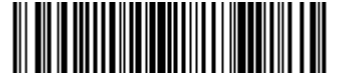




(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN  
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)  
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



**2-0003418**

(51) **G05B 7/02; H02P 9/00; F03B 13/00**  
2020.01

(13) **Y**

(21) 2-2021-00347

(22) 25/08/2021

(45) 25/12/2023 429

(43) 25/11/2021 404

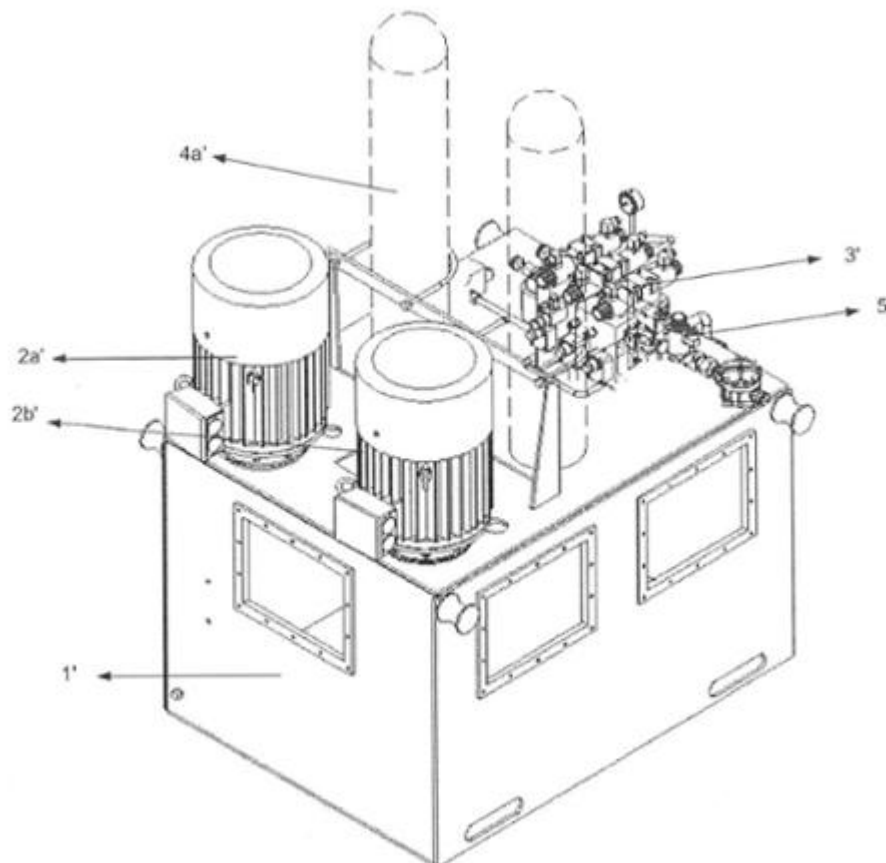
(73) Nguyễn Hồng Quang (VN)

100 Lê Thanh Nghị, phường Bách Khoa, quận Hai Bà Trưng, Tp. Hà Nội

(72) Nguyễn Hồng Quang (VN); Vũ Văn Hà (VN).

(54) **HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU TỐC TUABIN THỦY ĐIỆN**

(57) Giải pháp hữu ích đề cập đến hệ thống điều tốc độ tuabin thủy điện, mà sử dụng kỹ thuật điều khiển số kết hợp với bộ phận điều khiển thủy lực, bao gồm thiết bị cung cấp dầu áp lực, xi lanh thủy lực servo (hay còn gọi là servomotor), thiết bị điều khiển trung tâm, trong đó thiết bị điều khiển trung tâm bao gồm: mô đun vào ra số, mô đun vào ra tương tự, mô đun đo tốc độ máy phát, mô đun đo công suất P, Q với tần suất cập nhật 1 ms, mô đun truyền thông với hệ thống giám sát SCADA của nhà máy thông qua chuẩn Modbus TCP/IP. Giải pháp hữu ích cũng đề cập đến phương pháp điều khiển của hệ thống điều tốc độ tuabin thủy điện.



### **Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập**

Giải pháp hữu ích đề cập đến kỹ thuật điều tốc tuabin thủy điện, cụ thể, giải pháp hữu ích đề cập đến hệ thống và phương pháp điều khiển tốc độ tuabin thủy điện sử dụng kỹ thuật điều khiển số kết hợp với bộ phận điều khiển thủy lực.

### **Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích**

Chu trình sản xuất điện trong nhà máy thủy điện được mô tả vắn tắt như sau: năng lượng làm quay tuabin được lấy từ hồ chứa có cột áp xác định từ quá trình thiết kế nhà máy; qua hệ thống cửa nhận nước vào tuabin theo tuyến năng lượng bằng bê tông tới buồng xoắn có hình xoắn ốc nhằm phân phối đều dòng chảy vào bánh xe công tác, nơi chuyển hóa năng lượng thế năng thành động năng làm quay tuabin; trước khi vào bánh xe công tác, dòng chảy được phân phối qua hệ thống cánh hướng, nhằm nâng cao hiệu suất và giảm tổn thất dòng chảy, gia tăng động năng cho nước; cánh hướng ngoài việc phân phối nước tới bánh xe công tác còn làm nhiệm vụ dừng tổ máy, đóng kín cách ly giữa thượng lưu và hạ lưu; khi tới bánh xe công tác, dòng chảy có động năng lớn nhất, đã hoàn tất việc chuyển thế năng thành động năng, trực tiếp tác động vào cánh của bánh xe công tác làm quay tuabin, kéo theo máy phát phát điện. Nước công tác sau khi ra khỏi bánh xe công tác bị suy giảm động năng, năng lượng mất đi này đã chuyển hóa thành cơ năng làm quay tuabin kéo máy phát.

Việc điều chỉnh vị trí của cánh hướng có tác động chủ yếu tới điều chỉnh tốc độ tuabin và công suất hữu công phát ra của nhà máy thủy điện. Tuy nhiên, ở các nhà máy thủy điện trước đây, việc điều chỉnh vị trí của hệ thống cánh hướng chủ yếu được thực hiện thủ công bằng tay thông qua các cơ cấu cơ khí thủy lực, điều này không đảm bảo được việc duy trì ổn định tốc độ quay của rôto của máy phát cũng như tốc độ quay của tuabin, và do đó không đảm bảo sự ổn định tần số của điện áp do máy phát điện sinh ra.

Ngoài ra, do sự cần thiết của việc tự động hóa hoạt động của nhà máy thủy điện và đặc biệt hơn là vấn đề điều tiết và kiểm soát vùng trong hoạt động thủy điện để tăng hiệu quả hoạt động của các nhà máy thủy điện, vấn đề truyền thông tin, dữ liệu giữa các nhà máy thủy điện với nhau ngày càng được quan tâm, theo đó nhu cầu mở rộng, nâng cấp các hệ thống điều khiển hiện có của mỗi nhà máy thủy điện để đáp ứng ngày càng tăng. Đối với các hệ thống điều

khuyến cũ, việc đầu tư nâng cấp sử dụng các hệ thống điều khiển chuyên dụng sẽ rất tốn kém về mặt kinh tế. Hơn nữa, với các hệ thống điều khiển chuyên dụng của các hãng, việc nâng cấp này cũng phức tạp và bất tiện, gây ra lãng phí.

### **Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích**

Giải pháp hữu ích đề xuất thiết bị điều tốc tuabin thủy điện có thể giải quyết các hạn chế nêu ra ở trên.

Để giải quyết vấn đề nêu trên, giải pháp hữu ích đề xuất hệ thống điều tốc tuabin theo công nghệ điều khiển kỹ thuật số sử dụng vi điều khiển chạy trên nền hệ điều hành thời gian thực, tự động hóa toàn bộ quá trình điều khiển tốc độ tuabin thủy điện thông qua việc điều khiển hệ thống cánh hướng, khắc phục nhược điểm của các hệ thống điều tốc cơ khí thủy lực, hoặc hệ thống điện tương tự thủy lực trước đây.

Theo một phương án, giải pháp hữu ích đề xuất hệ thống điều tốc tuabin thủy điện bao gồm các thành phần như được nêu ra dưới đây.

Thiết bị cung cấp dầu áp lực bao gồm: bình dầu áp lực, thùng chứa dầu, bơm dầu thứ nhất, bơm dầu thứ hai, role điều khiển bơm, các van một chiều lắp trên đường ống đầu ra dầu của bơm.

