nghiệm, nhằm phục vụ cho hướng nghiên cứu tiếp theo của đề tài.



Hình 1. Ảnh hưởng của lắc ngang lên tàu

Tác giả liên hệ: TS. Lê Công Danh

Email: danh_lecong15.02.87@mail.ru

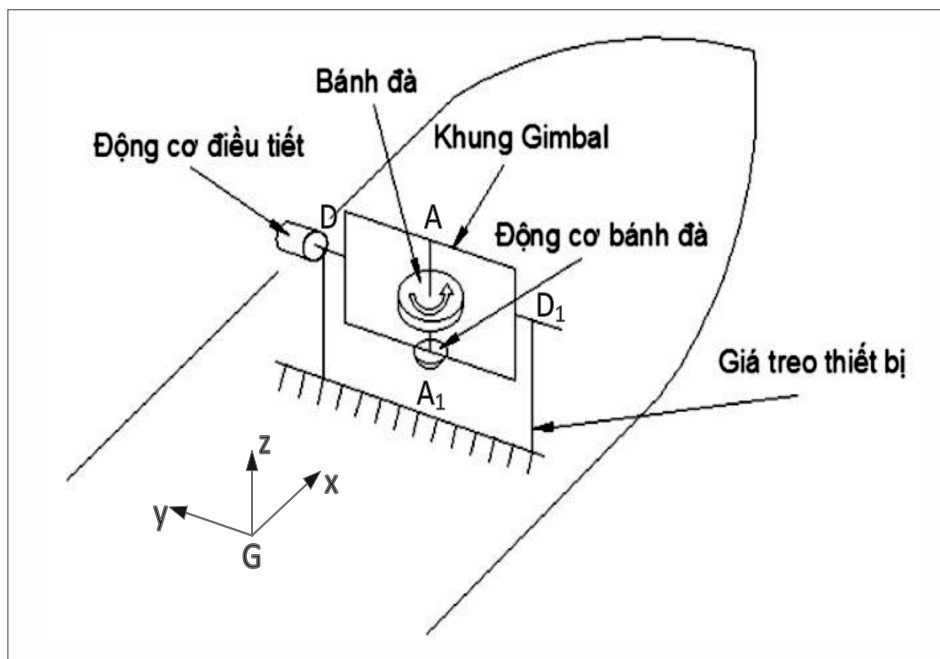
2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là cấu tạo và phương pháp điều khiển của thiết bị chống lắc ngang cho tàu bè kích thước nhỏ bằng việc sử dụng hiệu ứng con quay chủ động.

Thiết bị gồm phần cơ khí và hộp điều khiển. Phần cơ có cấu tạo như Hình 2. Giá treo có nhiệm vụ chống đỡ toàn bộ trọng lượng của thiết bị và được gắn cứng vào boong tàu sao cho mặt phẳng

giá treo vuông góc với trục Gx . Khung gimbal được gắn vào ở 2 ổ đỡ D, D_1 của giá treo để nó có thể xoay quanh trục DD_1 song song với trục Gy . Vận tốc góc ω_2 của khung gimbal quay quanh DD_1 có trị số và chiều quay thay đổi theo tín hiệu điều khiển của động cơ điều tiết. Bánh đà là chi tiết dạng trụ tròn hoặc tấm tròn có trọng lượng lớn, trục bánh đà được gắn vào 2 ổ đỡ A, A_1 cố định trên khung gimbal, trong đó trục AA_1 có phương vuông góc với Dd_1 .



Hình 2. Cấu tạo phần cơ khí thiết bị giảm lắc ngang

Hộp điều khiển của thiết bị gồm các khối sau: vi xử lý, cảm biến góc quay IMU (Inertial Measurement Unit), động cơ điện một chiều với mô men xoắn cao cùng chương trình điều khiển động cơ (driver) (Hình 10).

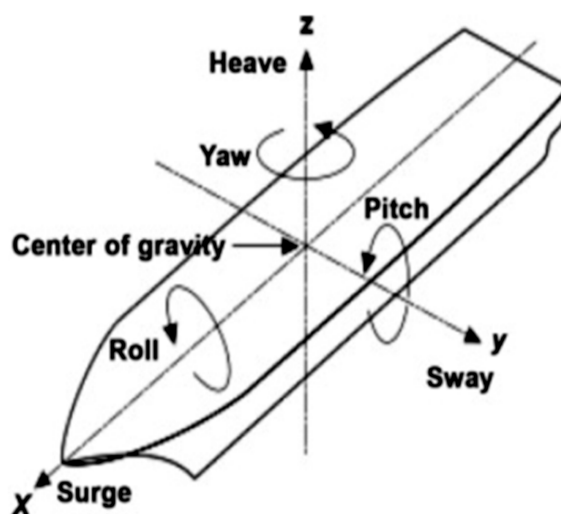
Bên cạnh đó, phương pháp điều khiển của thiết bị được trình bày trong bài báo này là sử dụng cảm biến góc để xác định sự mất cân bằng của tàu bè, trên cơ sở đưa ra lưu đồ thuật toán điều khiển cho thiết bị.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phân tích nguyên nhân và nguyên lý giảm lắc ngang

Để khảo sát chuyển động của tàu nổi trên mặt nước, ta sử dụng hệ trục vuông góc như sau: Khi tàu đang đứng yên trên nước tĩnh, không chuyển động, chọn trọng tâm G của tàu làm gốc tọa độ. Hệ trục tọa độ thiết lập theo nguyên tắc tam diện thuận (Hình 3), trong đó trục Gz hướng lên trên,

ngược chiều lực hút trường trái đất; trục Gx hướng về phía trước mũi tàu.

