

Tuy nhiên trong trường hợp này, mô phỏng với điều kiện môi trường tương đối lý tưởng nên chưa khảo sát được tính bền vững của hệ thống khi chịu ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài.

#### 4. Kết luận

Bài báo tổng quan các vấn đề nghiên cứu về điều khiển ngư lôi, phân tích và đánh giá những ưu nhược điểm của hệ thống khi sử dụng phương pháp điều khiển thích nghi kết hợp với các lý thuyết điều khiển nâng cao để tăng tính ổn định. Khi xem xét hệ thống với nhiều tác động ngoại vi hơn thì phương pháp này có thể chưa đáp ứng tốt, điều đó mở ra hướng phát triển cho bài báo này tiếp tục nghiên cứu với yêu cầu cao hơn về chất lượng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Christi, F. A. Papoulias, "Adaptive Sliding Mode Control of Autonomous Underwater Vehicles in the Dive Plane," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.15, No.3, pp.152–160, 1990.
- [2] A. Rhif, Z. Kardous, N. B. Braiek, "A High-Order Sliding Mode Observer: Torpedo Guidance Application," Journal of Engineering and Technology, vol. 2, issue 1, June 2012, pp. 13-18.
- [3] T. Salgado-Jiménez and B. Jouvencel, "Using a High Order Sliding Modes for diving control a torpedo Autonomous Underwater Vehicle," Proc of OCEANS, vol. 2, Sept. 2003. Pp. 934-939.
- [4] X. Liang, Y. Pang, L. Wan and B. Wang, "Dynamic Modeling and Motion Control for Underwater Vehicles with Fins," ISBN 978-953-7619-49-7, pp. 582, December 2008.
- [5] A. Faruq, S. Abdullah, M. Shah, "Optimization of an Intelligent Controller for an Unmanned Underwater Vehicle", Vol.9, No.2, pp. 245-256 August 2011.
- [6] C. Vuilmet, *A MIMO Backstepping Control with Acceleration Feedback for Torpedo*. The 38th Southeastern Symposium on System Theory Tennessee Technological University Cookeville, TN, USA, March 5-7, 2006.
- [7] V. P. Pham, X. K. Dang, D. T. Truong, "Control System Design for Torpedo using a Direct Adaptive Fuzzy-Neural Output-feedback Controller," Proc. Viet Nam conference on Control and Automation, Nov, 2013.
- [8] T. I. Fossen, "Guidance and Control of Ocean Vehicles," Chichester: John Wiley & Sons, 1994.

## THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU TỐC ĐIỆN TỬ CHO ĐỘNG CƠ DIESEL SỬ DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PID

### APPLICATION PID CONTROLLER TO DESIGN AN ELECTRONIC GOVERNOR FOR DIESEL ENGINE

ThS. NGUYỄN XUÂN TRỤ

Viện Kỹ thuật Hải quân

TS. VƯƠNG ĐỨC PHÚC

Khoa Điện – Điện tử, Trường ĐHHH Việt Nam

#### Tóm tắt

Bài báo trình bày việc thiết kế bộ điều tốc điện tử cho các động cơ diesel lai chân vịt chính tàu thủy. Bộ điều tốc sử dụng bộ điều khiển PID với phần cứng là PLC s7-200 của hãng Siemens. Nó đã được ứng dụng tại các tàu của Hải Quân Việt Nam, cho chất lượng cao và ổn định. Ngoài ra việc chủ động chế tạo được bộ điều tốc này có nhiều lợi ích về kinh tế, khoa học công nghệ và quân sự.

#### Abstract

This paper presents the design of an electronic governor for diesel engines driving propeller. These governors use PID controller and PLC s7-200 hardware of Siemens. They have been applied to ships of Vietnam navy and give high quality and stability. In addition, there are many benefits in economy, science technology and military when we can actively make them.