Trong bình dầu áp lực, dầu chỉ chiếm từ 30 % đến 40 % thể tích, phần còn lại là không khí nén, nhờ tính đàn hồi của không khí nén, sóng áp lực sinh ra khi thao tác điều chỉnh tuabin được giảm đi. Lượng dầu trong bình dầu áp lực đảm bảo các bộ phận thao tác điều chỉnh tuabin làm việc bình thường và giảm nhẹ được công suất bơm dầu so với bơm trực tiếp. Bơm dầu thứ nhất thực hiện nhiệm vụ bơm dầu từ thùng chứa dầu vào bình dầu áp lực, bơm dầu thứ hai thực hiện nhiệm vụ dự phòng, chỉ hoạt động khi bơm dầu thứ nhất không hoạt động. Khi độ giảm áp suất trong bình dầu áp lực từ nằm trong khoảng được xác định trước, ưu tiên là nằm trong khoảng từ 2 kg/cm<sup>2</sup> đến 32 kg/cm<sup>2</sup> so với giá trị cài đặt bình thường, thì bơm dầu thứ nhất và bơm dầu thứ hai hoạt động nhờ các role điều khiển. Khi áp lực đạt tới mức cài đặt bình thường thì role điều khiển tự động điều khiển dừng cả bơm dầu thứ nhất và bơm dầu thứ hai, van một chiều được lắp trên đường ống có tác dụng để bơm dầu thứ nhất và bơm dầu thứ hai không phải chịu áp lực dầu khi dừng máy. Trên thùng chứa dầu có lắp van an toàn, khi áp lực dầu vượt quá ngưỡng cho phép, van an toàn sẽ tác động để xả dầu về thùng chứa dầu, đảm bảo an toàn cho hệ thống;

Xi lanh thủy lực servo (hay servomotor), là xi lanh thủy lực làm việc với áp suất cao, có khả năng điều chỉnh chính xác theo vị trí, có nhiệm vụ điều chỉnh đóng mở cánh hướng;

Van điều khiển, nhận tín hiệu từ bộ điều khiển và đóng mở đường dầu, điều khiển tuyến tính servomotor;

Ắc quy thủy lực hay còn gọi là bình tích áp, được đặt trên đường cấp dầu áp lực cao của hệ thống điều tốc tuabin, cho phép ổn định việc cấp dầu áp lực cao để đóng mở cho các thiết bị điều tốc của tuabin và bù một phần dầu bị rò rỉ trong quá trình hoạt động;

Van xả tải hay van an toàn, được lắp trên đường cấp dầu áp lực cao, van xả tải thực hiện việc xả dầu về bình dầu áp lực khi thiết bị điều tốc cho tuabin chưa hoạt động nhưng bơm và servomotor vẫn hoạt động, đồng thời cũng có nhiệm vụ đóng ngắt khẩn cấp khi có tín hiệu yêu cầu; và

Thiết bị điều khiển trung tâm, gồm mạch điều khiển, được tạo cấu hình sử dụng các vi điều khiển chuyên dụng 16/32 bit có thể lập trình được, chẳng hạn như các vi điều khiển DSPIC 33F, và chương trình xử lý, có chức năng điều khiển theo thời gian thực toàn bộ các hoạt động của hệ thống điều tốc tuabin.

Theo một phương án, mạch điều khiển được tạo cấu hình để có chức năng thực hiện: thu thập các thông số cơ bản của máy phát điện xoay chiều bao gồm: điện áp xoay chiều ba pha của máy phát, dòng điện xoay chiều ba pha của máy phát, dòng điện và điện áp một chiều của bộ kích từ; từ đó tính toán ra các giá trị tương ứng như tần số lưới, công suất hữu công P, công suất vô công Q, công suất tức thời  $P(t)$ , công suất biểu kiến S, năng lượng tác dụng E, tần số f, chu kỳ T.

Theo một khía cạnh khác của phương án, mạch điều khiển được tạo cấu hình để có thể thực hiện đo tốc độ quay của máy phát (tuabin); khối đo công suất P, Q với chu kỳ cập nhật 1 ms.

Theo một phương án khác của giải pháp hữu ích, giải pháp hữu ích đề xuất phương pháp điều khiển tốc độ quay của tuabin và điều khiển vị trí của cánh hướng sử dụng các thuật toán điều khiển PID. Theo đó, mạch điều khiển được tạo cấu hình để có thể thực hiện điều khiển cả tốc độ quay của tuabin và vị trí của cánh hướng sử dụng thuật toán điều khiển PID với các thông số điều khiển PID phù hợp theo các chế độ làm việc khác nhau, giúp hệ thống tăng thời

gian đáp ứng và hoạt động ổn định hơn, từ đó nâng cao hiệu suất của hệ thống, cụ thể như được nêu ra dưới đây.

Trong điều khiển vị trí cánh hướng: trong chế độ này, cần độ tác động nhanh, và do đó, bộ điều khiển PID ở đây là bộ điều khiển tỷ lệ P.

Điều khiển tốc độ ứng với chế độ không nối lưới: trong chế độ này, bộ điều khiển là bộ điều khiển PID.

Điều khiển tốc độ ứng với chế độ nối lưới: trong chế độ này, bộ điều khiển là bộ điều khiển PI.

Theo một khía cạnh khác của giải pháp hữu ích, mạch điều khiển được tạo cấu hình với khối truyền thông qua chuẩn Modbus TCP/IP, Ethernet, tạo thuận lợi cho việc điều khiển tự động và giám sát hệ thống bằng máy tính (SCADA), và có thể truyền thông dữ liệu với các hệ thống điều khiển thích hợp khác, giúp cho có thể thực hiện việc điều khiển liên kết vùng giữa các nhà máy thủy điện với nhau.

### **Mô tả vắn tắt các hình vẽ**

Hình 1 là sơ đồ thể hiện nguyên lý hoạt động của hệ thống điều tốc tuabin thủy điện theo phương án của giải pháp hữu ích ;

Hình 2 là hình phối cảnh thể hiện sự lắp ráp cả thiết bị cung cấp dầu áp lực và cụm van thủy lực của hệ thống điều tốc tuabin thủy điện theo phương án của giải pháp hữu ích;

Hình 3 là sơ đồ khối thể hiện cấu tạo xi lanh thủy lực servo;

Hình 4 là sơ đồ nguyên lý mạch điều khiển trung tâm;

Hình 5a là sơ đồ cấu trúc mạch vòng điều khiển vị trí cánh hướng;

Hình 5b thể hiện cấu trúc mạch vòng điều khiển tốc độ;

Hình 6a là sơ đồ khối của bộ điều khiển PID số; và

Hình 6b là đồ thị thể hiện đáp ứng theo giá trị đặt của bộ điều khiển PID số theo thời gian.

### **Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích**

Sau đây, các phương án của giải pháp hữu ích được thể hiện chi tiết với sự tham chiếu đến các hình vẽ kèm theo.

Hình 1 thể hiện sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống điều tốc tuabin thủy điện theo phương án của giải pháp hữu ích.

Hình 2 thể hiện sự lắp ráp cả thiết bị cung cấp dầu áp lực và cụm van thủy lực của hệ thống điều tốc tuabin thủy điện theo phương án của giải pháp hữu ích.

Hình 3 thể hiện cấu tạo xi lanh thủy lực servo (servomotor).

Theo phương án của giải pháp hữu ích, hệ thống điều tốc tuabin thủy điện gồm có các thành phần như được mô tả dưới đây.

Thiết bị cung cấp áp lực dầu bao gồm: bể chứa dầu thủy lực hình 2 với thùng chứa dầu 1' có dung tích đáp ứng lượng dầu cần hoạt động, hai bơm dầu cung cấp lưu lượng dầu đủ để cấp dầu cho hệ thống, bao gồm bơm chính thứ nhất 2a' và bơm dự phòng thứ hai 2b', và các van tỷ lệ thủy lực điều khiển servomotor 3';

Van tỷ lệ thủy lực điều khiển servo 3' (thể hiện trên hình 2) hay còn gọi là van tỷ lệ, cho phép điều khiển lưu lượng dầu vào ra xi lanh thủy lực servo với độ chính xác cao;

Ắc quy thủy lực hay còn gọi là bình tích áp 4a' được đặt ở vị trí trên đường dầu thủy lực, cung cấp dầu áp lực cao cho thiết bị điều tốc tuabin để thực hiện đóng mở, và bù một phần dầu rò rỉ trong quá trình làm việc;

Van xả tải thủy lực 5' là van an toàn được lắp ở vị trí sau bơm thủy lực có nhiệm vụ bảo vệ đường dầu khỏi tình trạng quá áp cục bộ.

Xi lanh thủy lực servo (hay servomotor) về bản chất là xi lanh thủy lực có gắn cảm biến hành trình làm việc với áp suất cao và cho phép điều khiển chính xác vị trí xi lanh như hình 3;

Cơ cấu giới hạn độ điều chỉnh của tuabin thủy lực, đảm bảo cho hệ thống vận hành an toàn, bao gồm bộ phản hồi cơ khí 23, cán giới hạn độ mở 22, cân xác định vị trí 24, bộ giới hạn vị trí 15, các khóa chốt vị trí 16, 20, các bộ chuyển đổi vị trí/đồng hồ 18, 21, tạo ra giới hạn trên và giới hạn dưới của độ mở cánh hướng.

