



THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN ÁP SUẤT BÌNH NGƯNG CHO NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN

Hà Duy Thái^{1*}, Nguyễn Văn Quyết¹

¹Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Hùng Vương, Phú Thọ

Ngày nhận bài: 18/4/2020; Ngày chỉnh sửa: 07/8/2020; Ngày duyệt đăng: 18/8/2020

Tóm tắt

Bình ngưng trong nhà máy nhiệt điện có vai trò quan trọng, dùng để ngưng lượng hơi thoát từ tua bin hạ áp thành nước ngưng cung cấp cho chu trình nhiệt. Với sự thay đổi của các thông số như nhiệt độ nước, năng lượng điện phát ra làm cho ảnh hưởng đến hiệu quả kinh tế, kỹ thuật của việc sản xuất điện. Bài báo trình bày thiết kế bộ điều khiển áp suất bình ngưng sao cho có được bộ thông số điều khiển phù hợp nhất với sự thay đổi của các thông số đầu vào. Bộ điều khiển đã thiết kế được mô phỏng trên matlab simulink cho thấy bộ điều khiển đáp ứng tốt với đầu vào thay đổi.

Từ khóa: Bộ điều khiển PID, bình ngưng, điều khiển áp suất bình ngưng.

1. Đặt vấn đề

Bình ngưng trong nhà máy nhiệt điện dùng để ngưng lượng hơi thoát từ tua bin hạ áp thành nước ngưng cung cấp cho chu trình nhiệt [1-2]. Mục đích của việc ngưng tụ hơi là để tạo chân không sâu trong tầng cánh cuối cùng của tuabin ngưng hơi. Ở mỗi một chế độ vận hành khác nhau về điều kiện bên ngoài cũng như bên trong hệ thống bình ngưng, làm sao cho có được một bộ các thông số để duy trì mà đó là một bộ các thông số thích hợp nhất về cả mặt kỹ thuật cũng như mặt kinh tế trong quá trình sản xuất điện năng [3]. Đối với bình ngưng, để đảm bảo chế độ vận hành hiệu quả kinh tế cũng như an toàn cho thiết bị thì hai tham số chính là áp suất bình ngưng và mức nước bình ngưng.

Thực tế, hầu hết các nhà máy nhiệt điện ngưng hơi của nước ta đã có đều dùng nguồn nước làm mát là nước sông theo sơ đồ hở, ví dụ như: Nhà máy Nhiệt điện Phả Lại 1 dùng nước sông Thái Bình, Nhà máy nhiệt điện Uông Bí dùng nước sông Uông, Nhà máy nhiệt điện Ninh Bình dùng nước sông Đáy [4]. Điều kiện khí hậu, nhiệt độ nước dao động từ 15 đến 32°C [5]. Điều này làm ảnh hưởng tới quá trình truyền nhiệt trong bình ngưng và do đó làm thay đổi chế độ chân không bình ngưng. Bên cạnh đó, phụ tải điện được phép phát cũng thường xuyên phải thay đổi do phân lớn các nhà máy nhiệt điện đều phải đáp ứng phần phụ tải nửa ngọn hoặc phụ tải ngọn trong đồ thị phân phối phụ tải chung của Quốc gia [6]. Chế độ vận hành thường xuyên bị thay đổi do độ dao động lớn của đồ thị phụ tải làm thay đổi phụ tải nhiệt của bình

*Email: duythai42tdh@gmail.com

ngưng. Nếu chế độ duy trì chân không và chế độ cung cấp nước làm mát không đáp ứng tốt thì sẽ làm giảm hiệu quả kinh tế của quá trình sản xuất điện ở các nhà máy nhiệt điện kiểu tuabin ngưng hơi này [7]. Hiện nay, các dây chuyền sản xuất nhiệt điện thường được nhập khẩu từ nước ngoài với công nghệ kèm theo. Vì vậy, cần nghiên cứu, thiết kế để có thể làm chủ được công nghệ, vận hành, sửa chữa, bảo dưỡng hệ thống là điều hết sức cần thiết.

Bài báo trình bày thiết kế bộ điều khiển tự động đáp ứng yêu cầu ổn định áp suất cho bình ngưng để đảm bảo chế độ vận hành của hệ thống đạt được hiệu quả cao nhất. Trong phạm vi của bài báo chỉ đề cập đến đối tượng nghiên cứu là các nhà máy nhiệt điện đốt than dùng tuabin ngưng hơi với bình ngưng kiểu ống có nước làm lạnh đi bên trong.

