

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA CƠ - ĐIỆN

**HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VỀ
CƠ KHÍ - ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HÓA**

*National Conference on Mechanical, Electrical, Automation Engineering
(MEAE2025)*



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Điều khiển Hybrid kết hợp Fuzzy Logic và PID ổn định mức nước bao hơi - Công ty cổ phần nhiệt điện Quảng Ninh

Đặng Văn Chí

Trường Đại học Mở Địa Chất

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài :

Chấp nhận:

Đăng online

Từ khóa:

Điều khiển mức nước bao hơi, PID controller, Fuzzy controller, Hybrid controller.

Bộ điều khiển PID kinh điển là công cụ điều khiển phổ biến nhất trong nhiều ứng dụng công nghiệp vì chúng phản ứng rất tốt với sai lệch điều khiển cũng như duy trì trạng thái ổn định của hệ thống. Các thông số của bộ điều khiển PID như K_p , K_i và K_d , thường được cố định trong quá trình làm việc. Bộ điều khiển logic mờ (FLC: fuzzy logic controller) phù hợp với hệ thống không có mô hình toán của đối tượng hoặc hệ thống không yêu cầu thông tin chính xác. Một ưu điểm quan trọng khác của bộ FLC là thời gian tăng ngắn và độ quá điều chỉnh nhỏ. Bài báo đề xuất xây dựng bộ điều khiển Hybrid (HC: hybrid controller) kết hợp cấu trúc của 2 bộ điều khiển FLC và PID nhằm khai thác các ưu điểm của chúng. Từ kết quả nghiên cứu trên Simulink Matlab cho phép tích hợp bộ điều khiển HC vào hệ thống điều khiển mức nước bao hơi đang hoạt động hiện tại. Sẽ góp phần cải tiến, nâng cao chất lượng điều khiển, sự làm việc ổn định và duy trì hiệu suất làm việc của hệ thống điều khiển mức nước bao hơi - Công ty cổ phần nhiệt điện Quảng Ninh.

© 2025 Trường Đại học Mở - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Hệ thống điều khiển mức nước bao hơi là một trong những khâu quan trọng trong các nhà máy nhiệt điện. Công tác điều chỉnh giữ ổn định mức nước bao hơi có ý nghĩa trong việc duy trì sự làm việc ổn định, an toàn và hiệu quả cho hệ thống làm việc của lò hơi và tua bin máy phát. Vì vậy mức nước bao hơi là một trong những thông số quan trọng nhất cần được kiểm soát chặt chẽ.

Theo yêu cầu lượng quá điều chỉnh mức nước trong bao hơi cho phép dao động $\pm 10\%$ so với giá trị đặt. Tuy nhiên đối tượng là một hệ thống có tính phi tuyến mạnh với nhiều tham số bất định, môi trường làm việc công nghiệp tồn tại những nhiễu ngẫu nhiên tác động... Bên cạnh đó thì hệ thống cũng hoạt động song song với nhiều hệ thống điều khiển khác như áp suất, nhiệt độ, lưu lượng... Sự điều chỉnh các đại lượng này sẽ tác

động đến các đại lượng khác. Đó là những nguyên nhân làm cho mô hình đối tượng bị thay đổi, khi đó giá trị thực tế có thể dao động mạnh khác xa giá trị mong muốn. Nhiệm vụ của bộ điều khiển lúc này cần ra quyết định điều chỉnh kịp thời để giảm sai lệch càng nhanh càng tốt. Với một bộ điều khiển PID kinh điển có các tham số K_p , K_i và K_d cố định sẽ khó thích nghi về thời gian đáp ứng. Trong trường hợp này sử dụng bộ điều khiển FLC sẽ cải tiến được nhược điểm đó. Sơ đồ điều khiển đề xuất được tách thành hai khối chức năng, khối điều khiển mờ FLC và khối điều khiển PID kinh điển. Bộ điều khiển mờ FLC được sử dụng để điều khiển hệ thống khi giá trị đầu ra của hệ thống khác xa giá trị mục tiêu (setpoint). Bộ điều khiển PID được áp dụng khi giá trị đầu ra gần giá trị mong muốn.

Những năm gần đây, các nghiên cứu trong nước liên quan đến thiết kế bộ điều khiển mức bao hơi cho nhà máy nhiệt điện, cũng đã có một số các nhà khoa học hay một số các công trình nghiên cứu đề cập đến việc ứng dụng các thuật toán điều khiển tiên tiến và hiện đại để cải tiến và nâng cao chất lượng hệ thống. Trong một đề tài nghiên cứu

* Tác giả liên hệ

dangvanchi@humg.edu.vn

DOI:

của tác giả Uông Quang Tuyến (2008), trình bày nghiên cứu khá chi tiết về phương pháp điều khiển mức nước bao hơi 2 phần tử. Bao gồm khảo sát các đặc tính quá độ mức nước trong bao hơi, tính toán và xây dựng được đặc tính quá độ của van điều khiển. Qua đó đã xây dựng được các hàm truyền của đối tượng, thiết kế được bộ điều khiển PID phù hợp. Một điểm khá mới được tác giả đề xuất là sử dụng bộ điều khiển có thêm khâu bù nhiễu, ý tưởng này được kiểm chứng thông qua mô phỏng trên Simulink_Matlab. Kết quả được đánh giá đã góp phần nâng cao được chất lượng điều khiển của hệ thống và khả năng kháng nhiễu của bộ điều khiển.

