

# Thiết kế hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng số cho trạm phát điện tàu thủy

■ PGS. TS. HOÀNG ĐỨC TUẤN; ThS. LÊ THỊ THANH TÂM

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

**TÓM TẮT:** Trạm phát điện tàu thủy trong quá trình hoạt động thường xuyên phải thực hiện việc hòa đồng bộ giữa các máy phát điện và phân chia tải tác dụng khi chúng công tác song song. Việc hòa đồng bộ các máy phát điện với nhau đòi hỏi thông số về điện áp, tần số, góc pha điện áp giữa máy phát điện và lưới điện phải nằm trong dải cho phép và vấn đề chọn thời điểm hòa đồng bộ là vô cùng quan trọng. Nếu chọn thời điểm hòa đồng bộ không chính xác có thể dẫn đến mất điện toàn tàu, gây ra tình huống nguy hiểm cho con người, hàng hóa, thiết bị và con tàu. Hiện nay, thiết bị hòa đồng bộ, phân chia tải tác dụng đang được ứng dụng kỹ thuật tương tự, dẫn đến việc xác định thời điểm hòa đồng bộ có sai số lớn làm cho quá trình hòa đồng bộ gây ra xung dòng điện lớn. Quá trình hòa đồng bộ có thể không thành công và sự sai lệch công suất tác dụng giữa các máy phát điện lớn. Vì vậy, vấn đề thiết kế hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng ứng dụng kỹ thuật số sẽ giảm được sai số, tăng độ chính xác và tin cậy cho hệ thống.

**TỪ KHÓA:** Trạm phát điện tàu thủy, tự động hóa đồng bộ, tự động phân chia tải tác dụng.

**ABSTRACT:** Marine electrical power station during regular operation to perform the synchronization between the generators and share the active load when they work in parallel. The synchronization of generators required parameters of voltage, frequency, voltage phase angle between the generator and the bus be within the permissible range and the problem of timing synchronization is extremely. It is important that choosing the incorrect timing of synchronization can lead to a power outage of the entire ship, causing a dangerous situation for people, cargo, equipment and the ship. Currently, the synchronous and active load division equipment is being applied with similar techniques, leading to the large error in determining the timing of synchronization, causing the synchronization process to cause large current pulses, synchronization may not be successful and the active power difference between generators is large. Therefore, the problem of designing the system to automatically synchronize and divide the load of digital applications will reduce errors, increase the accuracy and reliability of the system.

**KEYWORDS:** Marine electrical power station, the synchronization of generators, automatic synchronizer, auto active load sharing.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nguồn điện cung cấp cho các phụ tải trong hệ thống điện năng tàu thủy được lấy từ trạm phát điện, do một hoặc nhiều tổ hợp máy phát điện công tác song song với nhau. Tuy nhiên, khi các máy phát điện công tác song song thì phải thực hiện hòa đồng bộ giữa các máy phát điện, để đưa chúng vào công tác song song. Việc hòa đồng bộ được coi như thành công khi thời gian hòa ngắn và xung dòng điện nhỏ. Vấn đề xác định thời điểm hòa đồng bộ các máy phát điện vào công tác song song được thực hiện bằng tay nhờ hệ thống đèn tắt, đèn quay và đồng bộ kế. Đây cũng là một trong những nguyên nhân có thể làm sập lưới điện và mất điện toàn tàu. Nếu người vận hành xác định sai thời điểm đóng máy phát điện lên lưới sẽ gây ra hiểm họa khôn lường đối với an toàn của con người, hàng hóa và con tàu [1,2,4].

