

# Thiết kế và chế tạo động cơ đẩy sử dụng khớp nối từ cho các phương tiện thủy dưới nước

Trần Ngọc Huy, Nguyễn Thanh Phúc, Phạm Nam Anh, Lê Khánh Điền

**Tóm tắt** — Bài báo giới thiệu về thiết bị đẩy dưới nước sử dụng khớp nối từ. Thiết bị này được thiết kế theo hướng tích hợp module và được xây dựng theo từng hệ thống riêng từ thiết kế cơ khí, hệ thống điện cho đến xây dựng giải thuật điều khiển động cơ cho thiết bị. Thiết kế này để đảm bảo động cơ có thể hoạt động liên tục một thời gian dài ở độ sâu 100 mét nước. Nội dung chính sẽ trình bày tính toán, mô phỏng ứng suất bề dày vỏ, tính toán mô-men xoắn chịu được của khớp nối từ. Bên cạnh đó, một số thiết kế quan trọng khác của động cơ đẩy nhằm rút ra kinh nghiệm, nâng cao hiệu quả của việc thiết kế. Kết quả thực nghiệm điều khiển tốc độ thiết bị đẩy sử dụng giải thuật tích phân tỉ lệ (Proportional Integral Derivative - PID) cũng được trình bày trong bài báo này.

**Từ khoá:** Thiết bị đẩy, động cơ một chiều không chổi than (BLDC), khớp nối từ, PID.

## 1 GIỚI THIỆU

Những ngày nay thiết kế, chế tạo robot dưới nước đã và đang được nghiên cứu và phát triển hỗ trợ hoặc thay thế con người làm việc ở những vùng nước sâu, những vùng nước bị ô nhiễm hoặc khi làm việc trong thời gian dài dưới nước [1, 2].

Việt Nam, với lợi thế là một quốc gia ven biển, có đường bờ biển dài hơn 3000 km, vùng biển rộng lớn gấp 3 lần đất liền. Vì thế các hoạt động kinh tế, khoa học, du lịch và bảo vệ chủ quyền trên biển

*Bài báo này được gửi vào ngày 1 tháng 07 năm 2017 và được chấp nhận đăng vào ngày 5 tháng 09 năm 2017.*

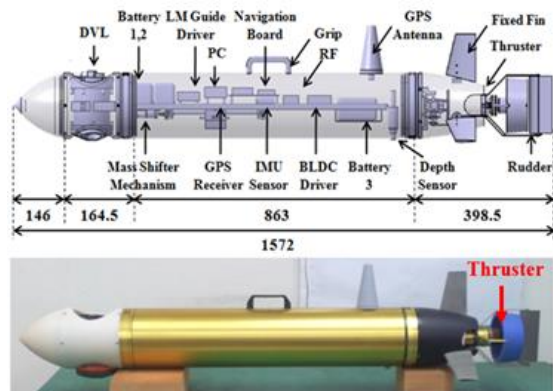
Trần Ngọc Huy, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM (email: tnghuy@hcmut.edu.vn).

Nguyễn Thanh Phúc, Phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

Phạm Nam Anh, Phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

Lê Khánh Điền, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

điễn ra rất sôi động. Hàng loạt công trình như cầu cảng, giàn khoan, đường ống dẫn dầu, nhà giàn đã và đang được xây dựng trên biển. Trong quá trình xây dựng và khai thác các công trình trên đã nảy sinh một nhu cầu rất lớn về việc tiến hành thăm dò, khảo sát và tiến hành các công việc dưới nước. Công việc cứu hộ, cứu nạn, trục vớt cũng phát sinh ngày càng nhiều khi ngành hàng hải phát triển nhanh. Vì vậy phát triển các phương tiện hoạt động dưới nước là rất cần thiết. Tuy nhiên, các thiết bị đẩy, thành phần quan trọng của các phương tiện dưới nước, đa phần phải nhập khẩu từ nước ngoài với giá rất cao. Do đó nhu cầu nghiên cứu, làm chủ công nghệ và tiến tới thiết kế, chế tạo thiết bị đẩy cho các phương tiện dưới nước là một đòi hỏi tất yếu và cấp thiết [3-5] (Hình 1).



Hình 1. Ứng dụng của thiết bị đẩy (Thruster) trong phương tiện thủy

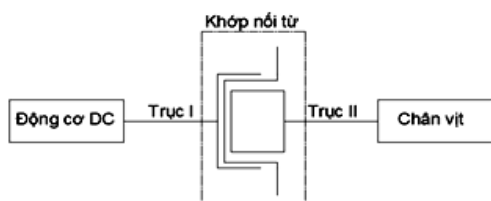
Bài báo sẽ tập trung chính tiến hành nghiên cứu, thiết kế tối ưu thiết bị, mô phỏng ứng suất để chọn bề dày thích hợp nhất cho vỏ ngoài, tính toán tối ưu mô-men xoắn chịu được của khớp nối từ dựa vào tương tác lực giữa các nam châm. Ngoài ra, kết quả thực nghiệm cũng được đề cập.

