



## PHÁT TRIỂN KIT ĐIỀU KHIỂN PID SỐ SỬ DỤNG MCU-MSP430

Nguyễn Minh Trường<sup>1</sup> và Nguyễn Chí Ngôn<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lớp Kỹ thuật điều khiển và tự động hóa K37-TC11Y8A1

<sup>2</sup> Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

### Thông tin chung:

Ngày nhận: 03/05/2014

Ngày chấp nhận: 28/08/2014

### Title:

Development of the MCU-MSP430 – based digital PID controller kit

### Từ khóa:

Điều khiển PID số, động cơ DC, MCU-MSP430

### Keywords:

Digital PID control, DC motor, MCU-MSP430

### ABSTRACT

This study aims to design and manufacture a digital PID controller kit using the MSP-430 microcontroller of Texas Instruments Inc., which allows collecting real time data and sending them to a PC. A low-power DC motor is used as a control plant to verify the performance of the proposed controller kit and the computer interface software. Experimental results show that it is feasible to integrate the digital PID controller on the MSP430 microcontroller and the PC interface can conveniently display and record the transient system response.

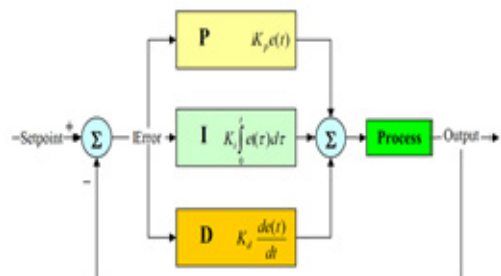
### TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm thiết kế và chế tạo kit điều khiển PID số tích hợp trên vi điều khiển MSP-430 của hãng Texas Instruments, có thu thập dữ liệu theo thời gian thực và gửi về máy tính. Một động cơ DC công suất nhỏ được sử dụng làm đối tượng điều khiển để kiểm chứng khả năng hoạt động của kit PID số và phần mềm giao tiếp với máy tính. Kết quả thực nghiệm cho thấy khả năng tích hợp bộ điều khiển PID số trên MCU-MSP430 là khả thi; phần mềm giao tiếp giữa kit PID số và máy tính cho phép hiển thị và lưu trữ thời gian quá độ của đáp ứng một cách thuận lợi

## 1 GIỚI THIỆU

Ngày nay bộ điều khiển vi tích phân tỉ lệ (bộ điều khiển PID- Proportional Integral Derivative controller) được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển công nghiệp (Johnson, M.A. and M.H. Moradi, 2005). Bộ điều khiển PID gồm 3 thông số riêng biệt, do đó đôi khi nó còn được gọi là điều khiển ba khâu: khâu tỉ lệ, khâu tích phân và khâu vi phân, được viết tắt là P, I, và D (Hình 1). Thiết kế bộ điều khiển PID thực chất là việc điều chỉnh 3 thông số trên để đạt được chất lượng điều khiển theo yêu cầu. Bộ điều khiển PID được tích hợp thành các mô-đun công nghiệp lập trình được và tiện dụng (Nippon Instruments, 2014; Bluefic Industrial and Scientific Technologies, 2014). Ngoại trừ giá thành cao, thì các mô-đun công nghiệp này đáp ứng được hầu hết các nhu cầu ứng dụng tương ứng.

Nhằm mục tiêu chế tạo bộ điều khiển PID số nhỏ gọn, giá thành thấp, phục vụ cho các nhu cầu điều khiển trong phạm vi phòng thí nghiệm, chế tạo các robot tham gia kỳ thi Robocon quốc gia,... nghiên cứu này hướng đến việc ứng dụng vi điều khiển MCU-MSP 430 (Texas Instuments,2014) để thiết kế và chế tạo một kit phát triển PID số.



