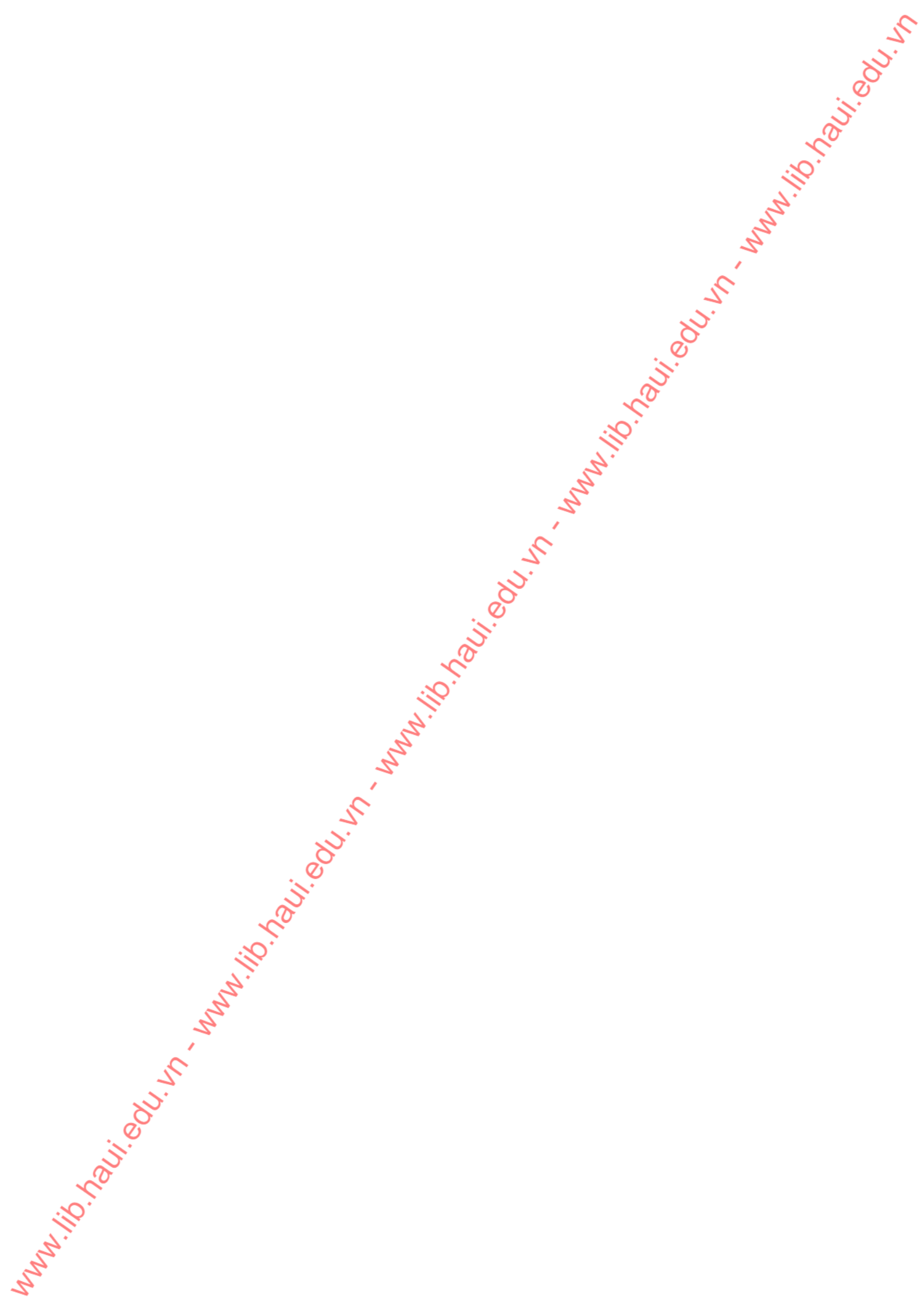


PGS. TS. PHẠM THƯỢNG HÀN (Chủ biên)

KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG CÁC ĐẠI LƯỢNG VẬT LÝ

TẬP MỘT

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC



Phần I

CƠ SỞ LÝ THUYẾT KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

Chương 1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

§1-1. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI CÁC PHÉP ĐO

1-1-1. Định nghĩa

Sự đánh giá định lượng một hay nhiều thông số của các đối tượng nghiên cứu được thực hiện bằng cách đo các đại lượng vật lý đặc trưng cho các thông số đó.

