

Thiết kế hệ thống tự động điều chỉnh điện áp số cho máy phát điện tàu thủy

■ PGS. TS. HOÀNG ĐỨC TUẤN; THS. ĐÀO QUANG KHANH; THS. LÊ VĂN TÂM

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

TÓM TẮT: Trên các tàu, nguồn năng lượng điện được cung cấp bởi các máy phát điện đồng bộ. Trong quá trình làm việc, thông số điện áp hệ thống luôn được duy trì trong phạm vi cho phép nhằm đảm bảo chế độ hoạt động tin cậy, an toàn cho phụ tải điện, do đó máy phát điện đồng bộ được trang bị hệ thống tự động điều chỉnh điện áp để cung cấp nguồn điện với điện áp ổn định cho các phụ tải điện, nhằm đảm bảo hoạt động an toàn cho con tàu trong các chế độ làm việc. Tuy nhiên, hệ thống điều chỉnh điện áp đang được sử dụng là dạng tương tự và sử dụng phần tử công suất loại Tiristor, cho nên đáp ứng của hệ thống sẽ chậm và không dễ dàng thay đổi thuật điều khiển. Do đó, cần phải xây dựng hệ thống tự động điều chỉnh điện áp số cho máy phát điện tàu thủy, nhằm nâng cao chất lượng và đảm bảo chế độ công tác an toàn cho trạm phát điện tàu thủy.

TỪ KHÓA: Tàu thủy, bộ tự động điều chỉnh điện áp số, máy phát điện đồng bộ tàu thủy

ABSTRACT: On the ships, electrical power is provided by synchronous generators. During the working process, the system voltage parameters are always maintained within the permissible range to ensure reliable and safe working mode for electric loads, so a synchronous generator is equipped with the automatic voltage regulator to provide electrical power with stable voltage for the electrical loads, to ensure safe operation for the ship in the working mode. However, the automatic voltage regulator being used is the analog type and using Tiristor type power element, so the system response will be slow and not easy to change the control algorithm. Therefore, it is necessary to build the digital automatic voltage regulator for marine synchronous generators in order to improve the quality and ensure the safe working mode for marine electrical power stations.

KEYWORDS: Ship, the digital automatic voltage regulator, marine synchronous generator

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trên tàu thủy, nguồn điện năng chính được tạo ra nhờ các máy phát điện đồng bộ xoay chiều ba pha, được truyền động bởi các động cơ diesel phụ, diesel chính hoặc tua-bin. Số lượng và công suất của các máy phát điện phụ thuộc vào phụ tải, trọng tải và chủng loại tàu. Thông thường, trạm phát điện tàu thủy có từ 02 - 5 tổ máy phát điện được thiết kế có thể công tác song song với nhau. Mục đích làm tăng tính an toàn, đảm bảo cung cấp năng lượng điện một cách liên tục cho các phụ tải, đồng thời đảm bảo hiệu quả khai thác kinh tế các tổ máy phát điện.

Tất cả các phụ tải tiêu thụ năng lượng điện đều được thiết kế, chế tạo để công tác với một điện áp định mức cho trước và chỉ khi công tác với điện áp này thì thiết bị mới hoạt động tin cậy và có tuổi thọ cao. Do vậy, để duy trì được điện áp không đổi cung cấp cho các phụ tải thì máy phát điện tàu thủy phải được trang bị hệ thống tự động ổn định điện áp và phân chia tải phần tác dụng cho các máy phát điện khi công tác song song.

Trong quá trình công tác song song giữa các máy phát điện thì phân chia tải phần tác dụng giữa các máy phát điện là một việc hết sức quan trọng. Quá trình phân chia tải phần tác dụng liên quan đến hệ thống tự động điều chỉnh điện áp hay là phụ thuộc vào giá trị dòng điện kích từ của từng máy phát điện khi chúng công tác song song.

Nếu sự phân chia công suất phần tác dụng giữa các máy phát điện chênh lệch nhau quá lớn, vượt quá giới hạn cho phép thì hệ thống điện có thể dẫn tới mất ổn định, sập toàn bộ lưới điện, mất điện toàn tàu và gây ra hậu quả vô cùng nghiêm trọng không những về kinh tế mà còn nguy hiểm tới tính mạng con người, hàng hóa thiết bị và con tàu. Theo quy định của đăng kiểm thì sự chênh lệch công suất phần tác dụng, không vượt quá 10% công suất của máy phát điện lớn nhất [1,2,5].

