

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

VIỆN ĐIỆN



KĨ THUẬT ĐO LƯỜNG

Nguyễn Thị Huế
BM: Kỹ thuật đo và Tin học công nghiệp

Mở đầu

- Cơ sở kỹ thuật đo lường trình bày những cơ sở lý luận cơ bản về kỹ thuật đo lường. Cung cấp những kiến thức cơ bản để phục vụ cho các môn học " Phương pháp và thiết bị đo các đại lượng điện và không điện ", " Hệ thống thông tin đo lường " và những môn học chuyên môn khác của kỹ thuật thông tin đo lường như môn " Thiết bị đo sinh y ", " Xử lý tín hiệu " v.v...
- Cùng với các môn học trên, giáo trình này xây dựng một hệ thống kiến thức cho việc thu thập số liệu đo, xử lý gia công và điều khiển hiện đại.

Nội dung môn học

- Phần 1: Cơ sở lý thuyết kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 1: Khái niệm cơ bản về kỹ thuật đo lường
 - ❖ Chương 2: Phương tiện đo và phân loại
 - ❖ Chương 3: Các thông số kỹ thuật của thiết bị đo
- Phần 2: Các phân tử chức năng của thiết bị đo
 - ❖ Chương 4: Cấu trúc cơ bản của dụng cụ đo
 - ❖ Chương 5: Cơ cấu chỉ thị cơ điện, tự ghi và chỉ thị số
 - ❖ Chương 6: Mạch đo lường và gia công thông tin đo
 - ❖ Chương 7: Các chuyển đổi đo lường sơ cấp
- Phần 3: Đo lường các đại lượng điện
 - ❖ Chương 8: Đo dòng điện
 - ❖ Chương 9: Đo điện áp
 - ❖ Chương 10: Đo công suất và năng lượng
 - ❖ Chương 11: Đo góc lệch pha, khoảng thời gian và tần số
 - ❖ Chương 12: Đo thông số mạch điện
 - ❖ Chương 13: Dao động kí
- Phần 4: Đo lường các đại lượng không điện
 - ❖ Chương 14: Đo nhiệt độ
 - ❖ Chương 15: Đo lực
 - ❖ Chương 16: Đo các đại lượng không điện khác

Tài liệu tham khảo

➤ Sách:

- ❖ Kỹ thuật đo lường các đại lượng điện tập 1,2- Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quế....
- ❖ Đo lường điện và các bộ cảm biến: Ng.V.Hoà và Hoàng Sĩ Hồng

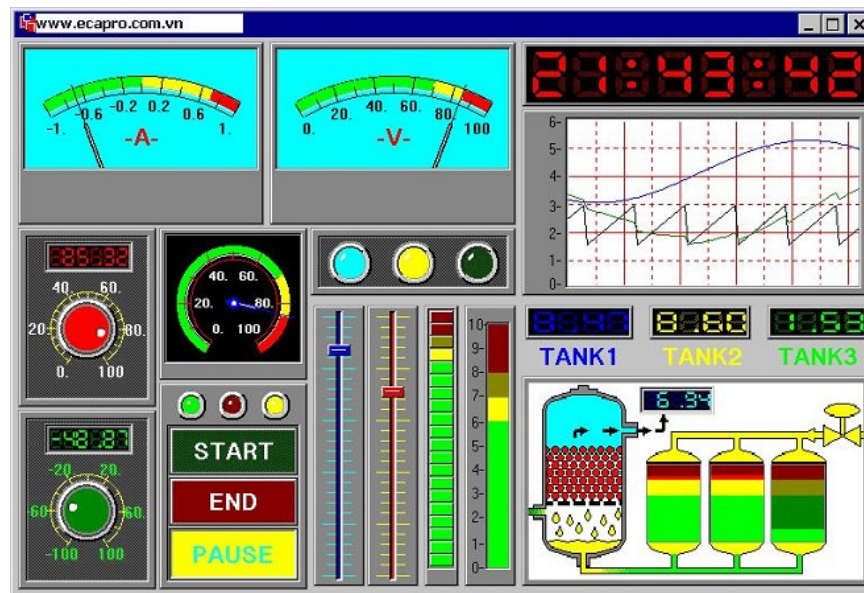
➤ Bài giảng và website:

- ❖ Bài giảng kỹ thuật đo lường và cảm biến-Hoàng Sĩ Hồng.
- ❖ Bài giảng Cảm biến và kỹ thuật đo: P.T.N.Yến, Ng.T.L.Huong, Lê Q. Huy
- ❖ Bài giảng MEMs ITIMS - BKHN

