

PHƯƠNG PHÁP CHỈNH ĐỊNH BỘ ĐIỀU KHIỂN PID THEO MIỀN ĐẢM BẢO “CHỈ SỐ DAO ĐỘNG MỀM” CHO TRƯỚC

PID REGULATOR ADJUSTING METHOD THAT GUARANTEES THE GIVEN DOMAIN OF SOFT OSCILLATION INDEX

Võ Huy Hoàn¹, Nguyễn Văn Mạnh²

¹Trường Đại học Điện lực, ²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Tóm tắt:

Hiện nay có nhiều phương pháp để chỉnh định bộ điều chỉnh trong các hệ thống điều khiển trong công nghiệp. Mỗi phương pháp có một thế mạnh riêng, nhưng các phương pháp ấy ít đề cập tới dự trữ ổn định nên những hệ thống điều khiển chỉnh định theo các phương pháp đó thường mất ổn định sau một thời gian hoạt động đưa vào hoạt động. Bài báo này trình bày một phương pháp chỉnh định bộ điều chỉnh có tính đến dự trữ ổn định trên cơ sở “chỉ số dao động mềm”. Khi áp dụng phương pháp này để chỉnh định bộ điều chỉnh, trường hợp hệ thống rơi vào vùng cận biên giới ổn định thì hệ thống vẫn không mất ổn định. Phương pháp có thể ứng dụng tốt để chỉnh định các hệ thống điều khiển trong công nghiệp.

Từ khóa:

Đặc tính tần số mở rộng, chỉ số dao động mềm, trễ vận tải, đối tượng, dự trữ ổn định.

Abstract:

There are now many methods for tuning controllers in industrial control systems. Each method has its own strengths, but these methods pay little attention to stable reserves, so the control systems tuned by those methods often become unstable after a certain period of working time. This paper presents a method of adjusting the regulators, taking the stable reserves into algorithm on the basis of “soft oscillation index”. When this method is used to adjust the regulator, in case, the system falls into a stable boundary, the system still keeps being stable. The method can be applied to fine-tune control systems in industry.

Keyword:

Extended frequency characteristics, soft oscillation index, delayed transport, object, stable reserve.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bài toán chỉnh định hệ thống điều khiển

Ngày nhận bài: 27/11/2017, ngày chấp nhận
đăng: 8/12/2017.

thường xuyên được đặt ra và giải quyết ở giai đoạn thiết kế cũng như trong quá trình lắp đặt và vận hành hệ thống. Nó đã thu hút sự quan tâm chú ý của nhiều tác giả kể từ đầu thế kỷ XX đến nay. Khi

chỉnh định hệ thống thì cấu trúc của luật điều chỉnh là cho trước. Vấn đề là cần xác định các tham số của nó sao cho hệ thống có độ dự trữ ổn định cho trước và chỉ tiêu chất lượng của hệ thống đạt giá trị tối ưu.

Trong số các phương pháp chỉnh định kinh điển, phổ biến trong công nghiệp phải kể đến phương pháp của Ziegler-Nichols [1] và những biến thể của nó, phương pháp mô hình nội (IMC) của Morari và cộng sự, phương pháp biên dự trữ ổn định theo chỉ số dao động nghiệm của Đudnikov [2,3,4]...

Tuy nhiên, các phương pháp nói trên có những hạn chế cơ bản do những nhược điểm riêng của chúng. Thật vậy, kết quả chỉnh định theo phương pháp của Ziegler-Nichols thường cho quá trình quá độ của hệ thống có dao động khá mạnh. Phương pháp mô hình nội của Morari và cộng sự [5,6] đảm bảo dự trữ ổn định cho trước của hệ thống bằng cách lựa chọn tham số (λ) dựa theo hàm nhảy, nhưng độ nhảy của hệ thống là đại lượng không có ý nghĩa vật lý tường minh và khó chọn một cách hợp lý đối với mỗi trường hợp cụ thể. Phương pháp của Đudnikov dựa trên chỉ số dao động nghiệm không áp dụng được cho đối tượng có trễ vận tải [7].