Do đó, để giảm thiểu sự cố do quá trình hòa đồng bộ các máy phát điện tàu thủy gây nên, hiện nay trên các con tàu có mức độ tự động hóa cao thì trạm phát điện đã sử dụng thiết bị hòa đồng bộ tự động. Tuy nhiên, các thiết bị này được chế tạo ứng dụng kỹ thuật điện tử tương tự, vì vậy có thể gây ra sai số lớn, dẫn đến việc xác định thời điểm hòa đồng bộ có thể thiếu chính xác. Chính vì vậy, để cải thiện chất lượng và nâng cao độ chính xác trong quá trình xác định thời điểm hòa đồng bộ thì hệ thống hòa đồng bộ tự động ứng dụng kỹ thuật số đã nhận được sự quan tâm lớn của các nhà khoa học trong và ngoài nước.

Hơn nữa, trong quá trình công tác song song giữa các máy phát điện thì việc phân chia tải tác dụng đồng đều theo tỷ lệ giữa các máy phát điện là một việc hết sức quan trọng. Nếu sự phân chia công suất 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 không vượt quá 10% công suất của máy phát điện lớn nhất.

Do tính chất quan trọng như vậy nên việc nghiên cứu thiết kế hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng giữa các máy phát điện công tác song song ứng dụng kỹ thuật số là rất 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 thiết kế hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng giữa các máy phát điện công tác song song ứng dụng kỹ thuật số, nhằm xác định chính xác thời điểm hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng đồng đều giữa các máy phát điện tàu thủy công tác song song. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong các phần sau.

## 2. CƠ SỞ TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG HÒA ĐỒNG BỘ VÀ PHÂN CHIA TẢI TÁC DỤNG CHO CÁC MÁY PHÁT ĐIỆN TÀU THỦY

### 2.1. Hệ thống hòa đồng bộ cho các máy phát điện tàu thủy

Hệ thống tự động hòa đồng bộ phải thực hiện các chức năng như kiểm tra điện áp, tần số máy phát điện cần hòa đồng bộ, điều chỉnh cân bằng tần số của lưới và máy phát điện cần hòa đồng bộ, sau đó chọn thời điểm gửi tín hiệu đóng áp-tô-mát máy phát điện cần hòa [1,2,5].

Trong thực tế, để điều chỉnh giá trị điện áp  $U_1 = U_2$  và tần số  $f_1 = f_2$  là khó có thể thực hiện được. Với sự khác nhau nhỏ giữa  $U_1$  với  $U_2$ ,  $f_1$  với  $f_2$  thì xung dòng xuất hiện khi hòa là không lớn. Vì vậy, cho phép sự chênh lệch giá trị điện áp và tần số là  $\Delta U = (6 \div 8)\% U_{dm}$ ,  $\Delta f = (0,01 \div 0,3)$  Hz.

Đối với trạm phát điện xoay chiều, muốn hòa một máy phát điện vào lưới cần thỏa mãn các điều kiện sau:  $U_1 = U_2$ ,  $f_1 = f_2$ ,  $\delta = 0$ , trong đó  $\delta$  là góc lệch pha giữa hai vector điện áp pha tương ứng. Giả thiết khảo sát trường hợp  $U_1 = U_2 = U$ ,  $f_1 \neq f_2$ ,  $\delta \neq 0$ , xét các vector điện áp pha A của máy phát điện và lưới, ta có [1,2,5]:

$$u_1(t) = U_1 \sin \omega_1 t = U_M \sin \omega_1 t \quad (1)$$

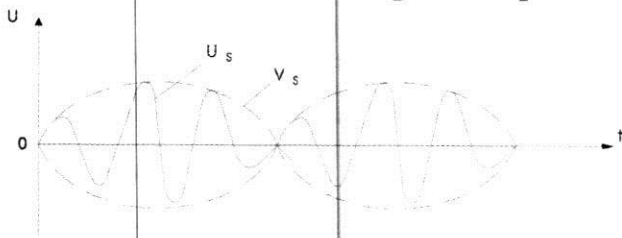
$$u_2(t) = U_2 \sin \omega_2 t = U_M \sin \omega_2 t \quad (2)$$

