

ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI VỊ TRÍ TRÊN CƠ SỞ KỸ THUẬT VI XỬ LÝ

Phần I: HỆ THỐNG ĐIỀU CHỈNH VỊ TRÍ NHỜ QUAN SÁT VÀ PHẢN HỒI TRẠNG THÁI

PHẠM HUY THÒA

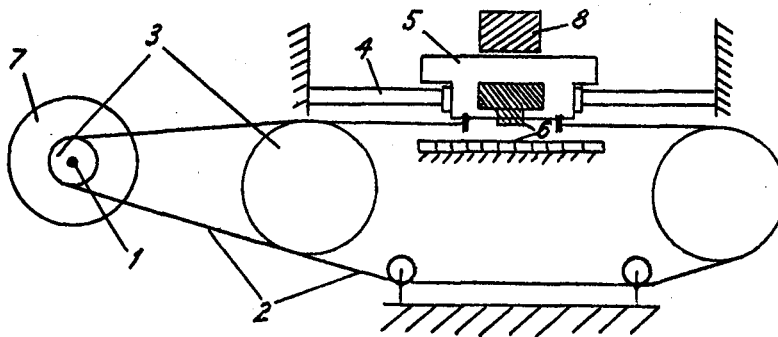
I - ĐẶT VẤN ĐỀ

Điều chỉnh vị trí chiếm một vai trò rất quan trọng trong điều khiển các máy công cụ và rô bốt. Thông thường điều chỉnh vị trí được thực hiện theo nguyên lý xếp tầng [2, 3, 4] trong đó các vòng điều chỉnh dòng phần ứng và tốc độ của động cơ nằm trong được xây dựng bởi các thành phần tương tự, còn vòng điều chỉnh vị trí nằm ngoài được xây dựng trên cơ sở kỹ thuật số và kỹ thuật vi xử lý. Cấu trúc như vậy có một số nhược điểm chính như còn phải sử dụng các mạch tương tự phức tạp, thuật toán điều chỉnh cứng nhắc, khó thay đổi hoặc hiệu chỉnh các thông số điều khiển. Trong nhiều trường hợp ứng dụng, thông số của đối tượng như hệ ma sát, đặc tính tải có thể không xác định được trước một cách chính xác hoặc tải có thể thay đổi trong quá trình hoạt động, việc sử dụng cấu trúc điều khiển trên sẽ khó thay đổi thuật toán và thông số điều khiển để đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định và tối ưu.

Để khắc phục những nhược điểm đó bài báo giới thiệu một hệ điều chỉnh vị trí được xây dựng hoàn toàn trên cơ sở kỹ thuật vi xử lý. Các thuật toán và thông số điều khiển có thể được thay đổi một cách mềm dẻo, dễ dàng. Trong phần I, các thuật toán quan sát và điều chỉnh trạng thái được nghiên cứu và áp dụng để điều chỉnh vị trí của một bàn trượt cụ thể. Ở đây, các thông số của đối tượng được xác định trước và đặc tính tải không thay đổi trong quá trình hoạt động của hệ thống. Các vấn đề như các thông số của đối tượng và tải không biết chắc chắn và có thể thay đổi sẽ được xét tiếp ở phần II dựa trên cơ sở lý thuyết điều khiển thích nghi.

II - ĐỐI TƯỢNG ĐIỀU CHỈNH

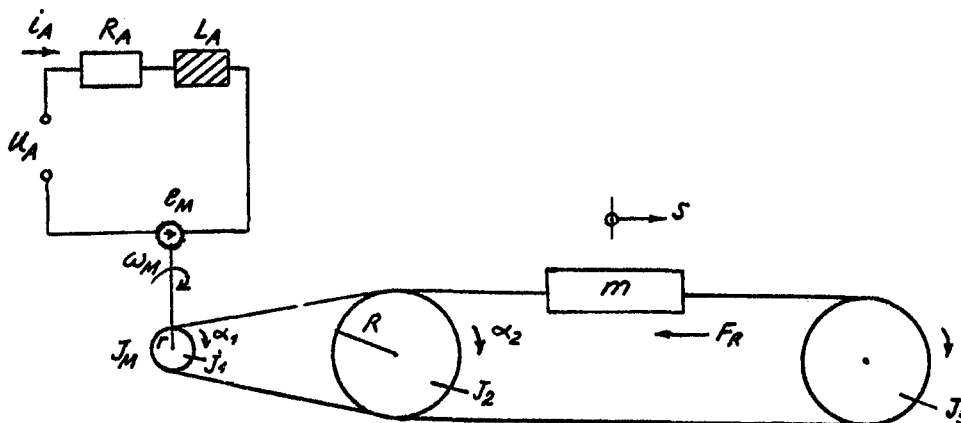
Để thực hiện các phương án điều chỉnh vị trí khác nhau, một đối tượng điều chỉnh đã được xây dựng (hình 1). Đối tượng điều chỉnh là một bàn (20cm x 20cm) trượt trên hai thanh dẫn hướng hình trụ song song có độ dài 1 mét. Bàn được chuyển động nhờ một động cơ điện một chiều có khối lượng rô to nhỏ, mô men khởi động lớn và một hệ thống truyền động qua bánh răng xích chất dẻo với chỉ số truyền 2 : 1 [1]



