

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN TẦN SỐ TẢI TRÊN CƠ SỞ
LOGIC MỜ CHO HỆ THỐNG ĐIỆN HAI KHU VỰC
RESEARCH ON BUILDING A LOAD FREQUENCY CONTROLLER BASED ON
FUZZY LOGIC FOR A TWO AREA POWER SYSTEM

HOÀNG ĐỨC TUẤN*, ĐOÀN HỮU KHÁNH

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: hoangductuan@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Điều khiển tần số tải là yêu cầu cho vận hành tin cậy hệ thống điện lớn có liên kết khu vực. Nhiệm vụ chính của điều khiển tần số tải là điều khiển công suất của máy phát điện khu vực với sự thay đổi tần số, công suất liên kết để duy trì tần số hệ thống và trao đổi công suất với khu vực khác trong giới hạn quy định. Bài báo nghiên cứu hệ thống điều khiển tần số tải cho hệ thống điện liên kết hai khu vực với cụm tổ hợp máy phát điện tua bin hơi không hồi nhiệt. Bộ điều khiển mờ được thiết kế để điều khiển sai lệch tần số và công suất tác dụng tại nút liên kết. Bộ điều khiển mờ được đề xuất làm việc bền vững trong các điều kiện khác nhau của tải với sự thay đổi trong dải rộng. Sự đáp ứng của tần số và công suất liên kết giữa hai khu vực khi sử dụng bộ điều khiển mờ và bộ điều khiển truyền thống PID được so sánh, đánh giá dựa trên độ quá điều chỉnh, số lần dao động, sai lệch, thời gian quá độ. Bộ điều khiển mờ tần số tải tác động nhanh và bền vững hơn bộ điều khiển truyền thống PID khi tải thay đổi trong phạm vi rộng.

Từ khóa: Hệ thống điện hai khu vực, sai lệch tần số và công suất liên kết, điều khiển tần số tải, bộ điều khiển PID, bộ điều khiển mờ.

Abstract

Load frequency control is a requirement for reliable operation of large power systems with area connections. The main task of load frequency control is to control the power of the generator for a specific area with frequency changes, link power to maintain system frequency and exchange power with other areas within specified limits. This article studies the load frequency control system for a power system linking two areas with a non-recovery steam turbine generator complex. The fuzzy controller is designed to control frequency deviation and active power at the link

node. The proposed fuzzy controller works stably under different load conditions with wide variation. The response of the frequency and link power between the two areas when using a fuzzy controller and a traditional PID controller are compared, based on the assessment of overshoot, number of oscillations, deviations, transition time. The load frequency fuzzy controller operates faster and more sustainably than the traditional PID controller when the load changes over a wide range.

Keywords: A two area power system, deviations of frequency and tie-line power, load frequency control, proportional - Integral - Derivative (PID) controller, fuzzy controller.

1. Giới thiệu

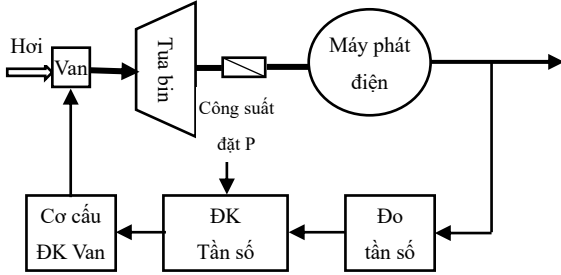
Mục đích của bài toán điều khiển tần số tải là đảm bảo tần số tải luôn duy trì trong giới hạn cho phép, điều khiển phân chia công suất tải giữa các máy phát điện và công suất nút liên kết. Sự thay đổi tần số và công suất tác dụng liên kết được thực hiện qua sự thay đổi của góc công suất. Vấn đề điều khiển hệ thống điện mà trong đó chủ yếu là điều khiển máy phát điện để hệ thống điện đạt trạng thái ổn định bền vững được chú trọng nghiên cứu [1, 3, 4].

Sự thay đổi công suất tác dụng trong lưới điện sẽ làm cho tần số của hệ thống điện thay đổi theo. Trong khi đó, sự thay đổi của công suất phản kháng không làm thay đổi nhiều tần số trên lưới, mà là nguyên nhân chính làm thay đổi biên độ điện áp. Vì vậy, trong hệ thống điện, công suất tác dụng và công suất phản kháng được điều khiển độc lập nhau. Do đó, bài toán điều khiển tần số tải được thực hiện thông qua mối quan hệ giữa tần số và công suất tác dụng.

Vấn đề điều khiển tần số là bài toán rất quan trọng trong một hệ thống điện lớn có độ liên kết cao, để phục vụ cho công tác vận hành hệ thống điện. Do đó, việc nghiên cứu nâng cao chất lượng điều khiển tần số tải luôn được đặt ra trong lĩnh vực này.

