

ĐIỀU KHIỂN TẦN SỐ DỰA TRÊN HỆ THÍCH NGHI HÀM GAUSS SỬ DỤNG LYAPULOV CHO HỆ THỐNG ĐIỆN HAI VÙNG

FREQUENCY CONTROL STRATEGY APPLYING GAUSS-BASED ADAPTIVE CONTROL USING LYAPUNOV FOR TWO AREAS POWER SYSTEMS

Đoàn Diễm Vương^{1,*},

Nguyễn Ngọc Khoát¹, Thái Quang Vinh²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.30>

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào việc điều khiển tần số của hệ thống điện đa kết nối hai vùng sử dụng các tua bin không hồi nhiệt. Với đối tượng này, trong hệ thống bao gồm nhiều thông số và là hệ phi tuyến. Các bộ điều khiển tần số truyền thống (như P, PI và PID) chỉ đạt được hiệu suất điều khiển chưa như mong muốn với thời gian đáp ứng chậm và độ quá điều chỉnh lớn. Chính vì vậy, nghiên cứu này đưa ra bộ điều khiển thích nghi hàm Gauss sử dụng lý thuyết ổn định Lyapunov nhằm nâng cao chất lượng điều khiển hơn so với các phương pháp điều khiển thông thường. Các kết quả mô phỏng thu được thực hiện trên phần mềm MATLAB/Simulink khẳng định tính khả thi của giải thuật điều khiển đã đề xuất.

Từ khóa: Điều khiển tần số, hệ thống điện đa kết nối, điều khiển thích nghi hàm Gauss.

ABSTRACT

This study focuses on frequency stabilization of the interconnected power system with two areas non reheat tuabin. With this object, the system includes many parameters and is a nonlinear system. Conventional controllers (P, PI, PID) only achieve poor control performance such as slow response time, large overshoot. Therefore, this study proposes a Gauss-based adaptive control using Lyapunov to improve control quality compared to conventional control methods. The numerical simulation results obtained on MATLAB/Simulink software confirm the feasibility of the proposed control algorithm.

Keywords: Frequency control, interconnected power system, Gauss-based adaptive control.

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

²Viện Công nghệ thông tin, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email: vuongdd@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/8/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 22/9/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/10/2022

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống điện đa kết nối trong thực tế là một hệ thống vô cùng phức tạp. Khi không có sự cân bằng về năng lượng do tải thay đổi dẫn đến tần số của hệ thống thay đổi liên tục so với tần số danh định trong một khoảng thời gian ngắn. Điều này dẫn đến các động cơ không làm việc đúng tại tần số định mức, khi hoạt động ở tần số dưới 49,5Hz một

số tua bin hơi và rô tô bị rung quá mức. Sự thay đổi tần số sẽ gây ra sự cố tại nguồn điện do việc tạo ra sóng hài. Đối với những trạm phát điện song song thì điều cần thiết là tần số phải không đổi để đồng bộ máy phát điện. Rất nhiều thiết bị điện trong hệ thống điện đa kết nối sẽ không làm việc bình thường nếu như tần số không ở tần số danh định. Sự suy giảm tần số quá lớn trong hệ thống sẽ làm tăng cao dòng từ hóa trong các động cơ cảm ứng và máy biến áp.

Chính vì vậy rất cần thiết để thiết kế các bộ điều khiển ổn định tần số trong các hệ thống điện đa kết nối. Nhiều nghiên cứu về điều khiển hệ thống điện đa kết nối đã được công bố.

Nghiên cứu [1] nghiên cứu bộ điều khiển PID thích nghi dựa trên mạng mờ - nơron trong việc ứng dụng điều khiển tần số hệ tua bin máy phát của hệ thống thủy điện nhỏ cho kết quả ổn định tần số tốt.

Nghiên cứu [2] tác giả đã thành lập một mô hình toán học của hệ thống điện lớn. Phương pháp điều khiển đề xuất trong nghiên cứu này là thành lập các phương trình đại số Riccati mới cho mô hình điều khiển là hệ thống điện lớn đang xét rồi tiến hành tìm ra lời giải tối ưu cho những phương trình này.

Tác giả đã thiết kế bộ điều khiển PI - mờ để kiểm soát tần số phụ tải cho sáu vùng sử dụng các tua bin không hồi nhiệt trong nghiên cứu [3]. Hệ thống điện đa kết nối trong nghiên cứu này được tác giả mô hình hóa theo không gian trạng thái. Chiến lược điều khiển tác giả đưa ra được so sánh với các phương pháp điều khiển kinh điển như I, PI, PID.