**Key words:** Electronic governor, main engine, PID controller, Ziegler – Nichols, Modeling of governor.

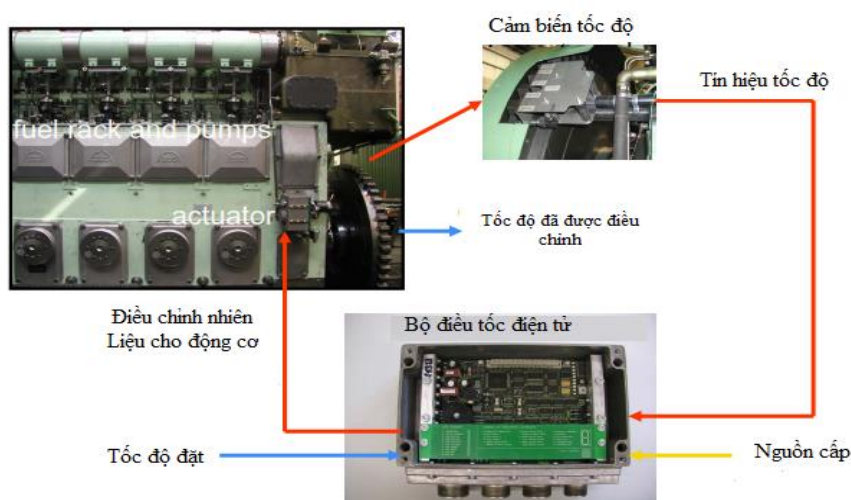
#### 1. Giới thiệu

Hiện nay nghiên cứu chế tạo bộ điều tốc điện tử cho động cơ Diesel lai chân vịt hiện chưa được đơn vị cá nhân nào trong nước nghiên cứu chế tạo. Các sản phẩm đang được sử dụng chủ yếu nhập ngoại từ các hãng của nước ngoài, khi xảy ra sự cố thường phải mời chuyên gia của các hãng sang gây tốn kém và mất nhiều thời gian, ảnh hưởng đến tính cơ động và khả năng sẵn

sàng chiến đấu của tàu, không làm chủ được trong khai thác và bảo dưỡng sửa chữa. Xu hướng chế tạo các trang thiết bị trong nước thay thế cho các hệ thống nhập ngoại đang được đầu tư và quan tâm nhất là trong Quân đội nói riêng.

Hiện nay trên các tàu quân sự hiện đại của Việt Nam thường trang bị máy chính lai chân vịt của hãng MTU [1], MAN(VIKING-25), CATERPILAR(ECM).

Đây là các máy có công suất lớn sử dụng công nghệ phun nhiên liệu điện tử thông qua bộ điều tốc điện tử. Khi bộ điều tốc bị hỏng, hay cần bảo dưỡng gặp rất nhiều khó khăn về công nghệ, kinh tế cũng như thời gian. Điều này ảnh hưởng nghiêm trọng đến tính chiến đấu, sự cơ động của quân đội.



Hình 1. Động cơ Diesel với bộ điều tốc điện tử

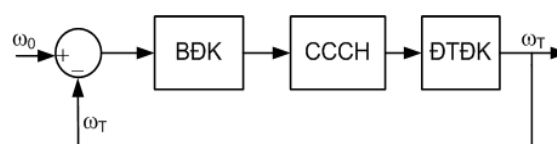
Do vậy việc nghiên cứu chủ động chế tạo thay thế mang ý nghĩa thực tiễn và cấp thiết. Hiện nay có một số nghiên cứu về lý thuyết, mô phỏng hệ thống [2,3,4] nhưng khi tiến hành xây dựng mô hình vật lý gặp nhiều khó khăn về phần cứng, bí mật công nghệ. Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng bộ điều khiển PID [6] với các thông số P, I, D được chọn từ hệ thống điều khiển PID bằng thuật toán điều khiển gán cực tự điều hưởng (self-tuning pole assignment control) có sẵn trong tài nguyên của phần mềm lập trình. Tiếp đó thay trực tiếp các giá trị  $K_p$ ,  $K_i$ , và  $K_d$  tìm được và thực nghiệm. Dựa trên các chỉ tiêu đánh giá chất lượng của hệ thống: Độ quá chỉnh, thời gian điều chỉnh, sai lệch tĩnh và số lần dao động để chọn được giá trị  $K_p$ ,  $K_i$ , và  $K_d$  tối ưu nhất.

