Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T.26, S.1 (2010), 9–16

VỀ XÂY DỰNG MỘT SỐ TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH NGẪU NHIÊN CHO HỆ ĐIỀU KHIỂN ĐA CẤU TRÚC

NGUYỄN TĂNG CƯỜNG

Học viện Kỹ thuật Quân sự

Abstract. The stability criteria are widely used in stability analysis of control systems due to their convenient approach without calculating the roots of differential equations. There are several stability criteria developed for control systems with the fixed structure (see e.g [1, 5, 6]). But no such expressions exist for multistructural control systems, it is therefore open for study and development of new stochastic stability criteria for multistructural control systems. This paper proposes new stability criteria for multistructural linear systems as well as for nonlinear systems.

Tóm tắt. Các tiêu chuẩn ổn định được sử dụng rộng rãi trong khảo sát tính ổn định của các hệ điều khiển do sự thuận tiện không cần phải giải các phương trình vi phân mô tả động học của hệ. Đã có nhiều tiêu chuẩn ổn định áp dụng cho các hệ điều khiển có cấu trúc cố định được trình bày trong nhiều tài liệu khoa học, ví dụ như trong [1, 5, 6]. Song đối với hệ điều khiển đa cấu trúc, việc xác định tính ổn định ngẫu nhiên của hệ dựa trên các tiêu chuẩn ổn định vẫn còn để ngỏ nhiều vấn đề và chưa được nghiên cứu một cách đầy đủ. Bài báo này sẽ bổ xung, đề xuất một số tiêu chuẩn ổn định cho hệ tuyến tính và hệ phi tuyến đa cấu trúc.

1. XÂY DỰNG TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH CHO HỆ ĐIỀU KHIỂN TUYẾN TÍNH ĐA CẤU TRÚC

1.1. Đặt vấn đề

Xét hệ điều khiển tuyến tính đa cấu trúc được mô tả bởi hệ các phương trình vi phân ngẫu nhiên tuyến tính sau đây [2, 3, 4] :

$$\dot{X}^{(i)}(t) = C^{(i)}(t) + D^{(i)}(t)X^{(i)}(t) + H^{(i)}(t)\xi^{(i)}(t),\ i = \overline{1, S} \tag{1}$$

trong đó:

$X^{(i)}(t)$ - véc tơ n chiều có các thành phần là các toạ độ pha của hệ tại trạng thái i;

$C^{(i)}(t)$ - véc tơ n chiều của hàm tiền định;

$D^{(i)}(t)$ - ma trận $(n \times n)$ chiều của các hệ số tiền định thay đổi theo thời gian;

$H^{(i)}(t)$ - ma trận $(n \times n)$ chiều của các hệ số tiền định thay đổi theo thời gian;

$\xi^{(i)}(t)$ - tạp trắng trung tâm m chiều với ma trận cường độ đối xứng $G^{(i)}(t)$.

Các véc tơ và ma trận nêu trên được giả thiết sao cho quá trình $X^{(i)}(t)$ là quá trình ngẫu nhiên Marcov (điều này có được khi thỏa mãn dạng các điều kiện Lipshitz [1, 2]). Trình tự thay đổi các chỉ số trạng thái $i = \overline{1, S}$ là quá trình Marcov gián đoạn với cường độ chuyển đổi trạng thái $v_{ij}(t)$ $(i, j = \overline{1, S},\ i \neq j)$ [2]. Sau đây sẽ trình bày việc xây dựng tiêu chuẩn ổn định cho hệ điều khiển tuyến tính đa cấu trúc được mô tả bởi hệ các phương trình vi phân ngẫu nhiên tuyến tính (1) nêu trên.

