LỜI NÓI ĐẦU

Tài liệu học tập hệ thống điều khiển số được biên soạn theo kế hoạch đào tạo và chương trình môn học hệ thống điều khiển số của khối các ngành kỹ thuật chuyên điện, trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật công nghiệp. Nội dung tài liệu gồm 4 chương chính:

Chương 1: Những khái niệm cơ bản về điều khiển số, phần này cung cấp khái niệm, cấu trúc cơ bản của hệ điều khiển số, các dạng tín hiệu, phép biến đổi Z và giới thiệu một số hệ điều khiển số.

Chương 2: Mô tả toán học hệ điều khiển số, cung cấp các phương pháp mô tả toán học hệ điều khiển số

Chương 3 : Khảo sát sự ổn định và phân tích hệ điều khiển số

Chương 4: Thiết kế và mô phỏng hệ thống điều khiển số.

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật công nghiệp, Khoa Điện, Bộ môn điều khiển và tự động hóa đã động viên và tạo mọi điều kiện thuận lợi để nhóm tác giả viết tài liệu học tập. Trong quá trình biên soạn không tránh khỏi còn nhiều sai sót, tác giả mong nhận được ý kiến đóng góp của các bạn đồng nghiệp và đọc giả để cuốn sách được hoàn thiện hơn.

Địa chỉ: Khoa Điện, Trường Đại học Kinh tế Kỹ thuật Công nghiệp, 456 Minh Khai, Hai Bà Trưng, Hà nội.

Website: khoadien.uneti.edu.vn.

Email: khoadien@uneti.edu.vn.

Ngày 15 tháng 4 năm 2019

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU 1

CHƯƠNG 1: NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỀU KHIỂN SỐ 4

1.1. KHÁI NIỆM. 4

1.1.1. Khái niệm chung về hệ điều khiển số. 4

1.1.2. Ưu điểm và nhược điểm của điều khiển tương tự và điều khiển số 4

1.1.3. Phân loại hệ điều khiển số. 7

1.2. CẤU TRÚC CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ 8

1.3. TÍN HIỆU VÀ XỬ LÝ TÍN HIỆU SỐ 9

1.3.1. Phân loại tín hiệu 9

1.3.2. Xử lý tín hiệu 10

1.4. PHÉP BIẾN ĐỔI Z 15

1.4.1. Định nghĩa 15

1.4.2 Tính chất của phép biến đổi Z 16

1.4.3. Biến đổi Z của các hàm cơ bản 17

1.4.4 Các phương pháp tìm biến đổi Z ngược 19

CHƯƠNG II : MÔ TẢ TOÁN HỌC HỆ ĐIỀU KHIỂN SỐ 22

2.1. MÔ TẢ TOÁN HỌC HỆ ĐIỀU KHIỂN SỐ BẰNG PHƯƠNG TRÌNH SAI PHÂN 22

2.2. MÔ TẢ TOÁN HỌC HỆ ĐIỀU KHIỂN SỐ BẰNG HÀM TRUYỀN ĐẠT 23

2.2.1. Hàm truyền đạt của hệ rời rạc 23

2.2.2. Tính hàm truyền hệ rời rạc từ sơ đồ khối 24

2.3. MÔ TẢ TOÁN HỌC HỆ ĐIỀU KHIỂN SỐ BẰNG PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI 28

2.3.1. Thành lập phương trình trạng thái từ phương trình sai phân 28

2.3.2. Thành lập phương trình trạng thái từ hàm tryền hệ rời rạc 32

2.3.3 Thành lập phương trình trạng thái hệ rời rạc từ phương trình trạng thái hệ liên tục 36

2.3.4. Tính hàm truyền hệ rời rạc từ hệ phương trình trạng thái. 42

2.4. Mô tả toán học hệ điều khiển số bằng Matlab Simulink 43

CHƯƠNG 3 :KHẢO SÁT ỔN ĐỊNH VÀ PHÂN TÍCH HỆ ĐIỂU KHIỂN SỐ 52

3.1 KHÁI NIỆM 52

3.2. TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH ĐẠI SỐ 54

3.2.1. Tiêu chuẩn Routh – Hurwitz mở rộng 54

3.2.2. Tiêu chuẩn JURY 56

3.2.3. Quỹ đạo nghiệm số 57

3.3. CHẤT LƯỢNG HỆ THỐNG RỜI RẠC 62

3.3.1 Đáp ứng quá độ 62
3.3.2. Độ quá điều chỉnh 62
3.4.TÍNH ĐIỀU KHIỂN ĐƯỢC VÀ QUAN SÁT ĐƯỢC CỦA HỆ ĐIỀU KHIỂN SỐ 68
3.4.1 Tính điều khiển được và quan sát được của hệ thống tuyến tính liên tục 68
3.4.2 Tính điều khiển được và quan sát được của hệ thống điều khiển số 68
3.5. KHẢO SÁT TÍNH ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ TRÊN MATLAB – SIMULINK. 70
CHƯƠNG 4 : THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ 76
4.1. KHÁI NIỆM 76
4.2. HÀM TRUYỀN ĐẠT CỦA CÁC KHÂU HIỆU CHỈNH RỜI RẠC 77
4.2.1. Khâu tỉ lệ 77
4.2.2. Khâu vi phân 77
4.2.3.Khâu tích phân 78
4.2.4. Bộ điều khiển PI, PD, PID rời rạc 80
4.2.5. Bộ điều khiển bù pha (sớm pha ,trễ pha) 80
4.3. THIẾT KẾ HỆ RỜI RẠC DÙNG PHƯƠNG PHÁP QUỸ ĐẠO NGHIỆM SỐ 81
4.3.1. Thiết kế bộ điều khiển sớm pha 81
4.3.2. Thiết kế bộ diều khiển trễ pha 86
4.4. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN HỒI TIẾP TRẠNG THÁI. 90
4.5. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN PID 92
4.6. THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU 94
4.6.1. Phân tích hệ thống điều khiển số động cơ một chiều 94
4.6.2. Tổng hợp hệ thống dùng bộ điều khiển PID 100

CHƯƠNG 1
NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỀU KHIỂN SỐ

MỤC TIÊU CỦA CHƯƠNG

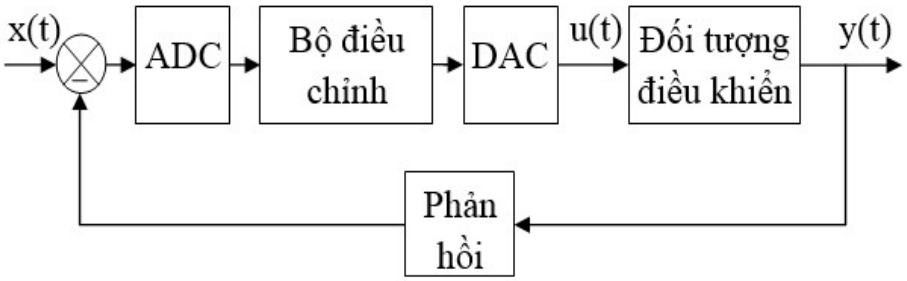
Cung cấp cho sinh viên kiến thức cơ bản về hệ thống điều khiển số : khái niệm, ưu nhược điểm của điều khiển tương tự với điều khiển số, chuyển đổi tín hiệu giữa tương tự và số, phép biến đổi Z

1.1. KHÁI NIỆM.

1.1.1. Khái niệm chung về hệ điều khiển số.

Hệ điều khiển số là hệ điều khiển mà trong hệ chỉ cần có một tín hiệu là tín hiệu xung, số hoặc chỉ cần một thiết bị làm việc theo nguyên tắc số.