Hình 1 minh họa quá trình điều khiển ổn định tốc độ động cơ với bộ điều tốc điện tử của hãng Woodward: Bộ điều tốc điện tử nhận tín hiệu phản hồi từ cảm biến tốc độ so sánh với tín hiệu đặt tốc độ (từ nút ấn hoặc từ cần điều khiển từ xa), tín hiệu đầu ra được đưa đến cơ cấu chấp hành điều khiển thay đổi nhiên liệu để duy trì ổn định tốc độ cho động cơ.

## 2. Sơ đồ khối và mô hình toán học bộ điều tốc

### 2.1. Sơ đồ khối

Sơ đồ được thể hiện trên hình 2 [2,3,5], trong đó BDK là bộ điều khiển, CCCH là cơ cấu chấp hành (Thường là các van dòng hay áp có tín hiệu tương tự, ĐTĐK là đối tượng điều khiển (Chính là động cơ diesel). Tốc độ thực của diesel được cảm biến thông qua cảm biến tốc độ



Hình 2. Sơ đồ khối của bộ điều tốc điện tử

dạng xung, tín hiệu này được so sánh với tín hiệu đặt ( $\omega_0$ ). Nếu có sai lệch bộ điều khiển BDK sẽ đưa tín hiệu thay đổi cho CCCH nhằm thay đổi lượng nhiên liệu cấp cho vòi phun của diesel (ĐTĐK) giúp cho tốc độ thực ( $\omega_T$ ) luôn ổn định theo giá trị đặt trước

### 2.2. Mô hình toán [2,3]

Hệ phương trình toán học để mô tả đối tượng động cơ diesel có độ phi tuyến cao và rất phức tạp, do vậy để đơn giản trong tính toán và xây dựng các bộ điều khiển cho đối tượng này ta dùng phương pháp thực nghiệm. Giải pháp điều khiển để ổn định tốc độ động cơ của các hãng là sử dụng bộ điều khiển PID, các tham số của bộ điều khiển PID là các tham số động thay đổi trên toàn dải tốc độ làm việc của động cơ. Tùy thuộc từng hãng sẽ có những thuật toán lựa chọn các tham số PID khác nhau.

Để đơn giản cho quá trình tính toán và xây dựng bộ điều khiển, ta có thể coi động cơ diesel (ĐTĐK) có mô hình toán học đơn giản là một khâu quán tính bậc nhất có hàm truyền đạt (1). Tương tự, để thuận tiện cho việc tính toán, ta coi cơ cấu chấp hành (CCCH) có mô hình toán học đơn giản cũng là một khâu quán tính bậc nhất có hàm truyền đạt (2):

$$F_{\text{ĐTĐK}} = \frac{K_1}{1 + T_1 \cdot s} \quad (1)$$

$$F_{\text{CCCH}} = \frac{K_2}{1 + T_2 \cdot s} \quad (2)$$

Từ sơ đồ cấu trúc chung của mạch điều chỉnh tốc độ cho hệ thống như trên ta có hàm truyền đạt của ĐTĐK – CCCH có thể được tính như sau:

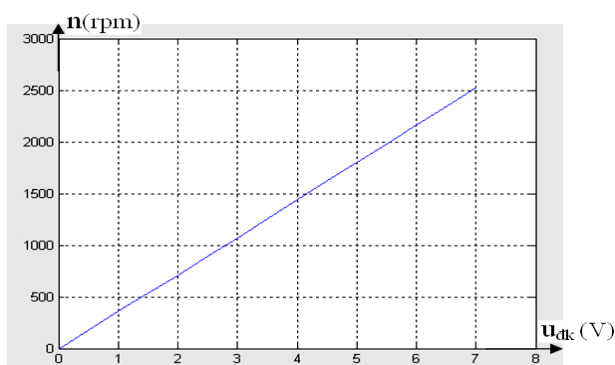
$$F_{\text{TD}} = F_{\text{ĐTĐK}} \cdot F_{\text{CCCH}} = \frac{K_1}{1 + T_1 \cdot s} \cdot \frac{K_2}{1 + T_2 \cdot s} = \frac{K_\omega}{(1 + T_1 \cdot s) \cdot (1 + T_2 \cdot s)} \quad (3)$$

Theo hàm truyền đạt trên của đối tượng cần điều chỉnh thì ta thấy rằng, trong hàm truyền đạt của đối tượng, ta chỉ cần xác định được hệ số khuếch đại K và hai hằng số thời gian  $T_1$  và  $T_2$  thì ta hoàn toàn có thể xây dựng được bộ điều khiển cho đối tượng.

