

THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN VÀ GIÁM SÁT TỐC ĐỘ QUAY CỦA ĐÁ MÀI TRÊN MÁY TIỆN HỚT LỬNG 15811

DEVELOPMENT OF A CONTROL AND MONITOR SYSTEM OF GRINDING WHEEL SPEED IN THE 15811 RELIEVING LATHE

Nguyễn Huy Kiên^{1,*}, Phạm Văn Đông¹,
 Quách Đức Cường¹, Nguyễn Hữu Hải¹, Trần Vệ Quốc¹

TÓM TẮT

Máy tiện hớt lưng 15811 là loại máy chuyên dụng có độ chính xác cao. Máy được sử dụng để gia công dụng cụ cắt như dao phay đĩa modul, dao phay vấu modul, dao cắt bánh răng, dao cắt ren,... Sử dụng máy tiện hớt lưng 15811, quá trình mài có độ chính xác cao. Tuy nhiên, tốc độ đá mài chưa được kiểm soát để có thể điều chỉnh vận tốc cắt phù hợp với bài toán tối ưu về chất lượng bề mặt gia công. Một hệ thống điều khiển, giám sát đã được phát triển để điều chỉnh tốc độ của đá khi mài hớt lưng trên máy 15811. Hệ thống truyền động điện mới sử dụng inverter và vi điều khiển ARM STM32F103 đã được thiết kế và thay thế cho hệ thống truyền động cũ. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống mới có thể điều khiển và kiểm soát tốc độ của đá mài đáp ứng yêu cầu của bài toán tối ưu hóa chất lượng bề mặt chi tiết gia công.

Từ khóa: SVPWM; STM32F103; Inverter điện áp ba pha; mài hớt lưng.

ABSTRACT

15811 relieving lathe which is a specialized machine with high precision is manufactured by the Soviet Union. This machine is used to machine the cutting tools such as the modular disc milling cutters, the modular lug cutters, the gear cutting cutter, the thread cutting cutters, etc. Using 15811 lathe, the accuracy of grinding processes are quite high. However, the grinding wheel speed has not controlled to adjust the cutting speed for optimization problem of the machined surface quality. A control and monitor system was developed to adjust the grinding wheel speed in the 15811 lathe. A new electric drive system using an inverter and an ARM STM32F103 microcontroller was designed to replace the old drive system. The test results showed that the new drive system can control the speed of the grinding wheel to meet the requirements for optimization problem of the machined surface quality.

Keywords: SVPWM; STM32F103; Three-phase Voltage Inverter; relieving grinding.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email:nguyenhuykien1981@gmail.com

Ngày nhận bài: 24/02/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 24/3/2022

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2022

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
ΔT	s	Chu kỳ đọc dữ liệu encoder

n_e	ppr	Số xung/vòng của encoder
n_x		Số xung đọc được trong thời gian ΔT

CHỮ VIẾT TẮT

PID	Bộ điều khiển tỉ lệ tích phân vi phân
AD	Biến đổi analog-digital
MCU	Vi điều khiển

1. GIỚI THIỆU

Chất lượng bề mặt chi tiết gia công phụ thuộc rất nhiều vào tốc độ, lực ma sát giữa đá mài và chi tiết gia công. Trên máy tiện hớt lưng 15811 hiện tại không có chế độ điều khiển và kiểm soát tốc độ đá mài nên chất lượng gia công sẽ phụ thuộc rất nhiều vào kinh nghiệm vận hành của người đứng máy. Để đáp ứng yêu cầu tối ưu hóa chế độ gia công với từng loại vật liệu, máy phải có khả năng điều chỉnh và ổn định tốc độ ở các dải khác nhau (khoảng từ 1.000rpm đến 10.000rpm). Trước yêu cầu đó, nhóm tác giả đã nghiên cứu, xây dựng hệ thống điều khiển, giám sát tốc độ quay của đá mài. Hệ truyền động mới sử dụng inverter điều khiển theo công nghệ điều khiển véc tơ không cảm biến cho phép điều khiển tinh chỉnh và ổn định tốc độ động cơ đá mài. Ngoài ra hệ thống còn được trang bị thêm mạch giám sát tốc độ, dòng điện để thuận tiện trong quá trình vận hành máy.

