

NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ TỐC ĐỘ QUAY CNC THEO PHƯƠNG PHÁP TÍCH HỢP HAI MẠCH VÒNG

Nguyễn Trọng Hùng^{1,*}, Nguyễn Văn Võ², Phan Văn Bình²

¹Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên

²Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: ntHung.utehy@gmail.com

Đến Tòa soạn: 17/12/2011; Chấp nhận đăng: 22/3/2013

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hệ thống điều khiển số tốc độ quay CNC theo phương pháp tích hợp hai mạch vòng, điều khiển âm điện áp phản ứng và dòng điện động cơ DC Servo, dùng thuật toán PID, các vi điều khiển PIC 18F4550, PIC 16F877A. Chương trình điều khiển tốc độ hai trục quay được truyền từ máy tính nhờ truyền thông USB tới mạch Master và Slave. Hệ thống này đảm bảo điều chỉnh tốc độ quay ổn định do thay đổi tải khi cắt gọt vật liệu trong quá trình gia công trên các máy CNC.

Với thành công của kết quả nghiên cứu, tạo ra khả năng hoàn chỉnh thiết kế, chế tạo hệ thống điều khiển số dạng mô hình công nghiệp, dùng để tích hợp trong máy gia công cơ khí CNC.

Từ khoá: digital controllers system for CNC, DC Servo motor, use PID algorithm and the PIC 18F4550, PIC 16F877A microcontroller.

1. MỞ ĐẦU

Công nghệ điều khiển số là lĩnh vực liên quan tới nhiều ngành như cơ khí, tự động hóa, điện - điện tử và tin học. Việc nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hệ thống điều khiển số tốc độ quay, để tích hợp trong các máy gia công CNC là vấn đề đặt ra hết sức cần thiết trong lĩnh vực Cơ khí - Tự động hoá.

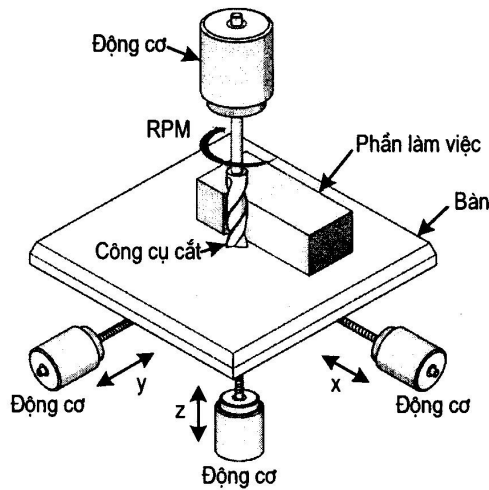
Trong bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế và chế tạo hệ thống điều khiển số tốc độ quay CNC theo phương pháp tích hợp hai mạch vòng điện áp và dòng điện.

2. CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Sơ đồ khối tổng hợp các vòng điều khiển trục máy gia công CNC

Hệ truyền động điều khiển chương trình số được ứng dụng rộng rãi trong sản xuất công nghiệp, nhất là các máy gia công cắt gọt kim loại tự động, các trung tâm gia công hoặc các dây truyền sản xuất tự động có sự tham gia của Robot. Trong hệ CNC, máy công cụ và hệ điều khiển

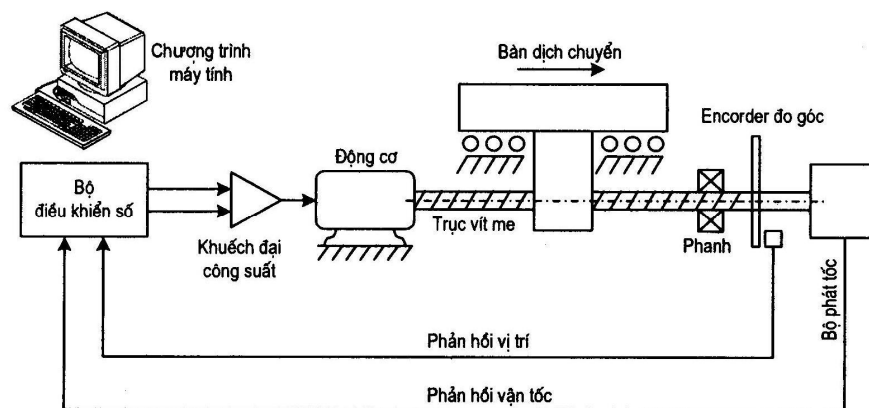
số tích hợp thành một thiết bị gia công có khả năng lập trình qua các thao tác trên *panel* hoặc qua máy vi tính. Trường hợp tổng quát nhất của các loại máy *CNC* được chỉ dẫn trên hình (1).



