

**THỰC HIỆN KỸ THUẬT ĐIỀU KHIỂN SỐ HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN MỘT CHIỀU DC SERVO VỚI CARD ADVANTECH PCI – 1711 TRÊN MATLAB SIMULINK
IMPLEMENTATION OF DIGITAL CONTROL WITH ADVANTECH CARD PCI – 1711 ON MATLAB SIMULINK FOR DC DRIVER SYSTEM**

TS. LƯU KIM THÀNH; ThS. PHẠM TUẤN ANH
Khoa Điện - ĐTTB, Trường ĐHHH

Tóm tắt

Bài viết này đề cập đến vấn đề thực hiện điều khiển số hệ truyền động điện một chiều Dc Servo trên Matlab-Simulink kết hợp với card PCI – 1711 của Advantech, trong đó các thông số của hệ truyền động điện được chỉnh định thời gian thực.

Abstract

This paper discusses the implementation of digital controller for DC driver system on Matlab-Simulink with Advantech PCI – 1711 Card, in which the parameters of DC driver system) are realtime adjusted.

1. Đặt vấn đề

Trên thế giới, việc nghiên cứu lý thuyết điều khiển số cũng như thiết kế hệ thống thực được phát triển rất mạnh mẽ trong những năm gần đây tại các trường đại học, viện nghiên cứu lớn trên thế giới như MIT (Mỹ), Indian Institute of Technology – Bombay, Lab. d’Automatique de Grenoble (INPG/CNRS). Điều khiển số đã được triển khai nghiên cứu trong nhiều lĩnh vực [1], [2].

Tại Việt Nam, trong môi trường đào tạo hàn lâm, việc nghiên cứu điều khiển số cũng giành được nhiều sự quan tâm [2], [3].

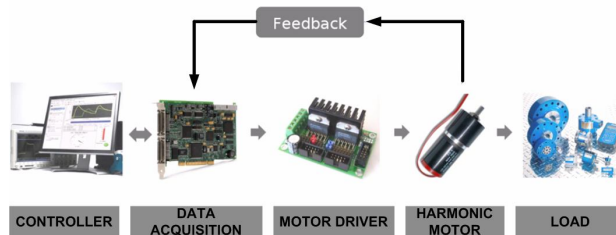
Bài viết này góp phần bổ sung thông tin và nâng cao năng lực nghiên cứu và giảng dạy học phần “Điều khiển số” cho sinh viên, đồng thời giúp các kỹ sư tiếp cận với xu hướng phát triển hiện nay của lĩnh vực điều khiển tự động là ứng dụng các thuật toán điều khiển vào việc sản xuất các thiết bị nhúng, các chip khả trình hoặc vi điều khiển. Nội dung nghiên cứu tập trung vào việc thiết kế tối ưu tham số bộ điều khiển tốc độ động cơ DC servo.

Phương pháp nghiên cứu kết hợp giữa mô phỏng và thực nghiệm trên mô hình vật lý nhằm kiểm nghiệm các biện pháp được đề xuất.

2. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu ở đây là hệ truyền động điện xung áp – động cơ dc servo được mô tả như hình 1. Hệ thống điều khiển số thực nghiệm với máy tính đóng vai trò bộ điều khiển thông qua *Toolbox Realtime Windows Target* kết hợp với *Card DAQ Advantech PCI-1711*

➢ **Controller** - Bộ điều khiển (thuật toán điều khiển) được tổng hợp trên Matlab & Simulink. Chương trình trên Simulink được biên dịch thông qua ngôn ngữ Visual C++ nạp cho Card PCI-1711 để chạy Realtime.



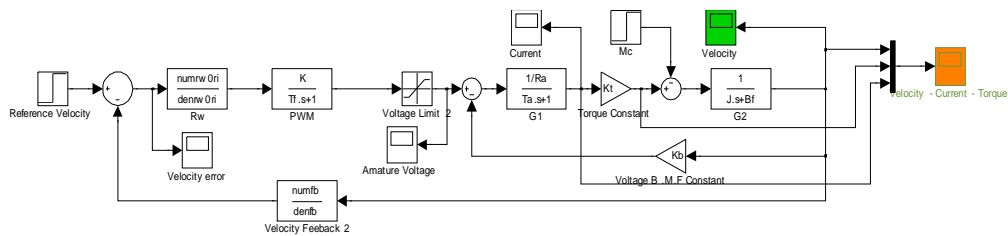
Hình 1. Cấu trúc hệ thống truyền động điện một chiều.