Do tính chất quan trọng như vậy mà việc nghiên cứu thiết kế hệ thống tự động điều chỉnh điện áp cho máy phát điện tàu thủy là một việc cần thiết, quan trọng không thể thiếu trong trạm phát điện tàu thủy, nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế khai thác trạm phát điện tàu thủy và đảm bảo an toàn hàng hải cho hàng hóa, thiết bị, con người.

Bài báo đề cập đến việc xây dựng hệ thống tự động điều chỉnh điện áp số cho máy phát điện tàu thủy, được trình bày trong các phần sau.

2. MÔ HÌNH TOÁN CỦA CÁC THÀNH PHẦN TRONG TRẠM PHÁT ĐIỆN TÀU THỦY

2.1. Mô hình toán của máy phát điện đồng bộ và bộ tự động điều chỉnh điện áp

Mô hình toán học của máy phát điện đồng bộ và bộ tự động điều chỉnh điện áp [1,5] được viết trên hệ tọa độ d-q, ở dạng lượng tương đối, mô tả như sau:

$$u_d = -Ri_d + \frac{1}{\omega_s} \frac{d}{dt} y_d + w y_q \tag{1}$$

$$u_q = -Ri_q - \frac{1}{\omega_s} \frac{d}{dt} y_q - w y_d \tag{2}$$

$$u_f = i_f + T_f \frac{d}{dt} y_f \tag{3}$$

$$y_d = i_d - X_d i_d + i_D \tag{4}$$

$$y_q = X_q i_q + i_Q \tag{5}$$

$$y_f = i_f - M_{pnt} X_d i_d + \frac{X_{eaf}}{X_f} i_D \tag{6}$$

$$T_f \frac{dw}{dt} + y_d i_q + y_q i_d = m_m \tag{7}$$

$$u_f = (K_w u_q + K_f X_d i_d - DE) K_{Uf} \tag{8}$$

$$DE = \left(\frac{K_{Uc}}{T_{Uc} S} + 1 \right) (U - U_n) \tag{9}$$

Trong đó: u, i, R, X, M, y, w - Điện áp, dòng điện, điện trở, trở kháng, hồ cảm, từ thông, tốc độ góc với chỉ số phụ d, q đại diện cho trục dọc, ngang, f, D, Q cho cuộn dây kích từ và cuộn ổn định của máy phát điện; K - Hằng số; m_m - Mô-men cơ.

2.2. Mô hình toán của bộ điều tốc phức hợp

Phương trình toán học của bộ điều tốc phức hợp. Theo [1,5] ta có:

$$T_1 \frac{dj}{dt} = m_p - M_s \tag{10}$$

$$T_1 \frac{dj}{dt} + m_{p1} = m_v - K_f j \tag{11}$$

$$T_2 \frac{dj}{dt} + m_{p2} = K P_n = KM_s \tag{12}$$

$$m_s = m_{p1} + m_{p2} \tag{13}$$

Trong đó: T, K, m - Hằng số thời gian, hệ số khuếch đại, độ dịch chuyển; i - Độ lệch tương đối của vận tốc quay so với vận tốc khi không tải; P_n - Công suất của tải; M_s - Mô-men điện từ.

2.3. Mô hình toán của tải

Phương trình toán học của tải được viết trên hệ tọa độ d-q. Theo [1,5] ta có:

$$u_d = r_a i_d + \frac{X_d}{\omega_s} \frac{di_d}{dt} - x_a i_q \tag{14}$$

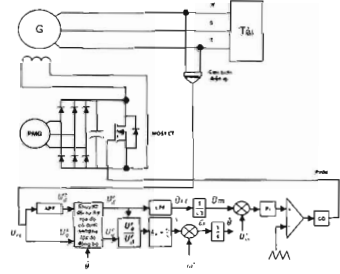
$$u_q = x_a i_d + \frac{X_q}{\omega_s} \frac{di_q}{dt} + x_a i_d \tag{15}$$

Tải mang tính chất cảm kháng, trong đó r_a là điện trở của tải, x_a là điện kháng của tải.

3. THIẾT KẾ HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP SỐ CHO MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ TÀU THỦY

3.1. Sơ đồ khối hệ thống tự động điều chỉnh điện áp máy phát điện đồng bộ tàu thủy

Hệ thống tự động điều chỉnh điện áp cho máy phát điện tàu thủy được thiết kế dựa trên kỹ thuật số. Sơ đồ khối được trình bày như Hình 3.1.



