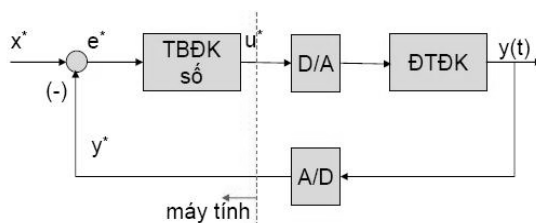


NGHIÊN CỨU THUẬT TOÁN VÀ MẠCH CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỐC ĐỘ QUAY TRONG MÁY MÀI NGHIÊN CHI TIẾT QUANG *CNC MB-250*

NGUYỄN TRỌNG HÙNG, VŨ DUY ĐỨC, PHẠM QUỐC HẢI, NGUYỄN VĂN VÕ

1. MỞ ĐẦU

Hệ thống điều khiển số là hệ thống mà trong đó có ít nhất một tín hiệu được truyền dưới dạng số hóa (xung, số, □).



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển số

Một hệ thống điều khiển số thông thường được mô hình hóa theo sơ đồ khối như hình 1 bao gồm:

- Thiết bị điều khiển số (*TBĐK số*): máy tính điều khiển hệ thống qua các phần mềm xử lý tín hiệu; vi điều khiển tính toán xử lý tín hiệu theo chương trình được nạp vào trong *Chip* điều khiển và được gọi là phần cứng của hệ thống điều khiển.

- Đối tượng điều khiển (*ĐTĐK*): là các đối tượng tác động mà hệ thống điều khiển hướng tới.

- Các bộ chuyển đổi tín hiệu Số - Tương tự (*D/A*) và ngược lại Tương tự - Số (*A/D*).

Ưu điểm của các hệ thống điều khiển số là có khả năng điều khiển chính xác, tốc độ đáp ứng - phản hồi nhanh, độ ổn định và năng suất cao. Do đó, điều khiển số ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực của khoa học - công nghệ. Riêng trong lĩnh vực cơ khí, thì điều khiển số được đưa vào điều khiển quá trình hoạt động của các máy công cụ, máy gia công và được gọi là máy điều khiển số *CNC* (*Computer Numerical Control*).

Việc nghiên cứu thuật toán, chương trình, mạch và truyền thông điều khiển là vấn đề cần thiết và phức tạp khi nghiên cứu các hệ thống điều khiển số trong lĩnh vực cơ khí - Tự động hóa hiện nay.

Trong bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về thuật toán, chương trình và mạch của hệ thống điều khiển tốc độ quay trong máy mài nghiên chi tiết quang *CNC MB-250*.

2. CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Điều khiển động cơ DC *Servo* một chiều bằng thuật toán

Trong hệ thống điều khiển động cơ bằng thuật toán *PID* phương trình điều khiển có dạng:

$$U(n) = \frac{K_p \cdot e(n) + K_i \cdot T \cdot \sum_{n=0}^n e(n) + K_d}{T \cdot S \cdot [e(n) - e(n-0)]}$$

trong đó: K_p - Hệ số tỉ lệ; K_i - Hệ số tích phân; K_d - Hệ số vi phân; S - Biến đổi Laplace của tín hiệu đầu vào; $U(n)$ - Tín hiệu điều chỉnh theo sai số; $e(n)$ - Sai số tại thời điểm T .

Theo phương pháp điều khiển bằng *PID* hàm mục tiêu của hệ thống điều khiển chính xác tốc độ hay vị trí là đưa tín hiệu điều chỉnh $U(n)$ về giá trị bằng không.

Chất lượng hệ thống phụ thuộc vào các tham số K_p , K_i , K_d . Vì vậy, bài toán điều khiển động cơ trở thành bài toán tìm các giá trị hệ số K hợp lý để hệ có thể hoạt động ổn định với tiêu chí ổn định theo tốc độ.

Phương pháp điều chỉnh tham số của vòng lặp điều khiển PID như sau:

Một phương pháp cổ điển nhưng đơn giản và hiệu quả để chỉnh định ba thông số K_p , K_i và K_d của bộ điều khiển *PID* là phương pháp *Ziegler-Nichols* (*Ziegler Nichols Tuning Method*).