Hiện nay phương pháp chỉnh định dựa trên khái niệm “chỉ số dao động mềm” [7] có tính tổng quát cao, chặt chẽ về lý luận và rất có hiệu quả về mặt áp dụng so với các phương pháp điển hình nêu trên. Trong bài báo này trình bày phương pháp xây dựng miền dự trữ ổn định trong không gian tham số trên cơ sở “chỉ số dao động mềm”. Từ đó xác định các tham số chỉnh định tối ưu của bộ điều khiển PID

trong các hệ thống điều chỉnh công nghiệp có thể có trễ vận tải.

2. CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP CHỈNH ĐỊNH THEO CHỈ SỐ DAO ĐỘNG MỀM

Giả sử đối tượng cho dưới dạng hàm truyền tổng quát:

$$O(s) = e^{-\tau s} O_{PT}(s), O_{PT}(s) = A(s)/B(s) \quad (1)$$

trong đó, s – biến số phức; $A(s)$, $B(s)$ – các đa thức của s .

Hàm truyền của bộ điều chỉnh PID có dạng chung:

$$R(s) = c_0/s + c_1 + c_2s = K(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s) \quad (2)$$

trong đó, $K = c_1$: hệ số tỷ lệ; $T_I = c_1/c_0$: thời gian tích phân; $T_D = c_2/c_1$: thời gian vi phân; bộ tham số (c_0, c_1, c_2) hay (K, T_I, T_D) gọi là các tham số chỉnh định.

Bài toán chỉnh định tối ưu ở đây là xác định các tham số của bộ điều chỉnh sao cho hệ thống (hình 1a) có độ dự trữ ổn định cho trước (theo chỉ số dao động hay hệ số tắt dần) và sai số tích phân của quá trình điều chỉnh đạt giá trị bé nhất.

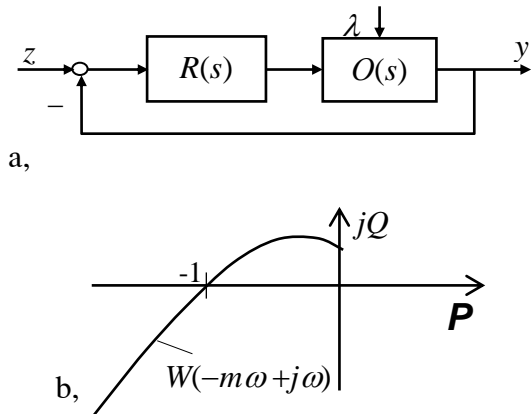
Theo sơ đồ hình 1a, hàm truyền của hệ hở là $W(s) = O(s)R(s)$. Thay $s = -m\omega + j\omega$, ta được đặc tính tần số mở rộng: $W(-m\omega + j\omega)$, trong đó, j là đơn vị số ảo; ω là biến tần số; $m = -[\ln(1 - \psi)]/2\pi$ là chỉ số dao động; ψ : hệ số tắt dần nghiệm của hệ thống.

Hầu hết các đối tượng điều chỉnh trong công nghiệp là hệ vật lý ổn định với hệ số tắt dần đủ lớn (thường lớn hơn 0,75 hoặc lớn hơn 0,9). Mạch mắc nối tiếp đối

tượng với bộ điều chỉnh (2) tạo thành một hệ hở bảo tồn hệ số tắt dần của đối tượng. Theo tiêu chuẩn Nyquist, nếu đặc tính tần số mở rộng của hệ hở không bao điểm tới hạn $(-1, j0)$, thì sau khi khép kín bằng phản hồi âm, hệ kín nhận được sẽ duy trì hệ số tắt dần không nhỏ hơn của hệ hở. Nếu đặc tính đó đi qua mà không bao điểm $(-1, j0)$, thì hệ kín nằm trên biên dự trữ ổn định với hệ số tắt dần đã cho.