## 2 THIẾT KẾ THIẾT BỊ ĐẦY

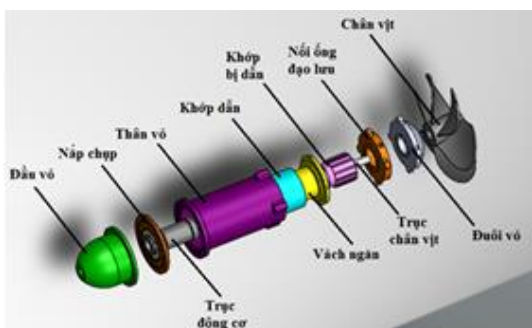
### 2.1 Lựa chọn ý tưởng thiết kế

Qua quá trình tìm hiểu và nghiên cứu các thiết bị đầy của các hãng trên thế giới, nhóm nghiên cứu đã đưa ra danh sách những yêu cầu kỹ thuật để phù hợp với các mục tiêu đề ra, bao gồm:

- Lựa chọn vật liệu nhẹ, có khả năng chống ăn mòn tốt, chịu được áp lực ở độ sâu 100m.
- Đảm bảo thiết kế thiết bị đầy kín nước.
- Giá trị lực đẩy liên tục vào khoảng 4–5kgf.
- Công suất vào khoảng 300-400W.
- Kích thước nhỏ gọn với đường kính vào khoảng 100mm, chiều dài vào khoảng 300mm.



Hình 2. Sơ đồ hoạt động thiết bị đầy



Hình 3. Mô hình 3D thiết bị đầy

Việc đưa ra các ý tưởng và so sánh những ý tưởng về giải pháp thiết kế, cách bố trí theo cách truyền thống lẫn theo phương pháp mới đã giúp nhóm nghiên cứu chọn được những thành phần của thiết bị, đảm bảo đạt được các yêu cầu kỹ thuật cũng như những tiêu chuẩn của việc thiết kế. Qua quá trình so sánh và phân tích các ý tưởng và giải pháp, nhóm nghiên cứu đã quyết định chia thiết kế ra thành các module, phù hợp theo từng yêu cầu về kích thước, và các điều kiện để vận hành thiết bị. Các module chính của thiết bị gồm (Hình 2, 3):

- Vỏ thiết bị.

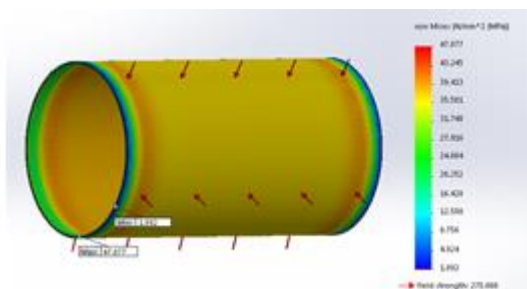
- Động cơ BLDC.
- Bộ khớp nối từ.
- Chân vịt và ống đạo lưu.

### 2.2 Tính toán sức bền vô động cơ đầy

Với yêu cầu kỹ thuật đã đề ra ban đầu, nhóm chọn vật liệu hợp kim nhôm T6-6061 để làm vật liệu vỏ của thiết bị, với độ bền kéo là 310 MPa và ứng suất chảy dẻo 275 MPa.

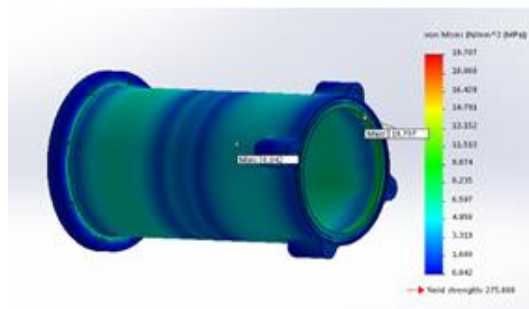
Thông qua module Simulation của phần mềm SolidWorks, dùng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng khả năng chịu áp lực của vỏ. Rồi sử dụng kết quả mô phỏng để chọn chiều dày nhỏ nhất có thể đảm bảo cho các quy trình công nghệ gia công được thực hiện dễ dàng.

Kết quả mô phỏng như hình 4 cho thấy với độ dày của thân vỏ thiết bị 1mm thì áp lực lớn nhất tác động là 47,077 MPa < 275 MPa, giới hạn ứng suất biến dạng cho phép của vật liệu, có thể chấp nhận được. Những vùng còn lại của nắp vỏ chịu áp lực thấp hơn. Do đó, độ dày vỏ đã thiết kế hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật đề ra.