Trong luận văn thạc sĩ của tác giả Lê Thị Huyền Linh (2009), đã nghiên cứu ứng dụng công cụ điều khiển dự báo MPC (Model Predictive Control Toolbox) trên Matlab để mô phỏng hệ thống. Trong đó tác giả đã huấn luyện thành công một mạng nơ-ron nhân tạo để làm công cụ dự báo mức bao hơi dựa trên đo lường các đại lượng bao gồm cả nhiễu. Kết quả mô phỏng trên Simulink Matlab cho thấy chất lượng điều khiển được nâng cao khi khảo sát với các nhiễu ngẫu nhiên. Tuy nhiên cũng cần phải chú ý khi áp dụng thuật toán này vào thực tế là cần phải có một tập dữ liệu chuyên gia đủ lớn, phủ kín được các điều kiện làm việc và chế độ vận hành của hệ thống.

Trong luận án Tiến sĩ, tác giả Lưu Hồng Quân (2023) đã trình bày nghiên cứu ứng dụng bộ điều khiển lai (hybrid controller) kết hợp thuật toán PID và FLC để điều khiển dòng điện phần ứng mạch vòng điều chỉnh tốc độ quay cho hệ thống truyền động điện chính Máy phát – Động cơ trên máy xúc ЭКГ-8И. Đặc điểm của máy xúc điện là làm việc trong môi trường công nghiệp mỏ, điều kiện làm việc khắc nghiệt, nhiều cơ cấu truyền động phức tạp (quay, ra vào, di chuyển) với nhiều nguồn nhiễu bất định. Hệ thống điều khiển cần cải tiến sao cho thời gian đáp ứng nhanh hơn, kháng nhiễu và giảm tối đa sai lệch trong điều khiển. Kết quả nghiên cứu thông qua mô phỏng bằng Simulink Matlab cho đánh giá chất lượng của hệ thống được cải thiện tốt hơn so với chỉ sử dụng bộ PID truyền thống.

Trên Thế giới việc nghiên cứu ứng dụng thuật toán Hybrid fuzzy-PID đã được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu và đã có nhiều ứng dụng trong thực tế cho nhiều đối tượng trong

công nghiệp. Nhóm tác giả Trong Dong Nguyen, Asgeir J. Sorensen, Ser Tong Quek. (2007), trong một công trình nghiên cứu đã ứng dụng bộ điều khiển Hybrid để điều khiển hệ thống định vị cho một con tàu thủy hoạt động hàng hải trong môi trường rất khắc nghiệt. Bộ điều khiển Hybrid được xem xét là các bộ điều khiển PID nhiều kênh đầu ra trong việc xác định vị trí và ổn định tốc độ cho thiết bị di chuyển. Các kết quả mô phỏng số đã chứng minh bộ điều khiển Hybrid tích hợp trong hệ thống hoạt động tốt hơn so với bộ PID truyền thống khi tàu phải đối mặt với các biến động cực đoan của môi trường.

Trong một bài báo khác của nhóm tác giả Saban Çetin, Ali Volkan Akkaya (2010), đã nghiên cứu ứng dụng thuật toán mờ lai Hybrid fuzzy-pid để định vị hệ thống điều khiển của xilanh truyền động thủy lực không đối xứng, được điều khiển bởi một van tỉ lệ 4-hướng 3-vị trí. Bộ điều khiển đề xuất sử dụng kết hợp giữa fuzzy logic và bộ điều khiển Pid dựa trên một điều kiện chuyển tiếp. Kết quả mô phỏng của bộ điều khiển Hybrid fuzzy-Pid được so sánh với kết quả chạy trên 2 bộ điều khiển Pid truyền thống, và bộ điều khiển mờ FLC (Fuzzy logic controller). Kết quả được đánh giá bởi các tiêu chí về thời gian quá độ, lượng quá điều chỉnh và sai lệch tĩnh, thì bộ điều khiển Hybrid FLC-PID các tiêu chí đều có chất lượng tốt hơn.

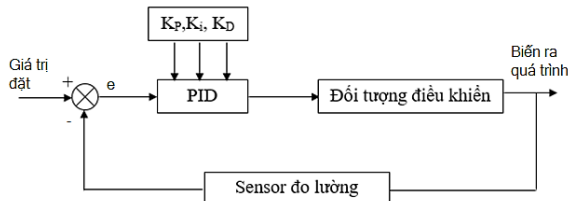
Như vậy có thể thấy, việc điều khiển ổn định mức nước bao hơi có liên quan tới rất nhiều thông số xung quanh và các biến của quá trình. Việc nghiên cứu ứng dụng các thuật toán điều khiển mới, tiên tiến và hiện đại kết hợp với thuật toán PID truyền thống đang là đề tài mang tính thời sự, có nhiều ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Cơ sở lý thuyết bộ điều khiển Hybrid Fuzzy logic-PID.