Hình 1. Sơ đồ mô tả đối tượng điều chỉnh

1. Trục động cơ 2. Xích răng 3. Bánh răng 4. Thanh dẫn hướng
5. Bàn trượt 6. Hệ thống đo vị trí 7. Động cơ 8. Tải

Đề xây dựng các phương trình vi phân mô tả các mối quan hệ vật lý của đối tượng, toàn bộ hệ thống trên có thể được biểu diễn bởi sơ đồ thay thế sau:



Hình 2. Sơ đồ thay thế của đối tượng

R_A : Điện trở phần ứng; L_A : Điện cảm phần ứng; U_A : Điện áp vào động cơ; i_A : dòng điện phần ứng;
 C : Hằng số động cơ; m : Khối lượng bàn + tải; F_R : Lực ma sát; R, r : Bán kính bánh răng; J_M : Mô men quán tính động cơ; $J_1, 2, 3$: Mô men quán tính các bánh răng; B_m : Hằng số damping; k_R : Hệ số ma sát;
 S : Vị trí của bàn; v : Tốc độ chuyển động của bàn.

và bỏ qua các mô men quán tính $J_1, 2, 3$ của các bánh răng (vì chúng rất nhỏ so với mô men quán tính của động cơ và của bàn trượt), đối tượng điều chỉnh có thể được mô tả bởi hệ phương trình vi phân tuyến tính sau:

$$L_A \frac{di_A}{dt} = -R_A i_A - \frac{c}{r} v + u_A \quad (1a)$$

$$(J_M + r^2 m) \frac{dv}{dt} = -(B_m + r^2 k_R) v + c r i_A \quad (1b)$$

$$\frac{ds}{dt} = v \quad (1c)$$

hay có thể viết dưới dạng hệ phương trình trạng thái:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}(t) &= A \mathbf{x}(t) + b u(t) \\ u(t) &= \mathbf{c}^T \mathbf{x}(t) \end{aligned} \quad (2a)$$

trong đó $\mathbf{x}(t)$ là véc tơ trạng thái

$$\mathbf{x}(t) = [i_A(t), v(t), s(t)]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_A}{L_A} & -\frac{c}{r L_A} & 0 \\ \frac{c r}{J_M + r^2 m} & -\frac{B_m + r^2 k_R}{J_M + r^2 m} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_A} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2b)$$

$$\mathbf{c}^T = (0 \quad 0 \quad 0).$$

Để có thể xây dựng hệ điều chỉnh số với phản hồi trạng thái, cần thiết lập mô hình không gian trạng thái rời rạc của đối tượng. Ở đây, thời gian cắt mẫu được chọn đóng một vai trò quan trọng. Một mặt, để tránh mất mát hoặc méo mó thông tin, thì thời gian cắt mẫu cần ngắn như có thể được. Mặt khác, các thuật toán điều chỉnh chiếm thời gian nhất định và phải ngắn hơn thời gian cắt mẫu. Để có điều chỉnh tựa liên tục (quasicontinuous) thì thời gian cắt mẫu cần chọn khoảng 1/10 hàng số thời gian thống trị của hệ thống [7]. Ở đây cần chú ý rằng tần số cắt mẫu cần chọn sao cho đảm bảo tính chất điều khiển được hoàn toàn của hệ thống rời rạc. Trong trường hợp hệ (2) chỉ có các cực thực, thì yêu cầu đó luôn luôn đạt được. Nếu các cực ảo của (2) tồn tại thì cần chọn tần số cắt mẫu theo định lý của Kalman [6].