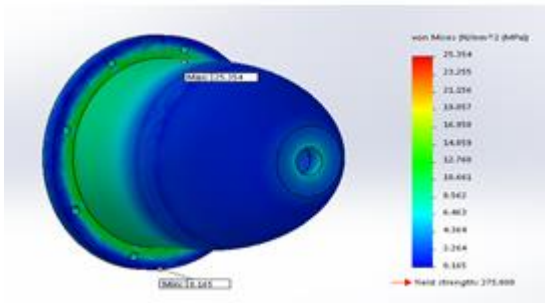


Hình 4. Trường ứng suất Von Mises tác động lên thành ống dày 1mm

Kết quả mô phỏng ứng suất tác động lên vỏ chi tiết.



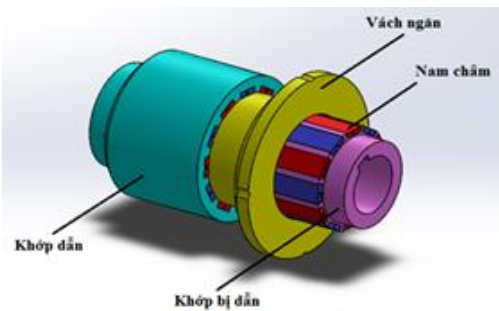
Hình 5. Trường ứng suất Von Mises tác động lên thân vỏ thiết bị động cơ đầy



Hình 6. Trường ứng suất tác động lên đầu vỏ thiết bị

### 2.3 Khớp nối từ

Thiết bị đẩy phải làm việc trong môi trường nước do đó cần phải có phương án ngăn phần bên trong của thiết bị đẩy tiếp xúc với nước. Khớp nối từ là dạng khớp nối không tiếp xúc, sử dụng từ trường để truyền chuyển động, do đó rất phù hợp với yêu cầu trên



Hình 7. Cấu tạo khớp nối từ

Khớp nối từ được chia làm hai dạng chính: dạng mặt (axial magnetic coupling /disc coupling) và dạng trụ (radial magnetic coupling /concentric coupling). Đối với thiết bị đẩy thì việc sử dụng khớp nối từ dạng trụ sẽ giúp tăng hiệu suất động cơ. Một khớp nối từ dạng trụ sẽ gồm ba cụm chính như hình 7:

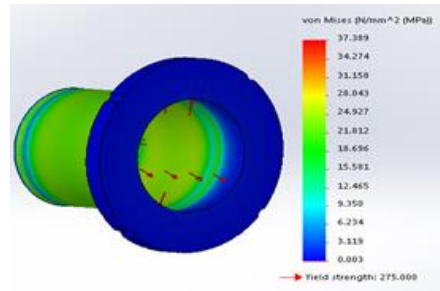
Cụm đầu tiên là khớp dẫn (driving coupling). Cụm này sẽ được truyền động từ trục I và được điều khiển bởi động cơ BLDC (Hình 2).

Cụm thứ hai là vách ngăn (shroud), đối với khớp nối từ thì đây là bộ phận quan trọng vì nó sẽ ngăn nước chảy vào từ chân vịt.

Cụm thứ ba là khớp bị dẫn (driven coupling). Đối với thiết bị đẩy thì cụm này sẽ truyền momen trục II gắn với chân vịt.

Tương tự với việc tính toán sức bền cho vỏ thiết bị, thì việc tính toán cho phần vách ngăn trong

khớp nối từ cũng cần thiết. Chọn chiều dày thành của vách ngăn ban đầu là 1mm. Sử dụng việc chia lưới tự động của module Simulation trong SolidWorks với kích thước lưới là 0,02mm.



Hình 8. Trường ứng suất tác động lên vách ngăn

Với vật liệu được chọn, ta được kết quả phân tích như hình 8. Áp lực lớn nhất tác dụng lên thành vỏ là 37,389MPa, nằm trong khoảng chảy dẻo cho phép của vật liệu. Áp lực tác dụng xung quanh nằm trong khoảng từ 12,465 tới 24,927 MPa. Nơi chịu áp lực ít nhất là chân đế của vách ngăn với áp lực khoảng 3,119 MPa. Với các kết quả phân tích như trên ta thấy: với độ dày là 1mm, vỏ đảm bảo độ bền khi thiết bị đẩy làm việc ở độ sâu 100m.

## 3 NGHIÊN CỨU SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA NAM CHÂM TRONG KHỚP NỐI TỪ

Như ta đã biết, khớp nối từ là một bộ phận rất quan trọng trong động cơ đẩy. Còn nam châm lại chính là thành phần cốt yếu tạo nên mô-men xoắn quyết định khả năng hoạt động của khớp nối từ. Cho nên việc tính toán, thiết kế, xác định kích cỡ, vật liệu..chọn nam châm là nhiệm vụ rất quan trọng.

