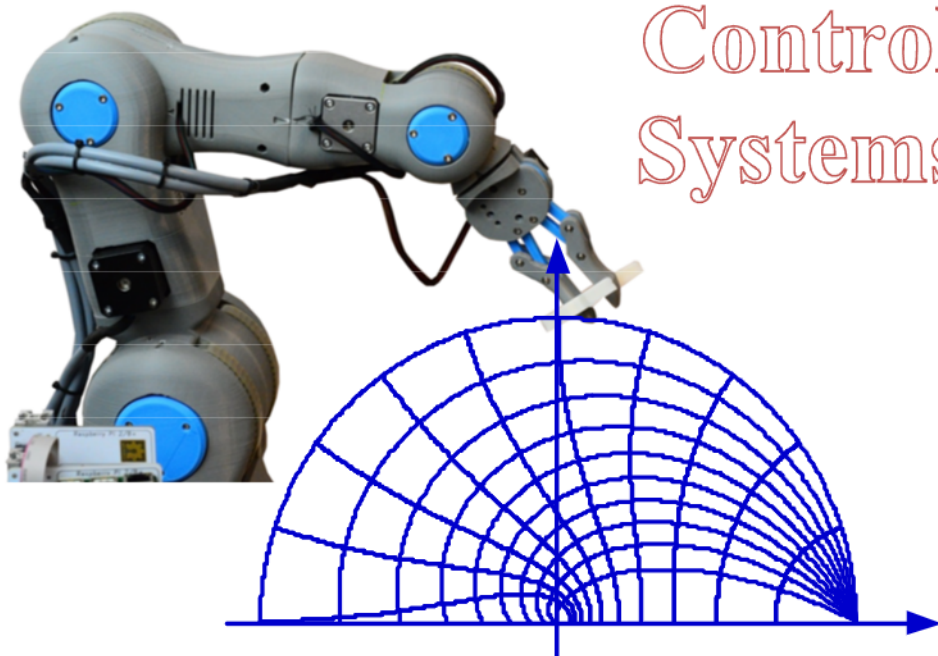


TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHIỆP HÀ NỘI

**Bài giảng**  
**ĐIỀU KHIỂN SỐ**

Digital  
Control  
Systems



Hà nội 2017

# MỤC LỤC

<b>Chương 1: CƠ SỞ TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ..</b>	<b>4</b>
1.1. Tổng quan về hệ thống điều khiển số .....	4
1.1.1. Giới thiệu chung .....	4
1.1.2. Cấu trúc hệ thống điều khiển số .....	4
1.1.3. Đặc điểm hệ thống điều khiển số .....	7
1.2. Giới thiệu một số hệ thống điều khiển số .....	8
1.2.1. Hệ thống điều khiển lò nhiệt .....	8
1.2.2. Hệ thống điều khiển tốc độ động cơ điện DC .....	9
1.3. Tín hiệu số và chuyển đổi tín hiệu Analog-Digital .....	9
1.3.1. Tín hiệu liên tục và tín hiệu rời rạc .....	9
1.3.2. Biến đổi A/D và quá trình lấy mẫu dữ liệu .....	11
1.3.3. Biến đổi D/A và quá trình lưu giữ dữ liệu .....	12
1.3.4. Lượng tử hóa và vấn đề sai số trong quá trình lượng tử hóa .....	13
1.4. Biến đổi Z .....	14
1.4.1. Phép biến đổi Z .....	14
1.4.2. Các tính chất và định lý trong biến đổi Z .....	15
1.4.3. Biến đổi Z của một số hàm đặc biệt .....	15
1.4.4. Phép biến đổi Z ngược .....	16
<b>Chương 2: MÔ HÌNH TOÁN HỌC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ....</b>	<b>18</b>
2.1. Phương trình sai phân mô tả hệ thống rời rạc .....	18
2.1.1. Sai phân .....	18
2.1.2. Phương trình sai phân mô tả hệ rời rạc .....	18
2.2. Mô tả hệ thống số dưới dạng hàm truyền đạt rời rạc .....	19
2.2.1. Hàm truyền đạt rời rạc .....	19
2.2.2. Rời rạc hóa hàm truyền đạt liên tục .....	19
2.3. Mô tả hệ thống số dưới dạng phương trình trạng thái rời rạc .....	21
2.3.1. Phương trình trạng thái rời rạc .....	21
2.3.2. Rời rạc hóa phương trình trạng thái liên tục .....	22
2.4. Mô tả hệ thống số từ cấu trúc sơ đồ khối liên tục .....	23
2.4.1. Xác định hàm truyền đạt rời rạc từ cấu trúc sơ đồ khối .....	23
2.4.2. Xây dựng phương trình trạng thái từ sơ đồ khối .....	25
2.5. Chuyển đổi giữa hàm truyền rời rạc và phương trình trạng thái rời rạc .....	27
2.5.1. Chuyển từ phương trình trạng thái sang hàm truyền đạt .....	27
2.5.2. Chuyển từ hàm truyền đạt sang dạng phương trình trạng thái .....	27
2.6. Lượng tử hóa mô hình hệ thống rời rạc .....	27
<b>Chương 3: KHẢO SÁT TÍNH ỔN ĐỊNH VÀ CHẤT LƯỢNG CỦA HỆ THỐNG .....</b>	<b>31</b>
3.1. Ổn định của hệ thống điều khiển số .....	31
3.1.1. Khái niệm ổn định .....	31
3.1.2. Ảnh hưởng của phép rời rạc hóa gần đúng với vấn đề phân tích ổn định .....	32
3.2. Tương quan bản đồ nghiệm giữa mặt phẳng s và mặt phẳng z .....	33
3.3. Tiêu chuẩn ổn định đại số .....	34
3.3.1. Tiêu chuẩn ổn định Routh-Hurwitz mở rộng .....	34
3.3.2. Tiêu chuẩn ổn định Jury .....	35
3.4. Chất lượng hệ thống điều khiển số .....	36
3.4.1. Khái niệm chất lượng hệ thống .....	36