### 3. Xây dựng bộ điều khiển PID dùng s7-200

#### 3.1. Tính toán các thông số của hệ thống thực

Lựa chọn động cơ diesel S3L2 (3TN84) đồng bộ với các cảm biến đo nhiệt độ, áp lực, tốc độ đảm bảo tương đương như một động cơ đang sử dụng trên thực tế. Thiết bị vận hành để người sử dụng đặt tốc độ cũng được lựa chọn để tiến hành việc thử nghiệm và hoàn thiện sản phẩm. Để xác định được hệ số khuếch đại  $K_\omega$  cho đối tượng điều khiển trên, ta có thể thực hiện bằng cách đo đạc và thực nghiệm trên mô hình vật lý. Tín hiệu đầu vào điều khiển tốc độ của động cơ Diesel là một tín hiệu điện áp điều khiển, đầu ra chính là tốc độ của động cơ. Các thông số được đo trên mô hình vật lý được thể hiện trong hình 3.



Hình 3. Đặc tính quan hệ giữa tín hiệu điều khiển và tốc độ của động cơ diesel

Dựa vào mối quan hệ giữa tín hiệu điều khiển cho bộ biến đổi và tốc độ của động cơ hình 3 trên, ta thấy rằng: quan hệ giữa tín hiệu ra (tốc độ động cơ) và tín hiệu điều khiển cho bộ biến đổi là tương đối tuyến tính. Nếu coi hệ Động cơ diesel – Cơ cấu chấp hành có hàm truyền như trên thì hệ số khuếch đại  $K_\omega$  của đối tượng có thể được lấy bằng hệ số khuếch đại giữa tín hiệu ra tốc độ và tín hiệu điều khiển. Dựa trên đặc tính ở hình 3 ta chọn  $K_\omega = 360$ .

Hai hằng số thời gian là  $T_1$  và  $T_2$  được xác định bằng thực nghiệm. Xác định hai thông số này được thực hiện bằng cách thay đổi tín hiệu vào điều khiển và đo khoảng thời gian từ khi tín hiệu đầu vào thay đổi cho tới khi tín hiệu đầu ra đã chuyển sang trạng thái xác lập mới. Dựa vào kết quả đo đạc ta có các thông số như sau:  $T_1 = 0.001$  và  $T_2 = 0.05$ . Lúc này hàm truyền đạt của hệ

thống: 
$$F_{\text{TD}} = \frac{360}{(1 + 0.001 \cdot s) \cdot (1 + 0.05 \cdot s)} \quad (4)$$

Để tổng hợp bộ điều chỉnh tốc độ cho hệ, ta có thể áp dụng tiêu chuẩn module tối ưu [6]. Hàm chuẩn theo tiêu chuẩn module tối ưu là hàm có dạng (5), Hàm truyền của đối tượng có dạng (6):

$$F_{MC}(s) = \frac{1}{1 + 2 \cdot \tau_0 \cdot s + 2 \cdot \tau_0^2 \cdot s^2} \quad (5)$$

$$F_{TD} = \frac{360}{(1 + 0.001 \cdot s)(1 + 0.05 \cdot s)} \quad (6)$$

Gọi hàm truyền đạt của bộ điều khiển là R(s). Lúc này cấu trúc của mạch vòng điều chỉnh như hình 4. Với sơ đồ cấu trúc hệ thống như hình vẽ trên ta có hàm truyền của hệ kín là (7).

$$F_{HK} = \frac{R(s) \cdot F_{TD}(s)}{1 + R(s) \cdot F_{TD}(s)} \quad (7)$$

$$\text{Hay } R(s) = \frac{F_{MC}(s)}{F_{TD}(s) \cdot [-F_{MC}(s) + 1]} \quad (8)$$