Thủ tục chỉnh định như sau:

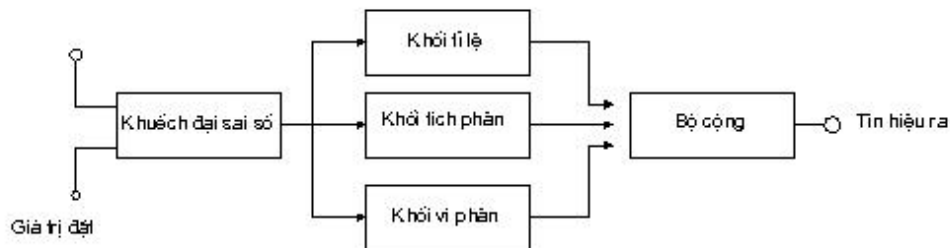
- Chỉ điều khiển hệ thống bằng bộ điều khiển tỉ lệ K_p (đặt $K_i = K_d = 0$).
- Tăng K_p đến giá trị K_C mà ở đó hệ thống bắt đầu mất ổn định (bắt đầu xuất hiện dao động - điểm cực của hàm truyền kín nằm trên trục ảo $j\omega$).

Xác định tần số ω_c của dao động vừa đạt.

Từ hai giá trị K_C và ω_c vừa đạt, các thông số K_p , K_i và K_d được xác định như bảng sau:

| Bộ điều khiển | K_p | K_i | K_D |
|--------------------------|------------|----------------------|------------------------|
| P (tỉ lệ) | $0.5 K_C$ | | |
| PI (tích phân tỉ lệ) | $0.45 K_C$ | $0.191 K_p \omega_c$ | |
| PID (vi tích phân tỉ lệ) | $0.6 K_C$ | $0.318 K_p \omega_c$ | $0.785 K_p / \omega_c$ |
| PID với một ít vọt lố | $0.33 K_C$ | $0.318 K_p \omega_c$ | $2.07 K_p / \omega_c$ |
| PID không vọt lố | $0.2 K_C$ | $0.53 K_p \omega_c$ | $3.14 K_p / \omega_c$ |

- Tinh chỉnh lại ba thông số này để đạt được đáp ứng như mong muốn.



Hình 2. Sơ đồ biểu diễn phương pháp điều khiển động cơ bằng thuật toán *PID*

2.2. Thuật toán PID

- Luật điều khiển tỉ lệ (P)

Tín hiệu điều khiển trong quy luật tỉ lệ (P) được xác định theo công thức:

$$U(t) = k_p \cdot e(t)$$

trong đó: k_p - Hệ số khuếch đại; $U(t)$ - Tín hiệu ra (*Output*); $e(t)$ - Tín hiệu đầu vào (*Setpoint*).

Theo tính chất của khâu khuếch đại thì tín hiệu ra luôn trùng pha với tín hiệu vào, điều này cho thấy khâu tỷ lệ có tốc độ tác động nhanh và ổn định có thể tác động trên nhiều đối tượng.

Tuy nhiên, quy luật tỷ lệ cũng có một nhược điểm cơ bản đó là khi dùng với các đối tượng tĩnh hệ thống điều chỉnh luôn tồn tại sai lệch tĩnh và không thể dùng trong các hệ thống điều chỉnh theo chương trình. Để giảm sai lệch tĩnh ta phải tăng hệ số khuếch đại nhưng điều này làm hệ thống dao động tăng có thể dẫn đến mất ổn định.

- Luật điều khiển Tích phân (I)

Trong quy luật tích phân tín hiệu điều khiển được xác định theo công thức:

$$U(t) = k \int e(t) dt = \frac{1}{T_i} \int e(t) dt$$

trong đó: T_i - Hằng số thời gian tích phân.

Từ công thức trên thấy rằng, giá trị $U(t)$ chỉ đạt giá trị xác lập (quá trình điều khiển kết thúc) khi $e(t) = 0$. Như vậy, ưu điểm của quy luật tích phân là triệt tiêu được sai lệch tĩnh.

