

ỨNG DỤNG LOGIC MỜ THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TUABIN KHÍ

APPLICATION OF FUZZY LOGIC IN DESIGNING GAS TURBINE CONTROLLERS

Nguyễn Hoàng Mai¹, Nguyễn Phạm Công Đức²

¹Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng; nhmai@dut.udn.vn

²Trường Đại học Duy Tân; congducdtu@gmail.com

Tóm tắt - Động cơ tua bin khí với khối lượng và kích thước nhỏ gọn so với các loại động cơ cùng công suất khác, có tính cơ động cao, công suất lớn hiện đang được ứng dụng rộng rãi trong các trạm phát điện tĩnh và trên các phương tiện giao thông vận tải. Động cơ tua bin khí đã khẳng định được tính ưu việt của mình và là loại động cơ không thể thay thế trong ngành hàng không và trong lĩnh vực tàu thủy. Đặc điểm cơ bản của tua bin khí là cấu tạo đơn giản, ít hỏng hóc và tuổi thọ lớn. Nhược điểm của chúng là đặc tính điều khiển phức tạp, độ phi tuyến cao và khó biến đổi thông số trực tiếp. Chính vì vậy việc nghiên cứu điều khiển tua bin khí hiện vẫn còn nhiều khả năng mở để các nhà khoa học tham gia nghiên cứu phát triển ứng dụng. Từ đó tác giả đã chọn hướng nghiên cứu thiết kế bộ điều khiển cho tổ hợp tua bin khí với mục đích xây dựng cấu trúc không quá phức tạp, nhưng đảm bảo được tính đáp ứng nhanh, khả năng kháng nhiễu tốt và thay đổi tham số hệ thống.

Từ khóa - Tua bin khí; mô hình HDGT; bộ điều khiển PID; bộ điều khiển mờ; chu trình Brayton

1. Giới thiệu

Hiện nay các nghiên cứu về tua bin khí trở nên phổ biến. Thông dụng nhất là sử dụng bộ điều khiển PID hoặc kết hợp với các phương pháp khác như dùng mạng nơron, mờ... Trong [5], đã xây dựng bộ điều khiển tốc độ cho tua bin khí bằng bộ điều khiển PID bởi phương pháp Nichols Ziegler và thuật toán di truyền. Ngoài ra các tác giả cũng cho thấy, bộ điều khiển logic mờ thay thế bộ điều khiển PID kinh điển mang lại kết quả tốt hơn. Trong [6], [7], đã xây dựng bộ điều khiển tốc độ cho tua bin khí bằng việc kết hợp giữa PID và Fuzzy để ổn định được tốc độ quay của tua bin phù hợp với nhiễu. Trong các nghiên cứu này các tác giả sử dụng mô hình tua bin khí được xây dựng bởi Rowen [2]. Những nghiên cứu này thực hiện trên mô hình nhiễu bé do sử dụng mô hình PID gián tiếp.

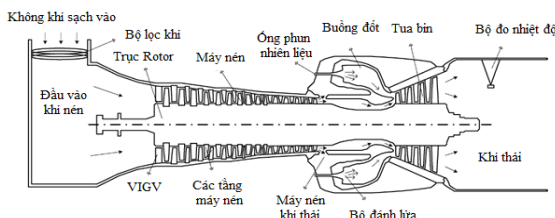
Abstract - Gas turbine engines with compact size and light weight compared to other types of engines with the same power are highly mobile with great output capacity and currently being widely used in static power stations and means of transportation. Gas turbine engines have proved their superiority as engines that cannot be replaced in aviation and the ship industry. The gas turbines are mainly characterized by their simple structures, few breakdowns and long life. Their disadvantages are complex controllability, high non-linearity and difficulty in directly changing parameters. Therefore, research into gas turbine control is still open for scientists to participate in doing research and developing applications. In line with this, the authors of this article have decided to study and design a controller for gas turbine engines for the purpose of building a structure which is not too complicated, but ensures fast response, good resistance to interference and convenience for changing system parameters.

Key words - Gas turbine; HDGT model; PID controller; fuzzy controller; Brayton cycle

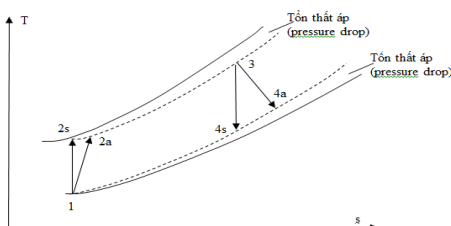
Nguyên lý hoạt động tua bin khí: như Hình 1 và 2 không khí sạch (thuật ngữ chuyên môn gọi là khí khô – dry air) theo đường 1 vào máy nén, được máy nén tăng áp và theo đường 2 đi vào buồng đốt, tại đây nhiên liệu được phun vào và đốt cháy khí tạo áp suất cao, sau đó nhờ hệ thống nén để đẩy khí cao áp đi vào đường ống 3 để đến được tua bin, làm quay tua bin. Khí xả được đưa ra đường ống 4. Tua bin quay sẽ quay trực tiếp hoặc qua hộp giảm tốc để nối với tải phía sau. Chu trình hoạt động của tua bin khí là chu trình Brayton như Hình 2.