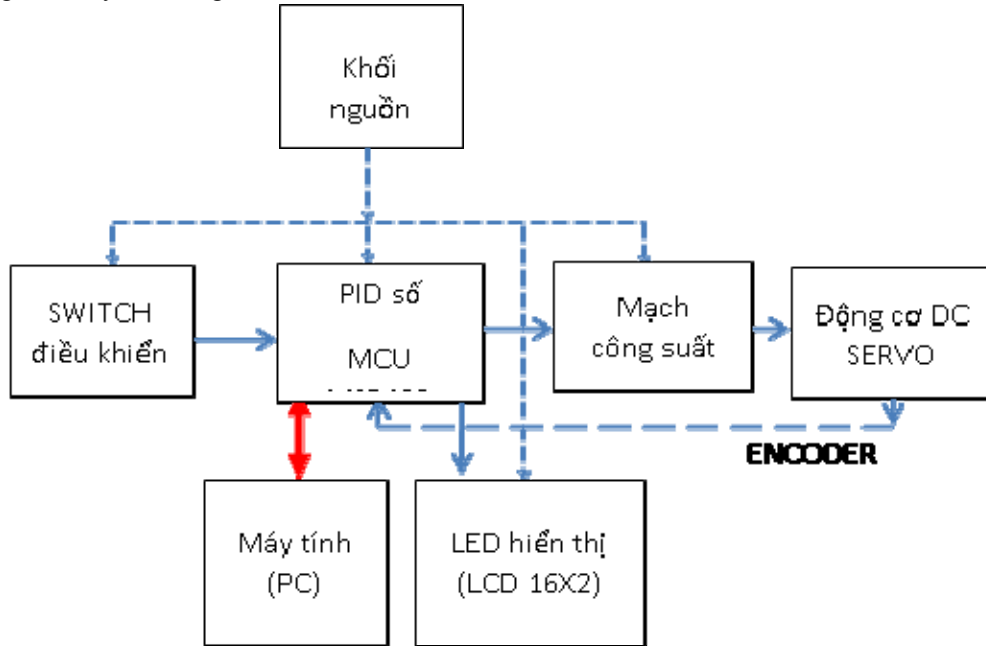
Hình 1: Sơ đồ khối của bộ điều khiển PID

## 2 TỔNG QUAN KIT ĐIỀU KHIỂN PID SỐ SỬ DỤNG MCU-MSP430

### 2.1 Lý thuyết và nguyên lý hoạt động

Sơ đồ điều khiển PID số dựa trên MCU-MSP430 được thể hiện trên Hình 2, để điều khiển tốc độ động cơ DC. Nguyên lý hoạt động của hệ như sau: Đầu tiên, vận tốc tham khảo  $V_{set}$  được cài đặt cho hệ thống. Lúc này, hệ thống khảo sát là hệ hở. Khi

động cơ hoạt động, vi điều khiển sẽ tiến hành lấy mẫu vận tốc đáp ứng của hệ hở này thông qua encoder. Sau khi lấy mẫu xong, vi điều khiển sẽ hiệu chỉnh các thông số ( $K_p$ ,  $K_D$  và  $K_I$ ) của bộ điều khiển. Sau đó, nhập các thông số  $K_p$ ,  $K_D$  và  $K_I$  vừa hiệu chỉnh xuống vi điều khiển. Từ các thông số  $K_p$ ,  $K_D$  và  $K_I$  vừa nhận, bộ điều khiển PID số được thiết lập trên vi điều khiển và sẵn sàng hoạt động.



Hình 2: Sơ đồ hệ thống điều khiển PID

### 2.2 Phương pháp điều chỉnh bộ điều khiển PID

Để có thể điều chỉnh bộ điều khiển PID, người thiết kế cần nắm vững ảnh hưởng của các thông số

( $K_p$ ,  $K_D$  và  $K_I$ ) lên chất lượng đáp ứng, được tóm tắt trên Bảng 1 (Jinghua Zhong, 2006).

Bảng 1: Ảnh hưởng của các thông số của bộ điều khiển lên chất lượng hệ thống

Thông số	Thời gian tăng	Thời gian quá độ	Thời gian xác lập	Sai số xác lập	Độ ổn định
$K_p$	Giảm	Tăng	Thay đổi nhỏ	Giảm	Giảm
$K_i$	Giảm	Tăng	Tăng	Giảm đáng kể	Giảm
$K_d$	Giảm ít	Giảm ít	Giảm ít	Không tác động	Cải thiện nếu $K_d$ nhỏ

#### 2.2.1 Phương pháp điều chỉnh thử sai

Phương pháp điều chỉnh thử sai thường thiết đặt giá trị đầu của  $K_i$  và  $K_d$  bằng không. Tăng dần  $K_p$  cho đến khi đáp ứng vòng điều khiển dao động, sau đó  $K_p$  có thể được đặt tới xấp xỉ một nửa giá trị đó. Sau đó tăng  $K_i$  đến giá trị phù hợp sao cho đảm bảo thời gian tăng của đáp ứng. Tuy nhiên,  $K_i$  quá lớn sẽ gây mất ổn định. Cuối cùng, tăng  $K_d$  nếu cần thiết, cho đến khi vòng điều khiển có thể chấp nhận được khi đáp ứng nhanh chóng lấy lại được giá trị tham khảo sau khi bị nhiễu tác động. Tuy nhiên,  $K_d$  quá lớn sẽ làm hệ thống đáp ứng chậm.