Hình 3.1: Sơ đồ khối tổng thể hệ thống

Hệ thống điều khiển kích từ của máy phát điện đồng bộ gồm bộ điều chỉnh điện áp số, bộ chỉnh lưu diod và bộ công suất sử dụng MOSFET để điều chỉnh dòng điện kích từ. Bộ điều chỉnh điện áp số tạo nên dạng sóng điều chế độ rộng xung qua bộ điều khiển tích phân tỷ lệ, điều khiển bộ công suất.

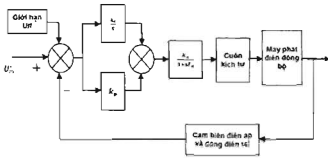
Máy phát điện từ trường vĩnh cửu PMG có thể cung cấp đủ công suất tải bộ kích từ qua bộ chỉnh lưu diod và bộ công suất sử dụng MOSFET.

Thời điểm ban đầu, bộ công suất MOSFET hoàn toàn cho đến khi điện áp đầu ra của máy phát điện từ trường vĩnh cửu PMG đạt đến 45 (V) để ổn định hệ thống. Khi điện áp máy phát điện từ trường vĩnh cửu lớn hơn 45 (V), bộ công suất MOSFET được điều khiển bởi dạng tín hiệu điều chế độ rộng xung để điều khiển điện áp ra của máy phát điện.

3.2. Thuật toán điều khiển bộ tự động điều chỉnh điện áp số

Bộ tự động điều chỉnh điện áp, điều khiển điện áp ra của máy phát điện chỉnh, bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ cho máy phát điện kích từ và kích từ cho máy phát điện chỉnh. Để cho máy phát điện đồng bộ hoạt động ở chế độ ổn định thì bộ tự động ổn định điện áp cần có chức năng giới hạn tỷ số điện áp và tải số (U/f).

Sơ đồ khối điều khiển của bộ tự động điều chỉnh điện áp số điều khiển máy phát điện đồng bộ được thiết kế như Hình 3.2.



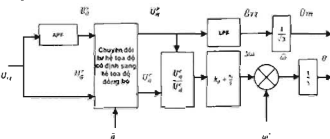
Hình 3.2: Sơ đồ khối điều khiển của bộ tự động điều chỉnh điện áp số

Chức năng giới hạn tỷ số điện áp và tần số (U/f) để bảo vệ hệ thống bị quá kích từ khi máy phát điện hoạt động ở tốc độ thấp. Khi động cơ diesel khởi động hoặc công suất động cơ không đủ, tốc độ diesel sụt giảm dẫn đến tần số máy phát điện giảm. Ở thời điểm này, nếu điện áp ra của máy phát điện được giữ không đổi thì cần phải tăng dòng điện kích từ lên rất lớn, dẫn đến trạng thái quá kích từ. Ở đây, chức năng giới hạn tỷ số điện áp và tần số (U/f) có thể ngăn ngừa quá kích từ bằng cách giảm điện áp ra của máy phát khi tốc độ suy giảm.

Điện áp ra của máy phát điện tỷ lệ với từ thông và tần số hoặc tốc độ. Do đó, máy phát điện sẽ bị quá nhiệt, nếu điện áp ra của máy phát được điều khiển giữ không đổi khi tần số suy giảm lớn. Nếu tỷ số điện áp và tần số (U/f) vượt quá giá trị đặt thì điện áp máy phát điện sẽ được điều khiển giảm xuống nhằm duy trì tỷ số này trong giới hạn đặt.

Điện áp ra của máy phát điện và tín hiệu dòng điện tải sẽ được cảm biến thu thập, phản hồi tín hiệu để bù sụt áp khi có tải và điều khiển điện áp ra của máy phát điện. Khi đóng tải thì điện áp ra của máy phát điện sẽ giảm xuống, vì vậy cần phải có chức năng bù điện áp tải để giữ cho điện áp ra không đổi.

Để tính được độ lớn của điện áp, sử dụng hệ tọa độ đồng bộ lấy từ điện áp dây và điện áp dây ảo chậm pha 90° do sử dụng bộ lọc (APF). Sơ đồ khối phát hiện góc pha và giá trị của điện áp ra máy phát điện đồng bộ được trình bày trên Hình 3.3.



