

SO SÁNH PHÂN TÍCH CÁC BỘ ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH CHO ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ TUA BIN THỦY ĐIỆN

COMPARISON OF ANALYSIS OF HYDRAULIC CONTROLLERS FOR HYDRAULIC BASIC SPEED CONTROLLER

Nguyễn Duy Trung^{1*}, Hoàng Thị Thu Hương²,
Lê Hùng Lân³, Nguyễn Văn Tiềm³

TÓM TẮT

Trong nhà máy thủy điện hiện nay, việc điều chỉnh tốc độ tua bin thủy điện nhằm để ổn định tần số lưới điện khi tải thay đổi luôn được quan tâm để nhằm mục đích nâng cao chất lượng điện năng. Hệ thống điện hiện nay gồm có các nguồn phát điện như: Nhiệt điện, điện hạt nhân, thủy điện, điện mặt trời, năng lượng gió. Thủy điện luôn chiếm lượng công suất tương đối lớn trên tổng công suất lưới điện. Việc xây dựng bộ điều khiển tốc độ tua bin thủy điện để nâng cao chất lượng điều khiển là rất quan trọng. Để nâng cao chất lượng cũng như ổn định tần số lưới khi tải thay đổi, ngoài việc sử dụng bộ điều khiển PID để điều khiển tốc độ tua bin, bên cạnh đó có những bộ điều khiển thông minh và áp dụng các thuật toán tối ưu nhằm nâng cao chất lượng điều khiển, bài báo này sẽ thiết kế các bộ điều khiển thông minh để điều khiển tốc độ tua bin thủy điện nhằm tìm ra bộ điều khiển tốt nhất để thay thế bộ điều khiển truyền thống PID hiện nay đang sử dụng trong thực tế.

Từ khóa: Điều khiển tần số tải, điều khiển thông minh, logic mờ và mạng nơ ron nhân tạo, tuabin thủy điện.

ABSTRACT

In the current power system, the adjustment of the frequency of the grid stability when the load changes to ensure power quality is a highly important control problem. The power system has several types of primary sources such as thermal power, nuclear power, hydroelectric, solar power and wind power. Hydroelectricity always accounts for a relatively large amount of capacity on the total grid capacity. Building a mathematical model of the connected hydroelectric system is a very important step in designing the hydro turbine controller to stabilize the grid frequency when the load changes. From the investigation of mathematical modeling, it is possible to apply efficient net frequency control strategies for the interconnected hydropower system in reality.

Keywords: Control frequency load, Intelligent control, fuzzy logic and artificial neural networks, hydro turbine.

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

²Ban Quản lý dự án điện 2, Tập Đoàn Điện lực Việt Nam

³Bộ môn điều khiển học, Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: trungnd@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/8/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/10/2020

Ngày chấp nhận đăng: 21/10/2020

KÍ HIỆU

- MRAC: Model reference adaptive control - Điều khiển thích nghi với mô hình mẫu
- NARMA-L2: Nonlinear Autoregressive - Moving Average - Điều khiển hồi qui
- MPC: Model predictive control.- Điều khiển dự báo
- FLC: Fuzzy logic control - Bộ điều khiển mờ
- PID: Proportional - integral - derivative - Tỷ lệ - tích phân - vi phân
- ITAE: Integral of time multiplied by absolute error - Tích phân tích thời gian với sai số tuyệt đối

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống điện nói chung và nhà máy thủy điện nói riêng là nguồn năng lượng rất quan trọng để phục vụ phát triển kinh tế và đất nước, tuy nhiên trong quá trình vận hành hệ thống điện luôn có sự biến động liên tục không ngừng trên lưới. Chính vì vậy, việc giữ cho công suất và tần số trên lưới ổn định khi tải thay đổi là rất quan trọng và cần thiết nhằm nâng cao chất lượng điện năng. Bộ điều tốc luôn giữ một vị trí rất quan trọng, vì thông qua bộ điều tốc thì sẽ thay đổi tốc độ và tần số của máy phát, khi phát công suất lên lưới điện ngoài việc thay đổi tốc độ và tần số của tổ máy thì còn có sự thay đổi công suất trên lưới, công suất trao đổi trên lưới và giữa các vùng phát điện với nhau, chính vì sự ổn định của hệ thống càng đòi hỏi ta phải nghiên cứu và nâng cao chất lượng ổn định của hệ thống. Hiện nay, các nhà máy thủy điện của Việt Nam đang sử dụng bộ điều khiển PID, bộ điều khiển PID cũng đã sử dụng tốt, tuy nhiên trong tương lai hệ thống điện sẽ ngày càng phức tạp và thông minh, phần dự trữ công suất cũng hạn chế do vậy việc điều chỉnh và ổn định hệ thống đòi hỏi cần được quan tâm nhiều hơn. Hiện nay, khoa học công nghệ cũng phát triển đặc biệt là điều khiển thông minh cũng đã mang lại hiệu quả tương đối tốt và có thể sử dụng và thay thế công nghệ cũ nhằm nâng cao chất lượng hệ thống. Trong [1, 2] đã nghiên cứu đưa ra các giải pháp điều khiển thông minh và giải thuật di truyền tối ưu hóa sinh học, bên cạnh đó sử dụng các bộ điều khiển mờ. Trong [4- 6] đưa ra