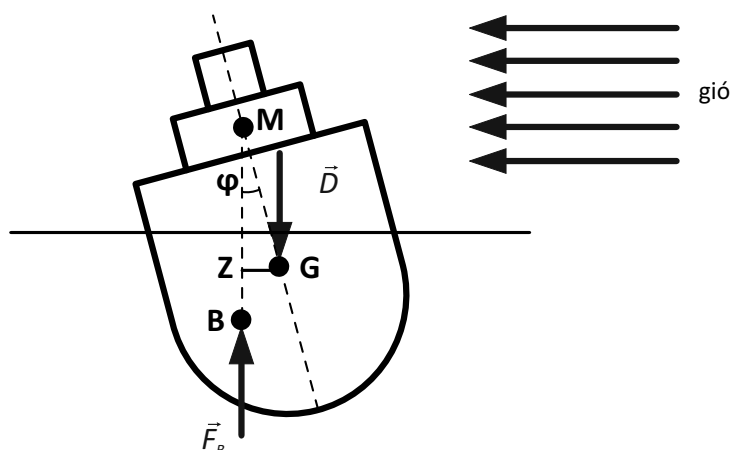


Hình 3. Các chuyển động của tàu

Tàu bè neo đậu trên mặt nước sẽ có 3 chuyển động thẳng: dọc trục Gx (*Surge*); dọc trục Gy (*Sway*); dọc trục Gz (*Heave* – nhô) và 3 chuyển động quay: quanh trục Gx (*Roll* – lắc ngang); quanh trục Gy (*Pitch* – lắc dọc); quanh trục Gz (*Yaw*).

Theo lý thuyết tàu thủy [2], đối với tàu bè có thể tích lượng chiếm nước không đổi, các tác nhân gây mômen cưỡng bức (gọi là mômen nghiêng M_x) làm nghiêng tàu quanh trục Gx trong giới hạn an toàn chưa lật ($\phi < \phi_{max}$). Đồng thời trong lúc này thì trên tàu cũng xuất hiện mômen phục hồi (M_{ph}) tăng dần. Ban đầu $M_x > M_{ph}$, tàu sẽ nghiêng theo

hướng M_x tác dụng, đến khi M_x suy yếu hoặc mất đi thì M_{ph} sẽ đưa tàu về vị trí cân bằng, kết quả là gây ra hiện tượng chòng chành (lắc ngang). Ví dụ đơn giản nhất là khi tàu neo đậu trên mặt nước tĩnh bị gió thổi (Hình 4), hợp lực của lực phân bố mặt sinh ra bởi gió tác dụng lên bề mặt hứng gió của tàu, tạo với trọng tâm G của tàu một mômen làm nghiêng tàu, khiến cho vị trí tâm nổi B thay đổi, từ đó làm sinh ra ngẫu lực (\vec{D}, \vec{F}_B) đóng vai trò mômen phục hồi với trị số $M_{ph} = D.GZ$, trong đó \vec{D} là trọng lượng của tàu, \vec{F}_B là lực nổi và GZ là tay đòn ổn định.



Hình 4. Tàu nghiêng trên mặt nước tĩnh dưới tác động của mômen nghiêng

Thời điểm đầu khi tàu mới bị gió tác động, GZ bé nên mômen phục hồi mang trị số chưa lớn. Cùng với sự gia tăng góc nghiêng j , mômen phục hồi cũng tăng lên. Đến một thời điểm nhất định, khi trị số mômen phục hồi bằng trị số mômen nghiêng gây ra bởi gió tác động lên tàu thì vận tốc nghiêng cũng đạt về điểm dừng. Sau đó mômen phục hồi xoay tàu trở lại tại vị trí cân bằng ban đầu.

Như vậy, để giảm biên độ lắc cần phải tạo ra một mômen chống lắc ngược chiều và có trị số gần với trị số của mômen nghiêng M_x ngay từ thời điểm đầu khi nó bắt đầu tác dụng.

Thực tế, tác nhân gây lắc thường có tính chu kỳ và tàu bè có thể cùng lúc chịu tác dụng bởi nhiều tác nhân khác nhau. Tuy nhiên hiện tượng lắc của tàu chủ yếu là do sóng và gió trên mặt nước. Hiện tượng xuất hiện sóng do các nguyên nhân như gió, thủy triều, sự lưu thông của các phương tiện thủy và các hoạt động địa chất của trái đất (động đất). Chuyển động sóng nước trong trường hợp đơn giản có thể xem là điều hòa không rớt, tức là sóng biên độ nhỏ với độ dâng sóng nhỏ hơn

nhiều lần so với chiều dài sóng.

Chuyển động của tàu dưới tác động của sóng điều hòa cũng là chuyển động mang tính chu kỳ, hay còn gọi là dao động (lắc tàu). Trong trường hợp trục Gx của tàu vuông góc với phương truyền sóng, khi đó tàu sẽ có chuyển động lắc ngang điều hòa.

Nguyên nhân gây lắc ngang ở đây là do sự thay đổi vị trí tâm nổi B theo sự thay đổi độ dâng nước lên mạn tàu. Nếu ký hiệu góc sóng bằng $a = a_0 \sin(st)$, còn góc nghiêng tức thời của tàu so với mặt nước tại thời điểm đó được ký hiệu bằng F , góc nghiêng của tàu so với mặt nước chuẩn tĩnh $j = F - a$ (Hình 5).