Sơ đồ khối của một hệ điều khiển số như hình vẽ sau:



Hình 1.1 : Sơ đồ khối của hệ điều khiển số

Trong thực tế không tồn tại hệ điều khiển số mà trong đó bao gồm toàn bộ các tín hiệu là tín hiệu số hoặc bao gồm toàn bộ thiết bị số. Nguyên nhân là do các đối tượng điều khiển trong thực tế là các thiết bị với đại lượng điều khiển là các đại lượng vật lý biến đổi liên tục theo thời gian, do vậy để điều khiển được các đại lượng này thì tín hiệu điều khiển phải là tín hiệu tương tự, mang năng lượng.

1.1.2. Ưu điểm và nhược điểm của điều khiển tương tự và điều khiển số

a. Hạn chế của điều khiển tương tự và ưu điểm của điều khiển số:

Nhược điểm quan trọng của kỹ thuật tương tự liên quan đến sự trôi thông số do các nguyên nhân có nguồn gốc khác nhau (do nhiệt, hóa-lý, cơ học,…). Hiện tượng này làm thay đổi thông số của các linh kiện điện tử, điện dung của tụ điện, điện trở của các chiết áp. Để khử sự trôi thông số thường sử dụng các mạch bù làm tăng độ phức tạp của mạch và giá thành. Các linh kiện số chỉ có hai mức năng lượng cao và thấp (0 và 1) nên không bị ảnh hưởng bởi sự trôi thông số.

Thiết bị tương tự thường nhạy với nhiễu. Nhiễu có thể phát sinh do bản thân linh kiện (nhiệt, sự già hóa,…) hoặc nhiễu từ các yếu tố bên ngoài do ảnh hưởng của môi

trường. Các cấu trúc số có thể được bảo vệ bằng các kỹ thuật áp dụng cho kỹ thuật tương tự (màn chắn, bọc kim,…), ngoài ra còn dùng các kỹ thuật lọc số.

Việc truyền dẫn tín hiệu tương tự cũng gặp khó khăn do sự suy giảm tín hiệu. Việc truyền dẫn tín hiệu số ít bị ảnh hưởng bởi sự suy giảm.

Các linh kiện tương tự có tính chất khác nhau về thông số khi sản xuất hàng loạt làm cho các linh kiện tương tự kém ổn định.

Việc thực hiện một số chức năng như nhớ hoặc trễ bằng kỹ thuật tương tự gặp nhiều trở ngại. Việc thực hiện các chức năng này bằng kỹ thuật số khá đơn giản.

Do hệ điều khiển số luôn sử dụng thiết bị tính toán có khả năng tính toán mạnh như vi xử lý hoặc máy tính, cho phép gia công các quy luật điều khiển phức tạp, do vậy có thể thực hiện điều khiển bám sát đối tượng thực. Trong trường hợp đối tượng thực biến động, ta có thể chủ động thay đổi cả quy luật điều khiển, do vậy điều khiển số có độ chính xác cao. Nói cách khác đối với điều khiển số với thiết bị tính toán có khả năng tính toán mạnh, ta có thể áp dụng nhiều thuật toán điều khiển hiện đại mà trước đây không thể thực hiện được.

Việc thực hiện mạch và hiệu chỉnh mạch tương tự gặp nhiều khó khăn, phức tạp nên tốn nhiều thời gian và công sức.

b. Ưu điểm của thiết bị tương tự và nhược điểm của thiết bị số.

Tác động nhanh: Các thiết bị tương tự tác động gần như tức thời trong khi các thiết bị số tác động chậm do cần thời gian biến đổi và xử lý. Thiết bị số phải thực hiện theo các bước:

- Lấy mẫu, ghi dữ liệu.
- Tính toán, xử lý theo chương trình các dữ liệu ghi được ở trên

Muốn ra kết quả thì hệ điều khiển số phải trải qua hai công đoạn trên, do vậy hệ điều khiển số có độ nhạy kém hơn hệ điều khiển tương tự (thời gian quá độ dài hơn). Để khắc phục nhược điểm này ta phải tìm cách rút ngắn thời gian ghi dữ liệu bằng cách sử dụng truyền thông song song mà không sử dụng truyền thông nối tiếp đồng thời loại bỏ những dữ liệu không cần thiết, chỉ xử lý những dữ liệu cần thiết. Ngoài ra cần phải rút ngắn thời gian tính toán bằng cách sử dụng vi xử lý có tốc độ tính toán cao đồng thời phải tối ưu hóa chương trình điều khiển.

Tác động liên tục: cho phép sử dụng để khống chế các thông số (đại lượng) (như dòng điện, điên áp) có sự biến thiên rất nhanh.

Đơn giản về thiết kế của điều khiển tương tự: Điều khiển tương tự trở nên nặng nề đối với các điều khiển phức tạp, tuy nhiên ở mức độ cơ cấu hợp lý thì điều khiển tương tự lại rất đơn giản về phương diện cấu trúc.

c. Các ưu điểm có tính chất quyết định của điều khiển số

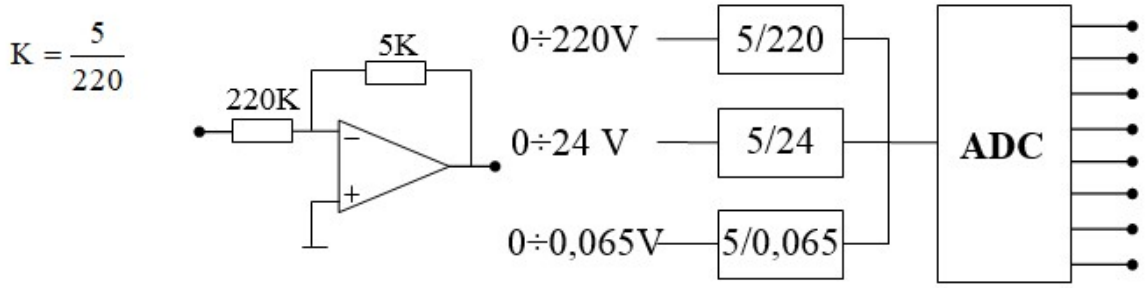
Điều khiển số cho phép tăng tỷ số giữa tính năng và giá thành. Các ưu điểm của kỹ thuật số thể hiện ở hai mặt:

- Điều khiển thông minh: các chương trình phần mềm cho phép tối ưu hóa điều khiển và thay đổi tính năng mong muốn.