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng đại lượng cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị đo.

Kết quả đo lường là giá trị bằng số của đại lượng cần đo A_X , nó bằng tỉ số của đại lượng cần đo X và đơn vị đo X_0 . Nghĩa là A_X chỉ rõ đại lượng đo lớn hơn (hay nhỏ hơn) bao nhiêu lần đơn vị của nó.

Vậy quá trình đo có thể viết dưới dạng:

$$A_X = \frac{X}{X_0}$$

Từ đó ta có: $X = A_X \cdot X_0$ (1-1)

Phương trình (1-1) gọi là phương trình cơ bản của phép đo, nó chỉ rõ sự so sánh đại lượng cần đo với mẫu và cho ra kết quả bằng số. Từ đó ta cũng thấy rằng không phải bất kỳ đại lượng nào cũng đo được bởi vì không phải bất kỳ đại lượng nào cũng cho phép so sánh các giá trị của nó. Vì thế để đo chúng ta thường phải biến đổi chúng thành đại lượng khác có thể so sánh được. Ví dụ: để đo ứng suất cơ học ta phải biến đổi chúng thành sự thay đổi điện trở của bộ cảm biến lực căng. Sau đó mắc các bộ cảm biến này vào mạch cầu và đo điện áp lệch cầu khi có tác động của ứng suất cần đo.

Ngành khoa học chuyên nghiên cứu về các phương pháp để đo các đại lượng khác nhau, nghiên cứu về mẫu và đơn vị đo được gọi là *đo lường học*.

Ngành kỹ thuật chuyên nghiên cứu và áp dụng các thành quả đo lường học vào phục vụ sản xuất và đời sống gọi là *kỹ thuật đo lường*.

Để thực hiện quá trình đo lường ta phải biết chọn cách đo khác nhau phụ thuộc vào đối tượng đo, điều kiện đo và độ chính xác yêu cầu của phép đo.

1-1-2. Phân loại các cách thực hiện phép đo

Để thực hiện một phép đo người ta có thể sử dụng nhiều cách khác nhau, ta có thể phân biệt các cách sau đây:

1. *Đo trực tiếp* là cách đo mà kết quả nhận được trực tiếp từ một phép đo duy nhất.

Cách đo này cho kết quả ngay. Dụng cụ đo được sử dụng thường tương ứng với đại lượng đo. Ví dụ: đo điện áp dùng vôn mét chẳng hạn trên mặt vôn mét đã khắc độ sẵn bằng vôn. Thực tế đa số các phép đo đều sử dụng cách đo trực tiếp này.

2. *Đo gián tiếp* là cách đo mà kết quả suy ra từ sự phối hợp kết quả của nhiều phép đo dùng cách đo trực tiếp.

Ví dụ: Để đo điện trở ta có thể sử dụng định luật Ôm $R = U/I$ (điều này hay được sử dụng khi phải đo điện trở của một phụ tải đang làm việc). Ta cần đo điện áp và dòng điện bằng cách đo trực tiếp sau đó tính ra điện trở.

Cách đo gián tiếp thường mắc phải sai số lớn là tổng các sai số của các phép đo trực tiếp.

3. *Đo hợp bộ* là cách đo gần giống đo gián tiếp nhưng số lượng phép đo theo cách trực tiếp nhiều hơn và kết quả đo nhận được thường phải thông qua giải một phương trình (hay hệ phương trình) mà các thông số đã biết chính là các số liệu đo được.

