

ĐIỀU KHIỂN NƠ RON – MỜ HỆ ĐIỆN – CƠ PHI TUYẾN CÓ BIẾN DẠNG ĐÀN HỒI NEURO – FUZZY CONTROL OF NONLINEAR ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH ELASTIC DISTORTIONS

TS. TRẦN ANH DŨNG
Khoa Điện – ĐTTB, Trường ĐHHH

Tóm tắt:

Nghiên cứu các phương pháp xây dựng và huấn luyện các bộ điều khiển mờ - mờ với luật TSK để điều khiển hệ điện – cơ liên kết đàn hồi phi tuyến không dừng có 2 khối. Đánh giá hiệu quả dập tắt các dao động đàn hồi và độ chính xác của điều khiển trong điều kiện các tham số thay đổi và ảnh hưởng của các yếu tố phi tuyến trong đối tượng đàn hồi.

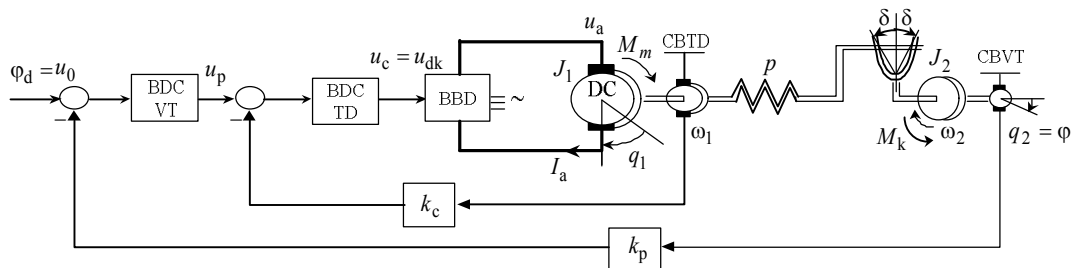
Abstract:

The methods of construction and learning of neuro-fuzzy controllers with TSK rules are researched for control of two-mass nonlinear time-varying elastic electromechanical system. The efficiency of elastic oscillations suppression and the accuracy of control are estimated under conditions of parametric variation and availability of some nonlinearities in elastic object.

1. Đối tượng điều khiển

Hiện nay các hệ điện – cơ phi tuyến nhiều khớp nối với trục hình học kéo dài và có biến dạng đàn hồi chiếm một trong các vị trí dẫn đầu về số lượng trong các máy móc và thiết bị kỹ thuật có độ chính xác và hiệu suất cao. Các hệ điện – cơ này có mặt trong các máy cắt kim loại, cánh tay rô bốt, hệ thống chân vịt tàu thủy, hệ thống pháo, hệ thống ra đa, ăng ten... Bên cạnh đó trong điều kiện khi mà khả năng của phương tiện thiết kế hiện đại và ứng dụng những chất liệu mới với mục đích đạt được độ chính xác và hiệu suất cao cho các hệ điện – cơ phức tạp đã được dùng hết, thì việc tăng hiệu quả làm việc của chúng chỉ có thể đạt được bằng cách sử dụng các phương pháp điều khiển phức tạp hơn, và trong thời gian gần đây các hệ thống điều khiển trí tuệ nhân tạo càng ngày càng được sử dụng rộng rãi hơn.

Xét hệ điện – cơ phi tuyến 2 khối với liên kết đàn hồi có 2 mạch vòng điều chỉnh theo tốc độ của khối thứ nhất và vị trí của khối thứ hai (góc quay của tải) [1], sơ đồ cấu trúc của hệ được minh họa ở hình 1.



Hình 1. Cấu trúc của đối tượng điều khiển

Các ký hiệu trên hình vẽ: DC - động cơ điện 1 chiều, BBD - bộ biến đổi công suất, BDCVT - bộ điều chỉnh vị trí, BDCTD - bộ điều chỉnh tốc độ, CBTD - cảm biến tốc độ, CBVT - cảm biến vị trí.