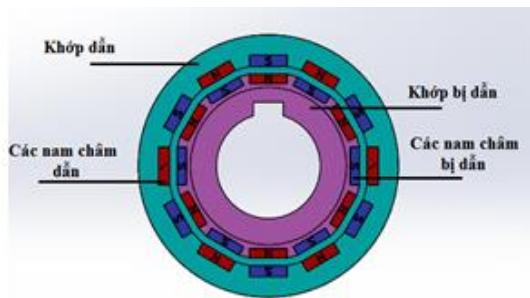
### 3.1 Vật liệu nam châm

Một loại nam châm được sử dụng khá phổ biến hiện nay cho các ứng dụng cơ điện tử là nam châm đất hiếm. Nam châm đất hiếm chia làm khá nhiều loại. Ở đây, ta sẽ chọn loại nam châm đất hiếm mạnh nhất là NdFeB (neodymium), với mục đích tối đa hóa hiệu suất cho khớp nối từ. Nam châm NdFeB có lực kháng từ lớn (hơn 10kOe) và từ độ bão hòa rất cao (tới 1,56T).

### 3.2 Thiết kế nam châm trong khớp nối từ

Theo tài liệu [9], mô hình thiết kế, bố trí tối ưu nhất cho các nam châm trong khớp nối từ là hai nam đối diện nhau sẽ đối cực, các nam châm trên cùng một khớp sẽ được bố trí với các cực xen kẽ

như hình 9. Như vậy, hiệu suất và mô-men xoắn chịu được của khớp nối từ sẽ là lớn nhất.



Hình 9. Bố trí nam châm trong khớp nối từ

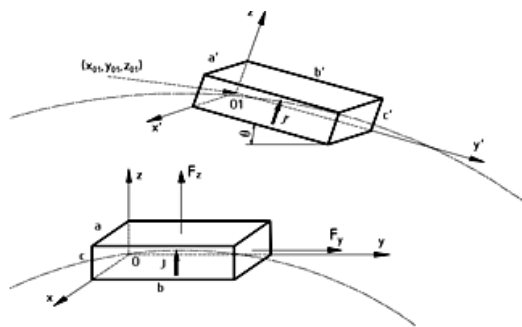
### 3.3 Lực tương tác giữa hai khối nam châm

Lực tương tác giữa hai khối nam châm bao gồm 3 thành phần lực là  $F_x, F_y, F_z$ , được tính toán thông qua công thức sau [6]:

$$\vec{F} = -grad W \tag{1}$$

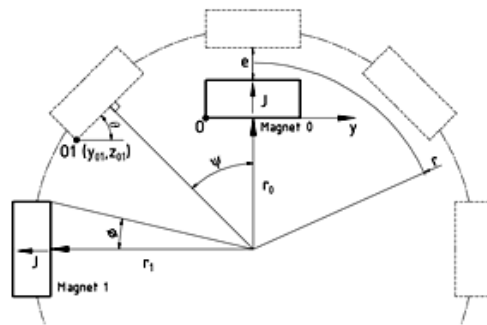
Với  $W$  là năng lượng tương tác giữa hai nam châm [6].

Trong đó,  $F_y$  là thành phần lực quan trọng nhất trong việc tạo ra mô-men xoắn giữa hai nam châm trong khớp nối từ. Trước tiên, ta sẽ xem xét các thông số cơ bản của hai nam châm đối nhau trong khớp nối từ.



Hình 10. Các thông số nam châm

Ta gọi hai nam châm vĩnh cửu được xem xét là nam châm 0 và 1, được đặc trưng bởi độ từ hóa không đổi và đồng nhất  $J$ , đơn vị là Tesla. Nam châm 0 (nam châm bị dẫn) được gắn với gốc tọa độ và có các kích thước là  $a, b, c$ . Các kích thước của nam châm 1 (nam châm dẫn) là  $a', b', c'$ . Vị trí của nó xác định bởi tọa độ  $(x_{01}, y_{01}, z_{01})$  của đỉnh  $O1$  và góc  $\theta$  giữa hai mặt phẳng  $(XOY)$  và  $(X'O1Y')$  của các nam châm (Hình 10).



Hình 11. Nam châm 0 cố định và nam châm 1 quay

Nam châm 0 và nam châm 1 nằm trên những đường tròn đồng tâm, ta cho nam châm 0 cố định và nam châm 1 quay (Hình 10). Các tọa độ của nam châm 1 có thể được xác định như sau [6]:

$$y_{01} = -\frac{r_1}{\cos \phi} \sin(\psi + \phi) + \frac{b}{2} \tag{2}$$

$$y_{01} = -\frac{r_1}{\cos \phi} \cos(\psi + \phi) - r_0 \tag{3}$$

Trong đó, góc  $\phi$  có thể được tính thông qua một nửa bề rộng của nam châm 1.

$$\phi = \arctan\left(\frac{b}{2r_1}\right) \tag{4}$$

Góc lệch  $\theta$  giữa hai nam châm (Hình 11) bằng với góc quay  $\psi$  [6],  $\theta = \psi$ .

