

ĐIỀU KHIỂN FUZZY – PID CHO HỆ THỐNG ĐIỆN ĐA KẾT NỐI

FUZZY- PID CONTROL FOR MULTI - AREA INTERCONNECTED POWER SYSTEMS

Đoàn Diễm Vương

Khoa Điều khiển & Tự động hóa

Đại học Điện Lực

Tóm tắt: Ngày nay, điều khiển tần số tải trong hệ thống điện đa kết nối là một vấn đề vô cùng cấp thiết và quan trọng. Tuy nhiên, do được tạo bởi rất nhiều máy móc, thiết bị nên hệ thống luôn tồn tại các thành phần phi tuyến như là: GDB (dải chết của máy điều tốc), GRC (giới hạn tốc độ của máy phát điện). Nếu điều khiển hệ thống này theo các phương pháp như PID, giải tích thì sẽ rất phức tạp và khó khăn. Vì vậy, tác giả bài báo đã thiết kế bộ điều khiển thông minh Fuzzy –PID để các thông số của bộ PID trong quá trình điều khiển được chỉnh định bằng hệ mờ nhằm ổn định tần số khi hệ thống ba vùng tồn tại những khâu phi tuyến. Kết quả đáp ứng của hệ thống được so sánh với phương pháp điều khiển PID.

Từ khóa: Hệ thống điện đa kết nối, bộ điều khiển Mờ - PID, bộ điều khiển PID.

Chỉ số phân loại: 2.2

Abstract: Today, Load Frequency Control in multi-area interconnected power systems is an important issue. However, because this system is created by a lot of machines and equipment, it always has nonlinear components such as: GDB (Governor DeadBand), GRC (Generation Rate Constraint). If this system is controlled by methods such as PID, mathematical analysis, it will be very complicated and difficult. Therefore, the author has designed Fuzzy –PID controller that the parameters of the PID controller are adjusted by fuzzy system to stabilize the frequency when the system of three area exist nonlinear stages. The response results of the system are compared with the PID control method.

Keywords: Multi – area interconnected power systems, Fuzzy – PID controller, PID controller.

Classification number: 2.2

1. Giới thiệu

Trong hệ thống điện năng lượng điện ở nguồn cấp được lấy từ các máy phát điện, năng lượng nhập khẩu. Nguồn năng lượng cấp này được cấp đến nơi tiêu thụ như: Các hộ tiêu dùng, các nhà máy xí nghiệp sản xuất, năng lượng đưa đi xuất khẩu hoặc bị tổn hao năng lượng trên đường dây. Khi năng lượng điện cung cấp lớn hơn năng lượng điện tiêu thụ thì tần số hệ thống sẽ tăng. Ngược lại, tần số hệ thống sẽ giảm. Khi năng lượng hai bên cân bằng nhau tần số sẽ giữ ở giá trị ổn định ở Việt Nam là 50Hz, còn ở một số nước châu Âu là 60Hz.

Tuy nhiên, trong thực tế năng lượng điện tiêu thụ thay đổi liên tục từng giờ, từng phút thậm chí là từng giây. Nguyên nhân là do sự thay đổi của tải như các hộ tiêu dùng, các nhà máy xí nghiệp thường xuyên sử dụng năng lượng quá tải hoặc hệ thống gặp sự cố.

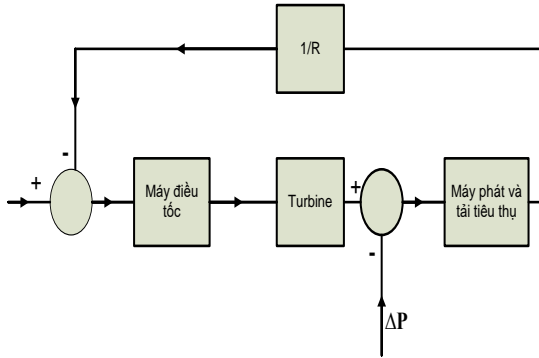
Việc năng lượng tải sử dụng liên tục thay đổi dẫn đến rất khó để cân bằng được với năng lượng cung cấp. Chính vì vậy, dẫn đến tần số

làm việc hệ thống luôn thay đổi so với giá trị mong muốn và có thể thay đổi liên tục trong những khoảng thời gian rất ngắn.