1.2. Phát biểu tiêu chuẩn ổn định cho hệ điều khiển tuyến tính đa cấu trúc

Ở đây ta giới hạn chỉ xét hệ điều khiển tuyến tính đa cấu trúc với phân bố xác suất chuyển độc lập và điều kiện khôi phục cố định, khi đó phương trình của kỳ vọng toán học $m^{(i)T}(t) = (m_1^{(i)}(t), m_2^{(i)}(t), ..., m_n^{(i)}(t))$ cho quá trình ngẫu nhiên $X^{(i)}(t)$ ở trạng thái i sẽ là [2, 3]

$$\dot{m}^{(i)}(t) = p_i(t)C^{(i)}(t) + D^{(i)}(t)m^{(i)}(t) - v_i(t)m^{(i)}(t) + \sum_{j=1\neq i}^{S} v_{ji}(t)m^{(j)}(t),\ i = \overline{1, S}, \qquad (2)$$

trong đó, $p_i(t)$ - xác suất trạng thái để hệ thuộc cấu trúc i,

$$v_i(t) = \sum_{j=1\neq i}^{S} v_{ij}(t). \qquad (3)$$

Ở trạng thái cấu trúc i, phương trình đối với ma trận các moment ban đầu bậc hai

$$M^{(i)}(t) = (M_{rq}^{(i)})_{n\times n} \ \text{ với } M_{rq}^{(i)} = \int x_r x_q \omega^{(i)}(X, t)dX,\ r, q = \overline{1, n}. \qquad (4)$$

$$\begin{aligned}\dot{M}^{(i)}(t) &= D^{(i)}(t)M^{(i)}(t) + M^{(i)}(t)D^{(i)T} + p_i(t)B^{(i)}(t) - v_i(t)M^{(i)}(t)\\ &+ \sum_{j=1\neq i}^{S} v_{ji}(t)M^{(j)}(t) + m^{(i)}(t)C^{(i)T}(t) + C^{(i)}(t)m^{(i)T}(t),\ i = \overline{1, S},\end{aligned} \qquad (5)$$

trong đó:

$B^{(i)}(t)$ - ma trận các hệ số khuyếch tán [2]. Sử dụng các ký hiệu:

$scM^{(i)}(t)$ - véc tơ n^2 chiều, có cột tạo nên từ các cột của ma trận $M^{(i)}(t)$,

$M*(t)$ - véc tơ $s\times n^2$ chiều, có cột tạo nên từ các véc tơ $scM^{(i)}(t)$ với $i = \overline{1, S}$,

$m*(t)$ - véc tơ $s\times n$ chiều, có cột tạo nên từ các véc tơ $m^{(i)}(t),\ i = \overline{1, S}$.

Từ (2), (3) và (5) có thể viết các phương trình thuần nhất đối với véc tơ $m*(t)$ và véctơ $M*(t)$:

$$\dot{m}*(t) = D_1(t)m*(t), \qquad (6)$$

$$\dot{M}*(t) = D_2(t)M*(t). \qquad (7)$$

ở đây, $D_1(t)$ - ma trận $(ns \times ns)$ chiều.

$$D_1(t) = \begin{bmatrix} D^{(1)} - v_1 I & v_{21} I & ... & v_{S1} I \\ v_{12} I & D^{(2)} - v_2 I & ... & v_{S2} I \\ ... & ... & ... & \\ v_{1S} I & v_{2S} I & ... & D^{(S)} - v_S I \end{bmatrix}. \tag{8}$$

$D_2(t)$ - ma trận $(sn^2 \times sn^2)$ chiều

$$D_2(t) = \begin{bmatrix} D^{(1)} \times D^{(1)T} - v_1 I & v_{21} I & ... & v_{S1} I \\ v_{12} I & D^{(2)} \times D^{(2)T} - v_2 I & ... & v_{S2} I \\ ... & ... & ... & \\ v_{1S} I & v_{2S} I & ... & D^{(S)} \times D^{(S)T} - v_S I \end{bmatrix} \tag{9}$$

I - ma trận đơn vị có kích thước tương ứng.

$$D^{(i)} \times D^{(i)T} = I \oplus D^{(i)} + D^{(i)} \oplus I, \tag{10}$$

trong đó, $\oplus$ là phép lấy tích Kroneker các ma trận.