Thực tế, khi làm việc, do ma sát nhiệt truyền nhiệt qua vách ngăn đường ống... nên sẽ có tổn thất áp suất từ đầu đến cuối quá trình. Do đó, chu trình Brayton thực tế sẽ khác một chút so với chu trình lý tưởng.

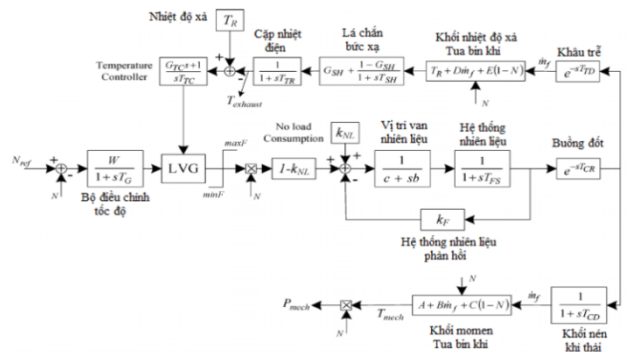
Trên Hình 3 mô tả cấu trúc toán học của một hệ HDGT (Heavy Duty Gas Turbine) do tác giả Rowen đề xuất



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của tua bin khí



Hình 2. Chu kỳ Brayton thực tế



Hình 3. Mô hình HDGT của Rowen

Dựa vào chu trình Brayton [2] thực tế ở Hình 2, ta có hiệu suất của các bước trong quá trình:

$$\text{Hiệu suất của máy nén: } \eta_{\text{comp}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{(T_{2s} - T_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

$$\text{Hiệu suất của tua bin: } \eta_{\text{turb}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} = \frac{(T_3 - T_4)}{(T_3 - T_{4s})} \quad (2)$$

$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\left(\frac{K_c - 1}{K_c}\right)} = PR^{\left(\frac{K_c - 1}{K_c}\right)} = x_c \quad (3)$$

$$\frac{T_3}{T_{4s}} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\left(\frac{K_h - 1}{K_h}\right)} = PR^{\left(\frac{K_h - 1}{K_h}\right)} = x_h \quad (4)$$

x_c : Tỷ số gia nhiệt buồng đốt.

x_h : Tỷ số gia nhiệt quá trình nén tua bin.

Sử dụng công thức (1) và (3), nhiệt độ ra của buồng đốt được tính bằng công thức:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{x_c - 1}{\eta_c} + 1 \right) \quad (5)$$

Và với công thức (2) và (4), nhiệt độ ra của tua bin được tính như sau:

$$T_4 = T_3 \left(1 - \left(1 - \frac{1}{x_h} \right) \eta_c \right) \quad (6)$$

Một quá trình khác ảnh hưởng đến hoạt động của HDGT là quá trình diễn ra trong buồng đốt, tức là giai đoạn 2-3 trong Hình 2. Khi đó, áp suất trong buồng đốt không đổi sẽ cho ta các biểu thức sau:

$$\dot{q}H = \dot{m} \cdot C_{ph} \cdot (T_3 - T_2) \quad (7)$$

Trong đó \dot{m} (kg/s) là tỷ lệ luồng khí vào. Nhiệt được tạo thành bằng cách chiết suất năng lượng từ nhiên liệu như sau:

$$\dot{q}H = \eta_c \cdot \dot{m}_f \cdot H \quad (8)$$

Ở đây $\dot{q}H$ (kJ/s) tỷ lệ hấp thụ nhiệt trong lò đốt, η_c là hiệu suất của buồng đốt, \dot{m}_f (kg/s) tỷ lệ luồng nhiên liệu và H (kJ/kg) là lượng calorific thấp hay là lượng nhiệt thấp của nhiên liệu khi sử dụng. Hiệu suất của buồng đốt là lượng nhiên liệu được bơm vào buồng đốt và bị đốt cháy hoàn toàn. Đối với các thiết kế hiện đại, hiệu suất của buồng đốt rất cao và gần như là 100%. Sử dụng công thức (7) và (8) sự gia tăng nhiệt độ trong buồng đốt có thể được tính như sau:

$$T_3 = T_2 + \eta_c \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}} \frac{H}{C_{ph}} = T_2 + \Delta T_o \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}} \quad (9)$$