Ví dụ: Điện trở của dây dẫn có thể tính từ phương trình sau:

$$r_t = r_{20}[1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2]$$

Trong đó các hệ số α , β chưa biết. Để xác định ta cần phải đo điện trở ở ba điểm nhiệt độ khác nhau là r_{20} , r_{t_1} , r_{t_2} . Sau đó thay vào ta có hệ phương trình:

$$r_{t_1} = r_{20}[1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2]$$

$$r_{t_2} = r_{20}[1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2]$$

Giải ra ta tìm được α , β .

4. *Đo thống kê*. Để đảm bảo độ chính xác của phép đo nhiều khi người ta phải sử dụng cách đo thống kê. Tức là ta phải đo nhiều lần sau đó lấy giá trị trung bình. Cách đo này đặc biệt hữu hiệu khi tím hiệu đo là ngẫu nhiên hoặc khi kiểm tra độ chính xác của một dụng cụ đo.

§1-2. CÁC ĐẶC TRƯNG CỦA KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

Trong kỹ thuật đo lường có chứa đựng các đặc trưng sau đây: đại lượng cần đo, điều kiện đo, đơn vị đo, phương pháp đo, thiết bị đo, người quan sát hoặc các thiết bị thu nhận kết quả đo, kết quả đo.

Các đặc trưng này là những yếu tố cần thiết không thể thiếu được của kỹ thuật đo lường.

Sau đây chúng ta sẽ xét từng đặc trưng một.

1-2-1. Đại lượng đo

Định nghĩa: Đại lượng đo là một thông số đặc trưng cho đại lượng vật lí cần đo.

* Theo tính chất thay đổi của đại lượng đo có thể chia chúng thành hai loại đó là đại lượng đo tiền định và đại lượng đo ngẫu nhiên.

Đại lượng đo tiền định là đại lượng đo đã biết trước quy luật thay đổi theo thời gian của chúng, nhưng một (hoặc nhiều) thông số của chúng chưa biết cần phải đo.

Ví dụ: Cần phải đo độ lớn (biên độ) của tín hiệu hình sin

Đại lượng đo tiền định thường là tín hiệu một chiều hay xoay chiều hình sin hay xung vuông. Các thông số cần đo thường là biên độ, tần số, góc pha v.v. của tín hiệu đo.

Đại lượng đo ngẫu nhiên là đại lượng đo mà sự thay đổi theo thời gian không theo một quy luật nào cả. Nếu ta lấy bất kì giá trị nào của tín hiệu thì ta đều nhận được đại lượng ngẫu nhiên.

Ta thấy trong thực tế đa số các đại lượng đo đều là ngẫu nhiên. Tuy nhiên ở một chừng mực nào đó ta có thể giả thiết rằng suốt thời gian tiến hành một phép đo đại lượng đo phải không đổi hoặc thay đổi theo quy luật đã biết (tức là đại lượng đo tiền định), hoặc tín hiệu phải thay đổi chậm.

Vì thế nếu đại lượng đo ngẫu nhiên có tần số thay đổi nhanh sẽ không thể đo được bằng các phép đo thông thường. Trong trường hợp này ta phải sử dụng một phương pháp đo đặc biệt, đó là *đo lường thống kê*.

* Theo cách biến đổi đại lượng đo mà ta có thể chia thành *đại lượng đo liên tục* hay *đại lượng đo tương tự (analog)* và *đại lượng đo rời rạc* hay là *đại lượng đo số (digital)*.

Đại lượng đo tương tự tức là biến đổi nó thành một đại lượng đo khác tương tự nó.

Ứng với đại lượng đo này người ta thường chế tạo các *dụng cụ đo tương tự*. Ví dụ: một ampe-mét có kim chỉ tương ứng với cường độ dòng điện.

Còn đại lượng đo số tức là biến đổi từ đại lượng tương tự thành đại lượng số. Ứng với đại lượng đo này người ta thường chế tạo các *dụng cụ đo số*.