3.4.2.	Khảo sát chất lượng tĩnh.....	36
3.4.3.	Khảo sát chất lượng động.....	37
3.4.4.	Dự báo đáp ứng quá độ của hệ thống điều khiển số.....	38
3.4.5.	Chất lượng hỗn hợp.....	44
3.4.6.	Nhiều và khả năng kháng nhiễu của hệ thống.....	44
<b>Chương 4: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN PHẢN HỒI ĐẦU</b>		
<b>RA</b>	.....	<b>49</b>
4.1.	Bộ điều khiển số SISO.....	49
4.1.1.	Giải thuật điều khiển số với cấu trúc SISO.....	49
4.1.2.	Thiết kế gián tiếp bộ điều khiển rời rạc trên miền s.....	50
4.1.3.	Thiết kế trực tiếp bộ điều khiển rời rạc trên miền z.....	53
4.2.	Thiết kế bộ điều khiển số SISO theo phương pháp áp đặt điểm cực.....	53
4.3.	Thiết kế bộ điều khiển PID rời rạc.....	56
4.3.1.	Giải thuật điều khiển PID rời rạc.....	56
4.3.2.	Thiết kế bộ điều khiển PID theo phương pháp áp đặt cực.....	58
4.3.3.	Thiết kế bộ điều khiển PID theo nguyên tắc giảm bậc hệ thống.....	58
4.3.4.	Thiết kế bộ điều khiển PID theo phương pháp thực nghiệm Ziegler-Nichols.....	62
4.3.5.	Vấn đề anti-Windup trong bộ điều khiển PID.....	66
4.4.	Thiết kế hệ thống điều khiển đa mạch vòng phản hồi.....	71
4.4.1.	Cấu trúc điều khiển.....	71
4.4.2.	Thiết kế hệ thống.....	72
<b>Chương 5: THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CÓ PHẢN HỒI</b>		
<b>TRẠNG THÁI</b>	.....	<b>75</b>
5.1.	Hệ thống điều khiển phản hồi trạng thái.....	75
5.1.1.	Cấu trúc điều khiển phản hồi trạng thái.....	75
5.1.2.	Tính điều khiển được.....	76
5.1.3.	Tính quan sát được.....	76
5.2.	Thiết kế hệ thống điều khiển phản hồi trạng thái.....	77
5.2.1.	Phương pháp áp đặt điểm cực.....	77
5.2.2.	Phương pháp Ackermann.....	80
5.2.3.	Thiết lập hệ số khuếch đại của hệ thống.....	81
5.3.	Thiết kế bộ quan sát trạng thái.....	82
5.4.	Hệ thống quan sát điều khiển phản hồi trạng thái.....	86
5.5.	Hệ thống điều khiển phản hồi trạng thái mở rộng.....	88
5.5.1.	Hệ thống điều khiển phản hồi trạng thái kết hợp với khâu lọc tại ngõ vào.....	88
5.5.2.	Hệ thống điều khiển phản hồi trạng thái kết hợp với bộ điều khiển I/PI.....	89
5.5.3.	Hệ thống điều khiển phản hồi trạng thái tối ưu LQR.....	91
<b>PHỤ LỤC</b>	.....	<b>95</b>
Phụ lục 1:	VECTOR - MATRIX.....	95
Phụ lục 2:	MATLAB TRONG ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG.....	96
Phụ lục 3:	BIẾN ĐỔI Z.....	97
Phụ lục 4:	BÀI TẬP LỚN.....	99
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>	.....	<b>102</b>

