TỔNG HỢP HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI CHO CÁC ĐỐI TƯỢNG CÓ TRỄ TRONG TRẠNG THÁI VÀ TRONG ĐIỀU KHIỂN

NGUYỄN HOA LƯ

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các đối tượng điều khiển phức tạp, có trễ thường gặp nhiều trong các lĩnh vực công nghiệp, trong các công trình thủy lợi, trong giao thông vận tải và nhiều lĩnh vực khác [4, 9-11, 14]. Việc nâng cao chất lượng các hệ thống điều khiển các đối tượng phức tạp, đáp ứng yêu cầu của các quá trình công nghệ trong các lĩnh vực công nghiệp thực sự là vấn đề bức thiết, thu hút sự quan tâm của các nhà khoa học trong lĩnh vực điều khiển. Tính ổn định của các hệ thống có trễ đã được nghiên cứu nhiều trong các công trình [9-11, 15-18]. Trong [1, 3, 5-7] đề xuất các phương pháp tổng hợp các hệ điều khiển thích nghi các đối tượng có các tham số động học thay đổi, trễ thay đổi trong điều khiển. Trong [8, 12] áp dụng phương pháp Lyapunov-Krasovskii tìm điều kiện đủ về tính ổn định và các thuật toán điều khiển dùng cho các đối tượng có trễ không đổi trong trạng thái. Trong [2] đề xuất phương pháp tổng hợp hệ điều khiển trượt thích nghi cho các đối tượng có trễ và các tham số động học thay đổi trong dải rộng. Sự kết hợp giữa điều khiển thích nghi và điều khiển cấu trúc biến đổi ở chế độ trượt đã tạo ra những khả năng mới trong điều khiển chất lượng cao cho các đối tượng phức tạp. Trong bài báo này đề cập vấn đề điều khiển các đối tượng có các tham số động học thay đổi, có trễ đồng thời trong trạng thái và trong điều khiển.

II. ĐẶT BÀI TOÁN

Xét đối tượng điều khiển mà động học của nó được mô tả bằng phương trình

$$\dot{X}(t) = A_1(t)X(t) + A_2(t)X(t-\tau) + B(t)U(t-h), \tag{1}$$

trong đó $X(t) \in R^n$ - véctơ trạng thái của đối tượng điều khiển; $U(t) \in R^m$ - véc tơ điều khiển, là hàm liên tục, khả vi, bị chặn, $U(t) = 0$ khi $t \le 0$; τ, h - thời gian trễ trong trạng thái và trong điều khiển; các ma trận $A_I(t) = \left[a_{ij}^I(t)\right]$, $A_2(t) = \left[a_{ij}^{II}(t)\right]$, $B(t) = \left[b_{ij}(t)\right]$ có kích thước $(n \times n)$ và $(n \times m)$ tương ứng; các thành phần $a_{ij}^I(t)$, $a_{ij}^{II}(t)$, $b_{ij}(t)$ là các tham số động học của đối tượng, thay đổi trong các dải: $a_{ij}^I\, min \le a_{ij}^I(t) \le a_{ij}^I\, max$, $a_{ij}^{II}\, min \le a_{ij}^{II}(t) \le a_{ij}^{II}\, max$, $b_{ij}\, min \le b_{ij}(t) \le b_{ij}\, max$. Để điều khiển đối tượng có trễ dạng (1), ta sử dụng bộ đón trước Smith. Bởi vậy, phương trình động học của đối tượng điều khiển được viết dưới dạng

$$\dot{X}(t) = \left[A_{10} + \Delta A_1\right]X(t) + \left[A_{20} + \Delta A_2\right]X(t-\tau) + \left[B_0 + \Delta B\right]U(t-h), \tag{2}$$

trong đó $A_{10} = \left[a_{ij}^{IO}\right], A_{20} = \left[a_{ij}^{IIO}\right]$, $B_0 = \left[b_{ij}^0\right]$ - ma trận các thành phần không đổi; $\Delta A_1 = \left[\Delta a_{ij}^I\right]$, $\Delta A_2 = \left[\Delta a_{ij}^{II}\right]$, $\Delta B = \left[\Delta b_{ij}\right]$ - ma trận các thành phần thay đổi, có kích thước