- Đơn giản hóa thiết bị, tiêu chuẩn hóa và tích hợp hóa: Vì chức năng điều khiển chủ yếu được thực hiện bằng phần mềm nên với cùng một thiết bị phần cứng (một bộ vi xử lý và các giao diện) được sử dụng cho mọi ứng dụng. Điều này dẫn đến giảm các chi tiết dự phòng, do đó làm giảm giá thành.

d. Một số lưu ý đối với hệ điều khiển số.

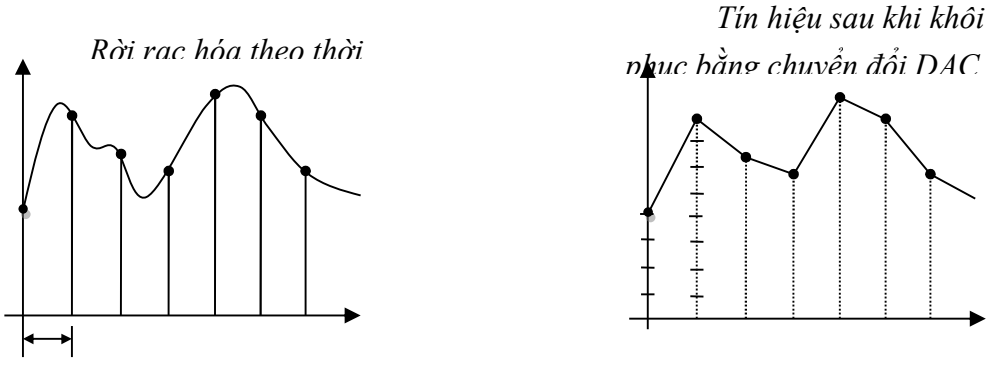
- Thiết bị số được chế tạo chuẩn hóa mà các đại lượng vật lý thực tế đo được lại biến đổi trong dải rộng. Do vậy, bắt buộc phải sử dụng thiết bị khuếch đại chuẩn hóa A/A. Đây là thiết bị tương tự nên nhiễu rất dễ xâm nhập:



Hình 1.2: Chuẩn hóa tín hiệu tương tự - số

- Trong hệ điều khiển số, tín hiệu đưa vào vi xử lý phải là tín hiệu số mà đại lượng vật lý thực tế cần điều khiển là tín hiệu tương tự. Vì vậy, bắt buộc phải sử dụng các bộ chuyển đổi ADC, DAC gây ra sai số về quy luật tín hiệu và giá trị thông tin.

VD: giả thiết mức mã hóa là Δ= 0,1 V



Hình 1.3.

Các mức 4,2; 8,6 khi chuyển về cơ số 2 với 4 bít:

0100→ 4 x 0,1 = 0,4 V

1000→ 8 x 0,1 = 0,8 V

Như vậy xuất hiện sai số khi so sánh với 4,2 và 8,6

Muốn giảm sai số quy luật của tín hiệu thì phải giảm chu kỳ lấy mẫu T. Muốn giảm sai số về giá trị thông tin cần phải giảm mức độ mã hóa thông tin. Điều này dẫn đến số lượng mã hóa lớn nên phải tăng số bit.

Để khắc phục, phải dùng chuyển đổi ADC, DAC có số bit mã hóa cao. Khi đó phải sử dụng vi xử lý có tốc độ tính toán cao.

Hệ điều khiển số có đặc điểm phần cứng không quy định quy luật điều khiển mà được quy định bởi phần mềm. Do vậy để sử dụng được thì người vận hành và sửa chữa cần phải nắm vững cả phần cứng và phần mềm.

Do quy luật điều khiển được quy định bởi phần mềm nên có thể dễ dàng thay đổi, vì vậy gây khó khăn cho người quản lý. Do vậy, trong thực tế các chương trình phần mềm điều khiển không để trên máy tính mà được ghi trên các bộ nhớ cứng như: ROM, EPROM, EEPROM.

Xu hướng sử dụng hệ điều khiển kết hợp hệ điều khiển tương tự và hệ điều khiển số: do các đặc điểm đã nêu ở trên, trong lĩnh vực điều khiển truyền động điện người ta thường sử dụng kết hợp điều khiển số và điều khiển tương tự.

- Các chức năng đòi hỏi điều khiển tác động nhanh được thực hiện bằng điều khiển tương tự.
- Các chức năng ở mức cao, điều khiển thông minh nhưng thực hiện chậm hơn sẽ được thực hiện bằng kỹ thuật số.

1.1.3. Phân loại hệ điều khiển số.

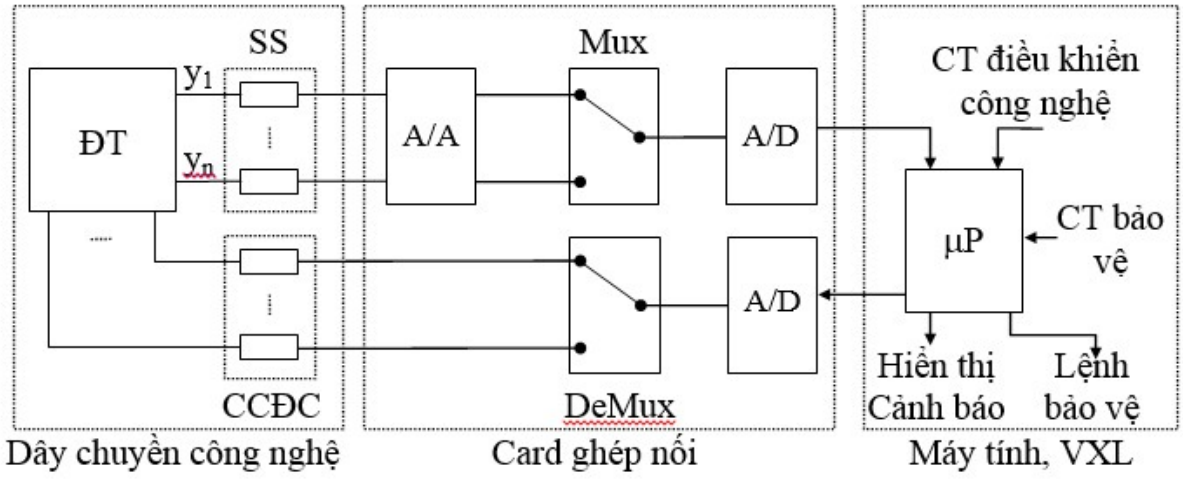
Hệ điều khiển số thường được phân loại theo khả năng xử lý tín hiệu

Hệ điều khiển số đơn kênh: là hệ chỉ điều khiển một đại lượng vật lý. Hệ này có ưu điểm là đơn giản dễ tính toán nhưng nhược điểm là việc thực hiện dây chuyền tự động rất khó khăn, cần sử dụng nhiều người vận hành.

Hệ điều khiển số đa kênh: là hệ sử dụng một hệ điều khiển số để điều khiển nhiều đại lượng vật lý khác nhau, các đại lượng vật lý này hoàn toàn độc lập với nhau. Hệ điều khiển số đa kênh phải sử dụng các mạch dồn kênh Mux và phân kênh Demux do vậy hệ có đặc điểm là quá trình điều khiển bị sai số do thời gian điều khiển lặp lại dài khi số đại lượng vật lý nhiều.