Leonid Reznik (1997)

2.1. Bộ điều khiển PID

Trong lĩnh vực điều khiển, bộ PID được xem như một giải pháp đa năng cho các ứng dụng điều khiển analog cũng như digital. Sơ đồ nguyên lý của bộ điều khiển PID kinh điển được mô tả như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý bộ PID kinh điển

Mô hình toán học bộ PID được mô tả:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(x)dx + K_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Hay dạng hàm truyền:

$$G(PID)(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_D \cdot s \quad (2)$$

Bộ điều khiển PID dựa trên sai lệch giữa giá trị đặt và giá trị thực để sao cho tìm được các giá trị phù hợp cho ba tham số: K_p , K_i , K_D .

Nguyên tắc chung để xác định các tham số của bộ PID là thường theo Zeigler – Nichols

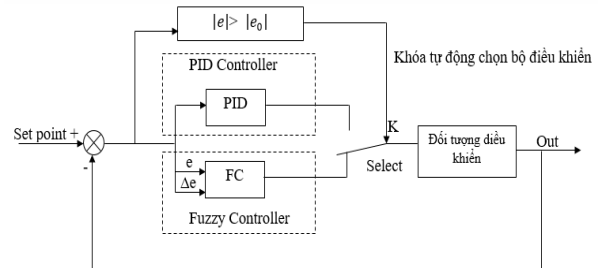
Các tham số PID được tính toán để làm việc ở một chế độ cố định. Với hệ thống điều khiển mức nước bao hơi thì đối tượng làm việc trong một môi trường có tính chất đặc thù rất khắc nghiệt. Nhiệt độ, độ ẩm và áp suất hơi thay đổi liên tục, độ nhiễu lớn, nhiều tham số bất định có tính phi tuyến mạnh. Đó là những nguyên nhân làm gia tăng sai lệch, việc nghiên cứu ứng dụng thuật toán lai Hybrid kết hợp giữa FC và PID sẽ cải thiện được thời gian đáp ứng của bộ điều khiển, nâng cao chất lượng các hệ thống điều khiển hiện tại.

2.2. Bộ điều khiển Hybrid sử dụng FLC-PID

Bộ điều khiển mức nước bao hơi trong Công ty CP nhiệt điện Quảng Ninh đang sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống, thông thường chúng sẽ được tính toán cho một chế độ làm việc cố định. Tùy vào các điều kiện vận hành thực tế, các hệ số K_p , K_i , K_D sẽ được thay đổi thông qua giao diện từ cán bộ vận hành. Bản thân đối tượng nghiên cứu có tính phi tuyến mạnh và nhiều tham số bất định. Môi trường làm việc của hệ thống luôn luôn bị tác động do những nguồn nhiễu nội và nhiễu ngoại phức tạp. Đó là những nguyên nhân làm cho mô hình đối tượng có thể bị biến đổi, dẫn đến sai lệch trong điều khiển lớn, thời gian đáp ứng của bộ PID bị ảnh hưởng, tác động đến chất lượng điều khiển.

Vì vậy đề xuất áp dụng bộ điều khiển Hybrid để khai thác ưu điểm của bộ điều khiển FLC là có thời gian đáp ứng nhanh trong trường hợp giá trị thực khác xa so với giá trị mục tiêu. Khi

đó bộ điều khiển FLC sẽ được tự động đưa vào điều khiển thông qua một chuyển mạch có điều kiện. Sơ đồ nguyên lý cấu trúc của một bộ Hybrid được mô tả như hình 2; Leonid Reznik (1997).

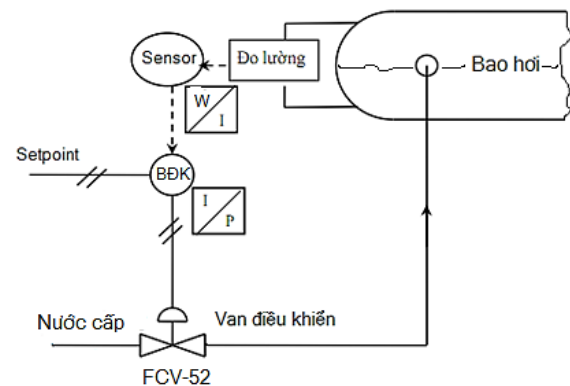


Hình 2. Sơ đồ bộ điều khiển Hybrid

Trên hình 2 sử dụng một khóa chuyển mạch K giữa bộ điều khiển PID và FLC. Vị trí của khóa K phụ thuộc vào sai lệch giữa giá trị thực và giá trị đặt. Nếu sai lệch tính theo giá trị tuyệt đối lớn hơn e_0 , hệ thống Hybrid sẽ đưa bộ điều khiển FLC vào làm việc để đảm bảo thời gian tăng nhanh và độ quá điều chỉnh nhỏ. Khi sai lệch nhỏ hơn e_0 hoặc gần với lân cận điểm đặt thì hệ thống Hybrid sẽ tự động chuyển sang PID. Nó sẽ giúp giảm thiểu sai lệch tĩnh đảm bảo giá trị thực bám sát với giá trị mong muốn. Thuật toán đề xuất hứa hẹn sẽ cải thiện tốt hơn chất lượng của hệ thống điều khiển hiện tại.