Xét đặc tính của khâu tích phân, tín hiệu ra luôn luôn chậm pha so với tín hiệu vào một góc $\pi/2$, điều này nói lên sự tác động chậm của quy luật tích phân. Do sự tác động chậm mà trong công nghiệp hệ thống điều chỉnh tự động sử dụng quy luật tích phân kém ổn định do đó nó ít được sử dụng độc lập và thường đi cùng với bộ điều khiển khác.

- Luật điều khiển vi phân (D)

Tác động điều khiển được xác định theo công thức sau:

$$U(t) = t_D \frac{de(t)}{dt} = k_D \frac{de(t)}{dt}$$

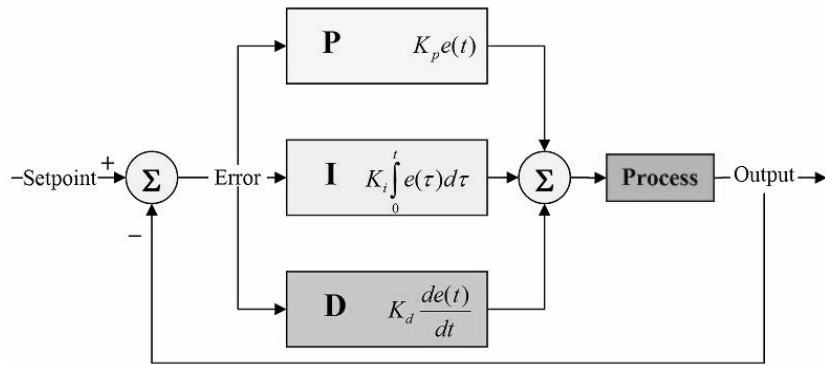
Với quy luật này tín hiệu ra được xác định bằng vi phân của tín hiệu vào nhằm làm tăng tốc độ tác động của quá trình, rút ngắn được thời gian quá độ. Nhưng nó lại có độ quá điều chỉnh lớn và phản ứng với nhiễu ở tần số cao.

Một điều quan trọng cần chú ý là bộ điều khiển vi phân D không thể dùng độc lập, vì nó không đáp ứng được sai số ở chế độ xác lập, nó cần được sử dụng với tổ hợp các dạng điều khiển khác như tỷ lệ và tích phân.

- Bộ điều khiển Tỷ lệ - Tích phân - Vi phân (PID)

Người ta thấy rằng, các bộ điều khiển Tỷ lệ - Tích phân, hoặc Tỷ lệ - Vi phân đáp ứng được phần nào yêu cầu chất lượng của một bộ điều khiển, tuy nhiên chúng có một số nhược điểm. Để thỏa mãn yêu cầu chất lượng điều khiển, trong thực tế người ta thường sử dụng bộ điều khiển Tỷ lệ (P) - Tích phân (I) - Vi phân (D) và gọi là bộ điều khiển PID . Bộ điều khiển PID tổng hợp các ưu điểm của từng bộ điều khiển thành phần P , I , D .

Sau đây ta sẽ nghiên cứu về bộ điều khiển PID mắc song song với nhau theo sơ đồ sau:



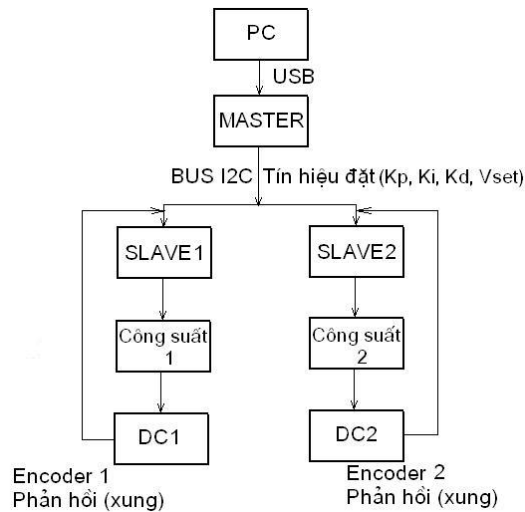
Hình 3. Bộ điều khiển PID mắc song song

3. THUẬT TOÁN VÀ MẠCH ĐIỆN CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

3.1. Sơ đồ khối

Sơ đồ khối của hệ thống điều khiển của máy mài nghiền chi tiết quang được trình bày trên hình 4.

