

NGHIÊN CỨU SO SÁNH MỘT SỐ BỘ ĐIỀU KHIỂN ỨNG DỤNG MẠNG NƠON NHÂN TẠO CHO BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN TẦN SỐ HỆ THỐNG ĐIỆN

A COMPARATIVE STUDY ON CONTROLLERS APPLYING TYPICAL NEURAL
NETWORKS TO LOAD-FREQUENCY CONTROL OF A POWER SYSTEM

**Nguyễn Ngọc Khoát¹, Vũ Duy Thuận¹, Trịnh Nguyễn Việt Tâm², Dương Văn Lưu¹,
Phùng Thị Ngát¹**

¹Trường Đại học Điện lực, ²Tổng công ty Điện lực TP Hồ Chí Minh

Ngày nhận bài: 30/10/2018, Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2018, Phản biện: TS. Nguyễn Đăng Toàn

Tóm tắt:

Điều khiển tần số nhằm duy trì tần số của hệ thống điện ở giá trị danh định (50 Hz hoặc 60 Hz) khi phụ tải của hệ thống điện thay đổi liên tục là vấn đề quan trọng hàng đầu trong việc truyền tải và sử dụng điện năng. Với ưu điểm nổi bật về sự đơn giản, bộ điều khiển PID truyền thống được áp dụng trước tiên để giải quyết bài toán này. Tuy nhiên, đối với đối tượng là hệ thống điện lớn phức tạp thì bộ điều khiển PID chưa đạt được hiệu quả mong muốn. Bài báo này đề xuất giải pháp sử dụng các bộ điều khiển mạng nơon nhân tạo để thiết kế bộ điều khiển tần số. Nghiên cứu đã đưa ra và so sánh ba bộ điều khiển mạng nơon nhân tạo tiêu biểu cho bài toán điều khiển tần số lưới điện: NARMA-L2, Model Reference Adaptive Controller (MRAC) và Model Predictive Controller (MPC). Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển mạng nơon NARMA-L2 cho chất lượng đầu ra của hệ thống là tốt nhất và phù hợp với bài toán điều khiển tần số của một lưới điện lớn.

Từ khóa:

Điều khiển tần số - phụ tải, bộ điều khiển tỉ lệ - tích phân - vi phân, mạng nơon nhân tạo, NARMA-L2, MRAC, MPC.

Abstract:

Load frequency control (LFC) aiming to maintain system frequency at a nominal value (50Hz or 60Hz) against continuous load changes is one of the most important problems in electric power transmission and operation. Due to the simplicity, classical PID controllers have been used at first to solve this issue. However, for complicated power networks, the PID controllers may not achieve the desired efficiency. In order to overcome this problem, the article proposes using artificial neural networks (ANN) to the LFC of an interconnected power system. This study presents three typical LFC controllers based on ANN: NARMA-L2, Model Reference Adaptive Controller (MRAC) and Model Predictive Controller (MPC). Simulation results reveal that NARMA-L2 provides the best control system output and it is highly suitable for the LFC of a large-scale power system.

Keywords:

Load-frequency control, PID, artificial neural networks, NARMA-L2, MRAC, MPC.

1. GIỚI THIỆU

Một hệ thống điện lớn và phức tạp thường bao gồm nhiều hệ thống điện con, chúng còn được gọi là vùng phát điện hay vùng điều khiển. Các vùng này liên kết với nhau bởi các đường dây truyền tải (tie-line) để trao đổi công suất. Trong quá trình vận hành hệ thống điện đa kết nối trên, phụ tải tại bất kỳ khu vực nào cũng có thể thay đổi ngẫu nhiên và liên tục tùy theo nhu cầu của người dùng. Do mối quan hệ trực tiếp giữa công suất tiêu thụ và tốc độ đồng bộ của máy phát, khi công suất thay đổi sẽ dẫn đến tốc độ quay của máy phát thay đổi theo. Do đó tần số trong hệ thống sẽ lệch khỏi giá trị danh định (50 Hz hoặc 60 Hz). Tần số hệ thống thay đổi sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến hệ thống điện và các thiết bị điện đang làm việc do phụ thuộc vào tần số của lưới điện. Việc xây dựng các bộ điều khiển để điều khiển tần số lưới điện trở nên vô cùng quan trọng trong vận hành ổn định hệ thống điện. Vai trò chính của các bộ điều khiển này là duy trì sự ổn định tần số lưới ở giá trị danh định và phân bổ công suất trao đổi trên đường dây để đảm bảo hệ thống điện hoạt động tối ưu và kinh tế.

Để đạt được các mục tiêu điều khiển ở trên, điều khiển tần số trong một hệ thống kết nối được thực hiện thông qua ba cấp điều khiển: điều khiển cấp I (sơ cấp), điều khiển cấp II (thứ cấp) và điều khiển cấp III. Điều khiển cấp I được thực hiện do các bộ điều tốc của tuabin, cho phép thay đổi lưu lượng nước hoặc hơi vào tuabin tỷ lệ với sự biến đổi của tần số. Mục tiêu chính của điều khiển cấp I là nhanh chóng kiểm soát sự mất cân bằng giữa công suất phát và công suất tải nhưng vẫn còn tồn

tại một độ lệch tần số. Điều khiển cấp II về cơ bản được sử dụng để tự động phục hồi tần số và phân bổ lại công suất trao đổi giữa các khu vực khác nhau được kết nối với nhau (tức là $\Delta f = 0$, $\Delta P_{tie} = 0$). Bằng việc sử dụng sự kết hợp cả độ lệch tần số và sai lệch công suất trao đổi trên đường dây liên lạc, cụ thể là các sai lệch tín hiệu điều khiển khu vực (ACE) làm tín hiệu đầu vào cho bộ điều khiển cấp II, kết quả là, tần số được khôi phục về giá trị danh định. Điều khiển cấp III là điều chỉnh máy phát có xét đến tính kinh tế và trao lưu công suất trên đường dây bằng sự can thiệp của kỹ sư điều độ hệ thống điện. Ngoài ra còn các hệ thống role bảo vệ tần số cao, tần số thấp được đặt tại các nhà máy điện để đảm bảo hệ thống điện vận hành một cách tin cậy.

Trong thực tế, có hai loại bộ điều khiển là: các bộ điều khiển truyền thống và các bộ điều khiển thông minh. Các bộ điều khiển truyền thống gồm các bộ điều khiển như: tích phân (I), tỷ lệ - tích phân (PI) hoặc tỷ lệ - tích phân - vi phân (PID) [1] được sử dụng để làm giảm độ lệch của tần số và độ lệch công suất trao đổi trên đường dây liên kết. Tuy nhiên, khi áp dụng các bộ điều khiển này lại cho chất lượng đầu ra của hệ thống chưa được tốt, chẳng hạn như độ quá điều chỉnh lớn và thời gian xác lập dài, gây ảnh hưởng đến hoạt động và độ ổn định của hệ thống. Để khắc phục những hạn chế này, các bộ điều khiển tần số thông minh ứng dụng logic mờ (Fuzzy logic - FL), và mạng nơron nhân tạo (Artificial Neural Network - ANN) đã được nghiên cứu rộng rãi trong những năm gần đây [2-8]. Bằng cách sử dụng các bộ điều khiển thông minh mà

chất lượng đầu ra của hệ thống đã được cải thiện đáng kể và đạt được các yêu cầu mong muốn.