2. Xác định hàm truyền đạt của đối tượng bình ngưng

2.1. Các phương trình động học của bình ngưng

2.2.1. Phương trình cân bằng năng lượng

Phương trình cân bằng hơi vào và nước ngưng.

$$Q = F_c \cdot \lambda \quad (1)$$

Trong đó:

Q là công suất nhiệt [W];

F_c là lưu lượng nước ngưng [kg/s];

λ là nhiệt ẩn hóa hơi ở nhiệt độ bão hòa;

Phương trình mối liên hệ tốc độ truyền nhiệt:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m \quad (2)$$

Trong đó:

ΔT_m là độ chênh nhiệt độ trung bình, trong tính toán nhiệt người ta thường sử dụng công thức:

$$\Delta T_m = \frac{T - T_{cw}}{\ln \frac{T_c - T_{cw}}{T_c - T}}$$

A là diện tích bề mặt làm lạnh nước bình ngưng;

U là hệ số truyền nhiệt trong bình ngưng;

Phương trình cân bằng lưu lượng nước và nhiệt:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F_{cw}}{M_{cw}} (T_{cw} - T) + \frac{Q}{M_{cw} \cdot C_p} \quad (3)$$

Trong đó:

F_{cw} là lưu lượng nước làm lạnh [kg/s];

M_{cw} là khối lượng nước làm lạnh [kg];

Phương trình thực nghiệm

$$\frac{1}{U \cdot A} = a_1 \cdot F_{cw}^{-0.8} + a_2 \quad (4)$$

Trong đó: a_1, a_2 là những hằng số

2.2.2. Phương trình cân bằng khối lượng

$$\frac{dP}{dt} = \frac{R \cdot T_c}{V} (F_s - F_c) \quad (5)$$

Trong đó: R là hằng số chất khí cụ thể.

Mối quan hệ giữa nhiệt độ nước ngưng và áp suất:

$$T_c = \alpha \cdot P + \beta \quad (6)$$

2.2. Sử dụng Matlab ident tool box để nhận dạng hàm truyền đạt của bình ngưng

Để thiết kế được bộ điều khiển áp suất cho bình ngưng, trước tiên nhóm tác giả sẽ tiến hành xác định hàm truyền của bình ngưng. Việc xác định hàm truyền bình ngưng sẽ được thực hiện trên ứng dụng Matlab ident tool box của phần mềm Matlab 2018. Matlab ident tool box là một ứng dụng cho phép tìm được hàm truyền đạt thích hợp mô tả gần đúng nhất đối tượng thực. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả sử dụng các số liệu của bình ngưng tại Nhà máy Nhiệt điện Phả Lại

1. Các số liệu này được làm dữ liệu để ứng dụng Matlab ident tool box tìm được hàm truyền đạt phù hợp với bình ngưng nhất.

Bảng 1. Số liệu vận hành của bình ngưng tại nhà máy điện [6]

STT	F_{cw} (kg/s)	T_{cw} (°C)	T (°C)	P (kPa)
1	1.151	20	35	7,8
2	884	21	37	6,4
3	955,3	20	36	6,5
4	960,5	22	39	6,8
5	789	21	39,5	7,5
6	899	21	31	8,5
7	1.130	21	31,5	7,9
8	1.114,5	21	31,5	8,9
9	1.200	21,5	33	9
10	110,5	21,5	33	9
11	1.207	22	33	9,5
12	1.355	22	34	9,4
13	1.345	22	34,5	10,1
14	1.300	22	35	10
15	1.200	23	36,5	10,9
16	1.465,7	23	37	11
17	1.460,4	23	37,5	11,8
18	1.500,3	23,5	39	12
19	1.836	23,5	39	11,8
20	1.918	25,5	39,5	11,7
21	2.280	25,5	39,5	11,6
22	2.395,7	27,5	39,5	11,8
23	2.466,5	28	40	11,7
24	2.553,8	28	40	12
25	3.133,5	29	40,5	11,5
26	3.757,5	29	41,5	11,9
27	3.884	29	42	12,6
28	3.901,5	29,5	42,5	12,6
29	4.025	31	43	12,8
30	3.326	31	43	14,6

Trong đó:

F_{cw} là lưu lượng nước làm mát cấp cho một bình ngưng [kg/s];

T_{cw} là nhiệt độ nước làm mát đầu vào một bình ngưng [0C];

T là nhiệt độ nước làm mát đầu ra một bình ngưng [0C];

P là áp suất bên trong bình ngưng [kPa].