Dựa vào kết luận trên Đudnikov đưa ra phương pháp xác định tham số của bộ điều chỉnh sao cho hệ kín có chỉ số dao động cho trước, dựa trên cơ sở thoả mãn điều kiện (hình 1b):

$$W(-m\omega + j\omega) = -1. \quad (3)$$



Hình 1. Hệ thống điều chỉnh và đặc tính tần số mở rộng của hệ hở tương ứng

Nếu đối tượng không có trễ vận tải ($\tau = 0$), thì điều kiện (3) cho phép xác định các tham số chỉnh định sao cho hệ thống nằm trên biên giới dự trữ ổn định với chỉ số dao động không nhỏ hơn giá trị cho trước. Ngoài ra, điểm chỉnh định coi như tối ưu, khi hệ số đầu tiên của bộ điều chỉnh (c_0 - đối với các luật phi tĩnh: I, PI, PID; c_1 - đối với các luật tĩnh: P, PD [2,3,4,8]) đạt giá trị cực đại.

Tuy nhiên, như đã chỉ ra trong [7,9-11], nếu đối tượng có trễ vận tải thì hệ kín không thể có chỉ số dao động $m > 0$ (tương ứng $\psi > 0$). Nói cách khác, với $m = \text{const} > 0$ từ điều kiện (3) không thể nhận được lời giải đúng. Thật vậy, với đối tượng (1) ta có:

$$W(-m\omega + j\omega) = e^{-\tau(-m\omega + j\omega)} O_{PT}(-m\omega + j\omega) R(-m\omega + j\omega)$$

$$W(-m\omega + j\omega) = e^{\tau m\omega} \times e^{-j\tau\omega} O_{PT}(-m\omega + j\omega) R(-m\omega + j\omega) \quad (4)$$

Khi $\omega = 0 \rightarrow \infty$ thì $\tau\omega \rightarrow \infty$ và $e^{\tau m\omega} \rightarrow \infty$. Do đó, biên độ và pha của (4) sẽ tăng dần tới vô hạn, không phụ thuộc vào các biểu thức còn lại. Như vậy, đặc tính $W(-m\omega + j\omega)$ sẽ bao điểm $(-1, j0)$ một số lần tùy ý và theo tiêu chuẩn Nyquist không thể đảm bảo hệ kín có chỉ số dao động $m = \text{const} > 0$. Khi đó, điều kiện (3) trở nên vô nghĩa, đồng thời, các phương pháp tính toán chỉnh định tương ứng trở nên bất khả dụng.

3. PHƯƠNG PHÁP CHỈNH ĐỊNH THÔNG SỐ ĐIỀU CHỈNH THEO CHỈ SỐ DAO ĐỘNG MỀM

Điều bẻ tắc của khái niệm chỉ số dao động theo nghĩa kinh điển thể hiện ở chỗ là sự đòi hỏi chỉ số dao động cố định cho toàn bộ dải tần từ 0 đến ∞ là vô căn cứ. Về mặt thực tiễn, yêu cầu độ tắt dần quá trình quá độ của hệ thống cố định đối với mọi tần số là quá ngặt và không phù hợp. Kết quả phân tích bản chất động học của các hệ điều khiển trong thực tế cũng đi đến kết luận rằng đối với các tần số vô cùng lớn,

độ tắt dần và biên độ dao động nghiệm của hệ thống đều giảm dần tới không [11,12]. Vậy, có thể nói lỏng yêu cầu tắt dần nghiệm theo chiều tăng tần số.

Dựa vào luận cứ này, để khắc phục nhược điểm của khái niệm chỉ số dao động theo nghĩa kinh điển ($m=\text{const}$), trong [7] thực hiện mềm hoá yêu cầu bằng cách giảm dần chỉ số dao động theo tần số như sau:

$$m = m_0 f(\alpha, \omega), \quad f(\alpha, \omega) = (1 - e^{-\alpha\omega}) / \alpha\omega, \\ 0 \leq \alpha \leq \tau, \quad (5)$$

trong đó, $m_0 = \text{const}$ là chỉ số dao động theo nghĩa kinh điển [2,3]; $f(\alpha, \omega)$: hàm mềm hoá; α : hệ số mềm hoá, có thể chọn $\alpha = \tau$, τ : thời gian trễ vận tải của đối tượng.

