

NGHIÊN CỨU VÀ XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN HỌC CHO HỆ THỐNG THỦY ĐIỆN LIÊN KẾT VÙNG TRONG BÀI TOÁN ỔN ĐỊNH TỐC ĐỘ TUABIN

RESEARCH AND DESIGN OF A MATHEMATICAL MODEL FOR AN INTERCONNECTED HYDROPOWER SYSTEM IN THE STABILIZATION PROBLEM OF TURBINE SPEED

Nguyễn Duy Trung^{1*}, Nguyễn Ngọc Khoát¹, Hoàng Thị Thu Hương²,
Đào Thị Mai Phương³, Lê Hùng Lân⁴, Nguyễn Văn Tiềm⁴

TÓM TẮT

Trong hệ thống điện hiện nay việc điều chỉnh để ổn định tần số lưới điện khi tải thay đổi đảm bảo chất lượng điện năng luôn là vấn đề rất quan trọng. Hệ thống điện có các nguồn phát điện như: nhiệt điện, điện hạt nhân, thủy điện, điện mặt trời, năng lượng gió. Thủy điện luôn chiếm lượng công suất tương đối lớn trên tổng công suất lưới điện. Việc xây dựng mô hình toán học hệ thống thủy điện liên kết là khâu rất quan trọng trong việc thiết kế bộ điều khiển tốc độ tuabin thủy điện để điều khiển ổn định tần số lưới điện khi tải thay đổi. Từ việc khảo sát mô hình mô phỏng, ta có thể áp dụng các chiến lược điều khiển tần số hiệu quả cho hệ thống thủy điện liên kết vùng trong thực tế.

Từ khóa: Điều khiển tần số tải, mô hình toán học hệ thống thủy điện, tuabin thủy điện.

ABSTRACT

In the current power system, the adjustment of the frequency of the grid stability when the load changes to ensure power quality is a highly important control problem. The power system has several types of primary sources such as thermal power, nuclear power, hydroelectric, solar power and wind power. Hydroelectricity always accounts for a relatively large amount of capacity on the total grid capacity. Building a mathematical model of the connected hydroelectric system is a very important step in designing the hydro turbine controller to stabilize the grid frequency when the load changes. From the investigation of mathematical modeling, it is possible to apply efficient net frequency control strategies for the interconnected hydropower system in reality.

Keywords: Control frequency load, mathematical model of hydroelectric system, hydro turbine.

¹Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện Lực

²Ban Quản lý dự án điện 2, Tập đoàn Điện lực Việt Nam

³Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

⁴Bộ môn Điều khiển học, Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: trungnd@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/3/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/5/2020

Ngày chấp nhận đăng: 24/6/2020

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống điện nói chung và nhà máy thủy điện nói riêng là nguồn năng lượng rất quan trọng để phục vụ phát triển kinh tế và đất nước, tuy nhiên trong quá trình vận hành hệ thống điện luôn có sự biến động liên tục không ngừng trên lưới. Chính vì vậy, việc giữ cho công suất và tần số trên lưới ổn định khi tải thay đổi là rất quan trọng và cần thiết nhằm nâng cao chất lượng điện năng. Để điều khiển cho các nhà máy phát điện nhằm ổn định hệ thống ta phải xây dựng được mô hình toán học của hệ thống. Việc xây dựng mô hình toán học bắt đầu từ cấu tạo, nguyên lý của nhà máy thủy điện. Bên cạnh đó, các nhà máy điện lại liên kết với nhau thông qua các đường dây truyền tải điện năng; từ đó dẫn đến việc xây dựng một mô hình toán học chính xác cho các hệ thống nhà máy thủy điện trở nên khó khăn và phức tạp. Hiện nay các chuyên gia và nhà nghiên cứu trên thế giới cũng rất quan tâm và đã có một số công trình đạt được kết quả nhất định trong lĩnh vực này.

Mô hình toán học của hệ thống tuabin thủy điện được xây dựng và được trình bày trong [1] trên cơ sở đó ta đi xây dựng mô hình toán học của hệ thống đơn vùng của thủy điện. Trong [2], việc xây dựng và kết nối các vùng thủy điện với nhau được đưa ra để nghiên cứu và bàn luận, trong đó mô hình toán học của tuabin thủy điện được xây dựng và thể hiện qua các hàm truyền mô hình của hệ thống. Mô hình điều khiển tự động các nguồn thủy điện liên kết được xây dựng trong [3], bên cạnh đó hai hệ thống điện được liên kết với nhau thông qua hệ thống chuyển đổi AC/DC trong [7], để kết nối các nhà máy với nhau ta dùng hệ thống đường dây truyền tải để kết nối như trong [5] đã xây dựng được mô hình toán học giữa hai đường dây liên lạc cho hai nhà máy. Trong mô hình toán học của hệ thống tuabin thủy điện được xây dựng các khối chức năng như trong [1] được thể hiện bằng các hàm truyền hệ thống của các khâu, như điều tốc, tuabin, máy phát, đường dây. Trong [6] điều khiển mô hình dự báo cho hệ thống thủy điện nhằm ổn định tần số tải. Với việc nghiên cứu xây dựng mô hình động lực học của hệ thống đã