* Theo bản chất của đại lượng đo ta có thể chia thành:

- *Đại lượng đo năng lượng:* tức là đại lượng đo mà bản thân nó mang năng lượng. Ví dụ: sức điện động, điện áp, dòng điện, công suất, năng lượng, từ thông, cường độ từ trường.

- *Các đại lượng đo thông số:* đó là các thông số của mạch điện như điện trở, điện cảm, điện dung, hệ số từ trường.

- *Các đại lượng đo phụ thuộc thời gian* như chu kỳ, tần số, góc pha v.v.

- *Các đại lượng đo không điện*, để đo được bằng phương pháp điện, nhất thiết phải biến đổi chúng thành điện nhờ các bộ chuyển đổi đo lường sơ cấp. Nhờ các bộ chuyển đổi này mà ta nhận được tín hiệu Y tỉ lệ với đại lượng cần đo X tức là $Y = f(X)$.

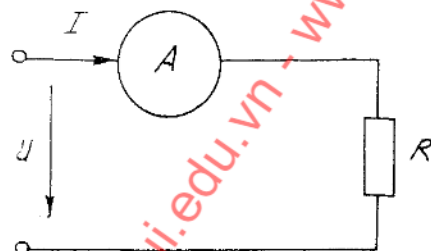
* *Tín hiệu đo* là loại tín hiệu mang đặc tính thông tin về đại lượng đo vì thế có khi người ta coi tín hiệu đo làm đại lượng đo.

1-2-2. Điều kiện đo

Các thông tin đo lường bao giờ cũng gắn chặt với môi trường sinh ra đại lượng đo. Khi tiến hành phép đo ta phải tính tới ảnh hưởng của môi trường đến kết quả đo và ngược lại khi dùng dụng cụ đo không được để dụng cụ đo ảnh hưởng đến đối tượng đo. Ta lấy một ví dụ sau đây:

Để đo cường độ dòng điện ta dùng ampe-mét (h.1-1). Dòng điện cần đo là $I = \frac{U}{R}$. Nhưng khi mắc ampe-mét vào để đo vì điện trở của ampe-mét là R_A cho nên dòng điện thực tế đo được sẽ là:

$$I_{\text{đo}} = \frac{U}{R + R_A}$$



Hình 1-1

Vậy sai số của phép đo sẽ là:

$$\gamma = \frac{I_{\text{đo}} - I}{I_{\text{đo}}} = \frac{\frac{U}{R + R_A} - \frac{U}{R}}{\frac{U}{R + R_A}} = -\frac{R_A}{R}$$

Như vậy muốn cho phép đo dòng điện được chính xác thì R_A phải có giá trị rất nhỏ.

Vậy điều kiện để đo dòng điện là R_A phải càng nhỏ càng tốt.

Ngoài ra ta phải chú ý đến môi trường bên ngoài có thể ảnh hưởng đến kết quả của phép đo. Những yếu tố của môi trường ngoài là: nhiệt độ, độ ẩm của không khí, từ trường bên ngoài, độ rung, độ lệch áp suất so với áp suất trung bình, bụi bẩn v.v. Những yếu tố này phải ở trong điều kiện chuẩn. Điều kiện tiêu chuẩn là điều kiện được quy định theo tiêu chuẩn quốc gia, là khoảng biến động của các yếu tố bên ngoài mà suốt trong khoảng đó dụng cụ đo vẫn bảo đảm độ chính xác quy định. Đối với mỗi loại dụng cụ đo đều có khoảng tiêu chuẩn được ghi trong các đặc tính kỹ thuật của nó.

Trong thực tế ta thường phải tiến hành đo nhiều đại lượng cùng một lúc rồi lại phải truyền tín hiệu đo đi xa, tự động ghi lại và gia công thông tin đo. Cho nên, cần phải tính đến các điều kiện đo khác nhau để chọn thiết bị đo và tổ chức các phép đo cho tốt nhất.