Đại lượng m theo công thức (5) gọi là “chỉ số dao động mềm” (CDM), là hàm của tần số và được xác định bởi α và m_0 . Hàm phức $W(-m\omega + j\omega)$ tương ứng gọi là “đặc tính mềm” (ĐTM).

Trong [11,12] đã chứng minh, mặc dù đối tượng có trễ vận tải, nhưng ĐTM của hệ hở luôn luôn hội tụ về gốc tọa độ. Điều đó cho phép áp dụng tiêu chuẩn Nyquist một cách bình thường. Thật vậy, giả sử hệ hở có độ dự trữ ổn định theo CDM cho trước, hệ kín sẽ bảo tồn độ dự trữ ổn định đó, nếu ĐTM của hệ hở không bao điểm $(-1, j0)$. Định lý này áp dụng được cho hầu hết các hệ thống điều khiển tồn tại trong thực tế.

Như vậy, nếu m là chỉ số dao động mềm, thì (3) là điều kiện đảm bảo cho hệ kín nằm trên biên dự trữ ổn định với CDM cho trước. Từ (1), (2) và (3) ta suy ra:

$$O(-m\omega + j\omega)R(-m\omega + j\omega) = -1 \Rightarrow$$

$$R(-m\omega + j\omega) = [O(-m\omega + j\omega)]^{-1}$$

$$P_R + jQ_R = P_1 + jQ_1 \Rightarrow$$

$$P_R = P_1, \quad Q_R = Q_1, \quad (6)$$

trong đó:

$$R(-m\omega + j\omega) = P_R + jQ_R;$$

$$[O(-m\omega + j\omega)]^{-1} = P_1 + jQ_1.$$

Từ (2) ta có:

$$R(-m\omega + j\omega)$$

$$= c_0 / (-m\omega + j\omega) + c_1 + c_2(-m\omega + j\omega)$$

Do đó

$$P_R = -mc_0 / [(m^2 + 1)\omega] + c_1 - c_2m\omega,$$

$$Q_R = -c_0 / [(m^2 + 1)\omega] + c_2\omega. \quad (7)$$

Thay (7) vào (6), sau đó giải theo cặp $c_1 - c_2$, ta được:

$$\begin{cases} c_1 = -P_1 - mQ_1 + 2mc_0 / [\omega(1 + m^2)], \\ c_2 = -Q_1 / \omega + c_0 / [\omega^2(1 + m^2)]. \end{cases} \quad (8)$$

Tương tự, đối với cặp $c_1 - c_0$, ta có:

$$\begin{cases} c_1 = -P_1 + m[Q_1 + 2\omega c_2] \\ c_0 = \omega(1 + m^2)[Q_1 + \omega c_2]. \end{cases} \quad (9)$$

Khi thay đổi $\omega = \omega_{\min} \rightarrow \omega_{\max}$, trên cơ sở quan hệ (8) hoặc (9) sẽ hình thành trong không gian tham số $c_1 - c_2 - c_0$ một biên dự trữ ổn định với CDM cho trước dưới dạng một mặt cong ba chiều có hình dạng một quả núi nhọn nghiêng (hình 2a).

Với c_0 đã cho theo (8), hoặc c_2 theo (9), dễ dàng dựng được đường biên giới thuộc mặt biên CDM cho trước. Khi tăng dần c_0, c_1, c_2 , các đường biên này co hẹp dần và tiến đến đỉnh chóp. Đó là điểm chỉnh định tối ưu cần tìm.