Với thời gian cắt mẫu T_A và hệ phương trình trạng thái liên tục (2) có thể xác định được hệ phương trình trạng thái rời rạc của đối tượng:

$$\begin{aligned} \underline{x}(k+1) &= P\underline{x}(k) + \underline{q}u(k) \\ y(k) &= \underline{c}^T \underline{x}(k) \end{aligned} \quad (3a)$$

Với

$$P = e^{AT_A} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{T_A^i}{i!} A^i \quad \underline{q} = \int_0^{T_A} e^{A\tau} \underline{b} d\tau = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{T_A^{i+1}}{i+1} \cdot \frac{A^i \underline{b}}{i!} \quad (3b)$$

III - BỘ QUAN SÁT TRẠNG THÁI CỦA ĐỐI TƯỢNG

Nói chung các đại lượng trạng thái: dòng phần ứng, tốc độ và vị trí đều có thể đo được. Nhưng trong nhiều trường hợp ứng dụng hoặc để giảm bớt sự phức tạp hoặc vì lý do kinh tế, các đại lượng trạng thái này không được đo hết. Trong trường hợp đối tượng đang xét chỉ có vị trí bàn trượt là được đo. Các đại lượng trạng thái còn lại của đối tượng được xác định nhờ một bộ quan sát trạng thái. Thuật toán quan sát trạng thái cho đối tượng (3) có thể được mô tả bởi hệ phương trình sau:

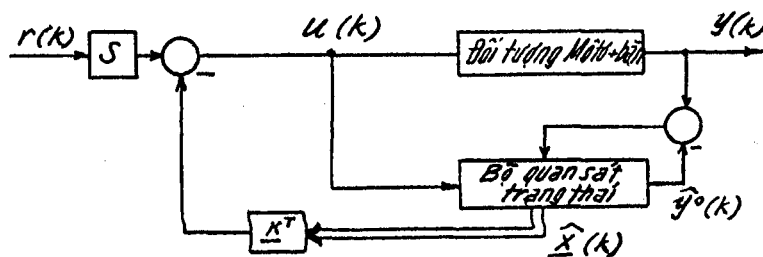
$$\begin{aligned} \hat{\underline{x}}(k+1) &= P\hat{\underline{x}}(k) + \underline{q}u(k) + \underline{f}[y(k+1) - \hat{y}^0(k+1)] \\ \hat{y}^0(k+1) &= \underline{c}^T \hat{\underline{x}}(k+1) \\ \hat{\underline{x}}^0(k+1) &= P\hat{\underline{x}}(k) + \underline{q}u(k), \quad \hat{\underline{x}}^0(0) = \underline{0} \end{aligned} \quad (4)$$

Ở đây $\hat{\underline{x}}^0(k+1)$ là ước lượng trước (a priori) của $\underline{x}(k+1)$ và $\hat{y}^0(k+1)$ là ước lượng trước của đầu ra $y(k+1)$. Véc tơ hệ số khuếch đại \underline{f} có thể được chọn theo lý thuyết lọc tối ưu [5] nếu như nhiều do vị trí đáng kể. Trong trường hợp đối tượng đang xét có thể chọn \underline{f} theo phương pháp cực cho trước.

Các cực của bộ quan sát có thể được chọn tùy ý ứng với véc tơ \underline{f} thích hợp với điều kiện hệ (3) dựng lại được hoàn toàn [5].

IV - THUẬT TOÁN ĐIỀU CHỈNH VỊ TRÍ

Với các trạng thái ước lượng nhờ bộ quan sát (4) có thể xây dựng vòng điều chỉnh vị trí với bộ điều chỉnh trạng thái như ở hình 3.



$$u(k) = -\tilde{K}^T (\tilde{x}^T(k) x_I(k))^T = -\tilde{K}^T \tilde{x}(k) - K_I x_I(k) \quad (10)$$

\tilde{K}^T có thể được xác định theo lý thuyết điều khiển tối ưu bình phương tuyến tính với hàm tiêu chuẩn J:

$$J(u(k)) = \sum_{k=0}^N \{ \tilde{x}^T(k) Q \tilde{x}(k) + R u^2(k) \} \quad (11)$$