3. Mô hình toán của đối tượng nghiên cứu

3.1. Sơ đồ nguyên lý điều khiển 1 phần tử bao hơi;



Hình 3. Sơ đồ điều khiển mức nước bao hơi

Có nhiều phương pháp để điều khiển mức nước bao hơi, như điều khiển 1 phần tử, điều khiển 2 hoặc 3 phần tử. Điều khiển 1 phần tử thì tín hiệu điều khiển là mức nước trong bao hơi, tín hiệu đầu ra của bộ điều khiển được đưa tới hệ thống van đóng mở nước cấp. Sơ đồ nguyên

lý của hệ thống điều khiển 1 phần tử mô tả như hình 3; EVN-TPC_Quảng_Ninh (2016).

Trên hình 3:

W/I: bộ chuyển đổi mức/dòng điện

I/P: bộ chuyển đổi điện/khí nén

BĐK: bộ điều khiển

Sensor: cảm biến đo mức trong bao hơi

Thông số kỹ thuật bao hơi:

Chiều dài 5.5m; đường kính trong $\Phi=1,8\text{m}$; thể tích thực $V=40\text{m}^3$, lưu lượng hơi cực đại qua van FCV-52=995tấn/h, nhiệt độ hơi $541\pm 5^\circ\text{C}$.

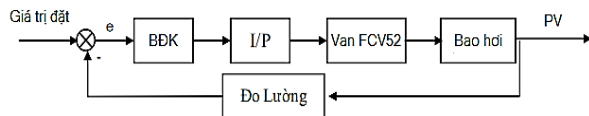
Phạm vi hoạt động mức nước trong bao hơi: Từ -115mm đến +0mm

Khi mức nước giảm -240mm hoặc tăng +100mm so với +0mm hệ thống cảnh báo mức thấp hoặc cao.

Khi mức tiếp tục giảm xuống -425mm hoặc tăng quá +200mm hệ thống sẽ Shut_down

3.2. Xây dựng mô hình toán của đối tượng; Uông Quang Tuyến (2008); Đặng Văn Chí & nnk (2021).

Để ứng dụng thuật toán Hybrid vào điều khiển đối tượng, cần tiến hành khảo sát và xây dựng mô hình toán cho các đối tượng trong hệ thống. Hệ thống điều khiển mức nước bao hơi hoạt động theo sơ đồ một phần tử được mô tả như hình 4.



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển mức nước bao hơi 1 phần tử

Để có cơ sở thiết kế được bộ điều khiển PID, ta cần khảo sát và xây dựng được hàm truyền của các khâu I/P – Van FCV-52 – Bao hơi – Sensor đo lường.

a). Hàm truyền đạt của Sensor;

Thiết bị đo mức được hiệu chỉnh trong dải đo $\pm 500\text{mm}$, tương ứng với tín hiệu ra chuẩn hóa của cảm biến từ 4-20mA. Thiết bị đo có hàm truyền là một khâu quán tính bậc nhất:

$$W_H(s) = \frac{0,016}{1+0,005s} \quad (3)$$

b). Hàm truyền bộ chuyển đổi I/P (điện-khí nén);

Bộ chuyển đổi I/P có tín hiệu vào là dòng điện $I=4-20\text{mA}$, tín hiệu ra là áp suất khí nén $P=0,2 - 1\text{Kg/cm}^2$. Thiết bị này có hàm truyền là

một khâu khuếch đại với hệ số khuếch đại K được xác định:

$$K = \frac{\Delta P_{\max}}{\Delta I_{\max}} = \frac{1-0,2}{20-4} = 0,05 \frac{\text{Kg/cm}^2}{\text{mA}} \quad (4)$$

c). Hàm truyền đạt của Van FCV-52

Hàm truyền của van được coi là một khâu quán tính bậc nhất có trễ dạng hàm truyền:

$$W_V(s) = \frac{K_V}{1+T_V \cdot s} \quad (5)$$

Trong đó:

K_V – Hệ số khuếch đại của van

T_V – Thời gian trễ của van, thường lấy $T=0,01\text{s}$

Khi độ mở van %open_FCV52 thay đổi từ 0%-100% thì lưu lượng nước qua van thay đổi từ 0-995T/h, xác định hệ số truyền liên hệ giữa lưu lượng nước qua van và độ mở van là:

$$K_T = \frac{995}{100} = 9,95 \quad (6)$$

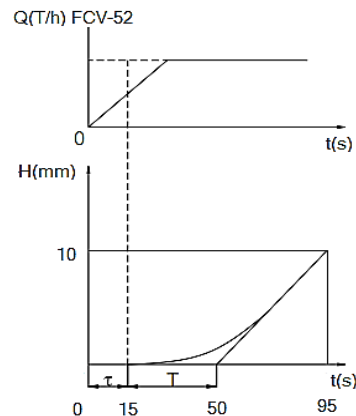
Kết hợp với hàm truyền van ở trên xác định được hàm truyền đạt của van thể hiện mối quan hệ tín hiệu vào là khí nén, tín hiệu ra là lưu lượng nước cấp qua van:

$$K_{V-T} = K_T \cdot W_V(s) = \frac{1245}{1+0,01s} \quad (7)$$

d).Hàm truyền đạt của bao hơi

Đặng Văn Chí & nnk (2021)

Để xác định hàm truyền của bao hơi, cần xây dựng được đặc tính động học của đối tượng thông qua thực nghiệm bằng cách tác động lên đầu vào của đối tượng tín hiệu bậc thang và ghi lại phản ứng đầu ra theo thời gian, hình 5.