Ta có phương trình lắc ngang của tàu trên sóng [2] như sau:

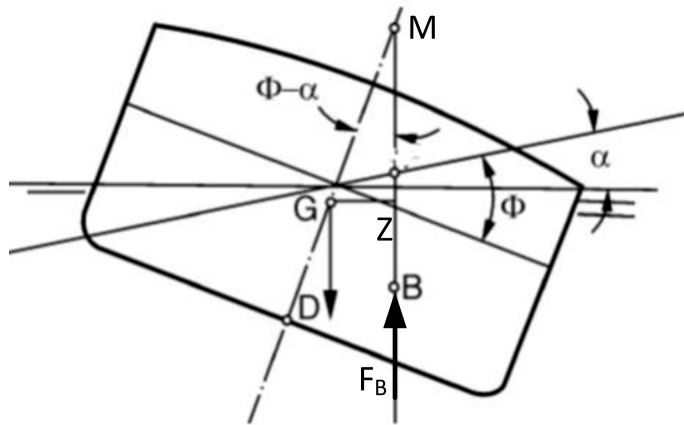
$$(J_x + m_{44})\ddot{\Phi} + N_{\varphi\varphi}\dot{\Phi} + D.GM.\Phi = D.GM.\alpha_0 \sin(\sigma t) \quad (1)$$

Trong đó, α_0 là góc sóng lớn nhất; σ là tần số dao động của sóng; $(J_x + m_{44})$ là mômen quán tính của tàu đối với trục đi qua M song song với Gx; $N_{\varphi\varphi}$ là hệ số cản; $\dot{\Phi}$ là vận tốc góc nghiêng của tàu; $\ddot{\Phi}$ là gia tốc góc nghiêng của tàu.

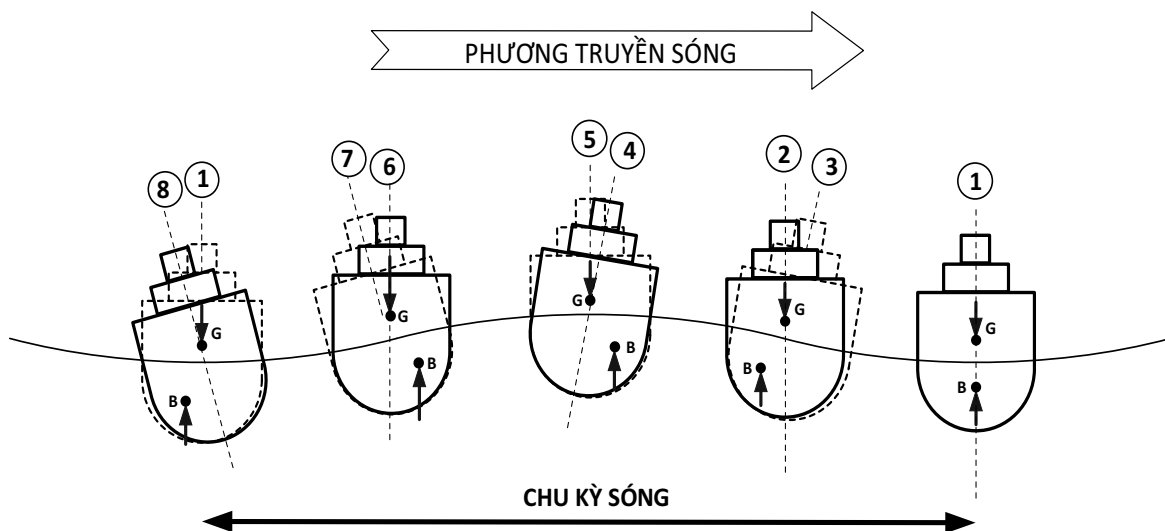
Bằng phương trình lắc ngang của tàu có thể mô tả gần đúng chuyển động này.

Nếu ban đầu tàu đang ở vị trí số 1 như Hình 6, khi nước dâng lên bên mạn trái làm tâm nổi B dịch chuyển sang trái. Cặp ngẫu lực (\vec{D}, \vec{F}_B) bắt đầu gây ra mômen nghiêng cưỡng bức điều hòa M_x làm tàu nghiêng cùng chiều đồng hồ. Cùng lúc này trên tàu cũng chịu tác động bởi lực cản thủy tĩnh khiến cho tàu nghiêng chậm pha so với chu kỳ sóng, hệ số lực cản thủy tĩnh N_{jj} này phụ thuộc vào kích thước và tải trọng của tàu. Ở vị trí số 2 tàu sẽ nghiêng nhanh

sang vị trí số 3 khi \overline{GZ} đạt giá trị lớn nhất. Đến giữa chu kỳ sóng, cùng với sự chuyển dịch đỉnh sóng, tâm nổi B dịch chuyển qua phải như vị trí số 4, khi này ngẫu lực (\vec{D}, \vec{F}_B) lại đóng vai trò mômen hồi phục đưa tàu về vị trí cân bằng số 5. Ở $\frac{3}{4}$ chu kỳ, phần nước bên mạn trái hạ xuống làm tâm nổi B dịch chuyển qua phải như vị trí số 6, đồng thời ngẫu lực (\vec{D}, \vec{F}_B) làm nghiêng tàu sang vị trí số 7. Ở cuối chu kỳ sóng, tâm nổi B dịch chuyển qua trái như vị trí số 8, lúc này ngẫu lực (\vec{D}, \vec{F}_B) đóng vai trò mômen hồi phục đưa tàu về vị trí số 1.