Một khả năng khác được sử dụng ở đây để xác định \tilde{K}^T là dùng phương pháp cực cho trước. Phương pháp này đòi hỏi phải cho trước các hệ số hoặc các điểm không của đa thức đặc tính:

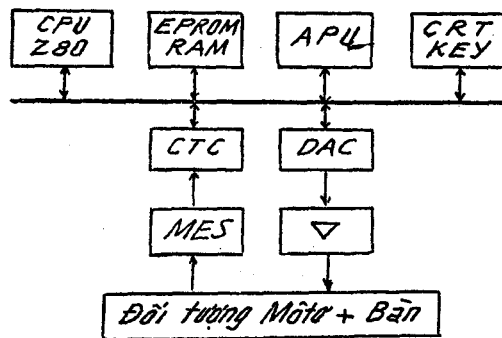
$$P(z) = \det\{zI - \tilde{P} + \tilde{q}\tilde{K}^T\} = z^n + a_{n-1}z^{n-1} + \dots + a_1z + a_0 \quad (12)$$

Đề cho các hệ số của đa thức đặc tính (12) có thể nhận những giá trị bất kỳ theo véc tơ phản hồi \tilde{K}^T , thì điều kiện cần và đủ là tính điều khiển được hoàn toàn của đối tượng. Việc xác định \tilde{K}^T cho hệ điều chỉnh vị trí đang xét (bậc 3) có thể thực hiện một cách dễ dàng trên máy tính số.

V - CẤU TRÚC HỆ ĐIỀU CHỈNH VỊ TRÍ

1. Cấu trúc phần cứng.

Hệ điều chỉnh vị trí được xây dựng trên cơ sở một máy vi tính 8 bits cùng với đầu đo vị trí, khối xử lý tín hiệu đo và khối công suất (hình 5).



Hình 5. Sơ đồ khối hệ điều chỉnh vị trí

- Hệ thống đo MES: Đầu đo vị trí LIDA L50/50 của FA. Heidenhain được sử dụng để đo vị trí của bàn trượt theo phương pháp đo trực tiếp. Các tín hiệu đo được là những cặp xung có biên độ 6V, lệch nhau 1 pha là 90° , được xử lý nhờ một mạch logic để chuyển tín hiệu sang mức TTL, tăng độ nhảy và xác định hướng chuyển động của bàn. Mạch logic tạo ra các xung đếm thuận và ngược cho các bộ đếm CTC có trong hệ vi xử lý. Độ nhảy của hệ thống đo đạt được là 0,025 mm.

- Thiết bị điều chỉnh: Thiết bị điều chỉnh vị trí là một máy vi tính 8 bits với các mô đun chuẩn của hãng Kontron:

. Mô đun trung tâm Z-80 ECB, loại 2,5 MHz.

. Bộ nhớ 16 kB EPROM, 20 kB RAM.

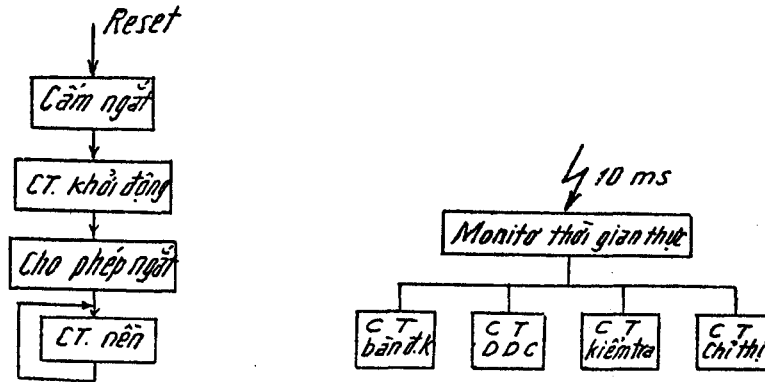
. Mô đun Z80-CTC gồm 2 mạch Z80-CTC dùng để đếm xung đo vị trí và tạo tín hiệu ngắt ở chế độ thời gian thực.

. Đơn vị xử lý số học APU: sử dụng bộ xử lý số học Am 9511 của hãng Advanced Microdevices để thực hiện các phép tính số học nhanh trong thuật toán điều chỉnh vị trí.

