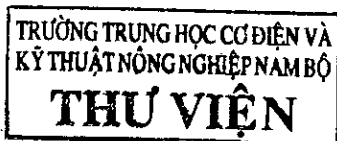


ĐỖ XUÂN THỤ (*chủ biên*) – ĐẶNG VĂN CHUYẾT – NGUYỄN VIỆT NGUYÊN  
NGUYỄN VŨ SƠN – NGUYỄN ĐỨC THUẬN – NGÔ LỆ THỦY – NGỌ VĂN TOÀN



# KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ

(Đã được hội đồng môn học của Bộ Giáo dục và Đào tạo thông qua  
dùng làm tài liệu giảng dạy trong các trường đại học kỹ thuật)

(Tái bản lần thứ mười lăm)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Bản quyền thuộc HEVOBCO – Nhà xuất bản Giáo dục

---

04 – 2008/CXB/101– 1999/GD

Mã số : 7B231y8 – DAI

## LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình "KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ" do tập thể cán bộ khoa "Kỹ thuật Điện tử - Tin học" trường đại học Bách khoa Hà Nội biên soạn để làm tài liệu giảng dạy và học tập cho sinh viên các trường đại học kỹ thuật, bổ túc cho kỹ sư đã tốt nghiệp cũng như để tham khảo cho cán bộ các ngành có liên quan. Nội dung giáo trình đề cập một cách hệ thống những kiến thức cơ bản và hiện đại của ngành Kỹ thuật Điện tử. Những kiến thức này là cần thiết cho các kỹ sư và cán bộ kỹ thuật hoạt động trong điều kiện kỹ thuật tự động hóa và tin học ngày càng phổ cập.

Giáo trình này được chia làm 5 chương.

**Chương 1 :** Giới thiệu những khái niệm cơ bản về các thông số của mạch điện, về tín tức, tín hiệu điện, các tính chất tổng quát của chúng và nét tổng quát của vài hệ thống điện tử điển hình. Chương này do TS. Nguyễn Viết Nguyên biên soạn.

**Chương 2 :** Đề cập đến kỹ thuật xử lý các tín hiệu tương tự, các cấu kiện dụng cụ điện tử có hiệu ứng chỉnh lưu và khuếch đại, các mạch điện cơ bản sử dụng chúng với mục đích gia công, xử lý tín hiệu theo phương pháp tương tự. Chương này do TS. Đỗ Xuân Thụ, kỹ sư giảng viên Ngô Văn Toàn, TS. Nguyễn Đức Thuận và TS. Nguyễn Viết Nguyên biên soạn.

**Chương 3 :** Đề cập đến các vấn đề của kỹ thuật xung - số.

Các cấu kiện, phần tử sử dụng trong các mạch xung - số. Các mạch và khối chức năng gia công tín hiệu theo phương pháp rời rạc. Chương này do TS. Nguyễn Viết Nguyên biên soạn.

**Chương 4 :** Đề cập đến kỹ thuật biến đổi điện áp và dòng điện. Các mạch chỉnh lưu và nghịch lưu công suất lớn. Các khối chức năng và các mạch cơ bản của hệ thống điều khiển các bộ biến đổi điện năng. Chương này do kỹ sư, giảng viên Ngô Lê Thủy biên soạn.

**Chương 5 :** Đề cập đến các vấn đề của hệ thống vi xử lý công nghiệp ; Sơ lược về các khối chức năng và nguyên lý xây dựng hệ vi xử lý ; Ví dụ ứng dụng. Chương này do TS. Nguyễn Vũ Sơn và TS. Đặng Văn Chuyết biên soạn.

c) Điện áp giữa hai điểm A và B khác nhau của mạch nếu đo theo mọi nhánh bất kì có điện trở khác không (xem khái niệm nhánh ở 1.1.4) nối giữa A và B là giống nhau và bằng  $U_{AB}$ . Nghĩa là điện áp giữa 2 đầu của nhiều phần tử hay nhiều nhánh nối song song với nhau luôn bằng nhau. (Quy tắc vòng đối với điện áp).

