

**NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỀU KHIỂN CỦA BỘ TỰ ĐỘNG
ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP MÁY PHÁT ĐIỆN TÀU BIỂN
ỨNG DỤNG MẠNG NƠ RON NHÂN TẠO**
**ENHANCING THE CONTROL PERFORMANCE OF MARINE GENERATOR
AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR BY USING ARTIFICIAL NEURAL
NETWORK**
HOÀNG ĐỨC TUẤN

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: hoangductuan@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bộ điều chỉnh điện áp tự động (AVR) giữ vai trò rất quan trọng trong việc duy trì điện áp ổn định cho máy phát điện đồng bộ trên tàu biển, nhằm cung cấp năng lượng điện tin cậy cho hệ thống điện tàu. Các bộ điều khiển cho AVR truyền thống, chẳng hạn như bộ điều khiển PID, thường gặp khó khăn trong việc duy trì hiệu suất tối ưu khi điều kiện tải thay đổi và có nhiễu loạn. Bài báo đề xuất một phương pháp nâng cao chất lượng điều khiển AVR bằng cách ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo (ANN) nhằm cải thiện đáp ứng động, tăng độ bền vững và khả năng thích nghi trong môi trường hàng hải.

Mạng nơ ron nhân tạo được huấn luyện bằng dữ liệu mô phỏng từ bộ điều khiển PID truyền thống, giúp mô hình hóa quan hệ giữa sai số điện áp và tín hiệu điều khiển. Sau đó, mạng ANN được tích hợp vào mô hình MATLAB/Simulink để đánh giá hiệu suất, chất lượng điều khiển. Kết quả so sánh với bộ AVR truyền thống cho thấy phương pháp điều khiển bằng ANN giúp giảm đáng kể độ sai lệch điện áp, cải thiện đáp ứng quá độ và nâng cao độ ổn định của hệ thống.

Từ khóa: Bộ tự động điều chỉnh điện áp, Mạng nơ ron nhân tạo, Máy phát điện tàu biển, PID.

Abstract

Automatic Voltage Regulator (AVR) play a crucial role in maintaining stable voltage output in marine synchronous generators, ensuring reliable electrical power supply for shipboard electrical systems. Traditional AVR controllers, such as Proportional-Integral-Derivative controllers, often struggle to maintain optimal performance under varying load conditions and disturbances. This paper presents an enhanced AVR control

strategy utilizing Artificial Neural Networks (ANNs) to improve dynamic response, robustness, and adaptability in maritime environments.

The proposed ANN-based AVR is trained using simulation data from a conventional PID controller, capturing the relationship between voltage error and control actions. The trained ANN is then integrated into a MATLAB/Simulink model to evaluate its performance and control quality. Comparative analysis with conventional AVR controllers demonstrates that the ANN-based approach significantly reduces voltage deviations, enhances transient response, and improves overall system stability.

Keywords: Automatic Voltage Regulator, Artificial Neural Network, marine synchronous generators, Proportional - Integral - Derivative (PID) controller.

1. Giới thiệu

Trên tàu biển, nguồn điện năng chính được tạo ra bởi máy phát điện đồng bộ xoay chiều ba pha, truyền động bằng động cơ Diesel phụ, Diesel chính hoặc Turbin. Các phụ tải điện đều được thiết kế để làm việc với điện áp định mức cho trước, chỉ khi công tác trong dải điện áp cho phép, thì hệ thống, thiết bị sẽ hoạt động ổn định, tin cậy và có tuổi thọ cao. Do vậy, để duy trì ổn định điện áp cung cấp cho các phụ tải điện, thì máy phát điện đồng bộ xoay chiều ba pha phải được trang bị hệ thống ổn định điện áp tự động cho máy phát điện tàu biển [1, 5, 6].