Ở đây ΔT_o là ký hiệu của sự gia tăng nhiệt. Trên thực tế, nhiệt độ và tỷ lệ áp suất bên trong cũng như phản ứng tổng thể của quá trình HDGT thay đổi theo tốc độ của tua bin. Quá trình này là phi tuyến nên làm phức tạp thêm cho mô hình. Tuy nhiên, theo mô hình của Rowen, các quá trình này được giả thiết đối với tốc độ bằng cách áp dụng giới hạn tốc độ 95% đến 107% tốc độ định mức xem ở Bảng 1. Lúc này công suất đầu ra của tua bin sẽ là:

$$P_G = \dot{m} \cdot [C_{ph} \cdot (T_3 - T_4) - C_{pc} \cdot (T_2 - T_1)] \quad (10)$$

Phương trình trên (10) được viết dưới dạng khối:

$$P_{Gpu} = A + B \cdot \dot{m}_{fpu} \text{ ở tốc độ định mức}$$

$$A = \eta_c \frac{\dot{m}_n T_1}{P_{Gn}} \left\{ C_{ph} \cdot \eta_t \left(1 - \frac{1}{x_h} \right) - \frac{x_c - 1}{\eta_c} \right\} \times [C_{pc} - C_{ph} \cdot \eta_t \left(1 - \frac{1}{x_h} \right)] \quad (11)$$

$$B = \frac{\eta_c \cdot \eta_t \cdot H \cdot \dot{m}_f n}{P_{Gn}} \left(1 - \frac{1}{x_h} \right) \quad (12)$$

Ở tốc độ định mức, nhiệt độ khí xả được tính bằng cách

thay thế công thức (5) và (6) vào trong công thức (9), vì thế:

$$T_4 = T_R - D \cdot (1 - \dot{m}_{fpu}) \text{ ở tốc độ định mức}$$

$$D = \eta_c \frac{H}{C_{ph}} \cdot \frac{\dot{m}_f n}{\dot{m}_n} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{x_h} \right) \eta_t \right] \quad (13)$$

Ở đây D là hệ số khối nhiệt độ xả và T_R là nhiệt độ xả định mức trong mô hình HDGT. Bây giờ chúng ta xác định các hệ số của hệ thống van nhiên liệu. Trong mô hình HDGT, tỷ lệ lưu lượng dòng nhiên liệu định mức tương ứng với tốc độ của tua bin và sẽ có một hằng thời gian sẽ xuất hiện, đó là b trong khối định vị van của mô hình HDGT. Giá trị thông số nhiễu của vòng phản hồi $K_f = 0$ và thời gian trễ $c = 0$ trong mô hình được chọn theo thông số của nhà sản xuất. Tuy nhiên, vẫn có một hằng số thời gian trễ từ các ống dẫn nhiên liệu đến buồng đốt. Độ trễ này được tính bằng biểu thức sau:

$$T_V = \frac{P_o}{Q_o} V \frac{\partial}{\partial P} \left(\frac{1}{v} \right) | T_o \quad (14)$$

2. Thiết kế hệ thống tua bin khí

2.1. Tính toán các thông số mô hình hệ thống

Trong nghiên cứu này, tác giả lấy thông số của tua bin với công suất 172 MW để áp dụng [2]. Đây là tua bin đơn hệ HDGT với khí sạch làm nhiên liệu chính (áp suất bao quanh 1 atm, độ ẩm tương đối 60% và nhiệt độ 15°). Cần lưu ý rằng các tính toán sau đây, tổn thất áp suất trong bộ lọc khí vào và quá trình đốt nhiên liệu được bỏ qua.

Bảng 1. Thông số định danh mô hình hệ HDGT [2]

| Tham số | Ký hiệu | Đơn vị | Giá trị |
|--------------------|-------------|--------|---------|
| Công suất định mức | P_{Gn} | MW | 172,2 |
| Tần số danh định | f | Hz | 50 |
| Tốc độ Tua bin | RPM | RPM | 3000 |
| Khí thải | \dot{m}_n | kg/s | 537 |
| Nhiệt độ khí thải | T_R | °C | 522 |
| Tỷ lệ áp suất | P_R | - | 15,4 |