Hình 5. Góc nghiêng của tàu trên sóng

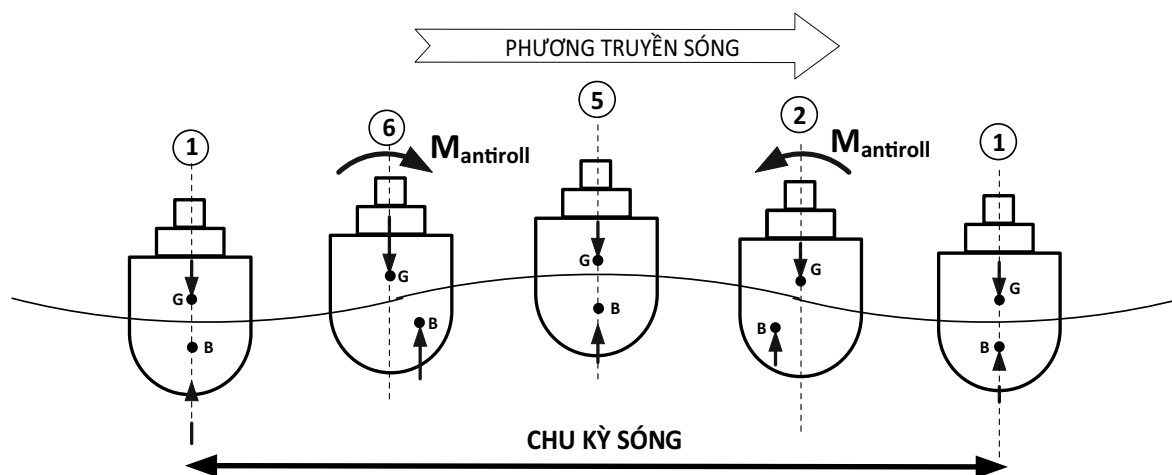


Hình 6. Chuyển động lắc ngang trong một chu kỳ sóng

Ta thấy ở trường hợp này, nếu có thể luôn tạo ra một mômen chống lắc M_{antroll} ngược chiều và có trị số tương đương với M_x thì sẽ giảm được biên độ lắc ngang (Hình 7). Và đây cũng là nguyên tắc giảm lắc chung để giảm lắc.

Tuy nhiên việc xác định M_x là không đơn giản vì M_x luôn thay đổi, đặc biệt khi tàu bị nhiều tác nhân

gây lắc cùng một lúc. Các phương pháp giảm lắc như sử dụng vây hông cố định, dùng kết chống lắc ngang, biến đổi vỏ tàu, ổn định lắc ngang bằng vây, giảm lắc ngang bằng bánh lái và sử dụng con quay chủ động (flywheel) đều có chung nhau mục đích là tạo ra mômen chống lắc, tuy nhiên mỗi phương pháp đều có cách thức khác.



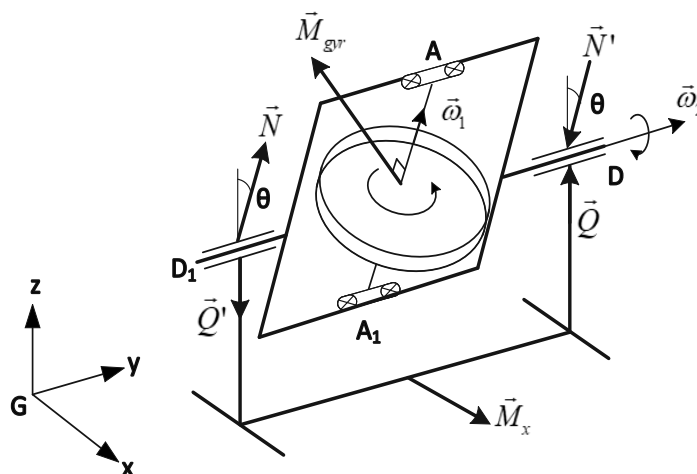
Hình 7. Nguyên tắc giảm lắc ngang

2.2.2. Phân tích nguyên lý giảm lắc của thiết bị con quay chủ động

Theo lý thuyết gần đúng về hiệu ứng con quay chủ động [3] thì khi bánh đà quay với vận tốc góc ω_1 và khung gimbal có vận tốc góc ω_2 thì bánh đà sẽ sinh ra một ngẫu lực (\vec{N}, \vec{N}') tác động lên ổ đỡ D và D₁ (Hình 8). Ngẫu lực (\vec{N}, \vec{N}') được gọi là ngẫu lực gyroscope, ký hiệu M_{gyr} , có vectơ $\vec{M}_{gyr} = J\vec{\omega}_1 \times \vec{\omega}_2$, với trị số $M_{gyr} = J\omega_1\omega_2$.

Giả sử khi tàu đi trên sóng bị mômen cưỡng bức

M_x được biểu diễn bằng ngẫu lực (\vec{Q}, \vec{Q}') (Hình 8) làm nghiêng ngược chiều đồng hồ, thì khi đó thiết bị con quay lập tức được kích hoạt để tạo ra M_{gyr} cùng chiều đồng hồ. Kết quả là xuất hiện mômen chống lắc: $M_{antiroll} = M_{gyr} \cos \theta$ tác dụng lên giá treo (gắn cứng với tàu) để làm giảm độ nghiêng của tàu. Khi mômen cưỡng bức M_x đổi chiều, thì thiết bị con quay cũng chủ động đổi chiều M_{gyr} ngược lại tương ứng. Đó chính là nguyên lý hoạt động của thiết bị giảm lắc sử dụng hiệu ứng con quay chủ động.



Hình 8. Ngẫu lực gyroscope và mômen cưỡng bức

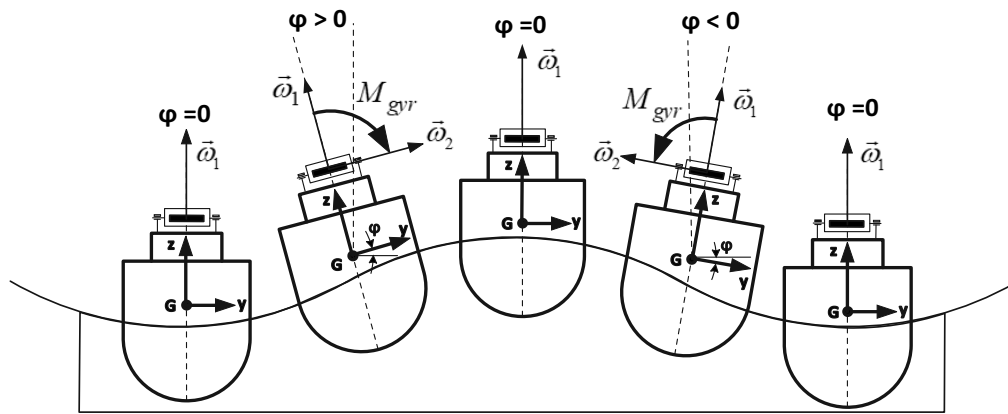
2.2.3. Phân tích phương pháp điều khiển của thiết bị

Để giảm lắc, thiết bị phải thực hiện được các yêu cầu sau: Nhận biết chiều của M_x để điều chỉnh chiều của mômen chống lắc $M_{antiroll}$; Hiệu chỉnh thông số của động cơ điều tiết (ω_2) và động cơ bánh đà (ω_1) để trị số của $M_{antiroll}$ luôn tiến sát trị số M_x .