Quá trình nhận dạng hàm truyền đạt bình ngưng được thực hiện qua các bước sau:

Bước 1: Nhập dữ liệu bảng 1 vào Matlab thông qua Import data và kiểm tra dữ liệu nhập vào trong khối Workspace.

Bước 2: Gõ lệnh Ident vào cửa sổ Command window xuất hiện cửa sổ System Identification Tool –Untitled.

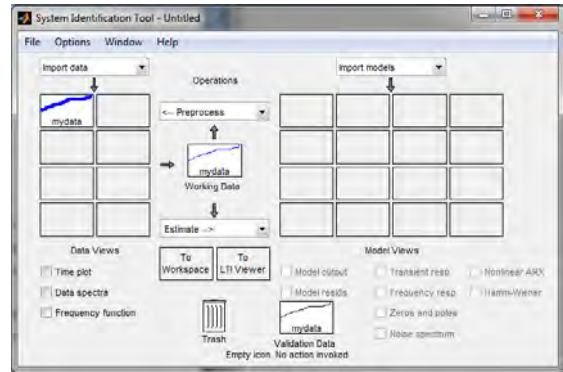
Tại cửa sổ System Identification Tool – Untiled ta kích chuột vào ô Import data và chọn Time domain data, khi đó trên màn hình xuất hiện cửa sổ Import Data.

Tiếp theo ta phải khai báo biến đầu vào và ra cho ô Workspace Variable. Với ô Input ta khai báo biến F_{cw} là biến lưu lượng nước làm mát. Còn ô output khai báo biến P là áp suất bình ngưng. Khi khai báo biến vào và ra xong ta kích chuột vào Import và Close thoát khỏi cửa sổ Workspace Variable.

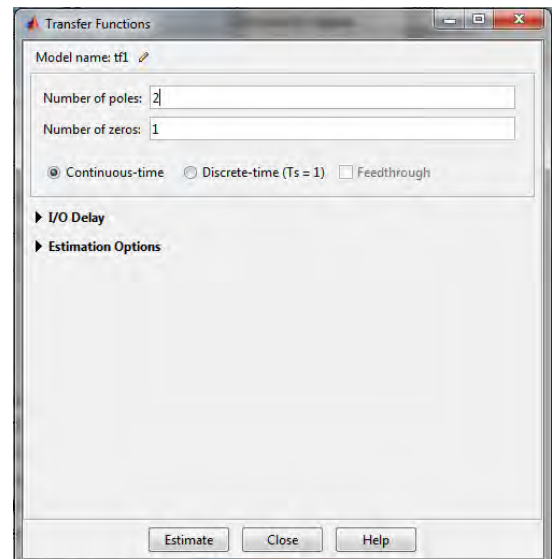
Sau khi dữ liệu đã khai báo matlab tiến hành tính toán và xác định được đường đặc tính (my data) như hình 1 cửa sổ System Identification Tool – Untiled.

Tại mục Estimate (nhận dạng mô hình) trong cửa sổ System Identification Tool – Untiled. Với mục Estimate có nhiều dạng mô hình như là: Transfer function Model (hàm truyền mô hình); State Space Model (hàm không gian trạng thái); Process Model; Polynominal Model; Nonlinear Model; Spectral models; Quick Start. Ta lần lượt tìm các dạng mô hình phù hợp với đường đặc tính của dữ liệu đã cho. Quá trình này được thực hiện ở bước 3.

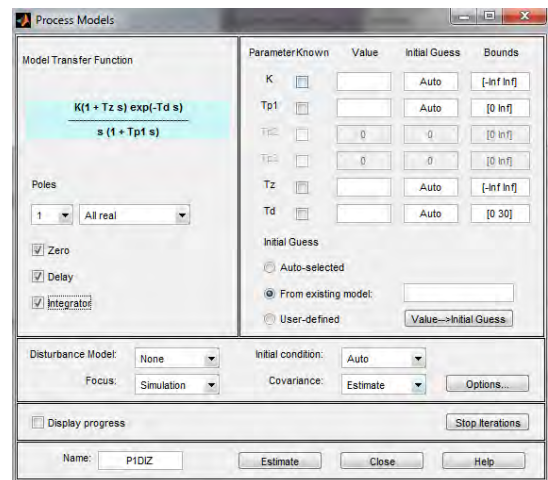
Bước 3: Lựa chọn mô hình đối tượng có hàm truyền phù hợp với đặc tính của dữ liệu đã cho.



