

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ ĐUN PHẦN MỀM ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH PHỦ CHO THIẾT BỊ PHỦ BẰNG KỸ THUẬT HỒ QUANG CHÂN KHÔNG

A STUDY ON BUILDING CONTROL SOFTWARE MODULE FOR COATING PROCESS USING A VACUUM ARC TECHNIQUE

Nguyễn Đức Luận*, Phạm Đức Cường

TÓM TẮT

Thiết bị phủ bằng phương pháp PVD HCM-700 được chế tạo và tích hợp trong khuôn khổ thực hiện để án thuộc chương trình Công nghiệp Hỗ trợ cho phép tạo các lớp phủ cứng trên các vật liệu khác nhau bằng cả phương pháp phun xạ và hồ quang. Để cung cấp toàn quyền kiểm soát tất cả các thông số công nghệ trong quá trình phủ, cho phép người sử dụng thiết bị có thể thực hiện các điều chỉnh một cách linh hoạt, nhóm nghiên cứu xây dựng mô đun phần mềm điều khiển đầu hồ quang cho thiết bị phủ HCM-700 với giao diện tùy chỉnh dựa trên nền tảng phần mềm HMI linh hoạt và sử dụng bộ điều khiển logic lập trình (PLC) tiêu chuẩn công nghiệp. Với việc kiểm soát hoàn toàn tất cả các thông số, có thể giúp nghiên cứu và thực hiện tạo lớp phủ cứng với thành phần và đặc tính

Từ khóa: PVD, PLC; HMI; phần mềm điều khiển; hồ quang chân không

ABSTRACT

The HCM-700 PVD coating equipment is manufactured and integrated in the framework of a project under the Supporting Industry program that allows the creation of hard coatings on various materials by both sputtering and arc methods. To provide full control over all parameters and allow the user to make flexible adjustments during coating, a software for controlling arc-head of the HCM-700 coating machine is built. Flexible HMI software platform and industry standard programmable logic controller (PLC) is used. With complete control of all parameters, hard coatings of designed components and properties can be fabricated.

Keywords: PVD, PLC; HMI; control software; vacuum arc.

Viện Công nghệ HaUI, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email:nguyenducuan@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/11/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/12/2020

Ngày chấp nhận đăng: 25/8/2021

1. GIỚI THIỆU

Lớp phủ cứng tạo bằng phương pháp lắng đọng vật lý trong môi trường chân không (Physical Vapor Deposition - PVD) đã và đang ngày càng được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp và đời sống bởi các đặc tính ưu việt của nó. Một trong những kỹ thuật phủ phổ biến hiện nay đã được

thương mại hóa vào sản phẩm và ứng dụng rộng rãi là hồ quang chân không.

Hệ thống phủ bằng lắng đọng vật lý trong môi trường chân không (PVD) tạo lớp phủ cứng đạt được các đặc tính thiết kế nhờ điều chỉnh chế độ công nghệ phủ phù hợp và linh hoạt. Một hệ thống phủ lắng đọng được thiết kế tốt có thể thực hiện một chương trình để tạo ra nhiều lớp phủ khác nhau, mỗi lớp được lắng đọng riêng biệt trên một chất nền duy nhất [1]. Điều này làm cho nó có thể tạo các liên kết vật liệu và cấu trúc khác nhau trong một lần phủ. Các thí nghiệm như vậy đòi hỏi sự kiểm soát chính xác đối với một số thông số công nghệ phủ, chẳng hạn như lựa chọn thiên áp để, loại nguồn cung cấp điện, khoảng cách từ bia đến mẫu, áp suất khí. Hiện nay, công nghệ phủ chân không đã được một số trường đại học, viện nghiên cứu tại Việt Nam đầu tư nghiên cứu và từng bước triển khai ứng dụng vào thực tế. Nhiều đề tài khoa học công nghệ các cấp về công nghệ phủ chân không trên cơ sở lắng đọng vật lý được thực hiện. Tuy nhiên, cho đến nay các đề tài này chỉ tập trung vào nghiên cứu công nghệ phủ một số lớp phủ truyền thống như TiN, CrN trên cơ sở sử dụng các thiết bị phủ nhập ngoại và có tuổi đời cao, các hệ thống điều khiển sử dụng công nghệ cũ.