### 1.1.2. Tính chất điện của một phần tử<sup>(1)</sup>

1. Định nghĩa : Tính chất điện của một phần tử bất kì trong một mạch điện được thể hiện qua mối quan hệ tương hỗ giữa điện áp  $U$  trên hai đầu của nó và dòng điện  $I$  chạy qua nó và được định nghĩa là điện trở (hay điện trở phức - trở kháng) của phần tử. Nghĩa là khái niệm điện trở gắn liền với quá trình biến đổi điện áp thành dòng điện hoặc ngược lại từ dòng điện thành điện áp.

a) Nếu mối quan hệ này là tỉ lệ thuận, ta có định luật ôm :

$$U = R.I \quad (1-1)$$

Ở đây,  $R$  là một hằng số tỉ lệ được gọi là điện trở của phần tử và phần tử tương ứng được gọi là một điện trở thuần.

b) Nếu điện áp trên phần tử tỉ lệ với tốc độ biến đổi theo thời gian của dòng điện trên nó, tức là :

$$U = L \frac{dI}{dt} \quad (\text{ở đây } L \text{ là một hằng số tỉ lệ}) \quad (1-2)$$

ta có phần tử là một cuộn dây có giá trị điện cảm là  $L$ .

c) Nếu dòng điện trên phần tử tỉ lệ với tốc độ biến đổi theo thời gian của điện áp trên nó, tức là :

$$I = C \frac{dU}{dt} \quad (\text{ở đây } C \text{ là một hằng số tỉ lệ}) \quad (1-3)$$

ta có phần tử là một tụ điện có giá trị điện dung là  $C$ .

d) Ngoài các quan hệ đã nêu trên, trong thực tế còn tồn tại nhiều quan hệ tương hỗ đa dạng và phức tạp giữa điện áp và dòng điện trên một phần tử. Các phần tử này gọi chung là các phần tử không tuyến tính và có nhiều tính chất đặc biệt. Điện trở của chúng được gọi chung là các điện trở phi tuyến, điển hình nhất là diốt, tranzito, thiristo... và sẽ được đề cập tới ở các phần tiếp sau.

### 2. Các tính chất quan trọng của phần tử tuyến tính là :

a) Đặc tuyến Vôn - Ampe (thể hiện quan hệ  $U(I)$ ) là một đường thẳng ; điện trở là một đại lượng có giá trị không thay đổi ở mọi điểm.

b) Tuân theo nguyên lí chồng chất. Tác động tổng cộng bằng tổng các tác động riêng lẻ lên nó.

Đáp ứng tổng cộng (kết quả chung) bằng tổng các kết quả thành phần do tác động thành phần gây ra.

c) Không phát sinh thành phần tần số lạ khi làm việc với tín hiệu xoay chiều (không gây méo phi tuyến).

(1) Ghi chú : khái niệm phần tử ở đây là tổng quát, đại diện cho một yếu tố cấu thành mạch điện hay một tập hợp nhiều yếu tố tạo nên một bộ phận của mạch điện.

Đổi lập lại, với phần tử phi tuyến, ta có các tính chất sau :

- a) Đặc tuyến VA là một đường cong (điện trở thay đổi theo điểm làm việc).
- b) Không áp dụng được nguyên lý chồng chất.
- c) Luôn phát sinh tần số lạ (đầu vào không có) khi có tín hiệu xoay chiều tác động.