Hình 5. Đặc tính động học của mức bao hơi theo lưu lượng nước cấp

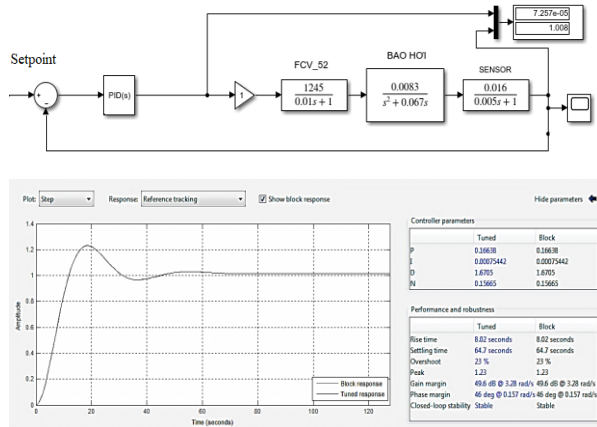
Hàm truyền của đối tượng – bao hơi (từ đặc tính quá độ) được mô tả dưới dạng gần đúng là một khâu tích phân có trễ:

$$W_{dt}(s) = \frac{0,125}{s(1+15s)} = \frac{0,0083}{s^2+0,067s} \quad (8)$$

4. Xác định tham số bộ PID và mô phỏng

Xác định tham số của bộ điều khiển PID bằng phương pháp Ziegler-Nichol, tính được các tham số $K_p=0,1664$; $K_i=0,00076$; $K_d=1,67$;

Ứng dụng Simulink_Matlab mô phỏng hệ thống, kết quả khảo sát đặc tính quá độ và các chỉ tiêu chất lượng như hình 6.



Hình 6. Đáp ứng quá độ với bộ điều khiển PID

Đánh giá về chất lượng điều khiển của hệ thống qua các tiêu chí:

- Thời gian tăng tốc Rise time (tín hiệu tăng từ 10%-90% độ lớn): 8,02s
- Thời gian quá trình quá độ Setting time: 64,7s
- Độ quá điều chỉnh Overshoot: 23%
- Sai lệch tĩnh: 0,05
- Biên độ đỉnh của đặc tính Peak: 1,23 (so với Setpoint=1)

5. Ứng dụng bộ điều khiển Hybrid FLC-PID để cải tiến chất lượng hệ thống.

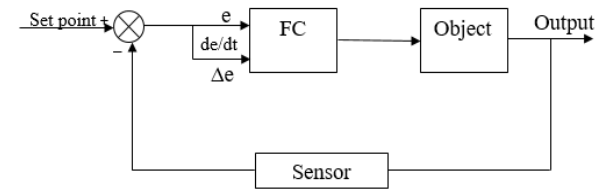
Leonid Reznik (1997)

5.1. Thiết kế bộ điều khiển FLC

Quá trình làm việc của hệ thống bao hơi, do tính chất của đối tượng là phi tuyến và bất định, môi trường làm việc luôn tiếp xúc với nhiều nguồn nhiễu khác nhau. Những nguyên nhân đó làm cho mô hình đối tượng liên tục có thể bị thay đổi, điểm làm việc thực tế bị dao động liên tục, khác xa so với giá trị mục tiêu. Việc bộ điều khiển không đáp ứng kịp thời sẽ dẫn đến hiệu suất và chất lượng làm việc bao hơi không đạt như mong đợi. Để thích nghi tốt hơn trong điều kiện mới, đề xuất đưa bộ điều khiển FLC vào làm việc kết hợp với bộ điều khiển PID hiện có.

Về bản chất của hệ thống là vẫn giữ nguyên bộ PID cũ, thêm vào bộ điều khiển FLC (hình 7)

được mắc song song với bộ PID kết hợp với khóa chuyển mạch K với mục đích cải thiện, nâng cao chất lượng cho kỹ thuật điều khiển hiện nay.



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý bộ FLC

Ưu điểm khi sử dụng bộ điều khiển FLC là không cần mô hình toán của đối tượng. Chỉ cần sử dụng một tập hợp các mệnh đề của luật hợp thành dưới dạng các bảng ma trận.

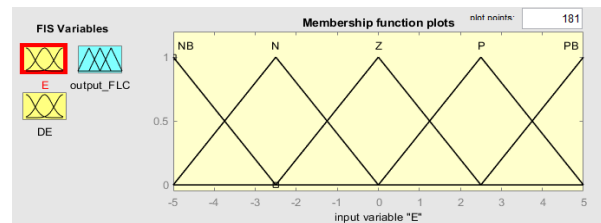
Thiết kế bộ điều khiển FLC: S.N.Sivanandam, S.Sumathi and S.N.Deepa (2007)

Bộ FLC có 2 biến đầu vào là e và Δe được xác định bằng các biến ngôn ngữ. Trong đó sai lệch e dùng 5 biến ngôn ngữ được mô tả:

+ $E=[\text{Negativ Big}, \text{Negativ}, \text{Zero}, \text{Positiv}, \text{Positiv Big}]$.