Hình 1. Cửa sổ System Identification Tool –Untitled



Hình 2. Cửa sổ Transfer Ffunction



Hình 3. Cửa sổ Process Model

*) Lựa chọn 1: Transfer function Model trên màn hình xuất hiện cửa sổ Transfer Functions. Ta chọn Number of Poles: 2 và Number of zeros: 1 kích chọn Estimate như hình 2:

Kết quả thu được trên Command window như sau:

```
>> ident
```

Opening System Identification Tool
done.

MH₁ =

From input "u1" to output "y1":

(0.0002916 +/- 7.95e-05) s + (1.474e-05
+/- 1.141e-05)

s² + (27.39 +/- 0.04489) s + (0.01833 +/-
0.002256)

Name: MH₁

Parameterization:

Number of poles: 2 Number of zeros: 1
Number of free coefficients: 4

Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for
parameters and their uncertainties.

Status:

Termination condition: Maximum number
of iterations reached.

Number of iterations: 20, Number of
function evaluations: 173

Estimated using TFEST on time domain
data "mydata".

Fit to estimation data: 90.13% (simulation
focus) (hình 5)

FPE: 0.07139, MSE: 0.0536

More information in model's "Report"
property.

*) Lựa chọn 2: Process Model xuất hiện
cửa sổ Polynomial and State Space model:
ta chọn Structure : ARX hoặc ARMAX
như hình 3:

Kết quả thu được trên Command window
như sau:

Name: MH₂

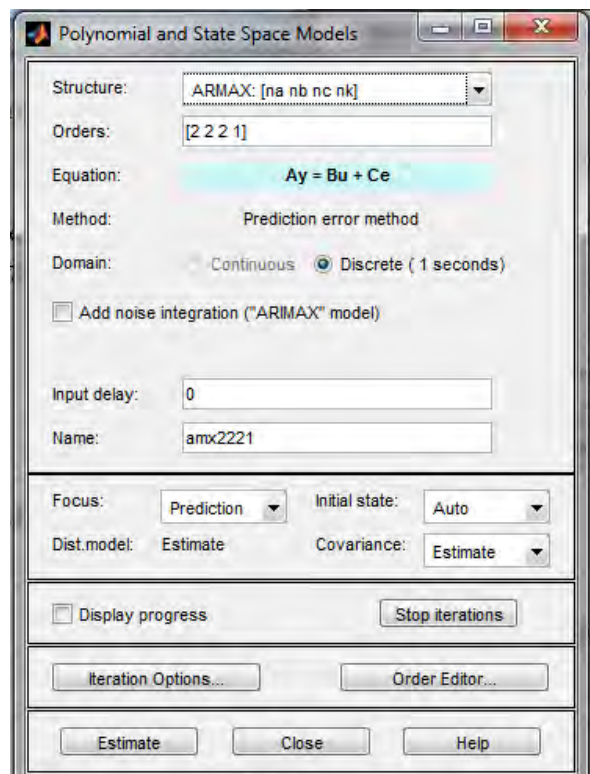
Sample time: 1 seconds

Parameterization:

Polynomial orders: na=2 nb=2 nc=2
nk=1

Number of free coefficients: 6

Use "polydata", "getpvec", "getcov" for
parameters and their uncertainties.



Hình 4. Polynomial and State Space model

Status:

Termination condition: Maximum number of iterations reached.

Number of iterations: 20, Number of function evaluations: 262

Estimated using POLYEST on time domain data “mydata”.

Fit to estimation data: 87.77% (prediction focus) (hình 5)

FPE: 0.08246, MSE: 0.05922

More information in model’s “Report” property.

Kết quả thu được trên Command window như sau:

*) Lựa chọn 3: Process Model, xuất hiện hàm truyền trên cửa sổ Process models như hình 4.