Bảng 2. Thông số định danh mô hình hệ HDGT [2]

| Tham số | Ký hiệu | Đơn vị | Giá trị |
|------------------------------------|-------------|--------|---------|
| Công suất đầu ra | T_3 | MW | 146,4 |
| Nhiệt độ đầu vào tua bin | T_3 | °C | 1100 |
| Nhiệt độ khí thải | T_4 | °C | 532 |
| Nhiệt độ môi trường xung quanh | T_1 | °C | 27,3 |
| Khí thải | \dot{m}_n | kg/s | 438,1 |
| Lưu lượng nhiên liệu | \dot{m}_f | kg/s | 8,34 |
| Nhiệt trị thấp của nhiên liệu | H | kJ/kg | 43094 |
| Nhiệt dung của khí quá trình nén | C_{ph} | kJ/kgK | 1,1569 |
| Nhiệt dung của khí trong buồng đốt | C_{pc} | kJ/kgK | 1,0047 |
| Tỷ số gia nhiệt quá trình nén | K_h | - | 1,33 |
| Tỷ số gia nhiệt buồng đốt | K_c | - | 1,4 |

Hiệu suất của tua bin: Từ công thức (4) cùng với dữ liệu trong các Bảng 1 và 2, ta tính được nhiệt độ ra tua bin T_{4s} trong quá trình đẳng nhiệt như sau:

$$x_{h(oc)} = PR^{\left(\frac{K_h - 1}{K_h}\right)} = P_R \frac{\dot{m}_n}{\dot{m}_n} \left(\frac{K_h - 1}{K_h}\right) = (15,4 \times \frac{438,1}{537})^{\left(\frac{1,33 - 1}{1,33}\right)} = 1,87 \quad (15)$$

$$T_{4s(oc)} = \frac{T_{3(oc)}}{x_{h(oc)}} = \frac{1100+273}{1,87} = 734,22 \text{ K} = 461,22^\circ\text{C} \quad (16)$$

Hiệu suất tua bin theo công thức (2) là:

$$\eta_t = \frac{(T_3 - T_4)}{(T_3 - T_{4s(oc)})} = \frac{1100 - 532}{1100 - 461,22} = 0,89 \quad (17)$$

Hiệu suất của máy nén và nhiệt độ ra của máy nén trong quá trình đẳng nhiệt được tính từ (3):

$$x_{c(oc)} = PR^{\left(\frac{K_h - 1}{K_h}\right)} = P_R \frac{m_n}{\dot{m}_n} \left(\frac{K_h - 1}{K_h}\right) \\ = (15,4 \times \frac{438,1}{537})^{\left(\frac{1,4 - 1}{1,4}\right)} = 2,06 \quad (18)$$

$$T_{2s} = T_{1(oc)} \times x_{c(oc)} = (27,3 + 273) \times 2,06 \\ = 618,62 \text{ K} = 345,62^\circ\text{C} \quad (19)$$

Ở đây nhiệt độ đầu ra của máy nén được tính từ công

$$\text{thức (9): } T_{2(oc)} = T_{3(oc)} - \eta_{comb} \frac{\dot{m}_f H}{\dot{m} C_{ph}} \quad (20)$$

$$= 1100 - 0,99 \times \frac{8,34}{438,1} \times \frac{43094}{1,1569} = 397,98^\circ\text{C} \quad (21)$$

Hiệu suất đốt cháy của buồng đốt gần như tuyệt đối. Với hiệu suất 0,99 được giả định cho hệ thống buồng đốt trong nghiên cứu này.

Theo (1), ta có hiệu suất của máy nén là:

$$\eta_c = \frac{(T_{2s(oc)} - T_{1(oc)})}{(T_{2(oc)} - T_{1(oc)})} = \frac{345,62 - 27,3}{397,98 - 27,3} = 0,86 \quad (22)$$

Từ các thông số cho hoạt động định mức của tua bin ở Bảng 1, ta có x_h và x_c được tính như sau:

$$x_h = (15,4) \frac{1,33 - 1}{1,4} = 1,97 \quad (23)$$

$$x_c = (15,4) \frac{1,4 - 1}{1,4} = 2,18 \quad (24)$$

Từ công thức (11) và (12) có thể được sử dụng để tính các thông số khối công suất cơ của tua bin trong Hình 5 như sau:

$$A = \frac{537 \times (273 + 15)}{172200} \times \left\{ 2,2569 \times 0,89 \times \left(1 - \frac{1}{1,97}\right) - \frac{2,18 - 1}{0,86} \right. \\ \left. \times [1,0047 - 1,1569 \times 0,89 \times \left(1 - \frac{1}{1,97}\right)] \right\} = -0,158 \quad (25)$$