# Chương 1: CƠ SỞ TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ

## 1.1. Tổng quan về hệ thống điều khiển số

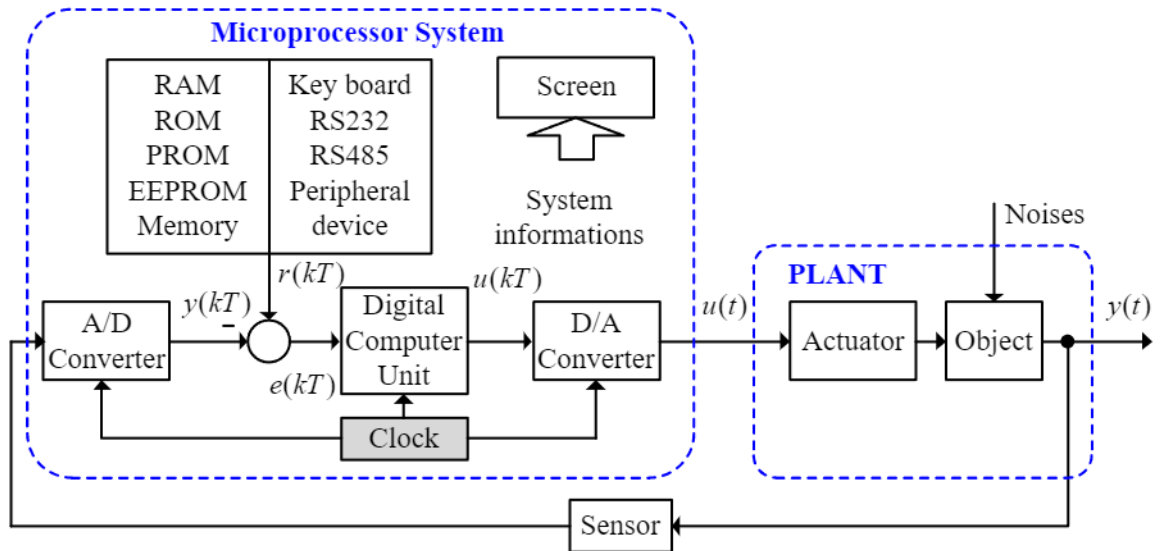
### 1.1.1. Giới thiệu chung

Lý thuyết điều khiển ra đời rất sớm với kỹ thuật điều khiển liên tục làm nền tảng. Trước đây khi công nghệ vi điện tử chưa phát triển, kỹ thuật điều khiển liên tục được sử dụng phổ biến với các mạch điều chỉnh dựa trên nền tảng điện tử analog cùng các phần tử và khâu khớp liên tục. Ngày nay công nghệ vi điện tử phát triển vượt bậc với những thiết bị tính toán số: MCU (Micro Controller Unit), DSP (Digital Signal Processing), FPGA (Field Programmable Gate Arrays)... có tốc độ cao, bộ nhớ lớn, tích hợp nhiều chức năng trên phiên đã cho phép thực hiện các hệ điều khiển số một cách hết sức dễ dàng. Chính vì vậy mà công nghệ và kỹ thuật điều khiển số đã được áp dụng rộng rãi trong hầu hết các hệ thống điều khiển hiện nay.

Hệ thống điều khiển số là hệ thống điều khiển xử lý tín hiệu - quá trình một cách rời rạc dưới sự hỗ trợ của máy tính số. Việc sử dụng máy tính số trong hệ thống điều khiển đưa đến cho hệ thống 3 đặc điểm tiên quyết để phân biệt giữa hệ điều khiển số và hệ điều khiển liên tục: *1) quá trình tính toán xử lý rời rạc theo thời gian; 2) trong hệ thống tồn tại tín hiệu rời rạc; 3) các biến và tín hiệu trong hệ thống được lượng tử hóa với độ phân giải hữu hạn.* Nhìn chung có thể hiểu cô đọng về hệ thống điều khiển số là một hệ thống điều khiển với bộ điều khiển là một máy tính số. Quá trình xử lý dữ liệu trong hệ thống không liên tục theo thời gian mà gián đoạn theo một chu kỳ nhất định. Tín hiệu trong hệ thống bao gồm tín hiệu liên tục (khâu đối tượng) và tín hiệu số (khâu xử lý điều khiển). Việc ghép nối giữa phần liên tục và phần xử lý rời rạc sử dụng các khâu chuyển đổi dữ liệu Digital-Analog với độ phân giải hữu hạn.