Hình 3.3: Sơ đồ khối phát hiện góc pha và giá trị của điện áp ra của máy phát điện đồng bộ

$$U_a^* = U_a^* \cos q + U_b^* \sin q \quad (16)$$

$$U_b^* = -U_a^* \sin q + U_c^* \cos q \quad (17)$$

Thay $U_a^* = U_m \cos q$, $U_b^* = U_m \sin q$ ta có

$$U_a^* = U_m \cos q \cos q + U_m \sin q \sin q \quad (18)$$

$$\begin{aligned} &= U_m (\cos q \cos q + \sin q \sin q) \\ &= U_m \cos(q - q) \\ U_b^* &= -U_m \cos q \sin q + U_m \sin q \cos q \\ &= U_m (\sin q \cos q - \cos q \sin q) \\ &= U_m \sin(q - q) \end{aligned} \quad (19)$$

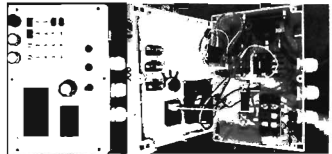
Điện áp máy phát điện trực d bằng điện áp ra của máy phát điện khi góc pha thực bằng góc pha được phát hiện ra.

Điện áp trực d của hệ trục tọa độ đồng bộ là giá trị điện áp dây của máy phát điện. Giá trị điện áp pha của máy phát điện bằng giá trị điện áp dây chia cho $\sqrt{3}$.

3.3. Xây dựng hệ thống tự động điều chỉnh điện áp máy phát điện đồng bộ tàu thủy

Dựa trên sơ đồ tổng thể hệ thống và thuật toán điều khiển bộ tự động điều chỉnh điện áp số đã xây dựng, ta sẽ xây dựng chương trình điều khiển cho vi điều khiển.

Hệ thống tự động điều chỉnh điện áp máy phát điện đồng bộ tàu thủy đã được xây dựng theo cấu trúc đề xuất, trong đó trung tâm xử lý dữ liệu sử dụng bộ vi điều khiển Atmega 2560, bộ công suất MOSFET IRFP460.



Hình 3.4: Hệ thống tự động điều chỉnh điện áp số cho máy phát điện đồng bộ được xây dựng

Sau khi xây dựng hệ thống tự động điều chỉnh điện áp cho máy phát điện tàu thủy, thử nghiệm chức năng hoạt động theo thuật toán đã xây dựng, kết quả cho thấy hệ thống hoạt động đúng chức năng và thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật đặt ra.

4. KẾT LUẬN

Hệ thống tự động điều chỉnh điện áp cho máy phát điện đồng bộ tàu thủy đã được thiết kế, sử dụng bộ điều khiển số, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Kết quả nghiên cứu là tiền đề cho việc chế tạo, triển khai lắp đặt, thử nghiệm thực tế hệ thống tự động điều chỉnh điện áp cho máy phát điện đồng bộ tàu thủy trong thời gian tới, nhằm thay thế các sản phẩm ngoại nhập, chủ động trong khai thác và làm chủ công nghệ phục vụ cho ngành công nghiệp đóng tàu của Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1]. GS. TSKH. Trần Ngọc Hoàn, TS. Nguyễn Tiến Ban (2008), *Trạm phát và lưới điện tàu thủy*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[2]. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia, quy phạm phân cấp vỏ đóng tàu vỏ thép, QCVN 21:2010/BGTVT.

[3]. Nikolay F. Djagarov, Todor P. Lazarov (2016), *Investigation of Automatic Voltage Regulator for a Ship's Synchronous Generator*, Power and Electrical Engineering Journal, vol.33, pp.16-21.

[4]. S.-H. Park, S.-K. Lee, S.-W. Lee, J.-S. Yu, S.-S. Lee, C.-Y. Won (2009), *Output Voltage Control of a Synchronous Generator for Ships Using Compound Type Digital AVR*, in 31st Int. Telecommunications Energy Conf., INTELEC 2009, Oct. 18-22, pp.1-6.

[5]. Баранов А.П. (2005), *Судовые автоматизированные электроэнергетические системы*, Судостроение, Санкт - Петербург.

Ngày nhận bài: 18/02/2020

Ngày chấp nhận đăng: 24/3/2020

Người phản biện: PGS. TS. Đinh Anh Tuấn

PGS. TS. Trần Anh Dũng