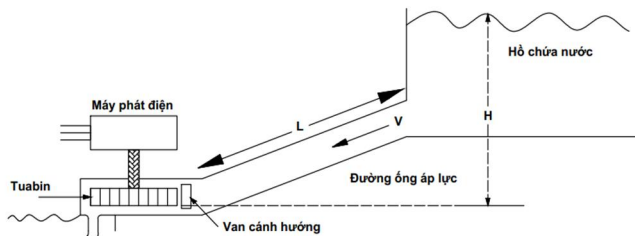
mang lại cho các nghiên cứu điều khiển được tốt nhất trong [1] việc mô hình hóa được thể hiện bằng các ví dụ và mô phỏng kết quả của các đường đặc tính của hệ thống tuabin máy phát thủy điện, trong các mô hình liên kết thì xuất phát từ sơ đồ mô hình đơn vùng và xây dựng mô hình liên kết vùng bằng hệ thống đường dây truyền tải để nhằm trao đổi công suất trên đường dây [2]. Điều khiển ổn định tần số dùng phương pháp tối ưu bầy đàn trong [4]. Việc xây dựng được các mô hình toán học của hệ thống là cơ sở cho việc thiết kế các bộ điều khiển thông minh để áp dụng điều khiển tuabin trong nhà máy thủy điện liên kết vùng nhằm ổn định tần số lưới điện khi tải thay đổi. Đó cũng chính là mục tiêu của bài báo này.

Trong bài báo này, các tác giả trình bày về mô hình toán học của hệ thống tuabin thủy điện đơn vùng và liên kết 2 vùng. Trong đó, việc nghiên cứu và điều khiển tốc độ tuabin thủy điện là rất quan trọng và cần thiết khi phụ tải hệ thống thay đổi. Do vậy căn cứ vào mô hình toán học của hệ thống ta có thể thiết kế bộ điều khiển tốc độ tuabin thủy điện liên kết vùng nhằm ổn định tần số và công suất trao đổi trên các đường dây khi tải thay đổi. Các kết quả khảo sát, xây dựng mô hình toán học của hệ thống, bao gồm tính khả thi và sự chính xác, sẽ được kiểm chứng qua các kết quả mô phỏng cho cả hai trường hợp: khi chưa có bộ điều khiển và khi có bộ điều khiển tích phân. Đáp ứng của hệ thống là phù hợp với đặc tính hệ thống thực.

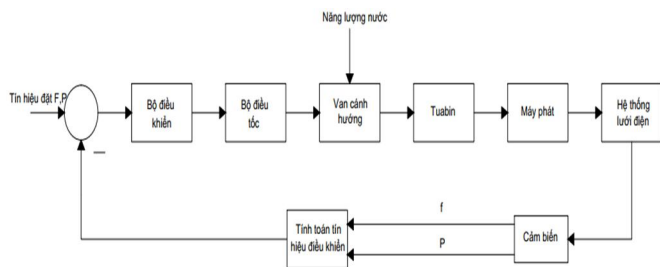
2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG THỦY ĐIỆN LIÊN KẾT VÙNG

2.1. Mô hình các khối cơ bản trong nhà máy thủy điện

Xét mô hình một nhà máy thủy điện đơn giản như hình 1, sơ đồ khối tương ứng như hình 2. Mỗi hệ thống thủy điện đơn vùng bao gồm các thành phần cơ bản như: máy phát điện, tuabin thủy lực và bộ điều tốc. Để điều khiển lưu lượng nước cấp làm quay tuabin thủy lực qua đó ổn định tốc độ và tần số của máy phát, người ta tiến hành điều khiển góc mở van cánh hướng (hình 2).



Hình 1. Mô hình nhà máy thủy điện



Hình 2. Mô hình khối của hệ thống thủy điện đơn vùng

Theo [2] mô hình toán học của một hệ thống thủy điện đơn vùng được xây dựng dựa trên các bước sau đây:

Bước 1: Xây dựng mô hình đường ống áp lực

Nếu coi chiều dài đường ống đủ ngắn, nước và ống không chịu nén, mối quan hệ giữa chiều cao cột áp và lưu lượng nước trong đường ống áp lực có thể viết đơn giản như sau:

$$\frac{\Delta \bar{h}_t(s)}{\Delta u_t(s)} = -T_w(s) \tag{1}$$

trong đó, $T_w = \frac{L u_r}{a_g h_r}$ là thời gian bắt đầu nước không

đổi ở tải định mức, (giây).