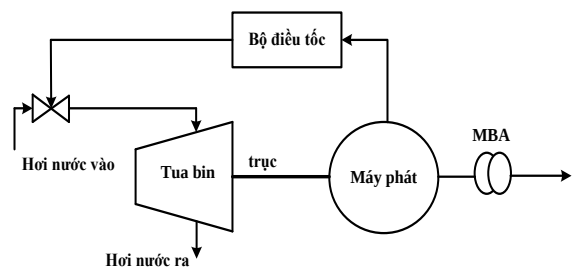
Bài báo này sẽ đưa ra một nghiên cứu so sánh hiệu quả của các bộ điều khiển khác nhau trong việc điều khiển tần số lưới điện. Ngoài bộ điều khiển truyền thống PID, ba bộ điều khiển điển hình sử dụng kiến trúc mạng nơron nhân tạo, gồm bộ điều khiển NARMA-L2, bộ điều khiển thích nghi bám theo mô hình mẫu (Model Reference Adaptive Controller - MRAC) và mô hình điều khiển dự báo (Model Predictive Controller -MPC) cũng sẽ được khảo sát trong bài báo này. Một mô hình hệ thống điện liên kết gồm ba khu vực được xây dựng như một nghiên cứu điển hình để áp dụng các bộ điều khiển trên. Từ việc đánh giá các kết quả mô phỏng thu được khi sử dụng phần mềm MATLAB/Simulink, các bộ điều khiển mạng nơron nhân tạo đã được chọn làm giải pháp hiệu quả cho vấn đề điều khiển tần số lưới điện.

Cấu trúc các phần sau của bài báo như sau: phần 2 trình bày về mô hình hệ thống điện đa khu vực trong bài toán điều khiển tần số lưới điện; phần 3 phân tích ứng dụng của các bộ điều khiển khác nhau trong việc điều khiển tần số lưới điện; phần 4 nêu các kết quả mô phỏng kiểm nghiệm cho các bộ điều khiển kiểm soát tần số khác nhau; những kết luận về nghiên cứu được trình bày trong phần 5.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH HỆ THỐNG ĐIỆN TRONG BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN TẦN SỐ - PHỤ TẢI

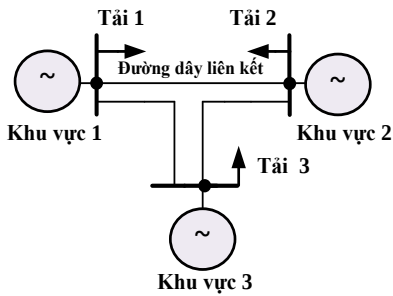
Với mục đích phân tích và so sánh hiệu

quả của các bộ điều khiển tần số-phụ tải lưới điện, trong bài báo này chúng ta xét đến mô hình lưới điện điển hình ba khu vực sử dụng các loại tuabin như sau: tuabin hơi không hồi nhiệt, tuabin hơi hồi nhiệt và tuabin thủy lực. Sơ đồ khối đơn giản biểu diễn nguyên lý của nhà máy điện được thể hiện trong hình 1. Bộ điều tốc kiểm soát lưu lượng hơi vào tuabin trong hệ thống điện. Khi phụ tải thay đổi tăng hoặc giảm thì sai lệch giữa công suất phát ra và công suất tiêu thụ được phát hiện đưa đến bộ điều tốc. Tùy thuộc vào giá trị sai lệch này, bộ điều tốc thay đổi góc mở của van đầu vào, qua đó điều chỉnh lưu lượng của hơi nước đi vào tuabin. Kết quả điều khiển là tốc độ quay đồng bộ của máy phát sẽ được ổn định trong một dải cho phép dẫn đến tần số lưới điện sẽ được điều khiển xung quanh giá trị danh định.



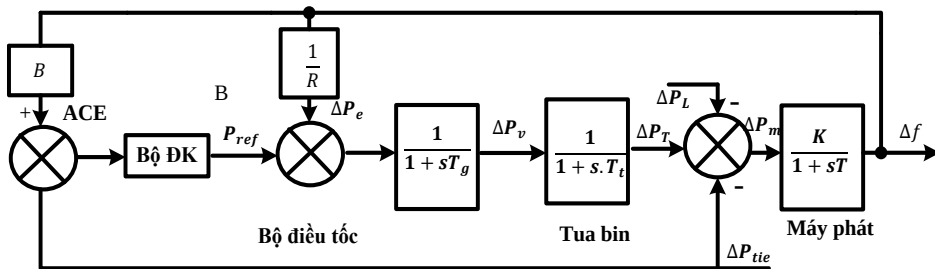
Hình 1. Sơ đồ khối biểu diễn nhà máy nhiệt điện

Hình 2 cho thấy cấu trúc của hệ thống điện liên kết ba khu vực điều khiển, mỗi khu vực điều khiển được kết nối với các khu vực khác để trao đổi công suất. Do đó phụ tải ở bất kỳ khu vực nào thay đổi cũng ảnh hưởng đến tần số cũng như độ lệch công suất trao đổi trên đường dây liên kết (tie-line).

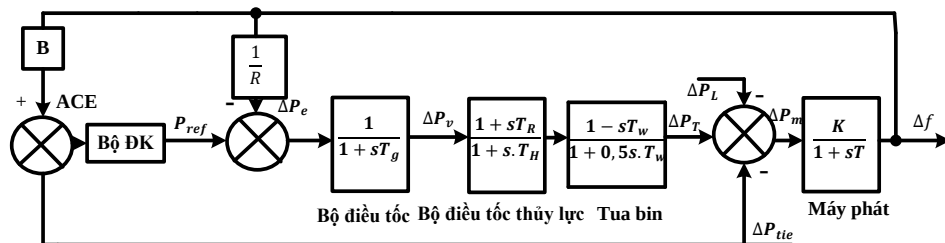


Hình 2. Mô hình hệ thống điện 3 khu vực liên kết

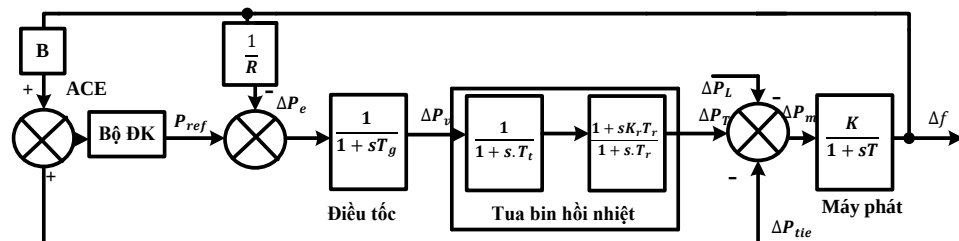
Như đã đề cập trước đó, mỗi khu vực điều khiển về cơ bản được tạo thành bởi một bộ điều khiển, một bộ điều tốc, một tuabin - máy phát điện và phụ tải. Cấu trúc của nhà máy nhiệt điện tuabin không hồi nhiệt đơn giản được trình bày trong hình 3 bên dưới. Đầu vào của bộ điều khiển là tín hiệu sai lệch ACE và đầu ra của bộ điều khiển là tín hiệu thay đổi công suất P_{ref} [9-12].



Hình 3. Cấu trúc của một vùng sử dụng tuabin không hồi nhiệt



Hình 4. Cấu trúc một vùng sử dụng tuabin thủy lực



Hình 5. Cấu trúc của một vùng dùng tuabin hồi nhiệt

Cấu trúc của nhà máy thủy điện được thể hiện trong hình 4 [9-12].

Bên cạnh đó, cấu trúc của nhà máy nhiệt điện sử dụng các tuabin hồi nhiệt như hình 5 [9-12].