Visual Basic, Visual C++ C++ Builder Delphi	GenIDAQ	LabVIEW
ActiveDAQ		LabVIEW Driver
DLL Driver		
OS		
Hardware (PC + DAS cards)		

- 16-channel Single-Ended A/D Input
- 12-bit A/D conversion with up to 100 kHz sampling rate
- 16-channel Digital Input
- 16-channel Digital Output
- 2-channel D/A Output (only for PCI-1711)
- Programmable Counter/Timer
- Automatic Channel/Gain Scanning

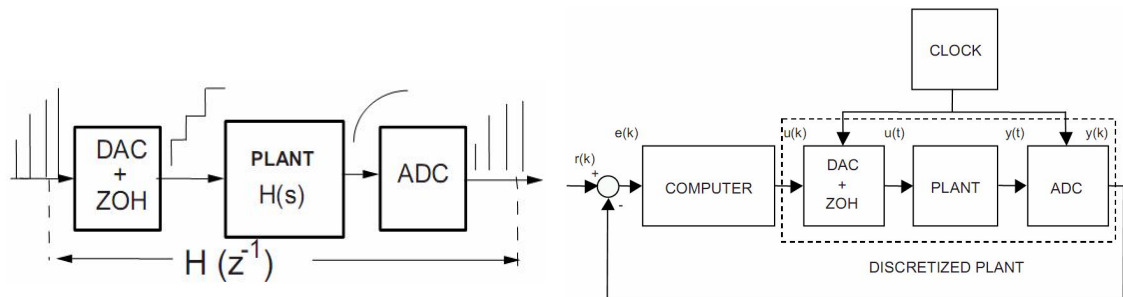
Hình 2. Tài nguyên card PCI – 1711.

- **Data Acquisition** ở đây là Card PCI-1711 đóng vai trò thu thập dữ liệu về đối tượng (dòng điện, tốc độ) và truyền thông tin điều khiển cho khối Motor Driver. Tài nguyên của card được thể hiện trên hình 2.
- **Motor Driver** đóng vai trò là thiết bị công suất cung cấp nguồn cho Motor. Nó nhận tín hiệu từ Card DAQ để điều khiển biên độ điện áp cấp cho động cơ bằng việc thực hiện điều chế PWM. Đồng thời nó cũng cung cấp tín hiệu dòng điện phản ứng và tốc độ quay của Motor cho CardDAQ.
- **Động cơ điện một chiều DC Servo RH-14D 3002 RH, RHS and RFS Series DC** có các thông số trên catalog như sau: $P_{dm}=18,5$ [W]; $I_{dm}=1,8$ [A]; $U_{dm}=24$ [V]; $N_{dm}= 3000$ [rpm]; Total moment of inertia $J=81,6 \times 10^{-3}$ [kgm²]; Viscous Damping Constant $F =0,15$ [Nm/rpm]; Voltage Damping Constant (B.E.M.F.) $K_b=0,6$ [V/rpm]; Torque Constant $K_t=5,76$ [Nm/A]; Armature Resistance $R_a = 2,7$ [Ohm]; Armature inductance $L_a =1,1 \times 10^{-3}$ [H]. Việc thiết kế bộ điều khiển tốc độ động cơ một chiều được thực hiện với cấu trúc như trên hình 3.



Hình 3. Sơ đồ tổng hợp bộ điều khiển trên Simulink.

3. Thiết kế hệ thống điều khiển số



Hình 5. Mô tả đối tượng khi xem xét sự tham gia của các thiết bị biến đổi ADC và DAC.

Hình 4. Cấu trúc hệ thống điều khiển số.