#### 2.2.2 Phương pháp thực nghiệm Ziegler–Nichols

Phương pháp thực nghiệm Ziegler–Nichols, được giới thiệu bởi John G. Ziegler và Nathaniel B. Nichols vào những năm 1940. Độ lợi  $K_i$  và  $K_d$  lúc đầu được gán bằng không. Độ lợi P được tăng đến giá trị tới hạn  $K_u$ , mà ở đó đáp ứng vòng hở bắt đầu dao động.  $K_u$  và chu kỳ dao động  $P_u$  được dùng để cài đặt thông số bộ điều khiển PID theo quan hệ được Ziegler–Nichols đề xuất trên Bảng 2 (Jinghua Zhong, 2006).

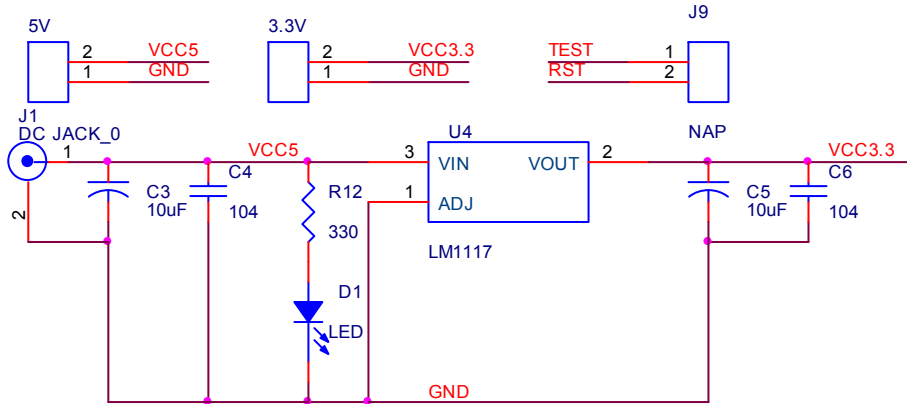
**Bảng 2: Thông số PID theo phương pháp Ziegler–Nichols**

Dạng điều khiển	$K_p$	$K_i$	$K_d$
P	$0.5 K_u$	-	-
PI	$0.45 K_u$	$1.2 K_p/P_u$	-
PID	$0.6 K_u$	$2 K_p/P_u$	$K_p P_u/8$

**2.3 Thiết kế phần cứng kit PID số**

**2.3.1 Khối nguồn**

Hình 3 mô tả sơ đồ thiết kế đơn giản cho nguồn cấp điện của Kit PID. Trong đó, điện áp 5VDC được đưa qua chip LM1117 để tạo nguồn 3.3VDC cấp cho chip MCU MSP430F5529.