Trong các mô hình này, bộ điều tốc được sử dụng để phát hiện tần số thay đổi gây ra bởi sự thay đổi của phụ tải và đưa tần số về đúng giá trị bằng cách thay đổi độ mở của van điều khiển lưu lượng hơi hoặc

nước vào tuabin. Khi phụ tải thay đổi, một phần của thay đổi sẽ được bù bằng điều chỉnh van và một phần của thay đổi được biểu diễn dưới dạng độ lệch tần số. Mục tiêu của LFC là điều chỉnh độ lệch tần số khi công suất tải hoạt động khác nhau. Do đó, bộ điều tốc được sử dụng để điều chỉnh các vị trí van sao cho máy phát điện phát ra công suất phù hợp với công suất tải thay vì dẫn đến độ lệch tần số. Khi tải thay đổi bộ điều tốc sẽ phát hiện sự khác biệt giữa công suất tham chiếu (P_{ref}) và các thay đổi về tần số khu vực (Δf). Sự thay đổi công suất điện (ΔP_e) được đưa ra làm đầu vào cho bộ điều tốc. Đầu ra của bộ điều chỉnh tốc độ điều khiển lưu lượng hơi hoặc nước vào tuabin bằng cách thay đổi vị trí van (ΔP_v). Hàm truyền đạt của bộ điều tốc ở chế độ xác lập được đưa ra như sau [9-12]:

$$G_{dt}(s) = \frac{\Delta P_v(s)}{\Delta P_e(s)} = \frac{1}{1 + s.T_g} \quad (1)$$

Trong đó $T_g(s)$ là hằng số thời gian đặc trưng cho bộ điều tốc.

Tuabin trong nhà máy điện dùng để biến đổi năng lượng từ hơi hoặc nước thành công suất cơ (ΔP_T) để kéo máy phát điện. Hàm truyền đạt của tuabin hơi không hồi nhiệt, tuabin hơi hồi nhiệt và tuabin thủy lực lần lượt được viết như sau [9-12]:

$$G_{T_non_reheat}(s) = \frac{\Delta P_T(s)}{\Delta P_v(s)} = \frac{1}{1 + s.T_t} \quad (2)$$

$$G_{T_reheat}(s) = \frac{1}{(1 + s.T_t)} \cdot \frac{1 + s.K_r.T_r}{(1 + s.T_r)} \quad (3)$$

$$G_{T_hydro} = \frac{\Delta P_T}{\Delta P_v} = \frac{1 - s.T_W}{1 + 0.5.s.T_W} \quad (4)$$

Trong đó $T_t(s)$ là hằng số thời gian đặc trưng cho tuabin hơi. $T_W(s)$ là hằng số thời gian đặc trưng cho tuabin thủy lực.

Một máy phát điện chuyển đổi năng lượng cơ nhận được từ tuabin thành năng lượng điện. Khi phụ tải thay đổi, công suất cơ từ tuabin sẽ không còn cân bằng với công suất điện được tạo ra bởi máy phát điện. Do đó công suất cơ cung cấp cho máy phát điện phải được tăng lên để đáp ứng sự mất cân bằng của $\Delta P_G(s) - \Delta P_L(s)$, được gọi là $\Delta P_m(s)$. Do đó, hàm truyền đạt của máy phát có nhiều tải (ΔP_L) được biểu diễn trong phương trình (5) như sau [9-12]:

$$G_{MF}(s) = \frac{\Delta f(s)}{\Delta P_m(s)} = \frac{K}{1 + s.T} \quad (5)$$

Trong đó K (Hz/pu.MW), và $T(s)$ là hằng số và hệ số thời gian đặc trưng cho máy phát điện.

Công suất đường dây từ khu vực 1 đến khu vực 2 được tính như sau [9]:

$$\Delta P_{tie12} = \frac{|V_1||V_2|}{X_{12}} \cdot \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (6)$$

Trong đó δ_1 và δ_2 là các góc pha của điện áp cuối V_1 và V_2 tương ứng.

Sai lệch công suất trao đổi đường dây từ khu vực 1 đến khu vực 2 có thể được biểu thị bằng:

$$\Delta P_{tie12} = T_{12}(\delta_1 - \delta_2) \quad (7)$$

Trong đó:

$$T_{12} = \frac{|V_1||V_2|}{X_{12}} \cdot \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (\text{MW/rad}) \quad \text{là}$$

hệ số đồng bộ công suất. Tần số thay đổi có liên quan đến độ lệch góc pha được biểu thị như sau:

$$\begin{aligned}\Delta\delta_1 &= 2\pi \int (\Delta f_1) dt \quad \text{và} \\ \Delta\delta_2 &= 2\pi \int (\Delta f_2) dt\end{aligned}\quad (8)$$

Do đó, phương trình (5) trở thành

$$\Delta P_{tie12}(s) = 2\pi T_{12} \int (\Delta f_1 - \Delta f_2) dt \quad (9)$$

Biến đổi Laplace phương trình (9), ta có:

$$\Delta P_{tie12}(s) = \frac{2\pi T_{12}}{s} \cdot (\Delta f_1(s) - \Delta f_2(s)) \quad (10)$$

Trong một hệ thống điện liên kết với nhau, có rất nhiều khu vực điều khiển được kết nối với nhau thông qua các đường dây truyền tải. Do đó sai lệch công suất trao đổi trên đường dây liên lạc được thể hiện tổng quát như sau:

$$\Delta P_{tiei,j}(s) = \frac{2\pi T_{ij}}{s} \cdot (\Delta f_i(s) - \Delta f_j(s)) \quad (11)$$

Từ hình 3 ta biểu diễn độ lệch tần số trong miền Laplace qua các phương trình sau:

$$\Delta f = \frac{K}{1+sT} \cdot \Delta P_m(s) \quad (12)$$

$$\begin{aligned}&= \frac{K}{1+sT} \cdot (\Delta P_T(s) - \Delta P_L(s) - \Delta P_{tie}(s)) \\ \Delta P_T(s) &= \frac{1}{1+sT_t} \cdot \Delta P_V(s)\end{aligned}\quad (13)$$

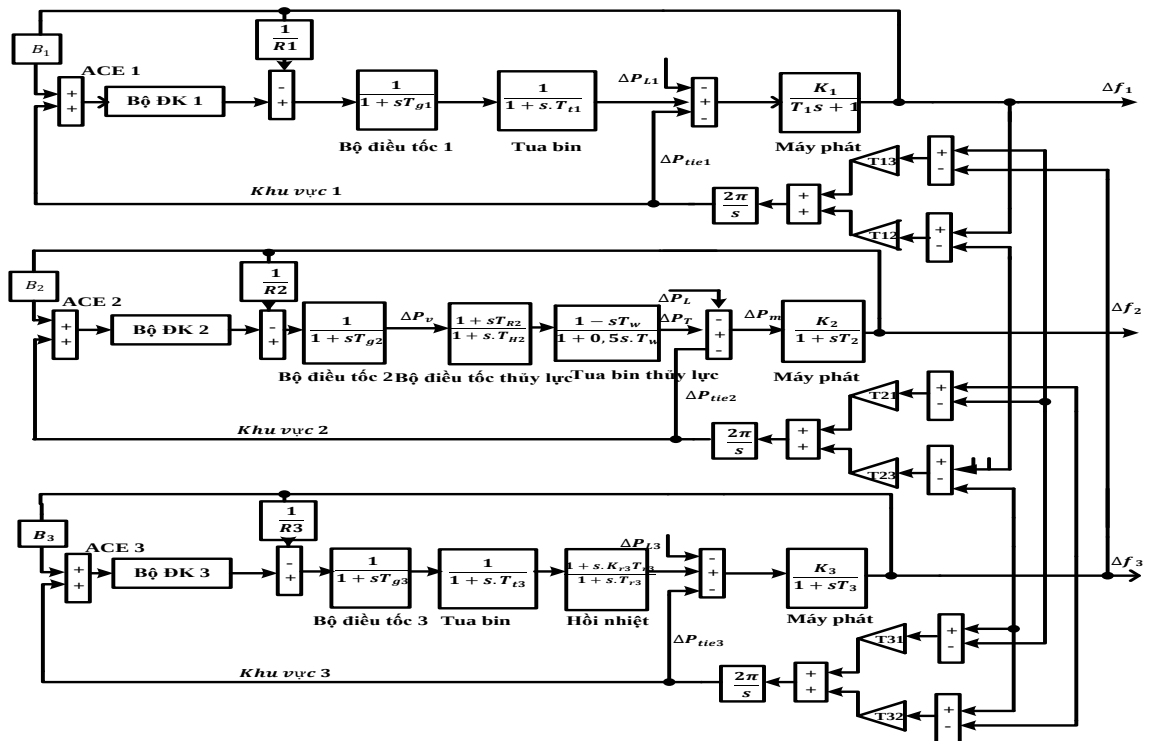
$$\Delta P_V(s) = \frac{1}{1+sT_g} \cdot \Delta P_e(s) \quad (14)$$