Tín hiệu điều khiển tốc độ quay của trục công tác và trục tay quay, được truyền tới *Master* qua *Bus I2C*. Ở đây, các tín hiệu đặt (K_p, K_i, K_d, V_{set}) được truyền tới các *Slaver 1* và *Slaver 2*, qua các khối công suất 1 và khối công suất 2, tín hiệu điều khiển các động cơ *DC Servo 1* và *DC Servo 2*, điều khiển các trục công tác và trục tay quay theo giá trị yêu cầu của chế độ công nghệ, đồng thời đạt được hệ số tỷ số truyền mong muốn, để điều chỉnh chương trình động học mài nghiền, nhằm nâng cao độ chính xác tạo hình bề mặt và năng suất gia công.



Hình 4. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển tốc độ quay của máy *CNC MB-250*.

3.2. Thuật toán điều khiển

Các thuật toán điều khiển của *module Master* và *module Slave* của máy mài nghiền chi tiết quang *CNC MB-250* được chỉ dẫn trên hình 5 và 6.

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên xây dựng được chương trình và giao diện điều khiển tốc độ quay hai trục công tác và tay quay của máy mài nghiền chi tiết quang *CNC MB-250*. Trong đó, sử dụng thuật toán *PID* để nâng cao độ chính xác điều khiển đáp ứng yêu cầu của công nghệ gia công (hình 7).

3.3. Thiết kế các mạch điện tử

Mạch điện tử của hệ thống điều khiển số gồm có: mạch *module Master* và *module Slave*. Trong đó, *module Slave* gồm khối xử lý chính và khối khuếch đại công suất.

- Mạch *module Master*

Các thành phần và chức năng của linh kiện chính trong mạch:

- + Vi điều khiển *PIC18F4550* - bộ xử lý trung tâm.
- + Ngõ giao tiếp nối tiếp để vi điều khiển giao tiếp với mạch nạp chương trình điều khiển.
- + Cổng giao tiếp *I2C* để giao tiếp với các *Slave module*.
- + Các nút bấm phục vụ việc nhận lệnh từ người điều khiển.
- + Giao tiếp cổng *Com*.
- + Có hiển thị *LCD*.

- Mạch *module Slave*

Gồm hai khối: xử lý chính và khuếch đại công suất.

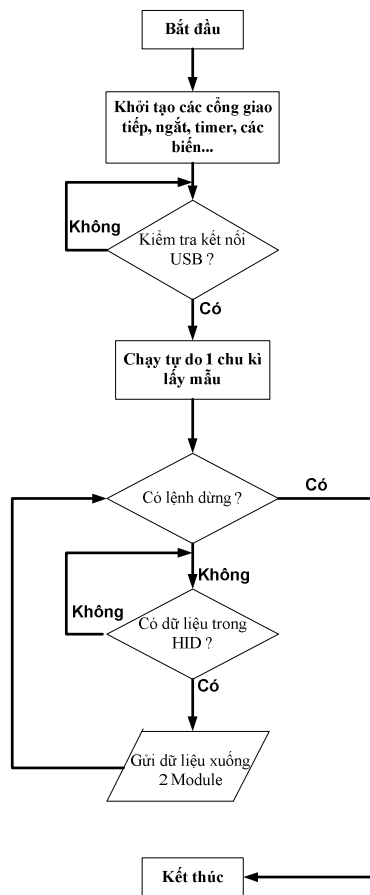
+ Khối xử lý chính:

- Vi điều khiển *PIC16F877A* - bộ xử lý của riêng *module Slave*.
- Ngõ giao tiếp nối tiếp để giao tiếp với mạch nạp.
- Ngõ giao tiếp *I2C* để giao tiếp với vi điều khiển của *module Master*.
- Ngõ nối với *Encoder* để đọc tín hiệu hồi tiếp, có một *IC flip-flop* để đệm tín hiệu từ *Encoder*.