Nguyên lý hoạt động của hệ thống được thể hiện trên hình 1 như sau: hệ thống tuabin 26 sẽ được điều khiển tốc độ, thông qua việc dịch chuyển servomotor 25. Servomotor sẽ điều chỉnh lượng nước đi từ đập thủy điện, qua các buồng xoắn dẫn nước, và đi vào làm quay tuabin. Mục tiêu của việc điều chỉnh này là giữ cho tốc độ quay của tuabin không đổi, tùy theo tải tác động vào hệ thống (trong trường hợp này là công suất phát điện) liên tục thay đổi. Lưu ý ở đây là máy phát điện nằm đồng trục với tuabin. Hệ thống điều khiển ở đây diễn

ra theo hai nấc: gồm van phân phối chính 7 và van pilot 6. Thiết bị đo tốc độ tuabin 11, sẽ đo và phản hồi tốc độ thực của tuabin, sau đó đưa tín hiệu về khâu điều chỉnh 4. Tại khâu này, tốc độ thực sẽ so sánh với tốc độ đặt của hệ thống (hay còn gọi là tốc độ định mức) và đưa ra lệnh dịch chuyển van điều khiển 3. Về nguyên tắc dầu thủy lực sẽ được đưa vào hệ thống từ ống dầu 1, đi qua van đóng mở 2 với lưu lượng được xác định qua van tiết lưu lắp kèm với van đóng mở 2. Van này đóng vai trò đưa dầu vào hệ thống và khóa khẩn cấp hệ thống khi có yếu tố sự cố. Bộ điều khiển đóng xi lanh 13 và cho phép hệ thống van điều khiển 3 hoạt động. Khi hệ thống bắt đầu thực hiện thao tác điều chỉnh, thanh cái chính gắn với van điều khiển 3 di chuyển lên hoặc xuống, làm mở ngăn dầu của van pilot 6. Van pilot lại tiếp tục cho dầu từ bình dầu 10, qua nó đi vào cửa điều khiển của xi lanh 5. Tiếp theo sẽ điều khiển vị trí cửa dầu của van phân phối 7, điều khiển lượng dầu nhiều hay ít đi qua van phân phối 7 này. Và dẫn tới việc đóng hay mở xi lanh thủy lực servo, điều chỉnh tăng hay giảm tốc độ tuabin theo ý muốn.

Hệ thống điều khiển cơ này đi kèm với hệ thống giới hạn độ điều chỉnh của toàn bộ tuabin thủy lực, đảm bảo cho hệ thống vận hành an toàn. Vị trí xi lanh thủy lực servo sẽ được đánh dấu tại giới hạn trên và giới hạn dưới của hành trình. Vị trí này được phản hồi thông qua bộ phản hồi cơ khí 23 và được đưa vào cán giới hạn độ mở 22 và cân xác định vị trí 24. Tín hiệu vị trí này được truyền cơ khí qua bộ giới hạn vị trí 15 và khóa chốt vị trí 16. Tín hiệu về độ mở cánh hướng sẽ được hiển thị ở đồng hồ đo 17 và bộ chuyển đổi vị trí/đồng hồ 18. Các tín hiệu vị trí được xử lý tương tự đối với khóa chốt vị trí 20, bộ chuyển đổi vị trí/đồng hồ 21, tạo ra giới hạn trên và giới hạn dưới của độ mở cánh hướng, tương ứng với vị trí khởi động số 0 và số 10 trên xi lanh thủy lực servo 26. Khi vượt qua giới hạn này, tác động từ thanh dẫn 12 tác động lên van pilot 6, sẽ khóa van pilot 6 lại, làm cho dầu không được cấp tiếp vào van phân phối chính 7, dẫn đến dừng hệ thống, đảm bảo an toàn cho toàn hệ thống.

Hình 4 hình thể hiện sơ đồ nguyên lý cấu tạo mạch điều khiển trung tâm.

Theo phương án của giải pháp hữu ích, hệ thống điều tốc tuabin thủy điện còn bao gồm thiết bị điều khiển trung tâm, gồm mạch điều khiển trung tâm, như được thể hiện trên hình 4, được tạo cấu hình sử dụng các vi điều khiển chuyên dụng 16/32 bit có thể lập trình được, chẳng hạn như các vi điều khiển DSPIC

33F, và chương trình xử lý, có chức năng điều khiển theo thời gian thực toàn bộ các hoạt động của hệ thống điều tốc tuabin.

Theo một phương án nữa của giải pháp hữu ích, giải pháp hữu ích đề xuất phương pháp để điều khiển tốc độ quay của tuabin và điều khiển vị trí của cánh hướng sử dụng các thuật toán điều khiển PID. Theo đó, mạch điều khiển được tạo cấu hình để có thể thực hiện điều khiển cả tốc độ quay của tuabin và vị trí của cánh hướng sử dụng các vòng điều khiển PID với các thông số điều khiển PID phù hợp, giúp hệ thống tăng thời gian đáp ứng và hoạt động ổn định hơn, từ đó nâng cao hiệu suất của hệ thống.

Đặc điểm thứ nhất của hệ thống điều tốc tuabin theo phương án này của giải pháp hữu ích là luôn duy trì được áp lực dầu trong hệ thống điều khiển thủy lực, giúp làm giảm thời gian hoạt động liên tục của các bơm dầu. Bơm dầu thứ nhất 2a' thực hiện nhiệm vụ bơm dầu từ thùng chứa dầu vào bình dầu áp lực, bơm dầu thứ hai 2b' thực hiện nhiệm vụ dự phòng chỉ hoạt động khi bơm dầu thứ nhất không hoạt động. Khi áp lực trong bình dầu áp lực dưới giá trị áp lực cần cài đặt trong hệ thống, thì tín hiệu thấp áp sẽ được đưa về bộ điều khiển (được thể hiện trên hình 4), bộ điều khiển tác động làm cho bơm dầu hoạt động. Khi áp lực dầu vượt lên so với ngưỡng trên, thì hệ thống vi điều khiển lại tác động để dừng bơm. Hệ thống điều khiển này cũng kiểm tra để đảm bảo khi bơm thứ nhất bị sự cố thì bơm thứ hai sẽ tự động kích hoạt. Trên nắp bể dầu đều có lắp van an toàn 5', đảm bảo áp lực dầu không vượt quá ngưỡng an toàn toàn cho phép.

Đặc điểm thứ hai của thiết bị điều tốc cho tuabin theo phương án này là thiết bị điều khiển tốc độ tuabin kết hợp giữa phần cứng là mạch điều khiển trung tâm với bộ vi điều khiển 16/32 bit và chương trình điều khiển với các khối điều khiển PID được thể hiện trên các hình 5a, 5b, hoạt động trên nền tảng hệ điều khiển thời gian thực đảm bảo cho tuabin luôn quay với tốc độ đặt trước.

Mục tiêu sử dụng bộ điều khiển PID:

Triệt tiêu sai số xác lập;

Giảm thời gian xác lập và độ quá điều chỉnh;

Hạn chế dao động.

Mạch điều khiển trung tâm thu thập các thông số của máy phát điện xoay chiều bao gồm: điện áp xoay chiều ba pha của máy phát, dòng điện xoay chiều

ba pha của máy phát, từ đó tính toán ra các giá trị tương ứng như tần số lưới, công suất hữu công P, công suất vô công Q, công suất tức thời  $P(t)$ , công suất biểu kiến S, tần số hiện tại của máy phát điện. Mạch điều khiển số tuabin được tạo cấu hình để bao gồm các mô đun vào ra số, mô đun vào ra tương tự, mô đun đo tốc độ máy phát, mô đun đo công suất P, Q với tần suất cập nhật 1ms, mô đun truyền thông với hệ thống giám sát SCADA và có thể truyền thông dữ liệu với các hệ thống điều khiển thích hợp khác, giúp cho có thể thực hiện việc điều khiển liên kết vùng giữa các nhà máy thủy điện với nhau, thông qua chuẩn Modbus TCP/IP, hoặc Ethernet.

Theo giải pháp hữu ích, bộ vi điều khiển sẽ thực hiện bộ điều khiển PID số, với công thức mô tả ở phương trình (1), (2), (3) cho mạch vòng tốc độ và mạch vòng công suất như được thể hiện trong phần dưới đây.

Để tính toán được công suất xoay chiều trong thời gian thực, công nghệ được sử dụng là quy đổi hệ thống 3 pha abc trở thành hệ thống công suất trên hệ tọa độ dq. Kỹ thuật để phát hiện và tách các thành phần thứ tự thực hiện bằng việc chuyển đổi các đại lượng ba pha cơ bản trên hệ tọa độ tự nhiên về dưới dạng vector không gian bằng phép chuyển đổi Clark, sau đó được chuyển sang hệ tọa độ quay dq, tức là một hệ tọa độ quay thuận với tần số góc so với tần số lưới điện, khi đó các thành phần thứ tự thuận được xuất hiện dưới dạng các lượng một chiều. Trên mỗi thành phần thứ tự được tách kênh điều khiển tương ứng với thành phần d và thành phần q cho cả vòng điều chỉnh dòng điện và vòng điều chỉnh điện áp.