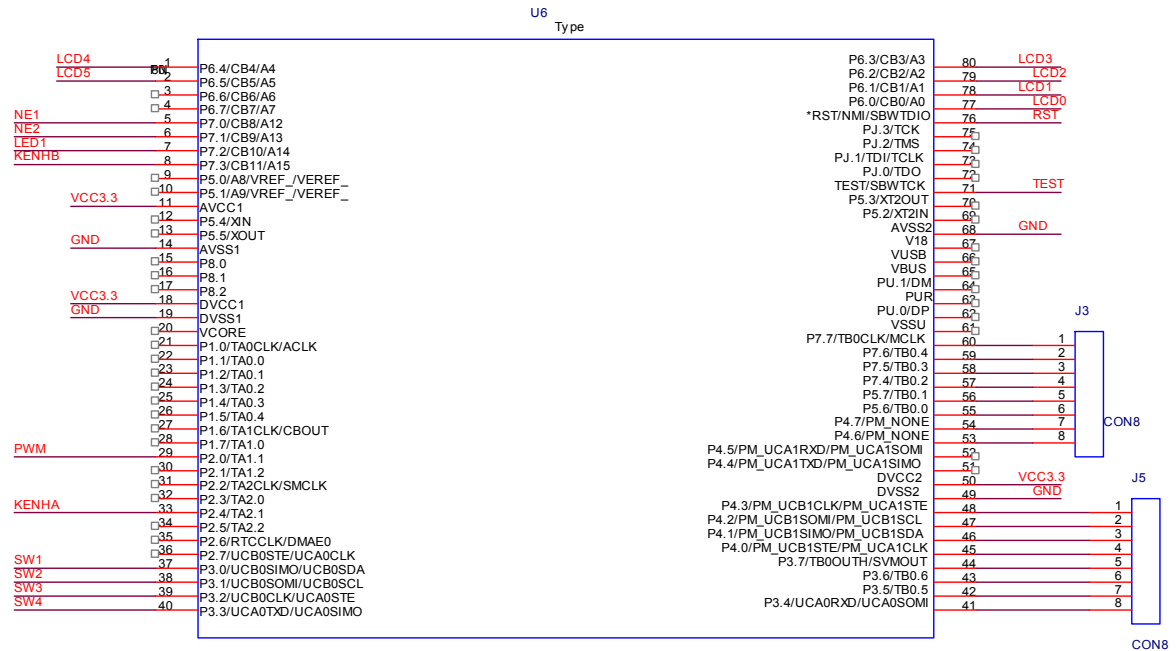


**Hình 3: Sơ đồ thiết kế khối nguồn**

**2.3.2 Khối vi điều khiển**

Vi điều khiển sử dụng là MCU MSP430F5529, trên Hình 4. Nó có chức năng lấy mẫu đáp ứng từ xung encoder, xuất tín hiệu điều khiển tốc độ động cơ, nhận các tín hiệu điều khiển từ bên ngoài. Ngoài ra, vi điều khiển còn chức năng quan trọng

là xây dựng bộ điều khiển PID số. Bên cạnh những chức năng trên, vi điều khiển còn có chức năng: reset hệ thống, cho hệ thống bắt đầu hoạt động gọi là bộ start, chọn chế độ xử lý và chức năng báo hiệu.

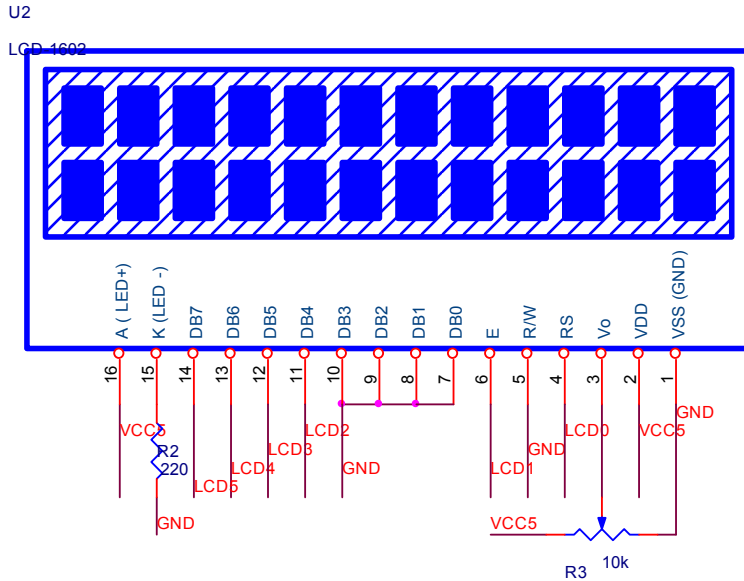


**Hình 4: Sơ đồ thiết kế của vi xử lý**

2.3.3 Khối hiển thị LCD

hiển thị các thông số cần thiết để tương tác giữa hệ thống và người sử dụng.

Khối hiển thị Hình 5 sử dụng LCD 16x2 để

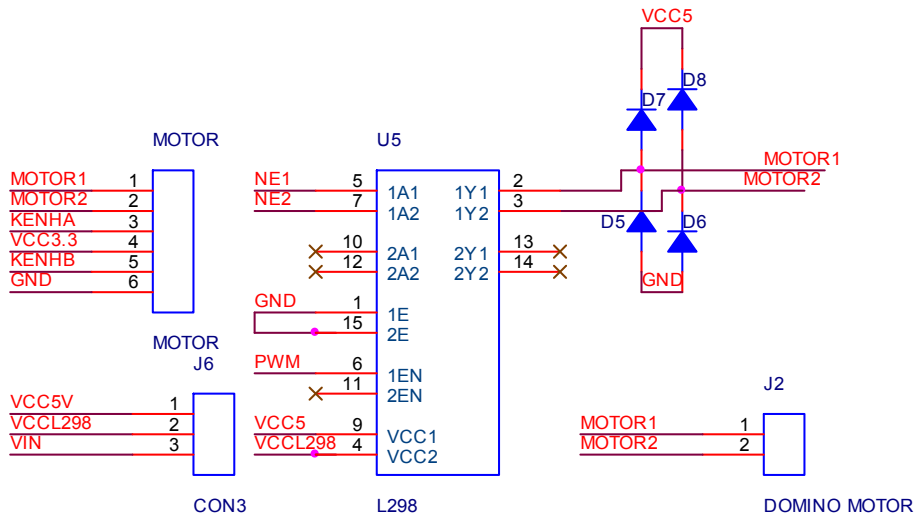


Hình 5: Sơ đồ thiết kế mạch hiển thị LCD 16x2

2.3.4 Khối công suất

chip tích hợp 2 mạch cầu H, dùng để điều khiển tốc độ động cơ và đảo chiều chuyển động của động cơ.

