

$u(t)$ - nhiệt độ lò thay đổi theo thời gian.

x hướng thẳng đứng theo chiều dày thời.

l chiều dài của thời.

Q là nhiệt độ của kim loại và là hàm của x và t .

C_1 hệ số bức xạ của tường lò.

α_{k1} hệ số truyền nhiệt đối lưu $[w(m^2)^{-1}c^{-1}]$.

Q_1 nhiệt độ bề mặt thời.

Hệ số truyền nhiệt tổng cộng vùng sấy.

$\alpha_x = \alpha_{bx} + \alpha_{ax} = 1.1.135,8 = 149,38 w/m^2 K$

Hệ số truyền nhiệt tổng cộng vùng nung.

$\alpha_x = \alpha_{bx} + \alpha_{ax} = 1.1.175,9 = 193,5 w/m^2 K$

Q_1 - Nhiệt độ bề mặt thời ($^{\circ}C$)

C_n - Hệ số bức xạ quy dẫn trong không gian

nung. Có thể xác định theo công thức Timofeev:

$$C_n = \frac{\varepsilon_m \left[\frac{F_m}{F_c} (1 - \varepsilon_p) \right]}{\frac{F_{m1-\varepsilon_p}}{F_c \varepsilon_p} [\varepsilon_m + \varepsilon_p (1 - \varepsilon_m)] + 1} \quad (2.4)$$

$$= 5,7 \frac{0,8(1 - 0,178 + 2,25)}{1 - 0,178 [0,8 + 0,178(1 - 0,8)]} = 2,29 [w(m^2)^{-1} K^{-1}]$$

Trong đó: F_m, F_s - Diện tích mặt bức xạ là tường lò $[m^2]$.

E_m, E_p - Độ đen của vật liệu và khí.

Giả thiết thể tích buồng lò nhỏ, coi nhiệt độ trong lò là như nhau và bỏ qua sự truyền nhiệt qua các cạnh của tấm kim loại phẳng có bề rộng đủ lớn so với các kích thước cạnh. Tiến hành nung vật một phía, chia phối nung làm 3 lớp. Ta có các ký hiệu thông số của phối như sau:

Hệ số dẫn nhiệt của tấm $\lambda: w/m.K$.

Hệ số truyền nhiệt của tấm $\alpha: w/m^2$

Chiều dài a: m.

Chiều rộng b: m.

Chiều cao h: m.

Khối lượng riêng $\rho: kg/m^3$.

Nhiệt dung riêng c: j.kg/K.

Diện tích bề mặt tiếp xúc $F = a.b: m^2$.

Xấp xỉ đối tượng (lò-vật nung) trong không gian n chiều theo bề dày tấm sẽ đưa về vi

phân thường, bề dày tấm được chia thành n lớp có hệ phương trình vi phân thường

$$\begin{cases} \dot{Q}_1 = \frac{\alpha}{s^2} \frac{\beta}{2+\beta} u + \frac{\alpha}{s^2} \frac{\beta}{2+\beta} Q_1 \\ \frac{dQ_1}{dt} = \frac{\alpha}{s^2} 2Q_1 - \frac{\alpha}{s^2} 2Q_1 + \frac{\alpha}{s^2} Q_1 \\ \frac{dQ_2}{dt} = \frac{\alpha}{s^2} Q_{1-1} - \frac{\alpha}{s^2} 2Q_2 + \frac{\alpha}{s^2} Q_{2+1} \\ \frac{dQ_3}{dt} = \frac{\alpha}{s^2} Q_{2-1} - \frac{\alpha}{s^2} Q_3 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{dQ_1}{dt} = \frac{\alpha}{s^2} \frac{2\beta}{2+\beta} u - \frac{\alpha}{s^2} \frac{2+3\beta}{2+\beta} Q_1 + \frac{\alpha}{s^2} Q_2 \\ \frac{dQ_2}{dt} = \frac{\alpha}{s^2} Q_{1-1} - \frac{\alpha}{s^2} 2Q_2 + \frac{\alpha}{s^2} Q_{2+1} \\ \frac{dQ_3}{dt} = \frac{\alpha}{s^2} Q_{2-1} - \frac{\alpha}{s^2} Q_3 \end{cases} \quad (2.5)$$

Trong đó: $\beta = \frac{\alpha s}{\lambda}$; $a = \frac{\lambda}{c\rho}$; $s = \frac{h}{3}$

Từ đó ta suy ra khi nung vật với $n=3$ ta có hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} \dot{Q}_1 = \frac{\alpha}{s^2} \frac{\beta}{2+\beta} u + \frac{\alpha}{s^2} \frac{2}{2+\beta} Q_1 \\ \dot{Q}_2 = \frac{\alpha}{s^2} Q_1 - 2 \frac{\alpha}{s^2} Q_2 + \frac{\alpha}{s^2} Q_3 \\ \dot{Q}_3 = \frac{\alpha}{s^2} Q_2 - \frac{\alpha}{s^2} Q_3 \end{cases} \quad (2.6)$$