Hệ điều khiển số nhiều chiều: là hệ điều khiển nhiều đại lượng vật lý khác nhau và giữa các đại lượng vật lý có môi liên hệ với nhau. Do vậy phải thực hiện điều khiển đồng thời và thông tin, dữ liệu của các đại lượng vật lý phải được trao đổi với nhau. Vì vậy, đối với hệ điều khiển số nhiều chiều, cần phải sử dụng thuật toán ma trận. Đây là hệ điều khiển hiện đại có độ chính xác cao và được sử dụng rộng rãi trong thực tế.

1.2. CẤU TRÚC CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN SỐ



Hình 1.4: Cấu trúc của hệ điều khiển số

Trong đó:

- ĐT: đối tượng cần điều khiển, có nhiệm vụ tạo ra các đại lượng vật lý mà công nghệ yêu cầu, chẳng hạn muốn có nhiệt độ ta phải có lò gia nhiệt, muốn có tốc độ ta phải sử dụng động cơ,… Đây là các thiết bị tương tự.

- SS: khối thiết bị đo, có nhiệm vụ đo các đại lượng vật lý tương tự thực tế (không điện) và biến đổi về đại lượng điện (thường là điện áp hoặc dòng điện). Đây là các thiết bị tương tự.

- A/A: khối khuếch đại chuẩn hóa, có nhiệm vụ biến tín hiệu tương tự chưa chuẩn ở đầu vào thành tín hiệu tương tự chuẩn hóa ở đầu ra. Đây là thiết bị tương tự. Hiện nay thường dùng các chuẩn:

Chuẩn áp: 0 ÷ 5 V (0 ÷ ±5 V)
0 ÷ 10 V (0 ÷ ±10 V)
0 ÷ 15 V (0 ÷ ±15 V)
Chuẩn dòng: 0 ÷ 20 mA (0 ÷ ± 20 mA)
4 ÷ 20 mA (4 ÷ ± 20 mA)

- Mux, Demux: thiết bị dồn kênh, tách kênh. Đây là thiết bị số, có nhiệm vụ chuyển thông tin song song thành nối tiếp và ngược lại. Quá trình chuyển đổi được quét đồng bộ và được điều khiển bởi vi xử lý thông qua phần mềm điều khiển công nghệ.

- A/D, D/A: khối chuyển đổi tín hiệu tương tự - số, số - tương tự. Đây là thiết bị số.

- µP: khối vi xử lý tín hiệu, có nhiệm vụ ghi chương trình điều khiển, chương trình bảo vệ, đọc chương trình điều khiển, đọc giá trị tín hiệu số của đại lượng vật lý tương ứng trong chương trình; so sánh, quyết định tín hiệu điều khiển. Muốn vậy, vi xử lý phải điều khiển trạng thái tổng trở của các cửa Mux Demux.

Ngoài ra vi xử lý đọc chương trình bảo vệ, đọc giá trị đại lượng vật lý cần bảo vệ, so sánh với ngưỡng bảo vệ trong chương trình. Khi giá trị của đại lượng vật lý vượt quá ngưỡng, µP phát lệnh bảo vệ dừng hệ thống đồng thời phát tín hiệu thông báo cho người vận hành, sửa chữa. Mặt khác, vi xử lý kiểm soát hệ thống và thông báo chế độ làm việc trong hệ thống thông qua mã lệnh, mã lỗi.

- CCĐC: cơ cấu điều chỉnh có nhiệm vụ nhận tín hiệu điều khiển và chấp hành quy luật để điều tiết đối tượng sao cho đại lượng vật lý đầu ra biến đổi theo chương trình công nghệ. Đây là thiết bị tương tự, ví dụ: các van điện tử, các van tiết lưu, động cơ servo, các bộ biến đổi, biến trở,…

Lưu ý:

- Trong thực tế các khối có thể được chế tạo hợp bộ (trọn bộ), chẳng hạn khối CCĐC được chế tạo hợp bộ với đối tượng ĐT, khối SS được chế tạo hợp bộ với khối chuẩn hóa tín hiệu.

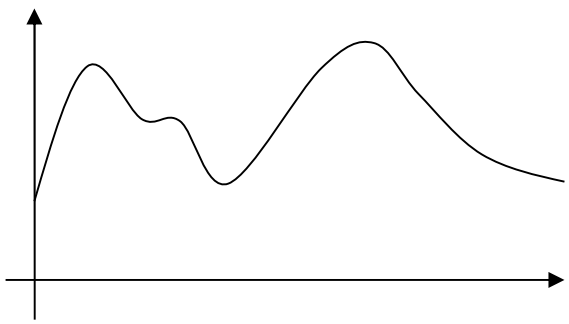
- Nếu hệ điều khiển số chỉ điều khiển một đại lượng vật lý (điều khiển số đơn kênh) thì không có các khối Mux và Demux.

1.3. TÍN HIỆU VÀ XỬ LÝ TÍN HIỆU SỐ

1.3.1. Phân loại tín hiệu

a. Tín hiệu tương tự (tín hiệu liên tục)

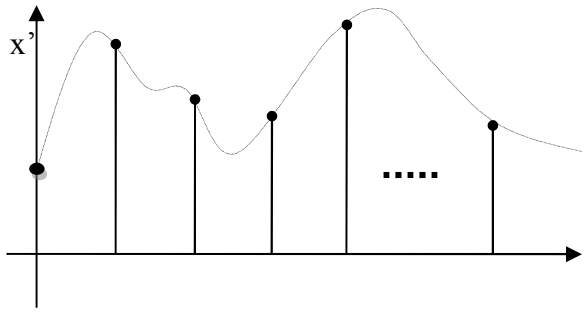
Tín hiệu tương tự là tín hiệu mà thông tin có ở bất kỳ thời điểm nào, giá trị thông tin được mang theo qua thông số đặc trưng của đại lượng vật lý mang tin như: biên độ, tần số, góc pha đầu (thực tế thường sử dụng biên độ). Để tính toán, thường sử dụng các hàm toán học liên tục. Giá trị thông tin theo hệ thập phân



Hình 1.5: Tín hiệu liên tục

b. Tín hiệu lấy mẫu (tín hiệu rời rạc)

Tín hiệu lấy mẫu là tín hiệu mà thông tin chỉ có ở các thời điểm cố định, ngoài các điểm lấy mẫu không có thông tin. Giá trị thông tin mang theo biên độ. Giá trị thông tin theo hệ thập phân.



Hình 1.6: Tín hiệu rời rạc

c. Tín hiệu số

Tín hiệu số $x^*(t)$ là tín hiệu mà thông tin chỉ có tại các thời điểm cố định, ngoài các thời điểm đó ra thì không có thông tin. Giá trị thông tin được mang theo mã số, được tính toán theo hệ nhị phân.