Cấu trúc hệ thống điều khiển số về cơ bản được chỉ ra trên hình 4 [3], [4], [5]. Trong đó thiết bị tính toán “computer” có thể là *microprocessor* (μP) - vi xử lý; *Microcontroller* (μC) - vi điều khiển; *Digital signal processor* (*DSP*) - vi xử lý tín hiệu; Chúng đóng vai trò là bộ điều khiển được tích hợp bên trong các thuật toán điều khiển. Điểm cần lưu ý ở đây là sự tham gia của hai thiết bị (hai khâu) ADC và DAC (hình 5). Chính hai khâu này đã làm thay đổi mô tả toán học của đối tượng khi chúng ta nghiên cứu hệ thống theo phương pháp điều khiển số.

Vấn đề lấy mẫu và giữ mẫu [4], [5]: Để có thể đưa bộ điều khiển số vào hệ thống, cần có quá trình lấy mẫu và giữ mẫu. Lấy mẫu là chuyển tín hiệu tương tự thành tín hiệu gián đoạn. Giữ mẫu là quá trình chuyển tín hiệu gián đoạn thành tín hiệu liên tục. Nếu biết biến đổi Laplace của tín hiệu cần lấy mẫu $F(s)$ thì có thể tìm được ảnh Laplace của tín hiệu đã được lấy mẫu lý tưởng theo

biểu thức sau:
$$F^*(s) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} E\left(s + jn \frac{2\pi}{T}\right) + \frac{f(0)}{2}$$

Có thể nhiều tín hiệu khác nhau sau khi lấy mẫu sẽ có phương trình toán học giống nhau.

Giữ mẫu: Đặc điểm của bộ giữ mẫu bậc 0 (ZOH) là tín hiệu được giữ mẫu không đổi giữa 2 lần lấy mẫu và bằng giá trị của lần giữ mẫu trước đó:

$$e(t) = e(0)[1(t) - 1(t - T)] + e(T)[1(t - T) - 1(t - 2T)] + \dots$$

Hàm truyền đạt của khâu ZOH

$$W_{\text{zoh}}(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s}$$

Bộ giữ mẫu bậc 1(FOH):

Tín hiệu giữ mẫu giữa 2 lần lấy mẫu liên tiếp nT và $(n+1)T$:

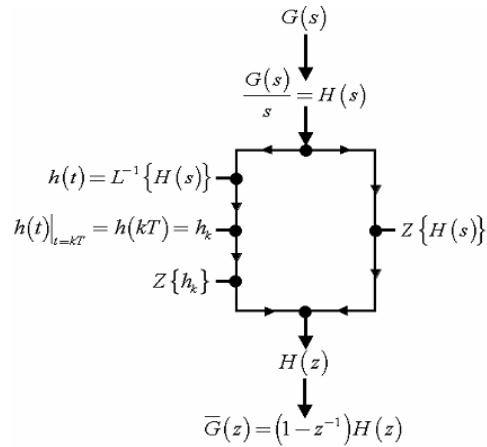
$$e_s(t) = e(nT) + e'(nT)(t - nT), nT \leq t < (n+1)T$$

Hàm truyền của bộ giữ mẫu bậc 1 (First

Order Hold):
$$W_{\text{foh}}(s) = \left(\frac{1 + sT}{T} \right) \left(\frac{1 - e^{-sT}}{s} \right)^2$$

Bộ lấy mẫu và giữ mẫu trên không thể là mô hình toán học cho một thiết bị cụ thể nào trong thực tế. Tuy nhiên, sự kết hợp giữa bộ lấy mẫu và giữ mẫu lại là mô hình chính xác của bộ chuyển đổi ADC và DAC.

Mô hình đối tượng trên miền thời gian gián đoạn: Để nghiên cứu và tổng hợp hệ thống theo phương pháp điều khiển số, vấn đề then chốt là phải đi xác định mô tả toán học của hệ thống trên miền thời gian gián đoạn.



Hình 6. Phương pháp xác định mô hình gián đoạn của đối tượng.

Bảng 1. Mô hình toán học của đối tượng theo chu kỳ trích mẫu T.