Hình 1. Sơ đồ truyền động trực của máy phay *CNC*.

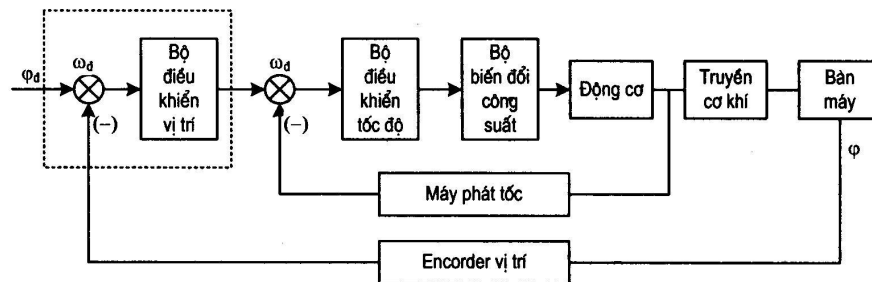
Hệ thống điều khiển 4 trục của máy phay, gồm có 3 trục chuyển động chính của bàn gá phôi x , y , z và trục chuyển động của dao phay. Truyền động của máy hiện đại đều dùng động cơ *Servo*.

Từ các yêu cầu công nghệ, chương trình điều khiển được đưa vào *CNC* qua *panel* điều khiển, qua máy tính. Từ đó, các vị trí và tốc độ của trục dao cần thiết để thực hiện việc gia công biên dạng yêu cầu sẽ được các chức năng của *CNC* tính toán nội suy. Giá trị tính toán này sẽ là tín hiệu đặt đầu vào cho từng trục chuyển động x , y , z . Trong trường hợp đơn giản nhất là coi rằng, các trục này độc lập với nhau (chưa xét tới tác động tương hỗ nhau của các trục). Ta có sơ đồ điều khiển của từng trục như hình (2). Các giá trị đặt tính toán này sẽ được so sánh với giá trị thực của tín hiệu vị trí và tốc độ quay phản hồi thông qua đầu đo *Encoder*, từ giá trị sai lệch đó mà bộ điều khiển sẽ đưa ra tín hiệu điều khiển, nó sẽ được khuếch đại qua bộ biến đổi công suất tới động cơ chấp hành.



Hình 2. Sơ đồ điều khiển của một trục máy phay *CNC*.

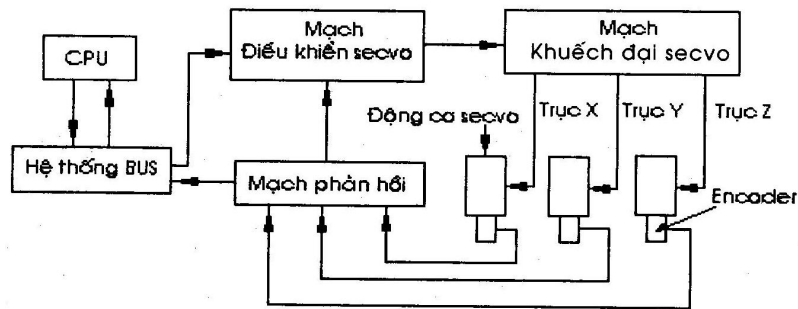
Từ sự phân tích ở trên, suy ra sơ đồ khối tổng hợp các vòng điều khiển của trục máy phay CNC như sau (hình 3).



Hình 3. Sơ đồ khối tổng hợp các vòng điều khiển của trục máy phay CNC.