1-2-3. Đơn vị đo

Để cho nhiều nước có thể sử dụng một hệ thống đơn vị duy nhất người ta đã thành lập hệ thống đơn vị quốc tế (SI) (năm 1960) đã được thông qua ở hội nghị quốc tế về mẫu và cân. Trong hệ thống đó các đơn vị được xác định như sau :

- đơn vị chiều dài là mét (m);
- đơn vị khối lượng là kilôgam (kg);
- đơn vị thời gian là giây (s);
- đơn vị cường độ dòng điện là ampe (A);
- đơn vị nhiệt độ là độ kelvin (K);

- đơn vị cường độ sáng là nến candela (Cd);

- đơn vị số lượng vật chất là molen (mol).

Đó là bảy đơn vị cơ bản. Ngoài ra còn có các đơn vị kéo theo. Ở chương 2 mục §2-2 ta sẽ đề cập cụ thể hơn về các đơn vị này.

1-2-4. Thiết bị đo và phương pháp đo

* *Thiết bị đo* là thiết bị kỹ thuật dùng để gia công tín hiệu mang thông tin đo thành dạng tiện lợi cho người quan sát. Chúng có những tính chất đo lường học, tức là những tính chất có ảnh hưởng đến kết quả và sai số của phép đo.

Thiết bị đo lường gồm nhiều loại đó là: thiết bị mẫu, các chuyển đổi đo lường, các dụng cụ đo lường, các tổ hợp thiết bị đo lường và các hệ thống thông tin đo lường. Mỗi loại thiết bị đều có chức năng riêng của nó. Ở mục dưới ta sẽ đề cập đến thiết bị đo cụ thể hơn (xem §1-5)

* Các phép đo được thực hiện bằng các *phương pháp đo* khác nhau phụ thuộc vào các phương pháp nhận thông tin đo và nhiều yếu tố khác như đại lượng đo lớn hay nhỏ, điều kiện đo, sai số, yêu cầu v.v. Phương pháp đo có thể có nhiều nhưng người ta đã phân loại thành hai loại đó là *phương pháp đo biến đổi thẳng*, và *phương pháp đo so sánh*. Dưới đây sẽ đề cập đến phương pháp đo cụ thể hơn (xem §1-4).

1-2-5. Người quan sát

Đó là người đo và gia công kết quả đo. Nhiệm vụ của người quan sát khi đo là phải nắm được phương pháp đo; am hiểu về thiết bị đo mà mình sử dụng; kiểm tra điều kiện đo; phán đoán về khoảng đo để chọn thiết bị cho phù hợp; chọn dụng cụ đo phù hợp với sai số yêu cầu và phù hợp với điều kiện môi trường xung quanh. Biết điều khiển quá trình đo để có kết quả mong muốn sau cùng là nắm được các phương pháp gia công kết quả đo để tiến hành gia công (có thể bằng tay hay dùng máy tính) số liệu thu được sau khi đo.

Biết xét đoán kết quả đo xem đã đạt yêu cầu hay chưa, có cần thiết phải đo lại hay không, hoặc phải đo nhiều lần theo phương pháp đo lường thống kê.

1-2-6. Kết quả đo

Kết quả đo ở một mức nào đó có thể coi là chính xác. Một giá trị như vậy được gọi là giá trị ước lượng của đại lượng đo. Nghĩa là giá trị được xác định bởi thực nghiệm nhờ các thiết bị đo. Giá trị này gần với giá trị thực mà ở một điều kiện nào đó có thể coi là thực.

Để đánh giá sai lệch giữa giá trị ước lượng và giá trị thực người ta sử dụng khái niệm sai số của phép đo. Đó là hiệu giữa giá trị thực và giá trị ước lượng. Sai số của phép đo có một vai trò rất quan trọng trong kỹ thuật đo lường. Nó cho phép đánh giá phép đo có đạt yêu cầu hay không (xem chương 3).

Có nhiều nguyên nhân gây nên sai số.