### 1.1.2. Cấu trúc hệ thống điều khiển số

Hệ thống điều khiển số được phân tích tổng hợp trên nền tảng của mô hình tín hiệu rời rạc và trong thực tế sẽ được thực hiện trên một máy tính số DCU (Digital Computer Unit) cùng các mạch ngoại vi phụ trợ. Cấu trúc cơ bản của hệ thống điều khiển số được mô tả như trên hình 1.1.



*Hình 1.1. Cấu trúc hệ thống điều khiển số*

**Digital Computer Unit (DCU):** Máy tính số đóng vai trò của bộ điều khiển số để thực hiện giải thuật điều khiển rời rạc, chúng có thể là:

- Máy tính cá nhân PC (Personal Computer).
- Máy tính công nghiệp IPC (Industrial PC).
- Máy tính nhúng EPC (Embedded PC).
- Vi xử lý  $\mu$ P (Microprocessor).
- Vi điều khiển  $\mu$ C (Microcontroller).
- Bộ xử lý tín hiệu số DSP (Digital Signal Processing).
- Mạng logic lập trình được FPGA (Field Programmable Gate Array).
- Thiết bị lập trình tích hợp trên một chip PSoC (Programmable System on Chip).
- Bộ điều khiển logic lập trình được PLC (Programmable Logic Controllers).

Máy tính số thực hiện chức năng đọc tín hiệu từ sensor rời rạc theo từng chu kỳ  $T$  thông qua bộ chuyển đổi có chức năng A/D (ADC, QEI,...), sau đó tính toán giá trị điều khiển  $u(kT)$  dựa trên sai số  $e(kT) = r(kT) - y(kT)$  để điều khiển đối tượng, sao cho đáp ứng đầu ra  $y(t)$  của hệ thống thỏa mãn yêu cầu. Các thuật toán điều khiển số cài đặt trên microprocessor được thực hiện trong ngôn ngữ cấp thấp hoặc cấp cao như: ASM và C/C++, Visual Basic, ngôn ngữ mô tả phần cứng VHDL (dùng cho thiết bị FPGA), ngôn ngữ đồ họa G-language...

**Clock** là khối tạo ra xung nhịp đồng bộ hóa quá trình đọc dữ liệu, xử lý dữ liệu và xuất dữ liệu điều khiển theo chu kỳ. Hình thức xung nhịp đồng bộ thường được tạo bởi sự kiện ngắt của Timer trong hệ thống xử lý số. Trong trường hợp không yêu cầu khắt khe và chuẩn xác về yếu tố khe thời gian xử lý, hình thức xung nhịp trên có thể được tạo ra bởi một vòng lặp có chứa hàm trễ bên trong.

**RAM (Random Access Memory)** là bộ nhớ dùng trong mục đích lưu giữ dữ liệu tạm thời. Khi mất điện dữ liệu trong RAM sẽ bị xóa bỏ.

**ROM, PROM, EEPROM** là bộ nhớ thường dùng để lưu giữ chương trình điều khiển, lưu giữ chuỗi giá trị mong muốn  $r(kT)$  thể hiện yêu cầu của quá trình xử lý và điều khiển. Ngoài ra các bộ nhớ trên còn được sử dụng để lưu giữ các biến hệ thống, các giá trị trong bảng biểu... Khác với RAM, dữ liệu lưu trên ROM, PROM và EEPROM không bị mất khi mất nguồn nuôi.

**Peripheral device** là các thiết bị ngoại vi dùng trong việc truyền tin, nhập dữ liệu, điều khiển và quan sát hệ thống bao gồm: ngoại vi giao tiếp theo các chuẩn kết nối phổ dụng RS232, RS485, I<sup>2</sup>C, SPI, CAN; bàn phím; màn hình; A/D; I/O...

**A/D Converter** có chức năng chuyển đổi giá trị từ cảm biến  $y(t)$  thành tín hiệu rời rạc đã được lượng tử hóa  $y(kT)$ . Các giá trị từ cảm biến có thể tồn tại dưới dạng tín hiệu liên tục hoặc cũng có thể ẩn dưới dạng tín hiệu xung. Ví dụ như: tín hiệu liên tục từ các cảm biến load cell, NTC thermistor, RTD... tín hiệu xung từ encoder, tín hiệu xung trong chuỗi mã hóa theo chuẩn truyền dữ liệu 1-Wire, RS-232, RS-485, I<sup>2</sup>C, SPI... từ các cảm biến thông minh. Lưu ý, ngoài chức năng chuyển đổi giá trị từ cảm biến, bộ biến đổi A/D còn được sử dụng để đọc tín hiệu đặt  $r(kT)$ .