Khối công suất Hình 6 dùng chip L298D, là

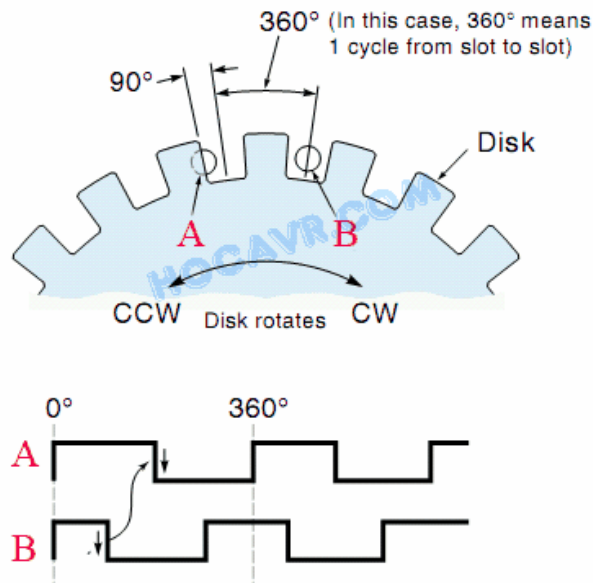


Hình 6: Khối công suất điều khiển động cơ

2.3.5 Khối Encoder

Nguyên lý hoạt động của encoder được minh họa trên Hình 7. Cách đọc encoder trên MCU MSP430F5529 bằng phương pháp ngắt ngoài. Đây là phương pháp dễ và đạt độ chính xác cao. Ý tưởng của phương pháp rất đơn giản, chúng ta nối kênh A của encoder với 1 ngắt ngoài (INT2 chẳng

hạn) và kênh B với một chân nào đó bất kỳ (không phải chân ngắt). Cứ mỗi lần ngắt ngoài xảy ra, tức có 1 xung xuất hiện trên ở kênh A thì trình phục vụ ngắt ngoài tự động được gọi. Trong trình phục vụ ngắt này chúng ta kiểm tra mức của kênh B, tùy theo mức của kênh B chúng ta sẽ tăng biến đếm xung lên 1 hoặc giảm đi 1.

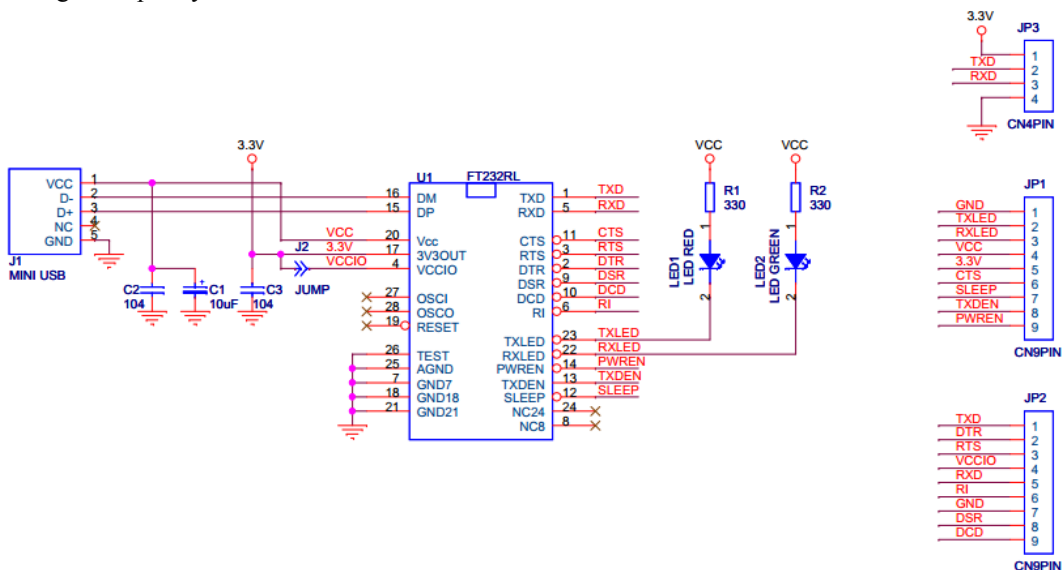


Hình 7: Cấu trúc của Encoder (AVR tutorial, 2014)

2.3.6 Khối giao tiếp máy tính

Khối giao tiếp máy tính Hình 8 được thực hiện

thông qua cổng USB và giao tiếp vi xử lý thông qua giao tiếp UART.