$(n \times n)$ và $(n \times m)$ tương ứng. Trong trường hợp này, phương trình mô hình đầy đủ M_1 và phương trình mô hình không có trễ trong điều khiển M_2 trong bộ đón trước Smith cho đối tượng điều khiển (1) có dạng:

$$\dot{X}_{M1}(t) = \left[A_{10} + \delta A_M^I\right] X_{M1}(t) + \left[A_{20} + \delta A_M^{II}\right] X_{M1}(t-\tau) + \left[B_0 + \delta B_M\right] U(t-h), \quad (3)$$

$$\dot{X}_{M2}(t) = \left[A_{10} + \delta A_M^I\right] X_{M2}(t) + \left[A_{20} + \delta A_M^{II}\right] X_{M2}(t-\tau) + \left[B_0 + \delta B_M\right] U(t), \quad (4)$$

trong đó $X_{M1}(t) \in R^n$ - vectơ trạng thái của mô hình đầy đủ ; $X_{M2}(t) \in R^n$ - vectơ trạng thái của mô hình không có trễ trong điều khiển; $\delta A_M^I = \left[\delta a_{Mij}^I\right]$, $\delta A_M^{II} = \left[\delta a_{Mij}^{II}\right]$, $\delta B_M = \left[\delta b_{Mij}\right]$ - ma trận các tham số tự chỉnh, có kích thước $(n \times n)$ và $(n \times m)$ tương ứng . Ký hiệu

$$E(t) = X(t) - X_{M1}(t),\ F(t) = \Delta A_1 - \delta A_M^I,$$
$$G(t) = \Delta A_2 - \delta A_M^{II},\ H(t) = \Delta B - \delta B_M,$$

trong đó $E(t)$ - véctơ sai số giữa véctơ trạng thái của đối tượng điều khiển và vectơ trạng thái của mô hình đầy đủ. Từ (2) và (3) ta có phương trình đối với véctơ sai số $E(t)$:

$$\dot{E}(t) = A_1 E(t) + A_2 E(t-\tau) + F(t) X_{M1}(t) + G(t) X_{M1}(t-\tau) + H(t) U(t-h). \quad (5)$$

Vấn đề đặt ra là phải xây dựng các thuật toán thay đổi các ma trận δA_M^I, δA_M^{II} và δB_M đảm bảo tính ổn định chuyển động của hệ thống tương đối với các điểm $\{E(t)=0,\ F(t)=0,\ G(t)=0,\ H(t)=0\}$ trong không gian $\{E(t),\ F(t),\ G(t),\ H(t)\}$.

III. TỔNG HỢP CÁC THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN

Ta xác định cấu trúc của các thuật toán tự chỉnh các tham số đối với hệ thống có trễ đồng thời trong trạng thái và trong điều khiển. Điều kiện để hệ (5) ổn định tiệm cận được thể hiện ở định lí sau:

Định lí. *Giả sử ma trận $A = A_1 + A_2$ của đối tượng điều khiển (1) là ma trận Hurwitz. Hệ (5) sẽ ổn định tiệm cận, nếu:*

$$\dot{F}(t) = -\left[\alpha_1 P\left(E(t) + A_2 \int_{t-\tau}^{t} E(s)ds\right) + \alpha_2 P E(t) \int_{t-h}^{t} U'(\sigma) U(\sigma) d\sigma\right] X'_{M1}(t); \quad (6)$$

$$\dot{G}(t) = -\left[\alpha_1 P\left(E(t) + A_2 \int_{t-\tau}^{t} E(s)ds\right) + \alpha_2 P E(t) \int_{t-h}^{t} U'(\sigma) U(\sigma) d\sigma\right] X'_{M1}(t-\tau); \quad (7)$$

$$\dot{H}(t) = -\left[\alpha_1 P\left(E(t) + A_2 \int_{t-\tau}^{t} E(s)ds\right) + \alpha_2 P E(t) \int_{t-h}^{t} U'(\sigma) U(\sigma) d\sigma\right] U'(t-h). \quad (8)$$