3. Ứng dụng - Các phần tử tuyến tính (R, L, C), có một số ứng dụng quan trọng sau :

a) Điện trở luôn là thông số đặc trưng cho hiện tượng tiêu hao năng lượng (chủ yếu dưới dạng nhiệt) và là một thông số không quán tính. Mức tiêu hao năng lượng của điện trở được đánh giá bằng công suất trên nó, xác định bởi:

$$P = U.I = I^2 R = U^2/R \quad (1-4)$$

• Trong khi đó, cuộn dây và tụ điện là các phần tử về cơ bản không tiêu hao năng lượng (xét lý tưởng) và có quán tính. Chúng đặc trưng cho hiện tượng tích lũy năng lượng từ trường hay điện trường của mạch khi có dòng điện hay điện áp biến thiên qua chúng. Ở đây tốc độ biến đổi của các thông số trạng thái (điện áp, dòng điện) có vai trò quyết định giá trị trở kháng của chúng, nghĩa là chúng có điện trở phụ thuộc vào tần số (vào tốc độ biến đổi của điện áp hay dòng điện tính trong một đơn vị thời gian). Với tụ điện, từ hệ thức (1.3), dung kháng của nó giảm khi tăng tần số và ngược lại với cuộn dây, từ (1-2) cảm kháng của nó tăng theo tần số.

b) Giá trị điện trở tổng cộng của nhiều điện trở nối tiếp nhau luôn lớn hơn của từng cái và có tính chất cộng tuyến tính. Điện dẫn (giá trị nghịch đảo của điện trở) của nhiều điện trở nối song song nhau luôn lớn hơn điện dẫn riêng rẽ của từng cái và cũng có tính chất cộng tuyến tính.

Hệ quả là :

\*) Có thể thực hiện việc chia nhỏ một điện áp (hay dòng điện) hay còn gọi là thực hiện việc dịch mức điện thế (hay mức dòng điện) giữa các điểm khác nhau của mạch bằng cách nối nối tiếp (hay song song) các điện trở.

\*) Trong cách nối nối tiếp, điện trở nào lớn hơn sẽ quyết định giá trị chung của dây. Ngược lại, trong cách nối song song, điện trở nào nhỏ hơn sẽ quyết định.

Việc nối nối tiếp (hay song song) các cuộn dây sẽ dẫn tới kết quả tương tự như đối với các điện trở : sẽ làm tăng (hay giảm) trị số điện cảm chung. Đối với tụ điện, khi nối song song chúng, điện dung tổng cộng tăng :

$$C_{ss} = C_1 + C_2 + \dots C_n \quad (1-5)$$

còn khi nối nối tiếp, điện dung tổng cộng giảm :

$$1/C_{nt} = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n \quad (1-6)$$

c) Nếu nối nối tiếp hay song song R với L hoặc C sẽ nhận được một kết cấu mạch có tính chất chọn lọc tần số (trở kháng chung phụ thuộc vào tần số gọi là các mạch lọc tần số).

Nếu nối nối tiếp hay song song L với C sẽ dẫn tới một kết cấu mạch vừa có tính chất chọn lọc tần số, vừa có khả năng thực hiện quá trình trao đổi qua lại giữa hai dạng năng lượng điện - từ trường, tức là kết cấu có khả năng phát sinh dao động điện áp hay dòng điện nếu ban đầu được một nguồn năng lượng ngoài kích thích, (vấn đề này sẽ gặp ở mục 2.4).

triển và tiến bộ nhanh chóng của kĩ thuật điện tử, nhu cầu này ngày càng được thỏa mãn sâu sắc trong điều kiện của một sự bùng nổ thông tin của xã hội hiện đại.

Tính chất quan trọng nhất của tin tức là nó mang ý nghĩa *xác suất thống kê*, thể hiện ở các mặt sau :

a) Nội dung chứa trong một sự kiện càng có ý nghĩa lớn (ta nói sự kiện có lượng tin tức cao) khi nó xảy ra càng *bất ngờ*, càng ít được chờ đợi. Nghĩa là lượng tin có độ lớn tỉ lệ với độ bất ngờ hay *tỉ lệ ngược với xác suất* xuất hiện của sự kiện và có thể dùng xác suất là mức đo lượng tin tức.