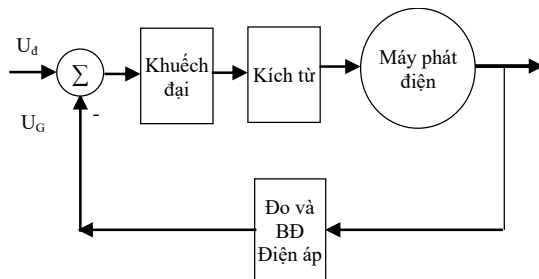
Phụ tải trong quá trình hoạt động thay đổi theo chế độ công tác của tàu một cách ngẫu nhiên. Do đó sẽ làm thay đổi điện áp của máy phát điện tàu biển, vì vậy, cần phải tự động điều chỉnh duy trì điện áp cung cấp trong dải cho phép. Tuy nhiên, bộ tự động điều chỉnh điện áp cho máy phát điện tàu biển tổng hợp theo phương pháp truyền thống sẽ chỉ làm việc trong

phạm vi thay đổi hẹp, và sẽ không làm việc tốt nếu dài thay đổi rộng. Do đó, việc xây dựng bộ điều khiển cho hệ thống điều chỉnh điện áp trên cơ sở ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo nhằm nâng cao chất lượng điều chỉnh điện áp cho máy phát điện tàu biển mang tính khoa học và thực tiễn.

Bài báo đề cập đến việc thiết kế bộ tự động điều chỉnh điện áp trên cơ sở ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo cho máy phát điện tàu biển. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong các phần sau.

2. Mô hình của hệ thống điều chỉnh điện áp, kích từ máy phát điện tàu biển

Hệ thống điều chỉnh điện áp, kích từ của máy phát điện tàu biển bao gồm bộ khuếch đại, kích từ, máy phát điện, bộ đo và biến đổi điện áp được trình bày như Hình 1 [3, 4, 6].



Hình 1. Sơ đồ khối nguyên lý của hệ thống điều chỉnh điện áp

Mô hình bộ khuếch đại

Hàm truyền của bộ khuếch đại được mô hình hóa bằng hằng số thời gian và hệ số khuếch đại được đưa ra như sau [3, 4, 6]:

$$G_A(s) = \frac{K_a}{1 + \tau_a s} \quad (1)$$

Trong đó, τ_a và K_a là hằng số thời gian và hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại.

Mô hình bộ kích từ

Hàm truyền của bộ kích từ mô hình hóa bằng hằng số thời gian và hệ số khuếch đại được đưa ra như sau [3, 4, 6]:

$$G_E(s) = \frac{K_e}{1 + \tau_e s} \quad (2)$$

Trong đó, τ_e và K_e là hằng số thời gian và hệ số khuếch đại của bộ kích từ.

Mô hình máy phát điện

Hàm truyền của máy phát điện được mô hình hóa

bằng hằng số thời gian và hệ số khuếch đại được đưa ra bởi [3, 4, 6]:

$$G_g(s) = \frac{K_g}{1 + \tau_g s} \quad (3)$$

Trong đó, τ_g và K_g là hằng số thời gian và hệ số khuếch đại của máy phát điện và tải phụ thuộc vào nhau.

Mô hình bộ đo và biến đổi điện áp

Hàm truyền của bộ đo và biến đổi điện áp được mô hình hóa bằng hằng số thời gian và hệ số khuếch đại được đưa ra bởi [3, 4, 6]:

$$G_s(s) = \frac{K_s}{1 + \tau_s s} \quad (4)$$

Trong đó, τ_s và K_s là hằng số thời gian và hệ số khuếch đại của cảm biến.

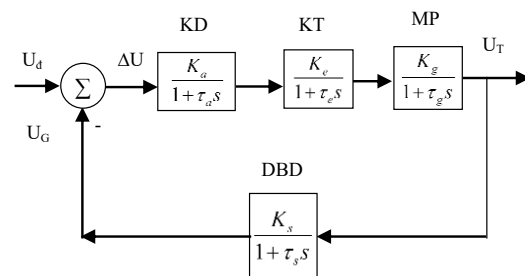
Mô hình bộ điều khiển PID

Hàm truyền của bộ điều khiển PID như sau:

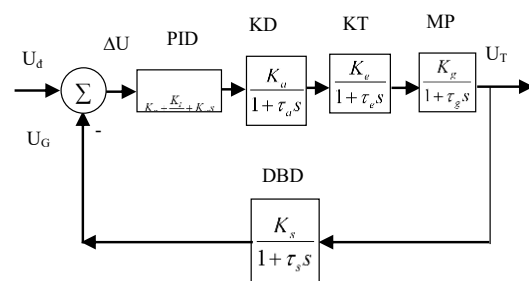
$$G_{PID}(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (5)$$

Trong đó, K_p , K_I và K_D là các hệ số tỷ lệ, tích phân, vi phân.