mô hình đối tượng điều khiển của tua bin thủy điện đơn vùng, liên kết vùng. Trong [3, 7] đã áp dụng các lý thuyết điều khiển thông minh như mạng nơ ron nhân tạo và logic mờ để giải quyết các bài toán về ổn định tần số máy phát, Tuy nhiên, trong [7-10] bài toán điều khiển tốc độ tua bin thủy điện liên kết khu vực là bài toán phi tuyến mạnh và đòi hỏi ngoài việc sử dụng các bộ điều khiển thông minh thì bên cạnh đó phải sử dụng các giải thuật tối ưu

Việc xây dựng được các bộ điều khiển thông minh qua đó chọn được bộ điều khiển tốt nhất để áp dụng điều khiển tua bin trong nhà máy thủy điện liên kết vùng nhằm ổn định tần số lưới điện khi tải thay đổi. Đó cũng chính là mục tiêu của bài báo này.

Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày về việc thiết kế và so sánh các bộ điều khiển thông minh để điều khiển tốc độ tua bin thủy điện liên kết vùng. Trong đó, việc thiết kế bộ điều khiển tốc độ (tần số) tua bin thủy điện là rất quan trọng và cần thiết khi phụ tải hệ thống thay đổi. Do vậy căn cứ vào mô hình toán học của hệ thống ta thiết kế bộ điều khiển thông minh để điều khiển tốc độ tua bin thủy điện nhằm ổn định tần số khi tải thay đổi. Các bộ điều khiển thông minh khi được xây dựng để so sánh với bộ điều khiển PID truyền thống, qua đó để chọn được bộ điều khiển tốt nhất để ứng dụng cho việc điều khiển tốc độ tua bin thủy điện khi tải thay đổi.

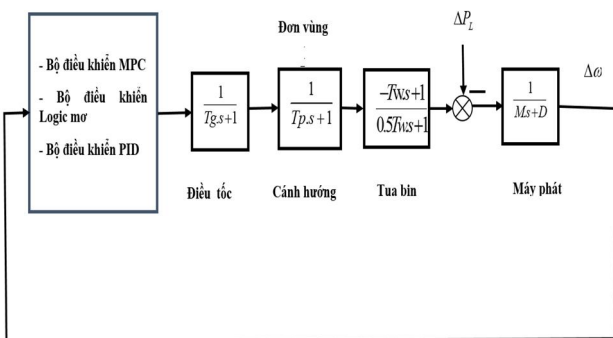
2. PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CÁC GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN THÔNG MINH TỐC ĐỘ TUA BIN NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN LIÊN KẾT VÙNG

2.1. Đặt vấn đề

Việc thiết kế bộ điều khiển thông minh để ứng dụng cho điều khiển tốc độ tua bin thủy điện liên kết vùng là vấn đề rất quan trọng, qua đó ta có thể chọn được các bộ điều khiển tối ưu và phù hợp nhất để áp dụng. Tuy nhiên, để đánh giá một cách tổng thể và toàn diện thì đòi hỏi phải mất rất nhiều công sức và khó. Qua các thiết kế và dựa vào các kết quả của các bộ điều khiển ta có thể phân tích và so sánh.

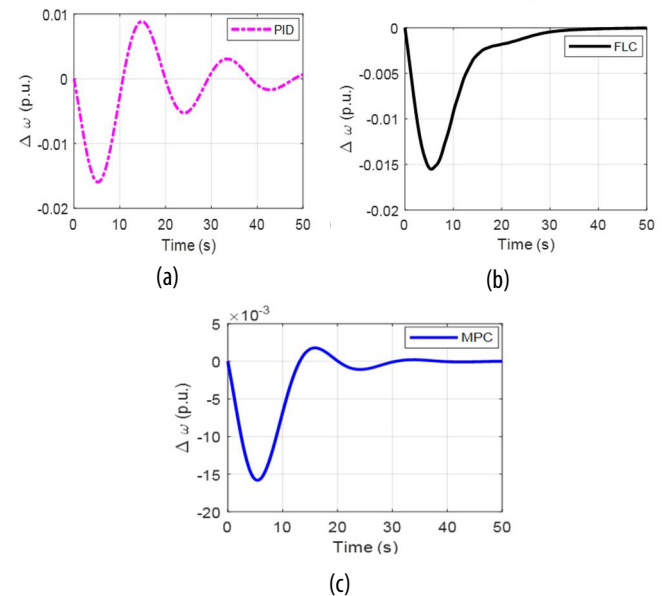
2.2. Mô hình thủy điện đơn vùng

Trong [1, 2, 5], nhà máy thủy điện đơn vùng cấu tạo gồm có các khối cơ bản: Điều tốc, cánh hướng, tua bin và máy phát. Sơ đồ khối mô hình đơn vùng khi áp dụng các bộ điều khiển tốc độ tua bin thủy lực khác nhau được thể hiện trên hình 1.