Sau đây sẽ xét tính ổn định của quá trình $X^{(i)}(t)$. Quá trình $X^{(i)}(t)$ sẽ được coi là ổn định theo đặc trưng xác suất bậc p (với $p = \overline{1,2}$), nếu như nghiệm tầm thường của các phương trình (6) và (7) đối với các moment của quá trình $X^{(i)}(t)$ là ổn định. Phương trình đối với các moment trong trường hợp này là tuyến tính, do đó chúng sẽ ổn định, nếu như phương trình thuần nhất tương ứng của chúng ổn định. Chúng ta sẽ xem xét điều kiện đảm bảo tính ổn định của hệ tuyến tính dừng và không dừng đa cấu trúc.

1.2.1. Tiêu chuẩn ổn định cho hệ tuyến tính dừng đa cấu trúc

Xét trường hợp hệ thống có các hệ số $d_{kr}^{(i)},\ k, r = \overline{1,n}$ của ma trận $D^{(i)}(t)$; v_i và v_{ji} là các hằng số. Để hệ thống (1) ổn định tiệm cận theo moment bậc nhất thì điều kiện cần và đủ là mọi nghiệm của phương trình đặc trưng $|\lambda I - D_1| = 0$ có phần thực âm [1]. Để hệ (1) ổn định tiệm cận quân phương thì điều kiện cần và đủ là mọi nghiệm phương trình (11) sau đây có phần thực âm $[1, 5, 6]$:

$$|\lambda I - D_2| = 0. \tag{11}$$

Các điều kiện này, như đã biết, có thể cho dưới dạng các tiêu chuẩn ổn định Routh, Hurwitz hay tiêu chuẩn ổn định khác $[5, 6]$. Như vậy, quá trình dẫn dắt từ công thức (1) đến công thức (11) đã chứng minh một định lý về tính ổn định của hệ tuyến tính dừng có cấu trúc thay đổi ngẫu nhiên, như sau.

Định lý 1. *Xét hệ tuyến tính dừng đa cấu trúc thay đổi ngẫu nhiên được mô tả bởi phương trình:*

$$\dot{X}^{(i)}(t) = C^{(i)} + D^{(i)} X^{(i)}(t) + H^{(i)} \xi^{(i)}(t), \tag{12}$$

trong đó: $j, i = \overline{1, S}$, $C^{(i)} = \text{const}$, $D^{(i)} = \text{const}$, $v_{ji} = \text{const}$, $H^{(i)} = \text{const}$.

Điều kiện cần và đủ để hệ thống được mô tả bởi dạng (12) ổn định tiệm cận quân phương, là phải đảm bảo thỏa mãn một trong các nội dung sau:

1/ Tất cả các định thức Hurwitz của phương trình đặc trưng (11) phải dương.

2/ Tất cả các phần tử trên cột thứ nhất của ma trận Routh tương ứng với phương trình (11) phải dương.

3/ Phương trình ma trận $D_2^T U + U D_2 = -W$ *có nghiệm* U *xác định dương với ma trận* W *dương bất kỳ (trong đó,* D_2 *được xác định theo công thức (9)).*

1.2.2. Tiêu chuẩn ổn định cho hệ tuyến tính không dừng đa cấu trúc

Đối với hệ tuyến tính không dừng thì việc nghiên cứu tính ổn định của ma trận $D_2(t)$ sẽ phức tạp hơn. Trong trường hợp này, điều kiện tất cả các nghiệm của các phương trình đặc trưng của (6) và (7) có phần thực âm, sẽ không đủ đảm bảo để hệ tuyến tính không dừng ổn định. Sau đây ta sẽ đưa thêm một điều kiện đủ để hệ tuyến tính không dừng đa cấu trúc (1) ổn định.