Mô hình hệ thống tự động điều chỉnh điện áp máy phát điện tàu biển được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Mô hình hàm truyền của hệ thống điều chỉnh tự động điện áp máy phát điện tàu biển

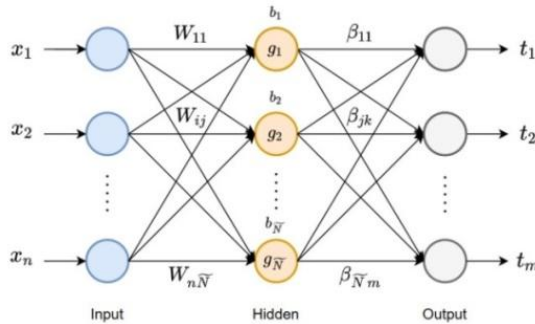


Hình 3. Mô hình hàm truyền của hệ thống điều chỉnh tự động điện áp máy phát điện tàu biển với bộ điều khiển

3. Thiết kế bộ điều chỉnh điện áp tự động ứng dụng mạng nơ ron

Mạng nơ ron truyền thẳng là một loại mạng nơ ron nhân tạo, trong đó thông tin chỉ truyền theo một hướng, từ lớp vào qua lớp ẩn đến lớp ra, mà không có vòng lặp hoặc kết nối ngược [2].

Cấu trúc của mạng nơ ron truyền thẳng một lớp ẩn gồm một lớp đầu vào, một lớp ẩn và một lớp đầu ra, được mô tả như Hình 4.



Hình 4. Cấu trúc mạng nơ ron truyền thẳng một lớp ẩn

Giả thiết có N mẫu dữ liệu, mỗi mẫu là cặp (x_i, t_i) , trong đó: Véc tơ $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}] \in R_n$ là dữ liệu đầu vào. Véc tơ $t_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}] \in R_m$ là dữ liệu đầu ra.

Cấu trúc mạng nơ ron một lớp ẩn sẽ bao gồm lớp vào, lớp ẩn, lớp ra. Ma trận trọng số liên kết lớp vào và lớp ẩn là $W_{nN} = [w_1, w_2, \dots, w_N]$, trong đó $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}]^T$. Hàm kích hoạt cho lớp ẩn là $g(x)$. Vector ngưỡng $b_i = [b_1, b_2, \dots, b_N]$ để cộng thêm cho mỗi nút ẩn. Ma trận trọng số liên kết lớp ẩn với lớp ra là $\beta = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N]$, với $\beta_i = [\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{im}]^T$. Các quan hệ trên được thể hiện như sau:

$$\sum_{i=1}^N \beta_i g_i(x_j) = \sum_{i=1}^N \beta_i g_i(w_i x_j + b_i) = o_j, j = 1, \dots, N \quad (6)$$

Véc tơ o_j là kết quả đầu ra của mạng nơ ron. Mục tiêu là tìm được bộ trọng số W , b và β sao cho tối thiểu hóa giữa đầu ra của mô hình o_j và đầu ra thực tế t_j , tức là sự sai khác tiến tới không:

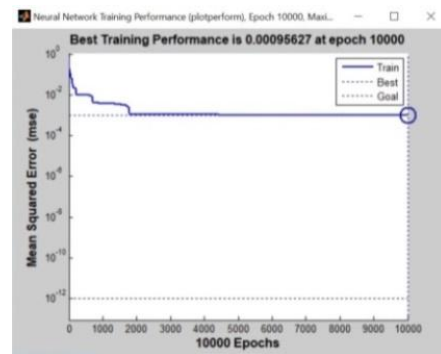
$$\sum_{i=1}^N \|o_j - t_j\| = 0 \quad (7)$$