Chu kỳ trích mẫu	Hàm truyền đạt	Chu kỳ trích mẫu	Hàm truyền đạt
100 μ s	$\frac{0,2758Z^{-1} - 0,09327Z^{-2}}{1 - 0,8243Z^{-1} + 0,03194Z^{-2}}$	400 μ s	$\frac{1,052Z^{-1} + 0,05529Z^{-2}}{1 - 0,377Z^{-1} + 1,041 * 10^{-6} Z^{-2}}$
200 μ s	$\frac{0,5965Z^{-1} + 0,08867Z^{-2}}{1 - 0,6156Z^{-1} + 0,00102Z^{-2}}$	500 μ s	$\frac{1,209Z^{-1} + 0,04333Z^{-2}}{1 - 0,2954Z^{-1} + 3,324 * 10^{-8} Z^{-2}}$
300 μ s	$\frac{0,852Z^{-1} + 0,07049Z^{-2}}{1 - 0,4812Z^{-1} + 3,258 * 10^{-5} Z^{-2}}$	1000 μ s	$\frac{1,61Z^{-1} + 0,0128Z^{-2}}{1 - 0,08725Z^{-1} + 1,105 * 10^{-15} Z^{-2}}$

Như đã trình bày ở trên, việc đưa vào khâu giữ mẫu và trích mẫu đã làm thay đổi mô tả toán học của đối tượng. Mô hình toán học của đối tượng lúc này chịu sự chi phối của phương pháp giữ mẫu và thời gian trích mẫu. Để xác định mô hình gián đoạn của đối tượng, ta xuất phát từ mô hình liên tục, hình 6 chỉ ra phương pháp xác định mô hình gián đoạn từ mô hình liên tục. Bảng 1 thể hiện sự thay đổi của mô hình toán học đối tượng theo chu kỳ trích mẫu của hệ thống. Việc lựa chọn chu kỳ trích mẫu T sẽ ảnh hưởng đến toàn bộ nội dung nghiên cứu về sau. Chu kỳ T lựa chọn phụ thuộc vào mục đích nghiên cứu (nghiên cứu để mô phỏng hay nghiên cứu để thiết kế hệ thống thực). Trên cơ sở xác định được rõ ràng mô hình toán học gián đoạn của đối tượng, sau đây chúng ta sẽ thiết kế hệ thống điều khiển số.

Bảng 2. Bộ điều khiển số tổng hợp tối ưu tham số.

Chu kỳ	Tiêu chuẩn	Hàm truyền đạt		
		PI $\frac{r_0 + r_1 Z^{-1}}{1 - Z^{-1}}$	PID $\frac{r_0 + r_1 Z^{-1} + r_2 Z^{-2}}{1 - Z^{-1}}$	
1 ms	IAE	2.4225	-2.0682	12.5930 -17.7740 6.9796
	ISE	2.4225	-2.0682	9.7127 -15.7245 6.9260
	ITAE	0.1279	-0.0830	7.2721 -13.9858 6.8799
	ITSE	2.4225	-2.0682	12.5930 -17.7740 6.9796
10 ms	IAE	0.4186	-0.3242	0.9893 -1.3741 0.5708
	ISE	0.4186	-0.3242	0.9893 -1.3741 0.5708
	ITAE	0.2750	-0.1981	0.9893 -1.3741 0.5708
	ITSE	0.4186	-0.3242	0.9893 -1.3741 0.5708
100 ms	IAE	0.1007	-0.0403	0.2015 -0.1519 0.0481
	ISE	0.1333	-0.0676	0.1814 -0.1385 0.0481
	ITAE	0.0435	0.0053	0.1489 -0.1169 0.0482
	ITSE	0.1007	-0.0403	0.2015 -0.1519 0.0481