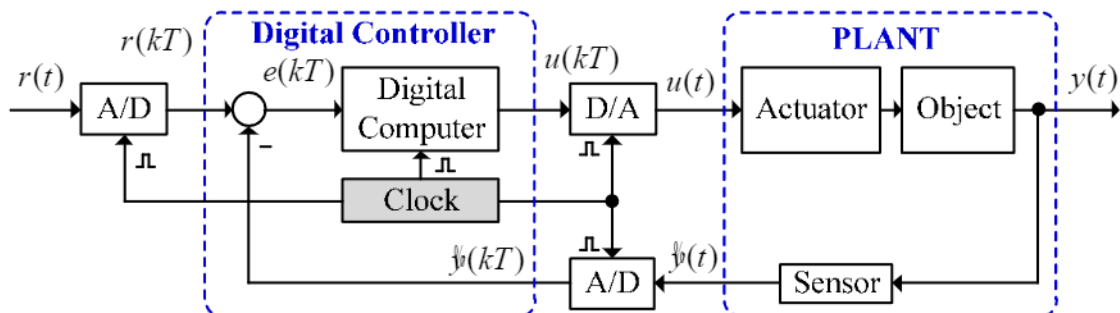
**D/A Converter** có chức năng chuyển đổi giá trị rời rạc đã được lượng tử hóa  $u(kT)$  thành tín hiệu vật lý  $u(t)$  để điều khiển đối tượng. Tín hiệu vật lý trên thường có dạng điện áp liên tục hoặc dạng điều biến độ rộng xung điện áp PWM.

**Sensor** là cảm biến dùng trong mục đích chuyển đổi đo lường tín hiệu. Các tín hiệu dưới dạng vật lý khác nhau sẽ được chuyển đổi về dạng tín hiệu điện, thuận tiện cho việc đo lường và xử lý tín hiệu đo. Thông thường tín hiệu điện tại ngõ ra của cảm biến có hai dạng phổ biến: tín hiệu điện liên tục và tín hiệu điện dạng xung. Đối với dạng tín hiệu điện liên tục lại phân thành tín hiệu dòng điện, tín hiệu điện áp. Kiểu tín hiệu dòng điện có các chuẩn: 0–10 mA, 0–20 mA và 4–20 mA và kiểu tín hiệu điện áp có các chuẩn: 0–5 V, ±5 V, 0–10 V và ±10 V. Trường hợp tín hiệu điện dạng xung, ví dụ như đầu ra của encoder, thường sử dụng kiểu điện áp với các mức biên độ chuẩn: +5 V, +12 V và +24 V.

**Actuator** là cơ cấu chấp hành có chức năng của một khâu khuếch đại công suất. Ví dụ trong các hệ thống truyền động điện, khâu chấp hành là các bộ điện tử công suất như: chỉnh lưu điều khiển, bộ băm áp DC-DC, biến tần...

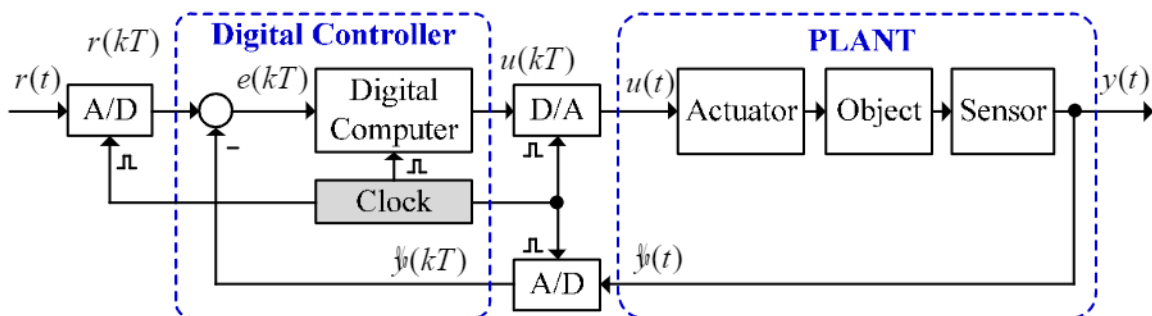
**Object** là thiết bị được điều khiển, ví dụ: động cơ điện, lò nhiệt... Thông thường khi xây dựng hệ thống điều khiển sẽ gộp thiết bị được điều khiển với cơ cấu chấp hành thành đối tượng điều khiển (Plant).

Sơ đồ điều khiển số trên hình 1.1 có thể được biểu diễn dưới dạng sơ đồ tương đương hình 1.2. Trong đó khâu có chức năng A/D có vai trò như một khâu lấy mẫu dữ liệu với chu kỳ lấy mẫu  $T$ , khâu D/A thực hiện vai trò lưu giữ dữ liệu trong khoảng thời gian một chu kỳ  $T$ .