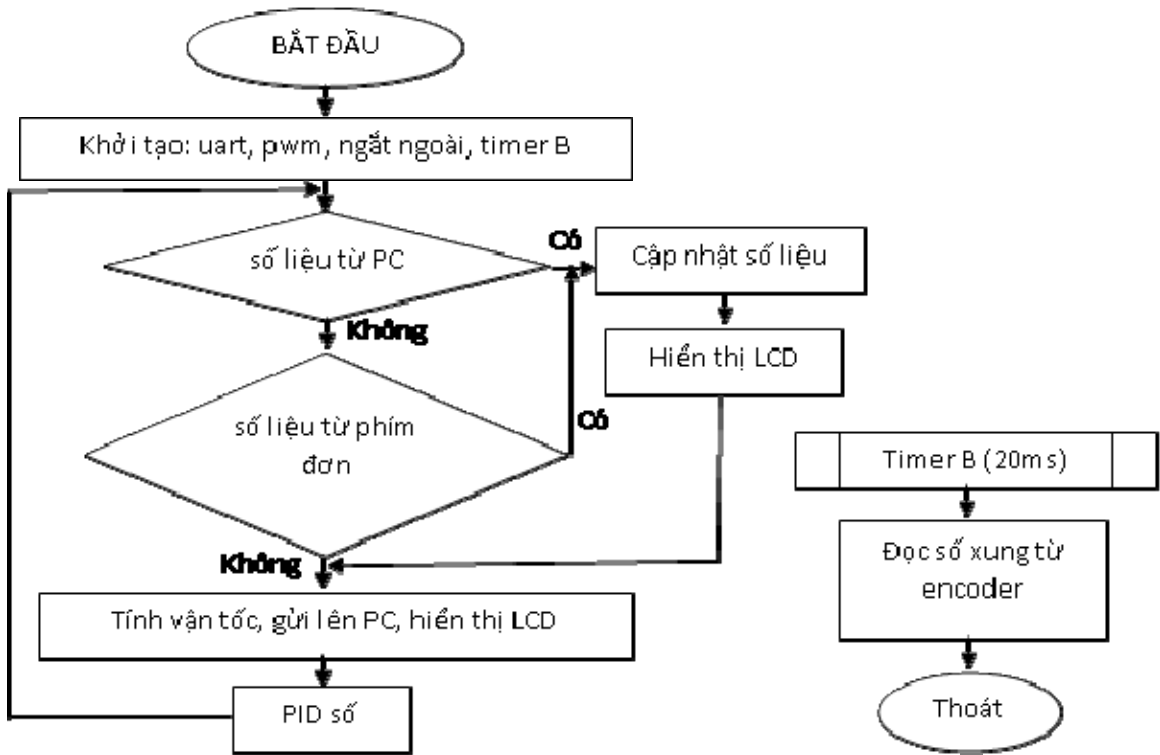
Hình 8: Sơ đồ nguyên lý mô-đun FT232 giao tiếp máy tính

2.4 Chương trình PID số trên MCU-MSP430

2.4.1 Điều khiển động cơ DC bằng MCU

Mô hình hệ thống sử dụng động cơ DC 24V có vận tốc không tải tối đa là 4000 vòng/phút. Encoder dùng cho động cơ có độ phân giải 100 xung/vòng. Kênh A của encoder được nối với ngắt ngoài của MCU để đếm xung. Nhận và gửi tín hiệu

điều khiển với máy tính thông qua giao tiếp UART. Màn hình LCD dùng để hiển thị vận tốc thực của motor đọc từ encoder và vận tốc đặt. Giải thuật PID số được vận hành bởi MCU-MSP430 trong thời gian lấy mẫu là 20 ms. Timer B dùng để tạo thời gian 20 ms. Timer A là bộ tạo tín hiệu PWM điều khiển tốc độ động cơ.



Hình 9: Lưu đồ giải thuật của MCU-MSP430

2.4.2 Rời rạc hóa PID

Thiết kế một bộ điều khiển PID số trên một vi điều khiển yêu cầu dạng chuẩn của bộ điều khiển PID phải được rời rạc hóa. Vì phân bậc một được xác định bằng sai phân hữu hạn lùi (1). Khâu tích phân được rời rạc hóa, với thời gian lấy mẫu  $\Delta t$  như (2):

$$\frac{de(t_k)}{dt} = \frac{e(t_k) - e(t_{k-1})}{\Delta t} \quad (1)$$

$$u(t_k) = u(t_{k-1}) + K_p \left[ \left( 1 + \frac{\Delta t}{T_i} + \frac{T_d}{\Delta t} \right) e(t_k) + \left( -1 - \frac{2T_d}{\Delta t} \right) e(t_{k-1}) + \frac{T_d}{\Delta t} e(t_{k-2}) \right] \quad (3)$$

2.4.3 Đoạn chương trình PID số

error = setpoint - actual\_position ;  
 integral = integral + (error\*dt) ;  
 derivative = (error - previous\_error)/dt ;  
 output = (Kp\*error) + (Ki\*integral) + (Kd\*derivative) ;