b) Mặc dù đã nhận được "nội dung" của một sự kiện nào đó, trong hầu hết mọi trường hợp, người ta chỉ khẳng định được tính chắc chắn, xác thực của nó với một độ tin cậy nào đó. Mức độ chắc chắn càng cao khi cùng một nội dung được lặp lại (về cơ bản) nhiều lần, nghĩa là tin tức còn có tính chất *trung bình thống kê* phụ thuộc vào mức độ hỗn loạn của nguồn tin, của môi trường (kênh) truyền tin và cả vào nơi nhận tin, vào tất cả khả năng gây sai nhầm có thể của một hệ thống thông tin. Người ta có thể dùng Entropy để đánh giá lượng tin thông qua các giá trị entropy riêng rẽ của nguồn tin, kênh truyền tin và nơi nhận tin.

c) Tin tức không tự nhiên sinh ra hoặc mất đi mà chỉ là một biểu hiện của các quá trình chuyển hóa năng lượng hay quá trình trao đổi năng lượng giữa hai dạng vật chất và trường. Phần lớn các quá trình này là mang tính ngẫu nhiên tuân theo các quy luật phân bố của lí thuyết xác suất thống kê. Tuy nhiên có thể thấy rằng nếu một hệ thống có năng lượng ổn định, mức độ trật tự cao thì càng khó thu thập được tin tức từ nó và ngược lại.

Cơ sở toán học để đánh giá định lượng các nhận xét trên được trình bày trong các giáo trình chuyên ngành về lí thuyết thông tin [10;11].

**1.2.2. Tín hiệu** là khái niệm để mô tả các *biểu hiện vật lý* của tin tức. Các biểu hiện này đa dạng và thường được phân chia thành hai nhóm : có bản chất điện từ và không có bản chất điện từ. Tuy nhiên, dạng cuối cùng thường gặp trong các hệ thống điện tử, thể hiện qua thông số trạng thái điện áp hay dòng điện, là có bản chất điện từ.

- Có thể coi tín hiệu nói chung (dù dưới dạng nào) là một lượng vật lý biến thiên theo thời gian và biểu diễn nó dưới dạng một hàm số hay đồ thị theo thời gian là thích hợp hơn cả.

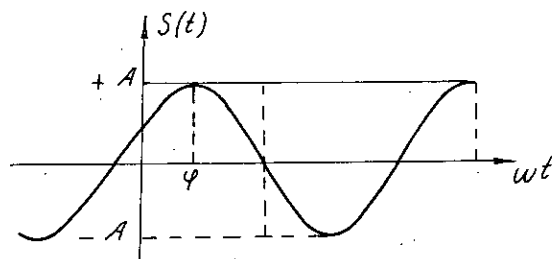
- Nếu biểu thức theo thời gian của một tín hiệu là  $s(t)$  thỏa mãn điều kiện :

$$s(t) = s(t + T) \quad (1 - 10)$$

Với mọi  $t$  và ở đây  $T$  là một hằng số thì  $s(t)$  được gọi là một tín hiệu tuần hoàn theo thời gian. Giá trị nhỏ nhất trong tập  $\{T\}$  thỏa mãn (1-10) gọi là chu kỳ của  $s(t)$ . Nếu không tồn tại một giá trị hữu hạn của  $T$  thỏa mãn (1-10) thì ta có  $s(t)$  là một tín hiệu không tuần hoàn.