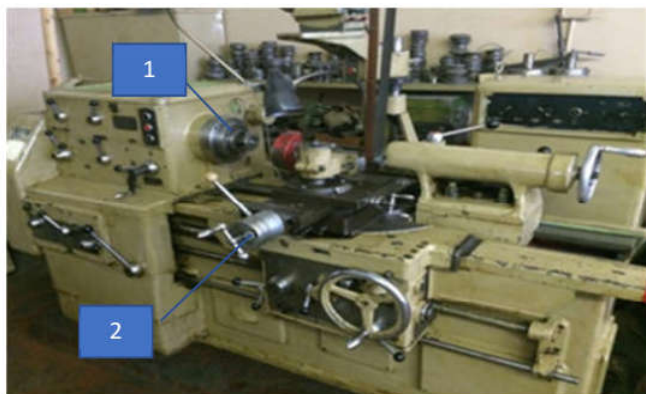
2. CẤU TRÚC HỆ THỐNG

Hình 1 mô tả cấu trúc chuyển động chính khi mài trên máy 15811. Hệ thống truyền động gồm các chuyển động: 1) chuyển động quay của chi tiết; 2) chuyển động tiến dao; 3) chuyển động quay của đá mài. Khi mài, chuyển động quay của chi tiết gia công có tốc độ thấp chủ yếu để thay đổi vùng gia công nên vận tốc cắt chủ yếu phụ thuộc vào tốc độ vòng quay của đá mài. Động cơ ba pha không đồng bộ có công suất 1,1kW, điện áp 220/380V, tần số 50Hz được nối trực tiếp với lưới điện, không có thiết bị điều khiển tốc độ nên tốc độ quay của đá chỉ thay đổi được thông qua hệ thống bulý.

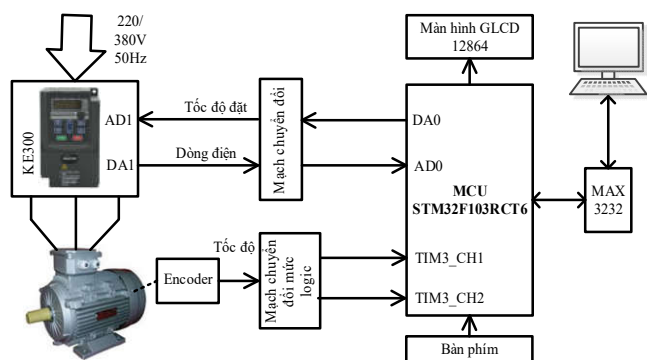
Để thực hiện điều khiển tinh chỉnh được tốc độ đá mài, mô hình truyền động cũ được thay thế bởi mô hình điều

kiến sử dụng inverter như hình 2. Cấu trúc của hệ thống bao gồm:

- Biến tần KE300 làm nhiệm vụ điều khiển và ổn định tốc độ đặt trước của đá mài; cung cấp tín hiệu giá trị dòng điện của động cơ cho hệ thống vi điều khiển.
- Hệ thống hiển thị, nhập dữ liệu, giám sát và cài đặt tốc độ đá mài sử dụng ARM STM32F103.
- Khối chức năng kết nối với máy tính thông qua cổng truyền thông nối tiếp RS-232.
- Khối đo lường tốc độ, kiểm soát dòng điện.



Hình 1. Máy tiện hút lực 15811



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc khối mạch điều khiển giám sát động cơ đá mài

Yêu cầu điều chỉnh/đo các tham số:

- Tốc độ của đá mài: dải điều chỉnh [1.000; 10.000]rpm, sai số đo ± 5 rpm.
- Dòng điện của động cơ: dải đo [0,5; 2]A, sai số $\pm 0,03$ A.