HCM-700 là thiết bị tạo màng lớp phủ cứng được chế tạo và tích hợp trong đề án thuộc chương trình Công nghiệp Hỗ trợ 2019-2020 do Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội chủ trì. Thiết bị sử dụng được cả hai công nghệ phun xạ và hồ quang chân không, với kích thước buồng là 700x700mm. Thiết bị có thể bố trí 02 đầu phun xạ với công suất 15kW/đầu, hoặc 4 đầu hồ quang với công suất 10kW/đầu, hoặc phối hợp 1 đầu phun xạ và 2 đầu hồ quang cho các quy trình phủ khác nhau. Việc tích hợp cả hai kỹ thuật phủ cho phép điều chỉnh linh hoạt trong quá trình nghiên cứu, có thể sử dụng riêng từng kỹ thuật hoặc cùng sử dụng cả hai kỹ thuật cho một lớp phủ. Tính năng này rất hữu ích vì mỗi lớp phủ bởi kỹ thuật khác nhau sẽ có đặc tính và phạm vi ứng dụng khác nhau. Đặc biệt lớp phủ được tạo bởi tích hợp cả hai kỹ thuật có thể có những đặc tính nổi trội về độ cứng hay cấu trúc [3]. Do được tích hợp cả hai kỹ thuật trên một hệ thống thiết bị, hệ thống điều

kiển và phần mềm được thiết kế riêng theo các mô đun, cho phép sử dụng độc lập từng kỹ thuật hoặc phối hợp cả hai trong cùng một quy trình phủ.

Trong phạm vi bài báo này, nhóm tác giả nghiên cứu thuật toán và xây dựng mô đun phần mềm điều khiển các đầu hồ quang cũng như quá trình phủ bằng kỹ thuật hồ quang cho thiết bị phủ HCM-700 trên cơ sở các phần cứng của hệ thống.

2. THIẾT KẾ SƠ ĐỒ ĐIỀU KHIỂN CHO ĐẦU HỒ QUANG VÀ QUÁ TRÌNH PHỦ

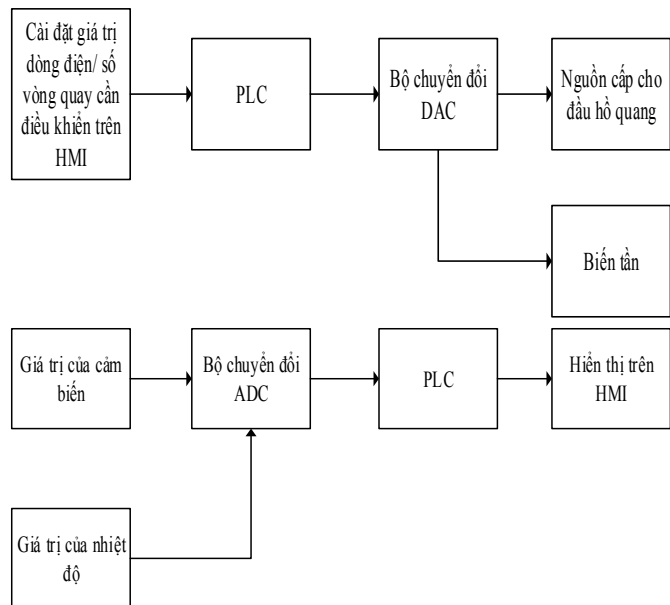
Trên cơ sở thiết kế và cấu tạo của đầu hồ quang cũng như hệ thống phủ HCM700, ta tiến hành thiết kế sơ đồ và thuật toán điều khiển cho hệ thống. Từ đó, lập trình và xây dựng mô đun phần mềm điều khiển đầu hồ quang cũng như toàn bộ quá trình phủ. Trong nghiên cứu này, bộ điều khiển PLC: FX3u-64M, mô đun Fx3U-4DA, Fx3U-4AD (Mitsubishi) và màn hình HMI MT8121iE (Weinview) được sử dụng

Các tham số điều khiển chính đối với phần mềm điều khiển đầu hồ quang và quá trình phủ trên thiết bị HCM-700 như trong bảng 1.