Bước 2: Xây dựng mô hình hệ thống servo điện - thủy lực

Để đóng mở van cánh hướng, trong thực tế người ta thường dùng hệ thống servo điện - thủy lực. Mối quan hệ giữa tín hiệu điều khiển đầu vào $u(t)$ và độ thay đổi vị trí của cơ cấu chấp hành (servo) $\Delta x_e(t)$ được cho bởi biểu thức sau:

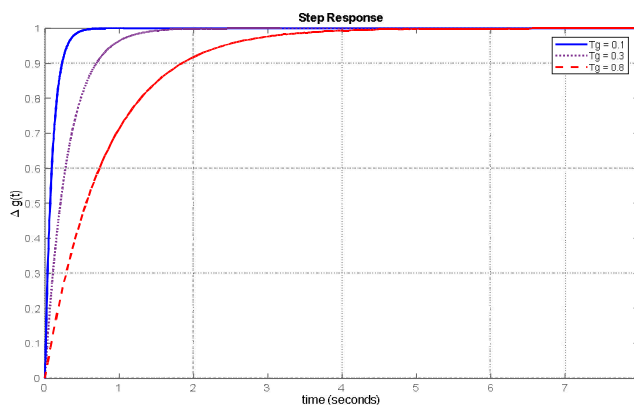
$$\frac{\Delta \bar{x}_e(s)}{u(s)} = \frac{1}{T_p s + 1} \tag{2}$$

trong đó, T_p là hằng số thời gian quy đổi cho servomotor và van cánh hướng. Ngoài ra, mối quan hệ giữa đầu ra cơ cấu chấp hành và sự thay đổi vị trí tương ứng với độ thay đổi góc mở cánh hướng là:

$$W_g(s) = \frac{\Delta \bar{g}_e(s)}{\Delta \bar{x}_e(s)} = \frac{1}{1 + s \cdot T_g} \tag{3}$$

Trong đó, T_g là hằng số thời gian servo chính (giây).

Hình 3 mô tả đáp ứng quá độ của hàm truyền đạt được cho trong (3) khi T_g thay đổi ở một vài giá trị.



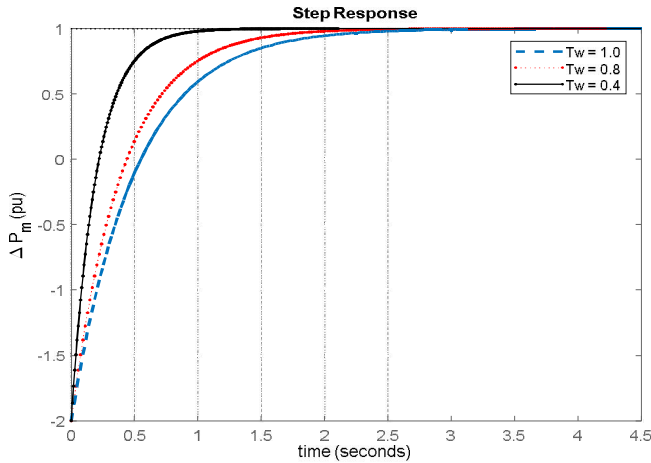
Hình 3. Mô phỏng đặc tính làm việc của bộ điều tốc khi T_g thay đổi

Bước 3: Xây dựng mô hình tuabin thủy lực

Hàm truyền đạt mô tả mối quan hệ giữa sự thay đổi công suất đầu ra của tuabin và sự thay đổi vị trí cánh hướng đầu vào tuabin thủy lực là:

$$w_t(s) = \frac{\Delta \bar{P}_m(s)}{\Delta g(s)} = \frac{1 - T_w s}{1 + 0,5 T_w s} \tag{4}$$

Phương trình (4) có thể được coi là hàm truyền đạt của tuabin thủy lực kết hợp đường ống áp lực trong trường hợp lý tưởng. Hàm truyền đạt này rõ ràng phụ thuộc và T_w . Kết quả đáp ứng quá độ của độ thay đổi công suất cơ đầu ra tuabin phụ thuộc vào các giá trị khác nhau của T_w là hằng số thời gian khởi động của nước với tải bất kì được thể hiện trên hình 4.



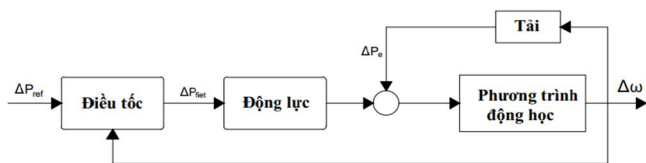
Hình 4. Mô phỏng đặc tính làm việc của tuabin khi T_w thay đổi