2.2. Mạch điều khiển Servo

Để điều khiển máy gia công, cần thiết biến đổi xung điều khiển được tạo ra từ cụm điều khiển thành tín hiệu cho động cơ dẫn động các trục. Nhiệm vụ này được thực hiện nhờ hai mạch, gồm mạch điều khiển Servo và mạch phản hồi (hình 4).



Hình 4. Sơ đồ khối mạch điều khiển servo.

- Mạch điều khiển Servo gồm mạch điều khiển vị trí và mạch điều khiển tốc độ.
- Mạch phản hồi gồm mạch ghép nối và mạch biến đổi số tương tự (D/A).

Mạch điều khiển Servo và mạch phản hồi nằm trong hệ thống mạch của cụm điều khiển CNC. Tín hiệu ra của mạch điều khiển Servo thường có công suất nhỏ không đủ để điều khiển trực tiếp động cơ.

Vì vậy, cần có mạch khuếch đại Servo, nó đảm bảo nhiệm vụ sau:

- Khuếch đại tín hiệu vào (điện áp, dòng điện hoặc cả điện áp và dòng điện) đến mức đủ lớn để điều khiển được động cơ Servo,
- Dễ dàng thực hiện điều khiển phản hồi cả thông số vị trí và tốc độ,
- Đảm bảo an toàn khi xảy ra hiện tượng dòng điện giảm do momen động cơ gây ra.

Khuếch đại Servo là mạch điện dùng để tạo ra tín hiệu ra tỉ lệ với tín hiệu vào. Trong hệ điều khiển CNC để làm khuếch đại Servo, thường dùng khuếch đại thuật toán với hệ số cao và có

khả năng phản hồi. Khuếch đại thuật toán có cấu trúc theo một hoặc đồng thời của ba kiểu khuếch đại tuyến tính (*linear*), tích phân (*integrater*) và vi phân (*differentiator*).

3. XÂY DỰNG SƠ ĐỒ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ TỐC ĐỘ QUAY HAI TRỤC CNC

3.1. Xây dựng bài toán

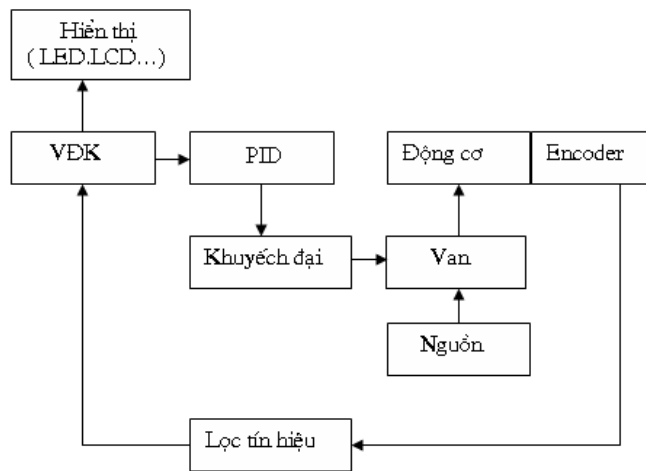
Nội dung: Thiết kế hệ thống điều khiển số tốc độ hai trục quay độc lập, dẫn động cho hai trục của máy gia công CNC, đáp ứng yêu cầu công nghệ, nhằm nâng cao độ chính xác, năng suất gia công và tự động hoá quá trình công nghệ.

Yêu cầu

- Có hệ thống phản hồi, nhằm ổn định công suất của động cơ trong quá trình điều chỉnh tốc độ,
- Hệ thống có bộ phận hiển thị tốc độ, đáp ứng cho việc điều chỉnh quá trình gia công,
- Hệ thống có giao tiếp người - máy linh hoạt, giúp người sử dụng dễ dàng can thiệp vào các chức năng của hệ thống.

3.2. Sơ đồ khối điều khiển tốc độ quay trục động cơ

Sơ đồ khối hệ thống điều khiển tốc độ quay trục động cơ được xây dựng như hình (5), dẫn động sử dụng động cơ DC Servo có chổi than ưu việt hơn cả, do công suất và mômen trung bình, nguồn cung cấp đơn giản, kích thước nhỏ gọn. Thuật toán điều khiển động cơ được sử dụng là thuật toán PID (*Proportion Integral Derivative*) tín hiệu dạng số.