Bảng 1. Các tham số điều khiển chính

STT	Tham số điều khiển	Chỉ số
1	Dòng điện cấp cho đầu hồ quang hoạt động	60 - 250A
2	Áp suất buồng chân không nhỏ nhất	5.10^{-4} Pa
3	Hệ thống gia nhiệt hoạt động ổn định	0 - 600°C
4	Hệ thống điều khiển khí MFC hoạt động chính xác	< 5sccm
5	Hệ thống làm mát hoạt động ổn định ở khoảng	20°C

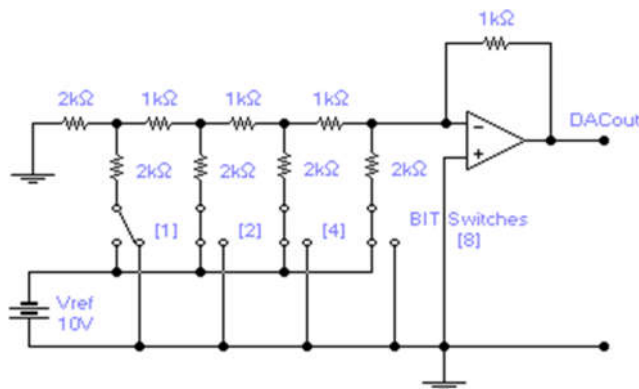
Nguyên lý điều khiển đầu hồ quang được thực hiện như sơ đồ hình 1.



Hình 1. Sơ đồ điều khiển chức năng máy HCM-700

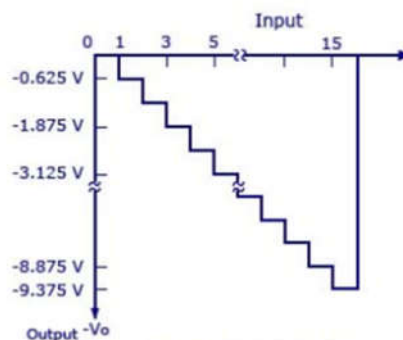
Thuật toán chuyển đổi DAC/DAC

Chuyển đổi DAC sử dụng điện trở R và 2R theo nguyên lý Thevenin [4].



Hình 2. Thuật toán chuyển đổi ADC sử dụng điện trở R-2R

Bộ chuyển đổi số sang tương tự sử dụng điện trở có trọng số nhị phân được hiển thị trong hình 2. Trong mạch, op-amp được kết nối ở chế độ đảo ngược. Op-amp cũng có thể được kết nối ở chế độ không đảo. Sơ đồ mạch đại diện cho một bộ chuyển đổi số nhị phân 4 bit. Bộ chuyển đổi 4 bit sẽ có 16 đầu ra. Do đó, 16 đầu ra tương ứng đại diện cho các đầu vào nhị phân.



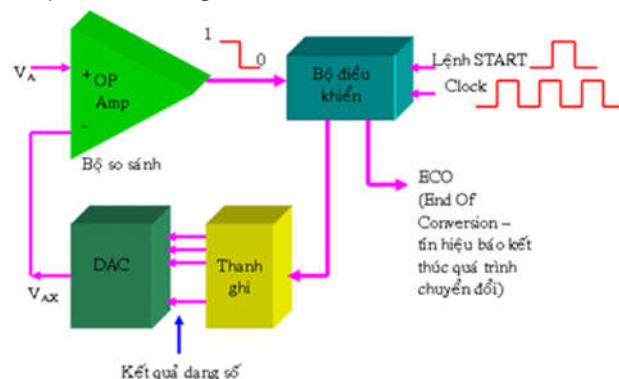
Hình 3. Đồ thị điện áp đầu ra của chuyển đổi ADC