Để hệ kín có cấu trúc giống với hàm chuẩn của tiêu chuẩn module tối ưu thì ta có  $F_{HK} = F_{MC}$ . Thay thế (5) và (6) vào (8) ta có:

$$R(s) = \frac{(1 + 0.001 \cdot s)(1 + 0.05 \cdot s)}{360 \cdot 2 \tau_0 \cdot s \cdot (1 + \tau_0 \cdot s)} \quad (9)$$

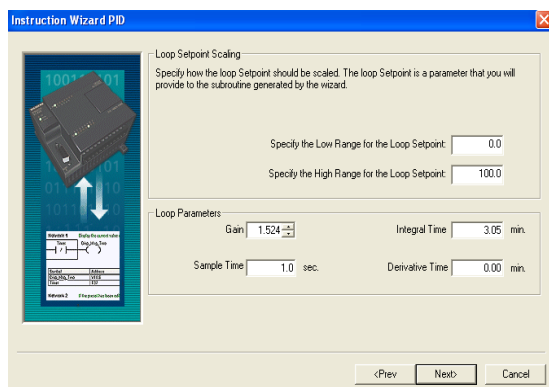
$$\text{Hay } R(s) = \frac{1 + 0.05 \cdot s}{2 \cdot 360 \cdot 0.001 \cdot s} \quad (10)$$

Với  $\tau_0 = 0.001$

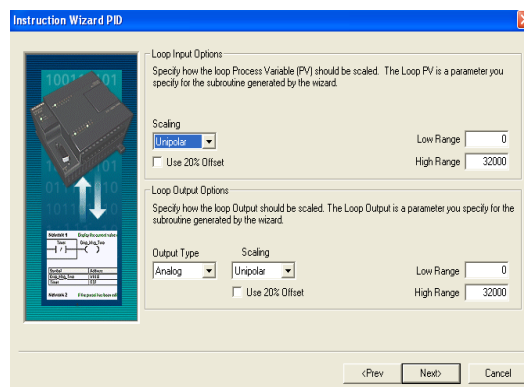
Như vậy bộ điều khiển sẽ là một khâu PI. Với hệ số khuếch đại của từng khâu như sau:

$$\text{Khâu P: } K_p = \frac{5}{72} \approx 0.0694, \text{ Khâu I: } K_I = \frac{1}{0.72} \approx 1.39.$$

### 3.2. Khai báo bộ PID trong PLC s7-200



Hình 4. Khai báo các thông số cho bộ PID trong s7-200



Hình 5. Khai báo dải hoạt động của tín hiệu vào và tín hiệu ra

Khi khai báo cho bộ PID trong bộ điều khiển s7-200 của hãng Siemens thì ta cần phải khai báo dải của điểm đặt (giá trị mong muốn) cho bộ PID. Trong bảng Loop Parameters ta cần phải khai báo đầy đủ các thông số cho các khâu P, I, D và thời gian lấy mẫu Sample time như hình 4. Sau khi khai báo đầy đủ các thông số cho một bộ PID thì ta cần phải khai báo thêm loại cho tín hiệu đầu vào (tín hiệu cần điều khiển), dải làm việc của tín hiệu đầu vào, loại cho tín hiệu đầu ra, và dải làm việc tương ứng cho tín hiệu đầu ra. Việc khai báo dải cho từng tín hiệu có thể được

thực hiện tương tự như hình 5. Khi việc khai báo kết thúc, và ta lưu quá trình vừa khai báo lại thì trong chương trình chính của phần điều khiển sẽ tự động đưa ra cho ta một cấu trúc của một vòng lặp PID. Khi cần sử dụng ta chỉ cần gọi ra là lệnh PID sẽ được thực hiện. Trong quá trình hoạt động của hệ thống, khi có sự sai lệch hoặc cần điều chỉnh các thông số của hệ, trong khi bộ điều khiển làm việc thì hệ thống vẫn cho phép thực hiện thay đổi lại các thông số của bộ PID cho phù hợp.