Nhiệm vụ đặt ra là phải dập tắt các dao động đàn hồi nảy sinh ở trong hệ bằng các phương tiện điều khiển, đồng thời phải tăng tính tác động nhanh cho các quá trình quá độ cho gần bằng với tính tác động nhanh của hệ với liên kết cứng hoàn toàn và các hệ số của các bộ điều chỉnh được tổng hợp theo các tiêu chuẩn tối ưu. Giả thiết rằng hằng số thời gian điện từ của hệ truyền động nhỏ hơn rất nhiều so với hằng số thời gian điện cơ. Khi đó mô hình toán học của hệ điện – cơ đàn hồi với 2 mạch vòng điều chỉnh là hệ phương trình vi phân như sau:

$$\dot{\varphi} = \omega_2; \tag{1}$$

$$\dot{\omega}_2 = \frac{1}{J_2} f_y - \frac{1}{J_2} M_k; \quad (2)$$

$$\dot{m}_y = -p\omega_2 + p\omega_1; \quad (3)$$

$$\dot{\omega}_1 = -\frac{k_m k_y k_p \beta_c \beta_p}{J_1 R_a} \varphi - \frac{1}{J_1} f_y - \frac{k_m (k_e + k_c k_y \beta_c)}{J_1 R_a} \omega_1 + \frac{k_m k_y \beta_c \beta_p}{J_1 R_a} u_\Sigma, \quad (4)$$

trong đó φ – vị trí (góc quay của tải); ω_1, ω_2 – vận tốc quay của khối 1 và khối 2; m_y – mô men đàn hồi khi bỏ qua khe hở; J_1, J_2 – mô men quán tính của khối 1 và khối 2; p – hệ số đàn hồi của liên kết; R_a – điện trở thuần của mạch phản ứng; k_e, k_m – các hằng số được xác định bởi kết cấu của máy điện; k_y – hệ số truyền của bộ biến đổi; k_c – hệ số truyền của cảm biến tốc độ; β_c – hệ số tỉ lệ của bộ điều chỉnh tốc độ; k_p – hệ số truyền của cảm biến vị trí; β_p – hệ số tỉ lệ của bộ điều chỉnh vị trí; f_y – mô men đàn hồi khi tính đến khe hở 2δ trong liên kết đàn hồi,

$$f_y = \begin{cases} m_y - p\delta, & \text{если } m_y \geq p\delta, \\ 0, & \text{если } |m_y| < p\delta, \\ m_y + p\delta, & \text{если } m_y \leq -p\delta; \end{cases} \quad (5)$$

M_k – mô men ma sát khô,

$$M_k = M_{k0} \text{sign} \omega_2, \quad M_{k0} = (0.1 \div 0.3) M_n; \quad (6)$$

M_n – mô men quay định mức của động cơ; u_Σ – tín hiệu điều khiển tổng hợp, $u_\Sigma = u_0 + u_n$; $u_0 = \varphi_d$ – tín hiệu đặt; u_n – tín hiệu điều khiển mà cần phải xác định.

Nói chung các mô men quán tính và hệ số đàn hồi là các đại lượng rất khó xác định, cho nên chúng ta làm gần đúng chúng bằng các giá trị trung bình không đổi nào đó: $J_1 = J_{01}$, $J_2 = J_{02}$, $p = p_0$. Đặt $a_1 = 1/J_{02}$; $a_2 = p_0$; $a_3 = -k_m k_y k_p \beta_c \beta_p / (J_{01} R_a)$; $a_5 = -k_m (k_e + k_c k_y \beta_c) / (J_{01} R_a)$; $a_4 = -1/J_{01}$; $b = k_m k_y \beta_c \beta_p / (J_{01} R_a)$. Khi đó hệ phương trình (1) – (4) được tuyến tính hoá và viết ở dạng ma trận như sau:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{bu}_\Sigma; \quad (7)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & 0 \\ 0 & -a_2 & 0 & a_2 \\ a_3 & 0 & a_4 & a_5 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ b \end{bmatrix}; \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \varphi \\ \omega_2 \\ m_y \\ \omega_1 \end{bmatrix}.$$