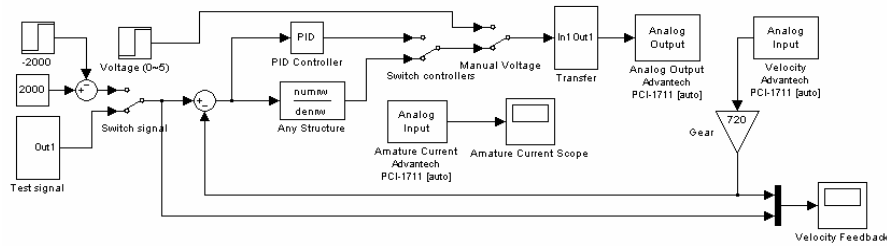
Về cơ bản, có hai nhóm phương pháp thiết kế hệ thống điều khiển số [1], [2] đó là: Thiết kế xấp xỉ liên tục và thiết kế trên miền thời gian gián đoạn. Ở nhóm phương pháp thiết kế xấp xỉ liên tục, chúng ta thiết kế trực tiếp trên miền thời gian liên tục (miền tần số) sử dụng toán tử Laplace để mô tả hệ thống. Khi tiến hành tổng hợp bộ điều khiển đạt được các chỉ tiêu chất lượng đề ra, chúng ta sẽ thực hiện xấp xỉ các luật điều khiển P, I, D sang dạng phương trình sai phân, sau đó thực hiện các thuật toán điều khiển đó trên các thiết bị tính toán. Với phương pháp này, chất lượng điều khiển bị ảnh hưởng rất nhiều khi thực hiện công đoạn sau cùng (lập trình trên thiết bị tính toán) và không kiểm soát được sự ảnh hưởng của chu kỳ trích mẫu T đối với hệ thống (bởi vì T không tham gia vào quá trình thiết kế bộ điều khiển).

Phương pháp nghiên cứu bài viết này đề cập đến theo hướng thứ 2 đó là “thiết kế trên miền thời gian gián đoạn”. Phương pháp này xuất phát trực tiếp từ mô hình gián đoạn của đối tượng, chu kỳ trích mẫu T tham gia vào toàn bộ quá trình thiết kế hệ thống. Hay nói cách khác, ta hoàn toàn chủ động trong việc lựa chọn chu kỳ trích mẫu T để khảo sát ổn định cũng như kiểm soát chất lượng điều khiển.

Bộ điều khiển được tổng hợp theo phương pháp tối ưu tham số với các tiêu chuẩn tích phân số cho kết quả như trên bảng 2.

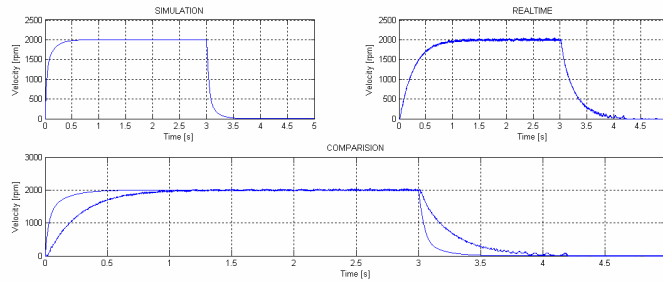
4. Các kết quả đạt được trên mô phỏng và trên mô hình vật lý Realtime

Chương trình điều khiển realtime được xây dựng trên Simulink như hình 6. Trong đó khối Analog output dùng để xuất tín hiệu điện áp tới khối công suất PWM bên ngoài. Hai khối analog input được sử dụng để thu thập các tín hiệu dòng điện phản ứng và tốc độ quay của động cơ. Khối PID controller cho phép thiết lập các tham số Kp, Ki, Kd của bộ điều khiển mạch vòng tự động điều chỉnh tốc độ động cơ. Khối Any structurer cho phép khai báo cấu trúc khâu điều chỉnh với mô tả toán học là một phân số bất kỳ. Khóa Manual Voltage cho phép chuyển đổi giữa chế độ vòng hở và vòng kín của chương trình điều khiển. Khóa Switch controller cho phép chuyển đổi giữa bộ điều khiển PID với bộ điều khiển có cấu trúc bất kỳ.