Bộ điều khiển tần số phân cấp PID cho hệ thống điện liên kết bốn vùng trong nghiên cứu [4] cho những trường hợp khác nhau với điều kiện $\Delta P_{tie,i}$ bằng 0 ($i = 1, 2, 3, 4$). Với cấu trúc dùng bộ điều khiển PID để giảm thiểu ảnh hưởng của GRC

Phương pháp điều khiển trượt ở nghiên cứu [5] tối ưu H_{∞} tần số tải (SMLFC) cho hệ thống điện liên kết có thời gian trễ. Tác giả đã xây dựng một bề mặt trượt phản ứng nhanh và có hiệu suất cao từ đó thiết kế bộ điều khiển đảm bảo khả năng tiếp cận của mặt trượt trong một khoảng

thời gian hữu hạn. Nghiên cứu chưa xét đến những trường hợp có GDB, GRC và sự thay đổi các thông số trong quá trình hệ thống hoạt động.

Bộ điều khiển mờ được đề xuất trong nghiên cứu [3] nhằm tìm kiếm những thông số tối ưu cho bộ điều khiển PID để điều khiển tần số cho ba vùng.

Mục tiêu chính là loại bỏ hoặc làm suy biến tối đa tất cả các dao động tần số và công suất trên đường dây. Sai lệch tần số khoảng từ 0,01Hz đến 0,05Hz với thời gian xác lập là từ 4 đến 5 giây. Kết quả cho thấy bộ điều khiển hoạt động tốt khi so sánh với phương pháp PID cổ điển và phương pháp PSO.

Bộ điều khiển nơ ron trong nghiên cứu [6] liên tục điều chỉnh các thông số của bộ điều khiển PID theo sự thay đổi của các lỗi kiểm soát khu vực (ACE). Tín hiệu lỗi là đầu vào của mạng nơ ron, bộ điều khiển được huấn luyện sao cho thu được giá trị đầu ra mong muốn với mỗi giá trị đầu vào.

Theo nghiên cứu [7] nhóm tác giả thiết kế bộ điều khiển cho hệ thống điện hai vùng tua bin không hồi nhiệt có xét đến các yếu tố bất định để hệ thống phi tuyến như GDB (dải chết của máy điều tốc), GRC (giới hạn tốc độ của máy phát điện), tính trễ của thời gian trong hệ thống

Theo nghiên cứu [8] hệ thống mà nhóm tác giả xem xét là hệ thống điện ba vùng gió, nhiệt và hydro. Nhóm tác giả đưa ra phương pháp điều khiển là các bộ điều khiển nâng cao như PID, FOPID, FPID và FFOPID chúng được thiết kế dựa trên hàm mục tiêu ITAE.

Phương pháp điều khiển dùng trong nghiên cứu [9] là bộ điều khiển lai hPSO-PS cho đối tượng 2 vùng tua bin không hồi nhiệt mỗi vùng có hai máy phát.

Bộ điều khiển dự báo trước mô hình (MPC) để điều khiển hệ thống điện đa kết nối bốn vùng tám máy phát được nghiên cứu trong [4]. Tác giả có xét đến sự thay đổi của tải và các yếu tố bất định. Kết quả của nghiên cứu được so sánh với bộ điều khiển PID

Trong nghiên cứu [10] sử dụng thuật toán QOGWO để tối ưu các thông số bộ điều khiển PID dựa trên hàm mục tiêu ITAE.

Thuật toán COA được dùng trong nghiên cứu [11]. Đây là thuật toán dựa trên đặc tính sống của chim cuckoo. Bộ điều khiển dùng để kiểm soát tần số phụ tải cho hệ đa kết nối hai vùng không hồi nhiệt, hai vùng đa máy phát, ba vùng tua bin hydro nhiều máy phát có xét đến các yếu tố bất định như GDB, GRC.

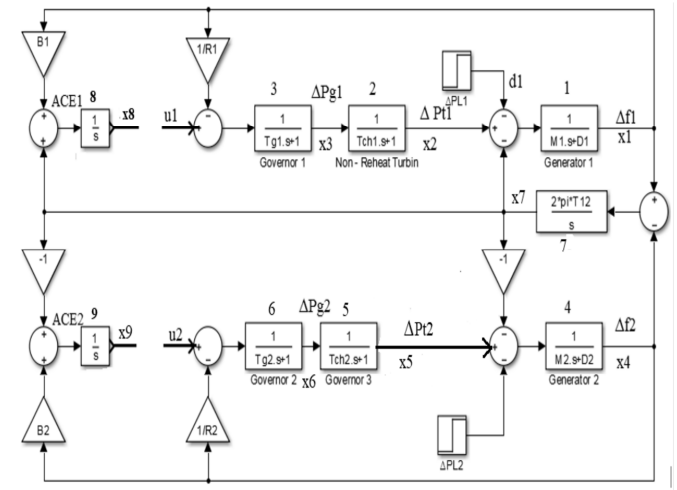
Trong nghiên cứu [12] đề xuất bộ điều khiển trượt T- SMC cho hệ thống điện đa kết nối hai vùng với các tua bin gió. Mô hình hệ thống được xây dựng theo mô hình không gian trạng thái.