Trong công thức (12) lưu lượng nhiên liệu định mức là cần thiết. Nó là cơ sở để tạo ra công suất định mức ở tốc độ định mức của tua bin. Do đó, từ công thức (12)

$$B = \frac{0,99 \times 0,89 \times 43094 \times \dot{m}_{fn}}{172200} \left(1 - \frac{1}{1,97}\right) = 0,1068 \dot{m}_{fn} \quad (26)$$

$$\dot{m}_{fpu} = \frac{P_{Gpu} - A}{B} \rightarrow 1 = \frac{1 + 0,1580}{0,1086 \dot{m}_{fn}} \rightarrow \dot{m}_{fn} = 10,66 \text{ kg/s}$$

$$B = 1,1580 \quad (27)$$

Và lưu lượng định mức cũng để xác định nhiệt độ xả tua bin. Từ công thức (14) tham số nhiệt độ xả D được tính như sau:

$$D = 0,99 \times \frac{43094}{1,1569} \times \frac{10,72}{537} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{1,97}\right) \times 0,89\right] \\ = 413,6^\circ\text{C} \quad (28)$$

Ở đây, ta chọn thông số khối momen tua bin khí $C = 0,5$ và nhiệt độ khí thải $E = 0,6 \times T_R = 313^\circ\text{C}$. Lượng nhiên liệu tiêu thụ khi tua bin làm việc không tải và lượng nhiên liệu tối thiểu để duy trì quá trình đốt trong buồng đốt được cho ở Bảng 3.

Tỷ lệ lưu lượng nhiên liệu để duy trì buồng đốt khi không tải:

$$K_{NL} = \frac{2,56}{\dot{m}_{fpu}} = \frac{2,56}{10,66} = 0,24 \quad (29)$$

Lượng nhiên liệu tối thiểu để duy trì quá trình đốt trong buồng đốt:

$$\text{Min F} = \frac{\frac{1,5}{10,66} - 0,24}{1 - 0,24} = -0,13 \quad (30)$$

Bảng 3. Lượng nhiên liệu tối thiểu để duy trì buồng đốt và hoạt động không tải

| Tham số | Đơn vị | Giá trị |
|---|--------|---------|
| Lưu lượng nhiên liệu khi không tải | kg/s | ~ 2,56 |
| Lưu lượng nhiên liệu tối thiểu để duy trì buồng đốt | kg/s | ~ 1,5 |

Bảng 4. Dữ liệu để tính độ trễ hệ thống nhiên liệu

| Tham số | Đơn vị | Giá trị |
|---------------------|--------|---------|
| Áp suất nhiên liệu | atm | 21 |
| Nhiệt độ trung bình | K | 320 |

Bảng 5. Dữ liệu để tính độ trễ của khâu xả máy nén

| Tham số | Đơn vị | Giá trị |
|---------------------|----------------|---------|
| Nhiệt độ trung bình | K | ~1050 |
| Thể tích ống xả | m ³ | ~16 |

Hệ thống nhiên liệu: hằng số thời gian trễ của hệ thống nhiên liệu có thể bằng 0 nếu điều kiện nhiệt động lực học của hệ thống nhiên liệu cho một điểm hoạt động điển hình được biết đến. Khi vận hành với nhiên liệu khí, các phép đo gần đây về tính chất nhiệt động lực học metan được sử dụng để tính các biến đổi mật độ do sự thay đổi áp suất từ công thức (14) và Bảng 4:

$$\frac{\partial}{\partial P} \left(\frac{1}{v}\right) \left| T_O = \frac{\left(\frac{1}{0,07}\right) - \left(\frac{1}{0,1}\right)}{22 - 16,5} \right| 320 \text{ K} = 0,78 \quad (31)$$

Và sử dụng dữ liệu trong Bảng 4, ta sẽ có:

$$T_{FS} = \frac{21 \text{ atm}}{10,66 \text{ kg/s}} \times 0,17 \text{ m}^3 \times 0,78 \frac{\text{kg/m}^3}{\text{atm}} = 0,26 \text{ s} \quad (32)$$

Thời gian vận hành của bộ định vị van dựa vào thông số nhà sản xuất. Ở đây thời gian định vị van nhiên liệu $b = 10 \text{ ms}$.