Trên cơ sở các hệ thức (8)-(9) có thể thiết lập quá trình chỉnh định tối ưu theo nguyên tắc lặp. Bắt đầu với $c_2=0$, quá trình lặp gồm 2 bước sau:

Bước 1. Với c_2 đã biết, xác định c_0 và c_1 theo (9) sao cho c_0 lớn nhất. Theo quan hệ (9) dựng đường cong trong mặt cắt c_1-c_0 với $\omega = \omega_{\min} \rightarrow \omega_{\max}$. Đường cong này bao quanh một miền chỉnh định (bé nhất) đảm bảo CDM đã cho. Trên biên của miền này xác định điểm (c_1, c_0) tương ứng với giá trị c_0 lớn nhất.

Bước 2. Với c_0 đã biết, xác định c_1 và c_2 theo (8) sao cho c_1 lớn nhất. Tương tự, theo quan hệ (8) dựng đường cong trong mặt cắt c_1-c_2 với $\omega = \omega_{\min} \rightarrow \omega_{\max}$ và xác định miền chỉnh định đảm bảo CDM đã cho. Sau đó, xác định điểm (c_1, c_2) ứng với c_1 lớn nhất trên biên của miền này. Tại đây, quay trở lại bước 1 với giá trị c_2 mới.

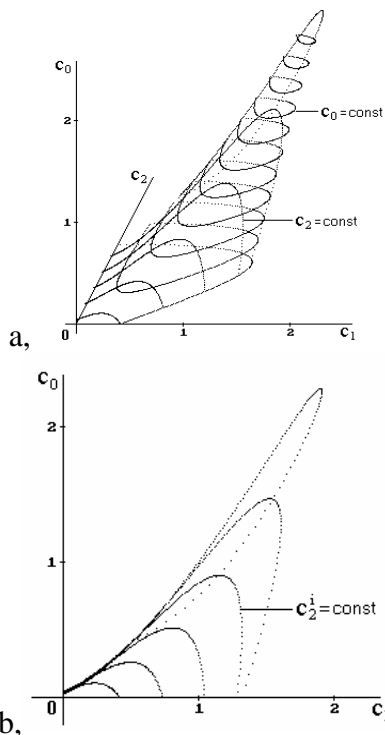
Quá trình lặp thực hiện cho tới khi các miền chỉnh định trong các mặt cắt c_1-c_2 và c_1-c_0 co nhỏ lại cho đến khi đạt độ chính xác cho trước. Bộ giá trị (c_0, c_1, c_2) nhận được cuối cùng là lời giải chỉnh định tối ưu.

Đối với các trường hợp riêng của PID, các tham số chỉnh định xác định được ngay mà không cần bước lặp thứ hai. Ví dụ đối với bộ điều chỉnh P, I và PI chỉ cần dựng đường biên theo hệ thức (9) với $c_2=0$. Các tham số tối ưu của PI xác định tại điểm cực đại trên biên theo cặp c_1-c_0 . Đối với bộ điều chỉnh P, thì c_1 được xác định tại giao điểm giữa đường biên và trục c_1 . Đối với bộ điều chỉnh I, giá trị c_0 tối ưu xác định tại giao điểm giữa đường biên và trục c_0 .