Trong nghiên cứu [13] nghiên cứu bộ điều khiển quán tính ảo để ổn định tần số trong hệ thống điện đa kết nối hai vùng có nguồn cấp là năng lượng tái tạo gió và mặt trời. Bộ điều khiển được các tác giả đề xuất là bộ điều khiển vòng trong hệ thống nhằm ổn định tần số của hệ thống.

Trong báo cáo này, các tác giả trình bày về điều khiển thích nghi hàm Gauss sử dụng Lyapunov ổn định tần số cho hệ thống điện đa kết nối

2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG ĐIỆN ĐA KẾT NỐI HAI VÙNG

Hệ thống được xây dựng theo không gian trạng thái là hệ thống gồm hai vùng tua bin không hồi nhiệt. Sơ đồ khối của hệ thống được trình bày trên hình 1. Hệ thống điện đa kết nối này là hai vùng, mỗi vùng đều gồm máy phát tốc, tua bin không hồi nhiệt, máy phát và tải. Hệ thống điện đa kết nối là một hệ thống phức tạp với nhiều thông số và là hệ thống phi tuyến.



Hình 1. Mô hình hệ thống điện hai vùng sử dụng tua bin không hồi nhiệt [14]

Các biến trạng thái được đặt là:

$$\begin{aligned} x_1 = \Delta f_1 & \quad x_2 = \Delta P_{t1} & \quad x_3 = \Delta P_{g1} & \quad x_4 = \Delta f_2 & \quad x_5 = \Delta P_{t2} \\ x_6 = \Delta P_{g2} & \quad x_7 = \Delta P_{tie(1,2)} & \quad x_8 = \int ACE_1 dt & \quad x_9 = \int ACE_2 dt \end{aligned}$$

Các biến điều khiển được đặt là: u_1, u_2

Các biến nhiễu đầu vào: $d_1 = \Delta P_{L1} \quad d_2 = \Delta P_{L2}$

Các khối hàm truyền được đánh số từ 1 đến 9

Khối 1 ta có:

$$\dot{x}_1 = \frac{-D_1}{M_1} x_1 + \frac{1}{M_1} x_2 - \frac{1}{M_1} x_7 - \frac{d_1}{M_1} \quad (1)$$

Khối 2:

$$\dot{x}_2 = \frac{-1}{T_{ch1}} x_2 + \frac{1}{T_{ch1}} x_3 \quad (2)$$

Khối 3:

$$\dot{x}_3 = \frac{-1}{R_1 T_{g1}} x_1 - \frac{1}{T_{g1}} x_3 + \frac{1}{T_{g1}} u_1 \quad (3)$$

Khối 4:

$$\dot{x}_4 = \frac{-D_2}{M_2} x_4 + \frac{1}{M_2} x_5 + \frac{1}{M_2} x_7 - \frac{1}{M_2} d_2 \quad (4)$$

Khối 5:

$$\dot{x}_5 = \frac{-1}{T_{ch2}} x_5 + \frac{1}{T_{ch2}} x_6 \quad (5)$$

Khối 6:

$$\dot{x}_6 = \frac{-1}{R_2 T_{g2}} x_4 + \frac{-1}{T_{g2}} x_6 + \frac{1}{T_{g2}} u_2 \quad (6)$$

Khối 7:

$$\dot{x}_7 = 2\pi T_{12} x_1 - 2\pi T_{12} x_4 \quad (7)$$

Khối 8:

$$\dot{x}_8 = B_1 x_1 + x_7 \quad (8)$$

Khối 9:

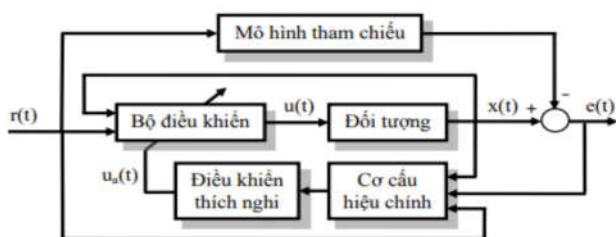
$$\dot{x}_9 = B_2 x_4 - x_7 \quad (9)$$

Ta có các ma trận trạng thái là:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{-D_1}{M_1} & \frac{1}{M_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{M_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-1}{T_{ch1}} & \frac{1}{T_{ch1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-1}{R_1 T_{g1}} & 0 & \frac{-1}{T_{g1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-D_2}{M_2} & \frac{1}{M_2} & 0 & \frac{1}{M_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{T_{ch2}} & \frac{1}{T_{ch2}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{R_2 T_{g2}} & 0 & \frac{-1}{T_{g2}} & 0 & 0 & 0 \\ 2\pi T_{12} & 0 & 0 & -2\pi T_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & B_2 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{T_{g1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_{g2}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3. BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI HÀM GAUSS SỬ DỤNG LYAPUNOV