Độ trễ thời gian và độ trễ xả: $T_{TD} = 40 \text{ ms}$

Ngoài ra còn có một thời gian trễ ở khâu xả của máy nén. Sử dụng các tính chất nhiệt động lực học và dữ liệu trong Bảng 5, từ công thức (14) được sử dụng để ước lượng hằng số thời gian trễ ở khâu xả của máy nén như sau:

$$\frac{\partial}{\partial P} \left(\frac{1}{v}\right) \left| T_O = \frac{\left(\frac{1}{0,14}\right) - \left(\frac{1}{0,2}\right)}{20 - 14} \right| 1050 \text{ K} = 0,36 \quad (33)$$

Nhiệt độ trung bình 1050°K được giả định là ở đáy của lõi vào tua bin (Bảng 5). Nhiệt độ trung bình ở khâu thải của khối nén khí:

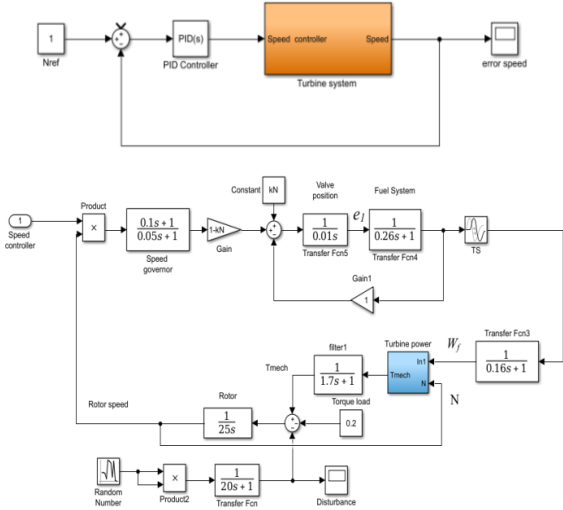
$$T_{CD} = \frac{15,4 \text{ atm}}{537 \text{ kg/s}} \times 16 \text{ m}^3 \times 0,36 \frac{\text{kg/m}^3}{\text{atm}} = 0,16 \text{ s} \quad (34)$$

2.2. Bộ điều khiển tốc độ tua bin khí

2.2.1. Xây dựng cấu trúc bộ điều khiển

Trong nghiên cứu này, sử dụng phương pháp điều khiển mờ vì tính tường minh, đơn giản và dễ kiểm nghiệm kết quả. Bộ điều khiển mờ để chỉ định các thông số của bộ điều khiển PID trong quá trình hoạt động. Ta xây dựng cấu trúc điều khiển của bộ điều khiển mờ lai PID này như sau: đầu tiên ta sử dụng bộ điều khiển PID để điều khiển

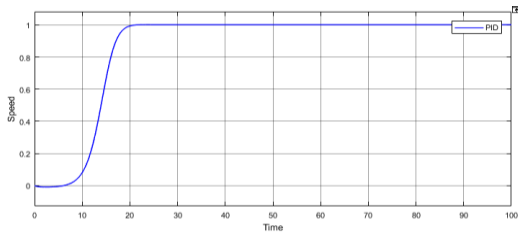
ở vòng trong cho mạch vòng điều chỉnh tốc độ hệ truyền động của tua bin, sau đó dùng bộ điều khiển mờ ở vòng ngoài để tự động chỉnh định các thông số K_P , K_I , K_D của bộ điều khiển PID với các tham số K_P , K_I , K_D được lấy từ kết quả dựa trên mô hình hóa và thuật toán Nichols Ziegler.



Hình 4. Sơ đồ hệ thống mô phỏng điều khiển bằng PID

Sử dụng thuật toán Nichols – Ziegler với bộ điều khiển PID kinh điển, kết quả đầu ra của bộ điều khiển PID:

$$K_P = 33; K_I = 0,018; K_D = 44$$



Hình 5. Kết quả mô phỏng khi sử dụng bộ điều khiển PID

Qua kết quả mô phỏng điều khiển trên ta thấy, với bộ điều khiển PID thì thời gian quá độ là 22 giây. Về chỉ tiêu độ quá điều chỉnh, khi sử dụng bộ điều khiển PID độ quá điều chỉnh lên đến 0,05% con số này rất nhỏ, đây là một thông số tốt, làm cho quá trình mở máy hệ thống truyền động an toàn. Tuy nhiên khi tăng tham số nhiều lên thì bộ điều khiển dần mất ổn định. Nhiều trong thực tế như lực cản của gió đối với cánh quạt động cơ tua bin hoặc lực cản của dòng nước đối với chân vịt của tàu thủy...

Sau khi thiết kế bộ điều khiển PID, dựa vào các thông số K_P , K_I , K_D để xây dựng bộ điều khiển mờ. Đầu vào bộ điều khiển mờ này là sai lệch (kí hiệu là e) của tốc độ đặt so với tốc độ thực tế của hệ thống tua bin khí và đạo hàm sai lệch de/dt (kí hiệu là de).

Đầu ra của bộ điều khiển mờ là các hệ số K_P , K_I , K_D , để điều khiển hệ thống đóng mở van nhiên liệu của buồng đốt tua bin khí.