Định lý 2. *Điều kiện đủ để hệ thống tuyến tính không dừng đa cấu trúc mô tả bởi (1) ổn định tiệm cận quân phương khi* $t_0 \leq t < \infty$ *là phải thoả mãn điều kiện* $\lambda^+(t) \leq -h < 0$ *khi* $t_0 \leq t < \infty$. *Ở đây,*

h *- hằng số dương nào đó,*

$\lambda^+(t)$ *- giá trị riêng cực đại của ma trận đối xứng* $[D_2(t) + D_2^T(t)]$.

Chứng minh:

Theo định lý về các giá trị riêng của ma trận đối xứng [1,6], với t bất kỳ thì sẽ có được bất đẳng thức sau:

$$M^T * (t)[D_2(t) + D_2^T(t)]M * (t) \leq \lambda^+(t) M^T * (t) M * (t). \tag{13}$$

Biết rằng:

$$\frac{d}{dt}[M^T * (t) M * (t)] = \frac{d}{dt}\|M * (t)\|^2, \tag{14}$$

$$\frac{d}{dt}[M^T * (t) M * (t)] = M^T * (t)[D_2(t) + D_2^T(t)]M * (t), \tag{15}$$

nên bất đẳng thức (13) sẽ tương đương với bất đẳng thức sau:

$$\frac{d}{dt}\|M * (t)\|^2 \leq \lambda^+(t)\|M * (t)\|^2. \tag{16}$$

Chia cả hai vế của bất đẳng thức này cho $\|M * (t)\|^2 > 0$ và lấy tích phân trong khoảng $[t_0, t]$ sẽ nhận được:

$$\|M * (t)\| \leq \|M * (t_0)\| \exp\{\frac{1}{2}\int_{t_0}^{t} \lambda^+(t) dt\}. \tag{17}$$

Theo điều kiện $\lambda^+(t) \leq -h < 0$, ta sẽ có $M*(t) \to 0$ khi $t \to \infty$, nghĩa là hệ thống sẽ ổn định tiệm cận quân phương. Định lý đã được chứng minh. ■

2. XÂY DỰNG TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH (ĐIỀU KIỆN ĐỦ) CHO HỆ PHI TUYẾN ĐA CẤU TRÚC

Xét hệ phi tuyến đa cấu trúc được mô tả bởi phương trình dạng [2, 3] :

$$\dot{X}^{(i)}(t) = D^{(i)}(X^{(i)}, t) + H^{(i)}(t)\xi^{(i)}(t),\ i = \overline{1, S} \tag{18}$$

trong đó:

$X^{(i)}(t)$ - véc tơ n chiều với các thành phần là các toạ độ pha của hệ ở trạng thái i,

$D^{(i)}(X^{(i)}, t)$ - là hàm phi tuyến vectơ n chiều,

$H^{(i)}(t)$ - ma trận $(n \times m)$ chiều các hệ số,

$\xi^{(i)}(t)$ - véc tơ tạp trắng trung tâm m chiều với ma trận cường độ đối xứng $G^{(i)}(t)$ $(n \times m)$ chiều của các mật độ phổ.

Phân tích hàm véc tơ phi tuyến $D^{(i)}(X^{(i)}, t)$ dưới dạng chuỗi gồm phần bậc nhất - tuyến tính và các phần bậc cao - phi tuyến, thì biểu thức (1) sẽ được viết lại dưới dạng:

$$\dot{X}^{(i)}(t) = C^{(i)}(t) - A^{(i)}(t)X^{(i)}(t) - \varphi^{(i)}(X^{(i)}, t) + H^{(i)}(t)\xi^{(i)}(t),\ i = \overline{1, S}, \tag{19}$$

trong đó:

$\varphi^{(i)}(.)$ - thành phần phi tuyến,

$A^{(i)}(t)$ - ma trận các hệ số là các hàm thời gian tiền định,

$C^{(i)}(t)$ - véc tơ n chiều các hàm tiền định.