2. Mô hình của hệ thống điện một khu vực

Mô hình hệ thống điện một khu vực khi xem xét đến vấn đề điều khiển tần số tải được thể hiện như Hình 1, bao gồm các phần tử chính tổ hợp Tua bin hơi không hồi nhiệt - máy phát điện, cơ cấu đo tần số, cơ cấu điều khiển tần số, cơ cấu điều khiển van hơi [4, 5].



Hình 1. Mô hình hệ thống điện một khu vực

2.1. Mô hình toán máy phát điện trong điều khiển

Mô hình toán máy phát điện phục vụ cho bài toán điều khiển trong hệ thống điện [3] được mô tả theo phương trình:

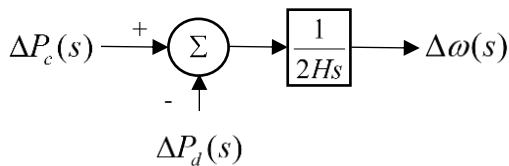
$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{2H}(\Delta P_c - \Delta P_d) \quad (1)$$

Trong đó H là hằng số quán tính, P_d là công suất điện từ, P_c là công suất cơ của động cơ sơ cấp.

Biến đổi Laplace của phương trình (1) ta được:

$$\Delta\omega(s) = \frac{1}{2Hs}[\Delta P_c(s) - \Delta P_d(s)] \quad (2)$$

Sơ đồ khối biểu diễn mối quan hệ của phương trình (2) được minh họa như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối của mô hình toán máy phát điện

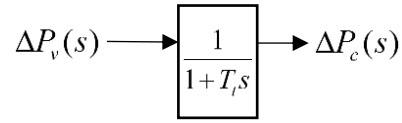
2.2. Mô hình toán động cơ sơ cấp

Mô hình toán của động cơ sơ cấp (tua bin) thể hiện mối liên hệ giữa độ thay đổi của công suất cơ theo độ thay đổi vị trí van điều khiển [3]. Đối với tua bin hơi không hồi nhiệt, thì mối quan hệ này dưới dạng hàm $G_c(s)$ như sau:

$$G_c(s) = \frac{\Delta P_c(s)}{\Delta P_v(s)} = \frac{1}{1+T_t s} \quad (3)$$

Trong đó T_t là hằng số thời gian của tua bin.

Mô hình toán điều khiển cho động cơ sơ cấp lại máy phát điện như Hình 2.



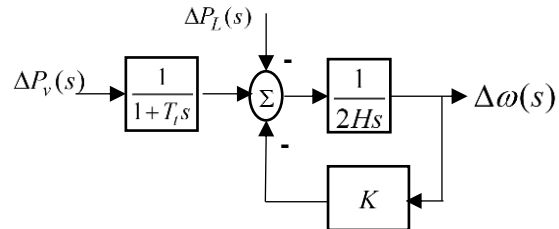
Hình 2. Sơ đồ khối của mô hình động cơ sơ cấp

2.3. Mô hình toán phụ tải

Phụ tải của các tổ máy phát điện đồng bộ trong hệ thống điện là một đại lượng biến thiên liên tục và bao gồm loại không phụ thuộc vào sự thay đổi của tần số lưới điện như các loại tải nhiệt, tải chiếu sáng và loại phụ thuộc vào tần số của lưới điện, khi tần số của lưới điện thay đổi sẽ làm thay đổi công suất của tải, đó là nhóm tải động cơ điện [3]. Đường đặc tính tốc độ - tải và có thể xấp xỉ như sau:

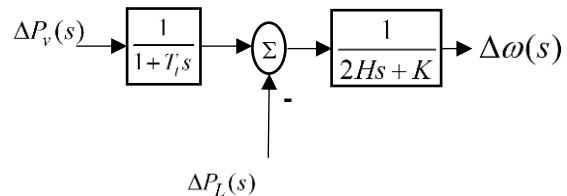
$$\Delta P_d = \Delta P_L + K\Delta\omega \quad (4)$$

Ở đây ΔP_L là độ thay đổi phụ tải không bị ảnh hưởng bởi tần số và $K\Delta\omega$ là phần phụ tải thay đổi phụ thuộc vào tần số. Hệ số K là tỷ số giữa phần trăm thay đổi tải và phần trăm thay đổi tần số. Mô hình tải và máy phát điện minh họa như Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối của mô hình toán tua bin-máy phát và tải

Rút gọn sơ đồ Hình 3, ta được sơ đồ đơn giản như Hình 4.