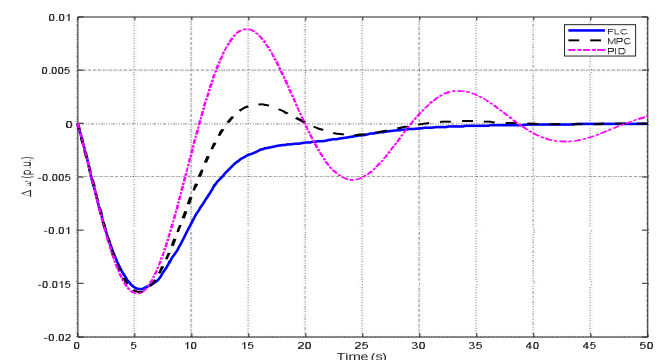
Hình 1. Mô hình nhà máy thủy điện đơn vùng

Để có cái nhìn toàn diện ta tiến hành so sánh với các bộ điều khiển với nhau thông qua bộ điều khiển PID làm tham chiếu trên hình 1, mô tả cấu trúc hệ thống điều khiển sử dụng các bộ điều khiển nơ ron MPC và logic mờ. Từ đó tiến hành thiết lập mô hình mô phỏng cho các bộ điều khiển để phân tích các kết quả của các bộ điều khiển và đánh giá những ưu điểm nhược điểm của các bộ điều khiển nhằm đưa ra những khuyến cáo tốt nhất.



Hình 2. Đáp ứng sai lệch tốc độ máy phát đồng bộ cho hệ thống điện đơn vùng

Các kết quả mô phỏng trên hình 2 cho thấy cả hai bộ điều khiển logic mờ và mạng nơ ron đều mang lại chất lượng điều khiển tốt hơn so với bộ điều khiển PID. Để cụ thể hóa và so sánh các bộ điều khiển với nhau để chọn được bộ điều khiển phù hợp với mô hình toán của tua bin thủy điện, ta xét hình 3.

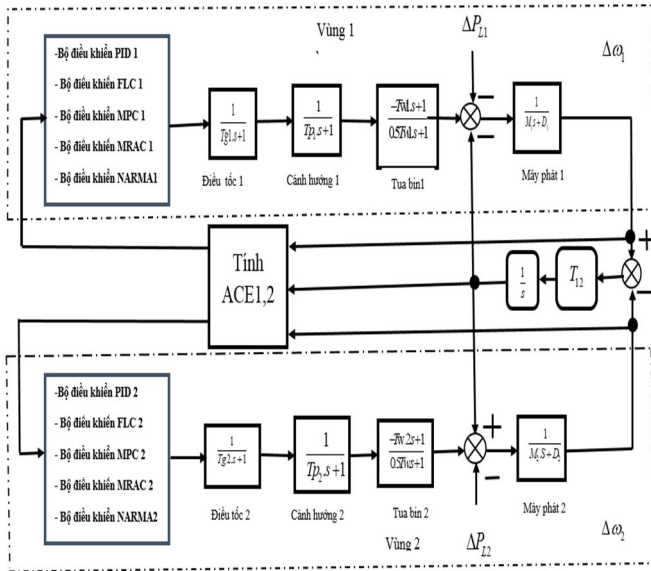


Hình 3. So sánh đáp ứng sai lệch tốc độ máy phát khi sử dụng các bộ điều khiển ứng dụng logic mờ, mạng nơ ron và PID - đơn vùng

Do vậy việc nghiên cứu đơn vùng là cơ sở để ta nghiên cứu thủy điện liên kết vùng và ta có thể xem thủy điện liên kết 2 vùng như hình 4.

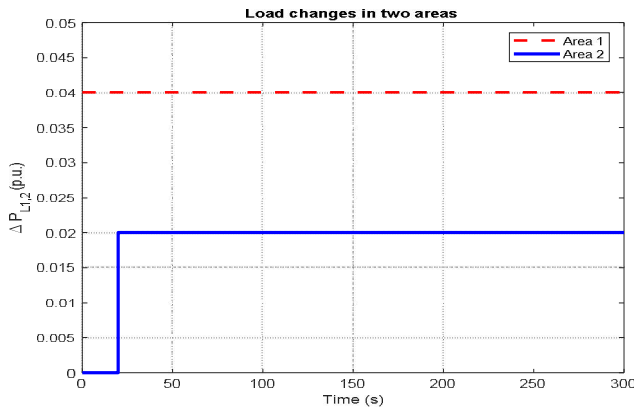
2.3. Mô hình hệ thống điều khiển tốc độ tua bin thủy điện liên kết 2 vùng để ổn định tần số tải

Trong [1, 5-7, 11-15] ta có sơ đồ liên kết 2 vùng như hình 4.