Điện áp đầu ra của bộ chuyển đổi DAC (hình 3) được tính như sau:

$$V_o = -R_f * (b_3/2R + b_2/4R + b_1/8R + b_0/16R)$$

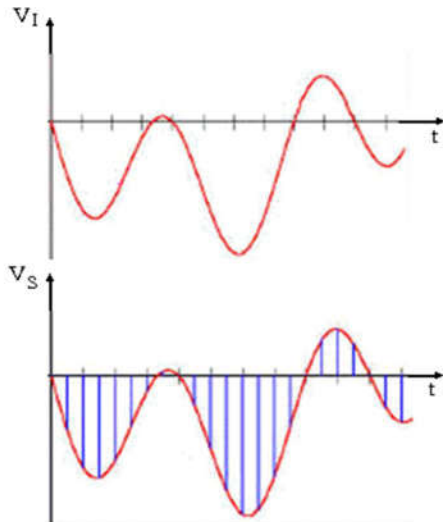
Chuyển đổi tương tự sang số

Quá trình chuyển đổi A/D nhìn chung được thực hiện qua 4 bước cơ bản, đó là: lấy mẫu; nhớ mẫu; lượng tử hóa và mã hóa. Các bước đó luôn luôn kết hợp với nhau trong một quá trình thống nhất.



Hình 4. Thuật toán chuyển đổi DAC

Bộ so sánh so sánh V_{AX} với đầu vào tương tự V_A . Nếu $V_{AX} < V_A$ đầu ra của bộ so sánh lên mức cao. Nếu $V_{AX} > V_A$ ít nhất bằng một khoảng V_T (điện thế ngưỡng), đầu ra của bộ so sánh sẽ xuống mức thấp và ngừng tiến trình biến đổi số nhị phân ở thanh ghi. Tại thời điểm này V_{AX} xấp xỉ V_A , giá trị nhị phân ở thanh ghi là đại lượng số tương đương V_{AX} và cũng là đại lượng số tương đương V_A , trong giới hạn độ phân giải và độ chính xác của hệ thống.



Hình 5. Sơ đồ lấy mẫu tín hiệu đầu vào của chuyển đổi ADC

Đối với tín hiệu tương tự V_I thì tín hiệu lấy mẫu V_S sau quá trình lấy mẫu có thể khôi phục trở lại V_I một cách trung thực nếu điều kiện sau đây thỏa mãn [5]:

$$f_s = 2f_{imax} \tag{1}$$

Trong đó, f_s : tần số lấy mẫu; f_{imax} : giới hạn trên của dải tần số tương tự.

Hình 5 biểu diễn cách lấy mẫu tín hiệu tương tự đầu vào. Nếu biểu thức (1) được thỏa mãn thì ta có thể dùng bộ tụ lọc thông thấp để khôi phục V_I từ V_S .

Vì mỗi lần chuyển đổi điện áp lấy mẫu thành tín hiệu số tương ứng đều cần có một thời gian nhất định nên phải nhớ mẫu trong một khoảng thời gian cần thiết sau mỗi lần lấy mẫu. Điện áp tương tự đầu vào được thực hiện chuyển đổi A/D trên thực tế là giá trị V_I đại diện, giá trị này là kết quả của mỗi lần lấy mẫu.