MH₃ =

Process model with transfer function:

$$1 + Tz * s$$

$$G(s) = Kp * \frac{1 + Tz * s}{s(1 + Tp1 * s)} * \exp(-Td * s)$$

$$Kp = 2.2213e-05 +/- 5.8165e-05$$

$$Tp1 = 0.44692 +/- 6.3693$$

$$Td = 0 +/- 19.883$$

$$Tz = -1.4848 +/- 16.552$$

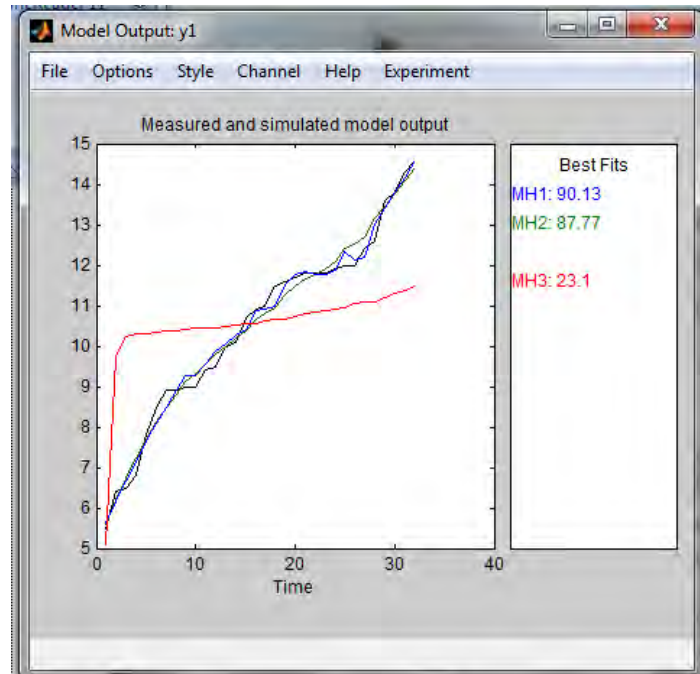
Parameterization:

‘P₁DIZ’

Number of free coefficients: 4

Use “getpvec”, “getcov” for parameters and their uncertainties.

Status:



Hình 5. Đặc tính hàm truyền đạt trong của sổ Model Output

Termination condition: Maximum number of iterations reached.

Number of iterations: 20, Number of function evaluations: 160

Estimated using PROCEST on time domain data “mydata”.

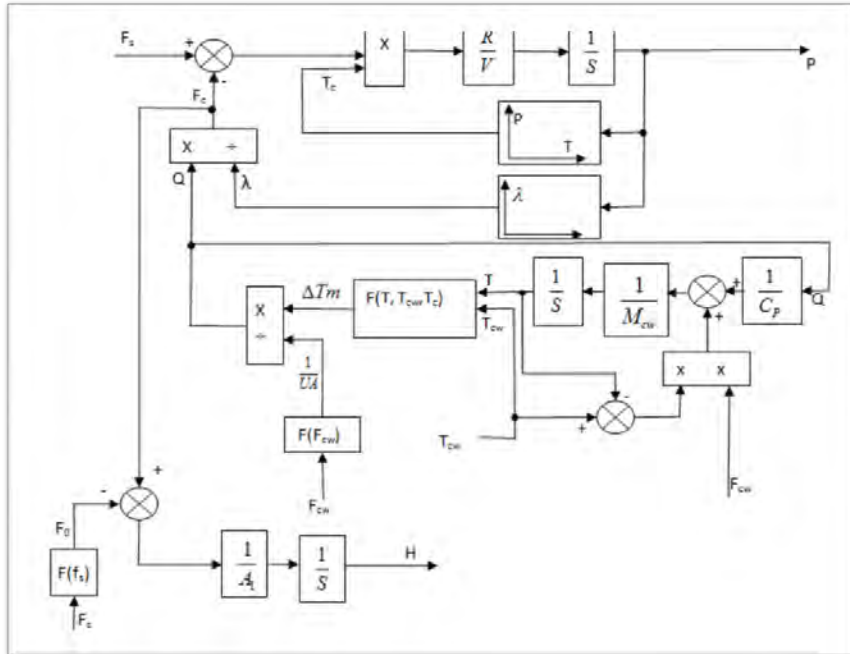
Fit to estimation data: 23.1% (prediction focus) (hình 5)

FPE: 1.122, MSE: 0.2353

More information in model’s “Report” property.