Để thay đổi chiều của mômen chống lắc, thiết bị chỉ cần đổi chiều M_{gyr} , cụ thể là đổi chiều 1 trong 2 thông số ω_1 hoặc ω_2 . Rõ ràng, phải có trị số nhỏ (liên quan đến góc θ và chu kỳ lắc) cho nên để tối ưu trị số, thiết bị con quay có trị số rất lớn do đó

việc đổi chiều ω_1 tức thời và liên tục là không khả thi. Vì vậy, thiết bị sẽ chỉ thay đổi chiều quay ω_2 .

Bên cạnh đó, để thiết bị nhận biết khi nào phải đổi chiều M_{gyr} và khi nào bật/tắt động cơ điều tiết là vấn đề không đơn giản. Ta biết nguyên tắc là M_{gyr} phải ngược với M_x , nhưng đối với những chuyển động lắc ngang phức tạp khi có nhiều tác nhân gây lắc cùng tác dụng sẽ khó cho việc xác định chiều của M_x . Ở bài báo này đưa ra cách giải quyết tương đương, đó là chủ động đổi chiều M_{gyr} theo góc nghiêng của boong tàu thay vì theo chiều của M_x (Hình 9).

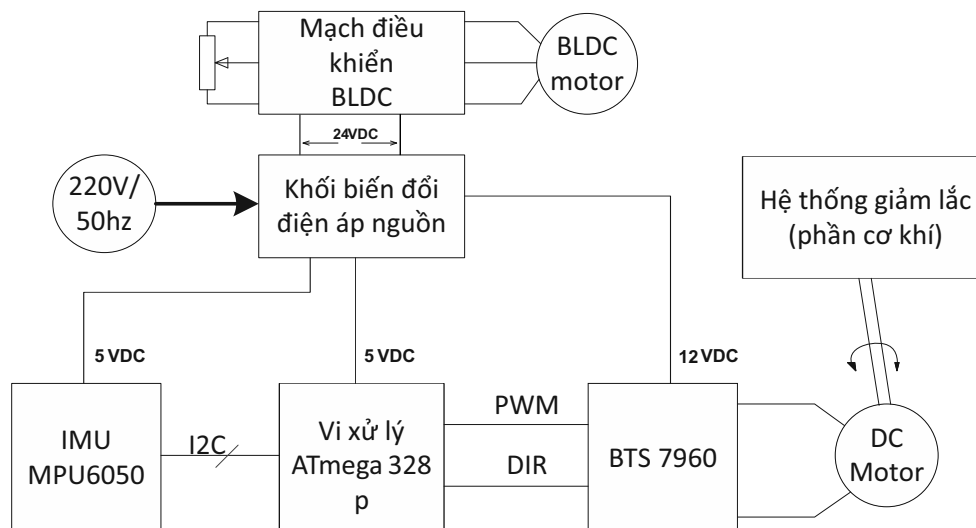


Hình 9. Điều khiển động cơ điều tiết theo góc nghiêng boong tàu

Mặt khác, để chống lắc hiệu quả thì trị số của M_{antiroll} cần phải tiến sát nhưng không được vượt quá trị số M_x . Như đã nói ở trên việc xác định trị số và quy luật M_x ở trường hợp dao động phức tạp là rất khó. Trong khi đó thì mô-men chống lắc M_{antiroll} chỉ hiệu quả ở thời điểm $\theta = 0^\circ$ và giảm dần về 0 khi $|\theta| = 90^\circ$.

Để đơn giản hóa bài toán điều khiển ta chọn $M_{\text{antiroll}}^{\text{max}} = M_{\text{ph}}^{\text{max}}$, trong đó $M_{\text{ph}}^{\text{max}} = D.(GZ_{\text{max}})$ là trị số mô-men phục hồi lớn nhất của tàu trên mặt nước chuẩn tĩnh; GZ_{max} là tay đòn ổn định lớn nhất mà tàu vẫn chưa bị tràn nước vào, nó phụ thuộc vào hình dáng, kích thước riêng của tàu. Chú ý, với cách điều khiển này chỉ có thể giảm lắc chứ không thể triệt tiêu hoàn toàn.

Từ các phân tích trên thiết bị điều khiển của hệ thống ngoài bộ nguồn nuôi và động cơ chính điều khiển bánh đà được điều khiển trực tiếp qua driver và chiết áp thì việc kiểm soát góc quay ω_2 gồm các khối sau: vi xử lý, cảm biến góc IMU, động cơ DC với momen xoắn cao cùng driver điều khiển động cơ (Hình 10). Vi xử lý 8 bit Atmega 328p sử dụng kết hợp với cảm biến góc IMU MPU6050 để xác định góc ϕ (roll) giữa mặt boong tàu và mặt nước tĩnh. Việc xử lý sai số góc quay được thực hiện bằng cách sử dụng bộ lọc bù với hệ số bù lần lượt là 0.9 và 0.1 cho hai góc roll và pitch [4] với tần số xử lý lấy mẫu là 250Hz tương thích với chuẩn giao tiếp I2C đang được sử dụng với vi xử lý [5].