Phương trình của thành phần lực tiếp tuyến được mô tả như bên dưới, với  $u, v, w, y', z'$  là các biến trung gian;  $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6$  là các hàm trung gian;  $\mu_0$  là độ từ thẩm của môi trường ngăn cách giữa hai nam châm, được thể hiện trong tài liệu [6]:

$$\begin{aligned} &F_y(\theta, x_{01}, y_{01}, z_{01}, a, b, c, a', b', c', J) \\ &= -f_1(x_{01}, x_{01} + a', y_{01}, z_{01}, \theta, 0, 0, b', c', J) \\ &+ f_1(x_{01} - a, x_{01} - a + a', y_{01}, z_{01}, \theta, 0, 0, b', c', J) \\ &- f_1(x_{01} - a, x_{01} - a + a', y_{01}, z_{01}, \theta, b, 0, b', c', J) \\ &+ f_1(x_{01}, x_{01} + a', y_{01}, z_{01}, \theta, b, 0, b', c', J) \\ &- f_1(x_{01} - a, x_{01} - a + a', y_{01}, z_{01}, \theta, 0, c, b', c', J) \\ &+ f_1(x_{01}, x_{01} + a', y_{01}, z_{01}, \theta, 0, c, b', c', J) \\ &- f_1(x_{01}, x_{01} + a', y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, b', c', J) \\ &+ f_1(x_{01} - a, x_{01} - a + a', y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, b', c', J) \end{aligned} \tag{5}$$

Trong đó:

$$f_1(v, w, y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, b', c', J)$$

$$= \frac{J^2}{4\pi\mu_0} [f_2(v, w, y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, b', c') - f_2(v, w, y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, b', 0)] \quad (6)$$

Với:

$$\begin{aligned} f_2(v, w, y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, b', z') &= +f_4(w, y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, b', z') \\ &- f_4(v, y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, b', z') \\ &- f_4(w, y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, 0, z') \\ &+ f_4(v, y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, 0, z') \end{aligned} \quad (7)$$

Trong đó

$$\begin{aligned} f_4(u, y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y', z') &= u f_6(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y') \ln[-u + f_3(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y', z')] \\ &- u f_6(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y') \\ &+ u f_5(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, z') \arctan \left( \frac{-f_5^2(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y') - u^2 + u f_3(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y', z')}{f_5(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, z') \cdot f_6(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y')} \right) \\ &+ \frac{1}{2} u \pi |f_5(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, z')| \text{sign}[f_6(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y')] \\ &+ \frac{1}{2} f_6(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y') f_3(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y', z') \\ &+ \frac{1}{2} [u^2 + f_5^2(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, z')] \ln[f_3(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y', z') \\ &+ f_6(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y')] \end{aligned} \quad (8)$$

Với:

$$f_3(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y', z') = \sqrt{u^2 + f_5^2(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, z') + f_6^2(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y')} \quad (9)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} f_5(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, z') &= -y_{01} \cdot \sin(\theta) + z_{01} \cos(\theta) + b \sin(\theta) - c \cdot \cos(\theta) + z' \quad (10) \\ f_6(y_{01}, z_{01}, \theta, b, c, y') &= -y_{01} \cdot \cos(\theta) + z_{01} \sin(\theta) - b \cdot \cos(\theta) - c \cdot \sin(\theta) + y' \end{aligned}$$

### 3.4 Tính toán mô-men xoắn

Theo tài liệu [7], ta sẽ tính toán mô-men xoắn theo cách sau. Đầu tiên, tính toán mô-men xoắn sinh ra giữa một nam châm dẫn j với một nam châm bị dẫn theo góc lệch  $\theta$ . Đường cong của mô-men xoắn sinh ra bởi nam châm dẫn tiếp theo (j+1) thu được bằng cách dịch chuyển đường cong trước

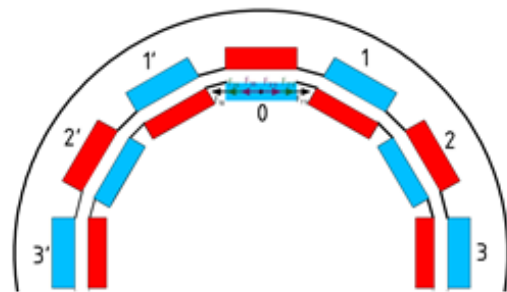
đi một góc  $\pi/p$  và bằng cách nhân mô-men với  $(-1)^j$  để thể hiện sự thay đổi hướng từ hóa. Mô-men xoắn trên một nam châm bị dẫn là tổng của 2p mô-men xoắn đã thay đổi. Lấy giá trị này nhân với 2p, tổng số nam châm bị dẫn, sẽ cho ta tổng mô-men xoắn truyền.

Phương pháp này cho ta cái nhìn rõ ràng hơn tương tác giữa từng nam châm trong toàn bộ khớp nối từ. Mô-men xoắn được xác định trong công thức sau [8]:

$$T = \left(r_0 + \frac{c}{2}\right) \sum_{i=1}^{2p} \sum_{j=1}^{2p} F_y(NC_i, NC_j) \quad (11)$$

Trong đó, i đại diện cho nam châm thứ i trên khớp bên trong (khớp bị dẫn) và j đại diện cho nam châm thứ j trên khớp bên ngoài (khớp dẫn), 2p là số lượng nam châm trên một khớp.