Trong đó:  $u_1(t)$  - Giá trị điện áp tức thời pha A của điện áp lưới;  $\omega_1$  - Tần số góc của điện áp lưới;  $U_M$  - Giá trị điện áp cực đại của lưới và máy phát điện;  $u_2(t)$  - Giá trị điện áp tức thời pha A của máy phát điện cần hòa;  $\omega_2$  - Tần số góc của điện áp máy phát điện cần hòa.

$$\text{Khi đó: } \Delta u(t) = u_3(t) = u_1(t) - u_2(t) \quad (3)$$

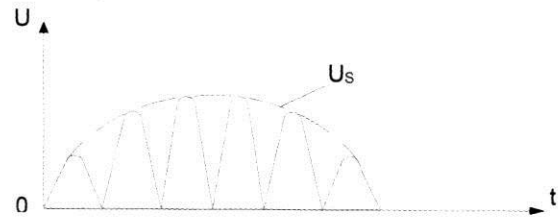
Vậy:

$$u_3(t) = U_M (\sin \omega_1 t - \sin \omega_2 t) = 2U_M \sin \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{2} t \cdot \cos \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{2} t \quad (4)$$



Hình 2.1: Đặc tính điện áp  $u_3(t)$

Nếu  $u_3(t)$  được chỉnh lưu hai nửa chu kỳ thì nhận được  $U_s$  chính là đường bao của điện áp  $u_3(t)$  và  $U_s$  gọi là điện áp phách.



Hình 2.2: Đặc tính điện áp phách khi chỉnh lưu hai nửa chu kỳ

$$u_s(t) = 2U_M \sin \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t = 2U_M \sin \frac{\omega_s}{2} t \quad (5)$$

Trong đó:  $\omega_s = \omega_1 - \omega_2$  là tần số góc trượt,  $T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{2\pi}{\omega_s}$ ,  $f_s$  là tần số trượt

$\delta = \omega_s \cdot t$ , do vậy, góc  $\delta$  sẽ tăng dần theo thời gian.

Giá trị điện áp phách  $U_s$  quyết định đến giá trị dòng điện cân bằng chạy giữa các máy phát điện khi hòa song song. Dòng điện cân bằng đạt giá trị lớn nhất khi góc  $\delta = \pi$ , có nghĩa là khi hai vector  $\vec{U}_1$  và  $\vec{U}_2$  ngược chiều nhau.

Khi hai điều kiện về tần số và góc lệch pha không thỏa mãn ( $f_2 \neq f_1$ ,  $\delta \neq 0$ ), sẽ có dòng điện cân bằng và dòng điện này có giá trị lớn nhất khi góc  $\delta = \pi$ . Dòng điện cân bằng lớn sẽ đốt nóng các cuộn dây và có thể gây cháy cuộn dây máy phát điện.

Vấn đề đặt ra là khi hòa đồng bộ, dòng điện cân bằng  $I_{CB} = 0$ , tức phải có  $U_s = 0$  ( $\Delta U = 0$ ). Thực tế, việc điều chỉnh cho  $f_2 = f_1$  là khó có thể thực hiện được, do đó cho phép có sự sai lệch giữa  $f_1$  và  $f_2$  ở giới hạn cho phép  $f_{SCP} = (0,01 \div 0,3)$  Hz,  $\omega_2 - \omega_1 \leq \omega_{SCP}$

Vậy các điều kiện khi hòa đồng bộ là  $U_1 = U_2$ ,  $\omega_2 - \omega_1 \leq \omega_{SCP}$  hoặc  $T_s \geq \frac{2\pi}{\omega_s}$ ,  $\delta = \omega_s \cdot t = 0$ .

Thực tế, muốn thực hiện được đúng thời điểm tiếp xúc giữa tiếp điểm động và tiếp điểm tĩnh của áp-tô-mát khi  $U_s = 0$ , ta phải phát lệnh đóng áp-tô-mát trước khi  $U_s = 0$  một khoảng thời gian  $t_0 = t_1 + t_2$  (trong đó,  $t_1$  là thời gian trễ của hệ thống,  $t_2$  là thời gian trễ của áp-tô-mát).