Yêu cầu về vận hành: an toàn, có cơ chế cảnh báo các chế độ hoạt động bằng đèn và còi, có chức năng chống mất pha, lệch pha.

3. THIẾT KẾ PHẦN CỨNG

3.1. Lựa chọn thiết bị

Động cơ kéo đá mài có công suất 1,1kW, do vậy lựa chọn inverter micro KE300-1R5G-T4. Inverter có công suất 1,5kW, điện áp 380V, tần số nguồn 50Hz.

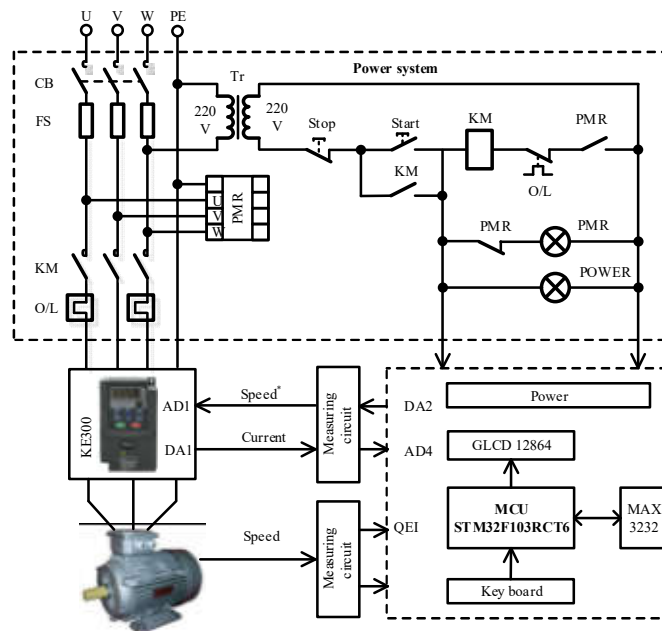
KE300-1R5G-T4 có các chức năng như: tích hợp sẵn bộ điều khiển ổn định tốc độ PID, sử dụng công nghệ vector control-sensorless, cài đặt chế độ khởi động mềm... thuận tiện cho việc thiết kế hệ thống.

Mạch đo lường tốc độ sử dụng encoder E6B2 của OMRON có thông số 2000ppr, điện áp nguồn cấp 12VDC.

Mạch hiển thị và giám sát tốc độ, dòng điện động cơ đá mài sử dụng bộ MCU STM32F103C6T8.

3.2. Thiết kế sơ đồ mạch động lực

Sơ đồ mạch động lực của hệ thống thể hiện trên hình 3.

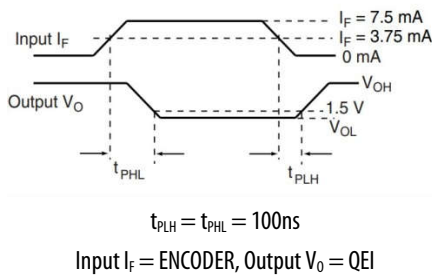
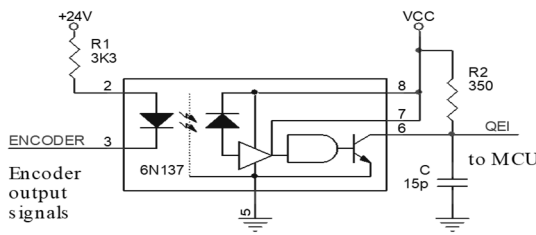


Hình 3. Mô hình hệ thống phần cứng

Inverter được cài đặt ở chế độ vector control-sensorless, việc ổn định tốc độ thông qua bộ điều khiển PID bên trong inverter. Đặt tốc độ yêu cầu thông qua cổng AD1 (trên inverter). Tín hiệu analog cho kênh DA1 của inverter được cấp bởi biến trở ngoài hoặc tín hiệu từ kênh DA2 của MCU. Các tín hiệu khóa logic thiết lập chế độ và chuyển đổi chế độ vận hành inverter được thiết kế trên mặt máy. Khối công suất có chức năng nhận tín hiệu đặt từ kênh AD1 của inverter, thực hiện điều khiển tốc độ động cơ đá mài ổn định theo tốc độ đặt yêu cầu. Ngoài ra mạch còn có chức năng bảo vệ quá tải, mất pha cho động cơ đá mài.