Theo phương án của giải pháp hữu ích, dữ liệu về P, Q, U, I, f trong cả ba pha được lưu trữ để tiếp tục phân tích trong quá trình đánh giá dữ liệu về sau. Ở chế độ bình thường, khi không có yêu cầu về thời gian thực, các dữ liệu này hoàn toàn có thể truyền qua cổng nối tiếp, hiển thị và lưu trữ lên máy tính PC. Tuy vậy, ở chế độ điều khiển, việc truyền dữ liệu kiểu này sẽ làm chậm và gây thất thoát dữ liệu. Phương pháp truyền thống là dữ liệu cần phải lưu vào file với thiết bị lưu trữ chính là bộ nhớ Flash trong vi điều khiển. Việc lưu trữ dữ liệu thông qua hệ điều hành thời gian thực tối giản,  $\mu C/OS-II$ , FreeRTOS v.v. là những hệ điều hành công nghiệp có thể áp dụng được.

Để đảm bảo việc truyền tín hiệu giữa hệ vi xử lý với máy tính thông qua chuẩn RS485, giao thức Modbus được ứng dụng. Việc truyền thông từ vi điều khiển lên máy tính với trường hợp đòi hỏi truyền liên tục trong khoảng thời gian

dài có nhiều lớn rất dễ gây ra những sai số trong quá trình thu thập dữ liệu cho mục đích giám sát. Bởi vậy luôn phải có biện pháp kiểm tra lỗi. Modbus là một chuẩn khá đơn giản và hiệu quả với các biện pháp checksum (kiểm tra toàn vẹn dữ liệu) rất hiệu quả.

### Bộ điều khiển PID

Điều khiển PID: là một kiểu điều khiển có hồi tiếp vòng kín, ngõ ra thay đổi tương ứng với sự thay đổi của giá trị đo. PID là sự kết hợp của 3 bộ điều khiển: tỷ lệ (P), tích phân (I) và thành phần vi phân (D), có khả năng làm triệt tiêu sai số xác lập, tăng tốc độ đáp ứng, giảm độ vọt lố nếu thông số của bộ điều khiển được lựa chọn thích hợp.

### Bộ điều khiển PID số

Công thức tính toán PID số trong miền z được tính như sau:

$$G_{CPID}(z) = K_P + \frac{K_I T}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1} + \frac{K_D}{T} \cdot \frac{z-1}{z}$$

$$A_0 = K_P + \frac{K_I T}{2} + \frac{K_D}{T};$$

$$A_1 = -K_P + \frac{K_I T}{2} - 2 \frac{K_D}{T};$$

$$A_2 = \frac{K_D}{T} \quad y(k) = y(k-1) + A_0 x(k) + A_1 x(k-1) + A_2 x(k-2)$$

$$G_{CPID}(z) = \frac{A_0 z^2 + A_1 z + A_2}{z(z-1)}$$

Điều chỉnh tỷ lệ (P): đây là phương pháp điều chỉnh giúp tạo ra tín hiệu điều chỉnh tỷ lệ với sai lệch nguồn đầu vào.

Điều chỉnh tích phân (I): phương pháp điều chỉnh tỷ lệ để lại sai lệch nhỏ ở chế độ xác lập. Để khắc phục hiện tượng này ta kết hợp điều chỉnh tỷ lệ với điều chỉnh tích phân. Điều chỉnh tích phân là phương pháp điều chỉnh để tạo ra các tín hiệu điều chỉnh sao cho độ lệch giảm dần về 0. Theo đó, thời gian càng nhỏ thì thể hiện tác động điều chỉnh tích phân càng mạnh, tương ứng với độ lệch càng nhỏ.

Điều chỉnh vi phân (D): khi hằng số thời gian hoặc thời gian chết của hệ thống lớn thì sẽ được điều chỉnh theo P hoặc PI. Nếu đáp ứng quá chậm thì ta kết hợp sử dụng với điều chỉnh vi phân. Điều chỉnh vi phân giúp tạo ra tín hiệu điều chỉnh sao cho tỷ lệ với tốc độ thay đổi sai lệch đầu vào. Thời gian càng lớn thì phạm vi điều chỉnh vi phân càng mạnh, ứng với bộ điều chỉnh đáp ứng với thay đổi đầu vào càng nhanh.

Các tham số điều khiển của hệ thống điều tốc tuabin thủy điện trong các chế độ hoạt động như sau:

Điều khiển vị trí cánh hướng.

Bộ PID trong trường hợp này là bộ điều khiển tỷ lệ P, với hệ số  $K_p$  được tính như sau:

$$K_p = \frac{T_v T_{vt} c_0}{K_v K_{vt}} \quad (1)$$

Điều khiển tốc độ ứng với chế độ không nối lưới.

Tham số  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  được tính như sau với giả thiết điểm làm việc: chiều cao  $h_{tc} = H_{TC0}$ , tốc độ định mức  $\omega_N = 1$  và độ mở  $G = G_0$ ,

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{-D_p - D_a G_0}{A_i H_{TC0}^{1.5}} + \frac{T_a T_m T_w G_0 p_{kp\omega 1}}{2 A_i H_{TC0}^3} \\ K_i &= \frac{p_1 p_2 p_3 p_4 T_a T_m T_w G_0}{2 A_i H_{TC0}^2} \\ K_d &= \frac{1}{2 A_i H_{TC0}^4} (p_{kd\omega 3} + p_{kd\omega 4} + p_{kd\omega 5} + p_{kd\omega 6} + p_{kd\omega 7} + p_{kd\omega 8} + p_{kd\omega 9}) \end{aligned} \quad (2)$$

Với:

$$\begin{aligned} p_{kp\omega 1} &= \sqrt{H_{TC0}} p_1 p_2 p_3 p_4 T_w G_0 - p_1 p_2 p_3 p_4 q_{NL} T_w \\ &\quad - H_{TC0} (p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 p_4 + p_1 p_4 p_3 + p_2 p_4 p_3) \\ p_{kd\omega 3} &= p_1 p_2 p_3 p_4 q_{NL}^2 T_w^3 T_a T_m G_0 \\ p_{kd\omega 4} &= -2 \sqrt{H_{TC0}} p_1 p_2 p_3 p_4 q_{NL} T_w^3 G_0^2 T_a T_m \\ p_{kd\omega 5} &= -3 H_{TC0}^2 T_w G_0^2 D_a \\ &\quad + H_{TC0}^2 T_w T_a T_m G_0 (p_1 p_2 + p_1 p_3 + p_1 p_4 + p_2 p_3 + p_2 p_4 + p_3 p_4) \\ p_{kd\omega 6} &= -2 H_{TC0}^{2.5} (T_m + T_a G_0 D_a) \\ p_{kd\omega 7} &= D_p H_{TC0}^{1.5} (-2 H_{TC0} T_a + 2 q_{NL} T_w) - 3 D_p H_{TC0}^2 T_w G_0 \\ p_{kd\omega 8} &= -2 D_a q_{NL} H_{TC0}^{1.5} T_w G_0 \\ &\quad + H_{TC0}^{1.5} T_w^2 G_0^2 T_a T_m (p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 p_4 + p_1 p_4 p_3 + p_4 p_2 p_3) \\ p_{kd\omega 9} &= H_{TC0} T_w^2 G_0 T_a T_m (p_2 p_3 p_4 q_{NL} + p_1 p_3 p_4 q_{NL} \\ &\quad + p_2 p_3 p_1 q_{NL} + p_2 p_1 p_4 q_{NL} + p_1 p_3 p_4 T_w G_0^2) \end{aligned}$$

Điều khiển công suất ứng với chế độ nối lưới.

Trong chế độ này, bộ điều khiển là bộ điều khiển PI, với các tham số  $K_p$ ,  $K_i$  được tính như sau:

$$K_p = \frac{1}{4A_t H_{TC0}^3} (-4H_{TC0}^{3/2} + p_{kp p_1} + p_{kp p_2} + p_{kp p_3}) \quad (3)$$

$$K_i = -\frac{p_1 p_2 p_3 T_a T_w G_0}{2A_t H_{TC0}^2}$$

Với:

$$p_{kp p_1} = 2H_{TC0} (p_2 p_3 + p_1 p_3 + p_2 p_1) T_a T_w G_0$$

$$p_{kp p_2} = \sqrt{H_{TC0}} p_1 p_2 p_3 T_a T_w^2 G_0^2$$

$$p_{kp p_3} = -p_1 p_2 p_3 T_a T_w^2 G_0^2 (-2q_{NL} + 2G_0 \sqrt{H_{TC0}})$$

Đặc điểm thứ ba của thiết bị điều tốc tuabin theo phương án là mạch vòng điều khiển vị trí như trên hình 5a hay còn gọi là điều khiển xi lanh thủy lực servo theo như phương trình số (1). Thực chất xi lanh thủy lực servo chính là xi lanh thủy lực làm việc với áp suất cao, được điều khiển theo vị trí chính xác theo yêu cầu được đưa ra bởi mạch vòng công suất hay mạch vòng tốc độ. Xi lanh thủy lực servo trên hình 3 có khả năng điều chỉnh theo vị trí chính xác, có nhiệm vụ đóng mở cánh hướng nước theo tỷ lệ % xác định, giúp cho việc điều khiển chính xác tốc độ của tuabin thủy điện.