Khi khai báo cho bộ PID trong bộ điều khiển s7-200 của hãng Siemens thì ta cần phải khai báo dải của điểm đặt (giá trị mong muốn) cho bộ PID. Trong bảng Loop Parameters ta cần phải khai báo đầy đủ các thông số cho các khâu P, I, D và thời gian lấy mẫu Sample time như hình 4. Sau khi khai báo đầy đủ các thông số cho một bộ PID thì ta cần phải khai báo thêm loại cho tín hiệu đầu vào (tín hiệu cần điều khiển), dải làm việc của tín hiệu đầu vào, loại cho tín hiệu đầu ra, và dải làm việc tương ứng cho tín hiệu đầu ra. Việc khai báo dải cho từng tín hiệu có thể được thực hiện tương tự như hình 5. Khi việc khai báo kết thúc, và ta lưu quá trình vừa khai báo lại thì trong chương trình chính của phần điều khiển sẽ tự động đưa ra cho ta một cấu trúc của một vòng lặp PID. Khi cần sử dụng ta chỉ cần gọi ra là lệnh PID sẽ được thực hiện. Trong quá trình hoạt động của hệ thống, khi có sự sai lệch hoặc cần điều chỉnh các thông số của hệ, trong khi bộ điều khiển làm việc thì hệ thống vẫn cho phép thực hiện thay đổi lại các thông số của bộ PID cho phù hợp.

### 3.3. Thiết kế sơ đồ chức năng tổng quát

Khi thiết kế hệ thống thực phần cứng được xây dựng trên bộ PLC s7-200 có các khối sau: Khối nguồn, Khối đo (là một mạch đọc tín hiệu tốc độ của động cơ), Khối khuếch đại tín hiệu đầu ra cơ cấu chấp hành điều khiển nhiên liệu, Khối chuyển đổi tín hiệu A/D, Khối chuyển đổi tín hiệu D/A, Khối tín hiệu vào/ra số I/O, Khối xử lý trung tâm CPU, Khối giao diện máy tính RS485, Khối giao diện truyền thông.

## 4. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu cách thiết kế bộ điều tốc điện tử cho đối tượng là các động cơ Diesel lai chân vịt chính được sử dụng trên các tàu của Hải Quân. Bộ điều tốc sử dụng bộ điều khiển PID với các tham số được tính toán cụ thể dựa trên các tiêu chuẩn module tối ưu kết hợp với phương pháp thực nghiệm. Kết quả triển khai gồm: Thiết kế tổng quát, sơ đồ thực hiện, các kết quả thực nghiệm khi áp dụng bộ điều khiển trên tàu thủy, phân tích các hạn chế còn tồn tại và các phương pháp nâng cao chất lượng bộ điều khiển đồng thời tối ưu hóa tham số cho bộ điều khiển nhằm đáp ứng các chỉ tiêu của bộ điều tốc tiệm cận đến bộ điều tốc của các hãng nước ngoài như MTU, MAN và Caterpillar vv... sẽ được trình bày chi tiết ở bài báo tiếp theo.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tài liệu hãng MTU, “*Operating Instructions Diesel Engine*”, MTU Friedrichshafen GmbH, 2012.
- [2] Iwai Tomohiro, Ohtoshi Kohta, Fukumori Eijietal, “*Development of An Electronic Governor for The Power Generator System*”, International Off-Highway and Powerplant Congress and Exposition, Milwaukee WI USA, 1990:180-189.
- [3] Li Haoju, Chen Hongwei, “*Modeling and Simulation of Power Supply Unit in Electric Propulsion Ship*”, Marine Electronic Technology.2009 (11):18-22.
- [4]. Hopka, M., Upadhyay, D., Guezennec, “*Identification of a mean value model of a modern diesel engine for control design*”, ASME International Mechanical Engineering Congress, Washington, D. C. 2003
- [5] Le Luo, “*The Control and Modeling of Diesel Generator Set in Electric Propulsion Ship*”, Information Technology and Computer Science, 2011, 2, 31-37.
- [6] Phan Xuân Minh, “*Giáo trình Lý thuyết điều khiển tự động*”, Nhà Xuất bản Giáo dục, 2008.