

GIẢI PHÁP KHỞI ĐỘNG ĐEN VÀ VẬN HÀNH Ở CHẾ ĐỘ ỐC ĐẢO CHO NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN ĐĂKRŌSA ỨNG DỤNG LOGIC MỜ

A METHOD OF BLACK-START AND ISLAND OPERATION FOR ĐĂKRŌSA HYDROELECTRIC POWER PLANT USING FUZZY LOGIC

Trương Công Tuấn¹, Đoàn Thị Ngọc Như¹, Nguyễn Đình Tuy², Nguyễn Huy Quyền², Lê Tiến Dũng^{3*}

¹Lớp 15TDH1 - Khoa Điện, Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng

tuantruongqn97@gmail.com, nhudoan065@gmail.com

²Công ty Cổ phần Thủy điện Đăkrosa, TP Pleiku, Gia Lai; *tuyndinh@gmail.com*

³Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng; *ltdung@dut.udn.vn*

Tóm tắt - Khởi động đen là quy trình khôi phục lại nguồn điện bằng cách sử dụng các nhà máy phát điện trong trường hợp hệ thống truyền tải điện quốc gia bị mất điện hoàn toàn hoặc một phần. Trong bài báo này, giải pháp khởi động đen và vận hành ở chế độ ốc đảo được đề xuất cho nhà máy thủy điện Đăkrosa tại tỉnh Kontum. Trước hết, mô hình toán học của nhà máy thủy điện Đăkrosa được xây dựng để làm cơ sở cho việc phân tích và thiết kế giải pháp. Dựa trên mô hình toán học này, các thuật toán điều khiển PID và điều khiển mờ được đề xuất để khởi động đen nhà máy và vận hành ở chế độ ốc đảo cấp điện cho một phụ tải xác định. Để kiểm chứng sự khả thi và hiệu quả của các thuật toán đề xuất, các mô phỏng được thực hiện trên phần mềm Matlab-Simulink. Các kết quả mô phỏng cho thấy đáp ứng công suất huy động và ổn định tần số tốt hơn trong trường hợp có sử dụng logic mờ kết hợp với thuật toán PID truyền thống.

Từ khóa - Khởi động đen; nhà máy thủy điện; hệ thống điều tốc; mô hình toán học; mô hình hóa; logic mờ.

1. Đặt vấn đề

Mất điện trên diện rộng hoặc sự cố rã lưới điện là các trường hợp tồi tệ nhất có thể xảy ra trong hệ thống điện. Rã lưới điện là sự cố mất liên kết giữa các nhà máy điện, trạm điện dẫn đến mất điện một phần hay toàn bộ hệ thống điện miền hoặc hệ thống điện quốc gia. Khi sự cố rã lưới điện xảy ra sẽ ảnh hưởng đến các thiết bị điện quan trọng, các khu vực quan trọng khi bị mất điện có khả năng ảnh hưởng đến an ninh quốc gia, gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng, đe dọa tính mạng con người, gây thiệt hại lớn về kinh tế. Tại Việt Nam, gần đây sự cố rã lưới điện gây mất điện toàn Miền Nam đã xảy ra chiều ngày 22/05/2013 [1]. Khi sự cố rã lưới điện xảy ra, trung tâm điều độ có thể ra lệnh vận hành để yêu cầu các nguồn phát điện thực hiện khởi động đen (*black start*) và cung cấp điện độc lập cho các khu vực quan trọng trong một thời gian để chờ hệ thống điện được khôi phục. *Khởi động đen* là quá trình khôi phục lại toàn bộ (hoặc một phần) hệ thống điện từ trạng thái mất điện toàn bộ (hoặc một phần) bằng cách sử dụng các tổ máy phát điện có khả năng khởi động đen. Trong thời gian đó, các thao tác được thực hiện theo trình tự nhất định nhằm đưa các thiết bị của hệ thống điện vào vận hành trở lại sau sự cố rã lưới. Để thực hiện việc này, các nguồn phát điện tham gia vào khởi động đen phải được trang bị giải pháp khởi động đen và cấp điện độc lập cho một khu vực phụ tải quan trọng. Bên cạnh đó, các khu vực quan trọng cũng phải được trang bị hệ thống chuyển đổi nguồn điện nhận từ lưới điện quốc gia sang nhận từ nguồn điện dự phòng theo quy định của pháp luật, đảm bảo các thiết bị điện quan trọng làm việc bình thường hoặc không bị hư hỏng trong trường hợp mất điện lưới điện quốc

Abstract - Black Start is the procedure of restoring power by using generators in the event of a total or partial shutdown of the national electricity transmission system. In this paper, the solution to black start and island operation is proposed for the Đăkrosa hydroelectric power plant in Kontum province. Firstly, the mathematical model of Đăkrosa hydropower plant is developed as the basis for the analysis and design of the solution. Secondly, based on this mathematical model, PID and fuzzy control algorithms are proposed to black start and operate in island mode to supply a specified load. Thirdly, to verify the feasibility and the effectiveness of the proposed algorithms, simulations have been carried out on Matlab-Simulink software. The results have shown better mobilization power and frequency stability in case of using fuzzy logic combined with traditional PID algorithm.