$$= \frac{1}{1+sT_g} \cdot \left(\Delta P_{ref}(s) - \frac{1}{R} \Delta f(s) \right)$$

$$ACE(s) = B \Delta f + \Delta P_{tie}(s) \quad (15)$$

$$\Delta P_{tie}(s) = \frac{2\pi T_{1j}}{s} \cdot (\Delta f_1(s) - \Delta f_j(s)) \quad (16)$$

Mô hình hệ thống điện ba khu vực sử dụng tuabin không hồi nhiệt, tuabin hồi nhiệt và tuabin nước được thể hiện như trong hình 6.



Hình 6. Mô hình hệ thống điện ba khu vực sử dụng tuabin không hồi nhiệt, tuabin thủy lực và tuabin hồi nhiệt

Phần tiếp theo của bài báo này sẽ trình bày ứng dụng của các bộ điều khiển khác nhau, cụ thể là các bộ điều khiển thông thường kiểu PID và bộ điều khiển thông minh ứng dụng mạng nơron. Cuối cùng, kết quả mô phỏng sẽ được đưa ra trong 2 phần sau để đánh giá, so sánh và nhận xét nhằm chọn bộ điều khiển hiệu quả nhất để áp dụng cho bài toán ổn định tần số hệ thống điện.

3. ỨNG DỤNG CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN THÔNG THƯỜNG VÀ ĐIỀU KHIỂN MẠNG NƠON NHÂN TẠO VÀO BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN TẦN SỐ

3.1. Bộ điều khiển truyền thống (PID)

Bộ điều khiển PID có cấu trúc ghép song song của khâu tỉ lệ (P), tích phân (I) và vi phân (D). Tín hiệu ra của bộ điều khiển PID là tổng tín hiệu ra của ba khâu thành phần.

Tín hiệu điều khiển lấy ra từ bộ điều khiển PID có dạng:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (17)$$

Trong đó: K_p là hệ số khuếch đại; K_I là hệ số tích phân; K_D là hệ số vi phân

Tín hiệu đầu ra này được coi như tín hiệu điều khiển cho bộ điều tốc để đóng mở van cấp hơi hay nước cho tuabin. Vấn đề quan trọng nhất trong sử dụng khâu điều chỉnh PID là ta cần xác định các hệ số K_p , K_I và K_D để bộ điều khiển PID đạt được kết quả điều khiển mong muốn.

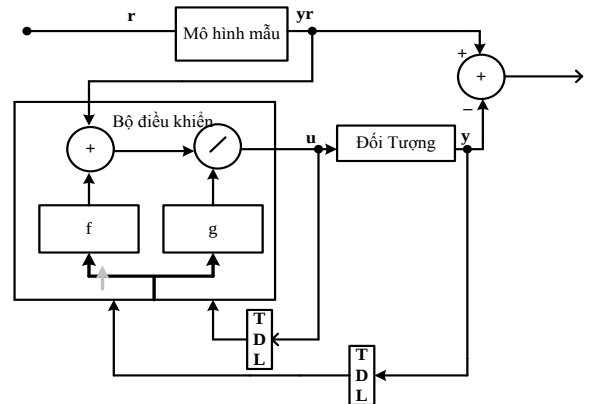
3.2. Các bộ điều khiển mạng nơron nhân tạo

Mạng nơron nhân tạo (artificial neural network-ANN) là mô hình xử lý thông tin

được mô phỏng dựa trên hoạt động của hệ thần kinh của sinh vật, bao gồm số lượng lớn các nơron được gắn kết để xử lý thông tin. ANN giống như một bộ não con người, được học bởi kinh nghiệm (thông qua huấn luyện), có khả năng lưu giữ những kinh nghiệm hiểu biết (tri thức) và sử dụng những tri thức đó trong việc dự đoán các dữ liệu chưa biết.

3.2.1. Mô hình NARMA-L2 Controller

Sơ đồ mô tả nguyên lý của bộ điều khiển NARMA-L2 thể hiện trên hình 7. Bộ điều khiển NARMA-L2 bao gồm mô hình mẫu (mô hình tham chiếu) đưa ra các tín hiệu điều khiển và tín hiệu đặt. Nó được huấn luyện thích nghi để buộc đầu ra của hệ đối tượng (hệ thống điện) bám sát với đầu ra của mô hình tham chiếu trước những thay đổi về tần số, công suất đường dây và tải biến thiên.



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý của bộ điều khiển NARMA-L2

Để phân tích nguyên lý làm việc, ta xét một mô hình tiêu chuẩn để mô tả hệ thống phi tuyến rời rạc [9]:

$$y(k+d) = N[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n-1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-n+1)] \quad (18)$$

Trong đó $u(k)$ là dữ liệu vào hệ thống, và

$y(k)$ là dữ liệu ra hệ thống. Theo nguyên lý làm việc của kiến trúc NARMA-L2, phương thức nhận dạng đối tượng điều khiển là huấn luyện mạng nơron để xấp xỉ hàm phi tuyến N [12]:

$$y(k) = G[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] \quad (19)$$

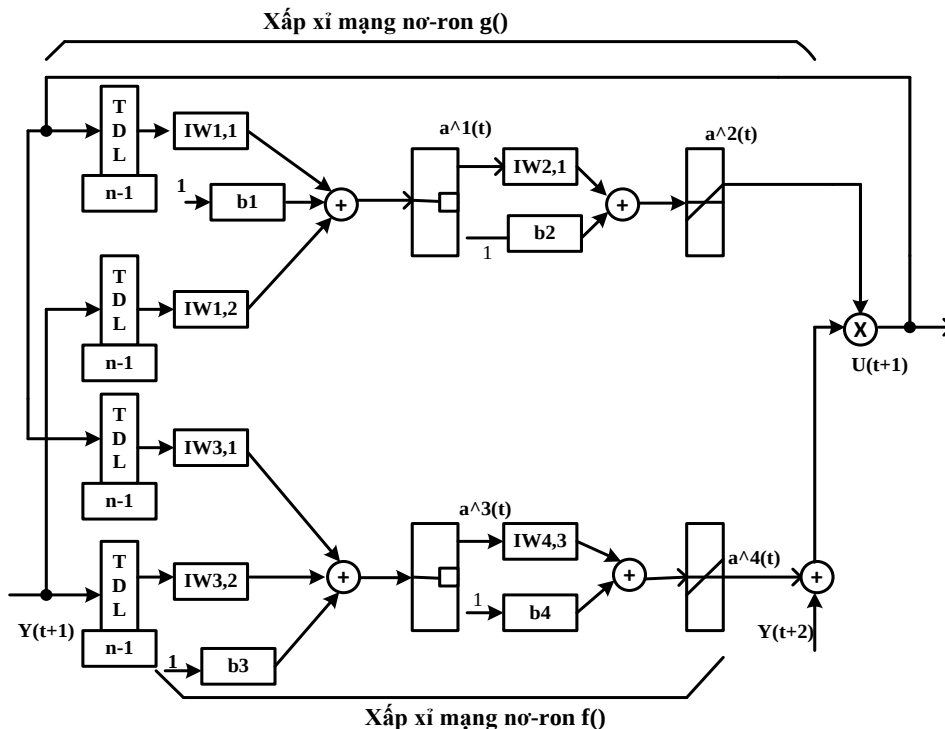
Để giảm thiểu sai lệch bộ điều khiển, ta sử dụng mô hình gần đúng từ mô hình tiêu chuẩn [12]:

$$y(k+d) = f[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)] + g[y(k), y(k-1), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-m+1)].u(k) \quad (20)$$

Mô hình này được biểu diễn dưới dạng phi tuyến giúp đầu ra hệ thống y bám theo đầu ra mô hình mẫu y_r . Tín hiệu điều khiển lấy ra từ bộ điều khiển NARMA-L2 có dạng [12]:

$$u(k) = \frac{\left\{ y_r(k+d) - f[y(k), \dots, y(k-m+1), u(k-1), \dots, u(k-n+1)] \right\}}{g[y(k), \dots, y(k-n+1), u(k-1), \dots, u(k-n+1)]} \quad (21)$$

Cấu trúc thực hiện chi tiết của một bộ điều khiển NARMA-L2 thể hiện trong hình 8. Hiệu quả của bộ điều khiển loại này, sau khi được huấn luyện theo một quy trình hợp lý, sẽ được đưa ra và thảo luận trong phần 4 của bài báo.



Hình 8. Bộ điều khiển thực hiện với mô hình NARMA-L2

3.2.2. Mô hình điều khiển dự báo (MPC)

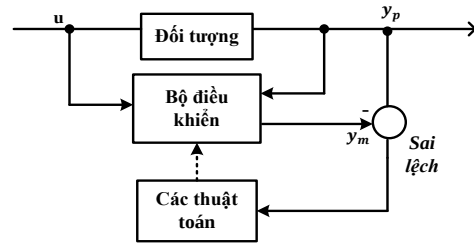
Mô hình điều khiển dự báo dựa trên mạng nơron nhân tạo (MPC) sử dụng các phương pháp toán học và tính toán để dự

báo một sự kiện hay kết quả dựa trên sự thay đổi các đầu vào. Trong nghiên cứu này, tín hiệu sai lệch khu vực ACE được chọn làm đầu vào của bộ điều khiển. Đầu

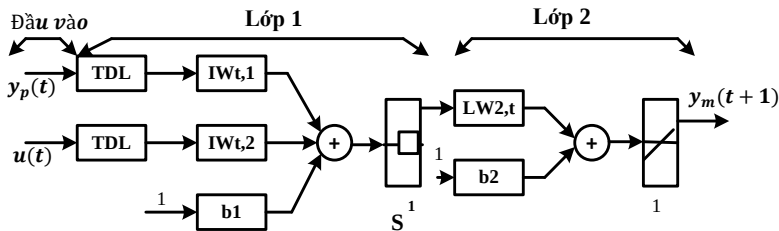
ra của bộ điều khiển điều chỉnh độ mở van/cánh hướng nhằm thay đổi lưu lượng hơi/nước cấp cho tuabin: Y_m là tín hiệu phản hồi mô hình mạng nơron, Y_p là đầu ra đối tượng cần điều khiển. Hai đầu ra này sẽ được so sánh, lấy sai lệch và đưa về làm tín hiệu huấn luyện mạng nơron của bộ điều khiển dự báo (xem hình 9).

Mô hình mạng lưới sử dụng các đầu vào và đầu ra của đối tượng trước để dự báo

các giá trị tương lai của đầu ra của đối tượng.

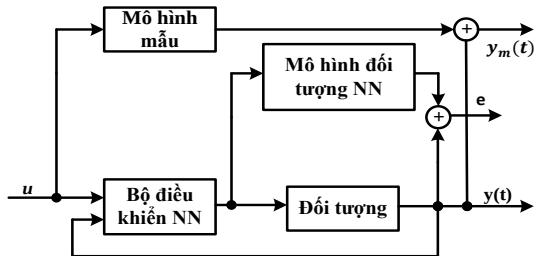


Hình 9. Sơ đồ nguyên lý của bộ điều khiển NN Predictive (MPC)



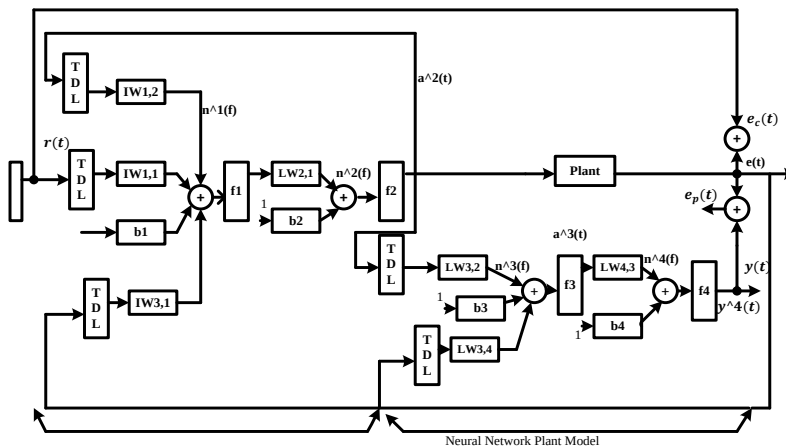
Hình 10. Bộ điều khiển thực hiện với mô hình dự báo MPC ứng dụng mạng nơron

3.2.3. Mô hình Reference Adaptive Controller (MRAC)



Hình 11. Sơ đồ nguyên lý bộ điều khiển MRAC

Cấu trúc bộ điều khiển MRAC sử dụng 2 mạng nơron: mạng điều khiển và mạng mô hình đối tượng (xem hình 11). Bộ điều khiển làm nhiệm vụ huấn luyện điều chỉnh sao cho thông số đầu ra của đối tượng $y(t)$ bám theo thông số đầu ra của mô hình mẫu $y_m(t)$. Hiệu quả của bộ điều chỉnh này sẽ được chứng minh qua phần mô phỏng ở phần tiếp theo.