Độ lệch tần số ảnh hưởng đến hoạt động của tất cả các thiết bị trong hệ thống điện như các thiết bị tự dùng trong các nhà máy điện tức là ảnh hưởng đến độ tin cậy cung cấp điện. Khi tần số suy giảm có thể dẫn đến ngừng một số bơm tuần hoàn trong nhà máy điện và khi tần số giảm quá nhiều có thể dẫn đến ngừng tổ máy. Ngoài ra sự thay đổi tần số làm thay đổi trào lưu công suất trong hệ thống. Tần số giảm dẫn đến tăng tiêu thụ công suất phản kháng đồng nghĩa với thay đổi trào lưu công suất tác dụng và tăng tổn thất trên các đường dây truyền tải. Bên cạnh đó sự thay đổi tần số còn gây ra những hậu quả xấu cho các thiết bị điện ở các hộ tiêu thụ như tần số giảm dẫn đến việc động cơ các thiết bị truyền động bị giảm hiệu suất làm việc.

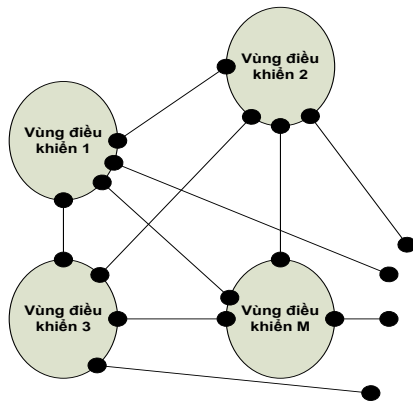
Ngày nay, với các công nghệ kỹ thuật hiện đại việc điều khiển tần số trong hệ thống điện đơn lẻ gồm những thành phần cơ bản:

Máy điều tốc (Governor), Turbine gồm ba loại: Turbin không hồi nhiệt (Non - Reheat Turbine), turbin hồi nhiệt (Reheat Turbine), turbin Hydro, máy phát (Generator) đã được cải thiện tốt. Hình 1 trình bày về cấu trúc của một hệ thống điện đơn vùng cơ bản.



Hình 1. Cấu trúc cơ bản của hệ thống điện đơn vùng.

Tuy nhiên đối với hệ thống điện đa liên kết được trình bày như hình 2 gồm nhiều vùng nối với nhau thông qua các dây dẫn thì việc ổn định tần số còn gặp phải nhiều vấn đề.



Hình 2. Hệ thống điện đa liên kết M vùng.

Việc ổn định tần số trong hệ thống điện đa máy phát kết nối không chỉ dừng lại là điều khiển ổn định tần số mà vì giữa các vùng có mối liên hệ với nhau nên ngoài việc cần điều khiển độ chênh lệch tần số bằng không thì người điều khiển cần quan tâm đến những thông số khác như là $\Delta P_{tie,i}$ (Sai lệch công suất trên đường dây nối các vùng) bằng không. Vì vậy người ta nghiên cứu điều khiển thông số ACE (sai số điều khiển vùng) qua mối quan hệ giữa sai lệch tần số và sai lệch của công suất đường dây để có thể ổn định tần số trong hệ thống này.

Dựa vào thời gian thay đổi của tải tiêu thụ người ta phân bố điều khiển thành các cấp như sau:

- Bộ điều khiển cấp một: Sự thay đổi của tải do các thành phần ngẫu nhiên trong hệ thống gây ra với thời gian thay đổi là nhỏ hơn 10 giây. Lúc này máy điều tốc sẽ tự động điều chỉnh tốc độ đầu ra để làm giảm sự thay đổi của tần số;

- Bộ điều khiển cấp hai: Sự thay đổi của tải do các thành phần dao động trong hệ thống gây ra với khoảng thời gian thay đổi là từ 10 giây đến 3 phút. Sự thay đổi tần số sẽ được điều chỉnh bằng một bộ điều khiển do người điều khiển thiết kế ra;

- Bộ điều khiển cấp ba: Sự thay đổi của tải do các thành phần bền vững trong hệ thống gây ra với khoảng thời gian thay đổi là lớn hơn 3 phút. Sự thay đổi tần số sẽ được điều chỉnh bằng kế hoạch phát điện của nguồn cung cấp điện.