Key words - Black-Start; Hydroelectric Power Plant; governor system; mathematical model; modeling; fuzzy logic.

gia. Liên quan đến vấn đề này, Bộ công thương đã ban hành thông tư số 22/2017/TT-BCT quy định khởi động đen và khôi phục hệ thống điện quốc gia [2].

Nhà máy thủy điện Đăkrosa nằm trên khu vực Bắc Tây nguyên, công suất máy phát cỡ nhỏ (7,5 MW), kết nối lưới 22kV và lưới 110kV để cung cấp điện cho khu vực Huyện Đăk Tô, và Tỉnh Kon Tum hòa vào lưới điện Quốc gia tại trạm 110kV Đăk Tô. Việc nghiên cứu giải pháp khởi động đen cho nhà máy thủy điện Đăkrosa để khi có sự cố đột ngột từ hệ thống điện có thể đưa tổ máy vào phát điện ở chế độ độc lập phát điện cho khu vực sẽ góp phần quan trọng, nhằm đáp ứng nhanh công suất cho phụ tải làm ổn định Hệ thống điện tại huyện Đăk Tô nói riêng, Tỉnh Kon Tum nói chung.

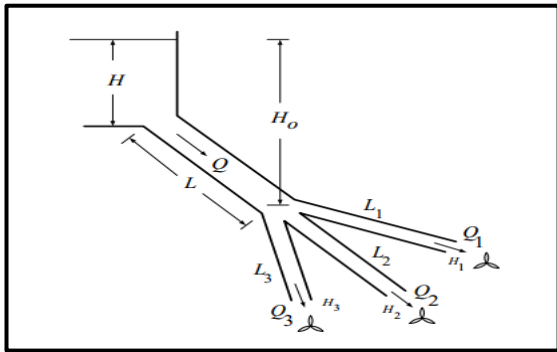
Vấn đề cấp điện độc lập, khởi động đen nhà máy thủy điện đã được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Các công trình đi trước đã nghiên cứu xây dựng mô hình toán học mô tả hệ thống và đề xuất phương pháp điều khiển nhằm nâng cao chất lượng hoạt động của hệ thống điều khiển vận hành ở chế độ phát độc lập của nhà máy thủy điện [3 - 7]. Tuy nhiên, các bài báo này đa số chỉ đưa ra các giải pháp chung mà chưa đi sâu vào cụ thể về thuật toán điều khiển bộ điều tốc nhà máy. Hơn nữa cấu trúc hệ thống thủy lực của các mô hình toán học mà các công trình đi trước không giống với các nhà máy thủy điện nhỏ ở Việt Nam, vì vậy rất khó áp dụng vào thực tiễn tại các nhà máy thủy điện ở Việt Nam.

Những đóng góp chính của bài báo này trong nghiên cứu về giải pháp khởi động đen cho các nhà máy thủy điện tại Việt Nam như sau: Bài báo xây dựng mô hình toán học

cho các thành phần chính của nhà máy thủy điện Đăkrosa tại tỉnh Kontum. Dựa trên mô hình toán học này, các thuật toán điều khiển PID và điều khiển mờ được đề xuất để khởi động den nhà máy và vận hành ở chế độ ổn định cấp điện cho một phụ tải xác định. Với đặc điểm cấu trúc hệ thống thủy lực của nhà máy Đăkrosa là chung một đường ống thủy lực chính và sau đó rẽ nhánh vào 3 tổ máy (Hình 1) thì đây là nghiên cứu có tính mới, các công trình nghiên cứu đi trước chưa thực hiện.

2. Mô hình toán học nhà máy thủy điện Đăkrosa

Nhà máy thủy điện Đăkrosa tại KonTum có tổng công suất 7,5MW là loại nhà máy chung đường ống áp lực. Nước sẽ chảy vào đường ống áp lực chính đến 3 đường ống nhánh đi vào 3 tua-bin của 3 tổ máy phát. Sơ đồ cấu trúc các phần tử thủy lực của nhà máy được thể hiện như Hình 1 dưới đây.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc các phần tử thủy lực nhà máy

Theo phương trình Bernouli và định luật bảo toàn năng lượng chúng ta có:

$$\frac{p_1}{\rho} + z_1g + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + z_2g + \frac{v_2^2}{2} \quad (1)$$