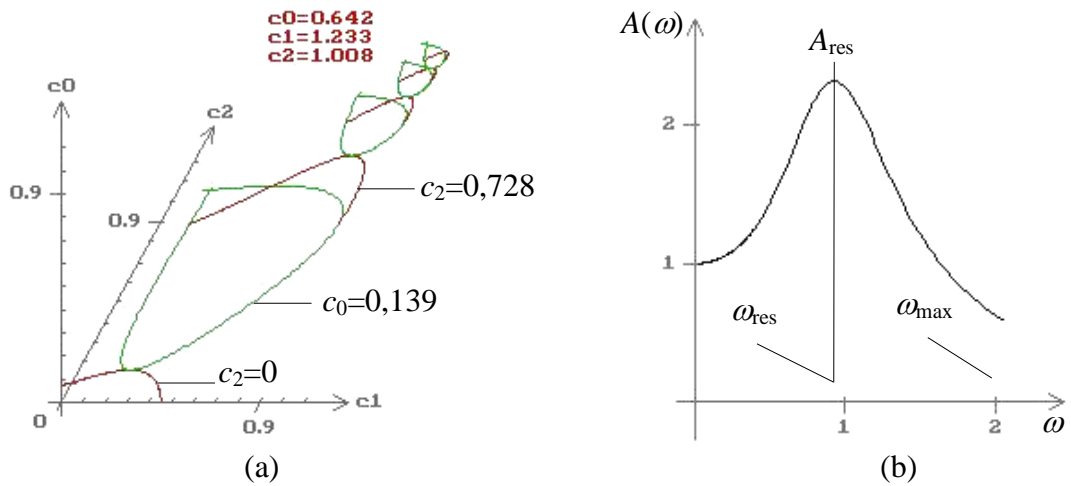
3. VÍ DỤ

Xét hệ thống điều chỉnh nhiệt độ của lò luyện kim dùng luật PID. Đối tượng điều chỉnh có hàm truyền $O(s) = 2,5e^{-s} / (1,7s + 1)^2$. Cho CDM với $m_0=0,5$; $\alpha = 0,1$ $\tau = 0,1$. Biên dự trữ ổn định tương ứng đảm bảo hệ số tắt dần quá trình quá độ của hệ thống theo công thức (5) là: $\psi_1 > 0,9$ trong dải tần $\omega \in [0 \div 6,5]$ và $\psi_2 > 0,75$ đối với $\omega \in [0 \div 20]$.

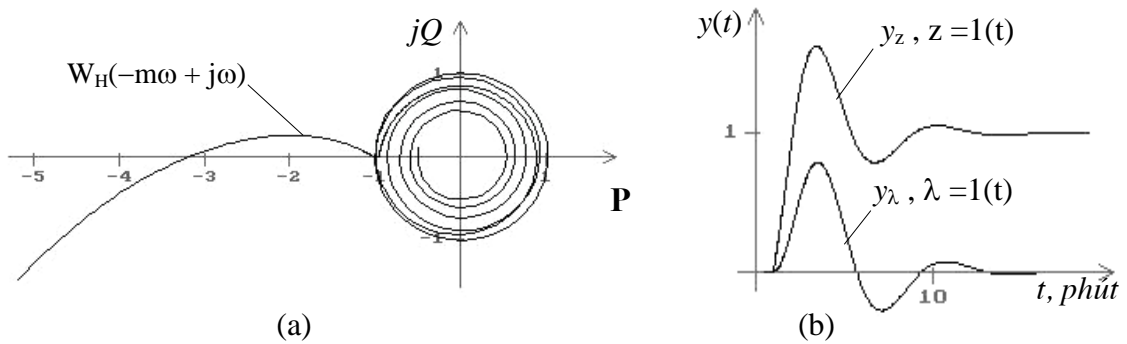
Quá trình lặp theo các quan hệ (8)-(9) thực hiện với khoảng tần số $\omega = [0,1 \div 5]$. Bắt đầu bằng $c_2 = 0$, sau 9 bước lặp nhận được: $c_0 = 0,642$; $c_1 = 1,233$; $c_2 = 1,008$ (tương ứng: $K = c_1 = 1,233$; $T_i = c_1/c_0 = 1,92$; $T_D = c_2/c_1 = 0,818$). Các miền con phẳng giới hạn theo CDM, ứng với các bước lặp, dẫn trên hình 3a.



Hình 2. Biên giới dự trữ ổn định với “chỉ số dao động mềm cho trước”



Hình 3. Đồ thị biểu diễn quá trình lập chỉnh định bộ điều chỉnh PID



Hình 4. “Đặc tính mềm” của hệ hở và các đặc tính quá độ của hệ kín sau khi đã chỉnh định tối ưu

Đặc tính biên độ của hệ kín dẫn trên hình 3b. Đặc tính mềm của hệ hở, dựng theo chỉ số dao động mềm (5) với $m_0 = 0,5$; $\alpha = 0,1$ dẫn trên hình 4a.