Hình 5. Sơ đồ khối điều khiển tốc độ quay trục động cơ.

3.3. Chế độ giao tiếp USB trong Chip PIC

Một khả năng rất mạnh của PIC là khả năng giao tiếp với máy tính. Đối với PIC, ngoài giao tiếp các cổng cơ bản là COM, LPT thì một số dòng cấp cao cho phép giao tiếp USB. Ngày nay, với các máy tính thì việc cổng COM hay LPT gần như chỉ gặp trong các máy tính đời cũ, còn với các thế hệ mới thì không còn các cổng này. Do đó, tất yếu việc sử dụng cổng USB trở nên cần thiết.

Với lí do đó, trong đề tài này sử dụng giao tiếp *USB* làm cơ sở giao tiếp với máy tính và đó là *IC Master*. Do đó, chọn dòng *PIC* cấp cao như *18F4550* và *PIC16F877A* có hỗ trợ phần cứng chuẩn giao tiếp *USB 2.0*. Đây là chuẩn *USB* cơ bản chiếm đa số hiện nay.

3.4. Xây dựng sơ đồ khối hệ thống điều khiển số tốc độ quay hai trục *CNC*

Hệ thống điều khiển có nhiệm vụ điều khiển và ổn định tốc độ quay của hai trục - đối tượng điều khiển, được dẫn động bởi hai động cơ *DC Servo* độc lập của máy *CNC* (hình 6).

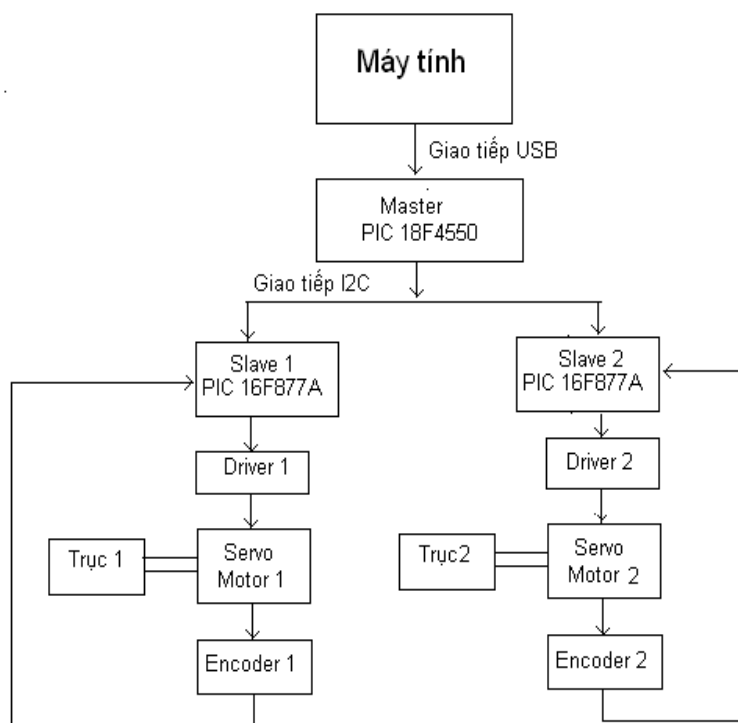
Biết rằng, vận tốc động cơ phụ thuộc vào điện áp hay dòng điện mà ta cấp cho nó. Trong đề tài này nghiên cứu thiết kế mạch bao gồm hai vòng điều khiển, vòng thứ nhất điều khiển điện áp âm phản ứng và vòng thứ hai điều khiển điện áp dương động cơ *DC Servo*. Với động cơ đã chọn, điện áp định mức của nó là *40V*. Tuy nhiên việc cấp điện áp cho động cơ trong một khoảng rộng từ *0 - 40V* là khó khăn. Do đó, ta điều khiển vận tốc động cơ theo độ rộng xung *PWM (Pulse Width Modulation)*, mà cụ thể ở đây là *%duty cycle*.