Dao động hình sin (h.1.2) là dạng đặc trưng nhất của các tín hiệu tuần hoàn, có biểu thức dạng

$$s(t) = A \cos(\omega t - \varphi) \quad (1-11)$$

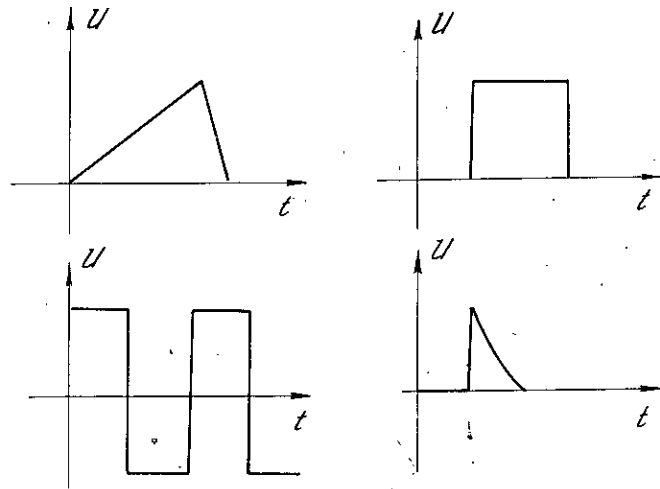


Hình 1.2 : Tín hiệu hình sin với các tham số đặc trưng  $A, T, \omega, \varphi$ .

trong (1-11)  $A, \omega, \varphi$  là các hằng số và lần lượt được gọi là biên độ, tần số góc và góc pha ban đầu của  $s(t)$ , có các mối liên hệ giữa  $\omega, T$  và  $f$  như sau :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} ; f = \frac{1}{T} \quad (1-12)$$

• Cũng có thể chia tín hiệu theo cách khác thành hai dạng cơ bản là biến thiên liên tục theo thời gian (tín hiệu tương tự - analog) hay biến thiên không liên tục theo thời gian (tín hiệu xung số - digital). Theo đó sẽ có hai dạng mạch điện tử cơ bản làm việc (gia công, xử lý) với từng loại trên.



Hình 1.3 : Các dạng xung thường gặp.

Các dạng tín hiệu vừa nêu trên, nếu có biểu thức  $s(t)$  hay đồ thị biểu diễn xác định, được gọi là loại tín hiệu xác định rõ ràng. Ngoài ra, còn một lớp các tín hiệu mang tính ngẫu nhiên và chỉ xác định được chúng qua các phép lấy mẫu nhiều lần và nhờ các quy luật của phân bố xác suất thống kê, được gọi là các tín hiệu ngẫu nhiên.

### 1.2.3. Các tính chất của tín hiệu theo cách biểu diễn thời gian

#### a) Độ dài và trị trung bình của một tín hiệu

Độ dài của tín hiệu là khoảng thời gian tồn tại của nó (từ lúc bắt đầu xuất hiện đến lúc mất đi). Độ dài mang ý nghĩa là khoảng thời gian mắc bận với tín hiệu của một mạch hay hệ thống điện tử. Nếu tín hiệu  $s(t)$  xuất hiện lúc  $t_0$  có độ dài là  $\tau$  thì giá trị trung bình của  $s(t)$ , ký hiệu là  $\overline{s(t)}$ , được xác định bởi :

$$\overline{s(t)} = \frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0 + \tau} s(t) dt \quad (1-13)$$

#### b) Năng lượng, công suất và trị hiệu dụng :

Năng lượng  $E_s$  của tín hiệu  $s(t)$  được xác định bởi :

$$E_s = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} s^2(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} s^2(t) dt \quad (1-14)$$

Công suất trung bình của  $s(t)$  trong thời gian tồn tại của nó được định nghĩa bởi :

$$\overline{s^2(t)} = \frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0 + \tau} s^2(t) dt = \frac{E_s}{\tau} \quad (1-15)$$

Giá trị hiệu dụng của  $s(t)$  được định nghĩa là :

$$s_{hd} = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{t_0}^{t_0 + \tau} s^2(t) dt} = \sqrt{\overline{s^2(t)}} = \sqrt{\frac{E_s}{\tau}} \quad (1-16)$$