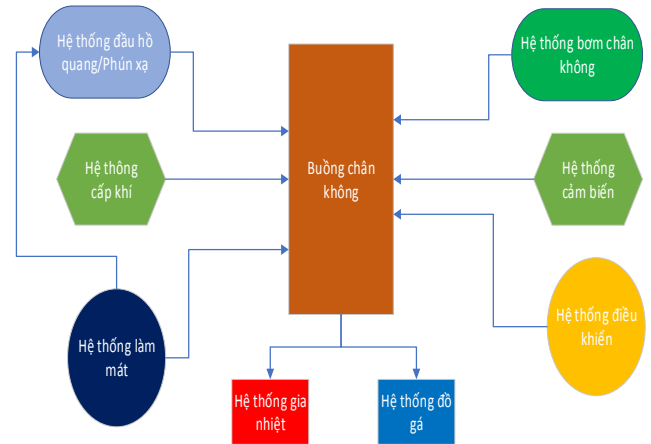
3. XÂY DỰNG PHẦN MỀM ĐIỀU KHIỂN CHO ĐẦU HỒ QUANG VÀ QUÁ TRÌNH PHỦ

Để đảm bảo quá trình vận hành tin cậy và an toàn phần mềm điều khiển phải được thiết kế và xây dựng trên cơ sở phần cứng của thiết bị HCM-700 và đầu hồ quang nói riêng.

Sơ đồ cấu tạo của thiết bị phủ HCM-700 như hình 6 và bao gồm các bộ phận chính sau:

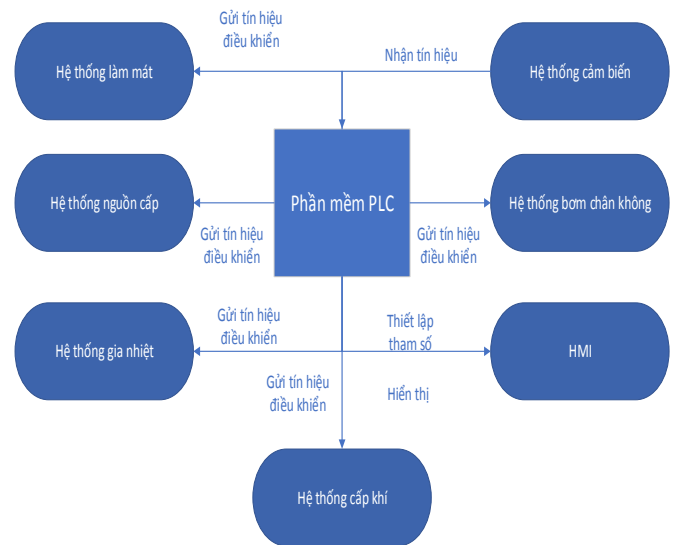
- Buồng chân không (Hệ thống gia nhiệt để, hệ thống đồ gá quay)
- Hệ thống bơm chân không
- Hệ thống cấp khí

- Hệ thống đầu hồ quang
- Hệ thống làm mát
- Hệ thống các cảm biến
- Hệ thống điện, điều khiển



Hình 6. Sơ đồ cấu tạo của thiết bị phủ HCM-700

Trên cơ sở phân tích nguyên lý hoạt động và các yêu cầu kỹ thuật của các thiết bị, cụm thiết bị của phần cứng. Phần mềm điều khiển được thiết kế theo dạng từng mô đun.



Hình 7. Sơ đồ luồng dữ liệu của hệ thống phần mềm điều khiển đầu hồ quang

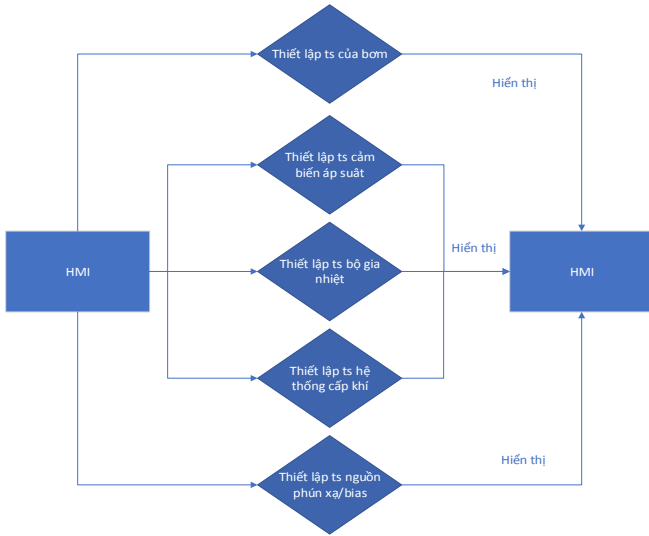
Sơ đồ luồng dữ liệu của hệ thống phần mềm điều khiển đầu hồ quang như hình 7. Phần mềm PLC điều khiển phải có các chức năng sau:

- Nhận các tín hiệu từ cảm biến, nhận các thiết lập tham số từ HMI.
- Gửi tín hiệu điều khiển đến hệ thống bơm chân không, hệ thống gia nhiệt, hệ thống nguồn cấp của hồ quang xạ và bias, hệ thống làm mát, hệ thống cấp khí.