Đặc điểm thứ tư của thiết bị điều tốc cho tuabin theo phương án này là van điều khiển : van điều khiển 3 trên hình 2 này là van tỷ lệ thủy lực, cho phép điều khiển vị trí với độ chính xác rất cao, và cho phép cung cấp lưu lượng dầu chính xác đưa vào xi lanh thủy lực servo, từ tín hiệu tương tự gửi tới từ bộ PID số.

Đặc điểm thứ năm của thiết bị điều tốc tuabin theo phương án là ắc quy thủy lực hay là bình tích áp 4a trên hình 2 được đặt ở vị trí trên đường dầu áp lực, cung cấp áp lực cao cho thiết bị điều tốc tuabin để thực hiện đóng mở và bù một phần dầu rò rỉ cho thiết bị thủy lực khi hoạt động trong hệ thống.

Đặc điểm thứ sáu của thiết bị điều tốc tuabin theo phương án là van xả tải 5 trên hình 2: được lắp đặt ở đường hồi của dầu về bình chứa. Van này là thiết bị an toàn, giúp cho toàn bộ hệ thống thủy lực không bị quá áp suất. Ví dụ như khi thiết bị điều tốc cho tuabin chưa hoạt động nhưng bơm dầu số 2a hoặc 2b được kích hoạt, thì hệ thống cho phép dầu thủy lực chạy tuần hoàn về lại bình chứa.

Van này đồng thời cũng có nhiệm vụ dừng khẩn cấp hệ thống khi có tín hiệu điện yêu cầu từ người vận hành.

Thiết bị điều tốc tuabin của nhà máy thủy điện hoạt động theo nguyên lý như sau: Khi ấn nút khởi động, bơm thủy lực 2a bắt đầu hoạt động, nếu xi lanh thủy lực servo (hình 3) đang bị khoá và van điều khiển tỷ lệ 3 chưa được cấp điện, thì dầu từ bơm sẽ được xả về bể qua van xả tải 5. Trường hợp dừng khẩn cấp cũng được điều khiển tương tự như quá trình khởi động không tải ở tuabin của nhà máy thủy điện. Ngoài ra, có thể điều khiển khởi động và dừng thiết bị điều tốc cho tuabin nhà máy thủy điện ngay tại hiện trường bằng hệ thống van hoạt động bằng tay. Mục tiêu chính của bộ điều tốc tuabin của nhà máy thủy điện là điều chỉnh độ mở cánh hướng, tức là điều khiển lưu lượng nước đi vào tuabin. Ví dụ khi có sự mất cân bằng giữa phụ tải và công suất máy phát, chẳng hạn như phụ tải giảm, khi đó số vòng quay của tuabin tăng. Khi đó cần giảm lưu lượng nước chảy vào tuabin bằng cách giảm độ mở của cánh hướng. Bộ điều khiển số (hình 4) sẽ đo tốc độ vòng quay của tuabin và truyền thông số đó về bộ điều khiển PID hình 6a/6b để xử lý. Bộ điều khiển PID sẽ dựa vào các công thức như trình bày ở phương trình (1), (2), (3) ra lệnh cho các van điều khiển tỷ lệ 3 điều khiển liên tục, thay đổi tùy ý vị trí của con trượt theo tín hiệu, lúc này dầu sẽ đi qua van tỷ lệ và cấp cho xi lanh thủy lực servo (xi lanh thủy lực) hình 4 cho đến khi nào sai số về tốc độ giảm về mức cho phép, tức là tuabin đã trở về tốc độ quay định mức. Ở chế độ dừng khẩn cấp: khi hệ thống gặp sự cố đột ngột hoặc trường hợp mất tải đột ngột thì các công suất máy phát (được tính toán bởi bộ điều khiển số) sẽ báo về bộ điều khiển PID và từ đó phát tín hiệu điều khiển van điều khiển tỷ lệ 3 chuyển sang vị trí đóng khẩn cấp. Dầu với áp suất lớn từ thiết bị dầu áp lực được cấp nhanh cho xi lanh thủy lực servo (xi lanh thủy lực) thực hiện động tác đóng nhanh cánh hướng.

Hiệu quả đạt được của giải pháp hữu ích

Bộ điều tốc kỹ thuật số cho nhà máy thủy điện theo giải pháp hữu ích đã đạt được những hiệu quả chính như sau:

Tủ điều tốc được chế tạo với toàn bộ phần điện điều khiển sử dụng công nghệ vi xử lý, giúp dễ dàng kiểm soát toàn hệ thống, thay thế hoàn toàn công nghệ cơ khí, hay tương tự trước đây. Thiết bị đảm bảo đầy đủ và hoàn chỉnh mọi chức năng của tủ điều tốc tuabin thủy điện như độ chính xác, dải điều chỉnh, khả

năng hiển thị, đáp ứng ở các chế độ làm việc khác nhau, kết nối về trung tâm điều khiển. Thiết bị gọn nhẹ, vận hành và sửa chữa dễ dàng, giá thành hạ.

Mặc dù các mô tả nêu trên chứa nhiều chi tiết cụ thể, chúng không được coi là giới hạn về phương án thực thi giải pháp hữu ích, mà chỉ nhằm mục đích minh họa một số phương án thực thi được ưu tiên.

Chú thích các số chỉ dẫn của các chi tiết trên hình vẽ:

- 1: Ống cung cấp dầu áp lực
- 2: Van từ cho khởi động và ngắt
- 3: Bộ chuyển đổi
- 4: Bộ điều chỉnh tuabin
- 5: Điều khiển pitông
- 6: Van Pilot
- 7: Van phân phối chính
- 8: Thanh kéo
- 9: Van ngắt
- 10: Cung cấp dầu áp lực
- 11: Đo tốc độ tuabin
- 12: Ống dẫn
- 13: Thiết bị đóng ngắt
- 14: Bộ biến đổi tần số cho phản hồi
- 15: Bộ giới hạn độ mở động cơ servor
- 16: Khoá giới hạn của vị trí độ mở
- 17: Đồng hồ đo vị trí độ mở
- 18: Bộ chuyển đổi vị trí cho đồng hồ đo vị trí độ mở
- 19: Động cơ cho giới hạn độ mở
- 20: Khoá giới hạn cho bộ chuyển đổi vị trí độ mở
- 21: Thiết bị đo vị trí giới hạn
- 22: Cán giới hạn độ mở
- 23: Bộ phản hồi cơ khí
- 24: Quả cân
- 25: Động cơ servor
- 26: Tuabin

## YÊU CẦU BẢO HỘ

### 1. Hệ thống điều tốc tuabin thủy điện bao gồm:

thiết bị cung cấp dầu áp lực bao gồm: bình dầu áp lực, thùng chứa dầu, bơm dầu thứ nhất, bơm dầu thứ hai, role điều khiển bơm, các van một chiều lắp trên đường ống đầu ra dầu của bơm; trong đó:

trong bình dầu áp lực, dầu chỉ chiếm từ 30 % đến 40 % thể tích, phần còn lại là không khí nén, nhờ tính đàn hồi của không khí nén, sóng áp lực sinh ra khi thao tác điều chỉnh tuabin được giảm đi;

lượng dầu trong bình dầu áp lực đảm bảo các bộ phận thao tác điều chỉnh tuabin làm việc bình thường và giảm nhẹ được công suất bơm dầu so với bơm trực tiếp;

bơm dầu thứ nhất thực hiện nhiệm vụ bơm dầu từ thùng chứa dầu vào bình dầu áp lực, bơm dầu thứ hai thực hiện nhiệm vụ dự phòng, chỉ hoạt động khi bơm dầu thứ nhất không hoạt động;

khi độ giảm áp suất trong bình dầu áp lực nằm trong khoảng được xác định trước so với cài đặt bình thường, ưu tiên nằm trong khoảng từ 2 kg/cm<sup>2</sup> đến 32 kg/cm<sup>2</sup>, thì bơm dầu thứ nhất và bơm dầu thứ hai hoạt động nhờ các role điều khiển;

khi áp lực đạt tới mức cài đặt bình thường thì role điều khiển tự động điều khiển dừng cả bơm dầu thứ nhất và bơm dầu thứ hai, van một chiều được lắp trên đường ống có tác dụng để bơm dầu thứ nhất và bơm dầu thứ hai không phải chịu áp lực dầu khi dừng máy;

trên thùng chứa dầu có lắp van an toàn, khi áp lực dầu vượt quá ngưỡng cho phép, van an toàn sẽ tác động để xả dầu về thùng chứa dầu, đảm bảo an toàn cho hệ thống;

xi lanh thủy lực servo (hay servomotor), là xi lanh thủy lực làm việc với áp suất cao, có khả năng điều chỉnh chính xác theo vị trí, có nhiệm vụ điều chỉnh đóng mở cánh hướng;

van điều khiển, nhận tín hiệu từ bộ điều khiển và đóng mở đường dầu, điều khiển tuyến tính servomotor;