Trên thế giới cũng có rất nhiều bài báo được công bố trình bày về việc điều khiển ổn định tần số cho hệ thống điện đa liên kết. Nghiên cứu [1] thiết kế một bộ điều khiển tần số phân cấp PID cho hệ thống điện liên kết bốn vùng trong những trường hợp khác nhau với điều kiện $\Delta P_{tie,i}$ bằng 0 ($i = 1,2,3,4$). Nghiên cứu [2] tác giả đưa ra phương pháp điều khiển trượt được tối ưu H_∞ tần số tải (SMLFC) cho hệ thống điện liên kết có thời gian trễ. Bằng việc xem xét ngẫu nhiên các thành phần gây nhiễu sinh ra do sự tích hợp năng lượng tái tạo. Tác giả đã xây dựng một bề mặt trượt phản ứng nhanh và có nhiệt suất cao sau đó xây dựng luật kiểm soát đảm bảo khả năng tiếp cận của mặt trượt trong một khoảng thời gian hữu hạn. Nghiên cứu [3] đề xuất một bộ điều khiển mờ nhằm tìm kiếm những thông số tối ưu cho bộ điều khiển PID để điều khiển tần số cho ba vùng. Nghiên cứu [4] một bộ điều khiển nơron được thiết kế để tự động 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 nơron, bộ điều khiển được huấn luyện sao cho thu được giá trị đầu ra mong muốn với mỗi giá trị đầu vào. Mạng nơron độc lập với thời gian và ổn định với các loại nhiễu có thể xảy ra vào các trường hợp khác nhau. Nghiên cứu [5] đã thiết kế một bộ điều khiển mờ - PD, mờ kết hợp với bộ SMES cho hệ

thống điện gồm năm vùng trong các trường hợp phụ tải thay đổi ở một vùng và phụ tải thay đổi ở nhiều vùng.

Để ổn định tần số trong hệ thống điện đa liên kết gặp phải nhiều vấn đề trong hệ thống phát sinh làm ảnh hưởng đến chất lượng điều khiển của hệ thống như: Các thiết bị có thành phần làm hệ thống phi tuyến gồm có: GDB (dải chết của máy điều tốc), GRC (giới hạn tốc độ của máy phát điện), tính trễ của thời gian trong hệ thống, các thông số của thiết bị điện bị thay đổi trong quá trình vận hành hệ thống. Hơn nữa, do được tạo bởi sự kết hợp rất nhiều máy móc thiết bị nên hệ thống gồm hàng nghìn thông số nên rất khó và phức tạp trong việc ổn định tần số cho hệ thống này. Trong quá trình hoạt động các thông số của hệ thống bị thay đổi làm hệ thống không tường minh

tồn tại nhiều yếu tố bất định. Chính vì vậy các phương pháp điều khiển kinh điển như sử dụng bộ điều khiển PID, các phương pháp điều khiển giải tích sẽ khó điều khiển được hệ thống khi các thông số hệ thống luôn luôn thay đổi và không dễ dàng xác định được sự thay đổi đó.

Vì vậy, trong bài báo này đưa ra phương pháp điều khiển thông minh chỉnh định các thông số của bộ PID tối ưu bằng việc sử dụng bộ mờ cho hệ thống điện đa liên kết ba vùng với vùng một là Turbin không hồi nhiệt, vùng hai là Turbin hồi nhiệt, vùng ba là Turbin Hydro. Bài báo đưa ra các kết quả đáp ứng của hệ thống khi hệ thống có thành phần làm hệ phi tuyến. Kết quả được so sánh với bộ điều khiển kinh điển PID.