Từ hệ vi phân thường ta chuyển sang không gian trạng thái:

$$\begin{cases} \dot{x} = A x + B x \\ \dot{y} = C x \end{cases} \quad (2.7)$$

Đặt $X_1 = T_1, X_2 = T_2, X_3 = T_3$

Ta có ma trận A, B, C như sau:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{2+3\beta}{2+\beta} \frac{\alpha}{s^2} & \frac{\alpha}{s^2} & 0 \\ \frac{\alpha}{s^2} & -2 \frac{\alpha}{s^2} & \frac{\alpha}{s^2} \\ 0 & \frac{\alpha}{s^2} & -\frac{\alpha}{s^2} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\alpha}{s^2} \frac{2+3\beta}{2+\beta} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Xây dựng bộ quan sát trạng thái Kalman Filter

Bộ lọc Kalman

Lọc Kalman là một thuật toán ước lượng trạng thái tối ưu, nó có thể tính toán nhiều việc liên kết giữa thiết bị đo và mô hình. Bộ

lọc Kalman được giới thiệu năm 1958 bởi Rudolf E. Kalman ứng dụng tốt bởi sự phát triển nhanh của các thiết bị tính toán. Một đặc điểm của bộ lọc Kalman là không phải hiện tại mà là dự đoán trước, nên nó có khả năng điều chỉnh thông số của chính nó một cách tự động theo việc thống kê các giá trị đo và theo sự chính xác của các thông số trạng thái hiện tại.

Mục đích của bộ lọc Kalman là ước lượng trạng thái chính xác bằng cách tối thiểu hoá

$$\text{hàm mục tiêu: } \lim_{T \rightarrow \infty} \{ (x - \hat{x})(x - \hat{x})^T \} = \sum_{i=1}^n M \quad (2.11)$$

Trong đó $M \{ (x - \hat{x})(x - \hat{x})^T \}$ là hàm tương quan của sai lệch ước lượng.

Như vậy bộ lọc Kalman hoạt động như một bộ điều chỉnh phản hồi trạng thái tối ưu, ở đó hệ số phản hồi được điều chỉnh sau mỗi vòng lặp để đảm bảo sai lệch trạng thái là nhỏ nhất theo một tiêu chuẩn tối ưu định trước. Bộ ước lượng trạng thái Kalman có tính đến nhiều trạng vì vậy rất chính xác và bền vững.

Điều khiển phản hồi trạng thái cho chất lượng điều chỉnh tốt, nhưng các trạng thái không phải lúc nào cũng đo được hoặc phải tốn rất nhiều sensor. Do đó hiện nay có phương pháp ước lượng trạng thái của hệ thống bằng cách dùng các bộ quan sát trạng thái.

Mô hình của bộ quan sát Kalman:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu + L(y - \hat{y}) \\ \hat{y} = C\hat{x} \end{cases} \quad (2.12)$$

Tìm ma trận L để sao cho phiếm hàm Q sau đạt cực tiểu. Thuật toán xác định ma trận hệ số bộ lọc L hoàn toàn giống như việc thiết kế bộ điều khiển phản hồi trạng thái (bài toán LQR), trong đó vai trò của đối tượng này được thay bằng:

$$\frac{dx}{dt} = A^T x + C^T u \quad (2.13)$$

tức là hệ đối ngẫu với nó nhưng không có nhiễu, và hàm mục tiêu thì được thay bởi:

$$Q_k = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (x^T N_x x + u^T N_y u) dt \quad (2.14)$$

Từ đây có thuật toán thiết kế bộ quan sát Kalman gồm các bước:

-Xác định ma trận N_x và N_y là ma trận hàm tương quan của $n_x(t)$ và $n_y(t)$.

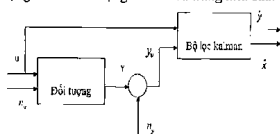
-Thiết kế bộ điều khiển phản hồi âm L cho bộ quan sát

-Thay L tìm được vào để có bộ quan sát.

Trong đó bộ quan sát được xây dựng như một mô hình của hệ thống. Tín hiệu ra của mô hình được so sánh với tín hiệu đo về từ thiết bị đo, qua hệ số quan sát phản hồi lại làm cho tín hiệu quan sát chính xác hơn với tín hiệu thực.

Thuật toán bộ quan sát trạng thái dùng bộ lọc Kalman

Mô hình bộ lọc tín hiệu Kalman để ước lượng trạng thái có tác động của nhiễu trắng như sau:



Hình 2. Mô hình tổng quát bộ quan sát trạng thái kalman

Thông số bộ lọc và tính chính:

Trong thực tế thực hiện bộ lọc, hệ số nhiễu đo lường N_y thường được biết trước. Việc đo sai lệch đo lường N_y là có thể làm được bởi vì tiện thể có đo tín hiệu ra trong quá trình bộ lọc hoạt động. Nếu có thể dùng sensor đo tín hiệu đo này để đo thử nghiệm vài lần và tính ra được N_y .