Hình 1.2. Sơ đồ hệ thống điều khiển số thông dụng

Nếu phần tử sensor có độ trễ đủ nhỏ, đặc tính động học của nó có thể được coi như khâu khuếch đại. Khi đó sơ đồ hệ thống có dạng như trên hình 1.3. Trong sơ đồ hình 1.3 cơ cấu chấp hành, đối tượng và thiết bị cảm biến được ghép thành một khối, và gọi chung là đối tượng điều khiển (PLANT).



Hình 1.3. Sơ đồ hệ thống điều khiển số khi tính tới ảnh hưởng của cảm biến

Nhìn chung trong các sơ đồ trên đều thống nhất ở điểm chia hệ thống thành hai phần: phần rời rạc và phần liên tục. Các phần liên tục và rời rạc kết nối với nhau thông qua bộ lấy mẫu (khâu mang bản chất khâu A/D) và bộ lưu giữ giá trị tín hiệu (khâu mang bản chất khâu D/A).

### 1.1.3. Đặc điểm hệ thống điều khiển số

So với hệ thống điều khiển liên tục, hệ thống điều khiển số có một số ưu và nhược điểm như sau:

#### a) Ưu điểm

- Linh hoạt, dễ dàng thay đổi thuật toán điều khiển, hiệu chỉnh hệ thống thông qua lập trình mà không phải thiết kế lại phần cứng.
- Dễ dàng thực hiện các giải thuật điều khiển phức tạp.
- Quản lý hệ thống dễ dàng, có khả năng lưu trữ dữ liệu lớn.



- Thuận lợi trong việc kết nối và kiểm soát các phần tử trong hệ thống.
- Khả năng tích hợp hệ thống cao.
- Cấu trúc phần cứng điều khiển gọn gàng.

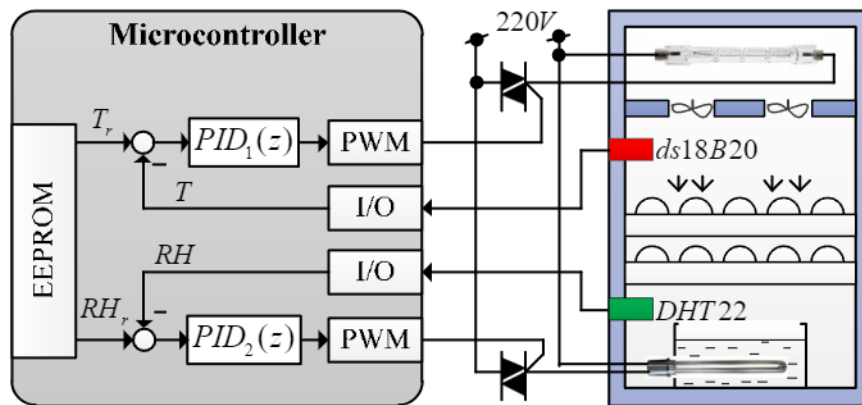
**b) Nhược điểm**

- Không phù hợp cho những hệ thống điều khiển đơn giản.
- Quá trình xử lý rời rạc có hạn chế về tốc độ lấy mẫu nên có thể dẫn tới giới hạn về thời gian xác lập trong hệ thống.
- Vấn đề lượng tử hóa trong hệ thống điều khiển số gây lên sai số.
- Thiết kế phức tạp hơn so với hệ điều khiển liên tục.

**1.2. Giới thiệu một số hệ thống điều khiển số**

**1.2.1. Hệ thống điều khiển lò nhiệt**

Hình 1.4 giới thiệu một sơ đồ hệ điều khiển lò áp trứng gia cầm sử dụng vi điều khiển. Hệ thống phải điều khiển hai thông số cơ bản: nhiệt độ và độ ẩm, ngoài ra còn có một số yêu cầu điều khiển khác như điều khiển đảo trứng, điều khiển quạt đối lưu, quạt hút nhiệt, cảnh báo quá nhiệt, khống chế thời gian và chế độ áp...