Do: $p_1 = p_2$ và $v_1 = 0$, suy ra vận tốc dòng chảy và lưu lượng có tính đến tổn thất cột nước do ma sát:

$$v_2 = \sqrt{2g(H - h_f)} \quad (2)$$

$$\Rightarrow Q_2 = Av_2A\sqrt{2g(H - h_f)} \quad (3)$$

$$\Rightarrow f_P = \frac{L}{D} \frac{f}{2g} \frac{1}{Ac^2} \quad (4)$$

$$\Rightarrow H_D = H_{in} - f_P \times Q^2 \quad (5)$$

Các van servo đóng mở tỉ lệ với lưu lượng [6]:

$$Q_1 = G_1 Q_{1in} = G_1 A_{c1} \sqrt{2gH_1} \quad (6)$$

$$\Rightarrow H_1 = \left(\frac{Q_1}{G_1 \times A_{c1}} \right)^2 \times \frac{1}{2g} \quad (7)$$

$$\Rightarrow \bar{H}_1 = \left(\frac{\bar{Q}_1}{G_1} \right)^2 \quad (8)$$

Theo định luật II Newton ta có:

$$\Delta P \times A_c = m \frac{\partial v}{\partial t} \quad (9)$$

Mà

$$\Delta P = (H_D - H_0) \rho g \quad (10)$$

$$\Rightarrow (H_D - H_0) \rho g \times A_c = m \frac{\partial v}{\partial t} \quad (11)$$

$$\Rightarrow (H_D - H_0) \rho g \times A_c = L \rho A_c \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (12)$$

Phân tích thành 3 đường ống

$$(H_D - H_0) = \frac{L}{g A_c} \left[\frac{\partial Q_1}{\partial t} + \frac{\partial Q_2}{\partial t} + \frac{\partial Q_3}{\partial t} \right] \quad (13)$$

Tương tự phép biến đổi cho từng đường ống nhánh:

$$(H_0 - H_1) = \frac{L_1}{g A_{c1}} \left[\frac{\partial Q_1}{\partial t} \right] \quad (14)$$

$$(H_D - H_1) = \left[\frac{L_1}{g(A_{c1})} + \frac{L}{g(A_c)} \right] \frac{\partial Q_1}{\partial t} + \left[\frac{L}{g(A_c)} \right] \frac{\partial Q_2}{\partial t} + \left[\frac{L}{g(A_c)} \right] \frac{\partial Q_3}{\partial t} \quad (15)$$

Viết lại phương trình (15) dưới dạng sau:

$$\Delta H_1 = K_1 \dot{Q}_1 + K[\dot{Q}_2 + \dot{Q}_3] \quad (16)$$

Sau đó thực hiện lấy tích phân ta có:

$$\frac{\Delta H_1}{s} = K_1 Q_1 + K(Q_2 + Q_3) \quad (17)$$

Thực hiện chia H_{10} và Q_{10} :

$$\bar{Q}_1 = \left[\frac{\Delta \bar{H}_1}{s} \times \frac{H_{10}}{Q_{10} K_1} - \frac{K}{H_0 K_1} (\bar{Q}_2 + \bar{Q}_3) \right] \quad (18)$$

Khi xét đến tổn hao ta có:

$$\bar{Q}_1 = (\bar{H}_D - \bar{H}_1 - h_{f1}) \frac{1}{s T_w} + M(\bar{Q}_2 + \bar{Q}_3) \quad (19)$$

Bên cạnh đó, mô hình toán học của van servo như sau:

$$\frac{Q_{in}}{Q_{out}} = G = \frac{u}{T_s s + 1} \quad (20)$$

Công suất cơ tác dụng lên tua-bin được biểu diễn bởi phương trình:

$$P_m = \rho g (Q - Q_{NL}) H \eta_T \quad (21)$$

$$\bar{P} = (\bar{Q} - Q_{NL}) \bar{H} \quad (22)$$

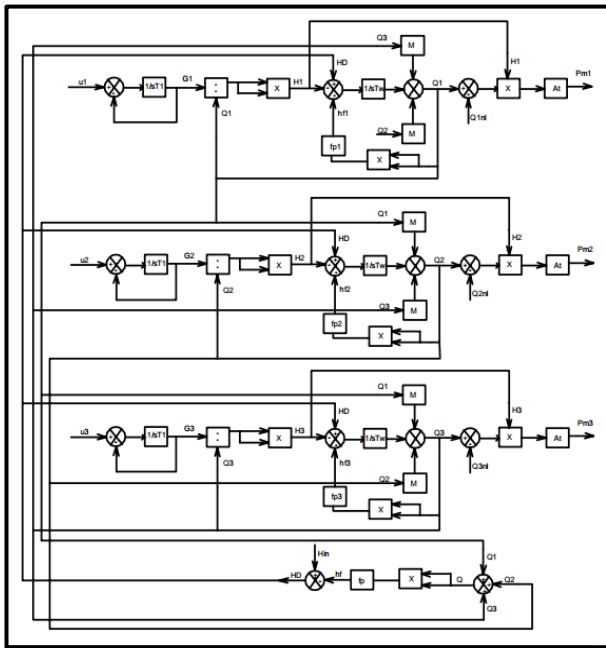
Ý nghĩa các tham số và biến quá trình trong các phương trình trên được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Ý nghĩa của các biến quá trình và tham số