2.2.2. Tính toán các thông số của bộ điều khiển mờ PID

a. Mờ Hóa

- Giá trị đặt $[0 \div 1]$ tương đương với tỷ lệ đóng mở van nhiên liệu $[0 \div 100]$ (%).

b. Luật hợp thành

Với 5 tập mờ của mỗi đầu vào, ta xây dựng được $5 \times 5 = 25$ luật điều khiển.

- Luật hợp thành cho hệ số K_P

Bảng 6. Bảng luật hợp thành của hệ số K_P

K_P (RẤT NHỎ, NHỎ, KHÔNG, LỚN, RẤT LỚN)

| e/de | RN | N | K | L | RL |
|---------------|----|----|---|----|----|
| RC(RẤT CHẬM) | N | N | K | RL | RL |
| C(CHẬM) | N | N | K | RL | RL |
| K(KHÔNG) | N | N | K | RL | RL |
| N(NHANH) | RN | RN | K | L | L |
| RN(RẤT NHANH) | RN | RN | K | L | L |

- Luật hợp thành cho hệ số K_I

Bảng 7. Bảng luật hợp thành của hệ số K_I

K_I (RẤT NHỎ, NHỎ, KHÔNG, LỚN, RẤT LỚN)

| e/de | RN | N | K | L | RL |
|---------------|----|----|---|----|----|
| RC(RẤT CHẬM) | N | N | K | RL | RL |
| C(CHẬM) | N | N | K | RL | RL |
| K(KHÔNG) | N | N | K | RL | RL |
| N(NHANH) | RN | RN | K | L | L |
| RN(RẤT NHANH) | RN | RN | K | L | L |

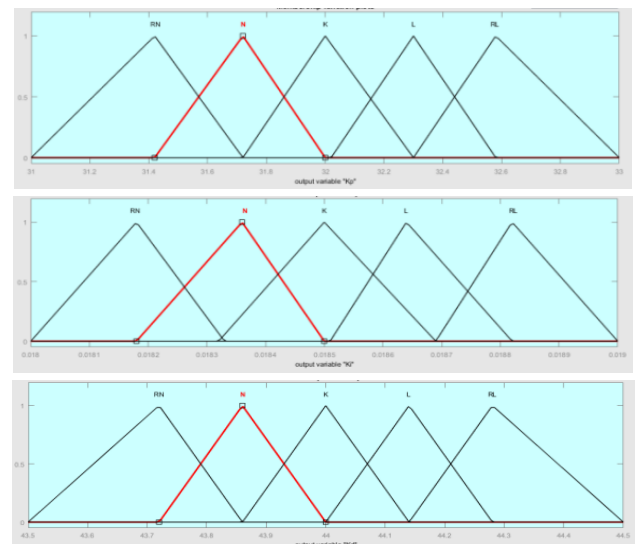
- Luật hợp thành cho hệ số K_D

Bảng 8. Bảng luật hợp thành của hệ số K_D

K_D (RẤT NHỎ, NHỎ, KHÔNG, LỚN, RẤT LỚN)

| e/de | RN | N | K | L | RL |
|---------------|----|----|---|----|----|
| RC(RẤT CHẬM) | RL | RL | K | K | K |
| C(CHẬM) | L | L | K | K | K |
| K(KHÔNG) | L | L | K | N | K |
| N(NHANH) | K | K | K | N | K |
| RN(RẤT NHANH) | K | K | K | RN | K |