Hình 4. Mô hình các bộ điều khiển ứng dụng cho liên kết 2 vùng

Để so sánh các bộ điều khiển đã thiết kế và đưa ra bộ điều khiển có tính năng ưu việt nhất và để có cái nhìn khách quan, tổng thể nhất ta tiến hành đưa bộ điều khiển kinh điển PID để cùng so sánh với các bộ điều khiển logic mờ và mạng nơ ron cho thủy điện liên kết hai vùng.

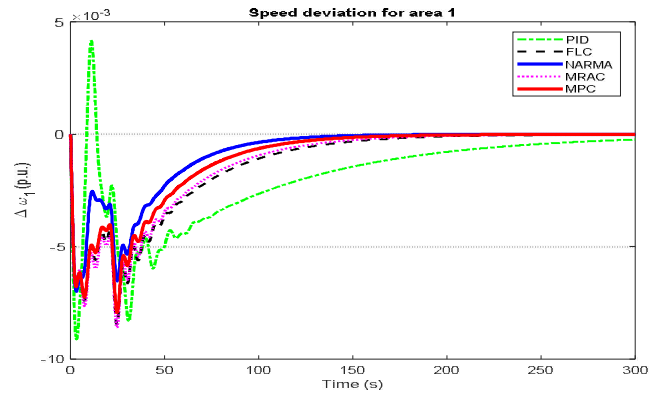


Hình 5. Thay đổi tải cho mỗi vùng

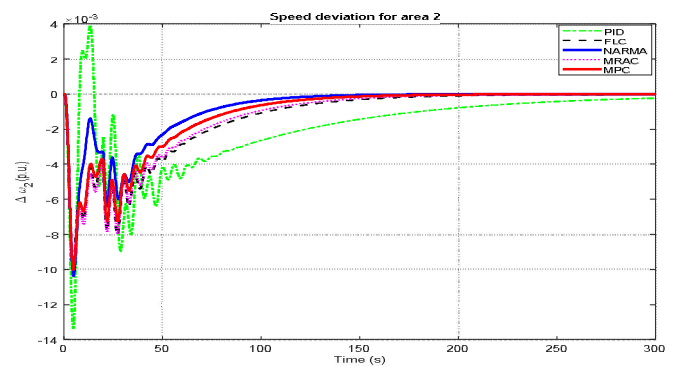
Trên hình 5, ta cho thay đổi tải ở từng vùng, ở vùng 1 cho tải thay đổi là 40%, còn vùng 2 ta cho tải thay đổi 20%. Ta tiến hành quan sát kết quả ở các chế độ như vị trí, tốc độ, công suất tua bin, công suất trao đổi trên đường dây, sai lệch vùng ACE1,2. Kết quả mô phỏng được trình bày trong phần sau.

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trên hình 6, quan sát một cách định tính ta nhận thấy chất lượng bộ điều khiển NARMA là tốt nhất sau đó đến bộ MPC; bộ điều khiển MRAC ở vị trí tiếp theo và bộ điều khiển FLC ở vị trí thứ tư, cuối cùng là bộ điều khiển PID. Qua kết quả mô phỏng đã chỉ ra được khi ứng dụng các bộ điều khiển logic mờ và mạng nơ ron để thay thế bộ điều khiển PID là hoàn toàn có khả thi và để chọn được bộ điều khiển có chất lượng tốt nhất thì ta nên chọn bộ điều khiển MRAC cho vùng 1.

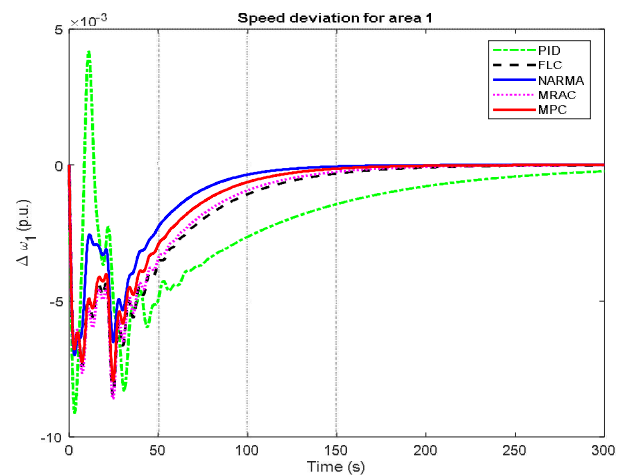


Hình 6. Đáp ứng độ lệch tốc độ cho vùng 1 sử dụng các bộ điều khiển tốc độ tua bin khác nhau