Chứng minh định lí. Đối với hệ (5) ta chọn phiếm hàm Lyapunov-Krasovskii dạng

$$V=\alpha_1\left[E(t)+A_2\int_{t-\tau}^{t}E(s)ds\right]' P\left[E(t)+A_2\int_{t-\tau}^{t}E(s)ds\right]+\alpha_2E'(t)PE(t)\int_{t-h}^{t}U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma$$
$$+\beta\int_{t-\tau}^{t}\|E(s)\|^2ds+\gamma\int_{t-\tau}^{t}\left(\int_{\rho}^{t}\|E(s)\|^2ds\right)d\rho+tr\left[F(t)F'(t)+G(t)G'(t)+H(t)H'(t)\right], \tag{9}$$

trong đó P - ma trận đối xứng xác định dương, có kích thước $(n\times n)$, thỏa mãn phương trình Lyapunov [13]

$$A'P+PA=-Q, \tag{10}$$

trong đó Q - ma trận xác định dương; α_1, α_2, β, γ - các số dương.

Vi phân toàn phần của V theo t trên nghiệm của (5) có dạng

$$\dot V=-\alpha_1E'(t)QE(t)+2\alpha_1E'(t)A'PA_2\int_{t-\tau}^{t}E(s)ds+2\alpha_2E'(t)PA_1E(t)\int_{t-h}^{t}U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma$$
$$+2\alpha_2E'(t-\tau)A_2'PE(t)\int_{t-h}^{t}U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma+\alpha_2E'(t)PE(t)U'(t)U(t)$$
$$-\alpha_2E'(t)PE(t)U'(t-h)U(t-h)+\beta\|E(t)\|^2-\beta\|E(t-\tau)\|^2+\gamma\tau\|E(t)\|^2-\gamma\int_{t-\tau}^{t}\|E(s)\|^2ds$$
$$+2tr\left\{\left[\left(\alpha_1P\left(E(t)+A_2\int_{t-\tau}^{t}E(s)ds\right)+\alpha_2PE(t)\int_{t-h}^{t}U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma\right)X'_{M1}(t)+\dot F(t)\right]F'(t)\right. \tag{11}$$
$$+\left[\left(\alpha_1P\left(E(t)+A_2\int_{t-\tau}^{t}E(s)ds\right)+\alpha_2PE(t)\int_{t-h}^{t}U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma\right)X'_{M1}(t-\tau)+\dot G(t)\right]G'(t)$$
$$\left.+\left[\left(\alpha_1P\left(E(t)+A_2\int_{t-\tau}^{t}E(s)ds\right)+\alpha_2PE(t)\int_{t-h}^{t}U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma\right)U'(t-h)+\dot H(t)\right]H'(t)\right\}.$$

Tính ổn định của các quá trình hiệu chỉnh các tham số của các ma trận δA_M^I, δA_M^{II}, δB_M sẽ đảm bảo nếu thỏa mãn điều kiện $\dot V\le 0$. Khi thỏa mãn các điều kiện (6), (7), (8), từ (11) ta thu được các biểu thức đối với $\dot F(t)$, $\dot G(t)$, $\dot H(t)$. Ta phải tiếp tục chứng minh

$$\dot V=-\alpha_1E'(t)QE(t)+2\alpha_1E'(t)A'PA_2\int_{t-\tau}^{t}E(s)ds+2\alpha_2E'(t)PA_1E(t)\int_{t-h}^{t}U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma$$
$$+2\alpha_2E'(t-\tau)A_2'PE(t)\int_{t-h}^{t}U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma+\alpha_2E'(t)PE(t)U'(t)U(t)$$
$$-\alpha_2E'(t)PE(t)U'(t-h)U(t-h)+\beta\|E(t)\|^2-\beta\|E(t-\tau)\|^2+\gamma\tau\|E(t)\|^2$$
$$-\gamma\int_{t-\tau}^{t}\|E(s)\|^2ds\le 0. \tag{12}$$