2. Mô hình hệ thống điện đa liên kết ba vùng

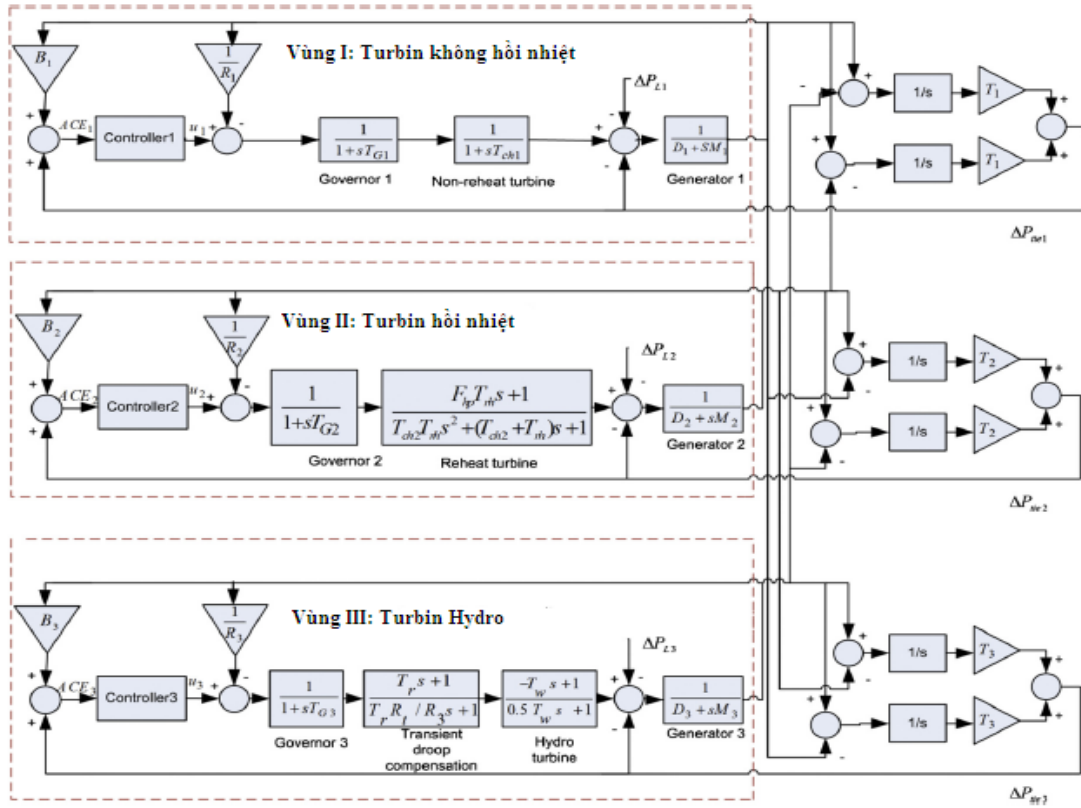
2.1. Các thông số của hệ thống

Bảng 1. Mô tả các thông số hệ thống [6].

0	Tần số khu vực i	Hz
R_i	Hằng số điều chỉnh tốc độ	Hz/p.u
T_{gi}	Hằng số thời gian của máy điều tốc	s
M	Hằng số quán tính của máy phát	p.u.s
D	Hằng số giám tải	p.u/Hz
T_i	Hệ số đồng bộ moomen xoắn của đường dây	p.u/rad
T_{ch}	Hằng số thời gian của Turbin không hồi nhiệt	s
T_{rh}	Hằng số thời gian của Turbin hồi nhiệt	s
F_{hp}	Hằng số khâu áp suất cao	
T_w	Thời gian bắt đầu bơm	s
T_r	Thời gian đặt lại	s
R_t	Hằng số rơi tạm thời	Hz/p.u
B_i	Đặc tính đáp ứng tần số cho khu vực i	p.u/Hz
ACE_i	Lỗi kiểm soát khu vực i	
ΔP_{nei}	Thay đổi công suất trên đường dây	
ΔP_{Li}	Thay đổi nhu cầu tải trong khu vực i	

2.2. Sơ đồ cấu trúc hệ thống của hệ thống

Hình 3 mô tả toán học của hệ thống điện đa liên kết ba vùng.



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống [6].

Bảng 2: Giá trị thông số của từng vùng trong hệ thống [6].

Vùng Turbin không hồi nhiệt		Vùng Turbin hồi nhiệt		Vùng Turbin Hydro	
M_1	10	M_2	10	M_3	6
D_1	1	D_2	1	D_3	1
T_{ch1}	0.3	T_{ch2}	0.3	T_r	5
T_{g1}	0.1	T_{g2}	0.2	T_{g3}	0.2
R_1	0.05	R_2	0.05	R_3	0.05
B_1	21	B_2	21	B_3	21
T_1	22.6	T_2	22.6	T_3	22.6
		F_{hp}	0.3	R_t	0.38
		T_{rh}	7	T_w	1

Mục tiêu điều khiển của hệ thống điện đa liên kết là điều khiển sai số tần số, ACE, ΔP_{tie} tại các khu vực tiền về không trong khi hệ thống tồn tại nhiều thành phần phi tuyến

3. Thiết kế bộ điều khiển Fuzzy – PID

Bộ điều khiển PID được đặc trưng bởi các thông số K_p, K_d, K_i .