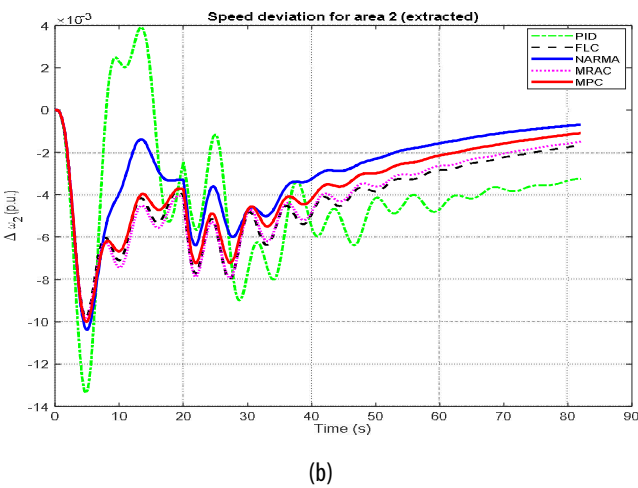
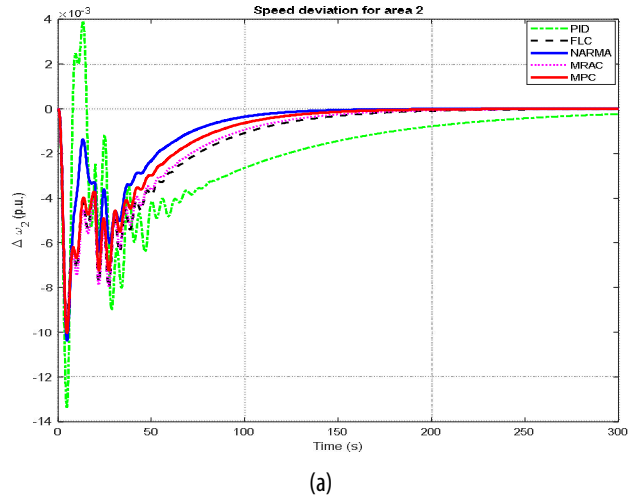


Hình 7. Đáp ứng độ lệch tốc độ cho vùng 2 sử dụng các bộ điều khiển tốc độ tua bin khác nhau

Trên hình 7, ta thấy bộ điều khiển NARMA có chất lượng tốt nhất về thời gian quá độ tiếp đến bộ điều khiển có chất lượng tốt thứ 2 là MPC, bộ điều khiển tốt thứ 3 MRAC và bộ điều khiển FLC tốt thứ 4, bộ điều khiển PID là cuối cùng. Qua kết quả mô phỏng đã chỉ ra được khi ứng dụng các bộ điều khiển logic mờ và mạng nơ ron để thay thế bộ điều khiển PID là hoàn toàn có khả thi và để chọn được bộ điều khiển có chất lượng tốt nhất thì ta nên chọn bộ điều khiển MRAC cho vùng 2.

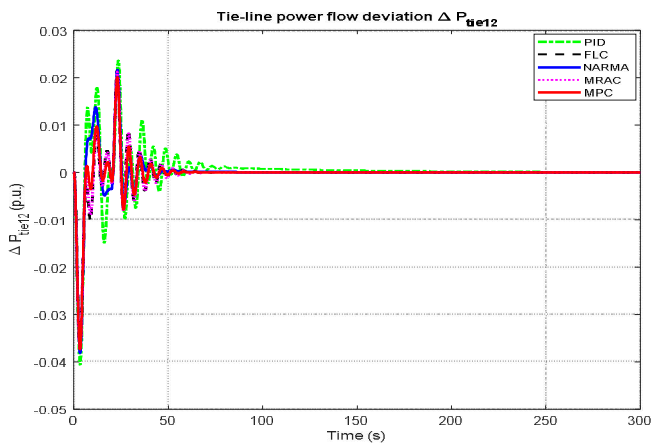


Hình 8. Độ lệch tốc độ cho khu vực 1



Hình 9. Độ lệch tốc độ cho khu vực 2

Trên hình 9 độ lệch tốc độ khu vực 2, thể hiện sự thay đổi của tốc độ khi tải thay đổi, ta có thể quan sát trên hình 9 (b) thấy rõ nhất, trong khoảng (0 - 40)s các bộ điều khiển rất dao động, từ (40 - 80)s các bộ điều khiển giảm dần về không, ta quan sát chất lượng bộ điều khiển NARMA vẫn tốt nhất, sau đó đến MPC, MRAC, tiếp FLC và cuối cùng là PID.



Hình 10. Độ lệch công suất trên đường dây của khu vực 1,2

Khi nghiên cứu về bài toán điều khiển tốc độ tua bin liên kết vùng, ta không thể bỏ qua thông số đáp ứng công suất trao đổi trên đường dây liên kết giữa hai vùng. Hình 10, mô tả đáp ứng sai lệch công suất trao đổi trên đường dây trong trường hợp mô phỏng đã chỉ ra trên hình 10. Ta dễ dàng nhận thấy ưu điểm vượt trội của các giải pháp điều khiển thông minh ứng dụng logic mờ và mạng nơ ron trong tương quan so sánh với bộ điều khiển truyền thống PID qua việc phân tích các đáp ứng của sai lệch công suất đường dây liên kết trên hình 10. Rõ ràng, các tham số đánh giá chất lượng hệ thống điều khiển như độ quá điều chỉnh, thời gian, sai số xác lập tương ứng với các bộ điều khiển thông minh đều tốt hơn so với bộ điều khiển PID. Bảng 1, 2 đưa ra kết quả so sánh định lượng hóa về đáp ứng sai lệch tốc và độ lệch công suất trao đổi đường dây giữa các vùng điều khiển.