Sử dụng các ước lượng

$$E'(t)QE(t)\ge\lambda_{min}(Q)\|E(t)\|^2, \tag{13}$$

$$E'(t)PE(t) \ge \lambda_{min}(P)\|E(t)\|^2, \tag{14}$$

$$E'(t)PA_1E(t) \le \lambda_{max}(P)\delta_{max}(A_1)\|E(t)\|^2, \tag{15}$$

$$2E'(t)PA_2E(t-\tau) \le \lambda_{max}(P)\delta_{max}(A_2)\left[\|E(t)\|^2 + \|E(t-\tau)\|^2\right], \tag{16}$$

$$2E'(t)A'PA_2E(s) \le \lambda_{max}(P)\delta_{max}(A\ )\delta_{max}(A_2)\left[\|E(t)\|^2 + \|E(s)\|^2\right], \tag{17}$$

trong đó $\|E(t)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} e_i^2(t)}$; $\lambda_{min}(P)$, $\lambda_{min}(Q)$, $\lambda_{max}(P)$ - các trị số đặc trưng cực tiểu và cực đại của các ma trận P,Q tương ứng; $\delta_{max}(A\ ), \delta_{max}(A_1), \delta_{max}(A_2)$ - các số kì dị cực đại của các ma trận $A\ $, A_1 và A_2 tương ứng, tức là

$$\delta_{max}(A\ ) = \sqrt{\lambda_{max}(A'A\ )},\ \delta_{max}(A_1) = \sqrt{\lambda_{max}(A_1'A_1)},\ \delta_{max}(A_2) = \sqrt{\lambda_{max}(A_2'A_2)}.$$

Thay các giá trị của (13) - (17) vào (12) ta có

$$\begin{aligned}\dot{V} = \Big[&-\alpha_1\lambda_{min}(Q) + \alpha_1\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A\ )\delta_{max}(A_2) + 2\alpha_2\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A_1)\int_{t-h}^{t} U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma \\ &+ \alpha_2\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A_2)\int_{t-h}^{t} U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma + \alpha_2\lambda_{min}(P)U'(t)U(t) - \alpha_2\lambda_{min}(P)U'(t-h)U(t-h) \\ &+ \beta + \gamma\tau \Big]\|E(t)\|^2 + \Big[\alpha_1\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A\ )\delta_{max}(A_2) - \gamma\Big]\int_{t-\tau}^{t}\|E(s)\|^2 ds \\ &+ \Big[\alpha_2\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A_2)\int_{t-h}^{t} U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma - \beta\Big]\|E(t-\tau)\|^2.\end{aligned} \tag{18}$$

Các thành phần $u_j(t)$, $j = \overline{1,m}$, của véc tơ điều khiển $U(t)$ là khả vi, bị chặn trên. Đặt $\xi(t) = U'(t)U(t) = \sum_{j=1}^{m} u_j^2(t)$ thì $0 \le \xi(t) \le U_{max}^2$, $U_{max}^2 = const$. Chọn

$\gamma = \alpha_1\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A\ )\delta_{max}(A_2)$; $\beta \ge \alpha_2\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A_2)\int_{t-h}^{t}\xi(\sigma)d\sigma$, ta có

$$\begin{aligned}\dot{V} = \Big[&-\alpha_1\lambda_{min}(Q) + \alpha_1\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A\ )\delta_{max}(A_2)(1+\tau) + 2\alpha_2\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A_1)\int_{t-h}^{t}\xi(\sigma)d\sigma \\ &+ 2\alpha_2\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A_2)\int_{t-h}^{t}\xi(\sigma)d\sigma + \alpha_2\lambda_{min}(P)\xi(t) - \alpha_2\lambda_{min}(P)\xi(t-h)\Big]\|E(t)\|^2.\end{aligned} \tag{19}$$