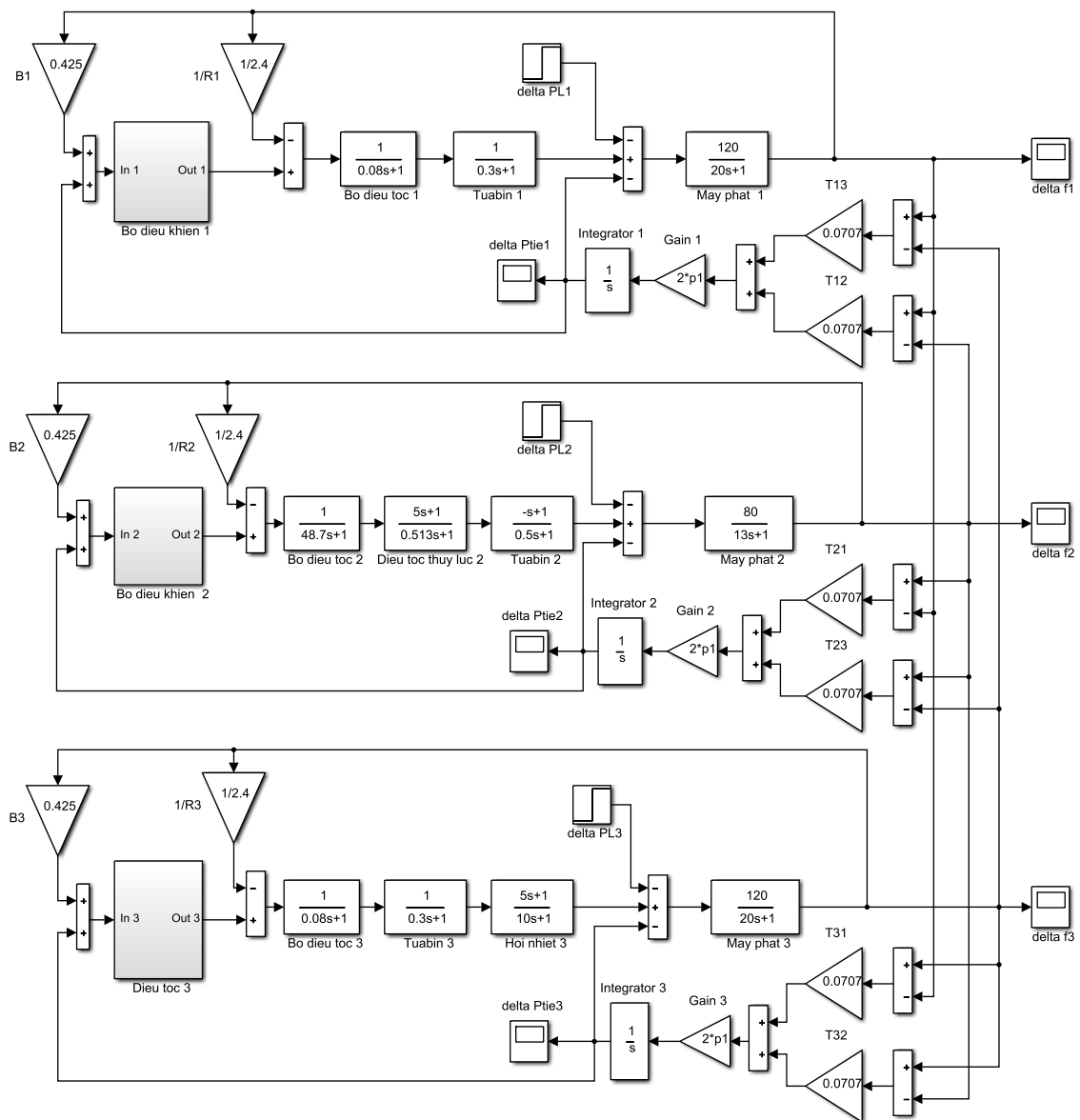


Hình 12. Bộ điều khiển thực hiện với mô hình MRAC

4. KẾT QUẢ MÔ PHÒNG VÀ NHẬN XÉT

Trong phần này, bốn bộ điều khiển tần số - phụ tải sẽ được sử dụng đồng thời trong cùng một sơ đồ mô phỏng để phục vụ việc so sánh và đánh giá. Cụ thể ta sử dụng bộ điều khiển thông thường PID và ba bộ điều khiển thông minh ứng dụng mạng nơron đã xét trong bài báo. Ta sử

dụng phần mềm MATLAB/Simulink để mô phỏng hệ thống điện liên kết 3 khu vực như đã xét ở trên. Sơ đồ mô phỏng được thể hiện như trên hình 13, thông số của các bộ điều khiển được đưa ra trong bảng 1 và các thông số của các khu vực được lấy ở phụ lục [9-12].

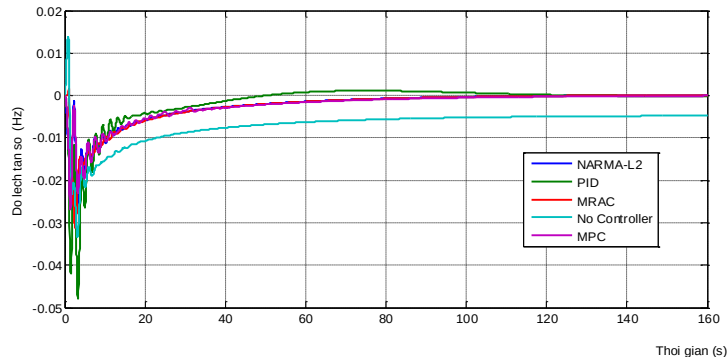


Hình 13. Sơ đồ mô phỏng hệ thống điện liên kết 3 khu vực trong phần mềm Matlab/Simulink