Theo [7] giả sử ta có K_p và K_d luôn nằm trong khoảng lân cận là $[K_{p \min}, K_{p \max}]$ và $[K_{d \min}, K_{d \max}]$ ta có:

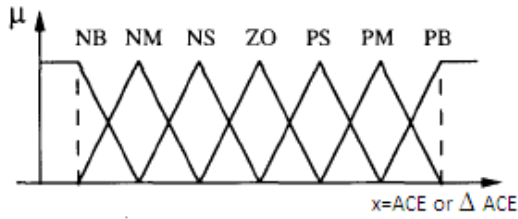
$$K'_p = (K_p - K_{p \min}) / (K_{p \max} - K_{p \min}) \tag{1}$$

$$K'_d = (K_d - K_{d \min}) / (K_{d \max} - K_{d \min})$$

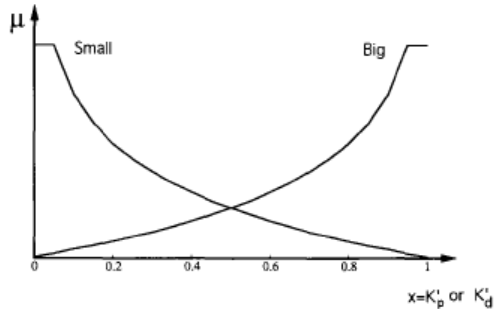
$$T_i = \alpha T_d \tag{2}$$

$$K_i = K_p / \alpha T_d = K_p^2 / (\alpha T_d) \tag{3}$$

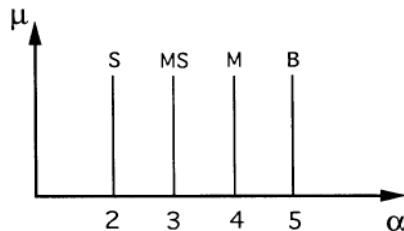
Bộ điều khiển mờ được thiết kế với đầu vào là ACE và ΔACE có hàm liên thuộc như sau:



Hình 4. Hàm liên thuộc của ACE và ΔACE. Đầu ra của bộ mờ là K_p' , K_d' , α



Hình 5. Hàm liên thuộc của K_p' , K_d' .



Hình 6. Hàm liên thuộc của α .

		ΔACE						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
ACE	NB	B	B	B	B	B	B	B
	NM	S	B	B	B	B	B	S
	NS	S	S	B	B	B	S	S
	ZO	S	S	S	B	S	S	S
	PS	S	S	B	B	B	S	S
	PM	S	B	B	B	B	B	S
	PB	B	B	B	B	B	B	B

Hình 7. Luật mờ cho K_p' .

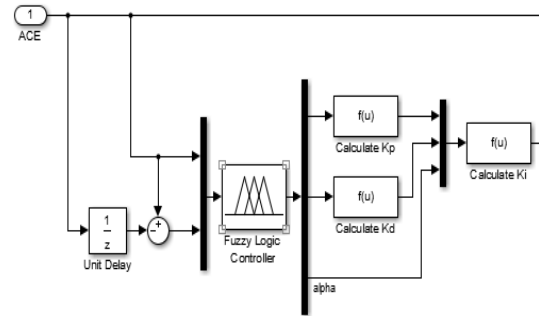
		ΔACE						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
ACE	NB	2	2	2	2	2	2	2
	NM	3	3	2	2	2	3	3
	NS	4	3	3	2	3	3	4
	ZO	5	4	3	3	3	4	5
	PS	4	3	3	2	3	3	4
	PM	3	3	2	2	2	3	3
	PB	2	2	2	2	2	2	2

Hình 8. Luật mờ cho α .

Từ (1) và (3) ta có

$$\begin{aligned}
 K_p &= (K_{p\max} - K_{p\min})K_p' + K_{p\min} \\
 K_d &= (K_{d\max} - K_{d\min})K_d' + K_{d\min} \\
 K_i &= K_p^2 / (\alpha T_d)
 \end{aligned} \tag{4}$$

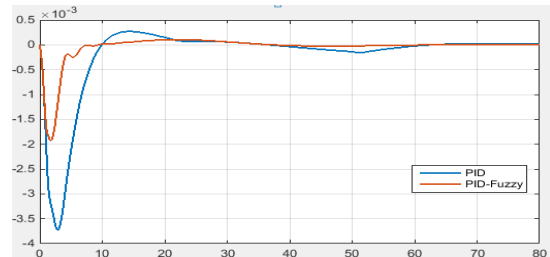
Nên bộ điều khiển Fuzzy-PID được thiết kế như hình 9.