Mô hình máy phát điện

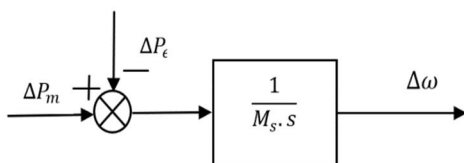
Trong [1] ta có mô hình máy phát điện đồng bộ sử dụng động năng của tuabin để chuyển đổi thành điện năng (hình 5) được biểu diễn như sau:

$$w_p(s) = \frac{\Delta\omega(s)}{\Delta\bar{P}_m(s) - \Delta\bar{P}_e(s)} = \frac{1}{Ms + D} \quad (5)$$

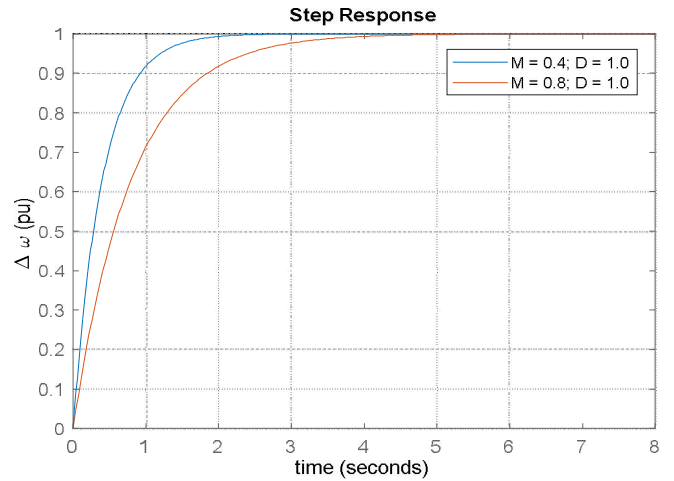
Trong đó, $\Delta\omega(s)$: giá trị chuẩn hóa của độ lệch của tốc độ máy phát (p.u.), $\Delta\bar{P}_e$: giá trị chuẩn hóa của độ lệch công suất tải (p.u.), D: hằng số thời gian tắt dần của phụ tải đặc trưng cho phụ thuộc tần số trong lưới điện, M: momen quán tính tổng của máy phát (MW). Hình 6 biểu diễn mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra của máy phát điện đồng bộ đã cho bởi công thức (5). Đáp ứng quá độ của hàm truyền đạt máy phát - phụ tải với các giá trị khác nhau của M và D được thể hiện trên hình 7.



Hình 5. Mạch vòng điều khiển tần số



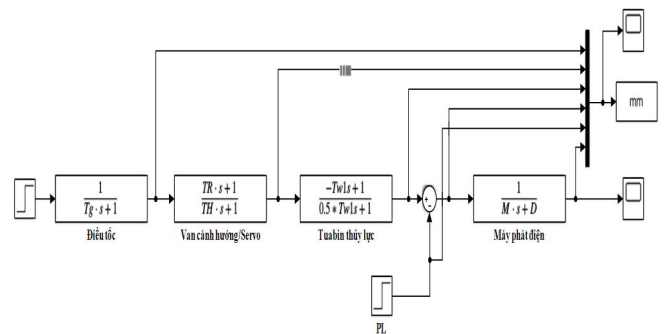
Hình 6. Mô hình máy phát điện



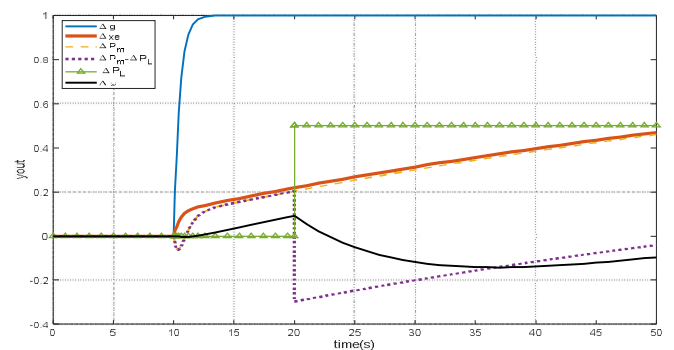
Hình 7. Đáp ứng quá độ của đặc tính máy phát - phụ tải

2.2. Mô hình toán học nhà máy thủy điện đơn vùng

Từ phần trên, tổng hợp lại ba bước xây dựng mô hình của nhà máy thủy điện đơn vùng ta có thể xây dựng mô hình tổng quát như hình 8. Hàm truyền đạt của từng khối trong mô hình đơn vùng này đã được thành lập ở phần trên. Các tham số mô phỏng cho mô hình được cho trong phần phụ lục của bài báo.