Các biến quá trình	
z	Cao độ tính từ hạ lưu đến vị trí được xét
p	Áp lực tác dụng lên dòng nước
ΔP	Áp lực trên một đơn vị diện tích
H_{in}	Cột nước đầu vào
H	$H = z_1 - z_2$ là cột nước tính toán
H_D	Cột nước áp lực khi xét đến tổn thất
f_{ms}	Hệ số sức cản ma sát
h_f	$= h_f = f_{ms} \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = f_P \times Q^2$ Tổn thất cột nước do ma sát
Q_{NL}	Lưu lượng không tải
\bar{Q}_i	Lưu lượng làm việc nhánh i
Q_{in}	Lưu lượng vào van servo

Q_{out}	Lưu lượng ra khỏi van servo
u	Tín hiệu mong muốn đặt vào van servo
G, G_i	Độ mở của van, van nhánh i
L_c, L_i	Chiều dài đường ống chính, nhánh i
D_c, D_i	Đường kính đường ống chính, nhánh i
A_c, A_i	Tiết diện của đường ống chính, nhánh i
K	$K = \left[\frac{L}{g(A_c)} \right]$
K_i	$K_i = \left[\frac{L_i}{g(A_i)} + \frac{L}{g(A_c)} \right]$
ρ	Trọng lượng riêng của nước
m	khối lượng nước
g	Gia tốc trọng trường
η_T	Hiệu suất turbine
f_p	$= \frac{L}{D} \times \frac{f_{ms}}{2g} \times \frac{1}{A_c^2}$
T_s	Thời gian trễ của van servo

Tổng kết lại các phương trình và thực hiện biểu diễn mô hình toán học hệ thống thủy lực của 3 tổ máy nhà máy thủy điện dưới dạng sơ đồ khối, kết quả được thể hiện ở Hình 2.

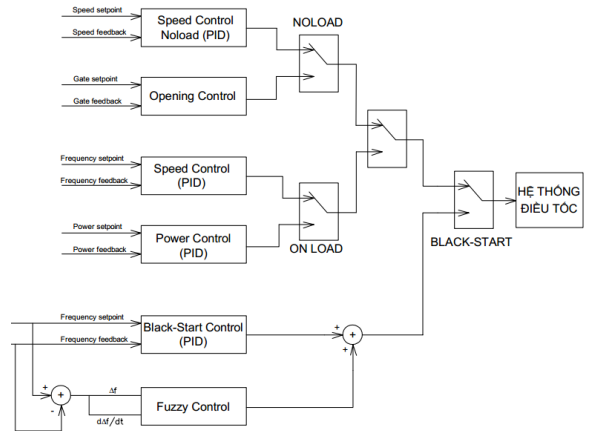


Hình 2. Biểu diễn sơ đồ khối mô hình toán học hệ thống thủy lực nhà máy thủy điện Đăkrosa

3. Đề xuất bộ điều khiển khởi động đen và cấp điện độc lập cho nhà máy thủy điện Đăkrosa

Thực trạng hiện tại của nhà máy chỉ sử dụng các bộ điều khiển PID truyền thống để điều khiển hệ thống điều tốc hoạt động ở 4 chế độ vận hành tương ứng với 4 giai đoạn hoạt động: Điều khiển tốc độ khởi động không tải (Speed control Noload); Điều khiển độ mở cánh hướng ở khởi động không tải (Opening control); Điều khiển tốc độ để điều khiển tần số (Speed control) và Điều khiển công suất (Power control). Thực trạng của nhà máy chưa có giải pháp khởi động đen cũng như điều khiển cấp điện độc lập cho một phụ tải xác định.

Từ phân tích thực trạng của nhà máy và trên cơ sở mô hình toán học đã xây dựng trong Phần 2, nhóm tác giả đề xuất thuật toán điều khiển cho hệ thống điều tốc nhà máy thủy điện Đăkrosa sử dụng bộ điều khiển PID kết hợp logic mờ để điều khiển tổ máy và có 4 chế độ vận hành, mỗi chế độ vận hành sẽ có các bộ PID khác nhau. Sơ đồ nguyên lý các thuật toán điều khiển này như Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý bộ điều khiển hệ thống điều tốc sau khi cải tiến của nhà máy

Hệ thống điều khiển mà bài báo đề xuất cải tiến so với thực trạng ở nhà máy được thêm vào một bộ điều “Black-Start Control” thực chất là bộ PID được hiệu chỉnh phù hợp kết hợp với bộ điều khiển mờ “Fuzzy Control” để phục vụ cho quá trình khởi động đen và vận hành độc lập ở chế độ ốc đảo. Các thông số PID ở các chế độ được tính toán và dò tìm trong quá trình mô phỏng và thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông số các bộ PID