Sơ đồ luồng dữ liệu của hệ thống HMI như hình 8. Mô đun điều khiển hệ thống HMI có các chức năng sau:

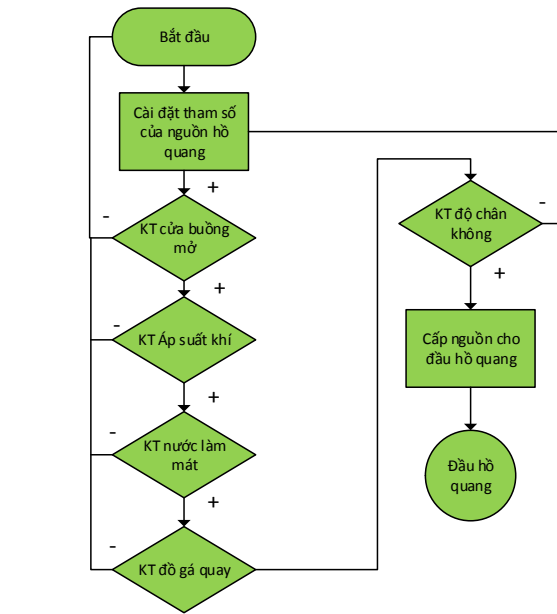
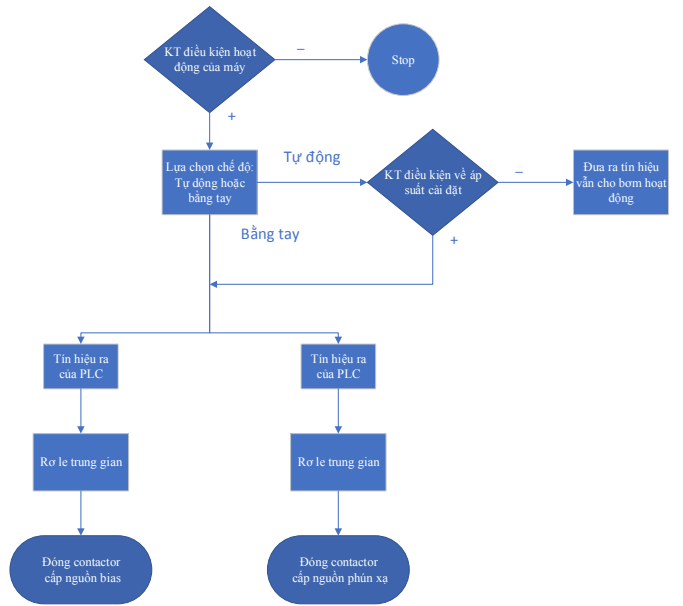
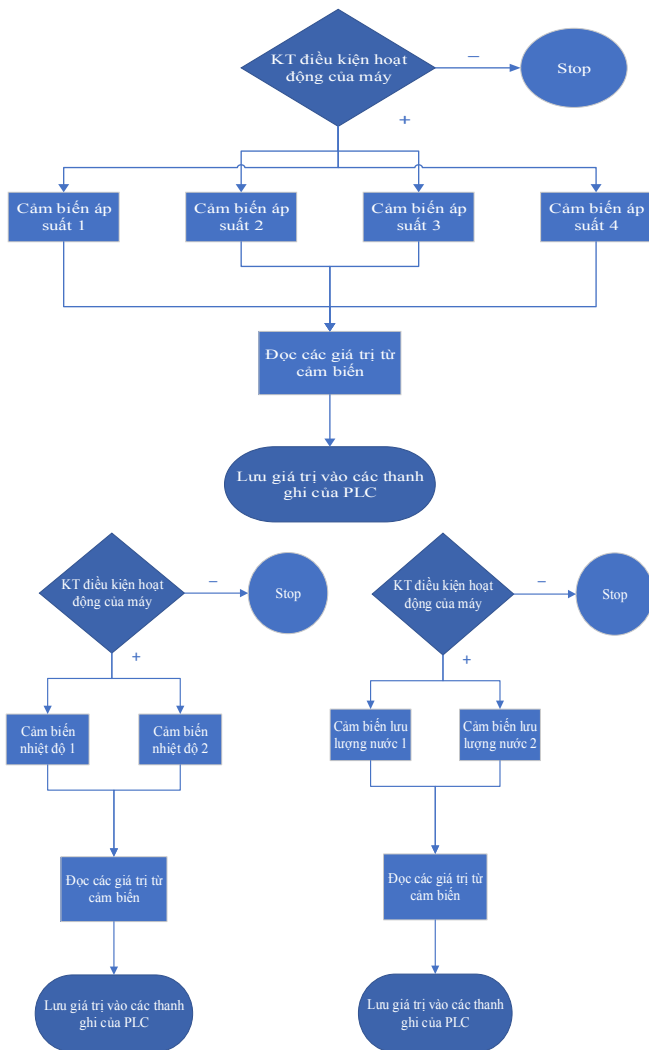
- Thiết lập tham số của bơm, tham số cảm biến áp suất, tham số của bộ gia nhiệt, tham số của hệ thống cấp khí, tham số của hệ thống hồ quang/ bias.