Hình 2. Hệ thống điều khiển thích nghi trực tiếp

Phương pháp chính của điều khiển thích nghi là sử dụng mô hình chuẩn MRAS (Model Reference Adaptive System) đây là hệ thống thích nghi trực tiếp có mô tả như trên hình 2.

Để thiết kế hệ MRAS trong bài báo này sử dụng lý thuyết ổn định Lyapunov sử dụng hàm Gauss. Xét đối tượng phi tuyến như sau:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + B[u_t(t) + \lambda(x)] \quad (10)$$

A, B: Là ma trận trạng thái.

$$u_t(t) = u_0(t) + u_m(t) \quad (11)$$

$U_m(t)$: Là tín hiệu điều khiển thích nghi.

$\lambda(x)$: Là hàm nhiễu được trình bày như phương trình sau:

$$\lambda(x) = Q_\lambda(t)\phi(x) \quad (12)$$

$$\text{Chọn } \phi(x) \text{ theo kiểu Gauss: } \phi(x) = e^{-\|x-x_c\|^2/2\sigma^2} \quad (13)$$

Vậy phương trình không gian trạng thái của đối tượng là:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + B[u_0(t) + u_m(t) + Q_\lambda(t)\phi(x)] \quad (14)$$

Mô hình chuẩn của đối tượng được cho như sau:

$$\dot{x}_m(t) = A_m x_m(t) + B_m u_0(t) \quad (15)$$

Lúc đó bộ điều khiển thích nghi được thiết lập:

$$u_m(t) = Q_A^* x(t) + Q_B^* u_0(t) - \hat{Q}_\lambda^* \phi(x) \quad (16)$$

Ta có:

$$BQ_A^* = A_m - A$$

$$BQ_B^* = B_m - B \quad (17)$$

$$\hat{Q}_\lambda^* \phi(x) = Q_\lambda(t)\phi(x)$$

Như vậy $\dot{x}(t)$ sẽ bám theo $\dot{x}_m(t)$ khi t tiến đến ∞ .

Cần xây dựng luật điều khiển thích nghi với các thông số đối tượng chưa biết, nên ta phải ước lượng các thông số

điều khiển $Q_A^*, Q_B^*, \hat{Q}_\lambda^*$ trước khi thiết lập luật thích nghi. Các thông số ước lượng được cho như sau:

$$\begin{cases} \lim_{t \rightarrow +\infty} Q_A(t) = Q_A^* \\ \lim_{t \rightarrow +\infty} Q_B(t) = Q_B^* \\ \lim_{t \rightarrow +\infty} \hat{Q}_\lambda(t) = \hat{Q}_\lambda^* \end{cases} \quad (18)$$

Từ đó ta có luật điều khiển thích nghi với các thông số ước lượng được thiết lập như sau:

$$u_m(t) = Q_A(t)x(t) + Q_B(t)u_0(t) - \hat{Q}_\lambda(t)\phi(x) \quad (19)$$

Trong đó: $Q_A(t)$ - Là ước lượng của Q_A^*

$Q_B(t)$ - Là ước lượng của Q_B^*

$\hat{Q}_\lambda(t)$ - Là ước lượng của Q_λ^*

$$\text{Đặt } \begin{cases} \Delta Q_A(t) = Q_A(t) - Q_A^* \\ \Delta Q_B(t) = Q_B(t) - Q_B^* \\ \Delta Q_\lambda(t) = \hat{Q}_\lambda(t) - Q_\lambda^* \end{cases} \quad (20)$$

Vậy ta có:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= [A + BQ_A(t)]x(t) + [B + BQ_B(t)]u_0(t) \\ &\quad + B[-\hat{Q}_\lambda(t)f(x) + Q_\lambda(t)f(x)] \end{aligned} \quad (21)$$

Thay các giá trị:

$$\begin{cases} Q_A(t) = \Delta Q_A(t) + Q_A^* \\ Q_B(t) = \Delta Q_B(t) + Q_B^* \\ \hat{Q}_\lambda(t) = \Delta Q_\lambda(t) + Q_\lambda^* \end{cases} \quad (22)$$