Để thỏa mãn điều kiện $\dot{V} \le 0$, ta phải có

$$\begin{aligned}\lambda_{min}(Q) \ge\ &\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A\ )\delta_{max}(A_2)(1+\tau) \\ &+ \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\left[2\lambda_{max}(P)\Big(\delta_{max}(A_1) + \delta_{max}(A_2)\Big)\int_{t-h}^{t}\xi(\sigma)d\sigma + \lambda_{min}(P)\xi(t)\right].\end{aligned} \tag{20}$$

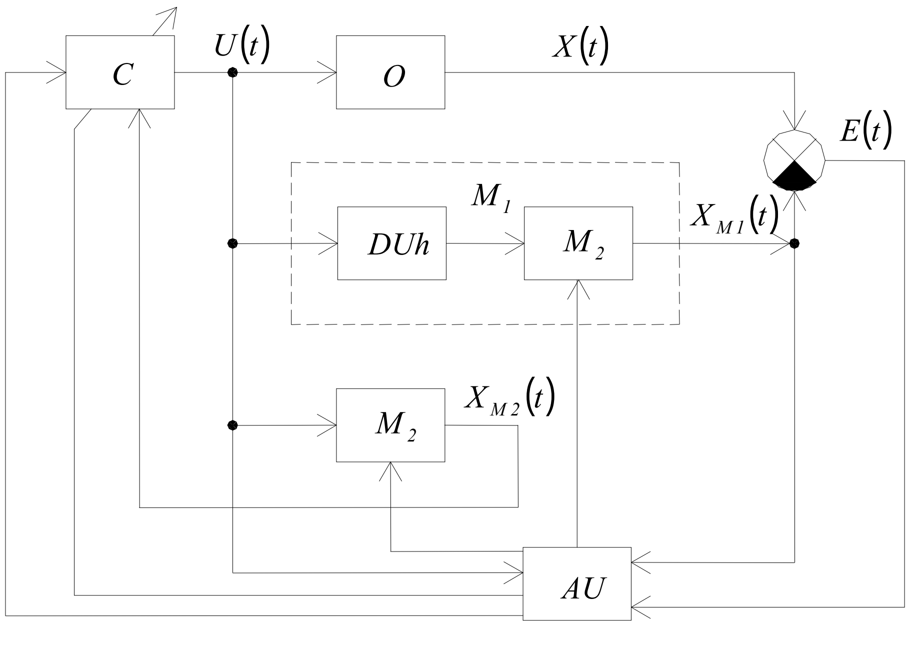
Đặt $\varphi(t)=\int_{t-h}^{t}\xi(\sigma)d\sigma$, $0\le\varphi(t)\le\int_{t-h}^{t}U_{max}^{2}d\sigma=hU_{max}^{2}$, khi đó ta có bất đẳng thức

$$\begin{aligned}&\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A\ )\delta_{max}(A_2)(1+\tau)+\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\left[\ 2\lambda_{max}(P)\left(\delta_{max}(A_1)+\delta_{max}(A_2)\right)\varphi(t)+\lambda_{min}(P)\xi(t)\right]\\&<\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A\ )\delta_{max}(A_2)(1+\tau)+\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\left[\ 2h\lambda_{max}(P)\left(\delta_{max}(A_1)+\delta_{max}(A_2)\right)+\lambda_{min}(P)\right]U_{max}^{2}\end{aligned}\qquad(21)$$