. Mô đun biến đổi số - tương tự: sử dụng bộ biến đổi Đ/A 12 bits loại MN 563. JA để đưa các tín hiệu điều khiển tương tự ra bộ khuếch đại công suất bán dẫn Axodyn trước khi tới động cơ.

2. Cấu trúc phần mềm.

Phần mềm của hệ điều chỉnh vị trí được chia làm 2 khối chính: khối chương trình khởi động, chương trình nền và khối chương trình thời gian thực (hình 6). Sau khi có tín hiệu khởi động lại hệ thống (Reset), chương trình khởi động xóa các vùng nhớ RAM, đặt các giá trị vị trí yêu cầu, các giá trị giới hạn các thông số của bộ điều chỉnh, với các giá trị ban đầu. Chương trình nền chỉ là một vòng chờ đơn giản.



Hình 6. Cấu trúc phần mềm hệ điều chỉnh vị trí

Khối chương trình thời gian thực bao gồm các mô đun như chương trình bần điều khiển, chương trình DDC, chương trình kiểm tra, chỉ thị kết quả. Chúng được quản trị bởi một monitor thời gian thực [7]. Chương trình DDC thực chất là chương trình điều khiển vị trí bao gồm các mô đun chương trình con: Đọc số liệu đo từ CTC, thuật toán quan sát, thuật toán điều chỉnh trạng thái và đưa đại lượng điều khiển ra DAC.

VI - KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Các thí nghiệm điều chỉnh vị trí được thực hiện với các thông số sau của đối tượng:

$L_A = 10 \text{ mH}$, $R_A = 0,73 \text{ W}$, $J_M = 1855 \text{ gcm}^2$, $I_{AN} = 4,7 \text{ A}$, $U_{AN} = 12 \text{ V}$, $n_N = 1270 \text{ U/min}$, $R = 24 \text{ mm}$, $r = 12 \text{ mm}$, $m_s = 3,48 \text{ kg}$, $K_v = 1,3$, $K_{DA} = 0,004828$, $k_R = 8,133 \text{ Nsm}^{-1}$, $B_m = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2/\text{s}$, $T_A = 10 \text{ ms}$.

Vì L_A rất nhỏ, có thể bỏ qua được, nên ta có:

$$P = \begin{bmatrix} 0,9649 & 0 \\ 0,01 & 1 \end{bmatrix} \quad q = \begin{bmatrix} 1,8275 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$c^T = [0 \quad 1], \quad x = [v \quad s]^T$$

Với $f = [1,97 \quad 0,286]^T$, $K^T = [0,071 \quad 0,248]$

ứng với các cực của bộ quan sát được chọn $Z_{b1} = Z_{b2} = 0,839$ và các cực của hệ kín $Z_1 = 0,9655$, $Z_2 = 0,869$, và từ (8):

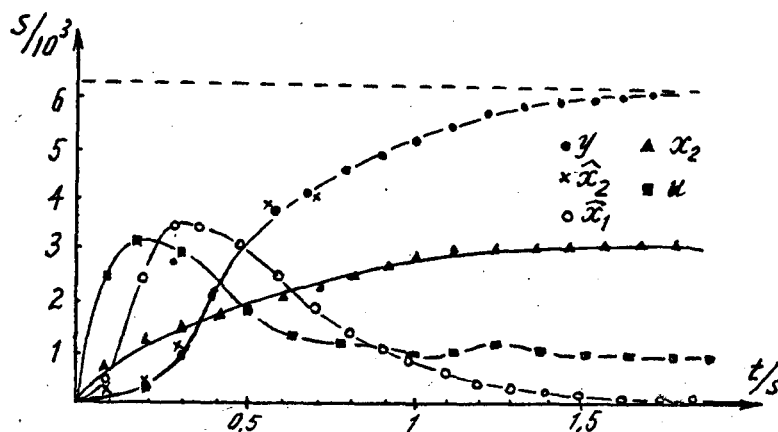
$$\tilde{p} = \begin{bmatrix} 0,9649 & 0 & 0 \\ 0,01 & 1 & 0 \\ 0 & 0,01 & 1 \end{bmatrix} \quad \tilde{q} = \begin{bmatrix} 1,8275 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\tilde{c}^T = [0 \quad 1 \quad 0] \quad \tilde{x} = [v \quad s \quad x_I]^T$$

với $\tilde{K}^T = [0,0738 \quad 0,507 \quad 0,8666]$ ứng với các cực được chọn $Z_1 = 0,9655$, $Z_2 = Z_3 = 0,9322$.