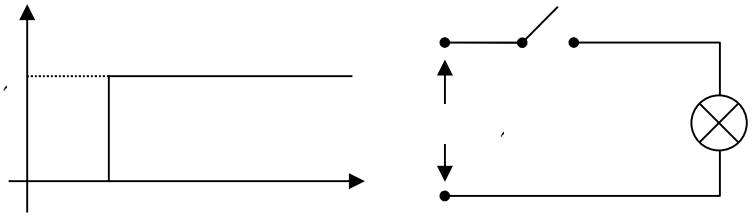
Ví dụ: rời rạc hóa tín hiệu theo mức sau đó chuyển về cơ số 2

$x^*(t)$: t=0 $\Rightarrow$ 00101101

t=1T $\Rightarrow$ 01011100

d. Tín hiệu logic

Tín hiệu logic là tín hiệu mà thông tin có tại bất kỳ thời điểm nào, giá trị thông tin biểu diễn qua biên độ và chỉ có hai giá trị "0" hoặc "1". Giá trị trung gian giữa hai giá trị này bị cấm (không được phép có).



Hình 1.7: Tín hiệu logic

K mở: Điện áp U = 220 V: Đèn tắt $\Rightarrow x_{LG}= 0$

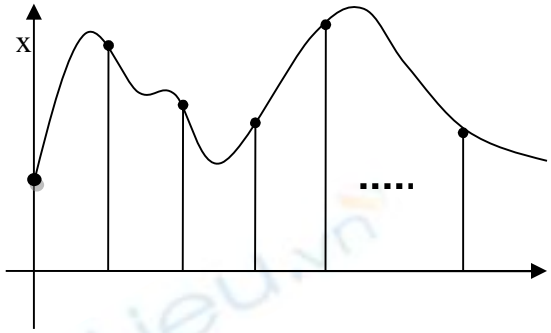
K đóng: Điện áp U = 0 V: Đèn sáng $\Rightarrow x_{LG}= 1$

1.3.2. Xử lý tín hiệu

Như ta đã biết trong hệ điều khiển số luôn tồn tại cả tín hiệu tương tự và tín hiệu số. Do vậy, phải xảy ra quá trình chuyển đổi tín hiệu từ tín hiệu tương tự thành tín hiệu số và ngược lại.

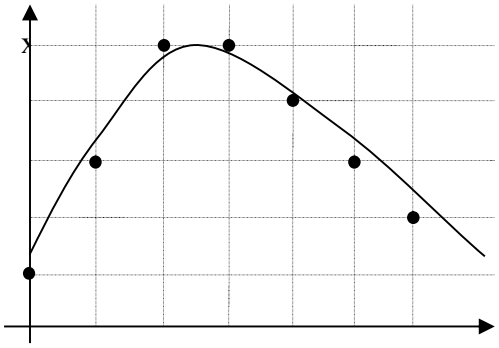
Để chuyển đổi tín hiệu từ tín hiệu tương tự sang tín hiệu số, phải trải qua quá trình lấy mẫu (lượng tử hóa hay rời rạc hóa) tín hiệu. Có ba phương pháp lượng tử hóa tín hiệu:

- Lượng tử hóa theo thời gian: thực hiện lấy mẫu tín hiệu tại những thời điểm định trước, cách đều nhau một khoảng thời gian T, T được gọi là chu kỳ lấy mẫu (sample time). Giá trị thu được là những giá trị (biên độ) của tín hiệu tại những thời điểm lấy mẫu.



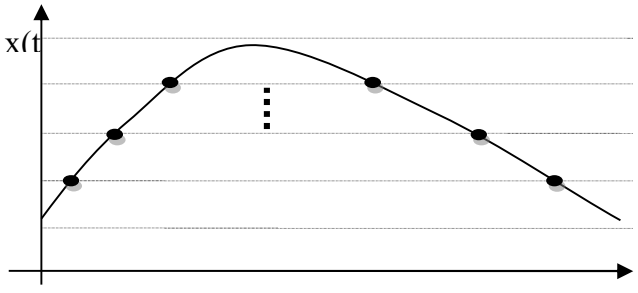
Hình 1.8: Lượng tử hóa theo thời gian

- Lượng tử hóa theo mức: Lượng tử hóa tín hiệu khi tín hiệu đạt những giá trị định trước.



Hình 1.9: Lượng tử hóa theo mức

- Lượng tử hóa hỗn hợp: Lấy mẫu tín hiệu vào những thời điểm định trước, cách đều nhau một chu kỳ lấy mẫu T. Chia giá trị tín hiệu ra những mức cách đều nhau. Khoảng cách giữa các mức lân cận được gọi là một bước lượng tử. Giá trị thu được bằng mức định trước, có sai số bé nhất so với giá trị thực của tín hiệu tại thời điểm lấy mẫu.



Hình 1.10: Lượng tử hóa hỗn hợp

Để thực hiện quá trình chuyển đổi tín hiệu ta sử dụng các bộ chuyển đổi tương tự - số ADC và số - tương tự DAC.

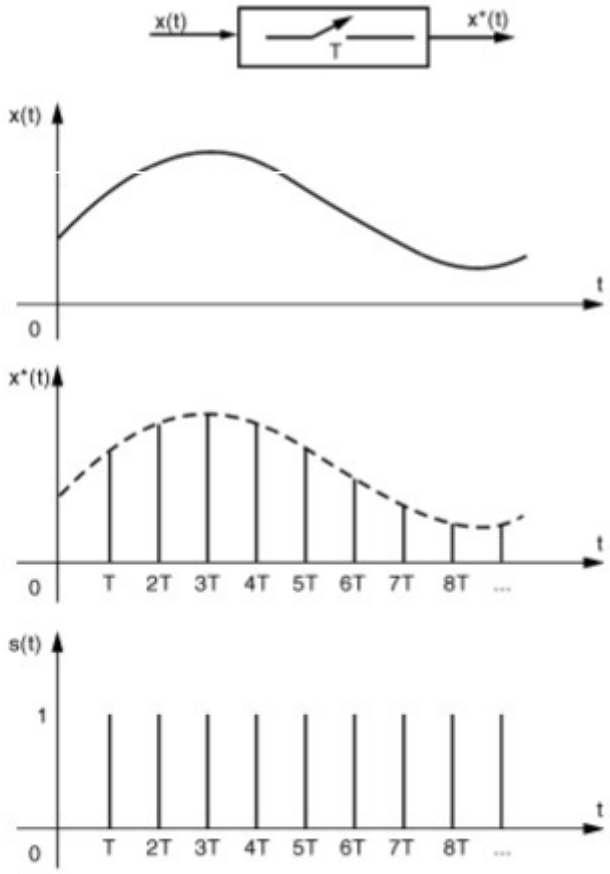
a. Chuyển đổi tương tự - số

Để chuyển đổi từ tín hiệu tương tự thành tín hiệu số ta phải thực hiện qua hai bước:

- Chuyển đổi tín hiệu tương tự thành tín hiệu lấy mẫu thông qua quá trình lấy mẫu tín hiệu: $x(t) \rightarrow x'(t)$

- Chuyển từ tín hiệu lấy mẫu thành tín hiệu số thông qua quá trình lượng tử hóa theo mức: $x'(t) \rightarrow x^*(t)$

Lấy mẫu là biến đổi tín hiệu liên tục theo thời gian thành tín hiệu rời rạc theo thời gian .