Phương trình:

$$\dot{X}^{(i)} + A^{(i)}X^{(i)} = 0 \tag{20}$$

như đã biết, được gọi là các phương trình gần đúng xấp xỉ bậc nhất.

Từ (19) có thể nhận được các phương trình cho véc tơ các moment bậc nhất [2]

$$\dot{m}^{(i)} = -A^{(i)}m^{(i)} - v_i m^{(i)} + \sum_{j=1\neq i}^{s} v_{ji}m^{(i)} + p_i C^{(i)} - \varepsilon^{(i)}(\varphi^{(i)}(X^{(i)}, t)),\ i = \overline{1, S}, \tag{21}$$

trong đó:

$m^{(i)}(t)$ - véc tơ kỳ vọng toán học của quá trình $X^{(i)}(t)$ ở trạng thái thứ i,

$p_i(t)$ - xác suất để hệ đang trong cấu trúc i, $v_i(t) = \sum_{j=1\neq i}^{S} v_{ij}(t)$,

$\varepsilon^{(i)}(\varphi^{(i)}(X^{(i)}, t))$ - là ký hiệu phần của phương trình chứa các thành phần phi tuyến $\varphi^{(i)}(X, t)$ được lấy trung bình xác suất với trọng số là hàm mật độ phân bố $\omega^{(i)}(x, t)$.

Các phương trình cho các moment bậc hai của quá trình $X^{(i)}(t)$ ở trạng thái thứ i [2]:

$$\dot{M}^{(i)} = -A^{(i)}M^{(i)} - M^{(i)}A^{(i)T} + p_iB^{(i)} - v_iM^{(i)} + \sum_{j=1\neq i}^{S} v_{ji}M^{(j)}$$
$$+ m^{(i)}C^{(i)T} + C^{(i)}m^{(i)T} - \varepsilon^{(i)}(\varphi^{(i)}(X^{(i)},t)X^T + X\varphi^{(i)T}(X,t)),\ i = \overline{1,S}, \tag{22}$$

trong đó:

$B^{(i)}$ - ma trận các hệ số khuếch tán,

$M^{(i)}(t) = (M^{(i)}_{rq})$ - ma trận $(n \times n)$ chiều với các phần tử

$$M^{(i)}_{rq} = \int x_r x_q \omega^{(i)}(X,t)dX,\ r,q = \overline{1,n}. \tag{23}$$

Từ (6) suy ra các phương trình thuần nhất đối với ma trận các moment bậc hai là:

$$\dot{M}^{(i)} = -A^{(i)}M^{(i)} - M^{(i)}A^{(i)T} - v_iM^{(i)} + \sum_{j=1\neq i}^{S} v_{ji}M^{(j)}$$
$$- \varepsilon^{(i)}(\varphi^{(i)}(X,t)X^T + X\varphi^{(i)T}(X,t)),\ i = \overline{1,S}. \tag{24}$$

Có thể viết lại (9) dưới dạng:

$$\dot{M}^*(t) = -D_2(t)M^*(t) - \varepsilon^*(\bullet), \tag{25}$$

trong đó

$\varepsilon * (\bullet)$ - là vectơ $(s \times n^2)$ chiều, được tạo bởi s các véc tơ n^2 chiều sau:

$$sc\varepsilon^{(i)}(\varphi^{(i)}(X,t)X^T + X\varphi^{(i)T}(X,t)),\ i = \overline{1,S},$$

$M*(t)$ - vectơ $(s \times n^2)$ chiều, có cột tạo nên từ các vectơ $scM^{(i)}(t),\ i = \overline{1,S})$ với $scM^{(i)}(t)$ vectơ n^2 chiều, có cột được tạo nên từ các cột của ma trận $M^{(i)}(t)$,