2.3. Mối quan hệ động học của bình ngưng

Dựa vào các phương trình động học (1), (2), (3), (4), (5), (6) của bình ngưng trình bày trong mục 2.1, nhóm tác giả đã thiết lập được mối quan hệ giữa chúng dưới dạng sơ đồ như hình 6.



Hình 6. Sơ đồ khối mạch vòng điều khiển áp suất bình ngưng

2.4. Hàm truyền hệ thống

Với phương pháp thực hiện như mục 2.2, dựa vào kết quả của phương pháp thực hiện như hình 5 ta nhận thấy rằng MH₁ có tỷ lệ phần trăm cao nhất 90,13%.

Như vậy, nhóm tác giả sẽ chọn MH₁ là hàm truyền đạt cho bình ngưng. Hàm truyền bình ngưng được xác định là:

$$MH_1 = \frac{0,0002916s + 1,47 \cdot 10^{-5}}{s^2 + 27,39s + 0,1833} = \frac{0,0002916s + 1,47 \cdot 10^{-5}}{(s^2 + 27,3833)(s + 0,0057)} \tag{7}$$

3. Thiết kế bộ điều khiển theo phương pháp modun tối ưu

Đánh giá hàm truyền của bình ngưng theo (7) ta thấy rằng, quán tính có bậc không lớn hơn hai, nên ta áp dụng phương pháp tối ưu độ lớn để tìm ra các thông số cho bộ điều khiển [8].

Hàm truyền đạt chuẩn theo mô đun tối ưu là hàm có dạng:

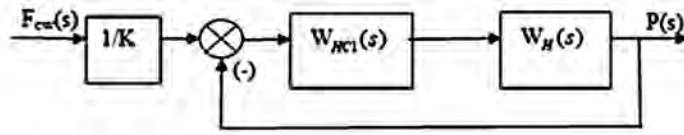
$$W_{MD}(s) = \frac{1}{2\tau^2 s^2 + 2\tau s + 1} \tag{8}$$

Đặc điểm của hàm chuẩn mô đun tối ưu là hiệu chỉnh lại đặc tính tần số chỉ ở vùng tần số thấp và trung bình. Sai lệch tĩnh và chất lượng động của hàm mô đun tối ưu rất tốt [8]. Với hàm truyền đạt đối tượng là MH₁. Áp dụng luật điều khiển mô đun tối ưu. Ta thiết lập mạch vòng điều khiển như hình 7. Trong đó: WH(s) là hàm truyền đạt của MH₁; WHC₁(s) là hàm truyền đạt của bộ điều khiển cần tìm.

Từ sơ đồ hình 7 ta xác định được hàm truyền đạt của hệ thống kín như sau:

$$W_K(s) = \frac{W_H(s) \cdot W_{HCl}(s)}{K \cdot (1 + W_H(s) \cdot W_{HCl}(s))} \quad (9)$$

Theo phương pháp mô đun tối ưu ta có $W_K(s) = W_{MD}(s)$



Hình 7. Sơ đồ khối mạch vòng điều khiển áp suất có phân hồi -1

$$\text{Hay } \frac{W_H(s) \cdot W_{HCl}(s)}{K \cdot (1 + W_H(s) \cdot W_{HCl}(s))} = \frac{1}{2\tau^2 s^2 + 2\tau s + 1} \quad (10)$$

Biến đổi ta được:

$$W_{HCl}(s) = \frac{K}{W_H(s) 2\tau s (1 + \tau s)} \quad (11)$$

Thay biểu thức (7) vào (11) ta được:

$$W_{HCl}(s) = \frac{K \cdot (s + 27,3833)(s + 0,0067)}{2\tau s (1 + \tau s) \cdot (0,0002916s + 1,47 \cdot 10^{-5})} \quad (12)$$

Với hằng số $\tau_i = 0,0002916 < 10^{-3}$ coi không đáng kể bỏ qua nên:

$$\begin{aligned} W_{HCl}(s) &= \frac{K \cdot (s + 27,3833)(s + 0,0067)}{2\tau s (1 + \tau s)} \\ &= \frac{K \cdot (s + 27,3833)}{2\tau s} \cdot \frac{(s + 0,0067)}{(1 + \tau s)} \end{aligned} \quad (13)$$