Để dập tắt các dao động đàn hồi và đảm bảo tính tác động nhanh cần thiết cho hệ trong điều kiện không xác định của các thông số và sự có mặt của các yếu tố phi tuyến như khe hở và ma sát khô trong bài báo này sử dụng bộ điều khiển mờ ron- mờ. Trong các bộ điều khiển mờ khác nhau thì bộ điều khiển với luật hợp thành TSK (Takagi-Sugeno-Kang) là một trong các bộ điều khiển làm việc hiệu quả nhất.

2. Bộ điều khiển mờ ron - mờ với luật TSK

Sự khác biệt chủ yếu của luật hợp thành TSK được thể hiện ở chỗ là kết luận của luật có dạng phương trình tuyến tính của các biến đầu vào:

$$R_j: \text{nếu } u_1 \text{ là } A_{1j} \text{ và } u_2 \text{ là } A_{2j} \text{ và } \dots \text{ và } u_n \text{ là } A_{nj}, \quad (8)$$

$$\text{thì } y = f_j = b_{0j} + b_{1j}u_1 + b_{2j}u_2 + \dots + b_{nj}u_n,$$

trong đó u_i – các biến đầu vào; y – biến đầu ra; $A_{i,j}$ – giá trị ngôn ngữ của biến đầu vào với hàm thuộc $\mu_{A_{ij}}(u_i)$; b_{ij} – hệ số của phương trình tuyến tính $y = f_j(u_1, u_2, \dots, u_n)$; $j = 1, 2, \dots, m$; $i = 1, 2, \dots, n$.

Để đơn giản hóa chúng ta giả thuyết rằng bộ điều khiển mờ có 2 đầu vào u_1 và u_2 , 1 đầu ra y và có 2 luật hợp thành TSK như sau:

$$R_1: \text{nếu } u_1 \text{ là } A_{11} \text{ và } u_2 \text{ là } A_{21}, \text{ thì } y = f_1 = b_{01} + b_{11}u_1 + b_{21}u_2, \quad (9)$$

$$R_2: \text{nếu } u_1 \text{ là } A_{12} \text{ và } u_2 \text{ là } A_{22}, \text{ thì } y = f_2 = b_{02} + b_{12}u_1 + b_{22}u_2. \quad (10)$$

Đầu ra của bộ điều khiển được xác định bởi công thức:

$$y = \frac{\alpha_1 f_1 + \alpha_2 f_2}{\alpha_1 + \alpha_2}, \quad (11)$$

trong đó α_j – mức độ chân thực của luật R_j , $j = 1, 2$ và được xác định như sau:

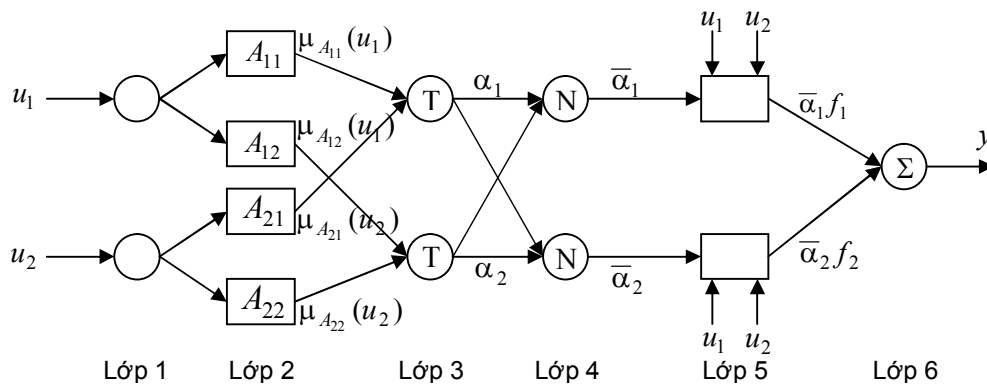
$$\alpha_j = \min(\mu_{A_{1j}}(u_1), \mu_{A_{2j}}(u_2)), \quad j = 1, 2, \quad (12)$$