Nếu  $\vec{s}(t) = a + jb$  thì  $A = \sqrt{a^2 + b^2}$

$$\text{và } \varphi = \arctg \frac{b}{a} \quad (1-30)$$

trong đó  $a \equiv \text{Re } \vec{s}(t)$  ;  $b = \text{Im } \vec{s}(t)$

Theo quy tắc nhân chia các số phức ta có các hệ thức sau :

$$\vec{s}_1(t) \vec{s}_2(t) = A_1 A_2 \exp j(\varphi_1 + \varphi_2)$$

$$\frac{\vec{s}_1(t)}{\vec{s}_2(t)} = \frac{A_1}{A_2} \exp j(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (A_2 \neq 0)$$

trong đó  $A_1, A_2$  lần lượt là môđun và argumen của  $\vec{s}_1(t)$  và  $\varphi_1, \varphi_2$  được xác định theo (1-30).

### 1.3. CÁC HỆ THỐNG ĐIỆN TỬ ĐIỂN HÌNH

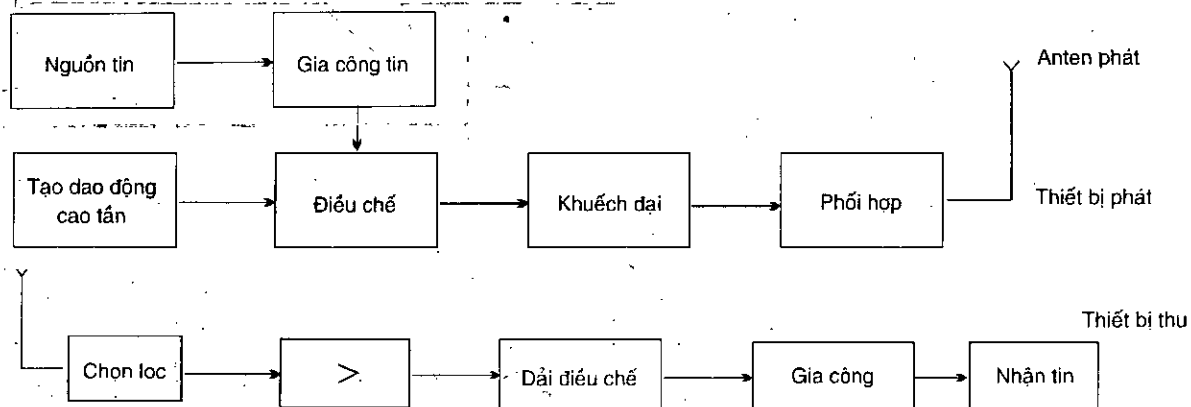
Hệ thống điện tử là một tập hợp các thiết bị điện tử nhằm thực hiện một nhiệm vụ kỹ thuật nhất định như gia công xử lý tín tức, truyền thông tin dữ liệu, đo lường thông số điều khiển tự chỉnh...

Về cấu trúc một hệ thống điện tử có hai dạng cơ bản : dạng hệ kín ở đó thông tin được gia công xử lý theo cả hai chiều nhằm đạt tới một điều kiện tối ưu định trước hay hệ hở ở đó thông tin được truyền chỉ theo một hướng từ nguồn tin tới nơi nhận tin.

#### 1.3.1. Hệ thống thông tin thu - phát

Có nhiệm vụ truyền một tín tức dữ liệu theo không gian (trên một khoảng cách nhất định) từ nguồn tin tới nơi nhận tin.

##### 1. Cấu trúc sơ đồ khối :



Hình 1.5. - Sơ đồ khối hệ thống thông tin dẫn dụng.

##### 2. Các đặc điểm chủ yếu :

- Là dạng hệ thống hở.
- Bao gồm 2 quá trình cơ bản.

Quá trình gán tín tức cần gửi đi vào một tải tín tần số cao bằng cách bắt dao động tải tín có một thông số biến thiên theo quy luật của tín tức gọi là quá trình điểu chế tại thiết bị phát.