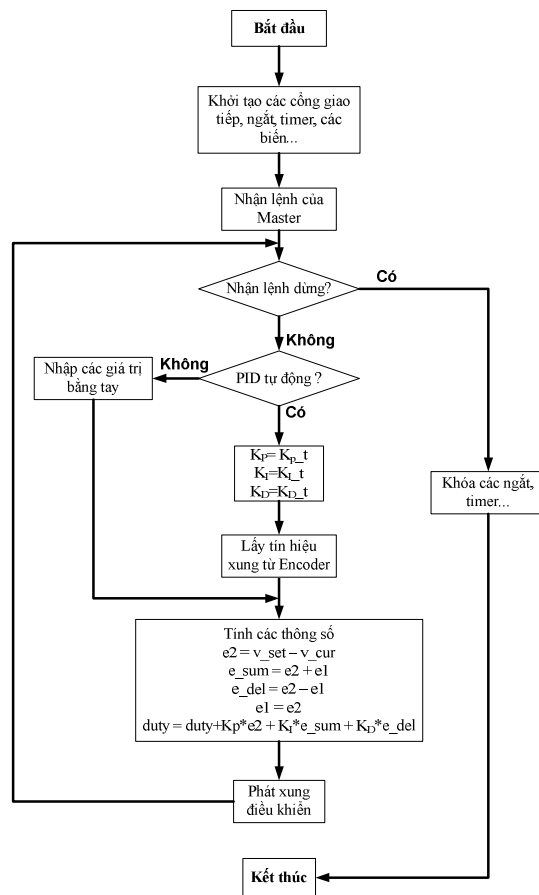
+ Khối khuếch đại công suất:

- *Chip* điều khiển động cơ
- Ba *Opto* để cách ly các ngõ vào của *Chip* điều khiển động cơ, bảo vệ phần mạch phía trước.
- Các cổng *Logic* để nắn tín hiệu cho ngõ vào *PWM*.

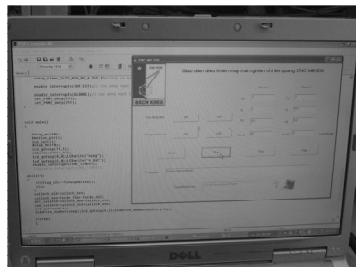
Các mạch *Master*, *Slave* và công suất được tích hợp với máy tính qua truyền thông *USB* (hình 8).



Hình 5. Thuật toán điều khiển module Master.



Hình 6. Thuật toán điều khiển module Slave.



Hình 7. Chương trình và giao diện điều khiển của máy mài nghiên CNC MB-250.



Hình 8. Tích hợp các mạch Master, Slave và công suất với máy tính.

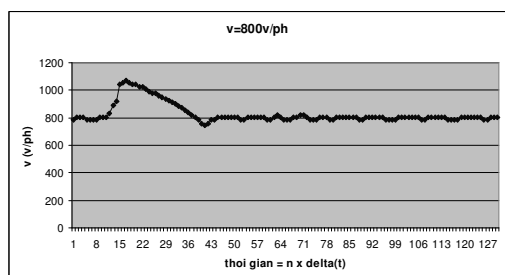
4. ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH THỰC NGHIỆM ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

4.1. Các đường đặc tính thực nghiệm

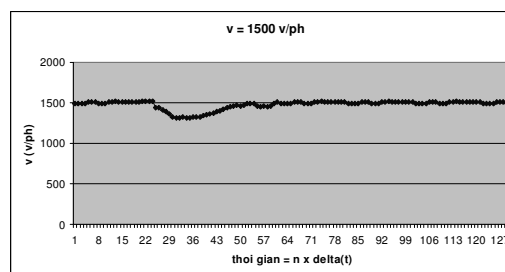
Đường đặc tính thực nghiệm đánh giá chất lượng của hệ thống điều khiển, được xác định từ các dữ liệu được lưu trữ trên máy tính trong quá trình điều khiển tốc độ quay hai trục.

- Chế độ hoạt động với tốc độ quay của trục động cơ $v = 800$ v/ph (hình 9): hệ thống đang có tải và sau đó dỡ tải, sai số vận tốc điều chỉnh 14 - 16 v/ph. Hệ thống ổn định sau thời gian 40 chu kỳ lấy tín hiệu ($\Delta t = 58,59375$).