Có thể viết gọn: $E = [NB, N, Z, P, PB]$

+ Căn cứ vào đặc tính quá độ (hình 6), giá trị E xác định trong khoảng $(-5 \div +5)$. Chọn hàm liên thuộc dạng hình Δ được khai báo trong Matlab như hình 8.

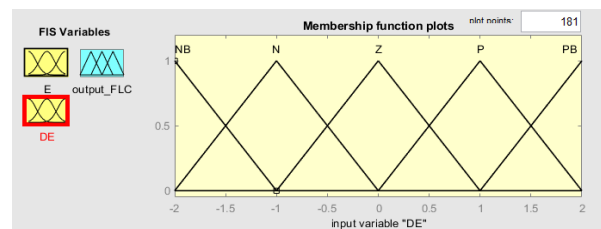


Hình 8. Định nghĩa các tập mờ sai lệch E

Đạo hàm của sai lệch $de/dt=\Delta e$ ký hiệu DE dùng 5 tập mờ được định nghĩa:

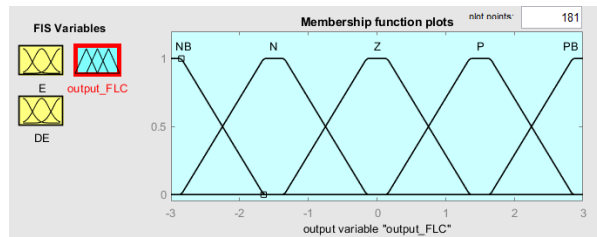
+ $DE=[\text{Negativ Big}, \text{Negativ}, \text{Zero}, \text{Positiv}, \text{Positiv Big}]$, viết gọn $DE = [NB, N, Z, P, PB]$.

+ DE xác định trong khoảng $(-2 \rightarrow +2)$, chọn hàm liên thuộc hình Δ , mô tả trong hình 9.



Hình 9. Định nghĩa các tập mờ DE

Đầu ra bộ FLC dùng 5 tập mờ được viết gọn:
 $FLC = \{NB, N, Z, P, PB\}$.
 + Giá trị từ $(-3 \rightarrow +3)$, hình 10



Hình 10. Định nghĩa tập mờ đầu ra bộ FLC

Trong bài báo này, kinh nghiệm và tri thức của chuyên gia được sử dụng để xây dựng cơ sở luật. Cơ sở luật bao gồm một tập hợp các mệnh đề IF-THEN được biểu diễn dưới dạng sau:

$R_{i,j,k}$: IF $e = A_i$ and $\Delta e = B_j$ THEN Output(u) = C_k
 $(u_k = C_k)$

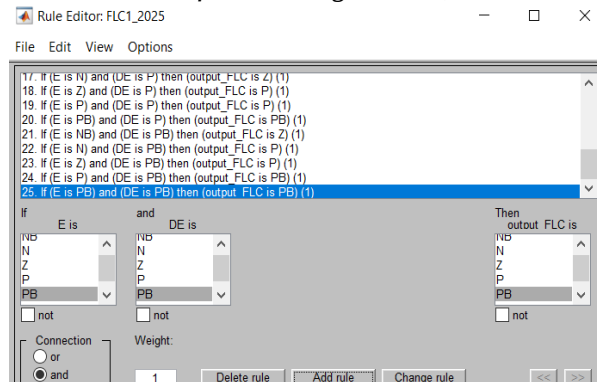
Trong đó: $1 \leq i \leq 5$, $1 \leq j \leq 5$, và $1 \leq k \leq 5$. Tổng số mệnh đề IF-THEN là 25 và được biểu diễn dưới dạng ma trận, được gọi là ma trận luật hợp thành, như trong Bảng 1.

Đầu ra FLC thu được bằng cách sử dụng suy luận mờ theo luật Max-min, giải mờ bằng phương pháp điểm trọng tâm.

Bảng 1. Ma trận luật hợp thành mờ cho bộ điều khiển FLC

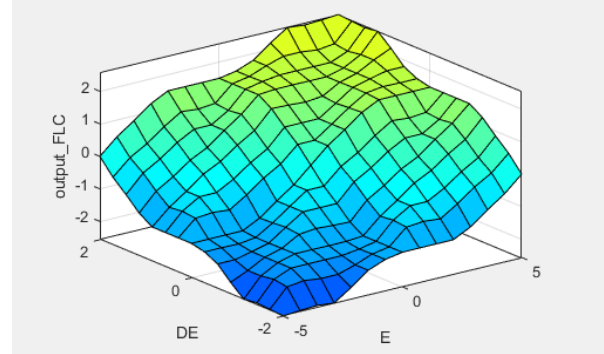
ΔE \ E	NB	N	Z	P	PB
NB	NB	NB	N	N	Z
N	NB	N	N	Z	P
Z	N	N	Z	P	P
P	N	Z	P	P	PB
PB	Z	P	P	PB	PB

Khai báo các mệnh đề trong Matlab, hình 11.



Hình 11. Cửa sổ khai báo các mệnh đề của FLC

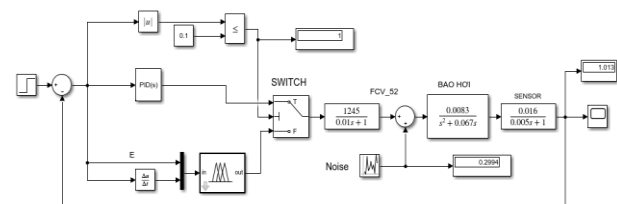
+ Kiểm tra mối quan hệ vào – ra bộ FLC trong không gian 3D: E, DE và tín hiệu ra FLC, hình 12.