Tuy nhiên, do sự bố trí xen kẽ các cực của nam châm nên ảnh hưởng của những nam châm dẫn khác (những nam châm không nằm đối diện với nam châm bị dẫn đang tính) lên một nam châm bị dẫn đang tính là không đáng kể. Như ta thấy trên hình 12, vì các nam châm dẫn đều có cùng kích thước và làm từ cùng một loại vật liệu nên lực tiếp tuyến  $F_j$  của chúng tác dụng lên nam châm bị dẫn 0 chỉ phụ thuộc vào góc lệch  $\theta$ . Nhưng vì góc lệch  $\theta$  nhỏ và các nam châm đối xứng về hai phía của nam châm 0 tác dụng những lực ngược chiều nhau nên các lực này có xu hướng triệt tiêu lẫn nhau. Trên hình 14, ta sẽ thấy những lực đó là các cặp lực  $F_{10}$  và  $F_{1'0}$ ,  $F_{20}$  và  $F_{2'0}$ ,  $F_{30}$  và  $F_{3'0}$ .



Hình 12. Ảnh hưởng của các nam châm dẫn lên một nam châm bị dẫn

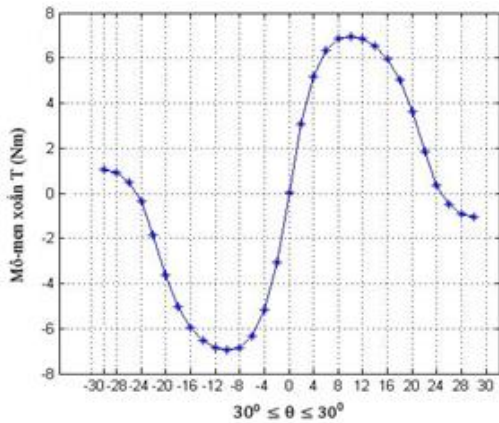
Do đó, trong tính toán mô-men xoắn cho khớp nối từ ta chỉ xét đến ảnh hưởng của hai nam châm đối diện nhau. Khi đó công thức tính toán mô-men xoắn sẽ được viết lại như sau:

$$T = \left( r_0 + \frac{c}{2} \right) \sum_{i,j=1}^{2p} F_y(NC_i, NC_j) \quad (12)$$

Từ các kích thước của nam châm và khớp nối từ được đã thiết kế trước đó:  $J = J' = 1,4 \text{ T}$ ;  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ ;  $a = 40 \text{ mm}$ ;  $b = 10 \text{ mm}$ ;  $c = 3,5 \text{ mm}$ ;  $a' = 40 \text{ mm}$ ;  $b' = 10 \text{ mm}$ ;  $c' = 2,5 \text{ mm}$ ;  $r_0 = 27 \text{ mm}$ ;  $r_1 = 22 \text{ mm}$ ;  $r_{tb} = r_1 + \frac{c'}{2}$  (cánh tay đòn);  $2p = 12$  (tổng số nam châm trên khớp dẫn hoặc khớp bị dẫn);  $x_{01} = 0$ .

Cùng với việc sử dụng cung cụ matlab, ta sẽ khảo sát sự biến thiên của mô-men xoắn của khớp nối theo góc lệch  $\theta$  (cho  $\theta$  chạy từ  $-30^\circ$  đến  $30^\circ$  vì các nam châm nằm trên cùng một khớp nối cách nhau một góc  $30^\circ$  do đó nếu góc lệch vượt qua giá trị này thì mô-men được tính ra có giá trị khá nhỏ, không đáng kể) qua đồ thị được vẽ theo công thức 12 và các thông số được cho bên trên:

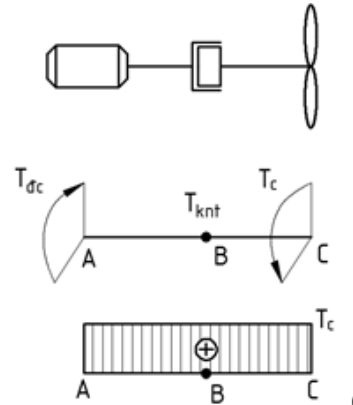
Như trong hình 13, khi góc lệch  $\theta = 0^\circ$  thì mô-men xoắn cũng bằng không, tức không sinh ra mô-men xoắn. Tuy nhiên, khi góc lệch  $\theta$  thay đổi, mô-men sẽ tăng dần đến một giá trị cực đại và sau đó là giảm dần về 0. Mô-men xoắn của khớp nối từ sẽ đạt cực đại tại góc lệch  $\theta \approx 10^\circ$  với giá trị cực đại là  $T_{max} = 7Nm$ , đây cũng chính là mô-men xoắn cực đại cho phép của khớp nối từ. Khi đó, nếu mô-men tác dụng lên khớp nối từ vượt quá  $T_{max}$  thì sẽ xảy ra hiện tượng trượt trong khớp nối từ, khớp dẫn sẽ quay theo động cơ bên trong còn khớp bị dẫn sẽ đứng yên do bị lực cản nước lên chân vịt giữ lại.