Vào phương trình ta có:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= [A + BQ_A^*]x(t) + [B + BQ_B^*]u_0(t) \\ &\quad + B[\Delta Q_A(t)x(t) + \Delta Q_B(t)u_0(t) - \Delta Q_\lambda(t)f(x)] \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A_m x(t) + B_m u_0(t) \\ &\quad + B[\Delta Q_A(t)x(t) + \Delta Q_B(t)u_0(t) - \Delta Q_\lambda(t)f(x)] \end{aligned} \quad (24)$$

Ta có:

$$\begin{aligned} e(t) &= x(t) - x_m(t) \\ &= A_m e(t) + B[\Delta Q_A(t)x(t) + \Delta Q_B(t)u_0(t) - \Delta Q_\lambda(t)f(x)] \end{aligned} \quad (25)$$

$$\text{Mà } BQ_B^* = B_m - B \text{ suy ra } B = B_m(I + Q_B^*)^{-1} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} e(t) &= x(t) - x_m(t) \\ &= A_m e(t) + B_m(I + Q_B^*)^{-1}[\Delta Q_A(t)x(t) \\ &\quad + \Delta Q_B(t)u_0(t) - \Delta Q_\lambda(t)f(x)] \end{aligned} \quad (27)$$

Để thiết lập luật thích nghi ước lượng thông số điều khiển $K(t)$, nên chọn một hàm Lyapunov phụ thuộc vào $e(t)$ và $K(t)$ như sau:

$$\begin{aligned} V(t) &= e^T(t)Pe(t) + [\text{tr}(\Delta Q_A^T(t)(I + Q_B^*)^{-1}\Upsilon_A^{-1}\Delta Q_A(t)) \\ &\quad + \text{tr}(\Delta Q_B^T(t)(I + Q_B^*)^{-1}\Upsilon_B^{-1}\Delta Q_B(t)) \\ &\quad + \text{tr}(\Delta Q_\lambda^T(t)(I + Q_B^*)^{-1}\Upsilon_\lambda^{-1}\Delta Q_\lambda(t))] \end{aligned} \quad (28)$$

Trong đó:

$\Upsilon_A, \Upsilon_B, \Upsilon_C$: là hệ số khuếch đại dương

$P = P^T$: là ma trận đối xứng xác định dương thỏa mãn phương trình Lyapunov sau đây:

$$A_m^T P + P A_m = -M \quad (M = M^T > 0) \quad (29)$$

Vậy ta có đạo hàm của hàm Lyapunov được tính như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= e^T(t)A_m^T P e(t) + e^T(t)P A_m e(t) \\ &\quad + 2e^T(t)P B_m(I + Q_B^*)^{-1}[\Delta Q_A(t)x(t) \\ &\quad + \Delta Q_B(t)u_0(t) - \Delta Q_\lambda(t)f(x)] \\ &\quad + \text{tr}(2\Delta Q_A^T(t)(I + Q_B^*)^{-1}\Upsilon_A^{-1}\Delta \dot{Q}_A(t)) \\ &\quad + \text{tr}(2\Delta Q_B^T(t)(I + Q_B^*)^{-1}\Upsilon_B^{-1}\Delta \dot{Q}_B(t)) \\ &\quad + \text{tr}(2\Delta Q_\lambda^T(t)(I + Q_B^*)^{-1}\Upsilon_\lambda^{-1}\Delta \dot{Q}_\lambda(t)) \end{aligned} \quad (30)$$

Ta có kết quả sau:

$$\begin{aligned} &2e^T(t)P B_m(I + Q_B^*)^{-1}[\Delta Q_A(t)x(t) + \Delta Q_B(t)u_0(t) - \Delta Q_\lambda(t)f(x)] \\ &= \text{tr}(2e^T(t)P B_m(I + Q_B^*)^{-1}[\Delta Q_A(t)x(t) \\ &\quad + \Delta Q_B(t)u_0(t) - \Delta Q_\lambda(t)f(x)]) \end{aligned} \quad (31)$$