c. Khối điều khiển mờ

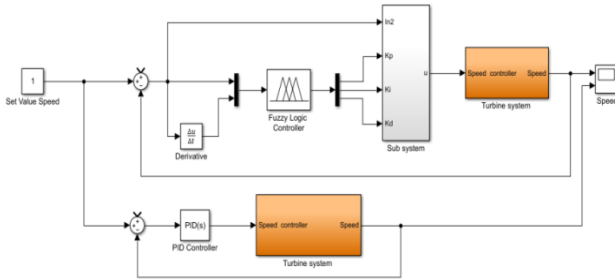


Hình 6. Tập mờ của các biến ra hệ số điều khiển

3. Mô phỏng và kết quả

3.1. Sơ đồ hệ thống mô phỏng bằng mờ PID

3.1.1. Sơ đồ hệ thống

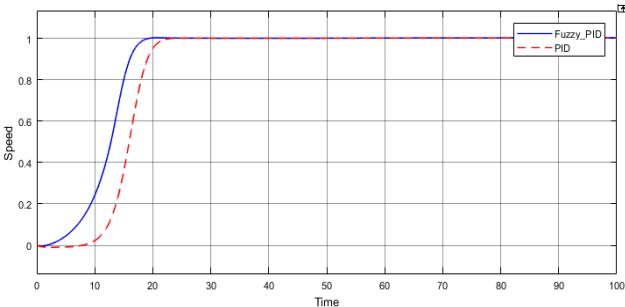


Hình 7. Sơ đồ hệ thống mô phỏng điều khiển bằng Mờ PID

3.2. Kết quả mô phỏng

Theo nghiên cứu ở trên, khi góc mở van và nhiên liệu thay đổi thì tốc độ của tua bin cũng thay đổi theo và để ổn định được tốc độ quay của tua bin ta cần phải có bộ điều khiển thay đổi được thông số phù hợp với sự thay đổi của nhiên liệu. Tuy nhiên khi ta thay đổi giá trị đặt nhiên liệu của tua bin trong quá trình làm việc thì bộ điều khiển PID kinh điển không đáp ứng được yêu cầu chất lượng của quá trình điều khiển. Để khắc phục hiện tượng đó, tác giả đề xuất phương án sử dụng bộ điều khiển mờ PID trực tiếp với luật như Bảng 6, 7, 8.

3.2.1. Mô phỏng với tham số nhiễu bằng 0,05

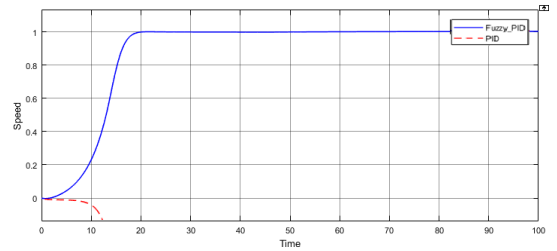


Hình 8. Kết quả mô phỏng khi thử nghiệm với nhiễu bằng 0,05

Bảng 9. So sánh kết quả mô phỏng với tham số nhiễu bằng 0,05

| CHỈ TIÊU | BỘ ĐK PID | BỘ ĐK MỜ PID |
|-----------------------|-----------|--------------|
| Thời gian quá độ (s) | 25 | 19 |
| Độ quá điều chỉnh (%) | 0,05 | 0,02 |
| Sai lệch tĩnh | 0 | 0 |

3.2.2. Mô phỏng với tham số nhiễu bằng 0,15



Hình 9. Kết quả mô phỏng khi thử nghiệm với nhiễu bằng 0,15

Bảng 10. So sánh kết quả mô phỏng với tham số nhiễu bằng 0,15

| CHỈ TIÊU | BỘ ĐK PID | BỘ ĐK MỜ PID |
|-----------------------|-----------|--------------|
| Thời gian quá độ (s) | X | 20 |
| Độ quá điều chỉnh (%) | X | 0,3 |
| Sai lệch tĩnh | X | 0 |

4. Kết luận

Bài báo đã, nghiên cứu, tìm hiểu về thiết kế và các kỹ thuật điều khiển hệ truyền động tua bin khí.

Ứng dụng phương pháp điều khiển mờ và điều khiển PID để thiết kế bộ điều khiển mờ lai PID cho hệ truyền động tua bin khí. Mô hình hóa và mô phỏng toàn bộ hệ thống thông qua phần mềm Matlab Simulink, từ đó đánh giá được bộ điều khiển đã thiết kế. Bộ điều khiển được thiết kế đáp ứng tốt hệ thống truyền động.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyen Hoang Mai, Tran Van Dung (2018), "the analysis of local oscillation in the gas turbine generator connecto power grid systems use linear observer".
- [2] W. I. Rowen, "Simplified mathematical representations of single shaft gas turbines in mechanical drive service" presented at the Int. Gas Turbine and Aeroengine Congr. And Expo., Cologne, Germany, 1992, unpublished".
- [3] Saeed Balochian, Soheil Vosoughi (2012), "Design and simulation of turbine speed control system based on Adaptive Fuzzy PID controller".
- [4] M. Bazazzadeh, A. Shahriari (2010), "Designing a fuzzy logic controller for gas turbine performance using neural network".
- [5] S.Balamurugan, R.Joseph Xavier, A.Ebenezer Jeyakumar (2010), "Fuzzy based controller for heavy duty gas turbine plant".
- [6] Surti Ammar, Ruting Jia, Wenyan Xiao (2015), "Control of Gas Turbine's speed with a fuzzy logic controller".
- [7] Azadeh mansouri Mansourabad, Mohammad Taghi Hamidi Beheshti, Mohsen Simab (2013), "A hybrid PSO_Fuzzy_PID Controller for gas turbine speed control".
- [8] Morteza Montazeri, AmirSafari (2007), "Design of Gas turbine engine fuel control system using fuzzy logic".

(BBT nhận bài: 03/10/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 22/12/2018)