ch $nZ_1=0,96$

Các kết quả thí nghiệm cho thấy điều chỉnh vị trí nhờ quan sát và phản hồi trạng thái được xây dựng trên cơ sở kỹ thuật vi xử lý đã cho những kết quả tốt ở trả lời bước nhảy của giá trị yêu cầu và của nhiễu (khi tác động thêm vào bàn một lực bên ngoài). Trong trường hợp phản hồi trạng thái đơn giản (13) còn tồn tại sai lệch tĩnh ($\varepsilon < 0,2 \text{ mm}$) mà nguyên nhân chủ yếu sinh ra là hệ số ma sát của bàn trượt không phải là hằng số cố định. Sai lệch vị trí này bị triệt tiêu trong hệ điều chỉnh vị trí phản hồi trạng mở rộng (14). Các đại lượng trạng thái quan sát, đầu ra và đại lượng điều khiển đối với bước nhảy của giá trị yêu cầu $r = 63001$ (157,5 mm) được biểu diễn ở hình 7:



Hình 7: Trả lời bước nhảy của giá trị yêu cầu

Bàn trượt đạt được giá trị yêu cầu $r = 157,5 \text{ mm}$, sau thời gian 1,6 s và vị trí bàn không có dao động.

Khi thay đổi khối lượng tải m thì các cực của hệ thống kín sẽ sai lệch với các cực chọn trước. Chẳng hạn nếu tăng m khoảng 5% thì các cực của hệ thống kín sẽ là $Z_1 = 0,967$, $Z_{2,3} = 0,9358 \pm j 0,0284$ và vị trí của bàn có dao động không mong muốn trong trả lời bước nhảy yêu cầu.

VII - KẾT LUẬN

Điều chỉnh vị trí trên cơ sở kỹ thuật vi xử lý rất mềm dẻo, linh hoạt. Việc thay đổi các thuật điều chỉnh và thông số của bộ điều chỉnh có thể được thực hiện một cách dễ dàng. Thuật toán điều chỉnh vị trí với quan sát và phản hồi trạng thái mở rộng cho phép hệ điều chỉnh vị trí không cần thiết phải đo hết các đại lượng trạng thái như dòng điện phần ứng và tốc độ bàn trượt mà vẫn đảm bảo kết quả tốt. Tuy nhiên, một số vấn đề khác trong điều chỉnh vị trí như chưa biết chắc chắn các thông số của đối tượng (hệ số ma sát...) và quán tính tải sẽ được tiếp tục nghiên cứu ở phần II.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Huy Thóa: Positionierung eines Schlittens mit Beobachter mittels des Mikrorechners, Bericht, Laboratorium für Steuerungs- und Regelungstechnik, TU München, 1983.
2. Phạm Huy Thóa và một số tác giả: Điều khiển máy công cụ trên cơ sở vi xử lý, Tạp chí KHKT (đã nhận đăng) 1989.
3. M. Zecha: Industrierobotersteuerungen, msr, 5/1983.
4. Luh: Conventional Controller Design for Industrial Robots, IEEE Trans. on SMC, SMC - 13, No.3, 1983.
5. H. Schwarz: Optimale Regelung und Filterung Akademie Verlag, Berlin 1981.
6. Johnson, Aylor: Design of an adaptive Controller for Microcomputer Implementation, IEEE Trans. on Industrial Electronics, IE-33, No. 1, 1986.
7. Birck: Kompaktregler mit Mikrorechner - Bausteinen, Dissertation, TU München, 1977.

ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI ... (Tiếp trang 16)

ABSTRACT

ADAPTIVE POSITION CONTROL BASED ON MICROCOMPUTER

Part I: Position control system with the state vector Observer and the state variable feedback controller.

In order to investigate different position control algorithms for numerical controlled machines and robots, a positional control system was built on the base of a microcomputer. In Part I, the paper presents the observer algorithm for state variable estimation and the state variable feedback control algorithm applied to the position control of a particular machine-table. With the hardware and software structure of the microcomputer based digital system described in this paper different control algorithms can be realized flexibly. The position control problem for the plant with variations or uncertainties of parameters and load characteristics will be reported in part II.