Hàm truyền đạt $W_{HCl}(s)$ có 2 khâu vi phân bậc một, 1 khâu tích phân, 1 khâu quán tính, 1 khâu khuếch đại, để hệ thống có chất lượng động tốt, ta chọn các thông số K và τ như sau: $K = 0,01$ $\tau = 1/0,0067$ Thay vào (13) ta được:

$$W_{HCl}(s) = \frac{0,01 \cdot (s + 27,3833)}{298,5074 \cdot s} = 3,35 + \frac{9,17}{s} \quad (14)$$

Như vậy, bộ điều chỉnh áp suất là bộ tỷ lệ tích phân (PI) trong đó:

Hệ số tỷ lệ của bộ PI là $K_p = 3,35$;

Hệ số tích phân của bộ PI là $K_I = 9,17$

4. Kết quả mô phỏng đặc tính áp suất bình ngưng

Mô hình mô phỏng được xây dựng như hình Hình 8. Mô phỏng được thực hiện với các điều kiện sau:

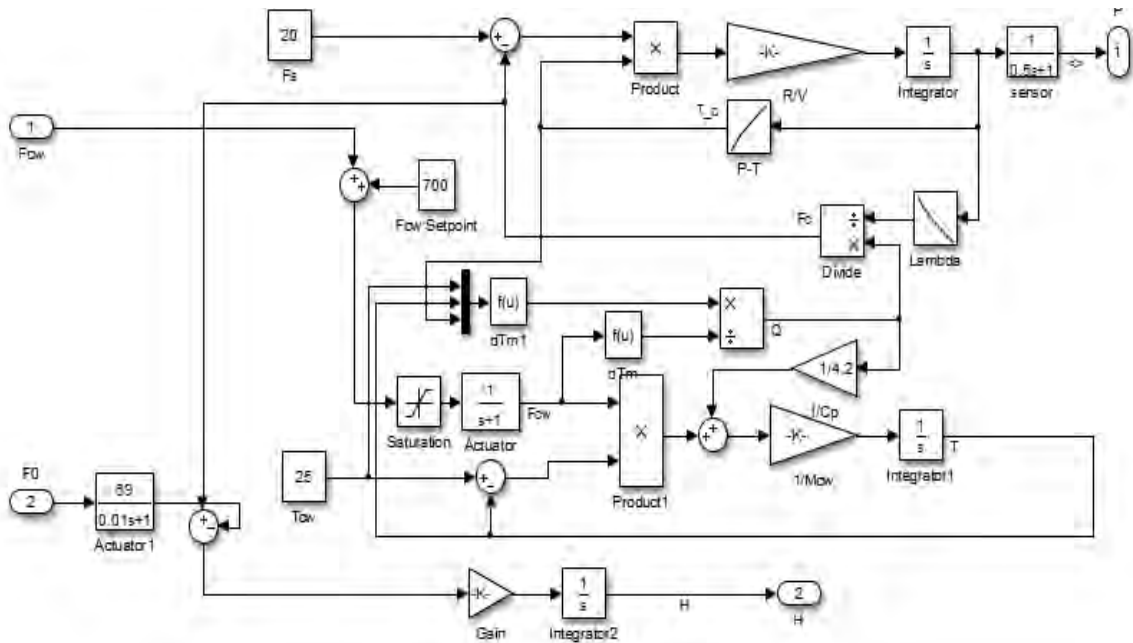
Bộ điều khiển có $K_p = 3,35$; $K_I = 9,17$;

Khối F_s (lưu lượng hơi vào bình ngưng) đặt trước 20 (kg/s);

Khối F_{w} (lưu lượng nước làm mát) đặt trước 700 (kg/s);

Khối T_{cw} (Nhiệt độ nước làm mát đầu vào) đặt trước 25°C;

Áp suất đặt của bình ngưng $p = 10$ kPa.