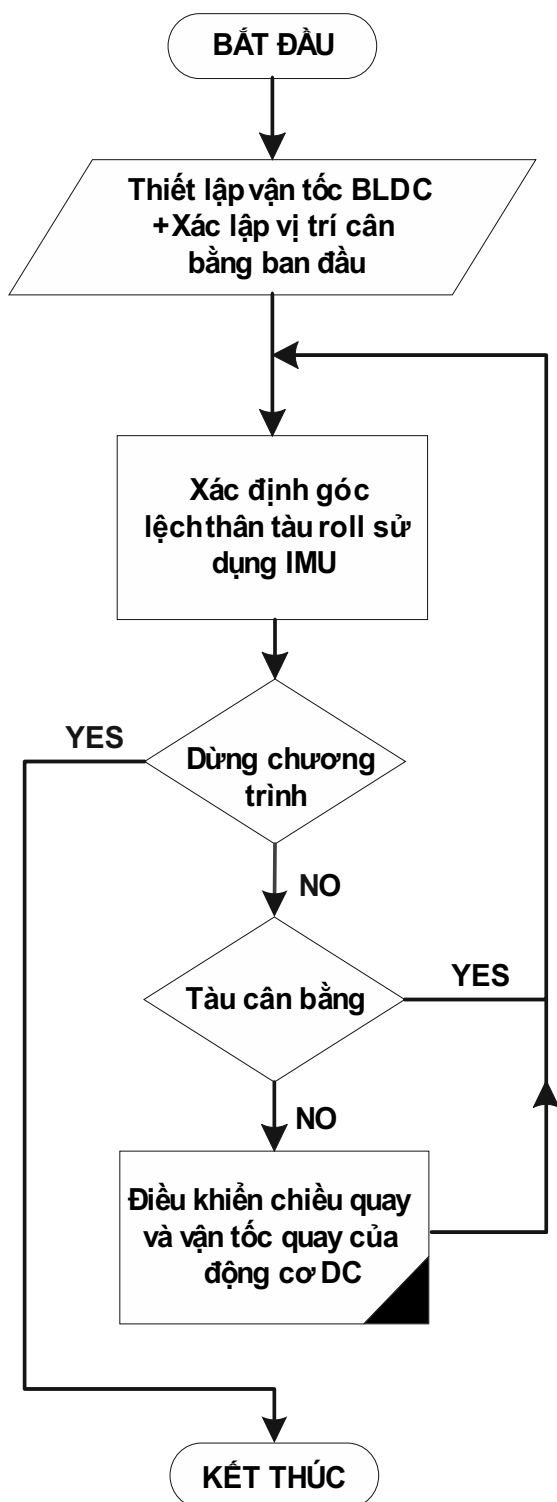
Hình 10. Sơ đồ khối nguyên lý hộp điều khiển của thiết bị

Ban đầu mặt nước tĩnh thì $\phi = 0$. Khi chịu tác động bởi mô-men cưỡng bức của sóng thì $\phi \neq 0$ đồng nghĩa với việc tàu lắc ngang trái hoặc ngang phải. Ta thiết lập cho cảm biến góc nhận $\phi > 0$ ($\phi < 0$) khi nhìn từ mũi tàu thấy tàu lắc ngược chiều kim đồng hồ (cùng chiều đồng hồ). Ta lựa chọn vectơ ω_1 động cơ bánh đà luôn cùng chiều với trục Gz. Dựa vào thông tin từ

cảm biến là hộp điều khiển sẽ truyền tín hiệu điều khiển động cơ điều tiết quay khung gimbal sao cho vectơ ω_2 cùng chiều (ngược chiều) với trục Gy của tàu. Nếu $\phi = 0$ thì ngắt động cơ điều tiết và $\omega_2 = 0$.

Việc này được thực hiện nhờ sự hỗ trợ của động cơ DC với bộ giảm tốc và mạch điều khiển BTS7960 (Hình 10). Ngoài ra, để tăng tính liên tục của hệ

thống điều khiển đồ thị phụ thuộc vận tốc quay của động cơ DC vào góc sai lệch φ đã được xây dựng nhằm tăng tính đáp ứng của hệ thống. Đặc tính của hàm phụ thuộc này phụ thuộc vào tính chất của hệ thống. Trong quá trình thử nghiệm hiện đang sử dụng đồ thị tuyến tính từ 0° đến 35° . Lưu đồ thuật toán và bộ phận điều khiển hoàn chỉnh được thể hiện như trên Hình 11.



Hình 11. Lưu đồ thuật toán của hệ thống điều khiển

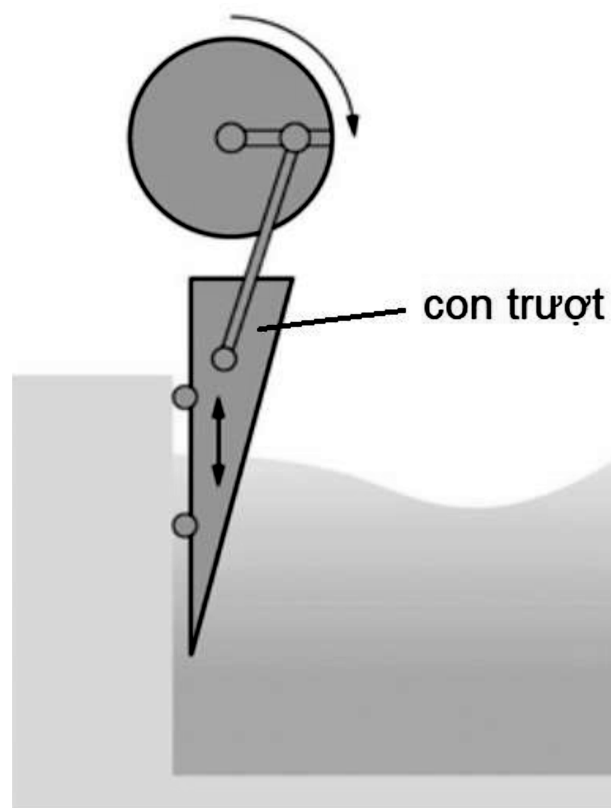
3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Phương pháp đánh giá hiệu quả của thiết bị trên tàu mô hình