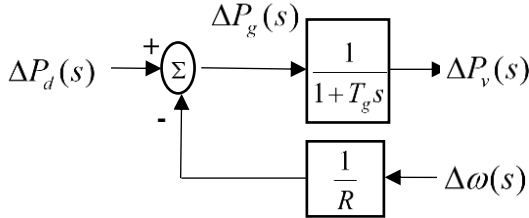
Hình 4. Sơ đồ khối của mô hình toán turbine máy phát điện và phụ tải

2.4. Mô hình toán bộ điều tốc

$$\Delta P_g(s) = \Delta P_d(s) - \frac{1}{R} \Delta\omega(s) \quad (5)$$

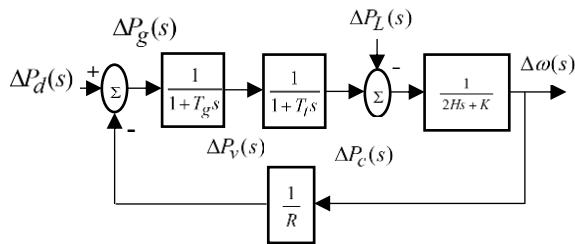
$$\Delta P_v(s) = \frac{1}{1+T_g s} \Delta P_g(s) \quad (6)$$

Trong đó, R là độ dốc của đường đặc tính điều chỉnh, T_g là hằng số thời gian. Hai phương trình (5) và (6) được minh họa dạng sơ đồ khối như Hình 5.



Hình 5. Sơ đồ khối hệ thống điều chỉnh tốc độ

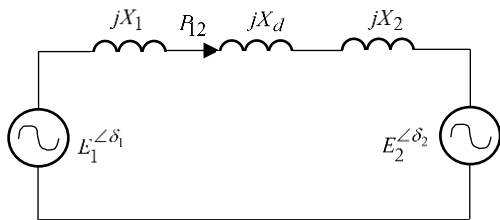
Kết hợp giữa sơ đồ khối Hình 1, 2, 4 và Hình 5, ta có sơ đồ khối tổng thể của hệ thống điều khiển tần số tải trong hệ thống điện một khu vực như sơ đồ Hình 6.



Hình 6. Sơ đồ khối của hệ thống điều khiển tần số tải một khu vực

3. Mô hình của hệ thống điện hai khu vực

Hệ thống điện liên kết hai khu vực được đại diện bằng hai máy phát điện tương đương [3] như Hình 7.



Hình 7. Mô hình hệ thống điện liên kết hai khu vực

Hai khu vực được liên kết với nhau thông qua đường dây với tổng trở X_{12} . Trong quá trình vận hành, công suất truyền qua đường dây được xác định theo công thức sau:

$$P_{12} = \frac{|E_1||E_2|}{X_{12}} \sin \delta_{12} \quad (7)$$

Trong đó: $X_{12}=X_1+X_2+X_d$ và $\delta_{12}=\delta_1-\delta_2$. Phương trình (7) có thể được tuyến tính hóa trong một đoạn

thay đổi nhỏ của công suất truyền ΔP_{12} như sau:

$$\Delta P_{12} = \frac{dP_{12}}{d\delta_{12}} \Big|_{\delta_{120}} \Delta \delta_{12} = P_s \Delta \delta_{12} \quad (8)$$

ở đây P_s là hệ số công suất đồng bộ; $\Delta \delta_{12}=\Delta \delta_1-\Delta \delta_2$.

Độ lớn và chiều của dòng công suất truyền tải qua đường dây liên kết phụ thuộc vào công suất tại hai đầu đường dây hay cũng chính là góc công suất. Nếu $\Delta \delta_1 > \Delta \delta_2$ thì công suất sẽ truyền từ khu vực một sang khu vực hai và ngược lại.

Chúng ta xem xét trường hợp tại khu vực 1 có một sự thay đổi tải ΔP_{L1} và ở trạng thái ổn định tĩnh, độ lệch tần số tại hai khu vực là như nhau. Nghĩa là: $\Delta \omega_1 = \Delta \omega_2 = \Delta \omega_{ss}$ và:

$$\begin{aligned} \Delta P_{c1} - \Delta P_{12} - \Delta P_{L1} &= \Delta \omega_{ss} K_1 \\ \Delta P_{c2} + \Delta P_{12} &= \Delta \omega_{ss} K_2 \end{aligned} \quad (9)$$

Sự thay đổi công suất cơ theo đặc tính tốc độ của bộ điều tốc như sau:

$$\Delta P_{c1} = \frac{-\Delta \omega_{ss}}{R_1}; \quad \Delta P_{c2} = \frac{-\Delta \omega_{ss}}{R_2} \quad (10)$$

Thay phương trình (10) vào phương trình (9) ta được:

$$\Delta \omega_{ss} = \frac{-\Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1} + K_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + K_2\right)} \quad (11)$$

Nếu đặt $D_i = K_i + 1/R_i$ thì phương trình (11) được viết lại:

$$\Delta \omega_{ss} = \frac{-\Delta P_{L1}}{D_1 + D_2} \quad (12)$$

D_i là hệ số độ dốc tần số. Khi đó độ thay đổi công suất truyền giữa hai khu vực được xác định như sau:

$$\Delta P_{12} = -\Delta P_{L1} \frac{D_2}{D_1 + D_2} \quad (13)$$

Thường thì để thực hiện điều này, bộ điều khiển tần số tải được điều khiển bằng độ dốc kết nối; ở đây mỗi khu vực có khuynh hướng giảm sai số điều khiển khu vực về không. Sai số điều khiển khu vực bao gồm sai số kết nối và sai số tần số. Hay viết dưới dạng biểu thức là:

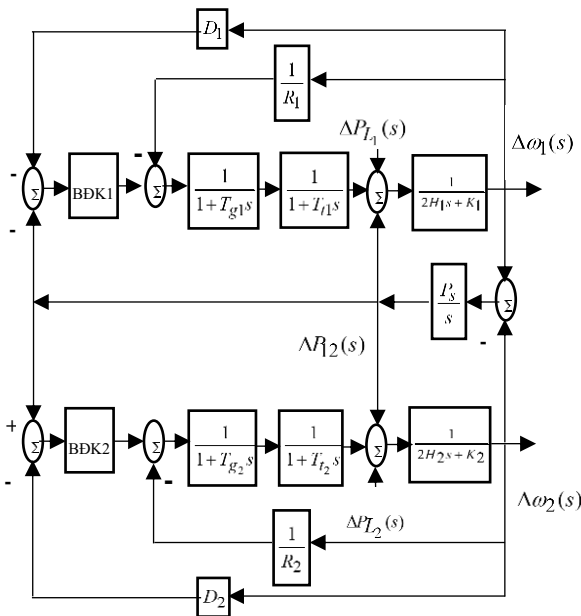
$$ACE_i = \sum_{j=1}^n \Delta P_{ij} + B_i \Delta \omega_i \quad (14)$$

Ở đây B_i được xem như là lượng tương tác giữa các khu vực lân cận trong suốt thời gian không cân bằng. Một cách tổng quát tất cả các thông số sẽ đạt

được khi B_i được lấy bằng hệ số độ dốc tần số (D_i). Khi đó, các giá trị sai số điều khiển cho hai khu vực được xác định như sau [3]:

$$\begin{aligned} ACE_1 &= \Delta P_{12} + D_1 \Delta \omega_1 \\ ACE_2 &= \Delta P_{21} + D_2 \Delta \omega_2 \end{aligned} \quad (15)$$

ở đây ΔP_{12} và ΔP_{21} được xuất phát từ bài toán điều độ trao đổi công suất; giá trị sai số điều khiển khu vực được sử dụng như là tín hiệu để thay đổi giá trị công suất đặt ban đầu và khi trạng thái tính được thiết lập thì ΔP_{12} và $\Delta \omega$ sẽ bằng không. Sơ đồ khối được minh họa như Hình 8.



Hình 8. Sơ đồ hệ thống điều khiển tần số tải cho hệ thống điện hai khu vực

4. Bộ điều khiển mờ tần số tải

Bộ điều khiển mờ tần số tải dựa trên logic mờ mô tả quan hệ theo luật nếu - thì, sử dụng kiến thức chuyên gia trong bài toán phức tạp khi thông tin không chính xác, độ phi tuyến lớn, thông số thay đổi trong phạm vi rộng.

Bộ điều khiển mờ tần số tải bao gồm hai tín hiệu đầu vào là tín hiệu sai lệch và đạo hàm của nó và 01 tín hiệu đầu ra.

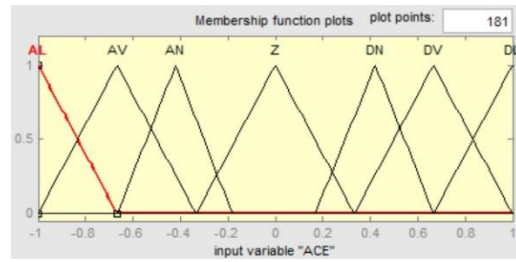
Mờ hóa tín hiệu đầu vào và ra [2]

Miền giá trị của tín hiệu sai lệch đầu vào bộ điều khiển mờ biến đổi từ [-1.0, 1.0] và chọn bảy tập mờ đó là {AL, AV, AN, Z, DN, DV, DL}.

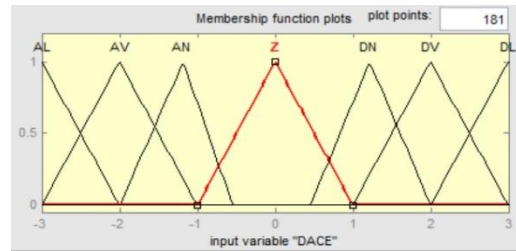
Miền giá trị của tín hiệu đạo hàm sai lệch tín hiệu đầu vào biến đổi từ [-3.0, 3.0] và chọn bảy tập mờ đó là {AL, AV, AN, Z, DN, DV, DL}.

Miền giá trị của tín hiệu đầu ra biến đổi từ [-4.0, 4.0] và chọn bảy tập mờ đó là {AL, AV, AN, Z, DN, DV, DL}.