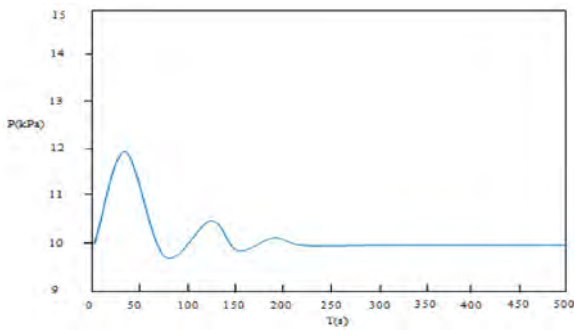
Hình 8. Sơ đồ mô phỏng mạch vòng điều khiển áp suất bình ngưng trên Simulink

Chất lượng của hệ thống điều khiển được đánh giá qua chất lượng ở quá trình quá độ của hệ thống và được đánh giá qua các chỉ tiêu như: Lượng quá điều chỉnh $d\%$, thời gian quá độ: t (s), sai lệch tĩnh $St(\%)$... [8, 9, 10]. Theo sơ đồ mô phỏng hệ thống điều khiển hình 9. Quá trình quá độ của hệ thống có độ quá điều chỉnh: $d\% = 19\%$, thời gian quá độ $t = 200s$.

Với sai lệch tĩnh:

$$S_t \% = \frac{10 - 9,8}{10} \cdot 100\% = 2\%$$

Các giá trị độ quá điều chỉnh, thời gian quá độ, sai lệch tĩnh của hệ thống đảm bảo trong ngưỡng cho phép của một hệ thống điều khiển. Do vậy, các thông số của bộ điều khiển PI theo thiết kế ở trên là: $K_p = 3,35$; $K_I = 9,17$ là các giá trị được chọn để làm thông số cho bộ điều khiển PI.



Hình 9. Đặc tính quá độ áp suất bình ngưng trên màn mềm Matlab Simulink

5. Kết luận

Nghiên cứu đã tiến hành thiết kế bộ điều khiển áp suất cho bình ngưng bằng việc sử dụng công cụ Matlab ident tool box để tìm hàm truyền và phương pháp modul tối ưu để xác định tham số của bộ điều khiển. Bộ điều khiển của nhóm tác giả thiết kế cho kết quả sai lệch của áp suất đặt và áp suất thực là 2%. Như vậy, bộ điều khiển đã đáp ứng tốt yêu cầu công nghệ đặt ra. Việc thiết kế bộ điều khiển mức nước thay vì giá trị đặt sẽ là hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm. Qua

đó bộ điều khiển sẽ có tính khả thi cao hơn để triển khai trong thực tế.

Tài liệu tham khảo

- [1] Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội (1998). Giáo trình chuyên đề bình ngưng: Tập 1-2.
- [2] Hoàng Minh Sơn (2009). Cơ sở hệ thống điều khiển quá trình. Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [3] Nguyễn Thành Lâm & Ajpaneb B. (1983). Quy trình vận hành bình ngưng 100 – KLIC. Nhà máy Nhiệt điện Phả Lại 1, Quảng Ninh.
- [4] Phạm Lương Tuệ (1991). Chế độ làm việc thay đổi và chế độ quá độ của tua bin hơi nước. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [5] Phạm Duy Hồng (1991). Tập tài liệu các đơn vị đo lường trên thế giới. Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.
- [6] Trần Văn Năm. Các số liệu kỹ thuật của tuabin K-100-90. Tài liệu dịch từ tiếng Nga. Nhà máy Nhiệt điện Phả Lại 1, Quảng Ninh.
- [7] Thomsen E. G. (1946). Heat transfer in an evaporative condenser. Refrigeration Engineering, 51, 425- 431,.
- [8] Phan Xuân Minh, Hà Thị Kim Duyên & Phạm Xuân Khánh (2011). Giáo trình lý thuyết điều khiển tự động. Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.
- [9] Phạm Công Ngô (2001). Lý thuyết điều khiển tự động. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [10] Nguyễn Doãn Phước (2002). Lý thuyết điều khiển tuyến tính. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

DESIGN OF CONDENSER PRESSURE CONTROLLER FOR THERMAL POWER PLANT

Hà Duy Thái¹, Nguyễn Văn Quyết¹

¹Faculty of Engineering and Technology, Hung Vuong University, Phu Tho

Abstract

The furnace is a device that is difficult to control because the transfer function is a function of two components including superlative inertia and hysteresis. Therefore, some traditional control methods often still have some difficulties for the control system designers. The article used the feedback method combined with the relay stage to overcome some of these disadvantages. With the proposed method, it is possible to automatically detect the PID coefficient of the controller, making it simpler to calculate the design of the furnace control. The simulation results of the algorithm on matlab software show that the algorithm can be applied in practice

Keywords: Autotuning of PID controller, heat system, PID controller.