Hình 8. Mô hình hệ thống điều khiển tốc độ tuabin thủy điện đơn vùng



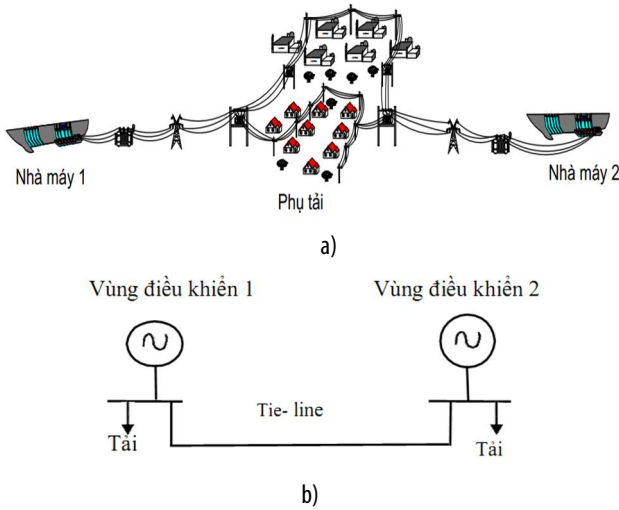
Hình 9. Đáp ứng các khâu của sơ đồ hệ thống thủy điện đơn vùng

Trên hình 9 ta thấy, từ 0 đến 10s ta chưa kích tín hiệu cho điều tốc do vậy hệ thống vẫn ổn định, khoảng 10s ta kích tín hiệu từ 0 lên 1 lúc đó đầu ra của bộ điều tốc, van cánh hướng bắt đầu mở dần ΔX_e đồng thời công suất trên trục tuabin ΔP_m cũng tăng. Thời gian 10s đến 20s tốc độ tuabin Δω tăng dần theo độ mở cánh hướng. Khi được 20s

ta đóng tải ΔP_L bằng 50% lúc đó tốc độ tuabin sẽ giảm. Để đáp ứng đầu ra ổn định ta có thể thiết kế bộ điều khiển để điều khiển làm cho tốc độ luôn ổn định khi tải thay đổi.

2.3. Mô hình hệ thống thủy điện liên kết hai vùng

Trong thực tế, các hệ thống điện thường không tồn tại riêng lẻ, mà chúng thường liên kết với nhau tạo nên hệ thống điện lớn. Khi đó sẽ hình thành khái niệm vùng (thực chất là một nhà máy phát điện độc lập tương đối, có trao đổi công suất với các nhà máy phát điện khác). Hình 10 mô tả một hệ thống thủy điện liên kết hai vùng điển hình.



Hình 10. Hệ thống điện liên kết hai khu vực

Trong hình 10, tie-line là một đường truyền tải điện năng kết nối hai khu vực điều khiển. Trong [2], công suất trao đổi từ khu vực 1 đến khu vực 2 được tính như sau:

$$P_{tie1,2} = \frac{[V_1][V_2]}{X_{12}} \sin(\delta_1 - \delta_2) \tag{6}$$

trong đó, δ_1 và δ_2 là các góc của điện áp cuối lần lượt là $[V_1]$ và $[V_2]$. Đối với độ lệch nhỏ, các góc và công suất đường dây cũng thay đổi với một lượng nhỏ. Công suất đường dây tăng dần từ khu vực 1 đến khu vực 2 có thể được biểu thị bằng:

$$P_{tie1,2} = T_{12}(\Delta\delta_1 - \Delta\delta_2) \tag{7}$$

Trong đó, T_{12} là hệ số công suất đồng bộ hóa trên đường dây.

$$T_{12} = \frac{[V_1][V_2]}{X_{12}} \cos(\delta_1 - \delta_2) \tag{8}$$

Tần số tăng có liên quan đến độ lệch góc pha như được biểu thị bởi:

$$\Delta\delta_1 = 2\pi \int \Delta F_1 dt \text{ và } \Delta\delta_2 = 2\pi \int \Delta f_2 dt \tag{9}$$

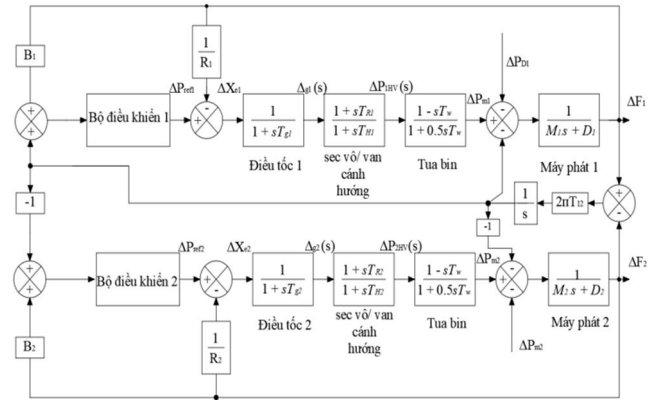
Sau đó phương trình (9) trở thành:

$$\Delta P_{tie1,2}(s) = \frac{2\pi T_{12}}{s} [\Delta F_1(s) - \Delta F_2(s)] \tag{10}$$

Bằng cách thực hiện phép biến đổi Laplace của phương trình (10) công suất đường dây được thể hiện như sau:

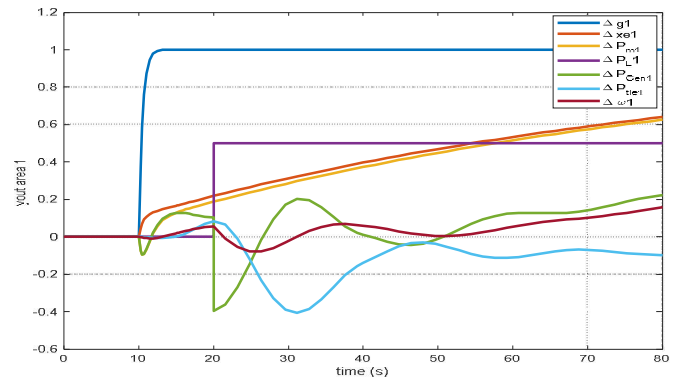
$$P_{tiei,j}(s) = \frac{2\pi}{s} [\Delta F_i(s) - \Delta F_j(s)] \tag{11}$$

Trong [1] mô hình toán học của hệ thống thủy điện liên kết hai vùng có cấu trúc trên hình 11.



Hình 11. Mô hình hệ thống điều khiển tuabin thủy điện có liên kết 2 vùng

Từ mô hình toán học ta khảo sát đặc tính của các khối chức năng của hệ thống thủy điện liên kết hai vùng khi chưa có bộ điều khiển như hình 12.

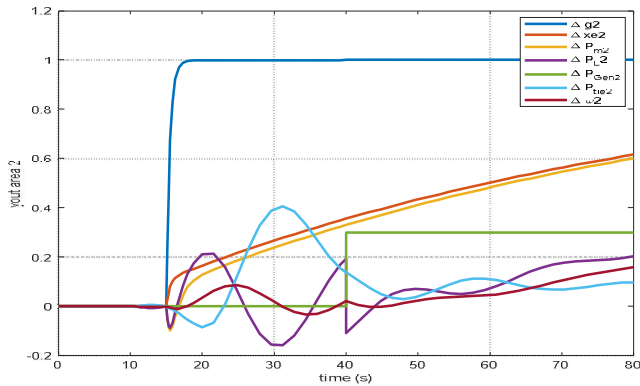


Hình 12a. Đáp ứng của vùng 1 khi chưa có bộ điều khiển

Trên hình 12a ta thấy, từ 0 - 10s khi chưa có tín hiệu điều khiển cho điều tốc nên chưa xuất hiện dao động. Tuy nhiên, khoảng 10s sau ta kích thích tín hiệu điều khiển điều tốc từ 0 lên 1 lúc đó đầu ra của bộ điều tốc là độ mở van cánh hướng ΔX_e bắt đầu mở dần, đồng thời công suất trực tuabin ΔP_{m1} tăng dần đến công suất đầu ra máy phát ΔP_{Gen1} và ΔP_{tie1} công suất trên đường dây cũng thay đổi liên tục. Tiếp theo thời gian từ 10s đến 20s tốc độ tuabin $\Delta \omega_1$ và độ mở cánh hướng cũng tăng dần. Khi được 20s ta đóng 50% tải ΔP_{L1} vào lúc đó tốc độ tuabin sẽ giảm, công suất máy phát ΔP_{Gen1} và công suất trên đường dây ΔP_{tie1} dao động rất mạnh; tuy nhiên do độ mở cánh hướng tăng sau thời gian khoảng 40s thì công suất và tốc độ dần ổn định.

Trên hình 12b ta thấy từ 0 - 15s chưa có tín hiệu điều khiển cho điều tốc nên chưa xuất hiện dao động, tuy nhiên khoảng 15s sau ta kích thích tín hiệu điều khiển điều tốc từ 0 lên 1 lúc đó đầu ra của bộ điều tốc là van cánh hướng ΔX_e bắt đầu mở dần, đồng thời công suất trực tuabin ΔP_{m2} tăng dần dẫn đến công suất đầu ra máy phát ΔP_{Gen2} và ΔP_{tie2}

công suất trên đường dây cũng thay đổi liên tục, tiếp theo thời gian từ 15s đến 40s tốc độ tuabin $\Delta\omega_2$ và độ mở cánh hướng cũng tăng dần. Khi được 40s ta đóng 50% tải ΔP_{12} vào lúc đó tốc độ tuabin sẽ giảm, công suất máy phát ΔP_{Gen2} và công suất trên đường dây ΔP_{tie2} dao động rất mạnh, tuy nhiên độ mở cánh hướng tăng sau thời gian khoảng 60s thì công suất và tốc độ dần ổn định.