Chế độ	Noload	OnLoad	Freq	Black-Start
K_p	2.7	2.95	3.15	4,7
K_i	0.7	0.72	0.63	0,9
K_d	0.5	0.45	0.5	1,5

Bộ điều khiển mờ được thiết kế với các thành phần như sau:

3.1. Cấu trúc bộ điều khiển mờ

Bộ điều khiển mờ có hai biến trạng thái đầu vào và một biến đầu ra. Mỗi biến này được chia thành nhiều giá trị tập mờ. Số giá trị mờ trên mỗi biến được chọn để phủ hết các khả năng cần thiết sao cho khả năng điều khiển là lớn nhất trong khi chỉ cần một số tối thiểu các luật điều khiển mờ. Ở đây ta chọn hai biến trạng thái vào là: Sai lệch giữa tần số đặt và tần số phản hồi “E”, tốc độ biến thiên của tín hiệu sai lệch tần số “dE” và biến ngôn ngữ ra “U” là đại lượng bù vào tín hiệu điều khiển độ mở cánh hướng.

3.2. Định nghĩa tập mờ

Định nghĩa các biến ngôn ngữ vào ra:

- Biến ngôn ngữ vào là tín hiệu điều khiển của bộ điều khiển mờ cụ thể là lượng sai lệch tần số “E” và tốc độ biến thiên của tín hiệu sai lệch tần số “dE”;
- Biến ngôn ngữ ra “U” là đại lượng bù vào tín hiệu điều khiển độ mở cánh hướng;

Xác định miền giá trị vật lý của các biến ngôn ngữ vào ra: Miền giá trị vật lý phải bao hàm hết các khả năng giá trị mà biến ngôn ngữ vào ra có thể nhận được, ta chọn:

- $E = [-0.04; 0.15]$;
- $dE = [-0.03; 0.14]$;
- $U = [-0.035; 0.872]$.

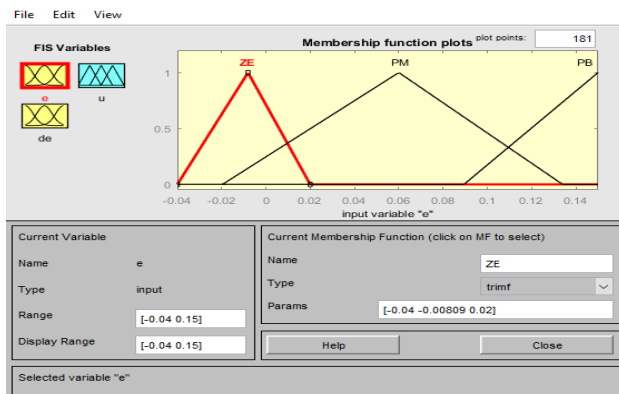
Chọn số lượng tập mờ là các giá trị sau:

- $E = \{ZE \text{ PM } PB\}$;
- $dE = \{GN \text{ ZE } PM \text{ PB}\}$;
- $U = \{ZE \text{ PS } PM \text{ PB}\}$;

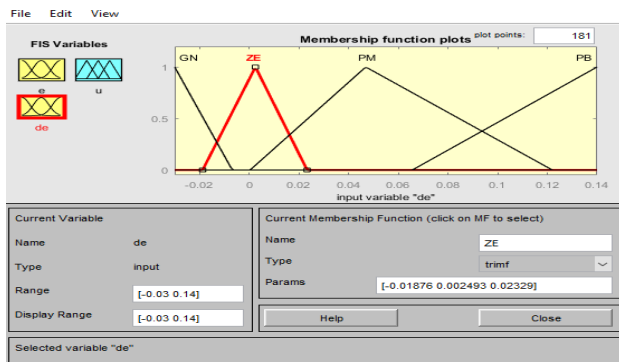
Trong đó:

- GN : Âm;
- ZE : Không;
- PS : Dương ít;
- PM : Dương vừa;
- PB : Dương lớn;

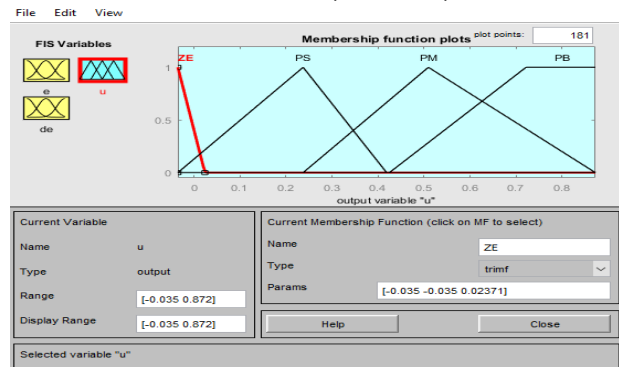
Các hàm thuộc được chọn cho biến ngôn ngữ vào ra như Hình 4, Hình 5 và Hình 6.