- Hiển thị tham số của số của bơm, tham số của cảm biến áp suất, tham số của bộ gia nhiệt, tham số của hệ thống cấp khí, tham số của hệ thống hồ quang/bias.

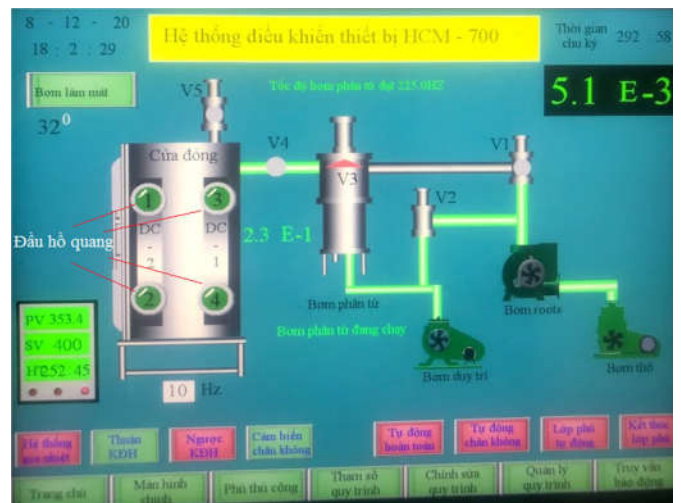


Hình 8. Sơ đồ luồng dữ liệu của hệ thống HMI

Lưu đồ thuật toán điều khiển đầu hồ quang được thực hiện như trong hình 9.



Hình 9. Các lưu đồ điều khiển thiết bị HCM-700



Hình 10. Hệ thống phần mềm điều khiển đầu hồ quang

Sau khi cài đặt phần mềm điều khiển (hình 10) và chạy thử nghiệm đánh giá trên hệ thống phủ, kết quả đưa ra trong bảng 2 và 3.