Dựa trên cơ sở trên, khi xây dựng hệ thống tự động hòa đồng bộ chính xác phải thực hiện ba nhiệm vụ là tự động điều chỉnh cho  $U_1 = U_2$ , tự động điều chỉnh  $f_2 = f_1$  (thực tế  $f_2 - f_1 \leq f_{CP}$ ), chọn thời điểm hòa đồng bộ, đó là lúc  $f_s \leq f_{SCP}$  ( $\omega_s \leq \omega_{SCP}$ ) và  $\delta = 0$ .

Dựa vào phương pháp chọn thời điểm hòa có thể chia hệ thống tự động hòa đồng bộ thành hai loại tự động hòa đồng bộ góc trước, tự động hòa đồng bộ thời gian trước. Hệ thống hòa đồng bộ được xây dựng ở đây theo nguyên lý thời gian trước.

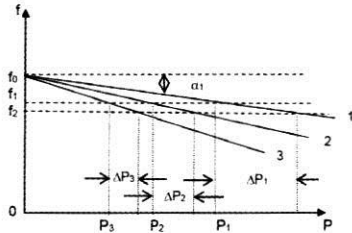
### 2.2. Hệ thống phân chia tải tác dụng cho các máy phát điện tàu thủy

Hệ thống phân chia tải tác dụng cho các máy phát điện tàu thủy công tác song song, hiện nay phổ biến đang sử dụng phương pháp phân chia theo đặc tính tĩnh.

Cơ sở toán học của phương pháp như sau: Giả sử xét ba tổ hợp diesel máy phát điện có đặc tính tần số công suất  $f(P)$  tương ứng là đường số 1,2,3 có cùng công suất định mức.

Tổ hợp diesel máy phát điện nào có đặc tính tần số công suất mềm hơn thì máy phát điện đó sẽ nhận tải ít hơn. Giả sử công suất tác dụng toàn trạm tăng một lượng  $\Delta P$  thì tần số mạng sẽ giảm từ giá trị  $f_1$  xuống  $f_2$ , vì vậy lượng công suất tác dụng toàn trạm tăng đó phải được phân chia cho ba tổ máy phát điện:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (6)$$



Hình 2.3: Đặc tính tần số công suất của máy phát điện

Ta có thể tính được lượng công suất tăng cho mỗi tổ máy phát điện theo Hình 2.3 như sau:

$$\frac{\Delta f}{\Delta P_1} = \operatorname{tg} \alpha_1 = k_1 \Rightarrow \Delta P_1 = \frac{\Delta f}{k_1} \quad (7)$$

Tương tự:  $\Delta P_2 = \frac{\Delta f}{k_2}; \Delta P_3 = \frac{\Delta f}{k_3}$

Tổng quát:  $\Delta P_n = \frac{\Delta f}{k_n}$ , trong đó  $k_n$  là hệ số hữu sai tính của tổ máy phát điện thứ n.

$$\Delta P = \sum \Delta P_n = \Delta f \left( \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \right) \Rightarrow \Delta f = \frac{\Delta P}{\left( \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \right)} \quad (8)$$

$$\Delta P_1 = \frac{\Delta f}{k_1} = \frac{\Delta P}{k_1 \left( \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \right)}; \Delta P_2 = \frac{\Delta f}{k_2} = \frac{\Delta P}{k_2 \left( \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \right)}; \quad (9)$$

$$\Delta P_3 = \frac{\Delta f}{k_3} = \frac{\Delta P}{k_3 \left( \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \right)}$$