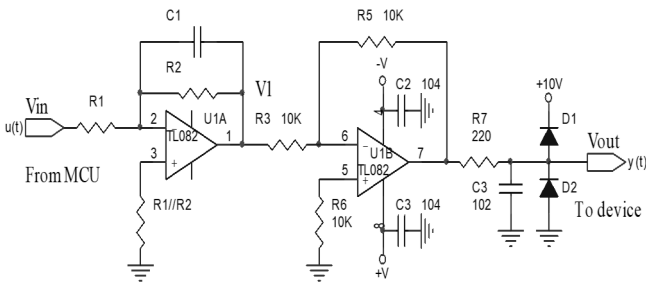
Mạch đo lường tốc độ sử dụng encoder E6B2 của OMRON có thông số 2000ppr, điện áp nguồn cấp 12VDC. Sử dụng mạch cách ly quang 6N137 (hình 4) để hạ biên độ

điện áp xung từ 12VDC xuống mức điện áp 3,3VDC của MCU. Thời gian trễ mở và trễ đóng của mạch vào khoảng 100ns, với encoder có độ phân giải 2000ppr thì có thể đo được tốc độ tới 20000rpm.

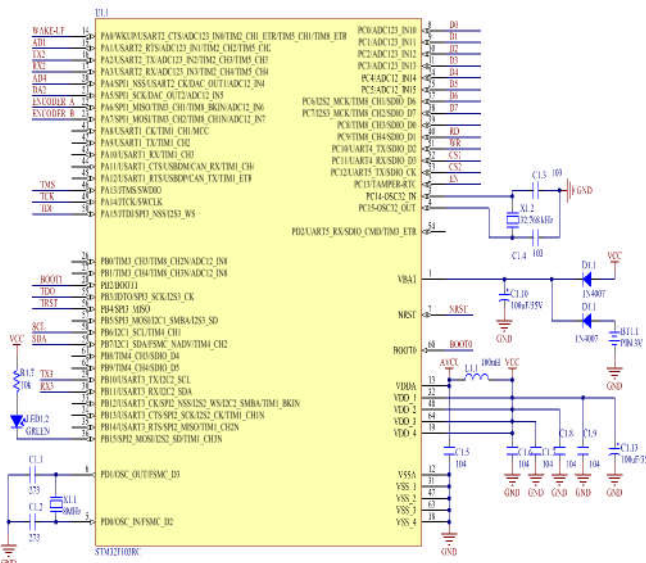


Hình 4. Mạch ghép nối Encoder với MCU qua mạch cách ly quang 6N137

Mạch chuyển đổi mức điện áp analog từ 0 - 3,3V sang 0 - 10V hoặc ngược lại để ghép nối kênh analog giữa MCU và inverter thể hiện trên hình 5. Mạch bao gồm 2 khâu khuếch đại đảo. Tỷ số chuyển đổi điện áp của mạch là R2/R1.