Mạng nơ ron truyền thẳng một lớp ẩn được thiết kế điều khiển cho bộ tự động điều chỉnh điện áp máy phát điện bao gồm lớp vào, lớp ẩn, lớp ra có hàm chuyển đổi là 'logsig', 'tansig', 'purelin'. Luật học là lan truyền ngược. Dữ liệu luyện mạng là loại mảng, được lấy từ quá trình mô phỏng hệ thống điều chỉnh điện áp tự động với bộ điều khiển PID. Xây dựng chương

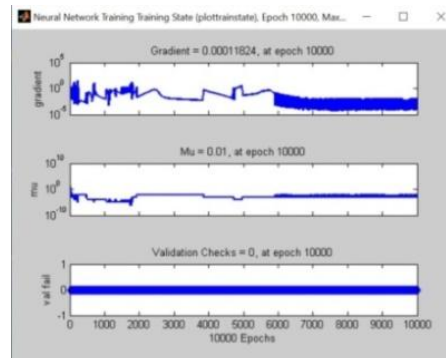
trình trên m.file để thiết lập cấu hình mạng nơ ron ba lớp và luyện mạng với tệp dữ liệu đã thu thập ở trên, với đầu vào là sai lệch điện áp và đầu ra là điện áp điều khiển đưa đến bộ khuếch đại. Quá trình luyện mạng được thể hiện như Hình 5.



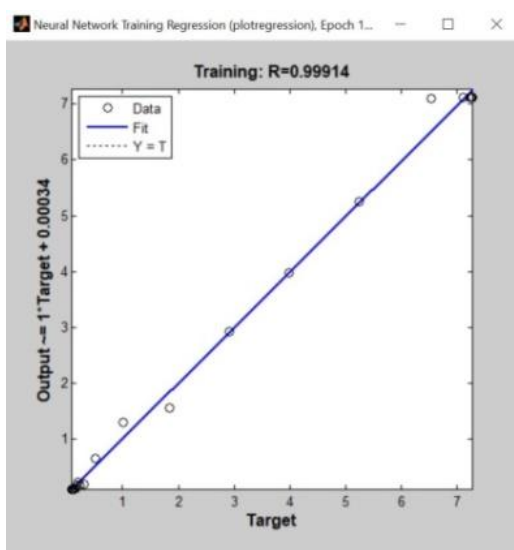
Hình 5. Luyện mạng nơ ron với luật học lan truyền ngược