ắc quy thủy lực hay còn gọi là bình tích áp, được đặt trên đường cấp dầu áp lực cao của hệ thống điều tốc tuabin, cho phép ổn định việc cấp dầu áp lực cao

để đóng mở cho các thiết bị điều tốc của tuabin và bù một phần dầu bị rò rỉ trong quá trình hoạt động;

van xả tải hay van an toàn, được lắp trên đường cấp dầu áp lực cao, van xả tải thực hiện việc xả dầu về bình dầu áp lực khi thiết bị điều tốc cho tuabin chưa hoạt động nhưng bơm và servomotor vẫn hoạt động, đồng thời cũng có nhiệm vụ đóng ngắt khẩn cấp khi có tín hiệu yêu cầu; và

thiết bị điều khiển trung tâm, gồm mạch điều khiển, được tạo cấu hình sử dụng các vi điều khiển chuyên dụng 16/32 bit có thể lập trình được, có chức năng điều khiển theo thời gian thực toàn bộ các hoạt động của hệ thống điều tốc tuabin, mà thực hiện các hoạt động sau:

thu thập các thông số cơ bản của máy phát điện xoay chiều bao gồm: điện áp xoay chiều ba pha của máy phát, dòng điện xoay chiều ba pha của máy phát, dòng điện và điện áp một chiều của bộ kích từ;

tính toán các giá trị tương ứng như tần số lưới, công suất hữu công P, công suất vô công Q, công suất tức thời P(t), công suất biểu kiến S, năng lượng tác dụng E, tần số f, chu kỳ T;

điều khiển cả tốc độ quay của tuabin và vị trí của cánh hướng sử dụng các vòng điều khiển PID; và

truyền thông dữ liệu với các hệ thống giám sát SCADA của nhà máy thông qua chuẩn Modbus TCP/IP;

trong đó, các tham số điều khiển PID được chọn theo các điều kiện sau:

đối với điều khiển vị trí cánh hướng:

bộ điều khiển PID trong trường hợp này là bộ điều khiển tỷ lệ P, với hệ số  $K_p$  được tính như sau:

$$K_p = \frac{T_v T_{vt} c_0}{K_v K_{vt}} \quad (1)$$

điều khiển tốc độ ứng với chế độ không nổi lưới:

tham số  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  được tính như sau với giả thiết điểm làm việc: chiều cao  $h_{tc} = H_{TC0}$ , tốc độ định mức  $\omega_N = 1$  và độ mở  $G = G_0$ ,

$$K_p = \frac{-D_p - D_a G_0}{A_i H_{TC0}^{1.5}} + \frac{T_a T_m T_w G_0 P_{kp\omega 1}}{2 A_i H_{TC0}^3} \quad (2)$$

$$K_i = \frac{p_1 p_2 p_3 p_4 T_a T_m T_w G_0}{2 A_i H_{TC0}^2}$$

$$K_d = \frac{1}{2 A_i H_{TC0}^4} (p_{kd\omega 3} + p_{kd\omega 4} + p_{kd\omega 5} + p_{kd\omega 6} + p_{kd\omega 7} + p_{kd\omega 8} + p_{kd\omega 9})$$

với:

$$p_{kp\omega 1} = \sqrt{H_{TC0}} p_1 p_2 p_3 p_4 T_w G_0 - p_1 p_2 p_3 p_4 q_{NL} T_w - H_{TC0} (p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 p_4 + p_1 p_4 p_3 + p_2 p_4 p_3)$$

$$p_{kd\omega 3} = p_1 p_2 p_3 p_4 q_{NL}^2 T_w^3 T_a T_m G_0$$

$$p_{kd\omega 4} = -2\sqrt{H_{TC0}} p_1 p_2 p_3 p_4 q_{NL} T_w^3 G_0^2 T_a T_m$$

$$p_{kd\omega 5} = -3H_{TC0}^2 T_w G_0^2 D_a + H_{TC0}^2 T_w T_a T_m G_0 (p_1 p_2 + p_1 p_3 + p_1 p_4 + p_2 p_3 + p_2 p_4 + p_3 p_4)$$

$$p_{kd\omega 6} = -2H_{TC0}^{2.5} (T_m + T_a G_0 D_a)$$

$$p_{kd\omega 7} = D_p H_{TC0}^{1.5} (-2H_{TC0} T_a + 2q_{NL} T_w) - 3D_p H_{TC0}^2 T_w G_0$$

$$p_{kd\omega 8} = -2D_a q_{NL} H_{TC0}^{1.5} T_w G_0 + H_{TC0}^{1.5} T_w^2 G_0^2 T_a T_m (p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 p_4 + p_1 p_4 p_3 + p_4 p_2 p_3)$$

$$p_{kd\omega 9} = H_{TC0} T_w^2 G_0 T_a T_m (p_2 p_3 p_4 q_{NL} + p_1 p_3 p_4 q_{NL} + p_2 p_3 p_1 q_{NL} + p_2 p_1 p_4 q_{NL} + p_1 p_3 p_4 T_w G_0^2)$$

điều khiển công suất ứng với chế độ nổi lưới:

trong chế độ này, bộ điều khiển là bộ điều khiển PI, với các tham số  $K_P$ ,  $K_i$  được tính như sau:

$$K_P = \frac{1}{4 A_i H_{TC0}^3} (-4H_{TC0}^{3/2} + p_{kp p_1} + p_{kp p_2} + p_{kp p_3}) \quad (3)$$

$$K_i = -\frac{p_1 p_2 p_3 T_a T_w G_0}{2 A_i H_{TC0}^2}$$

với:

$$p_{kp p_1} = 2H_{TC0} (p_2 p_3 + p_1 p_3 + p_2 p_1) T_a T_w G_0$$

$$p_{kp p_2} = \sqrt{H_{TC0}} p_1 p_2 p_3 T_a T_w^2 G_0^2$$

$$p_{kp p_3} = -p_1 p_2 p_3 T_a T_w^2 G_0^2 (-2q_{NL} + 2G_0 \sqrt{H_{TC0}}).$$

2. Hệ thống điều tốc tuabin thủy điện theo điểm 1, trong đó mạch điều khiển trung tâm còn được tạo cấu hình để bao gồm:

mô đun vào ra số,  
 mô đun vào ra tương tự,  
 mô đun đo tốc độ máy phát,  
 mô đun đo công suất P, Q với tần suất cập nhật 1ms,  
 mô đun truyền thông với hệ thống giám sát SCADA của nhà máy thông qua chuẩn Modbus TCP/IP.

3. Phương pháp điều khiển hệ thống điều tốc tuabin thủy điện để ổn định tần số và công suất của máy phát, bao gồm các bước:

thu thập các thông số cơ bản của máy phát điện xoay chiều bao gồm: điện áp xoay chiều ba pha của máy phát, dòng điện xoay chiều ba pha của máy phát, dòng điện và điện áp một chiều của bộ kích từ;

tính toán các giá trị tương ứng như tần số lưới, công suất hữu công P, công suất vô công Q, công suất tức thời P(t), công suất biểu kiến S, năng lượng tác dụng E, tần số f, chu kỳ T;

điều khiển cả tốc độ quay của tuabin và vị trí của cánh hướng sử dụng các vòng điều khiển PID; và

truyền thông dữ liệu với các hệ thống giám sát SCADA của nhà máy thông qua chuẩn Modbus TCP/IP;

trong đó, các tham số điều khiển PID được chọn theo các điều kiện sau:

điều khiển vị trí cánh hướng:

bộ điều khiển PID trong trường hợp này là bộ điều khiển tỷ lệ P, với hệ số  $K_p$  được tính như sau:

$$K_p = \frac{T_v T_{vt} c_0}{K_v K_{vt}} \quad (1)$$

điều khiển tốc độ ứng với chế độ không nổi lưới:

tham số  $K_P$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  được tính như sau với giả thiết điểm làm việc: chiều cao  $h_{tc}=H_{TC0}$ , tốc độ định mức  $\omega_N=1$  và độ mở  $G = G_0$ ,

$$K_p = \frac{-D_p - D_a G_0}{A_f H_{TC0}^{1.5}} + \frac{T_a T_m T_w G_0 P_{kp\omega 1}}{2 A_f H_{TC0}^3} \quad (2)$$

$$K_i = \frac{p_1 p_2 p_3 p_4 T_a T_m T_w G_0}{2 A_i H_{TC0}^2}$$

$$K_d = \frac{1}{2 A_i H_{TC0}^4} (p_{kd\omega 3} + p_{kd\omega 4} + p_{kd\omega 5} + p_{kd\omega 6} + p_{kd\omega 7} + p_{kd\omega 8} + p_{kd\omega 9})$$

với:

$$p_{kp\omega 1} = \sqrt{H_{TC0}} p_1 p_2 p_3 p_4 T_w G_0 - p_1 p_2 p_3 p_4 q_{NL} T_w - H_{TC0} (p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 p_4 + p_1 p_4 p_3 + p_2 p_4 p_3)$$