Do đó, chỉ cần chọn

$$\begin{aligned}\lambda_{min}(Q)&\ge\lambda_{max}(P)\delta_{max}(A\ )\delta_{max}(A_2)(1+\tau)\\&+\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\left[\ 2h\lambda_{max}(P)\left(\ \delta_{max}(A_1)+\delta_{max}(A_2)\right)+\lambda_{min}(P)\right]U_{max}^{2},\end{aligned}\qquad(22)$$

thì bất đẳng thức (20) thỏa mãn, dẫn đến bất đẳng thức (12) thỏa mãn, và đạo hàm $\dot{V}$ của phiếm hàm Lyapunov-Krasovskii (9)sẽ luôn luôn âm. Thực tế, có thể chọn các hệ số $(\alpha_1,\alpha_2)>0$ để thỏa mãn bất đẳng thức (22) và kéo theo sự thỏa mãn bất đẳng thức (20). Điều đó có nghĩa là, khi thỏa mãn các điều kiện (6), (7), (8), hệ thống (5) sẽ ổn định tiệm cận. Định lí đã được chứng minh.



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển thích nghi cho các đối tượng có trễ trong trạng thái và trong điều khiển

Giả thiết rằng, các tham số động học của đối tượng thay đổi chậm và trong quá trình quá độ của sự hiệu chỉnh, thay đổi không đáng kể, nghĩa là

$\dot{A}_1\approx 0$, $\dot{A}_2\approx 0$, $\dot{B}\approx 0$; véctơ điều khiển $U(t)=-KX_{M2}(t)$, trong đó K - kết quả giải phương trình Riccati đối với các tham số động học của mô hình M_2 [19]. Khi đó, từ (6), (7) và (8) ta thu được các thuật toán hiệu chỉnh các tham số của các ma trận δA_M^{I}, δA_M^{II} và δB_M :

$$\dot{\delta A}_M^I = -NX'_{M1}(t), \quad (23)$$

$$\dot{\delta A}_M^{II} = -NX'_{M1}(t-\tau), \quad (24)$$

$$\dot{\delta B}_M = -NU'(t-h), \quad (25)$$

$$N = \alpha_1 P\left(E(t) + A_2 \int_{t-\tau}^{t} E(s)ds\right) + \alpha_2 PE(t)\int_{t-h}^{t} U'(\sigma)U(\sigma)d\sigma .$$

Sơ đồ cấu trúc của hệ thống điều khiển thích nghi được biểu diễn trên hình 1, trong đó O - đối tượng điều khiển có trễ; M_2 - mô hình không có trễ trong điều khiển; M_1 - mô hình đầy đủ; DUh - khâu trễ trong mô hình M_1; AU - khối thích nghi; C - bộ điều khiển.

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất phương pháp tổng hợp hệ điều khiển thích nghi cho các đối tượng có trễ đồng thời trong trạng thái và trong điều khiển. Với việc sử dụng mô hình trong bộ đón trước Smith, trên cơ sở phương pháp Lyapunov-Krasovskii đã tổng hợp được các thuật toán tự hiệu chỉnh các tham số của hệ thống. Các thuật toán tìm được có dạng phương trình vi - tích phân, có ưu điểm dễ thể hiện kỹ thuật, đảm bảo bù trừ được sự thay đổi của các tham số động học của đối tượng điều khiển có trễ. Các kết quả nghiên cứu là cơ sở để góp phần hoàn thiện và nâng cao chất lượng điều khiển các đối tượng công nghệ phức tạp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cao Tiến Huỳnh - Tổng hợp hệ thống điều khiển thích nghi cho các đối tượng có trễ, Tuyển tập các báo cáo khoa học, Hội nghị toàn quốc lần thứ I về Tự động hoá, Hà Nội, 1994, tr.194-200.
2. Cao Tiến Huỳnh - Tổng hợp hệ điều khiển trượt, thích nghi cho các đối tượng có trễ, Tuyển tập các báo cáo khoa học, Hội nghị toàn quốc lần thứ VI về Tự động hoá, Hà Nội 2005, tr.288-293.
3. Nguyễn Hoa Lư - Điều khiển thích nghi cho một lớp các đối tượng có trễ, Tạp chí Khoa học và Công nghệ **42** (3) (2004) 65-74.
4. Nguyễn Hoa Lư - Động học kênh thuỷ lợi trên quan điểm điều khiển, Tuyển tập các báo cáo khoa học, Hội nghị toàn quốc lần thứ VI về Tự động hóa, Hà Nội, 2005, tr.351-356.
5. Као Тиен Гуинь - Синтез адаптивных систем управления для объектов с запаздыванием. Автоматика (2) (1983) 44-48.
6. Као Тиен Гуинь - Адаптивное управление объектом с запаздыванием на основе беспоисковой самонастраивающейся системы с моделью, АиТ (12) (1988), 106-115.
7. Као Тиен Гуинь - Адаптивная система для объектов с запаздыванием. Авторское свидетельство на изобретение, No1714572, Бюл., 1991,СССР.
8. А.В. Данилин, С.Л. Мойсеев - Синтез адаптивной системы управления объектом с последействием. Техническая кибернетика (3) (1993) 53-61.
9. В.Б. Колмановский, В.Р. Носов - Устойчивость и периодические режимы регулируемых систем с последействием М., Наука, 1981, 448с.
10. А.М. Цыкунов - Адаптивное управление объектами с последействием. М., Наука, 1984, 241с.