Hình 13. Mô-men xoắn T theo góc lệch  $\theta$

Khi phần động cơ điện bắt đầu hoạt động sẽ sinh

ra một mô-men xoắn  $T_{dc}$ . Mô-men xoắn này được truyền qua trục động cơ, qua khớp nối từ đến chân vịt. Mô-men xoắn truyền đến chân vịt giúp chống lại mô-men cản của nước. Mô-men động cơ,  $T_{dc}$  sinh ra luôn bằng với mô-men cản tác động lên chân vịt  $T_c$ . Biểu đồ mô-men của trục động cơ được biểu diễn như hình 13 sau:



Hình 14. Biểu đồ mô-men xoắn trên trục động cơ dây

Theo biểu đồ mô-men xoắn trên, ta xác định được mô-men ngoại lực tác động lên khớp nối từ  $T_{knt} = T_c$ .

Mặt khác, theo thực nghiệm ta có được mô-men xoắn lớn nhất mà động cơ có thể sinh ra để chống lại mô-men cản của nước là  $T_{dcmax} = 2Nm$  và để động cơ có thể hoạt động được thì  $T_{dcmax} \geq T_c$ , với động cơ dây hoạt động bình thường, có thể suy ra rằng mô-men cản lớn nhất tác động lên chân vịt,  $T_{cmax} = T_{dcmax}$ . Kết hợp với biểu đồ hình 14, ta có thể suy ra được mô-men xoắn lớn nhất tác động lên khớp nối từ là:

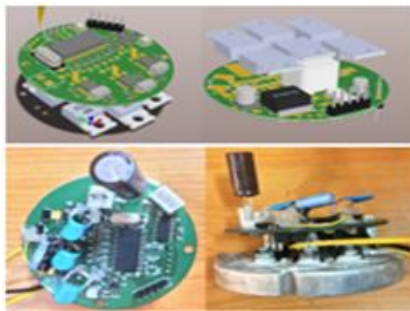
$$T_{kntmax} = T_{cmax} = T_{dcmax} = 2N$$

Ta thấy rằng mô-men xoắn lớn nhất tác động lên khớp nối từ  $T_{kntmax} < T_{max}$ , mô-men xoắn cho phép cực đại mà nó có thể chịu được. Do đó, với động cơ dây được thiết kế có thể hoạt động ở độ sâu 100m, khớp nối từ sẽ làm việc tốt mà không bị xảy ra hiện tượng trượt.

#### 4 KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Phần cứng được thiết kế để thực nghiệm điều khiển động cơ theo mô hình 1 vòng hồi tiếp vận

tốc, gồm có 3 khối chính: khối mạch điều khiển, khối mạch công suất và khối mạch truyền thông (Hình 15). Khối mạch điều khiển sử dụng vi điều khiển dsPIC30F2010 của hãng Microchip chuyên hỗ trợ điều khiển động cơ BLDC. Khối mạch công suất dựa trên thiết kế khung sườn của thiết bị đẩy để thiết kế hình dạng chuẩn cho board mạch driver. Phần mạch driver, nhóm nghiên cứu lựa chọn MOSFET IRF3710 nhờ các ưu điểm như khả năng ngắt điện tốt, tần số làm việc cao và ít nhạy cảm với nhiệt độ. Khối mạch truyền thông hỗ trợ chuẩn giao tiếp nối tiếp (USART) để truyền và nhận dữ liệu giữa máy tính và vi điều khiển.

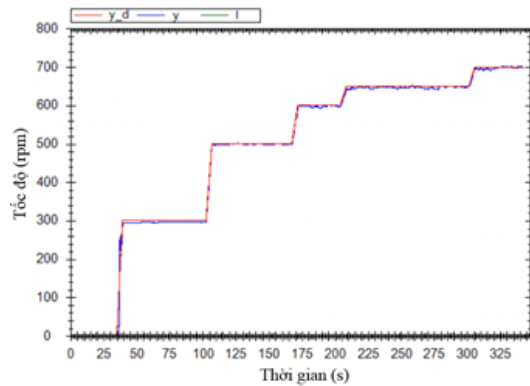


Hình 15. Mạch điều khiển thiết bị đẩy



Hình 16. Hệ thống thực nghiệm thiết bị đẩy

Giải thuật điều khiển PID được hiện thực hóa trên vi điều khiển để điều khiển tốc độ quay của thiết bị đẩy. Kết quả thực nghiệm được kiểm chứng trên mạch điều khiển và thu được kết quả như hình 16, 17, thiết bị đẩy bám tốt các tốc độ tham chiếu khác nhau với sai số nhỏ.