Trước hết là do phương pháp đo không hoàn thiện. Sau đó là do sự biến động của các điều kiện bên ngoài vượt ra ngoài những điều kiện tiêu chuẩn được quy định cho dụng cụ đo mà ta chọn. Ngoài ra còn những yếu tố khác nữa như do dụng cụ đo không còn đảm

bảo chính xác nữa, do cách đọc của người quan sát hoặc do cách đặt dụng cụ đo không đúng quy định v.v.

Kết quả đo là những con số kèm theo đơn vị đo hay những đường cong tự ghi, ghi lại quá trình thay đổi của đại lượng đo theo thời gian.

Việc gia công kết quả đo, theo một thuật toán (angôrit) nhất định bằng máy tính hay bằng tay, để đạt được kết quả mong muốn.

§1-3. TÍN HIỆU ĐO LƯỜNG VÀ CÁC PHÉP PHÂN TÍCH TÍN HIỆU

1- 3-1. Định nghĩa tín hiệu đo lường

- *Định nghĩa:* tín hiệu đo lường là loại tín hiệu mang đặc tính thông tin, nó chứa đựng thông tin về giá trị của chúng.

Tín hiệu đo nhằm mục đích nối liền các khâu trong các hệ thống đo lường, điều khiển, kiểm tra tự động v.v. của cả quá trình sản xuất.

Các thông số của tín hiệu có thể thay đổi theo thời gian và nhiều đại lượng khác nữa. Nhưng trong kĩ thuật đo lường phần lớn tín hiệu thay đổi theo thời gian và vì thế ta chỉ xét những tín hiệu đo thay đổi theo thời gian và kí hiệu là $x(t)$.

- Tín hiệu đo thay đổi theo thời gian có thể chia thành hai loại: tín hiệu không ngẫu nhiên và tín hiệu ngẫu nhiên.

- *Tín hiệu không ngẫu nhiên* lại có thể chia thành hai loại: tín hiệu tiền định và gần tiền định.

- *Tín hiệu tiền định* (THTĐ) là loại tín hiệu mà quy luật thay đổi của nó đã biết và do đó ta biết trước giá trị của tất cả các thông số của nó.

Tín hiệu tiền định được sử dụng như là tín hiệu chuẩn sử dụng khi khác độ, kiểm tra hay dùng để làm tín hiệu mang khi phải truyền tín hiệu đo đi xa.

- *Tín hiệu gần tiền định* (THGTĐ) là loại tín hiệu đã biết trước quy luật thay đổi theo thời gian nhưng không biết một (hay vài) thông số mà ta cần phải đo nó.

Ví dụ: Khi đo tín hiệu xoay chiều hình sin tần số 50Hz tức là phải xác định độ lớn của biên độ chưa biết.

- *Tín hiệu ngẫu nhiên* (THNN) là tín hiệu mà giá trị của nó tại mỗi thời điểm là đại lượng ngẫu nhiên. Tín hiệu ngẫu nhiên là một hàm ngẫu nhiên theo thời gian hay còn gọi là quá trình ngẫu nhiên (QTNN).

Ví dụ: Khi đo nhiệt độ của không khí từ 0 giờ đến 24 giờ ta được một đường cong hoàn toàn ngẫu nhiên (h.1-2): mọi sự thay đổi của nhiệt độ phụ thuộc vào thời tiết trong ngày. Nếu ngày hôm sau ta lại đo lại sẽ được một đường cong khác và cứ thế mỗi ngày ta lại được một đường khác nhau chúng không trùng khít nhau.

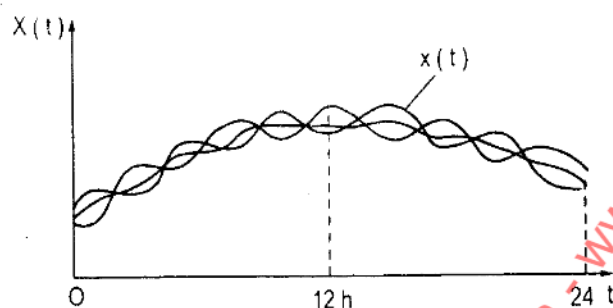
Mỗi đường cong như vậy ta kí hiệu là $x(t)$ và được gọi là *một thể hiện* của THNN, còn tập hợp tất cả các thể hiện tạo thành một chùm đường cong gọi là THNN và kí hiệu là $X(t)$.