Việc xác định hệ số nhiễu quá trình N_x là rất khó khăn, do đó thông thường trong hệ thống đơn giản không yêu cầu cao có thể chọn giá trị này.

Như vậy, nếu tính toán được phương sai của nhiễu N_x, N_y trong quá trình hoạt động thì bộ lọc Kalman có khả năng tự chỉnh định hệ số bộ lọc. Khi đó bộ lọc gọi là bộ lọc Kalman thích nghi.

Phương trình trạng thái cho bộ quan sát:

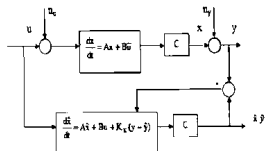
$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + K_K (y - \hat{y}) \\ \hat{y} = C\hat{x} \end{cases} \quad (2.15)$$

$$K_K = PC^T N_y^{-1}$$

Ở đây: P là ma trận nghiệm của phương trình Riccati

$$PC^T N_y^{-1} CP - PA^T - AP = N_u \quad (2.16)$$

N_u, N_y là phương sai tín hiệu nhiễu quá trình và nhiễu đo lường.

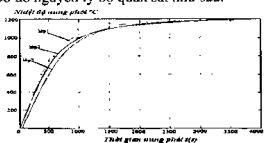


Hình 3. Hệ thống điều khiển có sự tham gia của bộ quan sát trạng thái kalman

Mô phỏng quan sát nhiệt độ vật nung

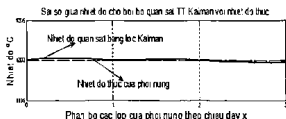
Đặc tính đường nhiệt:

Sơ đồ nguyên lý bộ quan sát như sau:



Hình 4. Nhiệt độ các lớp phôi

Đường thể hiện sai số giữa nhiệt độ của vật và qua bộ quan sát:



Hình 5. Độ chênh lệch nhiệt độ giữa khâu quan sát và nhiệt độ thực các lớp

KẾT LUẬN

Bài báo này đưa ra ứng dụng bộ ước lượng trạng thái KF vào mô hình lò thực tế với các nhiễu tác động. Ta thấy sự chênh lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ thực của vật và qua bộ quan sát có sai số nhiệt độ không vượt qua giới hạn cho phép là $0,5^{\circ}\text{C}$, vậy bộ quan sát thiết kế đạt yêu cầu bài toán đặt ra. Nên có thể sử dụng bộ quan sát này trong thực tế dự báo cho nhiệt độ của các lớp trong phôi thép và nhiệt độ lò.

Bài báo là sản phẩm của đề tài có mã số T2016-07-25 được tài trợ bởi kinh phí của trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – Đại học Thái Nguyên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phan Xuân Minh, Nguyễn Đoàn Phước, (2006) *Lý thuyết điều khiển mờ*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật.
2. Nguyễn Như Hiến, Lại Khắc Lãi, *Hệ mờ và neuron trong kỹ thuật điều khiển*, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và công nghệ – 2007.
3. Nguyễn Phùng Quang, *Matlab & Simulink dành cho kỹ sư điều khiển tự động*, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật – 2004
4. Đặng Văn Đào, Lê Văn Doanh, *Các phương pháp hiện đại trong nghiên cứu, tính toán thiết kế kỹ thuật điện*, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật – 2001
5. Nguyễn Văn Hoà, *Cơ sở lý thuyết điều khiển tự động*, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật – 2005.
6. Phạm Công Ngô, *Lý thuyết điều khiển tự động*, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật – 1999.
7. Identification and Model Predictive control of a Slab Reheating Furnace; proceedings of the 2002 IEEE international conference on control applications. September 18–20, 2002, Glasgow, Scotland, UK.

SUMMARY

APPLICATION OF THE KF OBSERVERS AT THE FURNACE TEMPERATURE CONTROL

Pham Thi Hong Anh, Le Thi Thu Phuong^{*}, Bui Thu Thuy
College of Information & Communication Technology - TNU

Steel roasting process influence the quality of the growing demands of the rolling process, so modern control theory is applied to design a state observer Kalman (KF) to estimate the temperature of billet and oven temperature, to serve process improve quality control firing. With some state steel mill was built 80 years in our country where automation technology and modern control theory boom achieve brilliant achievements. Challenging task in the furnace control is needed to improve the quality of the temperature control system for efficient use of energy resources in the factories. Building and improve the control system for thermal object aims to optimize the firing process control metal

Key words: *energy audits, lighting, buildings, smc Vietnam, Kalman*

^{*} Tel: 0987 229580, Email: ltphuong@ictu.edu.vn