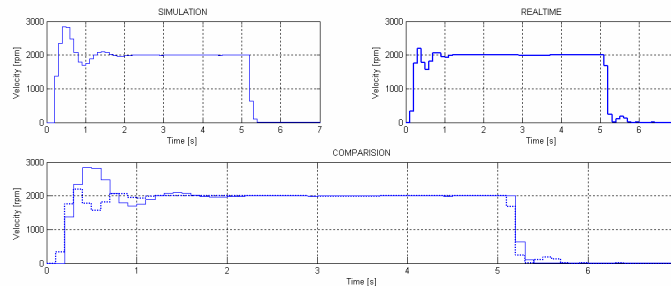


Hình 6. Mô hình Realtime thực hiện khâu điều chỉnh tốc độ khi bỏ qua khâu điều chỉnh dòng trên trên Simulink.

Khi tiến hành mô phỏng và chạy thực nghiệm realtime với các chu kỳ trích mẫu khác nhau ta thu được kết quả như trên hình 7, hình 8. Đặc tính mô phỏng và thực nghiệm gần như trùng khít với nhau thể hiện phương pháp nghiên cứu tác giả đã lựa chọn là đúng đắn. Khi giảm chu kỳ trích mẫu, chúng ta có thể tăng các hệ số K_p , K_i (trong phạm vi cho phép) để cải thiện chất lượng điều khiển (giảm độ quá điều chỉnh từ 20% xuống 0,1%, giảm thời gian xác lập từ 2s còn 1s). Tuy nhiên vẫn cần phải nhấn mạnh rằng không thể tăng giảm chu kỳ trích mẫu tùy ý mà phải phụ thuộc vào tài nguyên hệ thống thực chúng ta có cũng như cách tiếp cận hệ thống.



Hình 7. So sánh kết quả với $T=1ms$, $K_p=0,0002$, $K_i=0,005$.



Hình 8. So sánh kết quả với $T=100ms$, $K_p=0,0012$, $K_i=0,018$.

5. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu đã được trình bày ở trên, có thể cho phép chúng ta khẳng định rằng: Điều khiển số thực sự đã đem lại những phương pháp tiếp cận hoàn toàn mới mẻ trong việc nghiên cứu và triển khai thành công từ lý thuyết đến thực tế.

Chu kỳ trích mẫu có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng điều khiển cũng như tính ổn định của hệ thống. Trên cơ sở tính toán, mô phỏng hệ thống với các chu kỳ trích mẫu khác nhau sẽ cho chúng ta được quyền lựa chọn thiết bị tính toán một cách linh hoạt. Việc lựa chọn thiết bị tính toán phụ thuộc vào năng lực tính toán của thiết bị, các tài nguyên hỗ trợ như (tần số xung nhịp hoạt

động, ADC, DAC, PWM, encoder,...). Chu kỳ trích mẫu càng nhỏ cho phép ta thiết kế được các bộ điều khiển số cho chất lượng điều khiển càng cao. Trong kết quả nghiên cứu hiện tại, với chu kỳ trích mẫu $T = 1$ ms cho kết quả điều khiển rất tốt (kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm tương đồng về hình dáng và giá trị), đáp ứng được các chỉ tiêu chất lượng điều khiển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] PGS.TSKH Nguyễn Phùng Quang, *Điều khiển số - Digital control (Bachelor & Master)* Bài giảng dành cho học viên cao học ngành TĐH và ĐKTD trường ĐH Bách Khoa Hà Nội, 2007.
- [2] Phạm Tuấn Anh, “*Nghiên cứu điều khiển số trong truyền động điện một chiều*” Luận văn tốt nghiệp thạc sỹ chuyên ngành tự động hóa trường ĐH Hàng hải Việt Nam, 2009.
- [3] TS. Lưu Kim Thành – KS. Phạm Tuấn Anh, “*Thiết kế gán điểm cực trong hệ thống điều khiển số*”, tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 7/2009.
- [4] Chi-Tsong Chen, *Analog and Digital control system design*, Saunders College Publishing, 1998.
- [5] Dogan Ibrahim, *Microcontroller Based Applied Digital Control*, John Wiley & Sons, Ltd, 2006.

Người phản biện: TS. Trần Sinh Biên