Vậy tín hiệu vào và ra của bộ điều khiển *PID* sẽ là:

- Công vào: $e = \text{vận tốc hiện tại} - \text{vận tốc thiết lập}$,
- Công ra: $u = \% \text{ duty cycle}$.

PWM là một *module* mở rộng của *Chip* điều khiển *PIC16F877A*. Nó có chức năng tạo ra một dãy xung có *% duty* và tần số xác định. Các giá trị *% duty* và tần số xung được hiệu chỉnh bằng phần mềm.

Bộ điều khiển máy *CNC* bao gồm một khối xử lí trung tâm (*module Master*) và hai khối xử lí phụ (*module Slave*), giao tiếp giữa các khối xử lí phụ với khối xử lí chính được thực hiện thông qua chuẩn giao tiếp *I2C* được tích hợp sẵn trong *Chip* điều khiển trung tâm *PIC18F4550*.



Hình 6. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển tốc độ quay hai trục *CNC*.

3.5. Mạch điều khiển của hệ thống sử dụng thuật toán PID

3.5.1. Mạch vòng tốc độ

Bộ điều khiển PID được sử dụng để đảm bảo tốc độ quay mà khối xử lý trung tâm ra lệnh cho khối xử lý phụ thực hiện:

- Đầu vào của bộ điều khiển PID là tốc độ yêu cầu của động cơ dẫn động, đơn vị vòng/phút.
- Tín hiệu hồi tiếp: vận tốc hiện thời, từ số xung Encoder đọc được trong một chu kì lấy mẫu T , đổi ra vòng/phút.
- Đối tượng điều khiển: vận tốc động cơ DC Servo.
- Đầu ra của bộ PID: giá trị chu kì độ rộng xung (PWM duty) của điện áp hai đầu động cơ.

3.5.2. Mạch vòng dòng điện

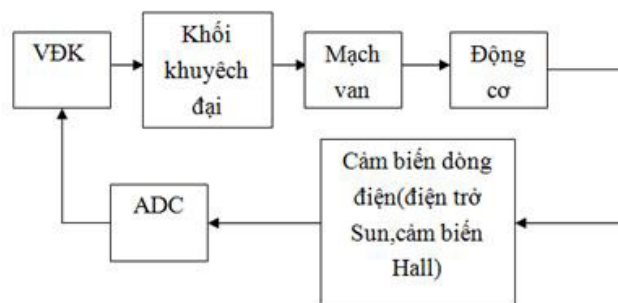
Trong hệ thống, việc điều khiển thống số đáp ứng một cách kịp thời, là vấn đề luôn đặt ra hàng đầu. Trong điều khiển ổn định tốc độ động cơ một chiều, thì việc giải quyết bài toán điều khiển phản hồi dòng điện là một bài toán hay bởi tính phức tạp của nó và giải thuật cho điều khiển.

Để phản hồi dòng điện từ mạch lực về mạch điều khiển ta có 2 phương án:

- Dùng điện trở *Sun* mắc nối tiếp với động cơ, điện áp hai đầu điện trở được đưa về mạch điều khiển,
- Sử dụng cảm biến *Hall*: Phương án này rất thích hợp cho các hệ thống số ngày nay, với nguyên lí cảm biến *Hall*, người ta đã chế tạo ra những cảm biến đo dòng điện một chiều và xoay chiều với độ tuyến tính khá rộng (vùng tuyến tính chính là cơ sở đánh giá độ chính xác của cảm biến *Hall*). Sơ đồ khối của mạch vòng dòng điện được trình bày trên hình (7).

Vấn đề lựa chọn cảm biến *Hall* phải thoả mãn các yêu cầu sau:

- Dòng qua cảm biến phải đủ lớn hơn dòng định mức của động cơ,
- Đầu ra của cảm biến phải tuyến tính trong dải đo.



Hình 7. Sơ đồ khối mạch vòng dòng điện.