$D_2(t)$ - ma trận $(sn^2 \times sn^2)$ chiều, có dạng:

$$D_2(t) = \begin{bmatrix} D^{(1)} \times D^{(1)T} - v_1I & v_{21}I & ... & v_{S1}I \\ v_{12}I & D^{(2)} \times D^{(2)T} - v_2I & ... & v_{S2}I \\ ... & ... & ... & \\ v_{1S}I & v_{2S}I & ... & D^{(S)} \times D^{(S)T} - v_SI \end{bmatrix} \tag{26}$$

Ở đây, I - ma trận đơn vị có kích thước tương ứng,

$$D^{(i)} \times D^{(i)T} = I \oplus D^{(i)} + D^{(i)} \oplus I, \tag{27}$$

trong đó, $\oplus$ là kí hiệu phép lấy tích Kroneker các ma trận [1, 2]. Lựa chọn $(s \times n^2)$ số $\gamma^{(i)}_{rp} = \gamma^{(i)}_{pr}$ và $(s \times n^2)$ số khác $\beta^{(i)}_{rp} = \beta^{(i)}_{pr}$ với $i = \overline{1,S}$ sao cho thoả mãn tiêu chuẩn Sylvester [1, 5, 6] :

$$\gamma_{11}^{(i)} > 0;\ \begin{bmatrix} \gamma_{11}^{(i)} & \gamma_{12}^{(i)} \\ \gamma_{21}^{(i)} & \gamma_{22}^{(i)} \end{bmatrix} > 0, ..., \begin{bmatrix} \gamma_{11}^{(i)} & ... & \gamma_{1n}^{(i)} \\ ... & ... & ... \\ \gamma_{n1}^{(i)} & ... & \gamma_{nn}^{(i)} \end{bmatrix} > 0, \tag{28}$$

$$\beta_{11}^{(i)} > 0;\ \begin{bmatrix} \beta_{11}^{(i)} & \beta_{12}^{(i)} \\ \beta_{21}^{(i)} & \beta_{22}^{(i)} \end{bmatrix} > 0, ..., \begin{bmatrix} \beta_{11}^{(i)} & ... & \beta_{1n}^{(i)} \\ ... & ... & ... \\ \beta_{n1}^{(i)} & ... & \beta_{nn}^{(i)} \end{bmatrix} > 0,\ i = \overline{1, S}. \tag{28}$$

Thành lập vectơ γ có $(s \times n^2)$ chiều từ các số $\gamma_{rp}^{(i)}$ và vectơ β có $(s \times n^2)$ chiều từ các số $\beta_{rp}^{(i)}$ với $i = \overline{1, S}$ và $r, p = \overline{1, n}$ tương tự như khi xây dựng vectơ $M * (t)$.

Lấy tích vô hướng phần bên trái và phần bên phải của (10) với véc tơ γ:

$$(M*, \gamma) = -(D_2 M*, \gamma) - (\varepsilon*, \gamma). \tag{29}$$

Sao cho có được $(D_2 M*, \gamma) = (M*, \beta)$ điều này tương đương với:

$$D_2^T \gamma = \beta. \tag{30}$$

Khi đó có thể biểu diễn (29) dưới dạng:

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^{n} \varepsilon^{(i)} \Big(\sum_{r,p=1}^{n} \gamma_{rp}^{(i)} x_r x_p \Big) = -\sum_{i=1}^{S} \varepsilon^{(i)} \Big(\sum_{k,p=1}^{n} \beta_{kp}^{(i)} x_k x_p \Big) - \sum_{i=1}^{S} \varepsilon^{(i)} \Big(\sum_{r,p=1}^{n} \gamma_{rp}^{(i)} (\varphi_r^{(i)} x_p + x_r \varphi_p^{(i)}) \Big). \tag{31}$$

Theo điều kiện Sylvester (28), thì các dạng quân phương $\sum_{r,p=1}^{n} \gamma_{rp}^{(i)} x_r x_p)$; và $\sum_{k,p=1}^{n} \beta_{kp}^{(i)} x_k x_p$ đều xác định dương.