Hình 5. Mạch đo lường dòng điện



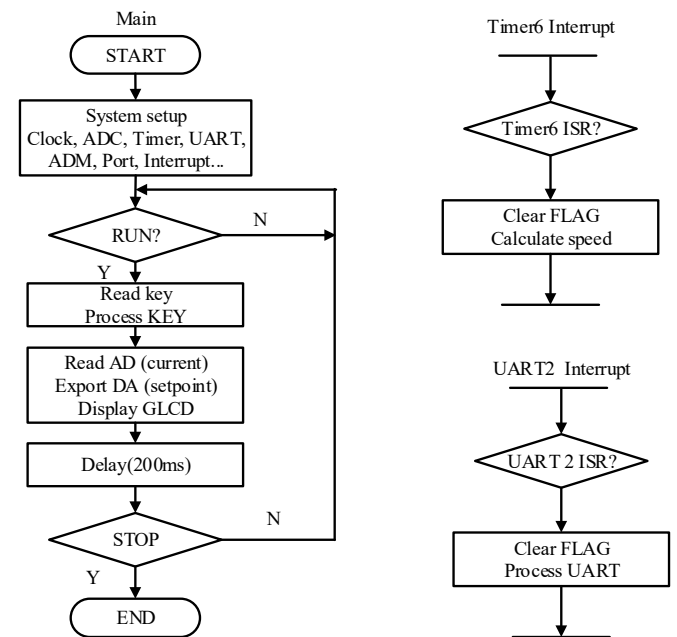
Hình 6. Mạch lõi chip ARM STM32F103RCT6

Mạch hiển thị và giám sát tốc độ, dòng điện động cơ đã cài sử dụng bộ MCU STM32F103C6T8. Đây là một MCU 32-bit có nhiều tính năng mạnh. Sơ đồ mạch bao gồm các khối thiết kế: màn hình hiển thị sử dụng GLCD-12864 ghép nối qua cổng PortC, khối phím nhấn nhập dữ liệu và điều khiển, khối mạch đo lường tốc độ qua kênh của Timer1 (TIM1_CH1, TIM1_CH2), khối đo lường dòng điện qua kênh ADC0, khối giao tiếp máy tính RS232 qua UART2. Sơ đồ mạch thể hiện trên hình 6.

4. THIẾT KẾ PHẦN MỀM

4.1. Lưu đồ thuật toán hệ thống

Lưu đồ thuật toán của hệ thống thể hiện trên hình 7. Cấu trúc hệ thống sử dụng hai chương trình ngắt và một chương trình xử lý tại hàm chính. Chương trình ngắt thứ nhất là ngắt của Timer6 với thời gian có định sử dụng cho mục đích đọc tốc độ theo chu kỳ từ encoder. Chương trình ngắt thứ hai là ngắt của cổng UART2 sử dụng cho mục đích đọc lệnh và truyền dữ liệu lên thiết bị máy tính. Chương trình chính (hàm main) xử lý các vấn đề đọc AD, xuất tín hiệu DA, xử lý phím, hiển thị dữ liệu lên màn hình.



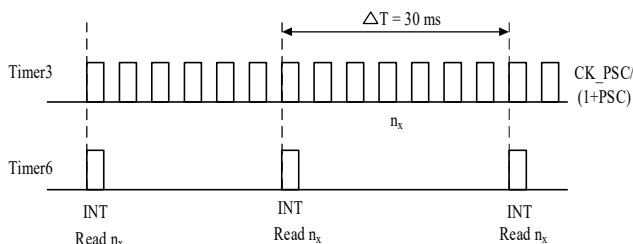
Hình 7. Lưu đồ thuật toán

4.2. Kỹ thuật đo lường tốc độ với STM32F103

Có hai giải pháp kỹ thuật đo tốc độ bằng encoder là đếm số xung trong khoảng thời gian cố định và đo độ rộng xung của encoder. Trong hệ thống này sử dụng phương pháp đếm số xung là hệ thống kiểm soát tốc độ nên khoảng thời gian trích mẫu không yêu cầu quá nhỏ. Theo thiết kế sai số tuyệt đối của phép đo tốc độ là $e = \pm 5rpm$. Biết thông số của encoder là $n_e = 2000ppr$, tốc độ quay của trục encoder là n . Giả sử số xung đo encoder phát ra trong khoảng thời gian ΔT là n_x thì:

$$n_x = \frac{n_e \Delta T}{60} \times n \tag{1}$$

Để số xung đếm được bằng chính số vòng/phút của tốc độ cần đo thì lựa chọn $n_e \Delta T = 60$. Khi đó khoảng thời gian $\Delta T = 60/n_e = 30ms$. Sử dụng 2 Timer trong quá trình đo tốc độ từ encoder trên hệ thống nhúng STM32F là Timer3 và Timer6. Timer3 hoạt động ở chế độ ENCODER. Xung của encoder được kết nối vào hai kênh TIM3_CH1 và TIM3_CH2 của Timer3. Timer6 được cài đặt ở chế độ ngắt để đặt sau khoảng thời gian $\Delta T = 30ms$ nhằm mục đích tạo chu kỳ lấy mẫu. Quá trình cài đặt các Timer3, Timer6 cần lưu ý đến nguồn xung, chia xung của timer, các chế độ hoạt động, khoảng thời gian ngắt, chu kỳ, tham số bộ lọc...



Hình 8. Mô tả giản đồ hoạt động của Timer3 và Time6

STM32F103 hoạt động ở tần số 72MHz. Tần số xung nhịp CK_PSC bằng với tần số xung nhịp hệ thống CK_PSC = CK_INT. Timer3 cài đặt ở chế độ: PSC = 0, đếm lên, chu kỳ ngắt lớn nhất (Period = 0xFFFF), hệ số bộ lọc là 5. Timer6 cài đặt PSC = 71, khi đó xung đếm của Time6 có tần số là 1MHz. Chu kỳ ngắt 30ms, do đó Period của Timer6 sẽ có giá trị là 30000.

5. KẾT QUẢ THỰC HIỆN

5.1. Mô hình thiết bị

Sản phẩm hoàn thiện là một hệ thống điều khiển truyền động đã mài có thể tinh chỉnh tốc độ (hình 9, 10). Tốc độ quay của đá mài được ổn định nhờ vào hệ thống biến tần tích hợp sẵn bộ PID. Hệ thống kiểm soát dòng điện, tốc độ sử dụng hệ thống nhúng STM32F103 hoạt động ở tần số xung nhịp 72MHz. Tham số và chức năng của hệ như sau:

- Công nghệ điều khiển: điều khiển véc tơ không cảm biến.
- Công suất, điện áp, tần số: 1,5kW; 220/380VAC; 50Hz
- Dải tốc độ điều khiển và đo lường: 1.000 - 10.000rpm
- Sử dụng Encoder đo tốc độ có độ phân giải 2000ppr
- Đo lường dòng điện từ tín hiệu analog đầu ra của inverter.
- Hiển thị màn hình: GLCD 12864 pixel
- Kết nối với máy tính thông qua cổng RS232, tốc độ mặc định 19200 baud
- Hệ thống có chức năng: bảo vệ quá tải, bảo vệ ngắn mạch, bảo vệ mất pha.
- Kích thước: 800x600x250mm.

5.2. Kết quả thực nghiệm

Sử dụng máy đo tốc độ EXTECH 461825 (sai số 1rpm khi tốc độ đo > 1000rpm) và ampe kim Hioki 3288 (sai số 1,5%) để căn chỉnh và thử nghiệm hệ thống, kết quả đo thể hiện trong bảng 1 và 2.



Hình 9. Tủ điều khiển



Hình 10. Lắp đặt kết nối tủ điều khiển với máy 15811

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm đo tốc độ sau khi hiệu chỉnh

TT	Tốc độ quay cài đặt trên hệ thống (rpm)	Kết quả đo tốc độ quay của đá mài bằng thiết bị EXTECH 461825 (rpm)						Sai số tuyệt đối (rpm)
		Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 4	Lần 5	TB	
1	1000	999	1002	1001	999	1002	1000,6	0,6
2	2000	2001	2002	2002	1998	2003	2001,2	1,2

3	3000	3005	3006	3001	2998	3002	3002,4	2,4
4	5000	4998	5003	5003	4998	5004	5001,2	1,2
5	7000	7002	7001	6998	7000	7003	7000,8	0,8
6	10000	10003	10002	9998	10004	10000	10001,4	1,4

Như vậy sai số tuyệt đối tốc độ đá mài lớn nhất là 2,4rpm < 5rpm đảm bảo yêu cầu đề ra.