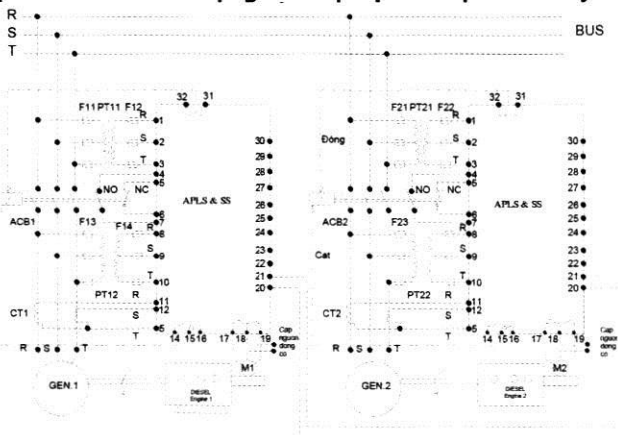
$$\Delta P_i = \frac{\Delta f}{k_i} = \frac{\Delta P}{k_i \left( \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \right)} \quad (10)$$

Từ các biểu thức trên cho thấy, tổ hợp diesel máy phát điện nào có độ hữu sai càng nhỏ thì tổ máy đó nhận tải tác dụng càng lớn và tổ máy nào có độ hữu sai càng lớn thì tổ máy đó nhận tải càng nhỏ.

Vậy, muốn phân chia đều công suất tác dụng giữa các tổ máy phát điện, ta phải xây dựng hệ thống tự động điều chỉnh sao cho  $\Delta P_1 = \Delta P_2 = \dots = \Delta P_n$ , tức là điều chỉnh độ hữu sai của đặc tính tĩnh các máy phát điện.

### 3. XÂY DỰNG HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG HÒA ĐỒNG BỘ VÀ PHÂN CHIA TẢI TÁC DỤNG CHO CÁC MÁY PHÁT ĐIỆN TÀU THỦY ỨNG DỤNG KỸ THUẬT SỐ

#### 3.1. Sơ đồ khối hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng cho trạm phát điện tàu thủy



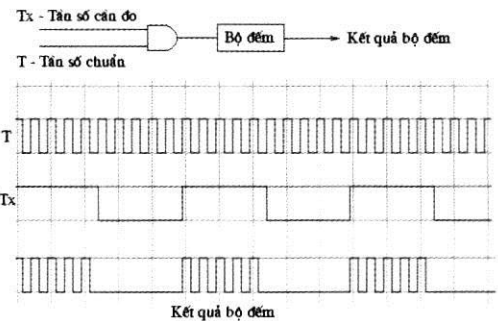
Hình 3.1: Sơ đồ khối chức năng của hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng cho trạm phát điện tàu thủy

Hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng cho trạm phát điện tàu thủy được thiết kế dựa trên kỹ thuật số. Sơ đồ khối được trình bày như Hình 3.1.

#### 3.2. Khâu đo tần số của tín hiệu điện áp các máy phát điện

Tần số của tín hiệu có thể đo theo hai cách, đếm số chu kỳ của tín hiệu cần đo trong một thời gian xác định hoặc đếm số chu kỳ của một tín hiệu chuẩn đã biết trong một chu kỳ tín hiệu cần đo.

Để đo được chu kỳ của tín hiệu, cần có một tín hiệu chuẩn mà chu kỳ đã biết và sẽ đếm số chu kỳ này trong một vài chu kỳ của tín hiệu cần đo. Sơ đồ thực hiện được trình bày như Hình 3.2.



Hình 3.2: Đo đếm chu kỳ tín hiệu cần đo

Giả sử bộ đếm đếm được n xung chuẩn, chu kỳ cần đo là  $T_x = 2n.T$ .