Quá trình tách tin tức khỏi tải tin để lấy lại nội dung tin tức tần số thấp tại thiết bị thu gọi là quá trình *dải điều chế*.

c) Chất lượng và hiệu quả cũng như các đặc điểm của hệ đo 3 yếu tố quy định : đặc điểm của thiết bị phát, đặc điểm của thiết bị thu và môi trường thực hiện quá trình truyền tin (địa hình, thời tiết, nhiễu...).

Ba yếu tố này được đảm bảo nâng cao chất lượng một cách riêng rẽ để đạt hiệu quả thông tin cao, trong đó tại nguồn tin là các điều kiện chủ động, hai yếu tố còn lại là yếu tố bị động.

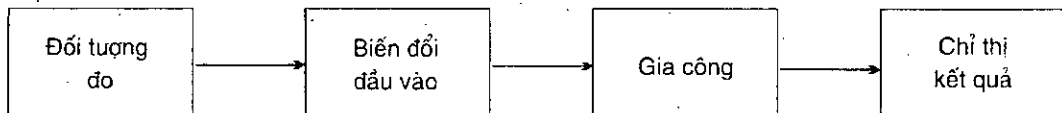
d) Các chỉ tiêu quan trọng nhất của hệ :

Dạng điều chế (AM, FM, analog, digital), Công suất bức xạ của thiết bị phát, khoảng cách và điều kiện môi trường truyền, độ nhạy và độ chọn lọc của thiết bị thu.

### 1.3.2. Hệ đo lường điện tử

Hệ loại này có nhiệm vụ thu thập tin tức dữ liệu về một đối tượng hay quá trình nào đó để đánh giá thông số hoặc trạng thái của chúng.

1. Cấu trúc khối :



Hình 1.6: Sơ đồ khối hệ thống đo lường.

2. Các đặc điểm cơ bản :

a) Là hệ cấu trúc dạng hở

b) Có hai phương pháp cơ bản thực hiện quá trình đo : phương pháp tiếp xúc (thiết bị đầu vào tiếp xúc trực tiếp với đối tượng đo là nguồn tin) và phương pháp không tiếp xúc.

Bộ biến đổi đầu vào là quan trọng nhất, có nhiệm vụ biến đổi thông số đại lượng cần đo (thường ở dạng một đại lượng vật lý) về dạng tín hiệu điện tử có tham số tỷ lệ với đại lượng cần đo. (Ví dụ : áp suất biến đổi thành điện áp, nhiệt độ hoặc độ ẩm hay vận tốc biến đổi ; thành điện áp hoặc dòng điện...).

c) Sự can thiệp của bất kỳ thiết bị đo nào vào đối tượng đo dẫn tới hệ quả là đối tượng đo không còn đứng độc lập và do đó xảy ra quá trình mất thông tin tự nhiên dẫn đến sai số đo.

d) Mọi cố gắng nhằm nâng cao độ chính xác của phép đo đều làm tăng tính phức tạp ; tăng chi phí kỹ thuật và làm xuất hiện các nguyên nhân gây sai số mới và đôi khi làm giảm độ tin cậy của phép đo.

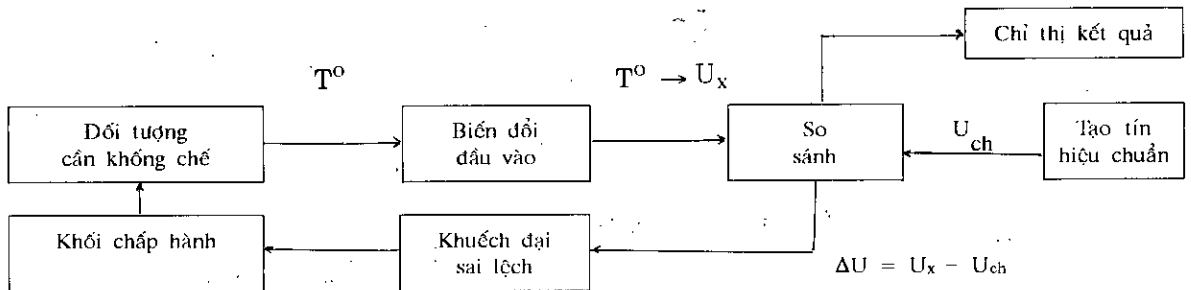
e) Về nguyên tắc có thể thực hiện gia công tín tức đo liên tục theo thời gian (phương pháp analog) hay gia công rời rạc theo thời gian (phương pháp digital). Yếu tố này quy định các đặc điểm kỹ thuật và cấu trúc : cụ thể là ở phương pháp analog : đại lượng đo được theo dõi liên tục theo thời gian còn ở phương pháp digital đại lượng đo được lấy mẫu giá trị ở những thời điểm xác định và so với các mức cường độ chuẩn xác định. Phương pháp digital cho phép tiết kiệm năng lượng, nâng cao độ chính xác và khả năng phối ghép với các thiết bị xử lý tin tự động.