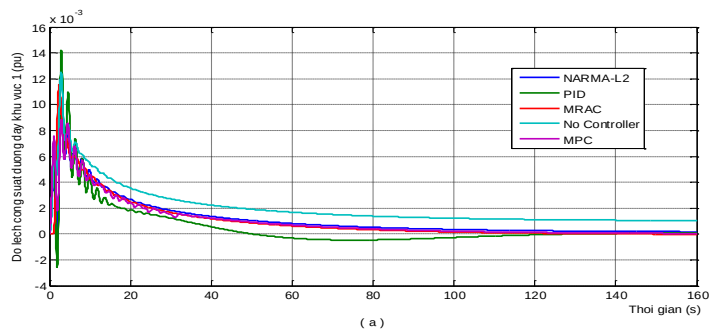
Bảng 1. Thông số của các bộ điều khiển

Bộ điều khiển	Thành phần	Thông số	Khu vực 1	Khu vực 2	Khu vực 3
PID		K_P	0	-0,78708191	0
		K_I	-0,4395524	-0,03681396	-0,2258644
		K_D	0	23,35757560	0
NARMA-L2		Kích thước lớp ẩn	9	9	9
		Chu kì trích mẫu (sec)	0,8	0,8	0,8
		Số lượng mẫu	6000	6000	6000
		Đầu vào hệ thống cực đại	0,0102	0,01	0,01
		Đầu vào hệ thống cực tiểu	-0,01	0	0
		Đầu ra hệ thống cực đại	0,02	0,025	0,045
		Đầu ra hệ thống cực tiểu	-0,02	-0,18	-0,055
		Khoảng thời gian cực đại (sec)	1	1	1
		Khoảng thời gian cực tiểu (sec)	0,1	0,1	0,1
		Hàm đào tạo	trainlm	trainlm	trainlm
MPC	Điều khiển dự báo dựa trên mạng nơ-ron	Cost Horizon	9	9	9
		Control Horizon	2	2	2
		Trọng số điều khiển	0,05	0,05	0,05
		Thông số tìm kiếm	0,001	0,001	0,001
		Số chu kì/mẫu	2	2	2
	Nhận dạng đối tượng điều khiển	Kích thước lớp ẩn	7	7	7
		Chu kì trích mẫu (sec)	0,8	0,8	0,8
		Số mẫu huấn luyện	6000	6000	6000
		Đầu vào hệ thống cực đại	0,0102	0,01	0,011
		Đầu vào hệ thống cực tiểu	0,01	0	0,01
		Đầu ra hệ thống cực đại	0,02	0,025	0,045
		Đầu ra hệ thống cực tiểu	-0,02	-0,18	-0,055
		Khoảng thời gian cực đại (sec)	1	1	1
		Khoảng thời gian cực tiểu (sec)	0,1	0,1	0,1
		Hàm đào tạo	trainlm	trainlm	trainlm
	Điều khiển dựa theo mô hình mẫu	Kích thước lớp ẩn	9	9	9
		Giá trị đặt cực đại	0,01	0,01	0,01
		Giá trị đặt cực tiểu	0	0	0
		Khoảng thời gian lớn nhất (sec)	1	1	1
		Khoảng thời gian nhỏ nhất (sec)	0,1	0,1	0,1
		Chu kì trích mẫu (sec)	0,8	0,8	0,8
		Số mẫu đã huấn luyện	6000	6000	6000
		Các giai đoạn huấn luyện bộ điều khiển	10	10	10
		Số phân đoạn huấn luyện bộ điều khiển	30	30	30
MRAC	Nhận dạng đối tượng điều khiển	Kích thước lớp ẩn	7	7	7
		Chu kì trích mẫu (sec)	6000	6000	6000
		Số mẫu huấn luyện	0,01	0,01	0,01
		Đầu vào hệ thống cực đại	0	0,0	0
		Đầu vào hệ thống cực tiểu	0,02	0,025	0,045
		Đầu ra hệ thống cực đại	-0,02	-0,18	-0,055
		Đầu ra hệ thống cực tiểu	1	1	1
		Khoảng thời gian cực đại (sec)	0,1	0,1	0,1
		Hàm đào tạo	trainlm	trainlm	trainlm

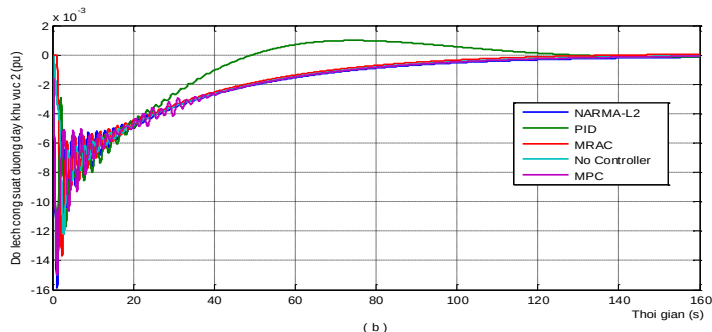
Kết quả mô phỏng độ lệch tần số (Δf) và độ lệch công suất đường dây (ΔP_{tie}) của tất cả ba khu vực được thể hiện ở trong hình 14 và hình 15.



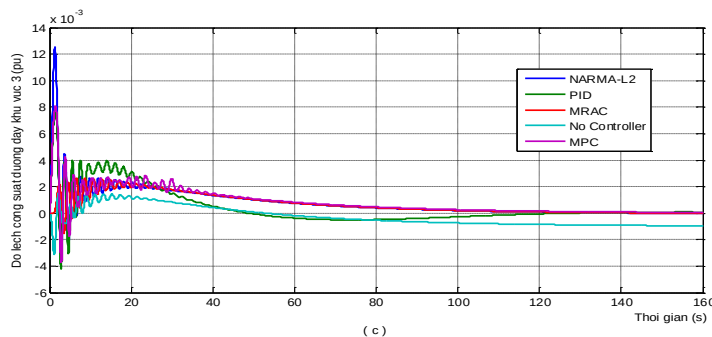
Hình 14. Độ lệch tần số (Δf)



(a)



(b)



(c)

Hình 15. Độ lệch công suất trao đổi đường dây các khu vực:
(a) Độ lệch công suất trao đổi đường dây khu vực 1, (b) Độ lệch công suất trao đổi đường dây khu vực 2, (c) Độ lệch công suất trao đổi đường dây khu vực 3

Các đồ thị trên cho thấy quá trình áp dụng các bộ điều khiển để xây dựng và mô phỏng bài toán điều khiển tần số như sau: Khi không có điều khiển thì các khu vực tồn tại một độ lệch tần số (Δf khác 0) và công suất giữa các khu vực không được phân bố với nhau theo đúng yêu cầu (ΔP_{tie} khác 0). Còn khi có các bộ điều khiển thì tần số đã được đưa về đúng giá trị khi phụ tải thay đổi ($\Delta f = 0$), đồng thời phân bố được công suất giữa các khu vực với nhau qua các đường dây liên kết theo yêu cầu ($\Delta P_{tie}=0$). Với bộ điều khiển PID thông thường thì có chất lượng chưa được tốt so với các bộ điều khiển mạng nơron, còn các bộ điều khiển ứng dụng mạng thần kinh nơron thì thời gian đáp ứng khá nhanh chất lượng điều khiển rất tốt.

Hơn nữa, để chứng minh các kết quả thu được một cách số hóa, bảng 2 đưa ra sự so sánh giữa bộ điều khiển PID với các bộ điều khiển thông minh dùng mạng nơron thông qua một số chỉ tiêu chất lượng điều khiển. Theo bảng 2, sai số xác lập của bộ điều khiển NARMA-L2 là 0 và so sánh cụ thể các thông số khác như sau: đối với khu vực 1 ta thấy: thời gian quá độ của bộ điều khiển NARMA-L2 thấp hơn 17 giây so với bộ điều khiển PID, 12 giây so với bộ điều khiển MRAC và 10 giây so với bộ điều khiển MPC. Độ lệch tần số lớn nhất thấp hơn 3.10^{-4} Hz so với MPC, 0,0213 Hz so với PID, và 4.4^{-3} Hz so với

MRAC. Khu vực 2: thời gian quá độ thấp hơn 18 giây so với bộ PID, 5 giây so với MRAC, và 9 giây so với MPC. Độ lệch tần số lớn nhất thấp hơn 0,017Hz so với bộ PID, 1.3^{-3} Hz so với MPC, và 0,011Hz so với MRAC. Khu vực 3: thời gian quá độ thấp hơn 14 giây so với các bộ điều khiển PID, 10 giây các bộ điều khiển MPC và MRAC. Độ lệch lớn nhất thấp hơn 0,0172 Hz so với PID; 0,0022 Hz so với MRAC và lớn hơn 0,0018 Hz so với MPC. Do đó, bộ điều khiển NARMA-L2 đã đạt được chất lượng đầu ra tốt hơn so với bộ điều khiển thông thường. Điều này cho thấy sự lựa chọn mô hình NARMA-L2 là giải pháp hiệu quả nhất để điều khiển tần số trong mô hình hệ thống điện điển hình đang xét. Ngoài ra, khi phụ tải của một vùng nào đó tăng lớn hơn công suất phát của khu vực đó làm cho tần số lưới bị giảm thì phụ tải của khu vực này lấy thêm công suất của các khu vực còn lại nếu các khu vực còn lại còn có đủ công suất huy động. Ngược lại các khu vực còn lại không còn đủ công suất huy động thì các kỹ sư điều độ sẽ can thiệp ra lệnh khởi động thêm các tổ máy đang ở trạng thái dự phòng và các máy phát chạy dầu... Nếu tần số vẫn tiếp tục giảm đe dọa đến độ hoạt động ổn định của hệ thống điện thì sẽ tiến hành sa thải phụ tải để đưa tần số lưới điện trở về đúng giá trị danh định.