11. Гурецкий Х - Анализ и синтез систем управления с запаздыванием М, : Машиностроение, 1974, 328с.

12. Э.М. Джафаров - Синтез прямым методом Ляпунова автоматических самонастраивающихся систем управления с эталонной моделью для нестационарных объектов с запаздыванием . Автоматика (1) (1982) 20-24.

13. Ф. Р. Гантмахер. Теория матриц, М, Наука, 1966, 576с.

14. Jean-Pierre Richard- Time-delay system: an overview of some recent advances and open problems, Automatica **39** (2003) 1667-1694.

15. V.L. Kharitonov, A. P. Zhabko- Lyapunov -Krasovskii approach to the robust stability analysis of time-delay systems, Automatica **39** (1) (2003) 15-20.

16. Dan Ivanescu, Silviu-lulian Niculescu, Luc Dugard, Jean-Michel Dion, Erik I. Verriest- On delay-dependent stability for linear neutral systems, Automatica **39** (6) (2003) 255-261.

17. Han Ho Choi and Myung Jin Chung - Memoryless Stabilization of Uncertain Dynamic Systems with Time-varying Delayed States and controls, Automatica **31** (9) (1995) 1349-1351.

18. Guillermo J.Silva, Aniruddha Datta, and S.P. Bhattacharyya - PI stabilization of fist-order systems with time delay, Automatica **37** (2001) 2025-2031.

19. H. Kwakernaak, P. Sivan – Linear optimal control systems, New York, London, Sydney, Toronto, 1972, 650p.

SUMMARY

ADAPTIVE CONTROL SYSTEM DESIGN WITH DELAY IN-STATE AND IN-CONTROL

This paper discusses control problems of objects with variable dynamic parameters with delay, both in-state and in-control. These objects are very popular in industrial fields, irrigations, hydraulic installations, transportation and communication, and a variety of other fields. Using an adaptive control tool with a model of the Smith predictor, based on Lyapunov - Krasovskiis' method, this paper proposes sufficient conditions for the stability of the system, and self-adjusted algorithms for the system's parameters. The found algorithms are formed as difference-differential equations which are plain and technically realizable, assuring the tolerance for the range of the dynamic parameters of the controlling objects with delay. In accordance with modern control theory, this paper has constructed a block diagram of adaptive control system for complex control objects with delay. The study's results are the basis, which contribute to the perfection and improvement of the control quality of complex technological objects.

Địa chỉ:

Nhận bài ngày 12 tháng 4 năm 2004

Khoa Công nghệ, Trường Đại học Sư phạm Vinh.