- Chế độ hoạt động với tốc độ quay của trục động cơ $v = 1500$ v/ph (hình 10): hệ thống đang chạy có tải ổn định rồi dỡ tải, nhưng có thời gian ổn định nhanh hơn so với chế độ hoạt động khi tốc độ quay của trục động cơ là 800 v/ph. Còn hệ thống đang chạy không tải đột ngột tăng tải, thì tốc độ giảm, sau đó ổn định với sai số vận tốc điều chỉnh 14 - 16 v/ph. Hệ thống ổn định sau thời gian 40 chu kỳ lấy tín hiệu ($\Delta t = 58,59375$).



Hình 9. Đường đặc tính thực nghiệm điều khiển tốc độ với $v = 800$ v/ph



Hình 10. Đường đặc tính thực nghiệm điều khiển tốc độ với $v = 1500$ v/ph

Trong đó: Thời gian thực điều khiển = số chu kỳ lấy mẫu x thời gian một chu kỳ (60 ms).

4.2. Thông số kĩ thuật của hệ thống điều khiển

Các thông số kĩ thuật của hệ thống điều khiển tốc độ quay gồm: Độ quá hiệu chỉnh, sai lệch tĩnh và thời gian quá độ. Các thông số này được xác định từ thực nghiệm nhờ bảng số liệu lưu trên máy tính trong quá trình điều khiển tốc độ hai trục quay và xem hình 9 và hình 10 ta có:

- Độ quá hiệu chỉnh: 30%;
- Sai lệch tĩnh: 16 vòng/phút;
- Thời gian quá độ: $40 \times \Delta t = 2400$ ms.

Từ các kết quả này cho thấy rằng, hệ thống đảm bảo độ chính xác điều khiển tốc độ quay của hai trục, đáp ứng yêu cầu kĩ thuật của máy mài nghiên chi tiết quang CNC MB-250.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. John A. Shaw - The PID Control Algorithm - How it works, how to tune it, and how to use it, 2nd Edition (ebook), 2003.
2. Nguyễn Trọng Hùng, Bùi Bá Chính, Phan Văn Bình - Nghiên cứu hệ thống điều khiển số dịch chuyển quay và ứng dụng trong máy mài nghiên NC MB-250, Tạp chí Khoa học và Công nghệ các Trường Đại học kỹ thuật (63) (2008) 38-42.
3. Nguyễn Trọng Hùng, Bùi Bá Chính, Phan Văn Bình - Về một giải pháp số hoá máy mài nghiên chi tiết quang, Tạp chí Khoa học và Công nghệ các Trường Đại học kỹ thuật (65) (2008) 59-64.

4. Nguyễn Trọng Hùng - *Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo mô hình máy mài nghiền chi tiết quang điều khiển số NC MB-250*, Báo cáo tổng kết đề tài KH&CN cấp Bộ, mã số B2008-01-188, Bộ GD & ĐT, Hà Nội 12/2009.

SUMMARY

RESEARCH ALGORITHM AND CIRCUIT OF NUMERICAL CONTROL SYSTEM IN THE OPTICAL GRINDING MACHINE *CNC MB-250*

This paper presents some research's results on algorithms, programming, and communication of rotation speed controller system that is used in CNC grinding machine MB-250. Digital control system uses a method of controlling the negative voltage DC servo motors, the PID algorithm, microcontroller PIC 16F877A and PIC 18F4550. The spindle speed control program is transmitted from the computer through USB communication via the *master* and *slave*, with feed-back loop, improving the precision controls to achieve the technology's requirements.

With the success of research results, creating the ability to complete the design and manufacture of digital control systems as models of industrial use in order to integrate more CNC optical grinding machine.

Địa chỉ:

Nhận bài ngày 15 tháng 6 năm 2009

Nguyễn Trọng Hùng,
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên.
Vũ Duy Đức,
Trường Đại học Giao thông vận tải.
Phạm Quốc Hải, Nguyễn Văn Võ,
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.