Vì vậy suy ra:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= e^T(t)[A_m^T P + P A_m]e(t) \\ &\quad + \text{tr}(2(I + Q_B^*)^{-1}\Delta Q_A(t)[P B_m e(t)x^T(t) + \Upsilon_A^{-1}\Delta \dot{Q}_A(t)]) \\ &\quad + \text{tr}(2(I + Q_B^*)^{-1}\Delta Q_B(t)[P B_m e(t)u_0^T(t) + \Upsilon_B^{-1}\Delta \dot{Q}_B(t)]) \\ &\quad + \text{tr}(2(I + Q_B^*)^{-1}\Delta Q_\lambda(t)[-P B_m e(t)\phi^T(x) + \Upsilon_\lambda^{-1}\Delta \dot{Q}_\lambda(t)]) \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= -e^T(t)M e(t) \\ &\quad + \text{tr}(2(I + Q_B^*)^{-1}\Delta Q_A(t)[P B_m e(t)x^T(t) + \Upsilon_A^{-1}\Delta \dot{Q}_A(t)]) \\ &\quad + \text{tr}(2(I + Q_B^*)^{-1}\Delta Q_B(t)[P B_m e(t)u_0^T(t) + \Upsilon_B^{-1}\Delta \dot{Q}_B(t)]) \\ &\quad + \text{tr}(2(I + Q_B^*)^{-1}\Delta Q_\lambda(t)[-P B_m e(t)\phi^T(x) + \Upsilon_\lambda^{-1}\Delta \dot{Q}_\lambda(t)]) \end{aligned} \quad (33)$$

Hệ thống ổn định khi đạo hàm của hàm Lyapunov phải âm chính vì vậy chọn như sau:

$$\begin{cases} P B_m e(t)x^T(t) + \Upsilon_A^{-1}\Delta \dot{Q}_A(t) = 0 \\ P B_m e(t)u_0^T(t) + \Upsilon_B^{-1}\Delta \dot{Q}_B(t) = 0 \\ -P B_m e(t)\phi^T(x) + \Upsilon_\lambda^{-1}\Delta \dot{Q}_\lambda(t) = 0 \end{cases} \quad (34)$$

Từ phương trình trên ta có:

$$\begin{cases} \Delta \dot{Q}_A(t) = -\Upsilon_A P B_m e(t)x^T(t) \\ \Delta \dot{Q}_B(t) = -\Upsilon_B P B_m e(t)u_0^T(t) \\ \Delta \dot{Q}_\lambda(t) = \Upsilon_\lambda P B_m e(t)\phi^T(x) \end{cases} \quad (35)$$

Theo (20) mà các tham số điều khiển $Q_A^*, Q_B^*, Q_\lambda^*$ là các hằng số có đạo hàm bằng 0. Nên bộ điều khiển thích nghi được thiết kế như sau:

$$\begin{cases} \dot{Q}_A(t) = -\Upsilon_A P B_m e(t)x^T(t) \\ \dot{Q}_B(t) = -\Upsilon_B P B_m e(t)u_0^T(t) \\ \dot{Q}_\lambda(t) = \Upsilon_\lambda P B_m e(t)\phi^T(x) \end{cases} \quad (36)$$

Bộ điều khiển thiết kế mong muốn $e(t) \rightarrow 0$ khi $t \rightarrow \infty$ (Theo bổ đề Barbalat chứng minh hệ thống ổn định tiệm cận với quỹ đạo hội tụ). Theo đó tính được các giá trị $Q_A(t), Q_B(t), Q_\lambda(t)$ với thành phần phản hồi bậc nhất như sau:

$$\begin{cases} Q_A(t) = -(\Upsilon_A PB_m e(t)x^T(t) + \mu_A Q_A) \\ Q_B(t) = -(\Upsilon_B PB_m e(t)u_0^T(t) + \mu_B Q_B) \\ Q_\lambda(t) = \Upsilon_\lambda PB_m e(t)\phi^T(x) + \mu_\lambda Q_\lambda \end{cases} \quad (37)$$

4. KẾT QUẢ

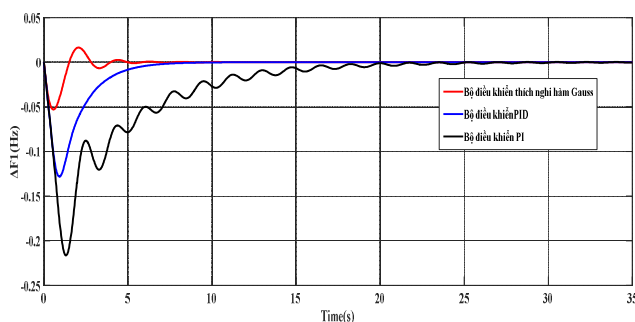
Phần này trình bày về kết quả mô phỏng điều khiển tần số hệ thống điện đa kết nối hai vùng tua bin không hồi nhiệt. Kết quả của bộ điều khiển thích nghi hàm Gauss được so sánh với bộ điều khiển PI, PID để chứng tỏ được bộ điều khiển thiết kế có chất lượng điều khiển tốt hơn.

Các thông số của hệ thống như trong bảng 1.