Hình 17. Kết quả điều khiển với các tốc độ khác nhau

## 5 KẾT LUẬN

Việc lựa chọn động cơ BLDC và khớp nối từ là một điểm mới trong thiết kế, chế tạo thiết bị đẩy dưới nước. Đảm bảo tính ổn định, dễ điều khiển từ đó gia tăng tuổi thọ làm việc của thiết bị. Theo kết quả mô phỏng lên thành vỏ của thiết bị, kết luận độ dày vỏ 1 mm là đủ để chống lại áp lực tối đa 47,077 MPa ở độ sâu 100 m. Đặc tính khớp nối từ được khảo sát và tính toán để tìm ra mối quan hệ giữa góc lệch và mô-men xoắn. Mô-men xoắn của khớp nối từ sẽ đạt cực đại tại góc lệch  $\theta \approx 10^\circ$  với giá trị cực đại là  $T_{max} = 7Nm$ , yếu tố quyết định đến khả năng hoạt động ổn định của thiết bị đẩy. Ngoài ra, kết quả thực nghiệm kiểm tra cũng được thực hiện với kết quả thiết bị đẩy bám tốt các giá trị vận tốc tham chiếu.

**LỜI CẢM ƠN:** Công trình nghiên cứu này được thực hiện tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia Điều khiển số và Kỹ thuật Hệ thống và được tài trợ bởi ĐHQG-HCM trong đề tài mã số C2017-20b-01

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tran, N.H., Choi, H.S., et al., “Design, Control, and Implementation of a New AUV Platform with a Mass Shifter Mechanism,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol.16, No.7, June 2015, pp 1599-1608.
- [2] Kukuly, A., et al., “Under-ice operations with a REMUS-100 AUV in the Arctic,” *Proc. AUV 2010 IEEE Conference, Monterey, CA, USA*, pp. 1-8, 2010.
- [3] K. Muljowidodo, N. Sapto Adi, Nico Prayogo, Agus Budiyo, “Design and

testing of underwater thruster for SHRIMP ROV – ITB,” 2009 *Indian Journal of Marine Sciences*.

- [4] M. Marimuthu, J. Rajaih, “Enhance the Modeling of BLDC Motor Based on Fuzzy Logic,” *International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, vol. 9, 649-655 (2015)
- [5] H. K. Samitha Ransara, U. K. Madawala, ”Modeling and analysis of a low cost Brushless DC motor drive,” 2013 *IEEE ICIT, Cape Town*, 356-361 (2013)
- [6] G. Akoun and J. P. Yonnet, “3-D analytical calculation of the forces exerted between two cuboidal magnets,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-20, pp. 1962–1964, Sept. 1984.
- [7] P. Eliès and G. Lemarquand, “Analytical optimization of the torque of a permanent-magnet coaxial synchronous coupling,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. 34, pp. 2267–2273, July 1998.
- [8] P. Eliès and G. Lemarquand, “Analytical Study of Radial Stability of Permanent-Magnet Synchronous Couplings,” *IEEE Trans. Magn.*, vol. 35, no. 4, July 1999.
- [9] R.M.Hornreich and S.Shtrikma, “Optimal design of synchronous torque couplers”, *IEEE Trans. Magn*, vol. Mag-14, no. 5, September 1978.



**Trần Ngọc Huy**, nhận bằng thạc sĩ và tiến sĩ tại Khoa Cơ khí trường Đại học Korea Maritime and Ocean University năm 2012 và 2015. Tác giả hiện là giảng viên khoa Điện – Điện tử, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM. Tác giả nghiên cứu về lĩnh vực robot, hệ thống định vị và cơ điện tử



**Nguyễn Thanh Phúc** sinh năm 1995, hiện tại tác giả đang theo học Kỹ sư tại Khoa Cơ khí - Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM. Tác giả nghiên cứu về lĩnh vực thiết kế, SPIF, TPIF



**Phạm Nam Anh** sinh năm 1995, hiện tại tác giả đang theo học Kỹ sư tại Khoa Cơ khí - Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM. Tác giả nghiên cứu về lĩnh vực thiết kế, SPIF, TPIF



**Lê Khánh Điền** nhận bằng thạc sĩ tại Khoa Cơ khí - Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG Tp. HCM. Tác giả hiện là giảng viên Khoa Cơ khí - Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM. Tác giả nghiên cứu về lĩnh vực thiết kế, SPIF,

TPIF



# Design and manufacture thruster with magnetic - coupling for underwater vehicles

Tran Ngoc Huy, Nguyen Thanh Phuc, Pham Nam Anh, Le Khanh Dien

**Abstract** — This paper presents a thruster using magnetic – coupling. This equipment is designed with module integration and engineered with separated systems from mechanical design, electrical systems and setup algorithm controlling motor. The design can let the thruster operate continuously during a long time at a depth of 100 meters. The main content of this paper is about stress simulation with a thickness of the hull, calculations of the allowable moment of the magnetic – coupling. In addition, some important designs of the thruster is introduced to improve experience and optimize the design. This paper also shows the experimental results of speed control of thruster using Proportional Integral Derivative (PID) method

**Index Terms** - Thruster, Brushless DC Motors (BLDC), Magnetic Coupling, PID.