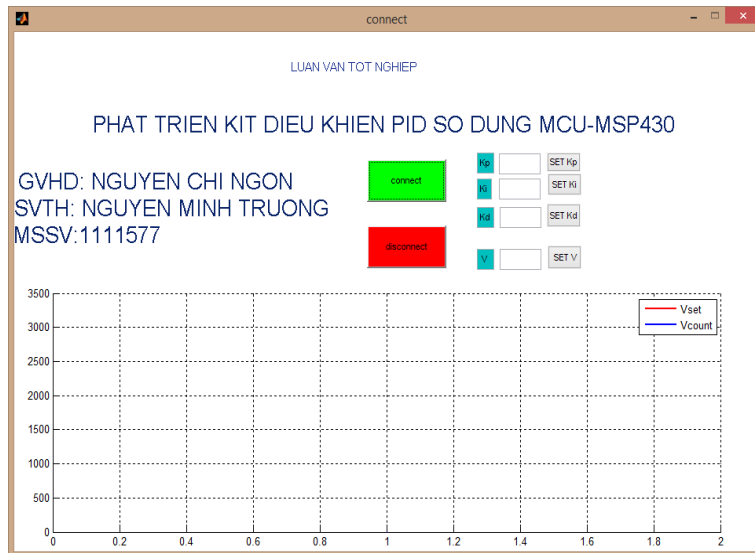
$$\int_0^{t_k} e(\tau) d\tau = \sum_{i=1}^k e(t_i) \Delta t \quad (2)$$

Do đó, một giải thuật vận tốc cho việc thực thi bộ điều khiển PID rời rạc trên một MCU đạt được bằng cách đạo hàm  $u(t)$ , sử dụng các thông số xác định từ đạo hàm bậc một và đạo hàm bậc 2, tìm ra  $u(t_k)$  cuối cùng ta được (3):

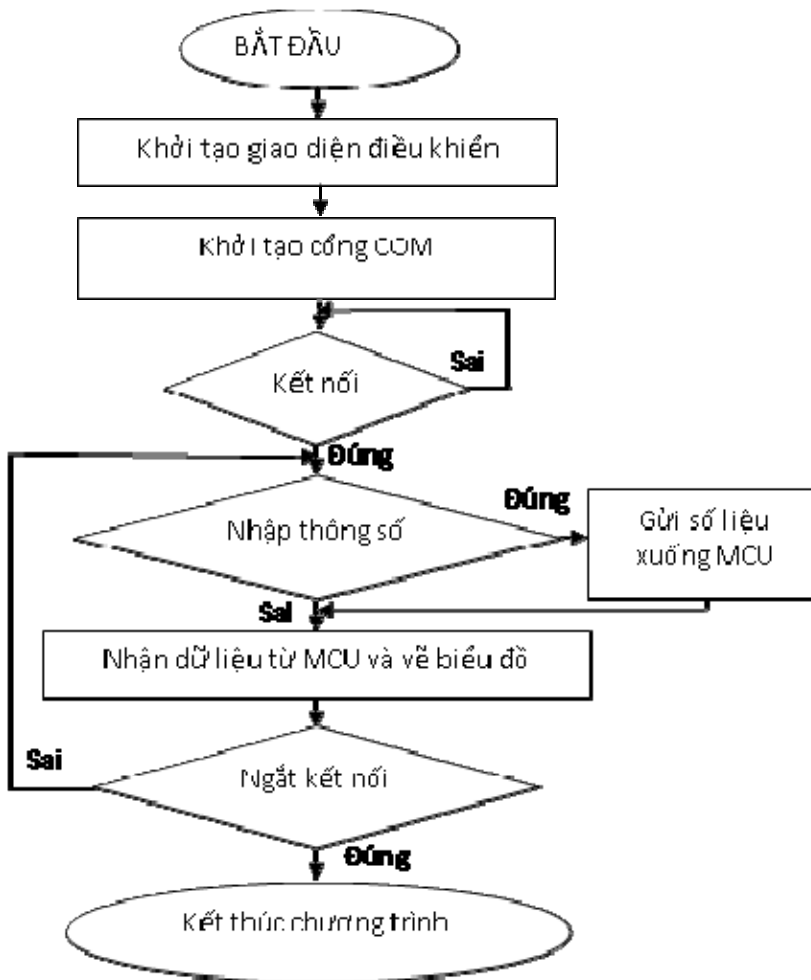
previous\_error = error;

2.5 Chương trình điều khiển trên máy tính

Thiết kế giao diện dựa trên nền GUI của MATLAB, giao tiếp với thiết bị thông qua cổng COM máy tính.