Hình 1.11: Quá trình lấy mẫu tín hiệu

Xét bộ lấy mẫu có đầu vào là tín hiệu liên tục x(t) và đầu ra là tín hiệu rời rạc $x^*(t)$ (Hình 1.9). Quá trình lấy mẫu có thể mô tả bởi biểu thức toán học sau:

$$x^*(t) = x(t).s(t) \qquad (1.1)$$

Trong đó s(t) là chuỗi xung dirac:

$$s(t)=\sum_{k=-\infty}^{+\infty}\delta(t-kT) \tag{1.2}$$

Thay (1.2) vào (1.1) , đồng thời giả sử rằng x(t)=0 khi t<0, ta được:

$$\begin{aligned} x^*(t)&=\sum_{k=0}^{+\infty}x(t)\delta(t-kT)\\ \Rightarrow x^*(t)&=\sum_{k=0}^{+\infty}x(kT)\delta(t-kT)\end{aligned} \tag{1.3}$$

Biến đổi Laplace hai vế phương trình (7.3) ta được :

$$X^*(s)=\sum_{k=0}^{+\infty}x(kT)e^{-kTs} \tag{1.4}$$

Biểu thức (1.4) chính là biểu thức toán học mô tả quá trình lấy mẫu .

Định lý Shanon : Để có thể phục hồi dữ liệu sau khi lấy mẫu mà không bị méo dạng thì tần số lấy mẫu phải thỏa mãn điều kiện:

$$f=\frac{1}{T}\geq 2f_c \tag{1.5}$$

Trong đó f_c là tần số cắt của tín hiệu cần lấy mẫu .

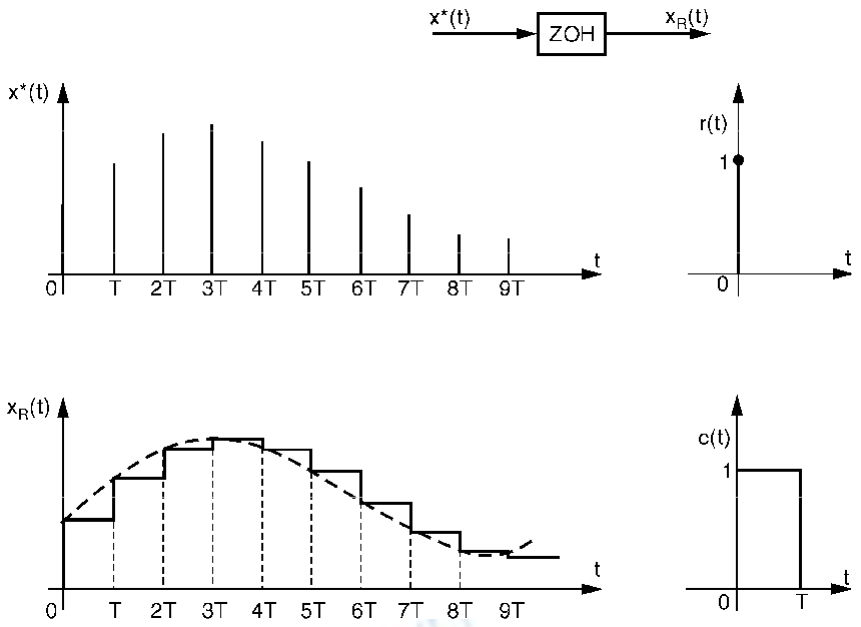
Trong các hệ thống điều khiển thực tế , nếu có thể bỏ qua được sai số lượng tử hóa thì các khâu chuyển đổi A/D chính là các khâu lấy mẫu.

Chu kỳ lấy mẫu T ảnh hưởng đến độ chính xác của quy luật tín hiệu theo hướng T càng nhỏ thì độ chính xác của tín hiệu càng cao, thiết bị chế tạo càng khó khăn. Vì vậy, theo quan điểm về tín hiệu thì T càng nhỏ thì càng tốt nhưng theo quan điểm về thiết bị thì T càng lớn càng tốt. Do vậy, trong thực tế T thường được chọn theo điều kiện $T < T_{th}/2$ với T_{th} là chu kỳ của tín hiệu cần điều khiển, T_{th} được xác định thông qua máy phổ tần.

b. Chuyển đổi số - tương tự

Khâu giữ dữ liệu là khâu chuyển tín hiệu rời rạc theo thời gian thành tín hiệu liên tục theo thời gian.

Khâu giữ dữ liệu có nhiều dangj khác nhau ,đơn giản nhất và được sử dụng nhiều nhất trong các hệ thống điều khiển rời rạc là khâu giữ bậc 0 (Zero- Order Hold- ZOH) (Hình 1.12)



Hình 1.12. Khâu giữ bậc 0 (ZOH)

Ta tìm được hàm truyền của khâu ZOH . Để ý rằng nếu tín hiệu vào của khâu ZOH là xung dirac thì tín hiệu ra là xung vuông có độ rộng bằng T (Hình 1.12). Ta có :

$R(s)=1$ (vì r(t) là hàm dirac)

$$C(s)=L\{c(t)\}=L\{u(t)-u(t-T)\}=\frac{1}{s}-\frac{1}{s}e^{-Ts}=\frac{1-e^{-Ts}}{s}$$

Theo định nghĩa : $G_{ZOH}(s)=\frac{C(s)}{R(s)}$

Do đó : $$G_{ZOH}(s)=\frac{1-e^{-Ts}}{s}=\frac{1-z^{-1}}{s} \qquad (1.6)$$

Biểu thức (1.6) chính là hàm truyền của khâu giữ bậc 0. Trong các hệ thống điều khiển thực tế , nếu có thể bỏ qua được sai số lượng tử hóa thì các khâu chuyển đổi D/A chính là các khâu giữ bậc 0 (ZOH)

Nhận xét

Bằng cách sử dụng phép biến đổi Laplace ta có thể mô tả quá trình lấy mẫu và giữ liệu bằng các biểu thức toán học (1.4) và (1.6). Tuy nhiên các biểu thức toán học lại chứa hàm e^x nên nếu ta sử dụng để mô tả hệ rời rạc thì khi phân tích , thiết kế hệ thống sẽ gặp nhiều khó khăn . Ta cần mô tả toán học khác giúp khảo sát hệ thống rời rạc dễ dàng hơn , nhờ phép biến đổi Z trình bày dưới đây chúng ta sẽ thực hiệ những điều này.

1.4. PHÉP BIẾN ĐỔI Z

1.4.1. Định nghĩa

Khi giải phương trình sai phân bậc cao người ta thường gặp nhiều khó khăn, vì vậy người ta thường dùng biến đổi Z để biến phương trình sai phân tuyến tính của hệ gián đoạn thành phương trình đại số. Điều này hoàn toàn tương tự như trong trường hợp hệ liên tục dùng biến đổi Laplace để biến phương trình vi tích phân thành phương trình đại số.