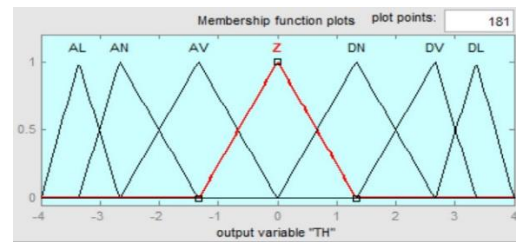
Hàm liên thuộc của tập mờ tín hiệu đầu vào và đầu ra, chọn là dạng hàm tam giác, được trình bày trên Hình 9, 10, 11.



Hình 9. Mờ hóa sai lệch tín hiệu đầu vào



Hình 10. Mờ hóa đạo hàm sai lệch tín hiệu đầu vào



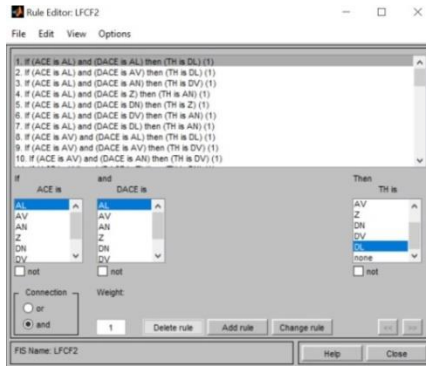
Hình 11. Mờ hóa tín hiệu đầu ra

Xây dựng luật hợp thành cho Bộ điều khiển mờ tần số tải [2]

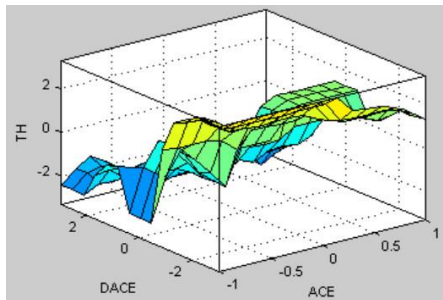
Mỗi tín hiệu đầu vào gồm bảy hàm liên thuộc và tín hiệu đầu ra là bảy hàm liên thuộc. Hai tín hiệu đầu vào chọn toán tử phép nhân “AND”, phương pháp giải mờ là phương pháp trọng tâm, luật hợp thành có thể xây dựng 49 luật như Bảng 1.

Bảng 1. Luật hợp thành

Sai lệch ACE	Đạo hàm sai lệch ACE						
	AL	AV	AN	Z	DL	DV	DN
AL	DL	DL	DV	AN	AL	AL	AN
AV	DL	DL	DV	DN	AL	AV	AV
AN	DV	DV	DN	DN	AV	AN	AN
Z	DL	DV	DN	Z	AL	AV	AN
DN	DV	DN	DN	DN	AN	AV	AN
DV	DV	DN	DN	DN	AV	AL	AL
DL	DN	DN	Z	DN	AV	AN	AN



Hình 12. Luật hợp thành bộ điều khiển mờ tần số tải



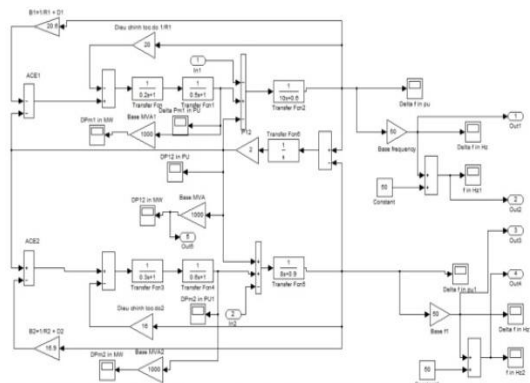
Hình 13. Quan hệ tín hiệu vào ra của bộ điều khiển mờ tần số tải

5. Mô phỏng hệ thống và kết quả

Các thông số hệ thống sử dụng để mô phỏng như sau: Khu vực 1 có $T_{g1} = 0,2s$, $T_{t1} = 0,5s$, $H_1 = 5$, $K_1 = 0,6$, $R_1 = 0,05$, công suất cơ bản 1000MVA, $f = 50Hz$; Khu vực 2 có $T_{g2} = 0,3s$, $T_{t2} = 0,5$; $H_2 = 4$, $K_2 = 0,9$, $R_2 = 0,0625$, $P_s = 2$, công suất cơ bản 1000MVA, $f = 50Hz$;

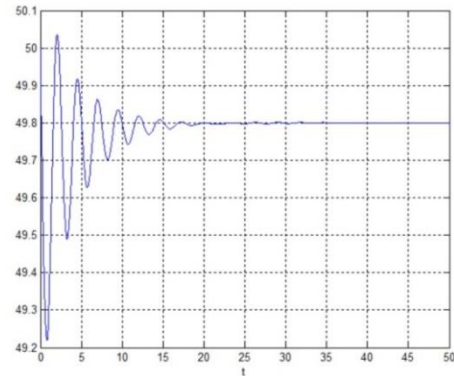
Để nghiên cứu, ta tiến hành xây dựng hệ thống trên phần mềm Matlab/Simulink với ba hệ thống gồm hệ thống điện hai khu vực với bộ điều khiển P, bộ điều khiển tần số tải dạng PI, hệ thống điện hai khu vực với bộ điều khiển tần số tải mờ.