ĐTM của hệ hở (hình 4a) đi qua mà không bao điểm $(-1, j0)$ chứng tỏ rằng các tham số chỉnh định nhận được đảm bảo hệ kín có độ dự trữ ổn định cần thiết. Biên độ cộng hưởng ở tần số $\omega_{res} = 0,925$ (hình 3b) và dải tần công tác của hệ thống là $\omega = [0 \div 2]$ nằm trong phạm vi $[0 \div 6,5]$ chứng tỏ chỉ số dao động của hệ thống được đảm bảo trong dải tần công tác.

Các đồ thị quá trình quá độ của hệ thống (với nhiều bậc thang đơn vị tác động vào đối tượng và tác động định trị bậc thang vào bộ điều chỉnh) dẫn trên hình 4b. Các quá trình quá độ có hệ số tắt dần không nhỏ hơn 0,9 hoàn toàn phù hợp với yêu cầu đặt ra.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo đề xuất phương pháp chỉnh định tối ưu các bộ điều chỉnh điển hình (họ PID), trên cơ sở khái niệm “chỉ số dao động mềm”, áp dụng cho đối tượng công nghiệp có thể có trễ vận tải.

Nội dung của phương pháp là dựng biên dự trữ ổn định hệ thống theo “chỉ số dao động mềm” và xác định các thông số tối ưu của bộ điều chỉnh trên biên này theo nguyên tắc lặp.

Phương pháp chỉnh định tối ưu các bộ điều chỉnh họ PID có thể hiện hình học

sáng sủa, dễ lập trình và dễ thực hiện trên máy tính điện tử, cho lời giải nhanh, có thể làm cơ sở cho công tác chỉnh định các hệ thống điều khiển công nghệ trong các giai đoạn thiết kế, lắp đặt và vận hành nhà máy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum setting for automatic controllers //Trans. ASME, J. Dyn. Syst. Meas. and Control, 1942. V. 64. P. 759-768.
- [2] Дудников Е.Г. Основы автоматического регулирования тепловых процессов. Москва - Ленинград: Госэнергоиздат, 1956.
- [3] Стефани Е.П. Основы расчета регуляторов теплоэнергетических процессов. Москва: Энергия, 1972.
- [4] Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. Москва: Госэнергоатомиздат, 1985.
- [5] Morari M. Robust process control. //Chem. Eng. Res. Des, 1987. № 11. V. 65. C. 462-479.
- [6] Morari M., Zafiriou E. Robust proces control. NewYork: Prentice Hall,1989.
- [7] Мань Н.В. Расчет робастных систем автоматического регулирования с помощью расширенных комплексных частотных характеристик // Теплоэнергетика, 1996. № 10. С. 69-75.
- [8] Mạnh N.V. Lý thuyết điều chỉnh tự động quá trình nhiệt. ĐHBK Hà nội, 1993.
- [9] Волгин В.В., Якимов В.Я. К вопросу выбора запаса устойчивости в системах автоматического регулирования тепловых процессов // Теплоэнергетика, 1972. № 4. С. 76 - 78.
- [10] Плютинский В.И. К применению метода расширенных характеристик для расчета автоматических систем регулирования с транспортным запаздыванием //Теплоэнергетика, 1983. № 10. С. 23- 28.
- [11] Manh N.V. Assessing the Stability Margin of Linear Multivariable Control Systems in Accordance with a “Soft” Oscillation Index Thermal Engineering, 1997. V. 44. № 10. Pp. 809-815.
- [12] Мань Н.В. Поисковые методы оптимизации систем управления недетер-минированными объектами. Дисс. док. техн. наук – Москва: МЭИ, 1999.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả **Võ Huy Hoàn** sinh ngày 3/9/1973 tại Nghệ An, tốt nghiệp Khoa Năng lượng - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Bảo vệ thành công luận án tiến sĩ năm 2006. Tác giả có hơn 10 năm giảng dạy và nghiên cứu tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội và nhiều năm giảng dạy và nghiên cứu tại Trường Đại học Điện lực.

Hướng nghiên cứu: Kỹ thuật điện và điều khiển tự động.