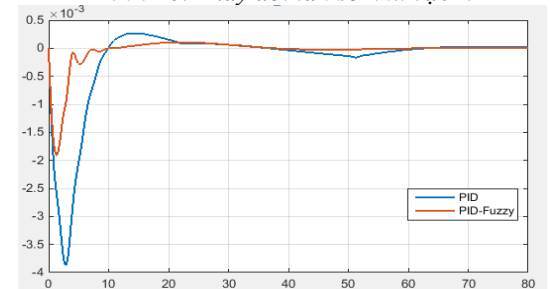
Hình 9. Cấu trúc bộ điều khiển Fuzzy-PID.

4. Mô phỏng hệ thống và kết quả

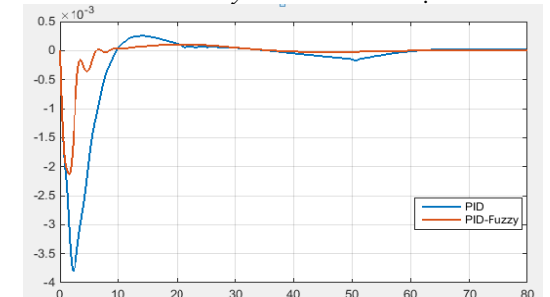
Mô phỏng hệ thống khi hệ thống tồn tại các thành phần làm hệ phi tuyến như là: GDB (dải chết của máy điều tốc), GRC (giới hạn tốc độ của máy phát điện). Kết quả đưa ra là các đáp ứng của tần số thay đổi, ΔP_{tie} , sai số ACE của các vùng theo thời gian. Các đáp ứng này được so sánh với đáp ứng của các thông số trên khi sử dụng bộ điều khiển PID.



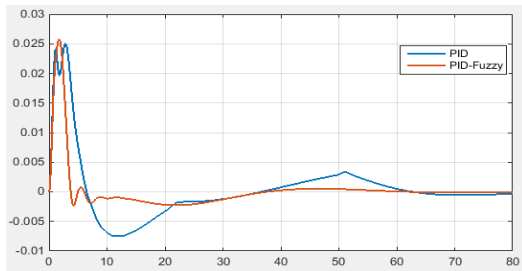
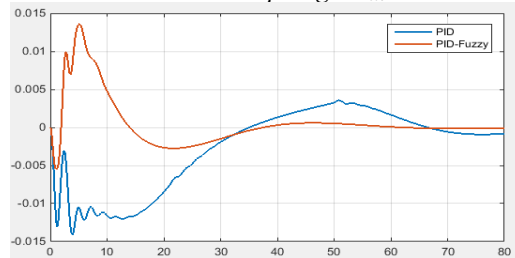
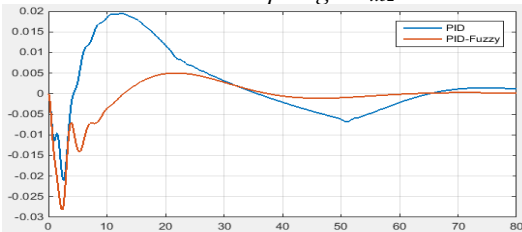
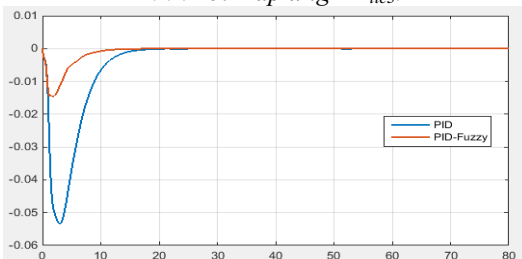
Hình 10. Thay đổi tần số khu vực I.