Để đánh giá hiệu quả giảm lắc của thiết bị con quay điều khiển theo góc nghiêng của boong tàu, nhóm tác giả đã chế tạo một nguyên mẫu thiết bị được lắp trên tàu mô hình và ghi nhận khả năng giảm lắc với các điều kiện gây lắc nhân tạo như sau:

- + Sóng điều hòa, có biên độ thay đổi nhưng chiều cao sóng không đổi.
- + Sóng điều hòa, có biên độ không đổi nhưng chiều cao sóng thay đổi.

Bể nước dùng làm thí nghiệm có kích thước 500x300x150cm. Để tạo sóng nhân tạo có nhiều phương pháp, trong thực nghiệm này sử dụng phương pháp tay quay con trượt. Con trượt có hình dạng như Hình 12. Khi con trượt chuyển động tịnh tiến lên xuống sẽ làm cho thể tích nước co giãn liên tục sinh ra sóng. Để thay đổi chiều cao sóng, ta thay đổi quãng đường chuyển động của con trượt và để thay đổi bước sóng (tần số sóng) ta thay đổi tốc độ con trượt.



Hình 12. Cơ cấu tay quay con trượt dùng để tạo sóng nhân tạo

Ngoài ra, để triệt tiêu sóng phản xạ từ thành bể, ta thiết kế bể thử sao cho phần đáy bể lùi dần về phía cuối bể, như vậy khi sóng truyền đến cuối bể sẽ bị tản mát dần.



Hình 13. Bể nước thử nghiệm

Ta chọn tàu mô hình có:

+ Kích thước chính:

dài x rộng x cao = 80x20x15cm.

+ Lượng giãn nước $D = 10\text{kg}$.

+ Cánh tay đòn ổn định đo thực nghiệm $GZ = 0.05\text{m}$.

Như vậy mômen hồi phục của tàu:

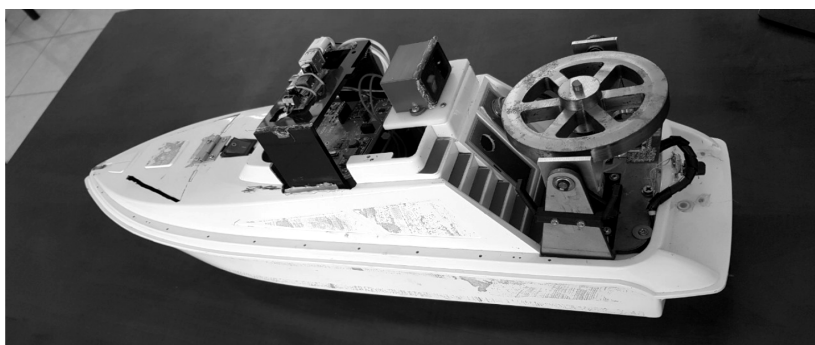
$$M_{ph}^{max} = D.GZ^{max} = 5\text{Kg.m}$$

Căn cứ vào mômen phục hồi ta chế tạo thiết bị con quay có:

+ Bánh đà làm bằng thép C45 có khối lượng riêng $r = 37850\text{ kg/m}^3$, dạng đĩa tròn với đường kính 12cm và dày 1.35cm, có mômen quán tính $J = 2,16.10^{-3}\text{ kg/m}$

+ Sử dụng động cơ không chổi than 3 pha làm động cơ bánh đà có tốc độ $n = 5600\text{ vòng/phút}$.

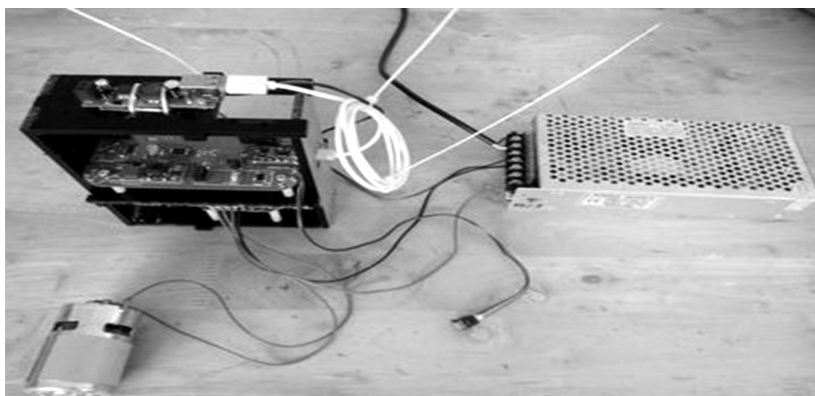
+ Sử dụng động cơ bước làm động cơ điều tiết.



Hình 14. Phần cơ khí của thiết bị con quay lắp trên tàu mô hình

Hộp điều khiển gồm các linh kiện: Vi xử lý 8 bit Atmega 328p sử dụng kết hợp với cảm biến góc IMU MPU6050 để xác định góc j (roll) giữa mặt boong tàu và mặt nước tĩnh. Việc xử lý sai số góc quay được thực hiện bằng cách sử dụng bộ lọc bù với hệ số bù lần lượt là 0.9 và 0.1 cho hai góc roll và pitch [4] với tần số xử lý lấy mẫu là 250Hz tương thích với chuẩn giao tiếp I2C đang được sử dụng với vi xử lý.