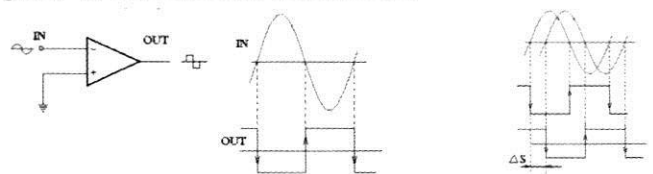
$$f_x = \frac{1}{T_x} = \frac{1}{2nT} = \frac{f}{2n} \quad (11)$$

Trường hợp đếm trong m chu kỳ tín hiệu cần đo, thì  $T_x = \left(\frac{2n}{m}\right)T$ .

$$f_x = \frac{1}{T_x} = \frac{m}{2nT} = \frac{mf}{2n} \quad (12)$$

#### 3.3. Khâu đo góc lệch pha giữa các điện áp của máy phát điện tàu thủy

Để so sánh pha của hai điện áp, thông thường sử dụng phương pháp tách điểm "0". Mạch tách điểm "0" là mạch so sánh với điện áp "0" vôn, mạch này có nhiệm vụ thay đổi điện áp ngõ ra khi điện áp ngõ vào biến đổi qua giá trị "0", được thể hiện trên Hình 3.3.

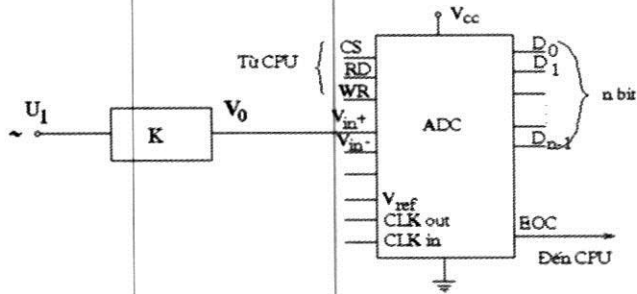


Hình 3.3: Mạch phát hiện điểm "0"

Điểm "0" được phát hiện bằng cạnh của xung ngõ ra. Với cách tách điểm "0" như vậy, việc so pha hai tín hiệu được thay bằng việc tính khoảng thời gian  $\Delta S$  giữa hai điểm "0".

#### 3.4. Khâu đo điện áp, dòng điện của các máy phát điện tàu thủy

Phương pháp đo điện áp được áp dụng là dựa trên sự số hóa giá trị cần đo bằng mạch ADC. Số đọc được tại ngõ ra của bộ ADC được coi là tuyến tính đối với điện áp vào, điều này cho phép ta sử dụng vi xử lý để tính được giá trị của điện áp của các máy phát điện.



Hình 3.4: Mạch đo điện áp sử dụng ADC

Nếu ADC có n bit, sẽ có  $(2^n - 1)$  bước điện áp vào, giá trị điện áp vào tối đa là V, thì giá trị mỗi bước điện áp là:

$$V_b = \frac{V}{2^n - 1} \quad (v) \quad (13)$$

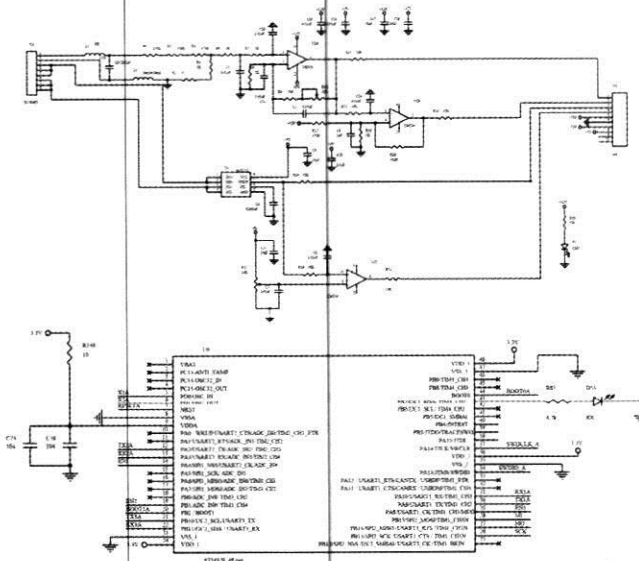
Với mạch biến đổi và chỉnh lưu  $V_0 = K.U_1$  và giá trị ADC là a, thì:

$$U_1 = \frac{a.V}{k.(2^n - 1)} \quad (v) \quad (14)$$

Để đo dòng điện tải của máy phát điện, sử dụng biến dòng và cảm biến đo trực tiếp dòng xoay chiều và biến đổi thành điện áp một chiều tỉ lệ với giá trị dòng điện và đưa về bộ vi điều khiển để thu thập, xử lý tín hiệu.