Hình 10: Giao diện điều khiển động cơ được trên PC



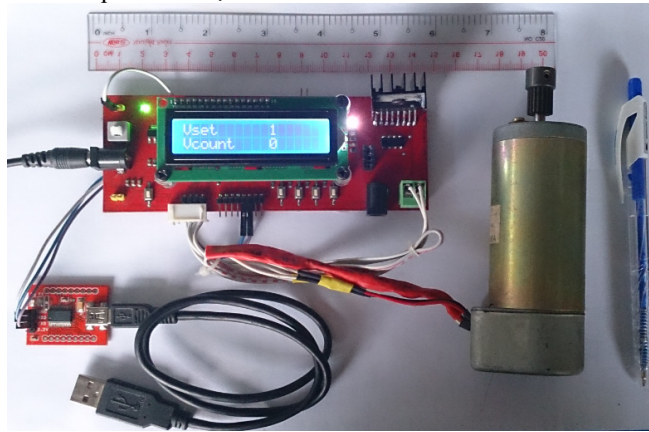
Hình 11: Lưu đồ giải thuật giao tiếp trên PC



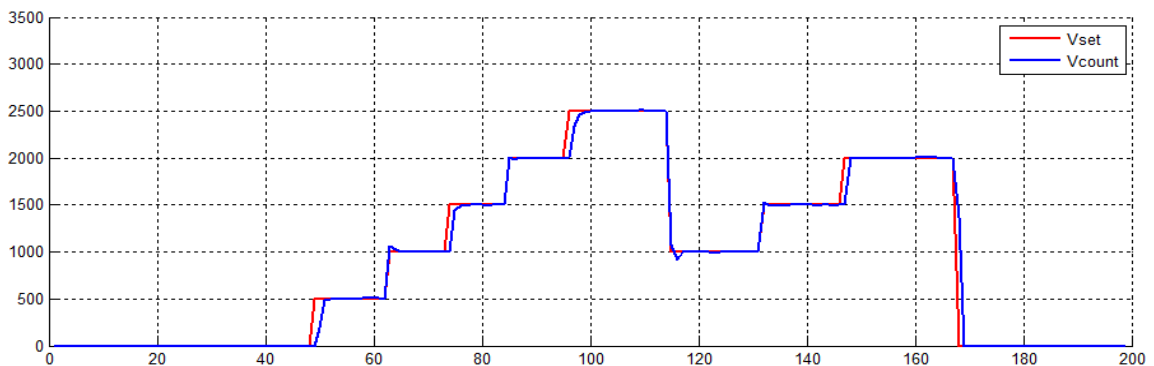
### 3 KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Bộ điều khiển PID số sử dụng MCU-MSP430 có cấu trúc như Hình 12, thực hiện quá trình điều khiển động cơ thực, ta thu thập đáp ứng ở Hình 13. Để thuận lợi cho việc khảo sát quá trình vận hành

của hệ thống cũng như thu thập số liệu đánh giá chất lượng điều khiển của giải thuật, hệ thống có thể được điều khiển trực tiếp trên máy tính (PC) thông qua giao diện người dùng như Hình 10 hoặc điều khiển trực tiếp trên KIT MSP430.



Hình 12: Mô Hình điều khiển động cơ DC



Hình 13: Đáp ứng của hệ thống

Kết quả thực nghiệm đã chứng tỏ kit PID số được đề xuất trong nghiên cứu cho kết quả điều khiển tốt, với sai số xác lập nhỏ hơn 0.04% so với giá trị tham khảo.

### 4 KẾT LUẬN

Qua thực nghiệm, ta thấy kit điều khiển PID số đã thiết kế hoạt động tốt trên hệ thống ổn định tốc độ động cơ DC, với đáp ứng của hệ thống bám tốt tín hiệu tham khảo và thời gian xác lập hợp lý. Kit PID này hoàn toàn có thể sản xuất phục vụ nhu cầu học tập và nghiên cứu của sinh viên.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. AVR tutorial, 2014. [http://www.hocavr.com/index.php/app/dcse\\_rvo](http://www.hocavr.com/index.php/app/dcse_rvo). Truy cập: 13/6/2014.
2. Bluefic Industrial and Scientific Technologies, 2014. Microprocessor Based PID Controller. URL: <http://www.blueficindia.com/microprocessor-based-pid-controller.htm> (truy cập: 13/06/2014).
3. Jinghua Zhong, 2006. PID Controller Tuning: A Short Tutorial, Mechanical Engineering, Purdue University.
4. Johnson M.A. and M.H. Moradi, 2005. Chapter 8, in: PID Control - New Identification and Design Methods, pp. 297-337. Springer-Verlag London Ltd. ISBN-10: 1-85233-702-8.
5. Nippon Instruments, 2014. PID Controllers, India.
6. Texas Instruments, 2014. MSP430™ Ultra-Low-Power Microcontrollers.