Bảng 1. So sánh các bộ điều khiển dựa trên chỉ tiêu chất lượng ITAE cho đáp ứng sai lệch tốc độ máy phát

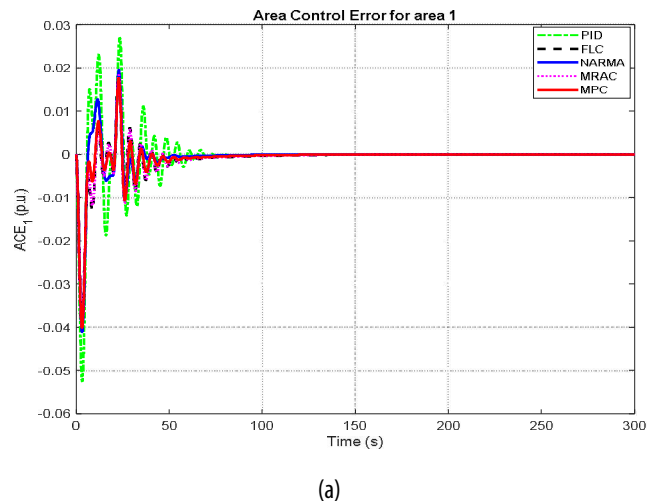
Chỉ tiêu so sánh	Bộ điều khiển				
	MRAC	NARMA	PID	FLC	MPC
Vùng 1	0,38183	0,34905	0,47953	0,38887	0,32820
Vùng 2	0,36246	0,36284	0,67226	0,37922	0,32851

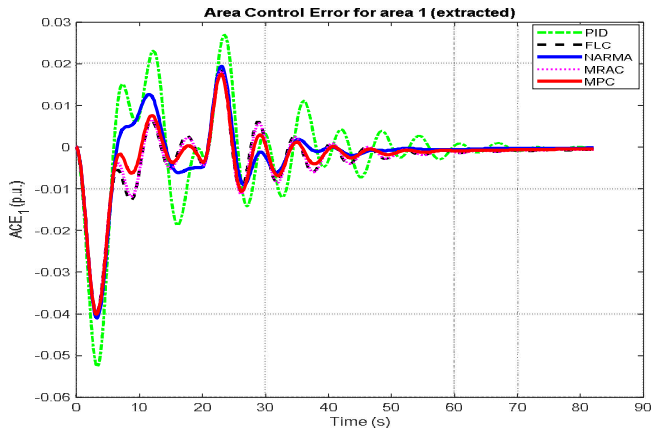
Bảng 2. So sánh các bộ điều khiển dựa trên chỉ tiêu chất lượng ITAE cho độ lệch công suất trao đổi đường dây giữa hai vùng

Chỉ tiêu so sánh	Bộ điều khiển				
	P12_MRAC	P12_NARMA	P12_PID	P12_FLC	P12_MPC
ITAE	0,30521	0,32162	0,53858	0,31421	0,26700

- Ở khu vực 1 (vùng 1)

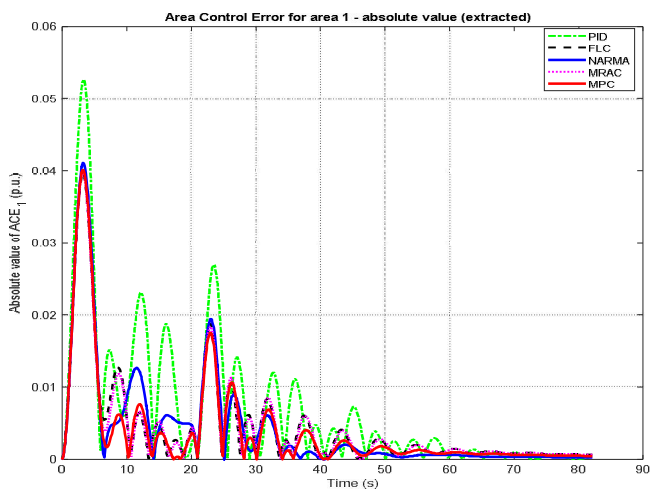
Hình 11 thể hiện sự sai lệch điều khiển ở vùng 1, để thấy rõ sự thay đổi cũng như sự khác nhau của các bộ điều khiển ta quan sát hình 11 (b). Trên hình 11 (b) trong khoảng thời gian từ (0 - 45)s, ta quan sát các bộ điều khiển đều chưa ổn định và chất lượng của bộ điều khiển PID kém nhất. Tuy nhiên, từ (45 - 80)s bộ điều khiển NARMA ổn định nhất sau đó đến bộ điều khiển MPC và bộ điều khiển MRAC, tiếp theo là bộ điều khiển FLC và cuối cùng là bộ điều khiển PID.