Bảng 2. So sánh các chỉ tiêu chất lượng điều khiển của các bộ điều khiển tần số khác nhau

		Không điều khiển	PID	NARMA-L2	MPC	MRAC
Δf_1	Thời gian quá độ (giây)	90	115	98	112	113
	Độ lệch lớn nhất (Hz)	-0,033	-0,0479	-0,0266	-0,0269	-0,031
	Sai số xác lập	-0,005	0	0	0	0
	Độ quá điều chỉnh (%)	0,066	0,0958	0,0532	0,0538	0,062

		Không điều khiển	PID	NARMA-L2	MPC	MRAC
Δf_2	Thời gian quá độ (giây)	90	115	99	108	104
	Độ lệch lớn nhất (Hz)	-0,0367	-0,044	-0,027	-0,0283	-0,029
	Sai số xác lập	-0,005	0	0	0	0
	Độ quá điều chỉnh (%)	0,0734	0,088	0,054	0,0566	0,076
Δf_3	Thời gian quá độ (giây)	90	114	100	110	110
	Độ lệch lớn nhất (Hz)	-0,0331	-0,044	-0,0268	-0,025	-0,029
	Sai số xác lập	-0,005	0	0	0	0
	Độ quá điều chỉnh (%)	0,0662	0,088	0,0536	0,05	0,058

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo đã trình bày về vấn đề điều khiển tần số phụ tải của lưới điện lớn thông qua áp dụng các bộ điều khiển truyền thống và nâng cao. Với các kết quả mô phỏng thu được trong bài báo này, và so sánh với các bài báo đã từng đề cập đến đề tài này ta có thể nhận ra rằng bộ điều khiển NARMA-L2 nên được sử dụng để duy trì tần số điện tại giá trị danh nghĩa và ổn định công suất trao đổi trên đường dây. Cụ thể, bộ điều khiển NARMA-L2 đạt được độ quá điều chỉnh nhỏ, thời gian xác lập nhanh, sai số xác lập gần như bằng 0, góp phần điều khiển tần số lưới điện chống lại sự biến thiên của phụ tải. Tuy nhiên, bộ điều khiển này vẫn có mặt hạn chế là thời gian huấn luyện khá lâu và phức tạp. Vì thế định hướng trong tương lai là: kết hợp các bộ điều khiển neuron với các bộ điều khiển hiện đại khác, ví dụ, mạng điều khiển thích nghi, kiến trúc logic mờ để thích ứng hiệu quả hơn với sự đa dạng và phức tạp của các hệ thống điện quy mô lớn hơn trong thực tế. Những kết quả trên còn hạn chế do chỉ là mô hình trên phần mềm mô phỏng, vì vậy các hệ thống điện lớn cần được chú trọng mô hình hóa và tìm ra giải pháp điều khiển tốt nhất, đảm bảo tính ổn định hiệu quả trong vấn đề truyền tải và vận hành hệ thống.

PHỤ LỤC

$T_{g1}=T_{g3}= 0,08$; $T_{g2}= 48,7$: hằng số thời gian của bộ điều tốc (giây);

$T_{t1}=T_{t3}=0,3$; $T_W= 1$: hằng số thời gian của tuabin (giây);

$T_{r3}=10$: hằng số thời gian hồi nhiệt (giây);

$K_{r3}=0,5$: hệ số hồi nhiệt;

$T_{R2}=5$; $T_{H2}=0,513$: hằng số thời gian của điều tốc thủy lực (giây);

$T_1=T_3=20$; $T_2= 13$: hằng số thời gian của máy phát điện (giây);

$K_{P1}=K_{P3}= 120$; $K_{p2}=80$: hệ số khuếch đại trong mô hình qui đổi của máy phát điện và phụ tải (Hz/pu MW);

$R_1=R_2=R_3= 2,4$: hệ số điều chỉnh tốc độ (Hz/pu MW);

$B_1=B_2=B_3= 0,425$: hệ số độ lệch tần số (pu MW/Hz);

$T_{12}=T_{13}=T_{21}=T_{23}=T_{31}=T_{32}= 0,0707$: hệ số đồng bộ công suất (MW/rad);

$\Delta P_{L1}=\Delta P_{L2}=\Delta P_{L3}=0,01$: giá trị thay đổi phụ tải (pu);

$P_{tie,max}=200$: công suất trao đổi lớn nhất giữa các khu vực (MW);

$P_{G1}=P_{G3}=200$; $P_{G2}=150$: công suất phát của các máy phát điện (MW).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] I.J. Nagrath and D.P.Kothari, *Modern Power System Analysis*, Fourth edition, McGraw Hill, 2011.
- [2] Jun Li, Weiwei Li, "Application and Research of AGC Control of Thermal Power Generating Unit", jinan, P R china, IEEE 2012.
- [3] Swasti R. Khuntia, Sidhartha Panda, "A Novel Approach for Automatic Generation Control of a Multi-Area Power System", Dept. of Electrical & Electronics Engg., National Institute of Science and Technology, Berhampur, Orissa, IEEE 2011.
- [4] Mohamed Ismail, M.A.M. Hassan, "Load Frequency Control Adaption using Artificial Intelligent Techniques for One and Two Different Areas Power System", IJCAS, vol.1.no.1, Jan. 2012.
- [5] C.C. Aggarwal, *Neural Networks and Deep learning: A Textbook*, Springer, 1st edition, Aug. 2018.
- [6] Kamel Sabahia, Easa Narimania, ahmad faramarzib, "Dynamic Neural Network for AGC in Restructure Power System", International Conference on Power and Energy (PECon2010), Kuala Lumpur, Malaysia, IEEE Nov 29 - Dec, 2010.
- [7] A.K. Pal, P. Bera, K. Chakraborty, "AGC in Two-area Deregulated Power System Using Reinforced Learning Neural Network Controller", Kalyani, West Bengal, India, IEEE 2014.
- [8] Hagan, M.T., H.B. Demutth, and M.H. Beale, *Neural Network Design*, Boston, MA: PWS Publishing, 1996.
- [9] J.D. Glover, T.J. Overbye, M.S. Sarma, *Power System Analysis & Design*, 6th edition, CENGAGE Learning, 2017.
- [10] S. Saxena, Y.V.Hote, *Stabilization of Perturbed System via IMC: An application to load frequency control*, 2017.
- [11] http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/17896/12/12_chapter%203.pdf
- [12] Dimitra Apostolopoulou, Peter W. Sauer, and Alejandro D. Dominguez-Garcia, "Automatic Generation Control and its Implementation in Real Time", 47th Hawaii International Conference on System Science, IEEE 2014.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Ngọc Khoát tốt nghiệp đại học chuyên ngành tự động hóa năm 2007, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành điều khiển và tự động hóa năm 2009 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành khoa học và kỹ thuật điện tử năm 2015 tại Trường Đại học Khoa học và kỹ thuật điện tử Trung Quốc. Hiện nay tác giả đang là giảng viên và Phụ trách Bộ môn Kỹ thuật điều khiển, Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: các nguồn năng lượng mới, điều khiển thông minh trong lưới điện, các hệ thống truyền động và điện tử công suất thông minh.



Tác giả Vũ Duy Thuận tốt nghiệp đại học chuyên ngành đo lường và tin học công nghiệp năm 2004, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành điều khiển và tự động hóa năm 2008 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành lý thuyết điều khiển và điều khiển tối ưu năm 2018 tại Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Hiện nay, tác giả đang là giảng viên và là Trưởng khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: các nguồn năng lượng mới, điều khiển thông minh, PLC và robot.