Hình 12b. Đáp ứng của vùng 2 chưa có bộ điều khiển

2.4. Mô hình không gian trạng thái của hệ thống thủy điện

Trong [2] dựa trên mô hình động của nhà máy thủy điện, có thể mô tả trạng thái của toàn bộ mô hình nhà máy tương ứng với hình 1 như sau:

$$x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]^T = \left[\int_0^t \Delta\bar{\omega} \ \Delta\bar{\omega}_e \ \Delta\bar{g} \ \Delta\bar{p}_m \ \Delta\bar{\omega} \right]^T \quad (12)$$

Tất cả các trạng thái này có thể được đo lường dễ dàng. Do đó, việc thiết kế bộ điều khiển phản hồi trạng thái có thể được thực hiện dễ dàng. Phương trình trạng thái hệ thống:

$$\dot{x} = Ax + Bu + D.\Delta\bar{P}_e \quad (13)$$

Trong đó:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{T_p} & 0 & 0 & -\frac{1}{T_p R_p} \\ 0 & \frac{1}{T_p} & -\frac{1}{T_p} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{2}{T_g} & \left(\frac{2}{T_w} + \frac{2}{T_g}\right) - \frac{2}{T_w} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m} & -\frac{d}{m} \end{bmatrix};$$

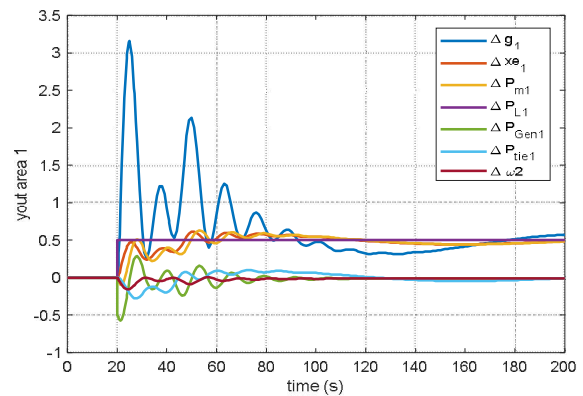
$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{T_p} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{và} \quad D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{m} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Các vectơ B và D được coi là độc lập khi giả định rằng vectơ phụ tải thay đổi bị chặn $|\Delta\bar{P}_e| \leq P_c$ với P_c là một giá trị chặn (là số thực dương cho trước).

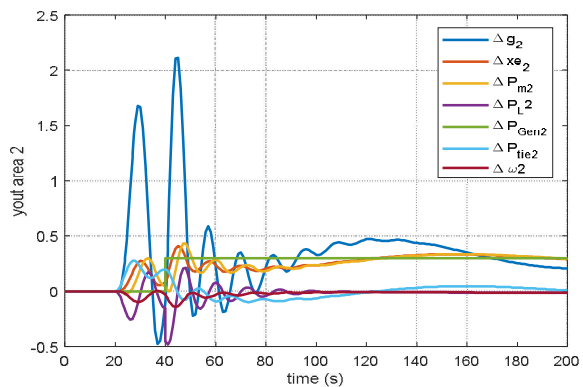
3. ĐIỀU KHIỂN ỔN ĐỊNH TỐC ĐỘ TUABIN NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN LIÊN KẾT VÙNG ỨNG DỤNG MÔ HÌNH TOÁN HỌC ĐÃ XÂY DỰNG

Trong phần này, để làm rõ hiệu quả cũng như tính khả thi của mô hình toán đã xây dựng cho bài toán ổn định tốc độ tuabin thủy lực, ta xét một trường hợp mô phỏng điển hình của hệ thống điện hai vùng liên kết khi có bộ điều khiển. Mục tiêu của bài toán điều khiển tần số hệ thống thủy điện liên kết vùng là dập tắt dao động của tần số lưới cũng như công suất trao đổi trên đường dây khi phụ tải của các vùng thay đổi.

Trong hình 11 sai lệch tần số và sai lệch công suất trao đổi đường dây được kết hợp tạo thành tín hiệu điều khiển sai lệch vùng ACE (Area Control Error). Các kết quả mô phỏng theo sơ đồ này được thể hiện trên hình 13a và 13b.



a)



b)

Hình 13. Đặc tính của hệ thống thủy điện liên kết hai vùng sử dụng bộ điều khiển tích phân

Quan sát trên hình 13a của vùng 1, khi chưa sử dụng bộ điều khiển cho thấy từ 0 đến 20s ta đóng 50% tải vào. Sau đó quan sát trên hình 13a ta thấy, ΔP_{Gen1} và ΔP_{tie1} dao động rất mạnh quá trình quá độ lớn hơn 40% và cho đến 40s sau chúng dần về không, tuy nhiên hệ thống không ổn định được sai lệch tĩnh rất lớn khoảng 10%, còn khi ta sử dụng

bộ điều khiển tích phân để điều khiển cho vùng 1 thì đến 40s các ΔP_{Gen1} và ΔP_{tie1} giảm dần về không cho đến 80s thì công suất máy phát và công suất trên đường dây được triệt tiêu sai lệch tĩnh và ổn định về không. Do vậy khi ta sử dụng bộ điều khiển tích phân để điều khiển tuabin máy phát cho vùng 1 kết quả cho chất lượng tốt hơn rất nhiều khi chưa sử dụng bộ điều khiển tích phân.