Cấu trúc của bộ điều khiển mờ được trình bày ở hình 2 và có dạng như một mạng mờ [2]. Mỗi một nút của mạng được đặc trưng bởi một hàm số. Nếu hàm số của nút phụ thuộc vào các thông số của nút thì nó được gọi là nút chỉnh định và được ký hiệu bằng hình chữ nhật. Các thông số của các nút này sẽ được chỉnh định bằng các phương pháp luyện thông số. Nếu hàm số của nút là cố định thì nó được gọi là nút cố định và được ký hiệu bằng hình tròn. Mạng mờ bao gồm có 6 lớp:

- Lớp 1: mỗi nút trong lớp này là nút đầu vào làm nhiệm vụ chuyển tín hiệu từ ngoài đến lớp sau.
- Lớp 2: Mỗi nút trong lớp này có tác động như một hàm thuộc $\mu_{A_{ij}}(u_i)$ và đầu ra của nó xác định mức độ lệ thuộc của biến đầu vào u_i đến tập mờ A_{ij} . Nếu chọn hàm thuộc có dạng quả chuông với giá trị lớn nhất là 1 và nhỏ nhất là 0 thì $\mu_{A_{ij}}(u_i)$ được xác định bằng công thức:

$$\mu_{A_{ij}}(u_i) = \frac{1}{1 + \left| \frac{u_i - c_{ij}}{a_{ij}} \right|^{2\beta_{ij}}}, \quad (13)$$

trong đó $\{c_{ij}, a_{ij}, \beta_{ij}\}$ – các thông số cần phải được chỉnh định. Trên thực tế, bất kỳ một hàm liên tục và vi sai từng đoạn như dạng hình thang hay hình tam giác đều có thể được dùng làm hàm của các nút trong lớp này.



Hình 2. Cấu trúc của bộ điều khiển mờ với luật TSK

- Lớp 3: Mỗi nút trong lớp này được ký hiệu bằng chữ T (T-norm) và thực hiện phép mờ "AND" bằng cách lấy giá trị min đối với các tín hiệu đến, $\alpha_j = \min(\mu_{A_{1j}}(u_1), \mu_{A_{2j}}(u_2))$. Đầu ra của nút là mức chân thực của luật tương ứng. Trên thực tế những phép toán khác của T-norm có thể sử dụng làm hàm của nút, chẳng hạn như phép nhân.

- Lớp 4: mỗi nút trong lớp này được ký hiệu bằng chữ N và tính mức chân thực định mức của luật, như vậy nút thứ j sẽ tính tỉ số giữa mức chân thực của luật thứ j và tổng mức chân thực của tất cả các luật, $\bar{\alpha}_j = \alpha_j / (\alpha_1 + \alpha_2)$.