3.6. Phương pháp tích hợp hai mạch vòng điện áp và dòng điện

Về thuật toán điều khiển

- Thiết kế hệ thống sử dụng hai mạch vòng điều khiển. Trong đó, mạch vòng dòng điện bên trong và mạch vòng tốc độ bên ngoài nhằm mục đích ổn định tốc độ cho hệ thống.
- Mạch vòng tốc độ bên ngoài có tác dụng phản hồi tốc độ đo được về bộ điều khiển.
- Mạch vòng dòng điện bên trong có tác dụng điều khiển khi mô men tải hệ thống thay đổi.
- Chu kỳ lấy mẫu của vòng trong nhanh hơn vòng ngoài khoảng 10 lần.

Về giao tiếp sử dụng

- Sử dụng giao tiếp *USB 2.0* làm giao tiếp với máy tính.
- Chuẩn giao tiếp *I2C* làm giao tiếp với các *module* trong hệ thống.

4. THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO CÁC MẠCH ĐIỆN TỬ

4.1. Mạch *module Master*

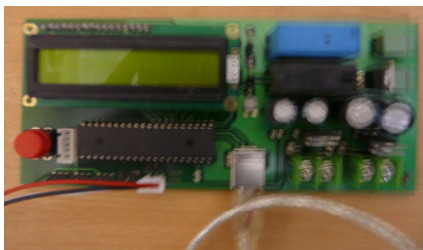
Module Master có nhiệm vụ điều khiển chính cho hệ thống. Dựa trên nền tảng chính là giao tiếp *USB* với máy tính và giao tiếp *I2C* với giao tiếp cho *module Slaver*. Do đó, ở đây sử dụng Chip *PIC 18F4550* (hình 8a).

4.2. Mạch *module Slave*

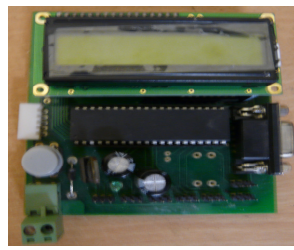
- Vi điều khiển *PIC16F877A*: bộ xử lý của riêng *module Slave*.
- Cổng giao tiếp *UART* để giao tiếp với máy tính. Cổng giao tiếp này được sử dụng khi mạch *Slaver* được chạy độc lập, không kết nối với mạch *Master* thì vẫn có thể kết nối trực tiếp với máy tính trên một giao diện khác.
- Cổng giao tiếp *I2C* để giao tiếp với vi điều khiển của *module Master*.
- Cổng nối với *Encoder* để đọc tín hiệu hồi tiếp, để lấy tín hiệu từ *Encoder*.
- Có *module* cảm biến dòng điện.
- Truyền tín hiệu tới mạch lực để điều khiển động cơ (hình 8b).

4.3. Mạch vòng dòng điện

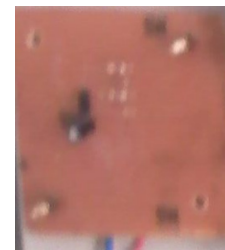
Thuật toán điều khiển của mạch vòng dòng điện về cơ bản cũng giống như trong mạch vòng tốc độ. Sử dụng thuật toán *PID* cho mạch vòng dòng điện. Cần chú ý rằng, tốc độ biến thiên của dòng điện nhanh, nên tốc độ lấy mẫu và xử lý của mạch vòng này cũng nhanh (hình 8c).



Hình 8a. Mạch *module Master*.



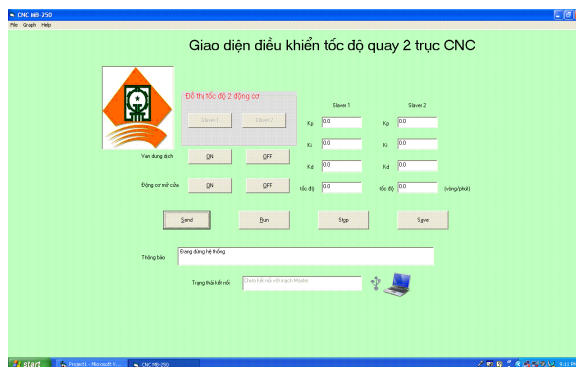
Hình 8b. Mạch *module Slave*.



Hình 8c. Mạch vòng dòng điện.