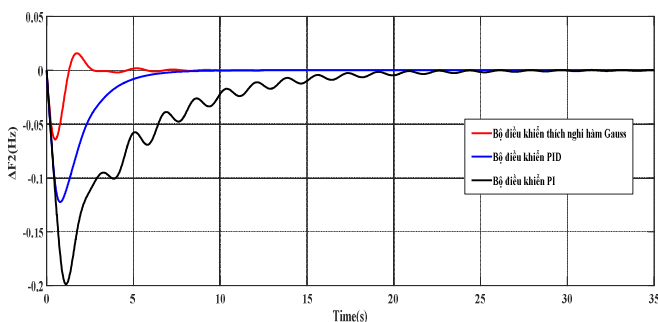
Bảng 1. Thông số hệ thống điện hai vùng [14]

Vùng 1	Giá trị	Vùng 2	Giá trị
M_1 (p.u.s)	0,167	M_2 (p.u.s)	0,167
D_1 (p.u./Hz)	0,008	D_2 (p.u./Hz)	0,008
T_{ch1} (s)	0,4	T_{ch2} (s)	0,4
T_{g1} (s)	0,08	T_{g2} (s)	0,08
R_1 (Hz/p.u.)	2,4	R_2 (Hz/p.u.)	2,4
B_1 (p.u./Hz)	0,425	B_2 (p.u./Hz)	0,425
T_1 (p.u./rad.)	0,07	T_2 (p.u./rad.)	0,07

Trường hợp 1: $\Delta PL_1 = 0,03$ (pu), $\Delta PL_2 = 0,04$ (pu) (dạng hàm step)

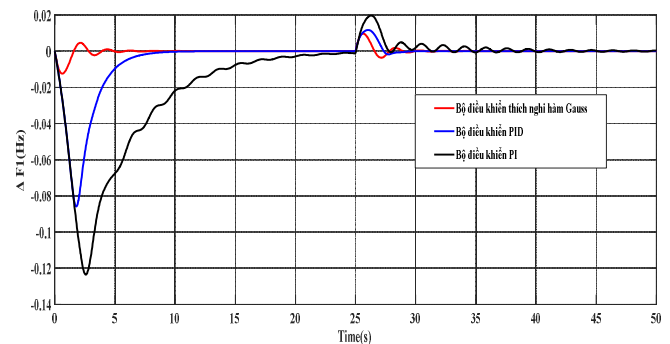


Hình 3. Đáp ứng sai số tần số vùng 1 trong trường hợp 1

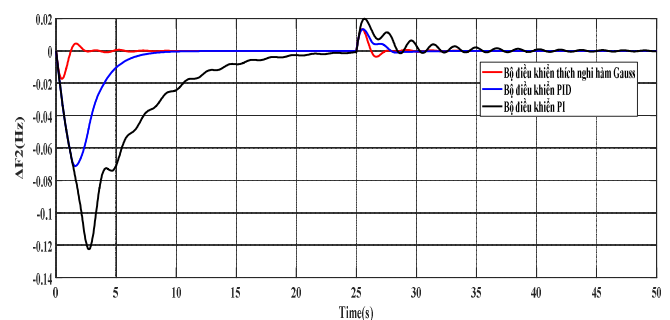


Hình 4. Đáp ứng sai số tần số vùng 2 trong trường hợp 1

Trường hợp 2: $\Delta PL_1 = 0,03$ (pu), $\Delta PL_2 = 0,05$ (pu) (dạng hàm random với thời gian lấy mẫu là 15s)



Hình 5. Đáp ứng sai số tần số vùng 1 trong trường hợp 2



Hình 6. Đáp ứng sai số tần số vùng 2 trong trường hợp 2

Một tiêu chuẩn đánh giá chất lượng điều khiển là ITAE được tính như sau:

$$ITAE = \int_0^{t_{sim}} (|\Delta F_1| + |\Delta F_2| + |\Delta P_{tie}|) \cdot t \cdot dt$$

Với kết quả ở bảng 2 cho thấy bộ điều khiển đề xuất có tiêu chuẩn điều khiển ITAE và thời gian xác lập là thấp nhất. Điều này chứng tỏ được bộ điều khiển thích nghi hàm Gauss dùng tiêu chuẩn ổn định Lyapunov tốt hơn bộ điều khiển PI và PID.