- Lớp 5: Nút thứ j của lớp này sẽ tính giá trị trọng lượng của luật thứ j

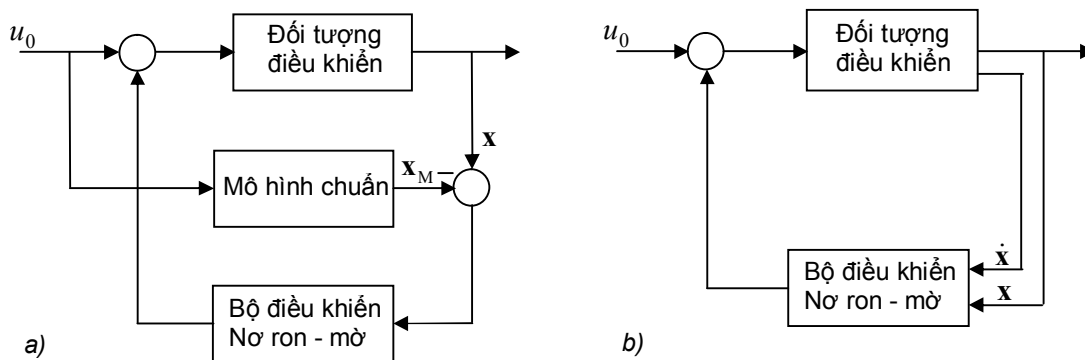
$$\bar{\alpha}_j (b_{0j} + b_{1j}u_1 + b_{2j}u_2) = \bar{\alpha}_j f_j,$$

trong đó $\bar{\alpha}_j$ – đầu ra của lớp 4 và $\{b_{0j}, b_{1j}, b_{2j}\}$ – các thông số cần phải chỉnh định.

- Lớp 6: Nút duy nhất của lớp này được ký hiệu bằng chữ Σ và nó tính tổng của tất cả các tín hiệu đến để nhận được tín hiệu điều khiển đầu ra của bộ điều khiển.

Cấu trúc của mạng nơ ron - mờ trên đây có thể được huấn luyện trên cơ sở thuật toán kép với việc sử dụng phương pháp lan truyền ngược để chỉnh định các thông số của lớp 2 và phương pháp sai số bình phương nhỏ nhất để chỉnh định các thông số của lớp 5.

Chúng ta sẽ xem xét 2 dạng của các hệ nơ ron - mờ điều khiển đối tượng điện - cơ đàn hồi: hệ điều khiển với mô hình chuẩn (hình 3a) và hệ điều khiển với phản hồi trạng thái của đối tượng và vi phân của nó (hình 3b).



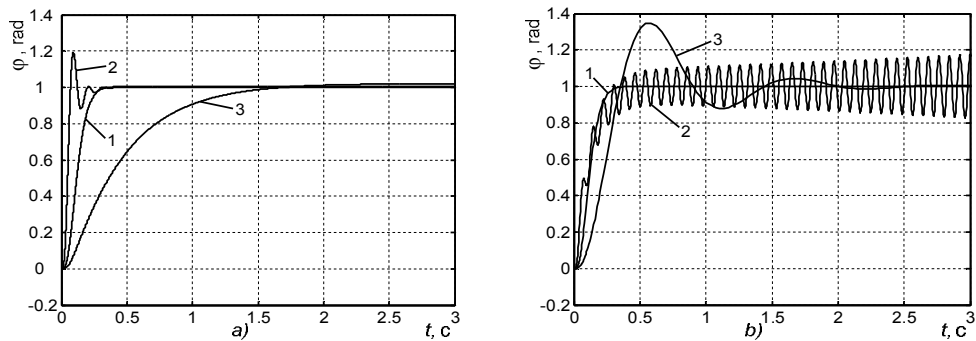
Hình 3. Hệ điều khiển nơ ron - mờ

a - với mô hình chuẩn; b - với phản hồi trạng thái và vi phân của nó

3. Điều khiển nơ ron - mờ hệ điện - cơ đàn hồi có 2 khối với mô hình chuẩn

Mô hình điều khiển này có thể thực hiện được bằng cách đo tất cả các biến trạng thái của đối tượng, hoặc là sử dụng bộ quan sát trạng thái trong trường hợp chỉ đo được một vài biến trạng thái (thông thường đó là tốc độ của động cơ và vị trí của tải).