4.4. Giao diện với máy tính và kết cấu hệ thống điều khiển tốc độ quay CNC

- Giao diện được viết bằng phần mềm *Visua Basic* (hình 9).
 - Hệ thống điều khiển số sử dụng (hình 10):
 - + Thuật toán điều khiển Tỷ lệ-Tích phân-Vi phân *PID*;
 - + Vi điều khiển *PIC18F4550* và *PIC16F877A*;
 - + Chuẩn giao tiếp *I2C (Inter-Integrated Circuit-Bus)* - Chuẩn giao tiếp hiện đại, tạo điều kiện mở khi nghiên cứu máy có nhiều trục quay;
 - + Các bộ hiển thị thông số điều khiển *LCD*;
 - + Giao diện điều khiển hiển thị toàn bộ các thông số của quá trình điều khiển, thuận tiện trong công nghệ gia công.
 - + Tích hợp hai vòng điều khiển âm điện áp phản ứng và dương dòng điện động cơ *DC Servo* thành công, đây là điểm mới và cơ bản nhất của kết quả nghiên cứu.
- Các yêu cầu kỹ thuật của hệ thống thiết kế đáp ứng được yêu cầu đặt ra.



Hình 9. Giao diện điều khiển tốc độ quay hai trục CNC.



Hình 10. Hệ thống điều khiển tốc độ quay hai trục CNC.

5. XÂY DỰNG ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH THỰC NGHIỆM ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

5.1. Phương pháp xây dựng

Các thông số đánh giá chất lượng hệ thống điều khiển gồm có độ quá hiệu chỉnh; sai lệch tĩnh và thời gian quá độ.

Trong bài báo này trình bày phương pháp xây dựng đường đặc tính thực nghiệm đánh giá chất lượng của hệ thống điều khiển, từ các dữ liệu được lưu trữ trên máy tính như sau:

Bước 1

- Master gửi lệnh xuống các *Slaver*, để các *Slaver* bắt đầu lấy dữ liệu.
- Dữ liệu được lấy là tốc độ của mỗi động cơ, mà mỗi *Slaver* quản lý tại mỗi chu kỳ của *Chip Slaver* xử lý.
- Dữ liệu được chuẩn về 8 bit để dễ cho lưu giữ.
- Dữ liệu được lưu vào vùng nhớ (tĩnh) *EEPROM* của *Chip*.

- Dữ liệu được lấy liên tục trong các chu kì liên nhau. Khi đó lưu hết bộ nhớ *EEPROM*, thứ tự động kết thúc.

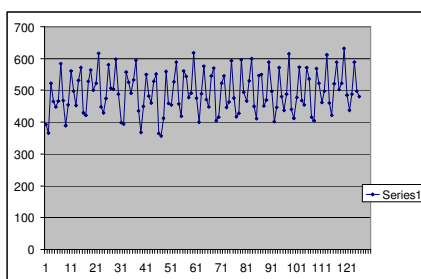
Bước 2

Sau khi chạy xong, *Master* gửi lệnh hiển thị dữ liệu trên *LCD*, lưu các dữ liệu này, rồi nhập vào *EXCEL* để vẽ đồ thị.

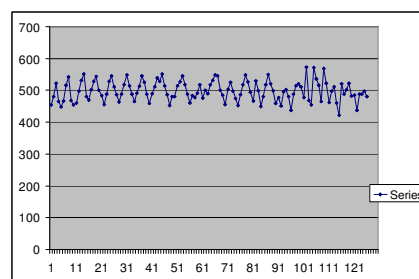
5.2. Các đường đặc tính thực nghiệm

5.2.1. Trường hợp hệ thống chạy không tải dao động ổn định ở vùng tốc độ thấp

Tiến hành điều khiển hệ thống trong trường hợp không tải, thấy rằng ở vùng tốc độ động cơ có giá trị thấp đồ thị có biên độ dao động ổn định. Khi sử dụng hệ thống với cả hai vòng điều khiển biên độ ít dao động hơn so với sử dụng một vòng.