Nếu các tổng S_i

$$S_i = \sum_{k,p=1}^{n} \beta_{kp}^{(i)} x_k x_p + \sum_{r,p=1}^{n} \gamma_{rp}^{(i)} (\varphi_r^{(i)}(X, t) x_p + x_r \varphi_p^{(i)}(X, t)),\ (1 = \overline{1, S}) \tag{32}$$

cũng là hàm xác định dương, thì đạo hàm của tổng các kỳ vọng toán học các thành phần của hàm véc tơ xác định dương $V^T(X, t) = (\sum_{r,p=1}^{n} \gamma_{rp}^{(i)} x_r x_p, ..., \sum\limits_{r,p=1}^{n} \gamma_{rp}^{(s)} x_r x_p$, trong các điều kiện ở trên là âm. Xét hàm $\vartheta(t) = \int\limits_{R^n} V^T(X, t) \omega(X, t | X_0, t_0) dX$, thì theo mệnh đề 1 [7], ta có

$$\lim_{t \to \infty} \vartheta(t) = 0, \tag{33}$$

và hệ sẽ ổn định tiệm cận theo xác suất. Dựa vào kết quả này có thể phát biểu định lý sau.

Định lý 3. *Nếu có thể chỉ ra được các số $\beta_{kp}^{(i)} = \beta_{pk}^{(i)}$ với $i = \overline{1, S}$ và $k, p = \overline{1, n}$ thoả mãn các điều kiện Sylvester (28) thì hệ phương trình:*

$$D_2^T(t)\gamma = \beta \tag{34}$$

sẽ có nghiệm, cũng thoả mãn các điều kiện Sylvester và lúc này hàm

$$S_i = \sum_{k,p=1}^{n} \beta_{kp}^{(i)} x_k x_p + \sum_{r,p=1}^{n} \gamma_{rp}^{(i)} (\varphi_r^{(i)}(X,t)x_p + x_r \varphi_p^{(i)}(X,t)),\ (1 = \overline{1,S}) \tag{35}$$

sẽ xác định dương, và nghiệm của hệ phi tuyến (18) sẽ ổn định.

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất xây dựng tiêu chuẩn ổn định ngẫu nhiên (Định lý 1) cho một lớp hệ điều khiển tuyến tính dừng đa cấu trúc; một tiêu chuẩn ổn định - một điều kiện đủ dưới dạng Định lý 2 cho hệ điều khiển tuyến tính không dừng đa cấu trúc; và một tiêu chuẩn ổn định ngẫu nhiên - một điều kiện đủ (Định lý 3) cho hệ phi tuyến đa cấu trúc dựa trên cơ sở phương pháp trực tiếp của Liapunov.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Y.I. Paraev, *The Introduction Of Statistical Dynamic For Control Process And Filtering*, M.Soviet Radio, 1976.

[2] I.E. Kazakov, V.M. Artemev, *Optimization of Dynamical Systems of Random Structures*, M. Science, 1980.

[3] V.M. Artemev, *The Control in Systems with Time Separate*, Minsk Higher School, 1987.

[4] L. N. Lysenko and Nguyen Tang Cuong, Theoretical and applied aspects of synthesis of multi-structural schemes of recurrent information processing in aircraft navigation systems, *Journal of Theory and Control Systems*, Russian Academy of Sciences, N06-1997.

[5] Benjamin C. Kuo, *Automatic Control Systems*, Prentice - Hall Interational, Inc 1995.

[6] Nguyễn Tăng Cường, Lê Chung, Phạm Ngọc Phúc, *Điều khiển trong không gian trạng thái*, Nhà xuất bản Quân đội Nhân dân, Hà Nội, 2001.

[7] Nguyễn Tăng Cường, Về tính ổn định ngẫu nhiên của hệ điều khiển đa cấu trúc, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **26** (1) (2010).

Nhận bài ngày 24 - 2 - 2010