- Tùy thuộc vào phương pháp biến đổi mà ta có thể chia thành 4 loại tín hiệu sau đây:

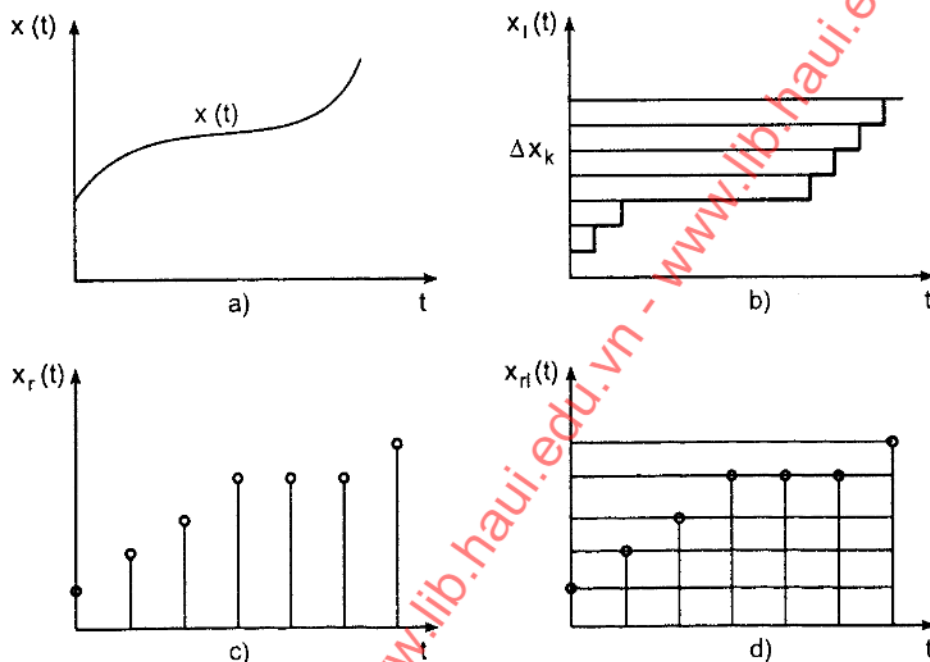
– Tín hiệu đo liên tục $x(t)$ là một hàm liên tục của một đối số liên tục (h.1-3a).

– Tín hiệu đo lượng tử $x_l(t)$ là một hàm lượng tử (lượng tử hóa theo mức) của một đối số liên tục (h.1-3b).

– Tín hiệu đo rời rạc $x_r(t)$ là một hàm liên tục của một đối số rời rạc (rời rạc hóa theo thời gian) (h.1-3c).



Hình 1-2



Hình 1-3. Bốn dạng tín hiệu.

– Tín hiệu đo rời rạc lượng tử $x_{rl}(t)$ là một hàm lượng tử của một đối số rời rạc (h.1-3d).

Khi đo tín hiệu liên tục $x(t)$ sai số xuất hiện khi xác định các giá trị tức thời và các thời điểm chúng tồn tại.

Khi đo tín hiệu rời rạc $x_r(t)$, biết thời điểm chúng xuất hiện nhưng việc xác định giá trị (độ lớn) của chúng lại thường mắc phải sai số.

Còn khi đo tín hiệu rời rạc lượng tử $x_{rl}(t)$ thì cần phải xác định giá trị lượng tử X trong thời điểm t_i đã chọn.

Nói chung một tín hiệu đo có thể viết dưới dạng hàm:

$$x = f(t, a, b, c, \dots) \quad (1-2)$$

x – thông số cơ bản của tín hiệu (thời gian);

$a, b, c, \dots$ các thông số khác của tín hiệu.