Ngoài ra, để tăng tính liên tục của hộp điều khiển, đồ thị phụ thuộc vận tốc quay của động cơ DC vào góc sai lệch j đã được xây dựng nhằm tăng tính đáp ứng của hệ thống. Đặc tính của hàm phụ thuộc này phụ thuộc vào tính chất của hệ thống. Trong quá trình thử nghiệm hiện đang sử dụng đồ thị tuyến tính từ 0° đến 35° . Hộp điều khiển hoàn chỉnh được thể hiện như trên Hình 15.



Hình 15. Hộp điều khiển hoàn chỉnh

3.2. Kết quả phân tích

Tiến hành lắp ráp thiết bị lên tàu mô hình, thực hiện tạo các đợt sóng nhân tạo với biên độ sóng khác nhau. Đo kiểm tra góc nghiêng của tàu khi bật và tắt thiết bị con quay.

Khi giữ nguyên chiều cao sóng $2\zeta_{\alpha} = 0.05\text{m}$, thay đổi bước sóng tăng dần từ $\lambda = 0.4\text{m}$ đến giới hạn $\lambda = 0.8\text{m}$. Kết quả phân tích cho thấy hiệu suất giảm lắc là khá tốt theo Bảng 1.

Bảng 1. Thực nghiệm hiệu suất giảm lắc với các bước sóng khác nhau

STT	Bước sóng (m)	Chiều cao sóng (m)	Góc nghiêng của tàu (độ)		Hiệu suất giảm lắc (%)
			Chưa bật thiết bị	Đã bật thiết bị	
1	0.4	0.05	5	0.22	95.6
2	0.5		7	0.3	95
3	0.6		10	0.7	93
4	0.7		15	1.25	91
5	0.8		20	2	90

Khi giữ nguyên bước sóng $\lambda = 0.8\text{m}$, thay đổi chiều cao sóng tăng dần từ $2\zeta_{\alpha} = 0.01\text{m}$ đến giới hạn $2\zeta_{\alpha} = 0.05\text{m}$.

Kết quả phân tích cho thấy hiệu suất giảm lắc là không cao như trường hợp trước, tuy nhiên vẫn khá tốt theo Bảng 2.

Bảng 2. Thực nghiệm hiệu suất giảm lắc với chiều cao sóng khác nhau

STT	Bước sóng (m)	Chiều cao sóng (m)	Góc nghiêng của tàu (độ)		Hiệu suất giảm lắc (%)
			Chưa bật thiết bị	Đã bật thiết bị	
1	0.8	0.01	13	1.84	85.8
2		0.02	19	3.2	83
3		0.03	28	4.89	82.5
4		0.04	34	6.21	81.7
5		0.05	40	7.78	80.5

Ghi chú: Kết quả trên mỗi điều kiện lắc là kết quả trung bình của 03 lần thử nghiệm.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra phương pháp điều khiển thiết bị con quay để giảm lắc ngang cho tàu kích thước nhỏ theo góc nghiêng của tàu để làm đơn giản hóa bài toán điều khiển. Trên cơ sở thực nghiệm, tác giả thấy rằng thiết bị con quay này có thể làm giảm tác động lắc ngang, tuy nhiên không dập lắc hoàn toàn được.

Mặt khác, hiệu quả giảm lắc của thiết bị phụ thuộc vào độ chính xác của cảm biến vì trong quá trình

thực nghiệm xảy ra hiện tượng mất ổn định do cảm biến đưa thông tin không chính xác.

Do thực nghiệm được thực hiện trên tàu mô hình và trong điều kiện dao động lý tưởng cho nên kết quả thực nghiệm chỉ có tính tham khảo để minh chứng khả năng giảm lắc ngang theo phương pháp bài báo đưa ra. Hướng nghiên cứu tiếp theo là dựa trên kết quả thực nghiệm mô hình để chế tạo thiết bị cho tàu kích thước nhỏ và thực nghiệm trên sóng nước thật để cái nhìn khách quan.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Văn Huấn, *Cơ sở hải dương học*. Hà Nội: NXB khoa học và kỹ thuật, 1991.
- [2] Trần Công Nghị, *Lý thuyết tàu tàu tập 1*. TP.HCM: NXB Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, TPHCM 2009.
- [3] X. M. Targ, *Giáo trình giản yếu cơ học*. Matxcova: NXB "Mir", 1979.
- [4] Alex Kien-Boon Poh, Collin Howe-Hing Tang, Hooi-Siang Kang, Kee-Quen Lee, Chee-Loon

Siow. *Gyroscopic Stabilisation of Rolling Motion in Simplified Marine Hull Model*. Published in: 2017 IEEE 7th International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications (USYS).

- [5] Badri, Abdellatef E., Jyoti K. Sinha, and Alhussein Albarbar. *A typical filter design to improve the measured signals from MEMS accelerometer*. Measurement, 2010.

Application of gyroscope on reducing rolling movement for small boat

Le Cong Danh* and Luu Tuan Anh

ABSTRACT

The article presents the method to utilize active effect of gyroscope instrument for decreasing rolling movement on small ships, with size of 7 to 25 meters in range and water expansion about 100 tons, moorings on the low oscillated amplitude water. Despite the application of gyroscopic effect that was known as well, it is found out difficult to control. The scope of this article claims to give design of equipment and effective control method for better using with this effect. The content of this article begins with depicting the reasons of rolling movement and common principle to cut it off. Based on that, article draw the way to decrease rolling movement by using active effect of gyroscope instrument. The next part of article, illustrating design and algorithmic control for that equipment, considered the main point and related to newly achievement. The experimental results, obtained by testing equipment with above principle on a model ship in artificial conditions, demonstrate the ability to forward research.

Keywords: Horizontal shake, gyro effect, floating center, Inertial Measurement Unit (IMU)

Received: 28/04/2022

Revised: 04/05/2022

Accepted for publication: 16/05/2022