Bảng 2. Kết quả thực nghiệm đo dòng điện sau khi hiệu chỉnh

TT	Dòng điện hiển thị trên hệ thống (A)	Kết quả đo dòng điện bằng thiết bị chuẩn Hioki 3288 (A)						Sai số tuyệt đối (A)
		Lần 1	Lần 2	Lần 3	Lần 4	Lần 5	TB	
1	0,51	0,56	0,49	0,55	0,53	0,51	0,528	0,018
2	1,23	1,25	1,25	1,26	1,24	1,25	1,25	0,02
3	1,51	1,51	1,53	1,56	1,55	1,53	1,536	0,026
4	1,75	1,75	1,78	1,65	1,76	1,71	1,73	0,02
5	1,89	1,88	1,92	1,93	1,91	1,92	1,912	0,022

Như vậy sai số tuyệt đối dòng điện lớn nhất là 0,026(A) < 0,03(A) đảm bảo yêu cầu đề ra.

6. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày kết quả xây dựng hệ thống điều khiển tốc độ động cơ, giám sát tốc độ đá mài khi mài hết lưng trên máy 15811, hệ thống cho phép điều chỉnh tốc độ quay của đá mài từ đó thay đổi vận tốc cắt theo yêu cầu.

Sử dụng hệ thống điều khiển giúp xây dựng được biểu đồ tốc độ, chế độ vận hành tối ưu của máy 15811 khi gia công chi tiết. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống có thể điều khiển, đo tốc độ và dòng điện có độ chính xác cao. Sai số tuyệt đối lớn nhất của phép đo tốc độ, dòng điện khi sử dụng hệ thống so với thiết bị đo tốc EXTECH 461825 và đo dòng điện Hioki 3288 lần lượt là ±2,4rpm và 0,026A; kết quả đáp ứng được các yêu cầu về điều khiển và giám sát tốc độ/dòng điện động cơ trên máy 15811 để tối ưu hóa thông số chế độ cắt nhằm đạt được chất lượng bề mặt chi tiết gia công.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ môn Điều khiển và Tự động hóa, Khoa Điện; khoa Cơ khí; Trung tâm Cơ khí; Trung tâm Việt - Nhật, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã hỗ trợ trong quá trình nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Quach Duc Cuong, Nguyen Dang Toan, 2020. *Tong hop he thong dien co*. Statistical Publishing House, Hanoi.
- [2]. Muhammad Ali Mazidi, Shujen Chen, Eshragh Ghaemi, 2018. *STM32 ARM Progaming for Embedded systems*. Microdigitaled.
- [3]. Fernando Bento, Jorge O. Estima, Antonio J. Marques Cardoso, 2018. *Performance, Evaluation of Three Variable Speed AC Motor Drives Under Different Load Profiles*. 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM).
- [4]. Alecksey Anuchin, Valentina Astakhova, Dmitry Shpak, Alexandr Zharkov, Fernando Briz, 2017. *Optimized method for speed estimation using incremental encoder*. 2017 International Symposium on Power Electronics (Ee).
- [5]. I. Ando, M. Sato, M. Sazawa, K. Ohishi, 2003. *High efficient parallel-connected induction motor speed control with unbalanced load condition using one inverter*, IECON'03. 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IEEE Cat. No.03CH37468).
- [6]. Shenzhen micno electronic company, 2017. *KE300 user manual - sensorless Vector Control Inverter*.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Huy Kien, Pham Van Dong, Quach Duc Cuong, Nguyen Huu Hai, Tran Ve Quoc
Hanoi University of Industry