Tuy nhiên để đơn giản, thường các thông số $a, b, c, \dots$ ta có thể coi là không đổi (hoặc thay đổi trong một khoảng cho phép đảm bảo sai số đã cho) cho nên thực ra ta có thể bỏ qua và ta kí hiệu tín hiệu đo chỉ phụ thuộc thời gian và kí hiệu là $x(t)$.

Như vậy trong đa số trường hợp trong thực tế tín hiệu đo là tín hiệu ngẫu nhiên và tín hiệu không ngẫu nhiên (tiền định và gần tiền định) chỉ là trường hợp riêng của THNN mà thôi.

Khi đo một tín hiệu gần tiền định cần phải xác định ngay đặc tính tiền định của sự thay đổi tín hiệu phụ thuộc thời gian và nhất thiết phải sử dụng nó để nâng cao tính chất của phép đo. Khi đo tín hiệu ngẫu nhiên thường ta phải kiểm tra tính dừng, tính ergodic của tín hiệu, phải định rõ phương pháp phân tích (phân tích tương quan hay phân tích phổ) và xác định các đặc tính số của chúng dựa trên yêu cầu của phép đo.

1-3-2. Tín hiệu gần tiền định và các đặc trưng của nó

Tín hiệu gần tiền định có thể chia làm hai loại:

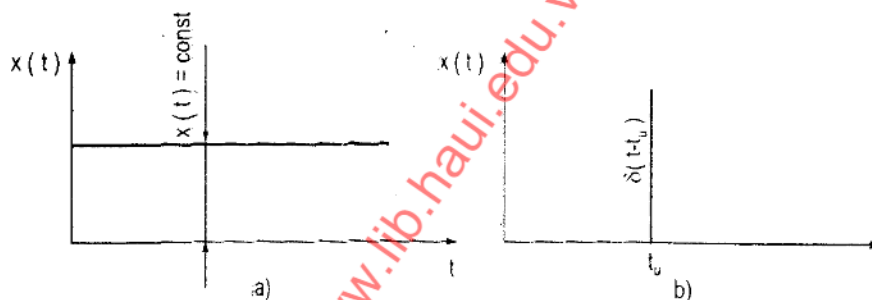
Tín hiệu gần tiền định cơ bản và tín hiệu gần tiền định phức tạp.

1. *Tín hiệu gần tiền định cơ bản* đó là những tín hiệu có thể biểu diễn đơn giản, chúng có số lượng các thông số cũng ít nhất và phản ứng của các khâu cũng đơn giản.

Đó là các tín hiệu: tín hiệu một chiều, xung đơn vị lí tưởng và tín hiệu hình sin.

a) *Tín hiệu một chiều* là tín hiệu không thay đổi theo thời gian, phương trình của nó là:

$x(t) = \text{const}$, và chỉ có một thông số mang thông tin đó là x .



Hình 1.4. a) Tín hiệu một chiều; b) Xung đơn vị lí tưởng.

b) *Xung đơn vị lí tưởng* (h. 1-4b)

Đó là hàm delta, nó được định nghĩa như sau:

$$\delta(t - t_u) = \begin{cases} 0 & \text{khi } t \neq t_u \\ \infty & \text{khi } t = t_u \end{cases}$$

Trong đó: $\delta(t - t_u)$ – là hàm delta;

t – thời gian chạy;

t_u – thời điểm tác động của xung.

Như vậy một xung đơn vị lí tưởng có ba thông số: độ dài xung $\tau = 0$, biên độ xung $X_m = \infty$, và thời điểm xuất hiện t_u là thông số duy nhất đặc trưng cho tín hiệu.

• *Tính chất của xung đơn vị lí tưởng*

Lấy tích phân của hàm delta ta có:

$$\int_0^t \delta(t - t_u) dt = 1(t - t_u) \quad (1-3)$$