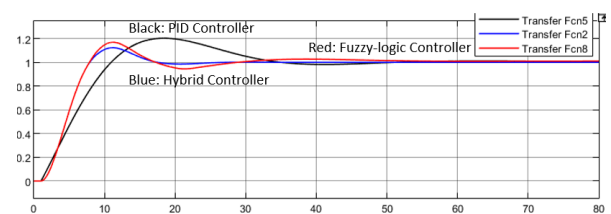
Hình 12. Quan hệ vào-ra bộ FLC trên 3D

5.2. Kết quả mô phỏng hệ thống với bộ điều khiển PID, FLC và Hybrid Fuzzy-PID.

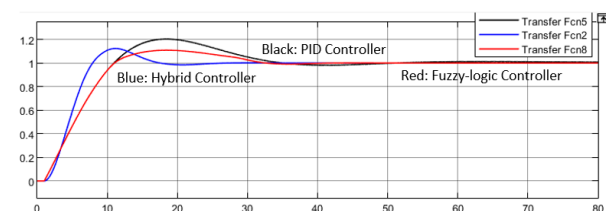
Sau khi cài đặt xong thuật toán FLC, tiến hành chạy mô phỏng trong simulink Matlab với từng bộ điều khiển khác nhau, đặt ra các kịch bản khác nhau như thay đổi giá trị mục tiêu, các tác động nhiễu lên đối tượng điều khiển. Sơ đồ mô phỏng trên hình 13, dựa trên sơ đồ cấu trúc được đề xuất (hình 2).



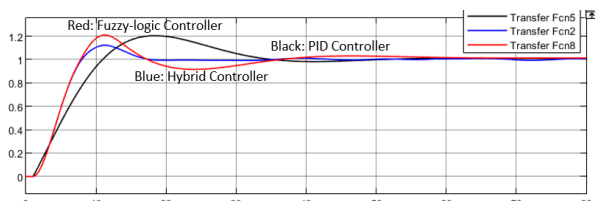
Hình 13. Mô phỏng điều khiển với Hybrid



Hình 14. Đặc tính quá độ với bộ điều khiển PID, FLC, Hybrid khi $|E| < |E_0|$



Hình 15. Đặc tính quá độ với bộ điều khiển PID, FLC, Hybrid khi $|E| > |E_0|$



Hình 16. Đặc tính quá độ với bộ điều khiển PID, FLC, Hybrid khi $|E| < |E_0|$ khi có nhiễu lên bao hơi

Kết quả mô phỏng như hình 14,15,16 trong đó chất lượng của bộ điều khiển Hybrid được tham chiếu với bộ điều khiển PID và bộ FLC, kết quả được mô tả như bảng 2.

Bảng 2. So sánh các chỉ tiêu chất lượng của 3 bộ điều khiển khi mô hình hóa với các kịch bản khác nhau:

Controller	Error	Overshoot (%)	Rise time(s)	Settling Time(s)
PID	0.008	20%	10.5	65
FLC	0.0	17%	8.5	60
Hybrid $ e < e_0 $	0.008	16%	8.2	55
Hybrid $ e > e_0 $	0.01	15%	8.6	62
Hybrid (Noise)	0.011	17%	9.0	59

Đánh giá về chất lượng điều khiển của Hybrid

- Thời gian tăng tốc Rise time (tín hiệu tăng từ 10%-90% độ lớn): thời gian này nhỏ hơn so với PID, có khác biệt không đáng kể so với bộ FLC.
- Thời gian quá trình quá độ Settling time: thời gian chuyển trạng thái ổn định nhanh hơn so với PID, trong các kịch bản bộ Hybrid đều tương đương với bộ điều khiển FLC.
- Độ quá điều chỉnh Overshoot: Trong các trường hợp bộ Hybrid đều có lượng quá điều chỉnh thấp hơn so với PID và FLC.
- Sai lệch tĩnh Error: Bộ Hybrid trong các trường hợp cho đánh giá sai lệch đều không có sự khác biệt so với PID. Trong khi đó bộ FLC có sai lệch tốt nhất $error=0$.

Thử nghiệm khi có tác động của nhiễu ngẫu nhiên (hình 16) lên đối tượng điều khiển (bao hơi), với biên độ và tần số khác nhau thì bộ

Hybrid thích nghi khá tốt với mọi kịch bản, đảm bảo chất lượng điều khiển theo yêu cầu.

6. Kết luận và thảo luận

Bài báo đề xuất sự kết hợp giữa 2 bộ điều khiển: PID và FLC để điều khiển ổn định mức nước bao hơi – Công ty cổ phần nhiệt điện Quảng Ninh. Thuật toán điều khiển đề xuất được tách thành hai phần: bộ điều khiển FLC và bộ điều khiển PID. Bộ điều khiển FLC được sử dụng để điều khiển hệ thống khi giá trị đầu ra của hệ thống khác xa giá trị mục tiêu. Bộ điều khiển PID được áp dụng khi giá trị đầu ra gần giá trị mong muốn.