Bảng 2. Bảng so sánh các chỉ tiêu chất lượng điều khiển

Phương pháp điều khiển	Trường hợp 1			Trường hợp 2		
	ITAE	Thời gian xác lập (s)		ITAE	Thời gian xác lập (s)	
		ΔF_1	ΔF_2		ΔF_1	ΔF_2
Bộ điều khiển PI	9,2	19,3	20,5	11,5	32,5	33,7
Bộ điều khiển PID	1,1	6,8	6,8	2,2	27,8	28,5
Bộ điều khiển thích nghi hàm Gauss	0,2	5,4	5,5	0,9	12,5	14,1

5. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày về bài toán điều khiển thích nghi hàm Gauss theo tiêu chuẩn ổn định Lyapunov cho hệ thống điện đa kết nối hai vùng là tua bin không hồi nhiệt. Bộ điều khiển luôn mong muốn đạt được kết quả sao cho sai số tần số hai vùng tiến về 0. Các kết quả mô phỏng của bộ điều khiển thích nghi hàm Gauss cũng được so sánh với

bộ điều khiển PID cho thấy kết quả tốt hơn so với bộ điều khiển PID.

Hướng phát triển tiếp theo của nghiên cứu là thiết kế bộ điều khiển nhằm điều chỉnh những thông số thích nghi cho hệ thống nhiều hơn hai vùng có xem xét đến các yếu tố bất định và năng lượng tái tạo trong hệ thống điện đa kết nối.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dang Tien Trung, 2019. *Research and application of modern measurement and control solutions to improve the quality of frequency stability in small and medium hydropower plants*. Engineering doctoral thesis, Military Technical Academy
- [2]. Vu Duy Thuan, 2017. *Study on stabilization and optimization of a largescale system applying for power systems*. Engineering doctoral thesis, Vietnam Academy of Science and Technology.
- [3]. Nour EL Yakine Kouba, Mohamed Menaa, Mourad Hasni, Mohamed Boudour, 2015. *Load Frequency Control in Multi-Area Power System Based on Fuzzy Logic-PID Controller*. IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE): 1-6.
- [4]. Thongchart Kerdphol, Fathin Saifur Rahman, Yasunori Mitani, 2018. *Virtual Inertia Control Application to Enhance Frequency Stability of Interconnected Power Systems with High Renewable Energy Penetration*. Energies 11(4).
- [5]. Yonghui Sun, Yingxuan Wang, Zhinong Wei, Guoqiang Sun, Xiaopeng Wu, 2018. *Robust H1 Load Frequency Control of Multi-area Power System with Time Delay: A Sliding Mode Control Approach*. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 5(2): 610-617
- [6]. V. Shanmuga Sundaram, T. Jayabarathi, 2011. *An artificial neural network approach of load frequency control in a multi area interconnected power system*. Elixir Elec. Engg, 38 :4394-4397.
- [7]. M. Mollayousefi Zadeh, S.M.T Bathaee, 2018. *Load Frequency Control in Interconnected Power System by Nonlinear Term and Uncertainty Considerations by Using of Harmony Search Optimization Algorithm and Fuzzy-Neural Network*. 26th Iranian Conference on Electrical Engineering: 1094-1100.
- [8]. A. M. Abdel-Ghany, Helmy El Zoghby, Hesham Khalaf Shaker, Mohiy E. Bahgat, 2019. *Advanced Control Techniques for an Interconnected Multi Area Power System for Load Frequency Control*. 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), Tanta University, Egypt: 710-715
- [9]. G.T. Chandra Sekhar, Rabindra Kumar Sahu, Sidhartha Panda, 2015. *A novel hybrid PSO-PS optimized fuzzy PI controller for AGC in Multi Area Interconnected Power System*. Electrical Power and Energy Systems 64: 880-893.
- [10]. Guha Dipayan, Roy Provas, Banerjee Subrata, 2016. *Load Frequency Control of Large Scale Power System using Quasi-Oppositional Grey Wolf Optimization Algorithm*. Engineering Science and Technology, an International Journal, 19(4): 1693-1713.
- [11]. Meysam Gheisarnejad, Mohammad Hassan Khooban, 2019. *Design an optimal fuzzy fractional proportional integral derivative controller with derivative filter for load frequency control in power systems*. Transactions of the Institute of Measurement and Control 41(9).

[12]. Dianwei Qian, Guoliang Fan, 2018. *Neural-Network-Based Terminal Sliding Mode Control for Frequency Stabilization of Renewable Power Systems*. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 5(3): 706 -717.

[13]. A. B. Kunya, M. Argin, S. Kucuksari, 2019. *Optimal Load Frequency Control of Multi Area Power System Considering Incremental Control Action*. IEEE Texas Power and Energy conference (TPEC): 1-6

[14]. SanJay Kumar Sinha, 2010. *Automatic Generation Control in Regulated and Restructured Power System*. Doctor thesis, Department of Electrical Engineering Indian Institute of Technology Roorkee.

AUTHORS INFORMATION

Doan Diem Vuong¹, Nguyen Ngoc Khoat¹, Thai Quang Vinh²

¹Faculty of Control and Automation Engineering, Electric Power University

²Institute of Information Technology, Vietnam Academy of Science and Technology