Cho x(k) là chuỗi tín hiệu rời rạc .Biến đổi Z là x(k) là :

$$X(z) = Z\{x(k)\} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(k) z^{-k} \tag{1.7}$$

Trong đó : $z = e^{Ts}$ (s là biến laplace)

Ký hiệu : $x(k) \xleftrightarrow{Z} X(z)$

Nếu x(k)=0, $\forall k < 0$ thì biểu thức định nghĩa trở thành :

$$X(z) = Z\{x(k)\} = \sum_{k=0}^{+\infty} x(k) z^{-k} \tag{1.8}$$

Miền hội tụ (Region of Convergence – ROC) : tập hợp tất cả các giá trị z sao cho X(z) hữu hạn.

Ý nghĩa của phép biến đổi Z

Giả sử x(t) là tín hiệu liên tục trong miền thời gian , lấy mẫu x(t) với chu kì lấy mẫu T ta được chuỗi rời rạc x(k)=x(kT).

Biểu thức lấy mẫu x(t):

$$X^*(s) = \sum_{k=0}^{+\infty} x(kT) e^{-kTs} \tag{1.9}$$

Biểu thức biến đổi Z :

$$X(z) = \sum_{k=0}^{+\infty} x(k) z^{-k} \tag{1.10}$$

Vì $z = e^{Ts}$ nên vế phải của hai biểu thức (1.9) và (1.10) là như nhau, do đó bản chất của việc biến đổi Z một tín hiệu chính là rời rạc hóa tín hiệu đó .

Phép biến đổi Z ngược

Cho X(z) là hàm theo biến phức z . Biến đổi Z ngược của X(z) là :

$$x(k) = \frac{1}{2j\pi} \int_C X(z) z^{k-1} dz \tag{1.11}$$

Với C là đường cong kín bất kỳ nằm trong miền hội tụ ROC của X(z) và bao gốc tọa độ .

1.4.2 Tính chất của phép biến đổi Z

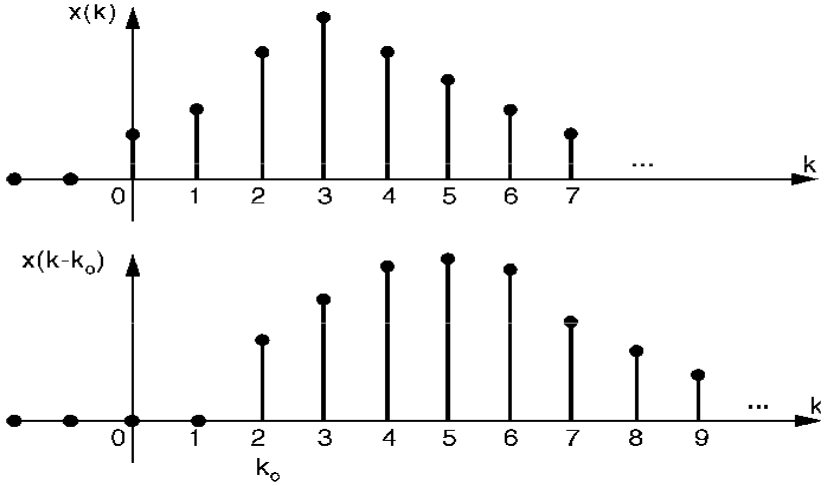
a. Tính tuyến tính

Nếu $x_1(k) \xrightarrow{Z} X_1(z)$

$x_2(k) \xrightarrow{Z} X_2(z)$

Thì $a_1x_1(k) + a_2x_2(k) \xrightarrow{Z} a_1X_1(z) + a_2X_2(z)$ (1.12)

b. Dời trong miền thời gian



Hình 1.13. Làm trễ tín hiệu k_0 mẫu

Nếu $x(k) \xrightarrow{Z} X(z)$

Thì $x(k-k_o) \xrightarrow{Z} z^{-k_o}X(z)$ (1.13)

Nhận xét:

Nếu trong miền Z ta nhân X(z) với z^{-k_o} thì tương đương với trong miền thời gian là trễ tín hiệu x(k) k_o chu kì lấy mẫu .

Vì $x(k-1) \xrightarrow{Z} z^{-1}X(z)$ nên z^{-1} được gọi là toán tử làm trễ 1 chu kì lấy mẫu.

c. Tỉ lệ trong miền Z

Nếu : $x(k) \xrightarrow{Z} X(z)$

Thì : $a^k x(k) \xrightarrow{Z} X\left(a^{-1}z\right)$ (1.14)

d. Đạo hàm trong miền Z

Nếu : $x(k) \xrightarrow{Z} X(z)$

Thì : $kx(k) \xrightarrow{Z} -z\frac{dX(z)}{dz}$ (1.15)

e. Định lí giá trị đầu

Nếu : $x(k) \xrightarrow{Z} X(z)$

Thì : $x(0) = \lim_{z\to\infty} X(z)$ (1.16)

f. Định lý giá trị cuối

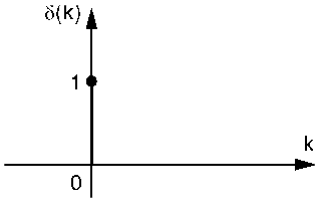
Nếu : $x(k) \xrightarrow{Z} X(z)$

Thì : $x(\infty) = \lim_{z\to 1}\left(1-z^{-1}\right)X(z)$ (1.17)

1.4.3. Biến đổi Z của các hàm cơ bản

a. Hàm dirac

$$\delta(k) = \begin{cases} 1 & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases}$$



Theo định nghĩa :

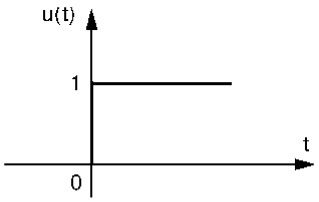
$$Z\{\delta(k)\} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(k)z^{-k} = \delta(0)z^{-0} = 1$$

Vậy : $\delta(k) \xrightarrow{Z} 1$ (ROC toàn bộ mặt phẳng Z)

b. Hàm nấc đơn vị

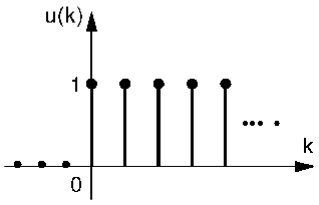
Hàm nấc đơn vị (liên tục trong miền thời gian) :

$$u(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$



Lấy mẫu u(t) với chu kì lấy mẫu là T ta được :

$$u(k) = \begin{cases} 1 & k \geq 0 \\ 0 & k < 0 \end{cases}$$



Theo định nghĩa :

$$Z\{u(k)\} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} u(k)z^{-k} \sum_{k=0}^{+\infty} u(k)z^{-k} = 1 + z^{-1} = z^{-2} + ... + z^{-\infty}$$

Nếu z^{-1}<1 thì biểu thức trên là tổng của cấp số nhân lùi vô hạn. Áp dụng công thức tính tổng của cấp số nhân lùi vô hạn , ta dễ dàng suy ra :

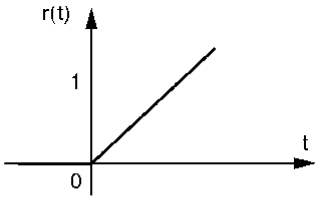
$$Z\{u(k)\} = \frac{1}{1-z^{-1}} = \frac{z}{z-1}$$