*Hình 1.4. Hệ thống điều khiển lò ấp trứng gia cầm*

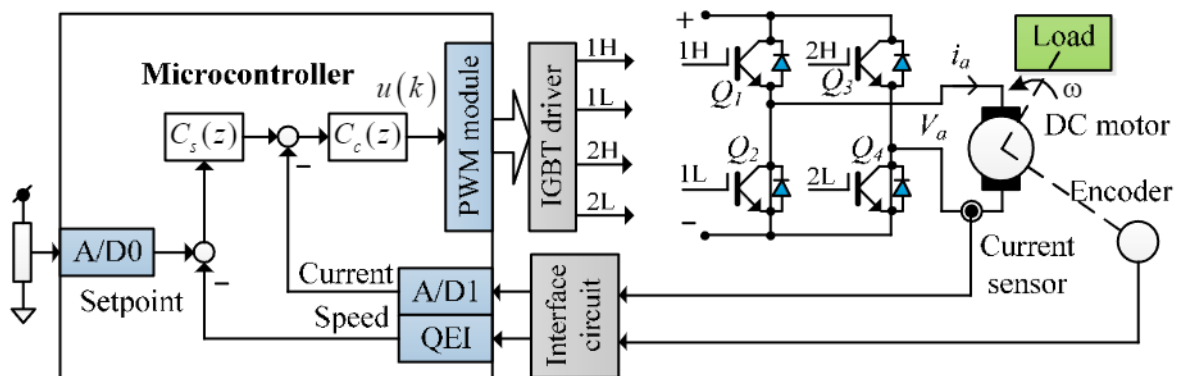
Khâu gia nhiệt sử dụng thanh điện trở công suất hoặc đèn gia nhiệt halogen. Thiết bị cảm biến nhiệt độ sử dụng cảm biến DS18B20 (cảm biến giao tiếp 1 dây) có độ chính xác  $\pm 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Độ ẩm được điều khiển theo nguyên lý gia nhiệt cho nước bằng thanh điện trở để tạo sự bốc hơi nước nhằm tăng độ ẩm trong lò. Cảm biến độ ẩm sử dụng DHT22 có độ chính xác  $\pm 2\%$ .

Cấu trúc của hệ thống bao gồm hai bộ điều khiển riêng biệt để điều khiển hai tham số nhiệt độ và độ ẩm. Vi điều khiển sẽ đọc các giá trị nhiệt độ, độ ẩm từ cảm biến và điều khiển công suất gia nhiệt theo phương pháp điều chế độ rộng xung. Với các đối tượng lò nhiệt độ, độ quán tính rất lớn chính vì vậy chu kỳ lấy mẫu tính toán khá lớn. Ở trạng thái xác lập độ chính xác của hệ thống có thể đạt tới  $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  và  $3\%$ .



### 1.2.2. Hệ thống điều khiển tốc độ động cơ điện DC

Hệ thống điều khiển tốc độ động cơ DC được sử dụng khá phổ biến trong các hệ truyền động điện yêu cầu chất lượng cao. Đặc biệt trong các hệ thống truyền động công suất nhỏ, phần lớn đều sử dụng động cơ DC kích từ vĩnh cửu. Một cấu trúc điều khiển động cơ DC kích từ vĩnh cửu thông dụng được thể hiện trên hình 1.5. Bộ drive thường sử dụng mạch cầu H và có tần số điều biến PWM lên tới chục kHz. Hệ thống bao gồm hai mạch vòng phản hồi: vòng phản hồi dòng điện, vòng phản hồi tốc độ. Khâu cảm biến phản hồi tốc độ thường dùng bộ mã hóa vòng/xung (encoder) và gắn với module QEI. Khâu cảm biến phản hồi dòng điện có thể sử dụng điện trở hoặc các cảm biến cảm ứng ví dụ như CSNE 151-100, LEM... gắn với kênh A/D trên chip.



Hình 1.5. Hệ thống điều khiển tốc độ động cơ điện một chiều kích từ vĩnh cửu

Toàn bộ hai bộ điều khiển số  $C_s(z)$  và  $C_c(z)$  được đặt trong lõi chip. Tín hiệu điều khiển là độ rộng điều chế xung đặt lên các cực điều khiển của van công suất. Chu kỳ lấy mẫu của hai vòng điều khiển bằng nhau (có giá trị vài ms) và được tổ chức bởi sự kiện ngắt của một timer trên DCU. Tín hiệu tốc độ đặt có thể lấy từ tín hiệu điện áp trên biến trở đưa vào một kênh A/D, tín hiệu từ các cổng truyền thông hoặc các giá trị đặt theo chương trình từ nội dung trong các bộ nhớ ROM, EEPROM trên DCU...