$$p_{kd\omega 3} = p_1 p_2 p_3 p_4 q_{NL}^2 T_w^3 T_a T_m G_0$$

$$p_{kd\omega 4} = -2\sqrt{H_{TC0}} p_1 p_2 p_3 p_4 q_{NL} T_w^3 G_0^2 T_a T_m$$

$$p_{kd\omega 5} = -3H_{TC0}^2 T_w G_0^2 D_a + H_{TC0}^2 T_w T_a T_m G_0 (p_1 p_2 + p_1 p_3 + p_1 p_4 + p_2 p_3 + p_2 p_4 + p_3 p_4)$$

$$p_{kd\omega 6} = -2H_{TC0}^{2.5} (T_m + T_a G_0 D_a)$$

$$p_{kd\omega 7} = D_p H_{TC0}^{1.5} (-2H_{TC0} T_a + 2q_{NL} T_w) - 3D_p H_{TC0}^2 T_w G_0$$

$$p_{kd\omega 8} = -2D_a q_{NL} H_{TC0}^{1.5} T_w G_0 + H_{TC0}^{1.5} T_w^2 G_0^2 T_a T_m (p_1 p_2 p_3 + p_1 p_2 p_4 + p_1 p_4 p_3 + p_4 p_2 p_3)$$

$$p_{kd\omega 9} = H_{TC0} T_w^2 G_0 T_a T_m (p_2 p_3 p_4 q_{NL} + p_1 p_3 p_4 q_{NL} + p_2 p_3 p_1 q_{NL} + p_2 p_1 p_4 q_{NL} + p_1 p_3 p_4 T_w G_0^2)$$

điều khiển công suất ứng với chế độ nổi lưới:

trong chế độ này, bộ điều khiển là bộ điều khiển PI, với các tham số  $K_P$ ,  $K_i$  được tính như sau:

$$K_P = \frac{1}{4 A_i H_{TC0}^3} (-4H_{TC0}^{3/2} + p_{kp p_1} + p_{kp p_2} + p_{kp p_3}) \quad (3)$$

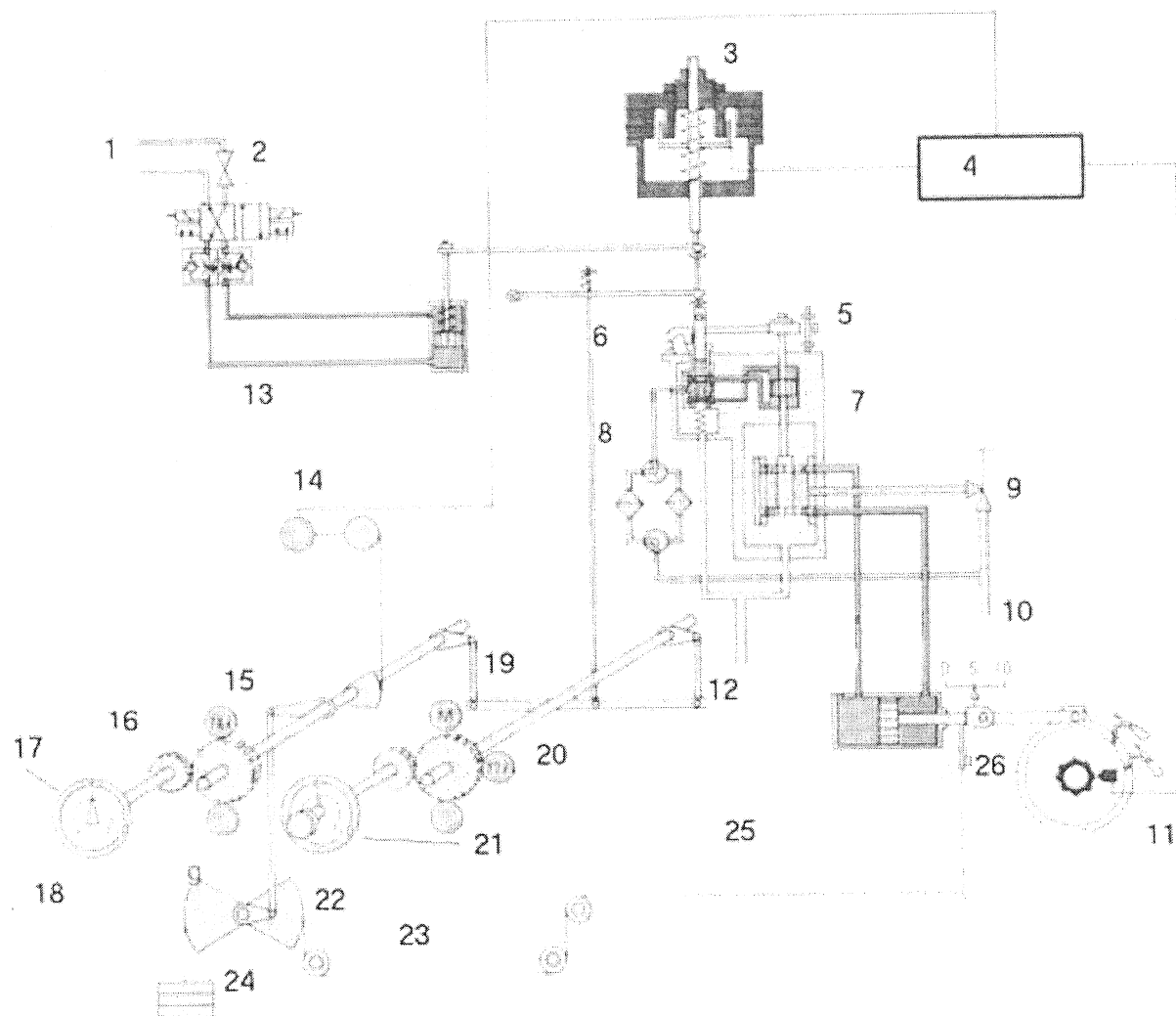
$$K_i = -\frac{p_1 p_2 p_3 T_a T_w G_0}{2 A_i H_{TC0}^2}$$

với:

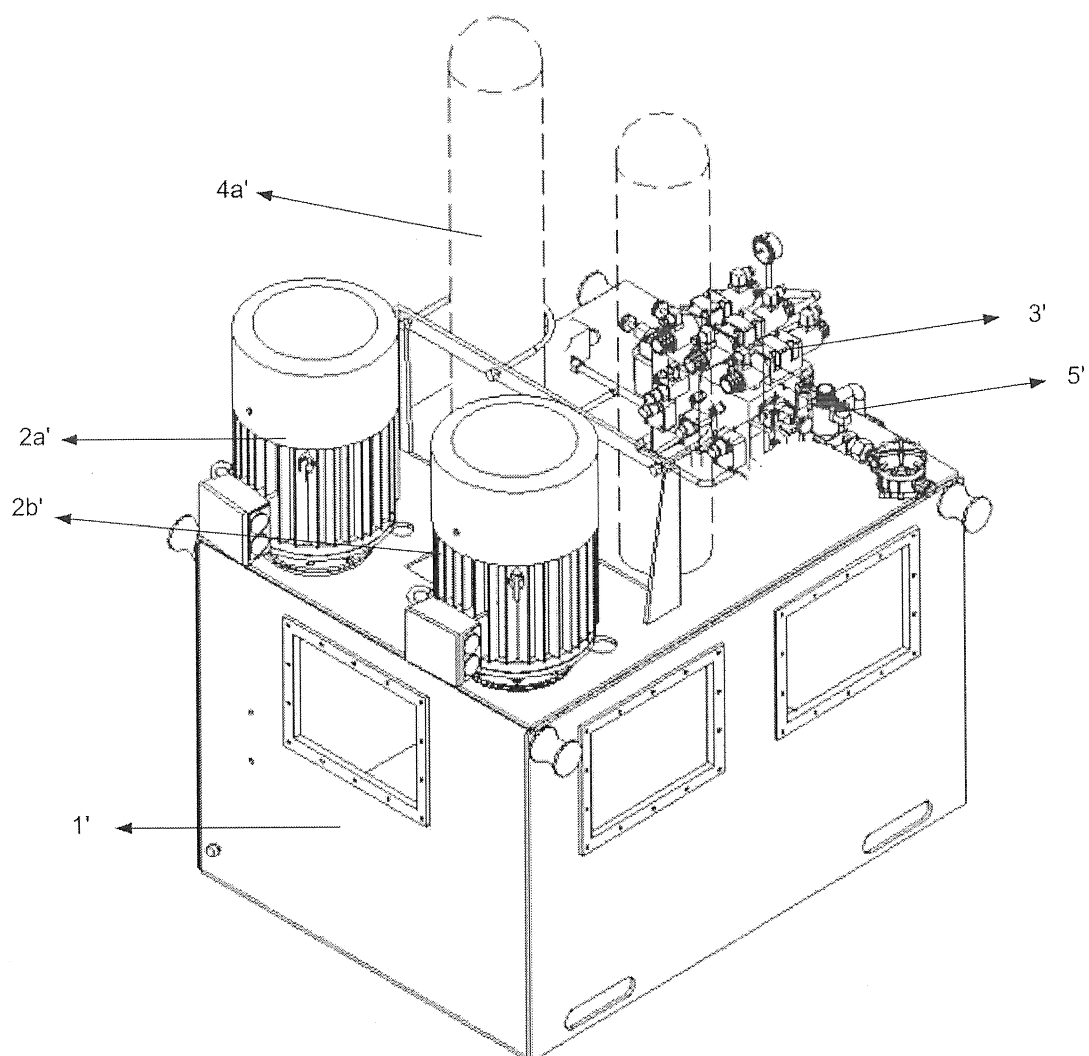
$$p_{kp p_1} = 2H_{TC0} (p_2 p_3 + p_1 p_3 + p_2 p_1) T_a T_w G_0$$