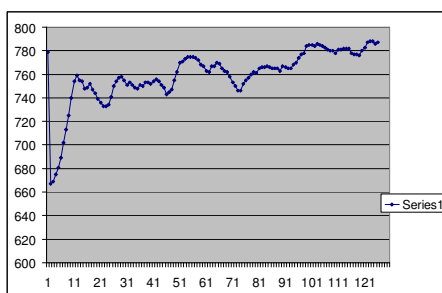
Hình 4.12a. Hệ thống chạy 1 vòng không tải.



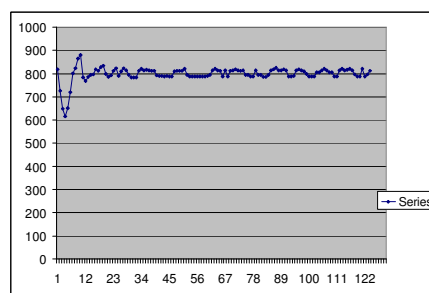
Hình 4.12b. Hệ thống chạy 2 vòng không tải.

5.2.2. Trường hợp đang chạy ổn định, tăng tải cho hệ thống

Tiến hành điều khiển hệ thống trong trường hợp tốc độ động cơ đang ổn định, rồi tăng tải ở tốc độ 800 v/ph, thấy rằng tốc độ động cơ giảm xuống, sau một khoảng thời gian hệ thống ổn định. Khi sử dụng hệ thống với cả hai vòng điều khiển thời gian tăng tải và ổn định nhanh hơn so với sử dụng một vòng.



Hình 4.12c. Hệ thống chạy 1 vòng, tăng tải ở tốc độ 800 v/ph.



Hình 4.12d. Hệ thống chạy 2 vòng, tăng tải ở tốc độ 800 v/ph.

6. ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Trong bài báo này trình bày kết quả về nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thành công lần đầu tiên mô hình *module* hệ thống điều khiển số theo phương pháp tích hợp hai vòng điều khiển âm điện áp phản ứng và dương dòng điện động cơ *DC Servo*, được tích hợp trong các máy gia công điều khiển số *CNC*, để tự động hóa quá trình điều chỉnh chế độ công nghệ, nâng cao chất lượng và năng suất gia công.

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 nghiền chi tiết quang, Tạp chí Khoa học và Công nghệ các Trường Đại học kỹ thuật (63) (2008) 38-42.
3. Nguyễn Trọng Hùng, Vũ Duy Đức, Phạm Quốc Hải, Nguyễn Văn Võ - Nghiên cứu thuật toán và mạch của hệ thống điều khiển tốc độ quay trong máy mài nghiền chi tiết quang CNC MB-250, Tạp chí Khoa học và Công nghệ **48** (3) (2010) 113-120.
4. Nguyễn Trọng Hùng - Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo mô hình mô hình module hệ thống điều khiển tốc độ quay tích hợp trong các máy gia công cơ khí CNC, Báo cáo tổng kết đề tài KH&CN cấp Bộ, mã số B2010-21-27, Bộ GD & ĐT, Hưng Yên 12/2011.

ABSTRACT

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF DIGITAL CONTROLLERS SYSTEM FOR CNC ROTATIONAL SPEED BASE ON INTEGRATION OF THE TWO CONTROL LOOPS

Nguyen Trong Hung¹, Nguyen Van Vo², Phan Van Binh²

¹Hung Yen University of Technology and Education

²Hanoi University of Science and Technology

*Email: nthung.utehy@gmail.com

This paper presents the results of the research and development of digital controllers system for *CNC* rotational speed based on integration of the two control loops, control negative voltage and positive current of *DC Servo* motor using the *PID* algorithm and the *PIC 18F4550*, *PIC 16F877A* microcontroller. The controller's program for two spindle speed is transmitted from the computer by *USB* communication to *Master* and *Slave* circuits. This system ensures stably speed adjustment by changing load on material's cutting process on *CNC* machines.

The research results have made it possible to complete the controllers' design systems as industrial model, to built-in *CNC* machining.

Keywords: digital controllers system for *CNC*, *DC Servo* motor, use *PID* algorithm and the *PIC 18F4550*, *PIC 16F877A* microcontroller.