f) Có khả năng đo nhiều thông số (nhiều kênh) hay đo xa nhờ kết hợp thiết bị đo với một hệ thống thông tin truyền dữ liệu, đo tự động nhờ một chương trình vạch sẵn (điều khiển bằng  $\mu p$ )...

### 1.3.3. Hệ tự điều chỉnh

Hệ có nhiệm vụ theo dõi khống chế một hoặc vài thông số của một quá trình sao cho thông số này phải có giá trị nằm trong một giới hạn đã định trước (hoặc ngoài giới hạn này) tức là có nhiệm vụ ổn định thông số (tự động) ở một trị số hay một dải trị số cho trước.

#### 1. Sơ đồ cấu trúc :



Hình 1.7 : Sơ đồ khối tổng quát hệ tự động điều chỉnh nhiệt độ.

#### 2. Các đặc điểm chủ yếu :

- Là hệ dạng cấu trúc kín : thông tin truyền theo hai hướng nhờ các mạch phản hồi.
- Thông số cần đo và khống chế được theo dõi liên tục và duy trì ở mức hoặc giới hạn định sẵn.

Ví dụ :  $T^0$  (cần theo dõi khống chế) được biến đổi trước tiên thành  $U_x$  sau đó, so sánh  $U_x$  và  $U_{ch}$  để phát hiện ra dấu và độ lớn của sai lệch ( $U_{ch}$  tương ứng với mức chuẩn  $T_{ch}$  được định sẵn mà đối tượng cần được khống chế ở đó).

Sau khi được khuếch đại lượng sai lệch  $\Delta u = U_x - U_{ch}$  được đưa tới khối chấp hành để điều khiển tăng hoặc giảm  $T_x$  theo yêu cầu tùy dấu và độ lớn của  $\Delta u$ . Sẽ có 3 khả năng :

- Khi  $\Delta u = 0$ , ta có  $T_x = T_{ch}$  ( $U_x = U_{ch}$ ) đối tượng đang ở trạng thái mong muốn, nhánh thông tin ngược không hoạt động

- Khi  $\Delta u > 0$  ( $U_x > U_{ch}$ )  $T_x > T_{ch}$  hệ điều chỉnh làm giảm  $T_x$

- Khi  $\Delta u < 0$   $T_x < T_{ch}$  hệ điều chỉnh làm tăng  $T_x$  quá trình điều chỉnh  $T_x$  chỉ ngừng khi  $\Delta u = 0$ .

#### c) Độ mịn (chính xác) khi điều chỉnh phụ thuộc vào

- Độ chính xác của quá trình biến đổi từ  $T_{ch}$  thành  $U_{ch}$
- Độ phân dải của phần tử so sánh (độ nhỏ của  $\Delta u$ )
- Độ chính xác của quá trình biến đổi  $T_x$  thành  $U_x$
- Tính chất quán tính của hệ.

d) Có thể điều chỉnh liên tục theo thời gian (analog) hay gián đoạn theo thời gian miễn sao đạt được giá trị trung bình mong đợi.