Ta quan sát trên hình 13b và 12b cho vùng 2. Khi chưa sử dụng bộ điều khiển ta thấy từ 0 đến 40s ta đóng 30% tải vào sau đó quan sát trên hình 13b ta thấy ΔP_{Gen2} và ΔP_{tie2} dao động rất mạnh quá trình quá độ lớn hơn 40% và cho đến 40s sau chúng dần về không. Tuy nhiên hệ thống không ổn định được sai lệch tĩnh rất lớn khoảng 10%, còn khi ta sử dụng bộ điều khiển tích phân để điều khiển cho vùng 2 thì đến 40s các ΔP_{Gen2} và ΔP_{tie2} giảm dần về không; cho đến 80s thì công suất máy phát và công suất trên đường dây được triệt tiêu sai lệch tĩnh và ổn định về không. Do vậy khi ta sử dụng bộ điều khiển tích phân để điều khiển tuabin máy phát cho vùng 2 kết quả cho chất lượng tốt hơn rất nhiều khi chưa sử dụng bộ điều khiển tích phân.

4. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày về mô hình toán học của hệ thống điều khiển tuabin thủy điện liên kết vùng. Từ các quá trình vật lý của hệ thống, ta tiến hành khảo sát các khâu và xây dựng cấu trúc hệ thống; tiếp theo mô phỏng các khối chức năng như tuabin thủy điện liên kết vùng, điều tốc, máy phát cho từng vùng. Kết quả cho ta thấy khi chưa áp dụng bộ điều khiển tích phân cho chất lượng kém hơn rất nhiều khi hệ thống được sử dụng bộ điều khiển tích phân. Mô hình toán học đưa ra là phù hợp cho bài toán điều khiển tần số thủy điện liên kết vùng, khi sử dụng bộ điều khiển tích phân sẽ triệt tiêu được sai lệch tĩnh của hệ thống và rất ổn định phù hợp với yêu cầu đề ra.

Hướng phát triển tiếp theo của báo cáo là tối ưu hóa hệ thống phức hợp và áp dụng các thuật toán điều khiển thông minh để ổn định tần số hệ thống đa liên kết trên diện rộng của hệ thống.

PHỤ LỤC

1. Thông số mô phỏng cho mô hình hệ thống thủy điện đơn vùng

$$T_{g1} = 0,2s; T_{w1} = 1,0s; M_1 = 6,0s; D_1 = 1,0; R_1 = 5\%$$

2. Thông số cho mô hình hệ thống thủy điện hai vùng liên kết (đồng nhất)

$$T_{g1} = 0,2s; T_{w1} = 1,0s; M_1 = 6,0s; D_1 = 1,0; R_1 = 5\%$$

$$T_{g2} = 0,2s; T_{w2} = 1,0s; M_2 = 6,0s; D_2 = 1,0; R_2 = 5\%;$$

$$T_{12} = 0,0707$$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Kundur P., 1994. *Power system stability and control*. New York, USA: McGraw-Hill.
- [2]. Xibei Ding and Alok Sinha, 2011. *Sliding Mode/ H_∞ Control of a Hydro-power Plant American Control Conference on O'Farrell Street*. San Francisco, CA, USA June 29 - July 01.
- [3]. Shiva C.K., Mukherjee V., 2015. *Automatic generation control of interconnected power system for robust decentralized random load disturbances using a novel quasi-oppositional harmony search algorithm*. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 73, 991-1001.
- [4]. Dhillon S.S., Lather J.S., Marwaha S., 2015. *Multi area load frequency control using particle swarm optimization and fuzzy rules*. Procedia Comput. Sci. 57, 460-472.
- [5]. C. Concordia and L. K. Kirchmayer, 1953. *Tie line power and frequency control of electric power systems*. Amer. Inst. Elect. Eng. Trans., vol. pt. II, 72, pp. 562-572.
- [6]. Liu X., Kong X., Lee K.Y., 2016. *Distributed model predictive control for load frequency control with dynamic fuzzy valve position modelling for hydro-thermal power system*. IET Control Theory Appl. 10, 1653-1664.
- [7]. Bhatti T., 2014. *AGC of two area power system interconnected by AC/DC links with diverse sources in each area*. Int. J. Electr. Power Energy Syst. 55, 297-304.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Duy Trung¹, Nguyen Ngoc Khoat¹, Hoang Thi Thu Huong², Đào Thi Mai Phuong³, Le Hung Lan⁴, Nguyen Van Tiem⁴

¹Faculty of Control and Automation, Electric Power University

²Power Project Management Broad 2, Vietnam Electricity Corporation

³Faculty of Electrical Engineering, Hanoi University of Industry

⁴Department of Cybernetics, University of Transport and Communication