Thuật toán đã được kiểm tra và chạy mô phỏng trên simulink_matlab trong trường hợp chỉ dùng PID, trường hợp chỉ dùng FLC và trường hợp Hybrid FLC-PID. Đánh giá về chất lượng của bộ điều khiển thông qua 4 tiêu chí cho thấy thuật toán Hybrid FLC-PID đều có sự cải thiện rõ rệt về chất lượng. Đặc biệt cải tiến tốt nhất ở 3 tiêu chí: Rise time, Settling time, Overshoot.

Tuy nhiên kết quả trên mới chỉ được đánh giá thông qua mô phỏng và bước đầu có sự cải thiện về chất lượng. Đề xuất tiếp tục nghiên cứu ứng dụng thuật toán trên mô hình thực để có thêm những đánh giá về độ tin cậy, sự làm việc ổn định và bền vững của cả hệ thống điều khiển trong trường hợp có các nguồn nhiễu đa dạng trong công nghiệp tác động đến đối tượng.

Trong nghiên cứu này mới chỉ khảo sát giá trị E_0 tại các điểm là ± 0.05 và ± 0.01 . Đây là các giá trị so sánh để ra quyết định lựa chọn bộ điều khiển PID hay FLC làm việc. Thời điểm chuyển mạch để chọn bộ điều khiển làm việc sẽ ảnh hưởng đến đường đặc tính quá độ. Đề xuất tiếp tục khảo sát với các giá trị lân cận để xác định được E_0 tối ưu.

Thuật toán Hybrid Fuzzy-PID có thể được tích hợp vào các bộ điều khiển PLC công nghiệp, hoặc có thể cài đặt trên giao diện lập trình của Labview, Matlab... Để áp dụng chạy thực tế, chương trình có thể kết nối với các thiết bị ngoại vi (cảm biến, đối tượng điều khiển...) thông qua các họ của VĐK Arduino hay Card chuyên dụng Labview, Matlab... Sau khi tích hợp thì có thể cho chạy song song cùng với bộ điều khiển hiện nay của Công ty. Nên thử nghiệm sau một thời gian trong các điều kiện vận hành khác nhau, cần có

sự đánh giá hiệu quả, chất lượng và sự ổn định của bộ điều khiển Hybrid trước khi có thể áp dụng vào thực tế sản xuất.

Tài liệu tham khảo

Bài báo đăng trên tạp chí:

Trong D.Nguyen, Asgeir J. Sorensen, Ser Tong Quek. (2007). Design of hybrid controller for dynamic positioning from calm to extreme sea conditions. A Journal of IFAC (the International Federation of Automatic Control). Automatica 43 (2007) 768–785.

Saban Çetin, Ali Volkan Akkaya (2010). Simulation and hybrid fuzzy-PID control for positioning. Springer Science Business Media B.V.; Nonlinear Dyn (2010) 61: 465–476.

Bài báo, báo cáo hội thảo khoa học:

Đặng Văn Chí & nnk (2021). Thiết kế bộ điều khiển PID tự chỉnh mờ để ổn định mức nước bao hơi–Công ty CP nhiệt điện Quảng Ninh, Hội nghị khoa học toàn quốc về Cơ khí - Điện - Tự động hóa (MEAE-2021), 179

Sách tham khảo:

LEONID REZNIK (1997). *Fuzzy Controllers*, Victoria University of Technology, Melbourne, Australia. Printed in Great Britain by Biddles Ltd, Guildford and King's Lynn. ISBN: 0 7506 3429 4.

S. N. Sivanandam, S. Sumathi and S. N. Deepa (2007). *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*. ©Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007. ISBN-13 978-3-540-35780-3.

Đặng Văn Chí (2017). *Kỹ thuật đo lường điện và các thuật toán đo phi điện*, NXB Xây dựng, 298 trang.

Đặng Văn Chí & nnk (2021). Đo lường điều khiển bằng máy tính - ứng dụng công nghệ IoT-Lora Gateway để giám sát và điều khiển xa trên web server, NXB Khoa học – kỹ thuật, 285 trang

Tài liệu luận văn, luận án:

Lưu Hồng Quân (2023). Nghiên cứu ứng dụng vi xử lý để nâng cao chất lượng điều khiển

một số cơ cấu truyền động chính của máy xúc điện trong công nghiệp khai thác mỏ. Luận án Tiến Sĩ kỹ thuật, ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Lê Thị Huyền Linh (2009). Nghiên cứu ứng dụng hệ điều khiển dự báo để điều khiển mức nước bao hơi nhà máy nhiệt điện Phả Lại. Luận văn Thạc Sĩ kỹ thuật, ngành Tự động hóa, Trường Đại học kỹ thuật công nghệ - Đại học Thái Nguyên.

Uông Quang Tuyến (2008). Nghiên cứu xây dựng hệ thống điều khiển mức nước bao hơi cho nhà máy nhiệt điện. Luận văn Thạc Sĩ kỹ thuật, ngành KT điều khiển & Tự động hóa, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Tài liệu kỹ thuật:

EVN – TPC_Quảng Ninh (2016). Quy trình vận hành lò hơi, Công ty cổ phần nhiệt điện Quảng Ninh, Số 529/QĐ-NĐQN, 146 trang.