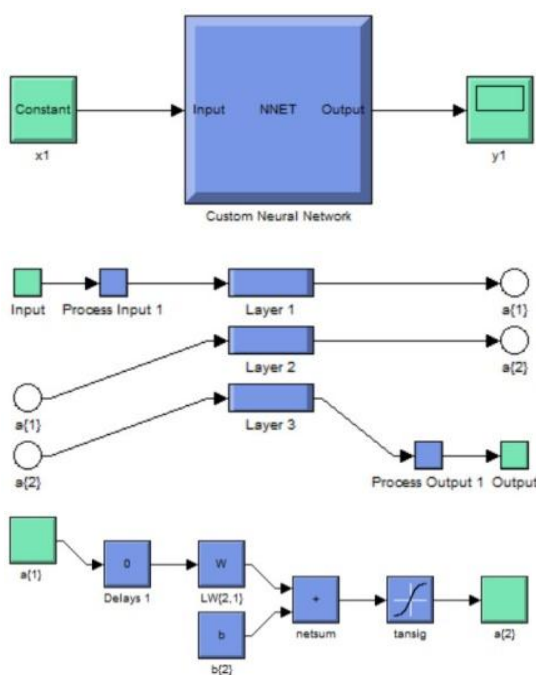
Hình 6. Sai lệch bình phương trung bình



Hình 7. Giá trị gradient và số lần lỗi



Hình 8. Sai lệch đầu ra, mục tiêu với luật học lan truyền ngược



Hình 9. Mạng nơ ron với luật học lan truyền ngược được tạo ra

4. Mô phỏng hệ thống và kết quả

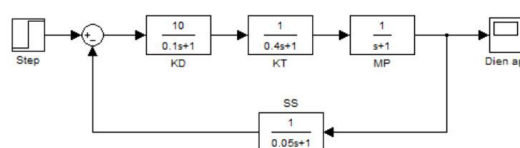
Các tham số của hệ thống để mô phỏng như sau: Hệ số khuếch đại, $K_a=10$, hằng số thời gian khuếch đại, $\tau_a=0,05$; hệ số khuếch đại của bộ kích từ, $K_e=1$, hằng số thời gian của bộ kích từ, $\tau_e=0,4$; hệ số khuếch đại của máy phát, $K_g=1$, hằng số thời gian của máy phát điện, $\tau_g=0,5$; Hệ số khuếch đại của bộ đo và biến đổi điện áp, $K_s=1$, hằng số thời gian của bộ đo và biến

đổi điện áp, $\tau_s=0,01$ [3, 4].

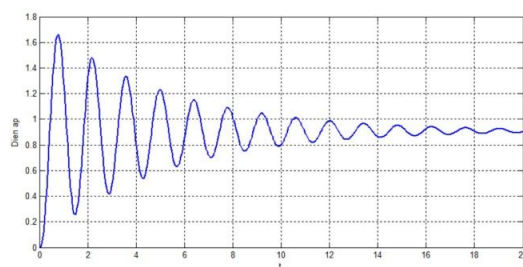
Để tiến hành nghiên cứu, ta xây dựng hệ thống trên phần mềm Matlab/Simulink với ba hệ thống gồm hệ thống máy phát điện tàu biển với bộ tự động điều chỉnh điện áp không có bộ điều khiển PID, hệ thống máy phát điện tàu biển có bộ tự động điều chỉnh điện áp với bộ điều khiển PID và hệ thống máy phát điện tàu biển có bộ điều chỉnh điện áp tự động với bộ điều khiển nơ ron.

4.1. Mô phỏng hệ thống khi không và có bộ điều khiển PID

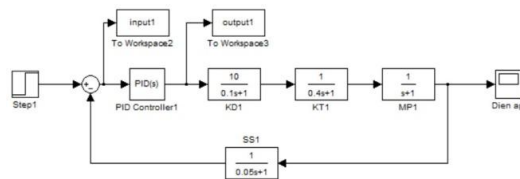
Hệ thống khi không có bộ điều khiển PID, như thể hiện trong Hình 10.



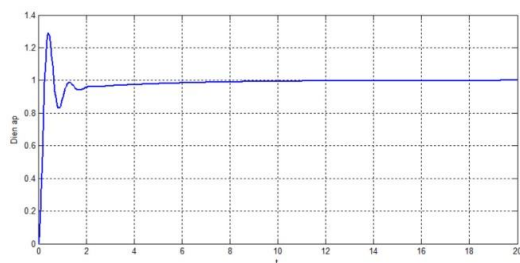
Hình 10. Hệ thống điều chỉnh điện áp khi không có bộ điều khiển PID



Hình 11. Đặc tính điện áp đầu ra của máy phát điện khi không có bộ điều khiển



Hình 12. Mô hình hệ thống với bộ điều khiển PID



Hình 13. Đặc tính điện áp đầu ra của máy phát điện

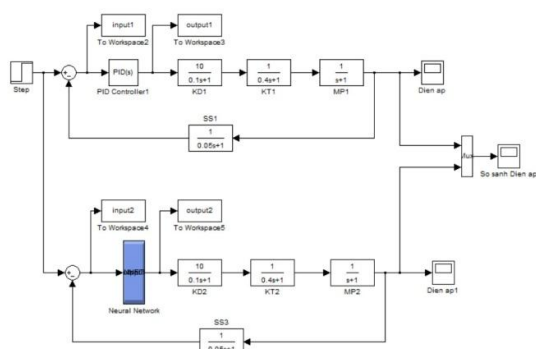
Điện áp đầu ra của máy phát điện dao động lớn, thời gian quá độ dài và sai lệch tĩnh lớn.

Thiết kế bộ điều khiển PID cho hệ thống điều chỉnh điện áp máy phát điện tàu biển theo phương pháp thực nghiệm Ziegler Nichols, ta có $K_P=0,85$, $K_D=0,25$, $K_I=0,28$ thu được đường đặc tính như Hình 13.