### 3.5. Xây dựng các mạch chức năng, trung tâm điều khiển ứng dụng kỹ thuật số

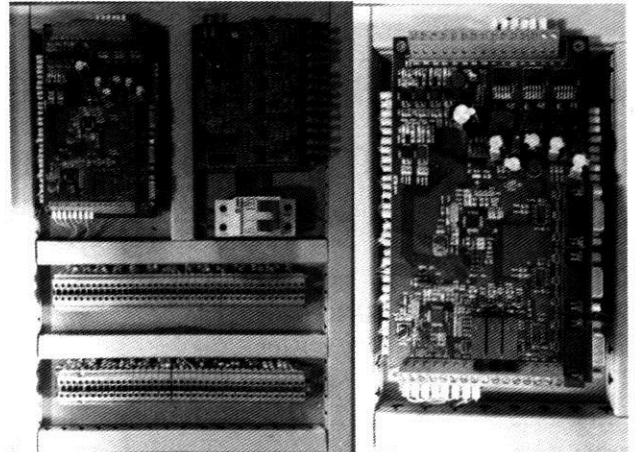
Dựa trên sơ đồ tổng thể hệ thống và thuật toán điều khiển bộ tự động điều chỉnh điện áp số đã xây dựng, ta sẽ xây dựng chương trình điều khiển cho vi điều khiển.



Hình 3.5: Mạch đo điện áp, dòng điện và trung tâm xử lý điều khiển tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng cho trạm phát điện tàu thủy ứng dụng kỹ thuật số

Hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng cho trạm phát 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 ARM STM32F103C8T6.

Sau khi xây dựng hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng số cho trạm phát điện tàu thủy, thử nghiệm chức năng hoạt động theo thuật toán hệ thống, kết quả cho thấy hệ thống hoạt động đúng chức năng và thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật đặt ra.



Hình 3.6: Hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng số cho trạm phát điện tàu thủy

## 4. KẾT LUẬN

Hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng cho trạm phát điện tàu thủy được thiết kế, sử dụng bộ điều khiển số đã nâng cao độ chính xác của các phép đo, so sánh, đơn giản hóa trong xây dựng cấu trúc, mềm hóa trong thuật điều khiển và đáp ứng tốt các yêu cầu kỹ thuật của hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng cho trạm phát điện tàu thủy. Kết quả nghiên cứu là tiền đề cho việc chế tạo, triển khai lắp đặt, thử nghiệm thực tế hệ thống tự động hòa đồng bộ và phân chia tải tác dụng cho trạm phát điện tàu thủy, 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. Thân Ngọc Hoàn, TS. Nguyễn Tiến Ban (2008), *Trạm phát và lưới điện tàu thủy*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2]. Emam, S.E.A. (2004), *Automatic digital synchronization*, International Conference on Electrical, Electronic and Computer Engineering, ICEEC'04, pp.778-784.
- [3]. Damir Radan (2008), *Integrated Control of Marine Electrical Power Systems*, Doctoral thesis, Norwegian University of Science and Technology, Norway.
- [4]. Mukund R. Patel (2012), *Shipboard Electrical Power Systems*, CRC Press.
- [5]. Баранов А.П. (2005), *Судовые автоматизированные электроэнергетические системы*, Судостроение, Санкт - Петербург.

Ngày nhận bài: 21/11/2020

Ngày chấp nhận đăng: 14/12/2020

Người phản biện: PGS. TS. Trần Anh Dũng