Việc luyện bộ điều khiển nơ ron - mờ với luật TSK và mô hình chuẩn được thực hiện trên cơ sở dữ liệu của bộ điều khiển thích nghi tín hiệu đối với cùng đối tượng điều khiển đang xem xét [3]. Chương trình luyện bộ điều khiển nơ ron - mờ với luật TSK được xây dựng trên phần mềm Matlab - Simulink. Dữ liệu để luyện nhận được tại đầu vào và đầu ra của bộ điều khiển thích nghi trong quá trình làm việc của nó với các tín hiệu đặt khác nhau và với sự thay đổi các thông số của đối tượng. Sau đó tiến hành mô phỏng trên Matlab - Simulink hệ điều khiển nơ ron - mờ với mô hình chuẩn, với bộ quan sát hoặc không có bộ quan sát. Kết quả khảo sát hiệu quả làm việc của hệ điều khiển nơ ron - mờ có tính thích nghi được so sánh với hiệu quả làm việc của hệ điều khiển modal (điều khiển theo điểm cực cho trước) không có tính thích nghi trong điều kiện thay đổi các thông số của đối tượng.



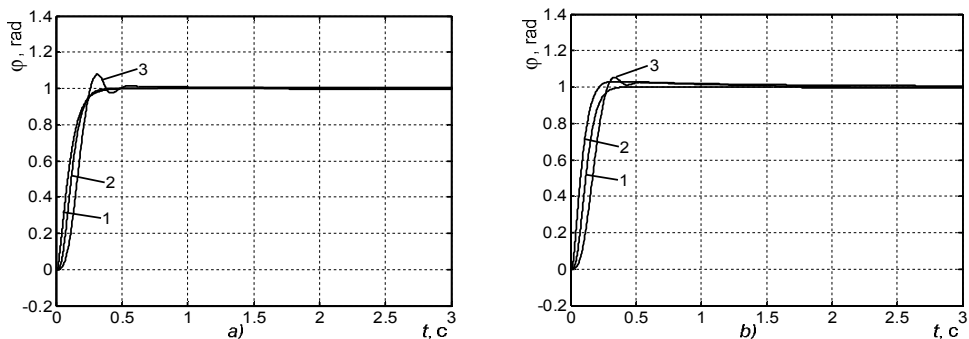
Hình 4. So sánh giữa hệ điều khiển nơ ron - mờ và hệ điều khiển modal

Ví dụ về kết quả khảo sát được trình bày ở hình 4. Trên hình 4a là các quá trình quá độ của góc quay của tải trong hệ điều khiển nơ ron - mờ không sử dụng bộ quan sát với sự thay đổi mô men quán tính của khối 2 J_2 , trong đó đường 1 ứng với $J_2 = J_{02}$; đường 2 ứng với $J_2 = J_{02}/10$; đường 3 ứng với $J_2 = 5J_{02}$. Trên hình 4b là các quá trình quá độ của góc quay của tải trong hệ điều khiển modal không sử dụng bộ quan sát với sự thay đổi mô men quán tính của khối 2 J_2 , trong đó đường 1 ứng với $J_2 = J_{02}$; đường 2 ứng với $J_2 = J_{02}/6.5$; đường 3 ứng với $J_2 = 5J_{02}$.

Kết quả so sánh trên hình 4 chỉ ra rằng hệ điều khiển nơ ron - mờ thực hiện tốt các mục tiêu điều khiển đề ra, trong khi đó hệ điều khiển modal trong cùng điều kiện làm việc lại tỏ ra không có hiệu quả.