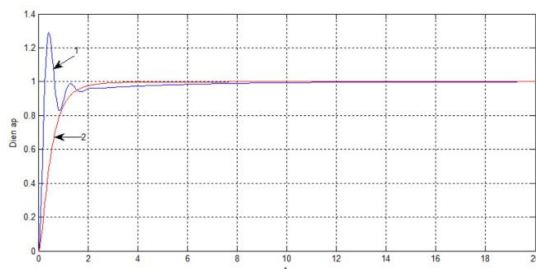
Điện áp đầu ra của máy phát điện có độ quá điều chỉnh 27%, thời gian quá độ 6s và sai lệch tĩnh nhỏ.

4.2. Hệ thống tự động điều chỉnh điện áp máy phát điện tàu biển sử dụng bộ điều khiển nơ ron

Hệ thống tự động điều chỉnh điện áp máy phát điện tàu biển sử dụng bộ điều khiển nơ ron, như thể hiện trong Hình 14.



Hình 14. Mô hình hệ thống với bộ điều khiển PID và bộ điều khiển nơ ron



Hình 15. Đặc tính điện áp đầu ra của máy phát điện khi có bộ điều khiển PID và bộ điều khiển nơ ron
1- Có bộ điều khiển PID

Từ kết quả trên ta thấy, hệ thống điều chỉnh tự động điện áp máy phát điện tàu biển sử dụng bộ điều khiển nơ ron, điện áp máy phát điện không có quá điều chỉnh, số lần dao động bé, thời gian quá độ ngắn, độ sai lệch tĩnh nhỏ. Hệ thống làm việc ổn định và bền vững.

5. Kết luận

Hệ thống điều chỉnh tự động điện áp máy phát điện tàu biển sử dụng bộ điều khiển mạng nơ ron một lớp ẩn, với luật học lan truyền ngược mang lại hiệu suất, chất lượng vượt trội so với bộ điều khiển PID truyền thống. Bộ điều khiển mạng nơ ron một lớp ẩn, với luật

học lan truyền ngược có khả năng thích nghi tốt khi có sự thay đổi tải trong phạm vi rộng, giúp duy trì điện áp của máy phát điện ổn định, bền vững trong các điều kiện vận hành khác nhau.

Tuy nhiên, hệ thống điều chỉnh tự động điện áp máy phát điện tàu biển sử dụng bộ điều khiển mạng nơ ron, cũng yêu cầu quá trình huấn luyện ban đầu tốn thời gian, tài nguyên tính toán và đòi hỏi kinh nghiệm để lựa chọn cấu trúc mạng nơ ron phù hợp. Vì vậy, hướng nghiên cứu tiếp theo có thể là kết hợp mạng nơ ron, với các chiến lược điều khiển thích nghi, điều khiển mờ hoặc học tăng cường, học trực tuyến, để nâng cao khả năng xử lý các điều kiện phi tuyến và không xác định của hệ thống.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT24-25.67.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Thân Ngọc Hoàn, Nguyễn Tiến Ban (2008), *Trạm phát và lưới điện tàu thủy*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Phạm Hữu Đức Dục (2009), *Mạng Nơ ron và ứng dụng trong điều khiển tự động*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [3] Jibril D. Jiya, Idakwo O. Harrison, Modu M. Ibrahim (2017), *Modelling and Simulation of Automatic Voltage Regulator System*, International Journal of Computer Applications, Vol.178, No.1.
- [4]. Young-Chan Lee, Byung-Gun Jung (2018), *Improved transient characteristics of output voltage of marine synchronous generator*, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.42, No.2.
- [5] Mohammed M. Islam (2018), *Shipboard Power Systems Design and Verification Fundamentals*, IEEE Press/John Wiley.
- [6] А. П. Баранов (2005), *Судовые автоматизированные электроэнергетические системы*, Судостроение.

Ngày nhận bài:	26/03/2025
Ngày nhận bản sửa:	07/04/2025
Ngày duyệt đăng:	07/04/2025