Hình 4. Hàm liên thuộc cho sai lệch E



Hình 5. Hàm liên thuộc cho sai lệch dE



Hình 6. Hàm liên thuộc cho đầu ra U

3.3. Xây dựng luật hợp thành

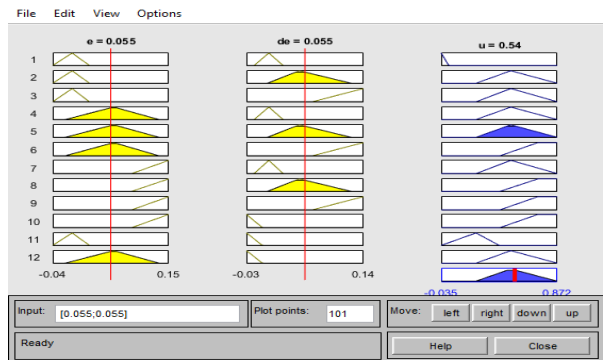
Với 3 tập mờ của biến đầu vào E và 4 tập mờ của biến đầu vào dE, ta xây dựng được $3 \times 4 = 12$ luật điều khiển. Từ đó, ta có các luật mờ của bộ điều khiển như Bảng 3 sau đây.

Bảng 3. Luật mờ của bộ điều khiển mờ

U		Sai lệch tần số (E)		
		ZE	PM	PB
Sai lệch tích phân tần số (dE)	GN	PS	PM	PB
	ZE	ZE	PM	PM
	PM	PM	PM	PB
	PB	PM	PB	PB

3.4. Chọn luật hợp thành

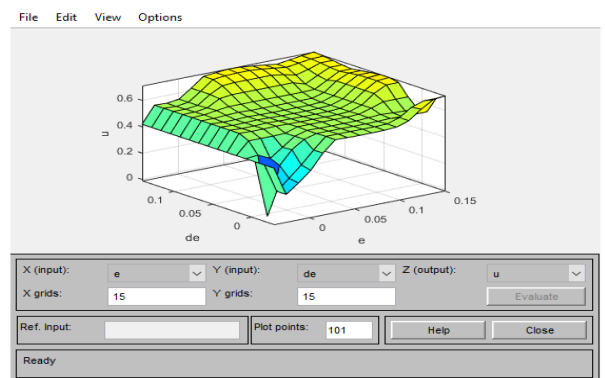
Ta chọn luật hợp thành MAX-MIN, biểu diễn dưới dạng Ruler như Hình 7.



Hình 7. Biểu diễn dưới dạng Ruler

3.5. Giải mờ

Kết quả giải mờ được thể hiện ở Hình 8.

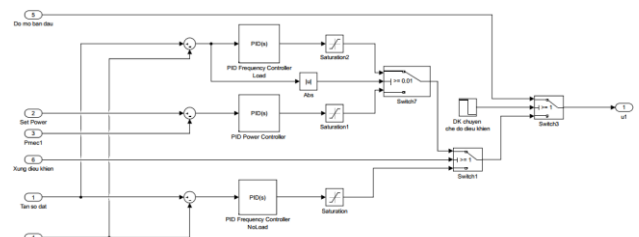


Hình 8. Giải mờ

4. Kết quả mô phỏng

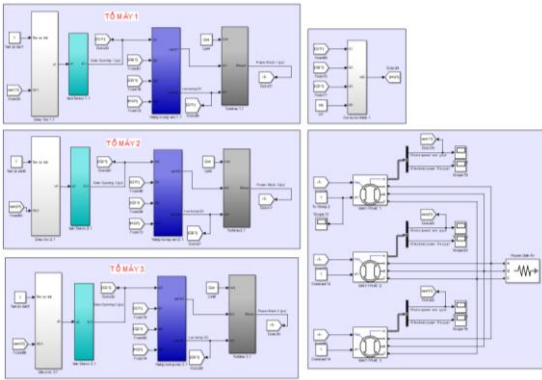
4.1. Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển hiện tại của nhà máy

- Mô phỏng bộ điều khiển hiện tại trên Matlab:



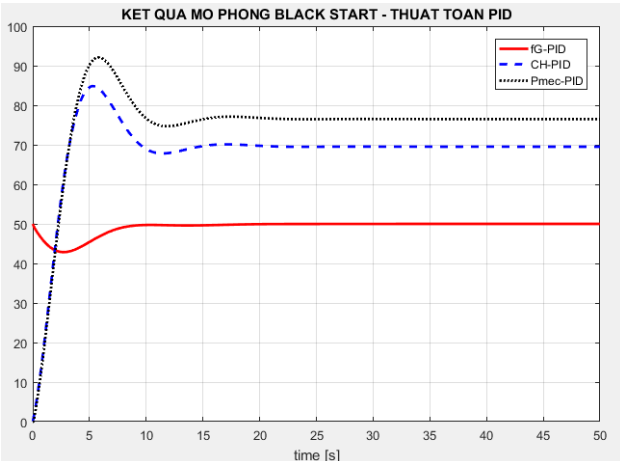
Hình 9. Mô phỏng bộ điều khiển hiện tại

- Mô phỏng toàn bộ hệ thống trên Matlab-Simulink:

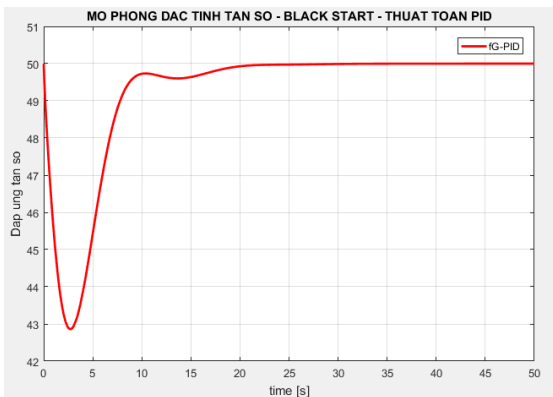


Hình 10. Mô phỏng toàn bộ hệ thống

Kết quả đồ thị mô phỏng hoạt động của hệ thống điều tốc với bộ điều khiển chỉ dùng thuật toán PID truyền thống được thể hiện trên Hình 11. Từ kết quả này ta thấy các đáp ứng tốc độ, tần số và công suất tiến đến giá trị ổn định mong muốn sau một khoảng thời gian nhất định. Trong quá trình khởi động đen và cấp điện độc lập, nếu tách riêng ra đồ thị đáp ứng tần số có kết quả được biểu diễn trên Hình 12.



Hình 11. Kết quả mô phỏng hoạt động khởi động đen của các tổ máy trường hợp chỉ dùng thuật toán PID

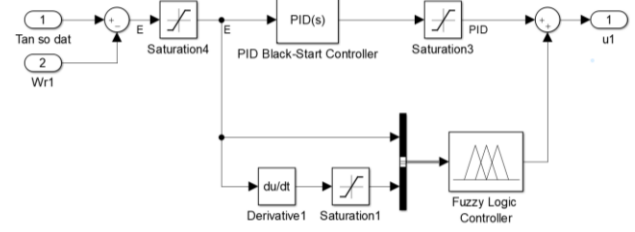


Hình 12. Kết quả đáp ứng tần số của các tổ máy

Từ kết quả mô phỏng đáp ứng tần số trên Hình 12 ta thấy, trong trường hợp có sự cố các tổ máy đang ở trạng thái dừng hoạt động phải khởi động và mang tải 2MW mỗi tổ máy thì trong vòng 25s các tổ máy đạt được tốc độ định mức tương ứng tần số điện áp phát ra là 50Hz±0,2. Tuy nhiên, việc đáp ứng trên là khá chậm.

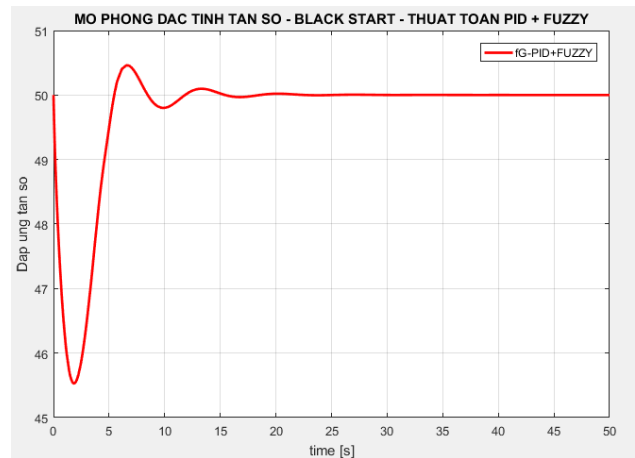
4.2. Kết quả mô phỏng với bộ điều khiển PID + Fuzzy

Mô hình bộ điều khiển PID + Fuzzy được đưa vào hệ thống điều khiển điều tốc nhà máy Hình 13.



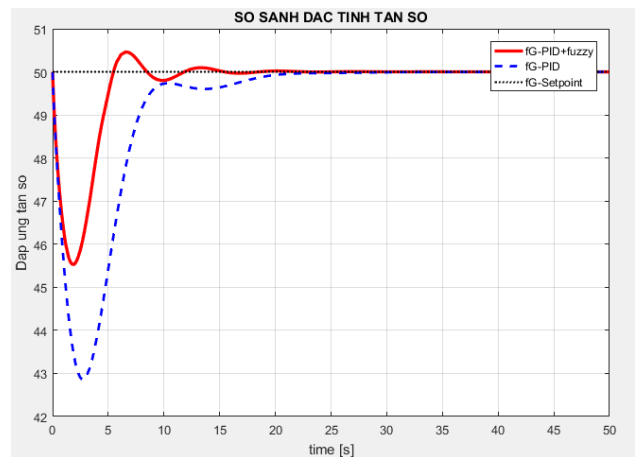
Hình 13. Bộ điều khiển PID+Fuzzy được thêm vào

Kết quả mô phỏng đặc tính tần số ở chế độ khởi động đen với bộ điều khiển khi chỉ sử dụng PID + Fuzzy như Hình 14.