4. Điều khiển nơ ron- mờ hệ điện - cơ đàn hồi có 2 khối với phản hồi trạng thái và vi phân

Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng để luyện bộ điều khiển nơ ron - mờ này không cần sử dụng hết tất cả các biến trạng thái và tất cả các vi phân. Trong trường hợp này, các tín hiệu vào của bộ điều khiển nơ ron - mờ được lựa chọn là góc quay của tải, vận tốc quay của khối 2 và vi phân của nó. Trong cấu trúc này, việc luyện bộ điều khiển nơ ron - mờ được thực hiện trên cơ sở bộ điều khiển modal đối với cùng đối tượng điều khiển theo chương trình luyện được xây dựng trên phần mềm Matlab - Simulink. Dữ liệu dùng để luyện nhận được trong quá trình làm việc bộ điều khiển modal với những tín hiệu đặt khác nhau. Các thông số của của bộ điều khiển nơ ron - mờ thu được sau khi luyện được đưa vào chương trình mô phỏng. Kết quả khảo sát hiệu quả làm việc của hệ điều khiển nơ ron - mờ trong điều kiện thay đổi các tham số của đối tượng được đưa ra ở hình 5.



Hình 5. Khảo sát hệ điều khiển nơ ron - mờ với phản hồi trạng thái và vi phân

Trên hình 5a là các quá trình quá độ của góc quay của tải trong hệ điều khiển nơ ron - mờ với sự thay đổi của hệ số đàn hồi p , trong đó đường 1 ứng với $p = p_0$; đường 2 ứng với

$p = 10p_0$; đường 3 ứng với $p = p_0/5$. Trên hình 5b là các quá trình quá độ của góc quay của tải trong hệ điều khiển mờ ron - mờ với sự thay đổi của mô men quán tính của khối $2J_2$, trong đó đường 1 ứng với $J_2 = J_{02}$; đường 2 ứng với $J_2 = J_{02}/10$; đường 3 ứng với $J_2 = 5J_{02}$.

Từ các đặc tính trên hình 5 có thể thấy rằng hệ điều khiển mờ ron - mờ với phản hồi trạng thái và vi phân của nó có hiệu quả tốt hơn nhiều so với hệ điều khiển modal không sử dụng bộ quan sát (xem hình 4b) trong điều kiện thay đổi tham số của đối tượng, mặc dù hệ điều khiển mờ ron - mờ không sử dụng tất cả các biến trạng thái như hệ điều khiển modal.

5. Kết luận

- Hệ điều khiển mờ ron - mờ đối tượng điện - cơ phi tuyến đàn hồi có 2 khối với mô hình chuẩn và không sử dụng bộ quan sát đáp ứng được các mục tiêu điều khiển đề ra trong việc dập tắt dao động đàn hồi và đảm bảo tính tác động nhanh cần thiết trong khoảng thay đổi tham số của đối tượng đến 50 lần. Tuy nhiên để làm được cần phải đo được hết các biến trạng thái của đối tượng bằng các cảm biến, mà điều đó trong một số trường hợp không thể thực hiện được. Trong trường hợp sử dụng bộ quan sát trạng thái thì khoảng thay đổi tham số của đối tượng mà hệ điều khiển mờ ron - mờ vẫn làm việc hiệu quả giảm xuống còn 9 lần. Khả năng ứng dụng của hệ điều khiển mờ ron - mờ với bộ quan sát lớn hơn nhiều do chỉ cần đo tốc độ của khối 1 và vị trí của tải.

- Hệ điều khiển mờ ron - mờ với phản hồi trạng thái và vi phân của nó dùng cho đối tượng điện - cơ phi tuyến đàn hồi có 2 khối cũng làm việc với hiệu quả tốt trong khoảng thay đổi tham số của đối tượng đến 50 lần, tuy nhiên cấu trúc này chỉ có thể ứng dụng được đối với các đối tượng điều khiển mà ở đó có thể đo được tốc độ của cơ cấu thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1]. Путов В. В. - *Адаптивное и модальное управление механическими объектами с упругими деформациями* - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» - 2002.
- [2]. Chin-Teng Lin, C. S. George Lee - *Neural Fuzzy Systems – A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems* - NJ.: Prentice-Hall International, Inc. - 1996.
- [3]. Путов В. В. - *Адаптивное управление динамическими объектами: беспоисковые системы с эталонными моделями* - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» - 2001.

Người phản biện: TS. Trần Sinh Biên