5.1. Hệ thống điện hai khu vực có bộ điều khiển P

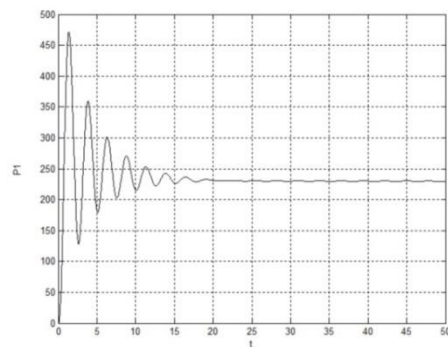


Hình 14. Hệ thống điện hai khu vực với bộ điều khiển P

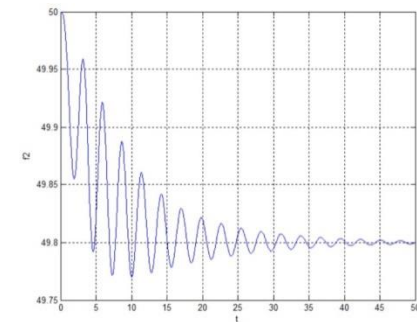
Với tải khu vực 1 là 300MW, tải khu vực 2 là 0MW, khi đó hệ thống hoạt động và tần số, công suất tác dụng của từng khu vực, sai lệch tần số, sai lệch công suất giữa hai khu vực tồn tại.



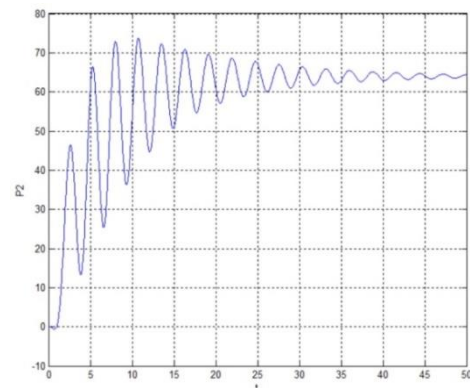
Hình 15. Đặc tính tần số của khu vực 1



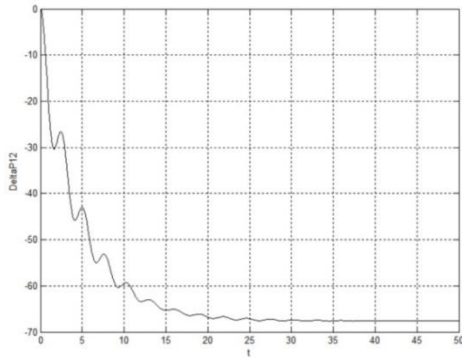
Hình 16. Công suất phát của khu vực 1



Hình 17. Đặc tính tần số của khu vực 2



Hình 18. Công suất phát của khu vực 2

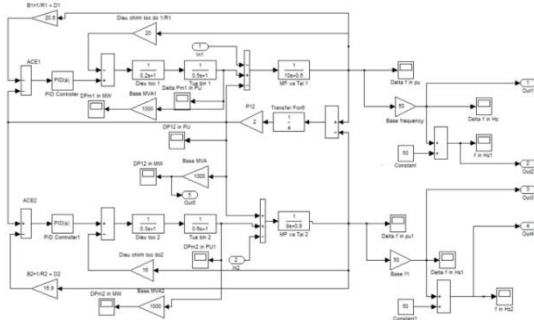


Hình 19. Sai lệch công suất phát của liên kết hai khu vực

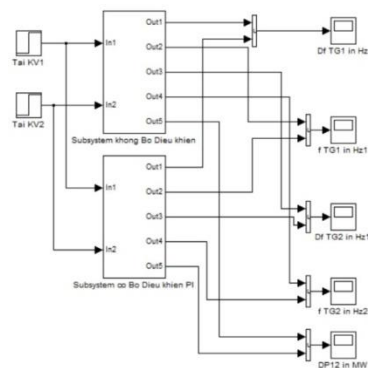
Với tải khu vực 1 là 300MW, tải khu vực 2 là 0MW, khi sử dụng bộ điều khiển P thì sai lệch công suất của liên kết là 68MW, công suất phát của khu vực 1 là 230 (MW), công suất phát của khu vực 2 là 64MW, mặc dù tải khu vực 2 bằng 0. Tần số khu vực 1 và 2 khi ổn định duy trì 49,8Hz, sai lệch là 0,2Hz.