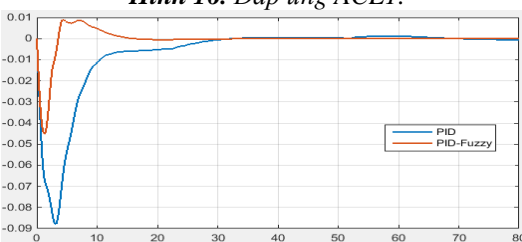
Hình 11. Thay đổi tần số khu vực II.



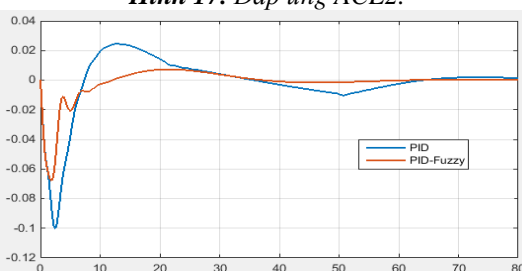
Hình 12. Thay đổi tần số khu vực III.

Hình 13. Đáp ứng ΔP_{tie1} .Hình 14. Đáp ứng ΔP_{tie2} .Hình 15. Đáp ứng ΔP_{tie3} .

Hình 16. Đáp ứng ACE1.



Hình 17. Đáp ứng ACE2.



Hình 18. Đáp ứng ACE3.

So sánh chất lượng của bộ điều khiển PID và Fuzzy – PID được trình bày trong bảng 3:

Bảng 3. So sánh các đáp ứng của bộ điều khiển PID và Fuzzy – PID.

Vùng	Các đáp ứng	Độ vọt ló (Hz)		Thời gian xác lập (s)	
		PID	Fuzzy-PID	PID	Fuzzy-PID
Vùng I	Thay đổi f_1	0.0035	0.0018	60	8
	ΔP_{tie1}	0.025	0.025	60	40
	ACE1	0.01	0.05	20	10
Vùng II	Thay đổi f_2	0.0039	0.0018	60	10
	ΔP_{tie2}	0.013	0.013	80	35
	ACE2	0.09	0.04	30	20
Vùng III	Thay đổi f_3	0.0038	0.0021	60	10
	ΔP_{tie3}	0.02	0.025	80	35
	ACE3	0.1	0.06	65	35

5. Kết luận

Bộ điều khiển Fuzzy – PID được thiết kế đã có những đáp ứng tốt như: Độ vọt ló thấp hơn, thời gian xác lập ngắn hơn so với bộ điều khiển PID thông thường. Tuy nhiên bộ điều khiển chưa giải quyết được tính bất định theo thời gian của các thông số và độ trễ đáp ứng của hệ thống □

Tài liệu tham khảo

- [1] Tan Wen, Zhang H, Yu M. "Decentralized load frequency control in deregulated environments." Electrical Power and Energy System (2012).
- [2] Yonghui Sun, Yingxuan Wang, Zhinong Wei, Guoqiang Sun, and Xiaopeng Wu. "Robust H1 Load Frequency Control of Multi-area Power System With Time Delay: A Sliding Mode Control Approach" IEEE/CAA journal of automatica sinica, Vol. 5, No. 2, March 2018.
- [3] Nour EL Yakine Kouba, Mohamed Menea, Mourad Hasni and Mohamed Boudour, "Load Frequency Control in Multi-Area Power System Based on Fuzzy Logic-PID Controller", IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), November 2015.
- [4] V. Shanmuga Sundaram and T. Jayabarathi "An artificial neural network approach of load frequency control in a multi area interconnected power system". Shanmuga Sundaram et al./ Elixir Elec. Engg. 38 (2011) 4394-4397.
- [5] Vũ Duy Thuận "Nghiên cứu ổn định và tối ưu hệ thống phục hợp nhiều thành phần ứng dụng cho hệ thống điện", Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Viện Hàn Lâm Khoa học và Công Nghệ Việt Nam (2017)
- [6] Seyed Abbas Taher, Masoud Hajiakbari Fini, Saber Falahati Aliabadi "Fractional order PID controller design for LFC in electric power systems using imperialist competitive algorithm" Ain Shams Engineering Journal (2013)
- [7] Zhen-Yu Zhao, Masayoshi Tomizuka, Satoru Isaka, "Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers" IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. Vol.23, No.5. September 1993.

Ngày nhận bài: 16/4/2019

Ngày chuyển phản biện: 19/4/2019

Ngày hoàn thành sửa bài: 10/5/2019

Ngày chấp nhận đăng: 17/5/2019