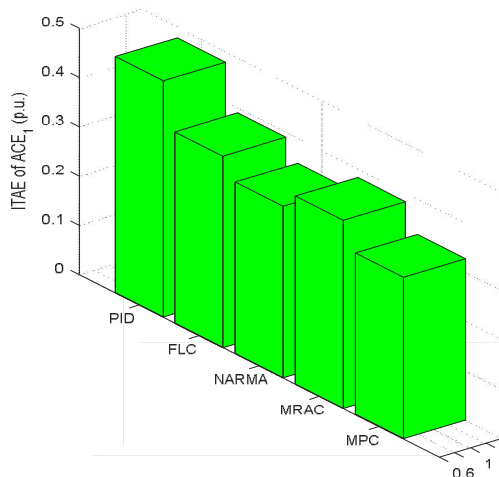
(b)

Hình 11. Sai lệch vùng điều khiển khu vực 1



Hình 12. Sai lệch tín hiệu vùng ACE - giá trị tuyệt đối

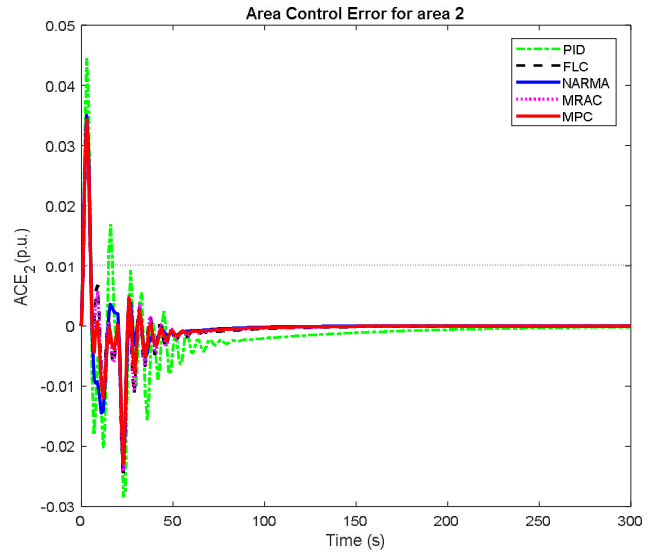
Trên hình 12, để phân biệt sự dao động cũng như sự sai lệch vùng của điều khiển một cách chính xác nhất, ta lấy giá trị tuyệt đối của tín hiệu sai lệch vùng ACE để quan sát, ta thấy bộ điều khiển NARMA sai lệch giảm dần về không khi thời gian 55s và có chất lượng tốt nhất sau đó đến bộ điều khiển MPC, MRAC tiếp FLC và cuối cùng là PID.



Hình 13. Chỉ tiêu ITAE cho tín hiệu sai lệch điều khiển vùng 1

Hình 13 thể hiện so sánh chất lượng của các bộ đã xét, ta thấy bộ điều khiển MPC có chất lượng tốt sau đó đến bộ điều khiển NARMA và bộ MRAC, tiếp theo là bộ điều khiển FLC và cuối cùng là bộ điều khiển PID.

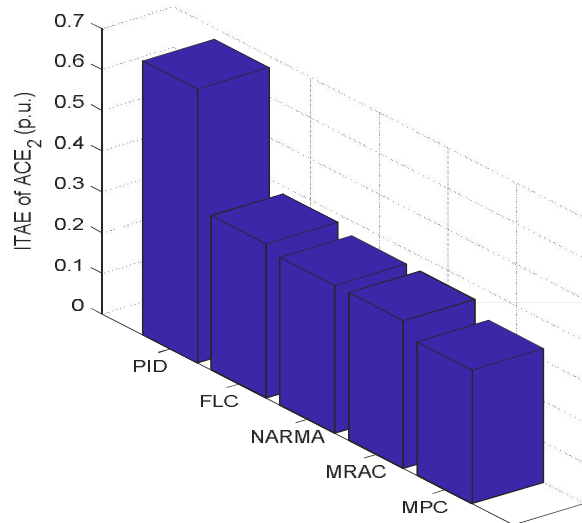
- Ở khu vực 2 (vùng 2)



Hình 14. Sai lệch vùng điều khiển khu vực 2

Hình 14 thể hiện sự sai lệch điều khiển ở vùng 2, để thấy rõ sự thay đổi cũng như sự khác nhau của các bộ điều khiển ta quan sát hình 14 (b). Trên hình 14(b) trong khoảng thời gian từ (0 - 25)s, ta quan sát các bộ điều khiển đều chưa ổn định và chất lượng của bộ điều khiển PID kém nhất. Tuy nhiên, từ (25 - 50)s bộ điều khiển NARMA ổn định nhất sau đó đến bộ điều khiển MPC và bộ điều khiển MRAC, tiếp theo là bộ điều khiển FLC và cuối cùng là bộ điều khiển PID.