Vậy : $u(k) \xrightarrow{Z} \frac{1}{1-z^{-1}} = \frac{z}{z-1}$

c. Hàm dốc đơn vị

Hàm dốc đơn vị liên tục trong miền thời gian:

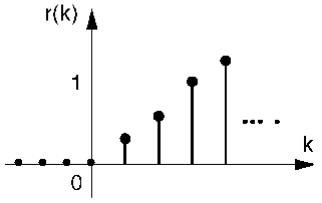
$$r(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$



Lấy mẫu r(t) với chu kì lấy mẫu là T , ta được :

$$r(k) = \begin{cases} kT & k \geq 0 \\ 0 & k < 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow r(k) = kTu(k)$$



Ta tìm biến đổi Z của r(k) bằng cách áp dụng tín

Tỉ lệ trong miền Z:

Ta có :

$$u(k) \xrightarrow{Z} \frac{1}{1-z^{-1}}$$

$$\Rightarrow ku(k) \xrightarrow{Z} -z\frac{d}{dz}\left\{\frac{1}{1-z^{-1}}\right\} = \frac{z^{-1}}{\left(1-z^{-1}\right)^2}$$

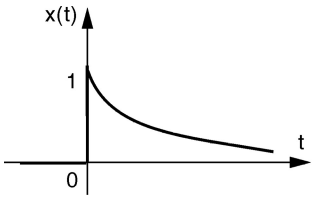
$$\Rightarrow kTu(k) \xrightarrow{Z} \frac{Tz^{-1}}{\left(1-z^{-1}\right)^2} = \frac{Tz}{(z-1)^2}$$

Vậy $r(k) = kTu(k) \xrightarrow{Z} \frac{Tz^{-1}}{\left(1-z^{-1}\right)^2} = \frac{Tz}{(z-1)^2}$

d. Hàm mũ

Hàm mũ liên tục trong miền thời gian :

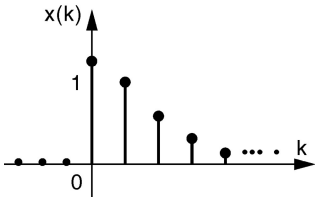
$$x(t) = \begin{cases} e^{-at} & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$



Lấy mẫu r(t) với chu kì lấy mẫu là T, ta được

$$e(k) = \begin{cases} e^{-kaT} & k \geq 0 \\ 0 & k < 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow x(k) = e^{-kaT}u(k)$$



Theo định nghĩa :

$$Z\{x(k)\} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(k)z^{-k} = \sum_{k=0}^{+\infty} x(k)z^{-k} = 1 + e^{-aT}z^{-2} + ...$$

$$= 1 + \left(e^{aT}z\right)^{-1} + \left(e^{aT}z\right)^{-2} + ...$$

Nếu $|(e^{aT}z)^{-1}| < 1$ thì biểu thức trên là tổng của cấp số nhân lùi vô hạn . Áp dụng công thức tính tổng của cấp số nhân lùi vô hạn , ta suy ra :

$$Z\{x(k)\} = \frac{1}{1-\left(e^{aT}z\right)^{-1}} = \frac{z}{z-e^{-aT}}$$

Vậy : $\left(e^{-kaT}\right)u(k) \xrightarrow{Z} \frac{1}{1-\left(e^{aT}z\right)} = \frac{z}{z-e^{-aT}}$

Kết quả trên ta dễ dàng suy ra :

$$a^k u(k) \xrightarrow{Z} \frac{1}{1-az^{-1}} = \frac{z}{z-a}$$

1.4.4 Các phương pháp tìm biến đổi Z ngược

Cho các hàm X(z) , bài toán đặt ra là tìm x(k).Theo công thức Z ngược ta có:

$$x(k) = \frac{1}{2j\pi}\int_c X(z)z^{k-1}dz$$

Với C là đường cong kín bất kì nằm trong ROC của X(Z) và bao gốc tọa độ .

Tìm x(k) bằng công thức trên rất phức tạp ,thực tế ta thực hiện bằng công thức sau:

Cách 1 :Phân tích X(z) thành tổng các hàm cơ bản , sau đó tra bảng biến đổi Z

Ví dụ 1.1 . Cho $X(z) = \frac{z}{(z-2)(z-3)}$. Tìm x(k)

Giải. Phân tích X(Z), Ta được :

$$X(z) = \frac{-z}{(z-2)} + \frac{z}{z-3}$$

Tra bảng biến đổi Z ta được :

$$a^k u(k) \xrightarrow{Z} \frac{z}{z-a}$$

Suy ra : $x(k) = \left(-2^k + 3^k\right)u(k)$

Cách 2. Phân tích X(z) thành chuỗi lũy thừa

Theo định nghĩa biến đổi Z:

$$X(z)=\sum_{k=0}^{+\infty}x(k)z^{-k}=x(0)z^{0}+x(1)z^{-1}+x(2)z^{-2}x(3)z^{-3}+...$$

Do đó nếu phân tích X(z) thành tổng của chuỗi lũy thừa ta sẽ được giá trị x(k) chính là hệ số của thành phần z^{-k}

Ví dụ 1.2 .Cho $X(z)=\frac{z}{(z-2)(z-3)}$. Tìm x(k)

Giải . $X(z)=\frac{z}{(z-2)(z-3)}=\frac{z}{z^2-5z+6}$

Chia đa thức , ta được

$$X(z)=z^{-1}+5z^{-2}+19z^{-3}+65z^{-3}+...$$

Suy ra : x(0)=0 ; x(1)=1 ; x(2)=5 ; x(3)=19 ; x(4)= 65,…

Cách 3 : Tính x(k) bằng công thức đệ qui

Ví dụ 1.3 . Cho $X(z)=\frac{z}{(z-2)(z-3)}$.Tìm x(k)

Giải . Ta có : $X(z)=\frac{z}{(z-2)(z-3)}=\frac{z}{z^2-5z+6}=\frac{z^{-1}}{1-5z^{-1}+6z^{-2}}$

$$\Rightarrow\left(1-5z^{-1}+6z^{-2}\right)X(z)=z^{-1}$$

$$\Rightarrow X(z)-5z^{-1}X(z)+6z^{-2}X(z)=z^{-1}$$

Biến đổi Z ngược hai vế phương trình trên (để ý tính chất dời trong miền thời gian), ta được :

$$x(k)-5x(k-1)+6x(k-2)=\delta(k-1)$$

$$\Rightarrow x(k)=5x(k-1)-6x(k-2)+\delta(k-1)$$

Với điều kiện đầu : $x(k-1)=0;x(k-2)=0$

Thay vào công thức trên ta tìm được :

$$x(0)=0;x(1)=1;x(2)=5;x(3)=19;x(4)=65,...$$

Cách 4: Áp dụng công thức thặng dư

$x(k)=\sum res\left[z^{k-1}X(z)\right]$ tại các cực của $z^{k-1}X(z)$

Nếu Zo là cực bậc 1 thì :

$$\text{Res}\left[z^{k-1}X(z)\right]_{z=z_0}=(z-z_0)z^{k-1}X(z)\Big|_{z=z_0}$$