Hình 14. Kết quả đặc tính tốc độ khi sử dụng bộ điều khiển PID kết hợp FUZZ

So sánh kết quả đáp ứng tần số với trường hợp có và không có bộ điều khiển mờ như Hình 15.



Hình 15. So sánh đáp ứng tần số trước và sau cải tiến

Từ kết quả mô phỏng Hình 14 và Hình 15 ta thấy, ở chế độ khởi động tổ máy khi sử dụng bộ điều khiển PID kết hợp FUZZY cho ta kết quả tần số của điện áp bám theo giá trị mong muốn nhanh chóng đạt đến giá trị 50Hz, đáp ứng tốt hơn so với trường hợp chỉ sử dụng thuật toán điều khiển PID truyền thống.

Như vậy, bộ điều khiển mới cho kết quả tốt hơn so với khi chưa cải tiến, đồng thời đáp ứng nhanh chóng công suất khi có yêu cầu để đưa tần số về giá trị định mức nhằm góp phần tham gia vào việc ổn định cho hệ thống điện Quốc gia.

5. Kết luận

Bài báo đã đề xuất giải pháp khởi động đen và vận hành ở chế độ ốc đảo cho nhà máy thủy điện Đăkrosa tại tỉnh Kontum ứng dụng các thuật toán điều khiển PID kết hợp với logic mờ. Mô hình toán học của các thành phần chính của nhà máy thủy điện Đăkrosa đã được xây dựng để làm cơ sở phân tích và đề xuất các thuật toán điều khiển PID kết hợp với logic mờ. Với cấu trúc hệ thống thủy lực khá đặc biệt của nhà máy Đăkrosa là chung một đường ống thủy lực chính và sau đó rẽ nhánh vào 3 tổ máy thì đây là nghiên cứu có tính mới và phù hợp với thực tiễn các nhà máy thủy điện nhỏ ở Việt Nam. Các mô phỏng kiểm chứng trên phần mềm Matlab-Simulink đã chứng minh sự khả thi và hiệu quả của các thuật toán đề xuất. Các kết quả mô phỏng cho thấy, đáp ứng công suất huy động và ổn định tần số tốt hơn trong trường hợp có sử dụng logic mờ kết hợp với thuật toán PID truyền thống. Đây là kết quả nghiên cứu quan trọng làm cơ sở khoa học để nhà máy thủy điện Đăkrosa đề xuất giải pháp cải tiến hệ thống điều khiển, xây dựng giải pháp khởi động đen và cấp điện độc lập theo yêu cầu cấp thiết của thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tập đoàn Điện lực Việt Nam, “Thông tin về việc xảy ra sự cố hệ thống điện miền Nam chiều ngày 22/5/2013”, website: <https://www.evn.com.vn/d6/news/Thong-tin-ve-viec-xay-ra-su-co-he-thong-dien-mien-Nam-chieu-ngay-2252013-66-142-7768.aspx>.
- [2] Bộ Công thương, Cục điều tiết Điện lực, “Thông tư số 22/2017/TT-BCT quy định khởi động đen và khôi phục hệ thống điện quốc gia, có hiệu lực kể từ ngày 12/12/2017”, website: <http://www.erav.vn/d4/van-ban/Thong-tu-Quy-dinh-khoi-dong-den-va-khoi-phuc-he-thong-dien-quoc-gia-4-934.aspx>
- [3] Sun, Wei, Chen-Ching Liu, and Shanshan Liu. "Black start capability assessment in power system restoration", *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*. IEEE, 2011.
- [4] Pentayya, P., et al. "Black start exercises experience in Western Region, India", *2013 Annual IEEE India Conference (INDICON)*. IEEE, 2013.
- [5] Furukawa, Koichiro, et al. "Governor control study at the time of a black start", *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004..* IEEE, 2004.
- [6] Kurup, Sreeram R., and S. Ashok. "Performance of a hydro power plant during black start and islanded operation", *2015 IEEE International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES)*. IEEE, 2015.
- [7] Laghari, J. A., et al. "Computational Intelligence based techniques for islanding detection of distributed generation in distribution network: A review", *Energy conversion and Management* 88 (2014): 139-152.
- [8] Mahmoud, M., K. Dutton, and M. Denman. "Dynamical modelling and simulation of a cascaded reservoirs hydropower plant", *Electric Power Systems Research* 70.2 (2004): 129-139.

(BBT nhận bài: 22/5/2020, hoàn tất thủ tục phản biện: 16/10/2020)