ITAE for ACE 2



Hình 15. Chỉ tiêu ITAE cho tín hiệu sai lệch điều khiển vùng 2

Hình 15 thể hiện so sánh chất lượng của các bộ đã xét, ta thấy bộ điều khiển MPC có chất lượng tốt nhất sau đó đến bộ điều khiển NARMA, MRAC, tiếp theo là bộ điều khiển FLC và cuối cùng là bộ điều khiển PID.

4. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu, thiết kế bộ điều khiển thông minh để điều khiển tốc độ tua bin thủy điện. Qua đó, ta có thể chọn được bộ điều khiển thông minh để áp dụng thay thế cho các bộ điều khiển PID truyền thống như hiện nay đang sử dụng để điều khiển tốc độ tua bin thủy điện, khi sử dụng các bộ điều khiển thông minh sẽ triệt tiêu được sai lệch tĩnh của hệ thống và rất ổn định phù hợp với yêu cầu đề ra.

Hướng phát triển tiếp theo của bài báo là nghiên cứu xây dựng, chế tạo các bộ điều khiển thông minh để ứng dụng cho thực tế tại Việt Nam.

PHỤ LỤC

1. Thông số mô phỏng cho mô hình hệ thống thủy điện đơn vùng

$$T_{g1} = 0,2s; T_{w1} = 1,0s; M1 = 6,0s; D1 = 1,0; R1 = 5\%$$

2. Thông số cho mô hình hệ thống thủy điện hai vùng liên kết

$$T_{g1} = 0,2s; T_{w1} = 1,0s; M1 = 6,0s; D1 = 1,0; R1 = 5\%$$

$$T_{g2} = 0,2s; T_{w2} = 1,0s; M2 = 6,0s; D2 = 1,0; R2 = 10\%; T_{12} = 0,0607$$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Huỳnh Thái Hoàng, 2016. *Hệ thống điều khiển thông minh*. NXB TP HCM
- [2]. Phạm Hữu Đức Dục, Bui Thị Thu Phương, 2010. *Nghiên cứu ứng dụng bộ điều khiển NARMA-L2 vào thiết bị lái tự động góc bay của máy bay boeing*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.
- [3]. Nguyễn Hồng Quang, 2013. *Nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị điều khiển nhúng ứng dụng cho các trạm thủy điện*. Đề tài độc lập cấp nhà nước mã số 43/2009G/HĐ-ĐTĐL.
- [4]. Nguyễn Đắc Nam, 2017. *Nghiên cứu ứng dụng mạng mờ nơ ron để xây dựng thuật toán điều khiển hệ điều tốc tuabine - máy phát thủy điện*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
- [5]. Kundur P., 1994. *Power system stability and control*. New York, USA: McGraw-Hill.
- [6]. Xibei Ding, Alok Sinha, 2011. *Sliding Mode/ H^∞ Control of a Hydro-power Plant*. American Control Conference on O'Farrell Street, San Francisco, CA, USA.
- [7]. Dhillon S.S., Lather J.S., Marwaha S., 2015. *Multi area load frequency control using particle swarm optimization and fuzzy rules*. Procedia Comput. Sci., 57, 460-472.
- [8]. C. Concordia, L. K. Kirchmayer, 1953. *Tie line power and frequency control of electric power systems*. Amer. Inst. Elect. Eng. Trans., vol. pt. II, 72, pp. 562 - 572.
- [9]. Liu X., Kong X., Lee K.Y., 2016. *Distributed model predictive control for load frequency control with dynamic fuzzy valve position modelling for hydro-thermal power system*. IET Control Theory Appl., 10, 1653-1664.
- [10]. Bhatti T., 2014. *AGC of two area power system interconnected by AC/DC links with diverse sources in each area*. Int. J. Electr. Power Energy Syst., 55, 297-304.

[11]. Norgaard M., Poulsen N. K., Hansen L. K., Ravn O. *Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems*. Springer, 2003.

[12]. Eduardo F. Camacho, Carlos Bordón, 1999. *Model Predictive Control*. Springer Verlag London Limited.

[13]. Arya, Y., Kumar, 2017. *N. BFOA-scaled fractional order fuzzy PID controller applied to AGC of multi-area multi-source electric power generating systems*. Swarm Evol. Comput., 32, 202-218. [CrossRef].

[14]. Morsali, J., Zare, K., Hagh, M.T., 2017. *Applying fractional order PID to design TCSC-based damping controller in coordination with automatic generation control of interconnected multi-source power system*. Eng. Sci. Technol., 20, 1-17. [CrossRef].

[15]. Liu, X., Kong, X., Lee, K.Y., 2016. *Distributed model predictive control for load frequency control with dynamic fuzzy valve position modelling for hydro-thermal power system*. IET Control Theory Appl., 10, 1653-1664. [CrossRef].

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Duy Trung¹, Hoang Thi Thu Huong², Le Hung Lan³, Nguyen Van Tiem³

¹Faculty of Control and Automation, Electric Power University

²Power project management No 2, Vietnam electricity corporation

³Department of Cybernetics, University of Transport and communications