$$p_{kp p_2} = \sqrt{H_{TC0}} p_1 p_2 p_3 T_a T_w^2 G_0^2$$

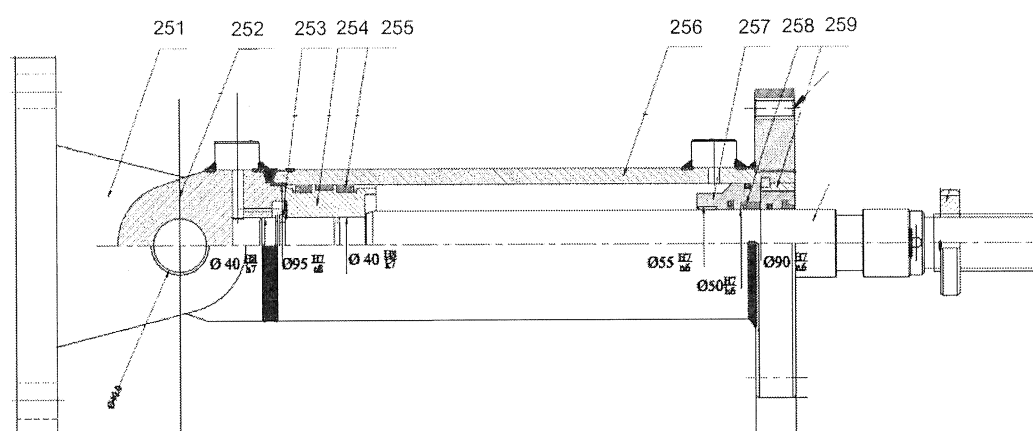
$$p_{kp p_3} = -p_1 p_2 p_3 T_a T_w^2 G_0^2 (-2q_{NL} + 2G_0 \sqrt{H_{TC0}}).$$



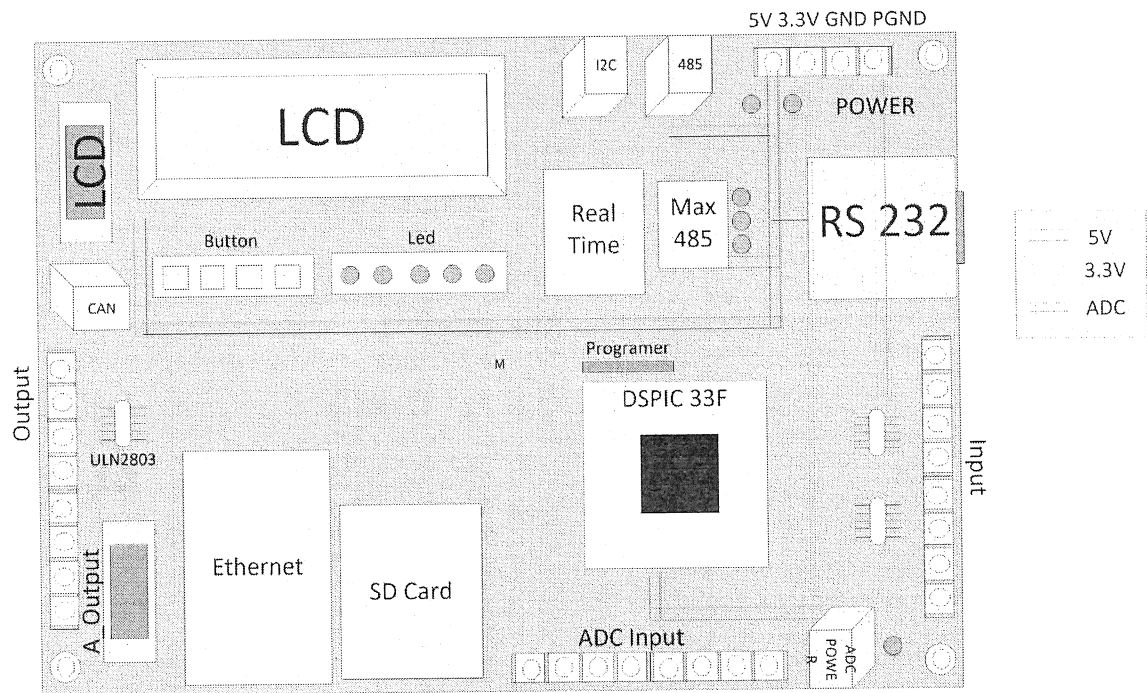
Hình 1



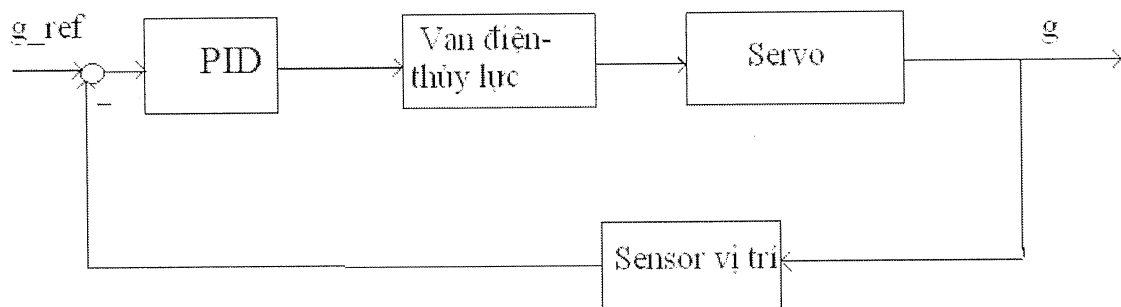
Hình 2



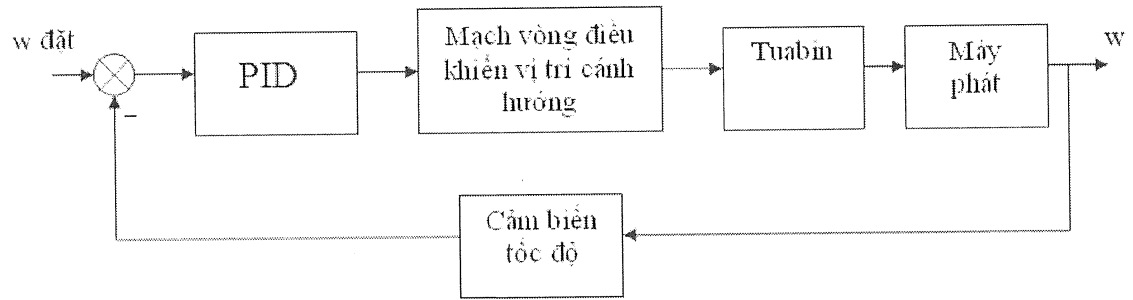
Hình 3



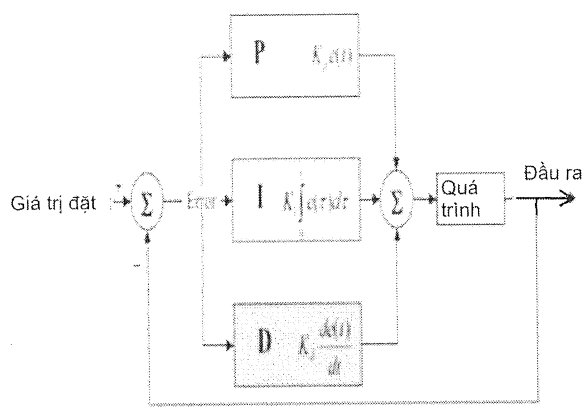
Hình 4



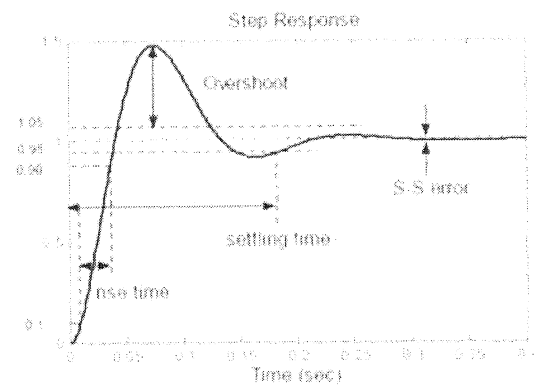
Hình 5a



Hình 5b



Thuật toán PID



Hàm quá độ

Hình 6a

Hình 6b