5.2. Hệ thống điện hai khu vực có bộ điều khiển PI

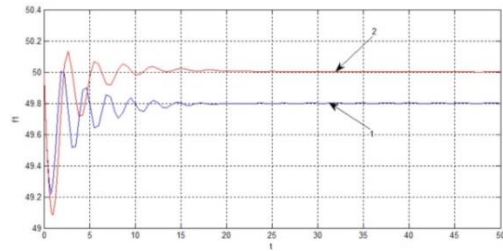
Dựa theo phương pháp thực nghiệm xác định bộ điều khiển là PI với $K_p=0,3$, $K_I=1$ [3], ta nhận được các đặc tính của hệ thống như sau:



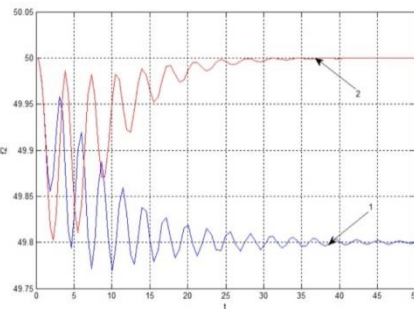
Hình 20. Hệ thống điện hai khu vực có bộ điều khiển PI



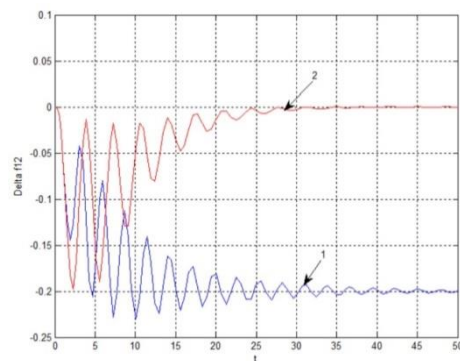
Hình 21. Hệ thống điện hai khu vực không có bộ điều khiển PI và có bộ điều khiển PI



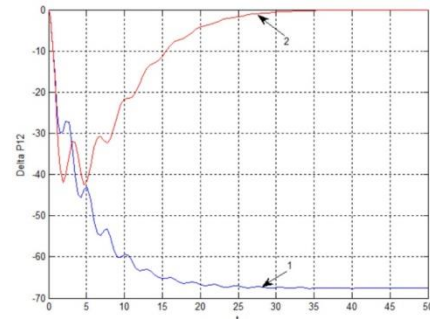
Hình 22. Đặc tính tần số của khu vực 1 khi có bộ điều khiển P và PI
 1- Bộ điều khiển P; 2- Bộ điều khiển PI.



Hình 23. Đặc tính tần số của khu vực 2 khi có bộ điều khiển P và PI
 1- Bộ điều khiển P; 2- Bộ điều khiển PI.



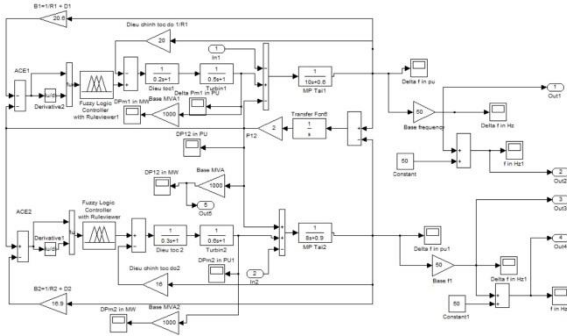
Hình 24. Đặc tính sai lệch tần số liên kết của khu vực 1, 2 khi có bộ điều khiển P và PI
 1- Bộ điều khiển P; 2- Bộ điều khiển PI.



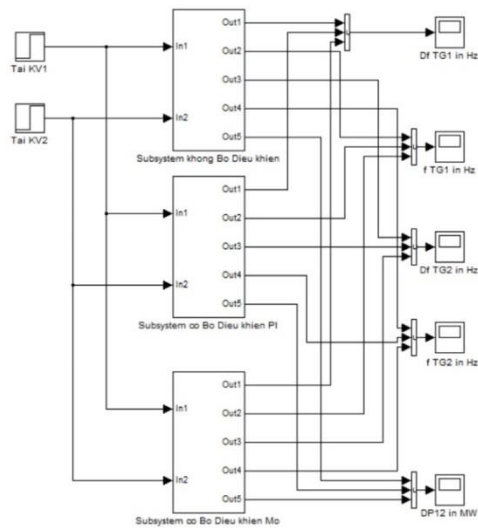
Hình 25. Đặc tính sai lệch công suất liên kết của khu vực 1, 2 khi có bộ điều khiển P và PI
 1- Bộ điều khiển P; 2- Bộ điều khiển PI.

Với tải khu vực 1 là 300MW, tải khu vực 2 là 0MW, khi có sử dụng bộ điều khiển PI thì sai lệch công suất liên kết giữa hai khu vực sẽ về không và tần số về giá trị định mức.