Bảng 2. Kết quả sai số quá trình điều khiển cường độ dòng điện của nguồn hồ quang

STT	Cài đặt trên HMI	Điện thế quy đổi theo lý thuyết (V) Sai số: 0,5%/10V	Điện thế thực tế (V)	Dòng cấp cho đầu hồ quang theo lý thuyết (A)	Dòng cấp cho đầu hồ quang thực tế (A)
1	50	0	0	0	0
2	70	1	0,999	70	69,93
3	90	2	1,999	90	89,96
4	130	4	3,998	130	129,94
5	150	5	3,992	150	119,76
6	170	6	5,997	170	169,92
7	190	7	6,993	190	189,81
8	250	10	9,996	250	249,90

Từ các giá trị trong bảng 2, cho thấy giá trị điện thế quy đổi có hiện tượng sai số quá 0,8%/10V trong quá trình điều khiển. Điều này có thể được giải thích như sau: quá trình truyền tín hiệu từ HMI về bộ chuyển đổi A/D và nguồn cấp của đầu hồ quang bị nhiễu do nguồn điện cấp không ổn định, nhiệt độ tại mỗi thời điểm khảo sát có sự thay đổi. Với sai số là 0,8%/10V thì hoàn toàn có thể đáp ứng được các yêu cầu về điều khiển dòng cho nguồn hồ quang trong quá trình phủ.

Bảng 3. Kết quả sai số quá trình điều khiển nhiệt độ trong buồng chân không

STT	Cài đặt trên HMI (°C)	Điện thế quy đổi theo lý thuyết (V) Sai số: 0,3%/20V	Nhiệt độ hiển thị trên HMI (°C)
1	50	1	50,2
2	100	2	99,3
3	150	4	151,4
4	200	6	202,5
5	250	8	252,3
6	300	10	298,6
7	350	12	352,1
8	400	14	402,2
9	450	16	451,8
10	500	18	502,2
11	550	20	551,7

Như thấy trong bảng 3, quá trình điều khiển nhiệt độ có sai số lớn nhất là 2,5°C. Điều này có thể được giải thích như sau: do quá trình điều khiển phải thực hiện 2 lần DAC và ADC do vậy các yếu tố nhiễu do nguồn điện cấp không ổn định, nhiệt độ tại mỗi thời điểm khảo sát có sự thay đổi.

4. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày quá trình thiết kế và xây dựng lưu đồ thuật toán để lập trình điều khiển quá trình phủ cho thiết bị phủ bằng kỹ thuật hồ quang trên cơ sở phần cứng có sẵn của thiết bị HCM-700.

Các thuật toán DAC, ADC đã được sử dụng để điều khiển tham số trong quá trình phủ (Dòng điện và nhiệt độ). Thực hiện trên các thiết bị: Bộ điều khiển PLC: FX3u-64M, mô đun Fx3U-4DA, Fx3U-4AD (Mitsubishi) và màn hình HMI - MT8121iE (Weinview). Trong bài báo chỉ khảo sát 2 thông số dòng điện và nhiệt độ vì nó đặc trưng cho 2 quá trình điều khiển sử dụng thuật toán DAC và ADC khi xây dựng mô đun của chương trình.

Quá trình thực hiện và đánh giá kết quả của phần mềm điều khiển cho thấy sai số lớn nhất của dòng điện là 4A của nhiệt độ là 2,5°C

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J. J. Attema, L. Chioncel, C.M. Fang, 2005. Half-Metals: Challenges in Spintronics and Routes Toward Solutions. in Lect. Notes Phys., 678, p. 201-216, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [2]. P. Wu, G. Saraf, Y. Lu, 2007. *Magnetic properties of Fe-implanted ZnO nanotips grown by metal-organic chemical vapor deposition*. J. Electronic Mater., Vol.36, p. 529-532.
- [3]. P. B. Parchinskiy, Fu Cheng Yu, Se Young Jeong, 2006. *Optical characteristics of MBE grown GaMnAs embedded with MnAs clusters*. Appl. Surf. Sci., Vol. 253, p. 515-518.
- [4]. Phạm Tung Khanh. *Giao trình Ly thuyết mach*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.
- [5]. Phạm Minh Ha, 1997. *Kỹ thuật mạch điện tu*. Science and Technics Publishing House, Hanoi, Vietnam.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Duc Luan, Phạm Duc Cuong

HaUI Institute of Technology, Hanoi University of Industry