### 1.3. Tín hiệu số và chuyển đổi tín hiệu Analog-Digital

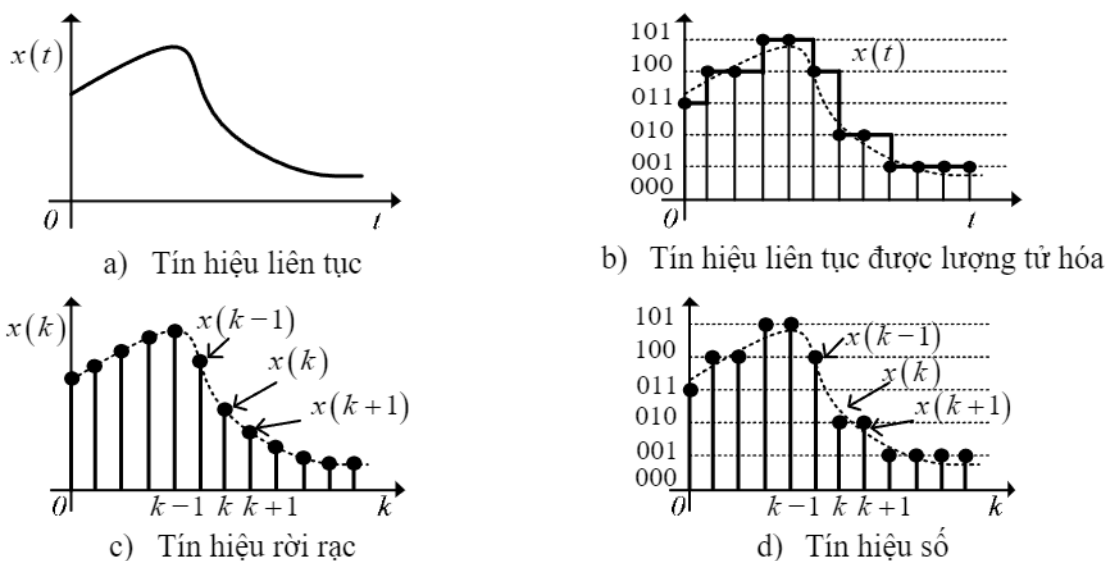
Tín hiệu là một đại lượng vật lý chứa đựng thông tin và có thể truyền đi được. Những tín hiệu được quan tâm trong thực tế hầu hết đều mô tả được dưới dạng hàm số theo các biến biên độ và thời gian. Ví dụ điện áp của lưới điện một pha được thể hiện theo thời gian:  $u(t) = 220\sqrt{2}\sin(100\pi t)$  V. Để thiết lập hệ thống xử lý các tín hiệu vật lý, hệ thống số phải đo đạc và định lượng được các tín hiệu.

#### 1.3.1. Tín hiệu liên tục và tín hiệu rời rạc

Tín hiệu liên tục về thời gian và liên thông về giá trị (Hình 1.7.a) được gọi là tín hiệu liên tục hay tín hiệu analog. Các biến trạng thái của phần đối tượng trong hệ

thông đều là tín hiệu liên tục, ví dụ: tốc độ thực và dòng điện thực trong động cơ, nhiệt độ thực trong lò...

Tín hiệu liên tục về thời gian và rời rạc về giá trị (Hình 1.7.b) gọi là tín hiệu liên tục được lượng tử hóa. Lượng tử hóa được xem như quá trình chuyển đổi một vùng giá trị liên tục thành một bộ giới hạn của các giá trị rời rạc, ví dụ: tín hiệu đầu ra của khâu biến đổi D/A, tín hiệu điều khiển đặt lên đối tượng điều khiển trong các hệ thống điều khiển số...



**Hình 1.7.** Một số dạng tín hiệu

Tín hiệu gián đoạn về thời gian (Hình 1.7.c) gọi là tín hiệu rời rạc, tín hiệu xung hay tín hiệu lấy mẫu. Chúng được mô tả bằng một chuỗi giá trị rời rạc  $x(k)$  theo biến chỉ số ( $k \in N$ ).

Tín hiệu gián đoạn về thời gian và rời rạc về biên độ (biên độ được lượng tử hóa Hình 1.7.d) gọi là tín hiệu số.

**Bảng 1.1.** Đặc điểm của một số loại tín hiệu

STT	Loại tín hiệu	Đặc điểm thời gian	Độ chính xác
1	Tín hiệu liên tục	Liên tục	Vô hạn
2	Tín hiệu liên tục lượng tử hóa	Liên tục	Hữu hạn
3	Tín hiệu rời rạc	Rời rạc	Vô hạn
4	Tín hiệu số	Rời rạc	Hữu hạn

Từ việc phân loại tín hiệu trong hệ thống, có thể phân chia hệ thống xử lý tín hiệu và điều khiển thành hai trường hợp: hệ thống điều khiển liên tục và hệ thống điều khiển rời rạc. Hệ thống điều khiển liên tục là hệ thống mà quá trình xử lý tính toán liên tục theo thời gian, đồng thời tất cả các tín hiệu tại mọi vị trí trong cấu trúc hệ thống đều là tín hiệu liên tục. Hệ thống điều khiển rời rạc là hệ thống mà quá trình xử lý tính toán rời rạc theo thời gian và trong cấu trúc hệ thống có chứa tín hiệu rời rạc. Hệ thống