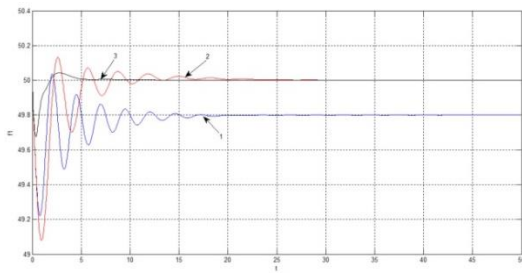
5.3. Hệ thống điện hai khu vực sử dụng bộ điều khiển mờ



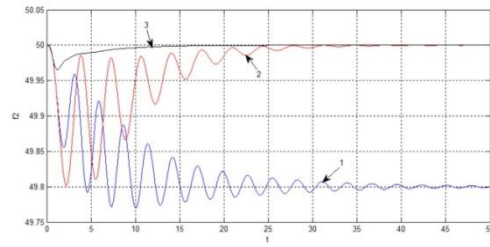
Hình 26. Hệ thống điện hai khu vực sử dụng bộ điều khiển mờ



Hình 27. Hệ thống điện liên kết hai khu vực với bộ điều khiển P, PI và bộ điều khiển mờ

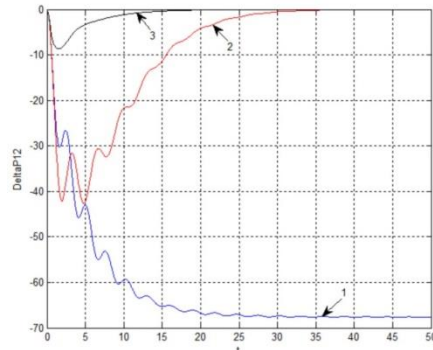


Hình 28. Đặc tính tần số của khu vực 1 khi có bộ điều khiển P, PI và bộ điều khiển mờ
 1- Bộ điều khiển P;
 2- Bộ điều khiển PI; 3- Bộ điều khiển mờ.



Hình 29. Đặc tính tần số của khu vực 2 khi có bộ điều khiển P, PI và bộ điều khiển mờ

1- Bộ điều khiển P;
 2- Bộ điều khiển PI; 3- Bộ điều khiển mờ.



Hình 30. Đặc tính sai lệch công suất liên kết $\Delta P12$ của hai khu vực

1- Bộ điều khiển P;
 2- Bộ điều khiển PI; 3- Bộ điều khiển mờ.

Từ kết quả trên ta thấy hệ thống điện hai khu vực sử dụng bộ điều khiển tần số tải mờ có độ sụt giảm nhỏ, số lần dao động ít, thời gian quá độ ngắn của tần số hệ thống và sai lệch công suất liên kết hai khu vực. Khi ổn định thì tần số bám sát tần số định mức và sai lệch công suất nút liên kết giữa hai khu vực về không. Hệ thống làm việc bền vững và ổn định.

6. Kết luận

Bộ điều khiển mờ tần số tải được xây dựng cho hệ thống điện hai khu vực với dạng tua bin hơi không hồi nhiệt. Bộ điều khiển mờ tần số tải đề xuất cho hệ thống được so sánh kết quả với bộ điều khiển tỷ lệ tích phân truyền thống nhận được đặc tính động học tốt hơn với độ quá điều chỉnh, độ sụt giảm nhỏ, số lần dao động ít và thời gian quá độ ngắn của tần số hệ thống và sai lệch công suất liên kết hai khu vực với dải thay đổi rộng của tải. Sau khi điều chỉnh thì tần số đã duy trì, bám tần số định mức của hai khu vực và sai lệch công suất của nút liên kết giữa hai khu vực về không. Vì vậy, đã nâng cao chất lượng điều chỉnh khi ứng dụng bộ điều khiển mờ tần số tải cho hệ thống điện hai khu vực với yếu tố tải thay đổi trong phạm vi rộng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT23-24.57**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lã Văn Út (2000), *Phân tích và điều khiển ổn định hệ thống điện*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Phan Xuân Minh, Nguyễn Doãn Phước (1999), *Lý thuyết điều khiển mở*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [3] Mircea Eremia, Mohammad Shahidehpour (2013), *Handbook of electrical power system dynamics: modeling, stability, and control*, Wiley-IEEE Press.
- [4] B.M. Weedy, B.J. Cory, N. Jenkins, J.B. Ekanayake, G. Strbac (2012), *Electric power systems*, Wiley.
- [5] T Bharath Kumar, M Uma Vani (2014), *Load Frequency Control in Two Area Power System using ANFIS*, Computer Engineering and Intelligent Systems, Vol.5 - No. 9, pp.27-35.
- [6] Brijesh Kumar Dubey, N. K. Singh, Sameer Bhambri (2019), *Optimization of PID controller parameters using PSO for two area load frequency control*, International Journal of Robotics and Automation, Vol.8, No.4, pp.256-268.

Ngày nhận bài:	12/04/2024
Ngày nhận bản sửa:	25/04/2024
Ngày duyệt đăng:	28/04/2024