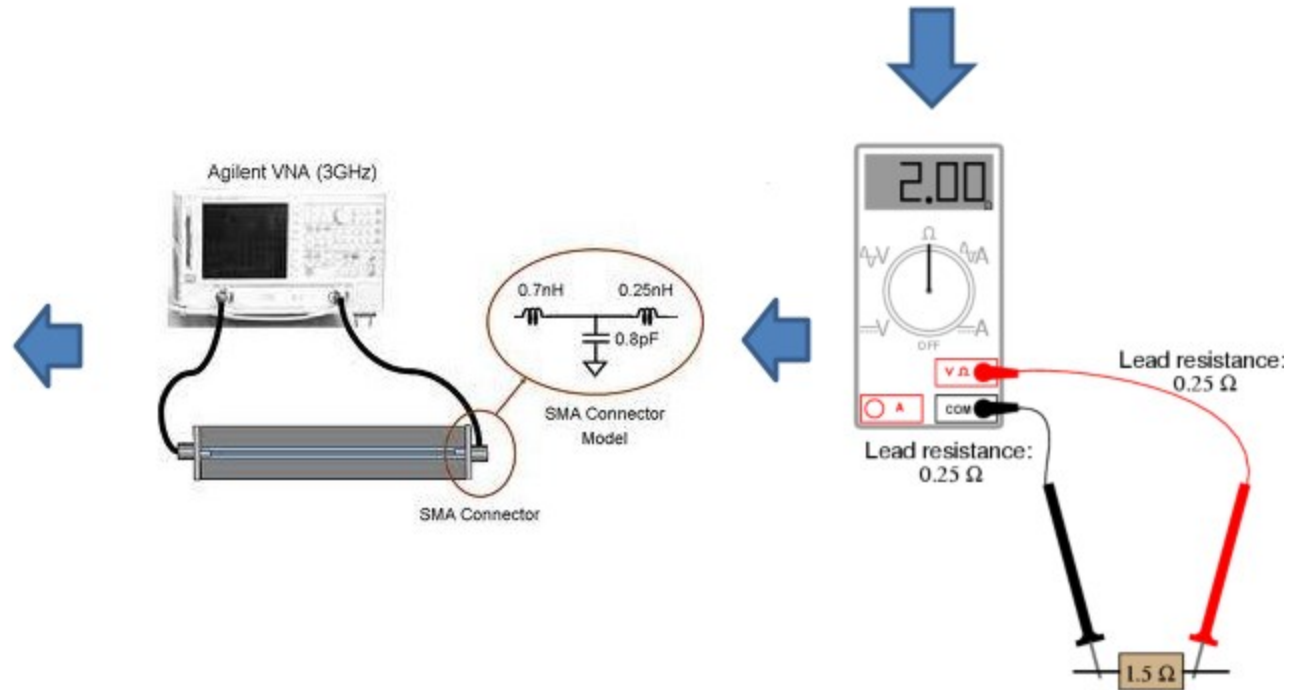
➤ Website: sciendirect.com/sensors and [actuators A and B](#)

Chương 1: Khái niệm cơ bản về kĩ thuật đo lường

1. Lịch sử phát triển và ứng dụng
2. Khái niệm và phân loại phép đo
3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường
4. Mô hình quá trình đo
5. Các nguyên công đo lường cơ bản
6. Tín hiệu đo lường

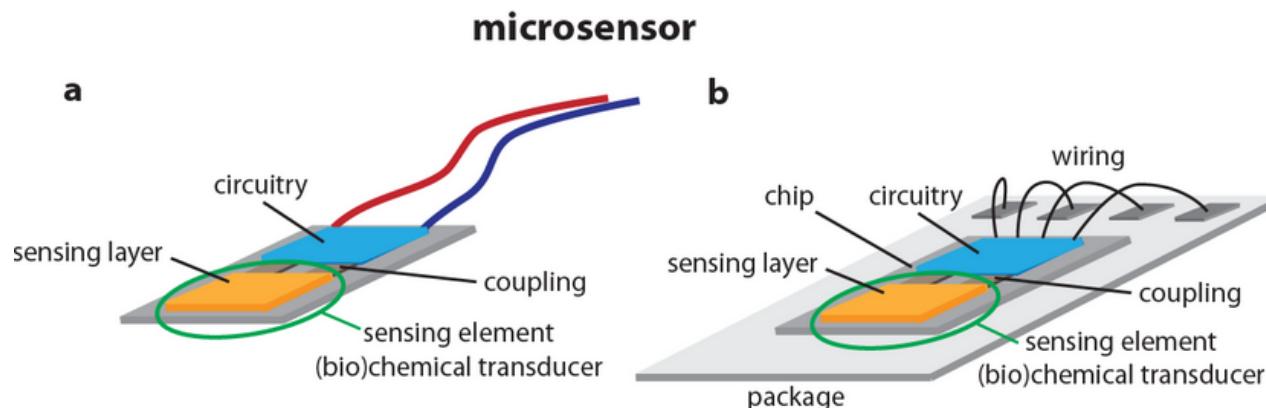


1.1. Lịch sử phát triển - Ứng dụng



1.1. Lịch sử phát triển - Ứng dụng

- Cùng với sự phát triển như vũ bão của công nghệ vi điện tử, vi chế tạo và công nghệ thông tin, kỹ thuật đo lường đã bước sang một giai đoạn mới là xây dựng thiết bị đo dựa trên cơ sở vi hệ thống
 - ❖ Vi hệ thống là một hệ tích hợp (IC) các cơ cấu tiểu hình (kích thước μm hay nm) sử dụng các công nghệ hiện đại (vi điện tử, vi gia công, công nghệ nano) để thực hiện các chức năng đo lường và điều khiển (biến đổi, xử lý tín hiệu, xử lý số liệu, điều khiển, truyền tin.)



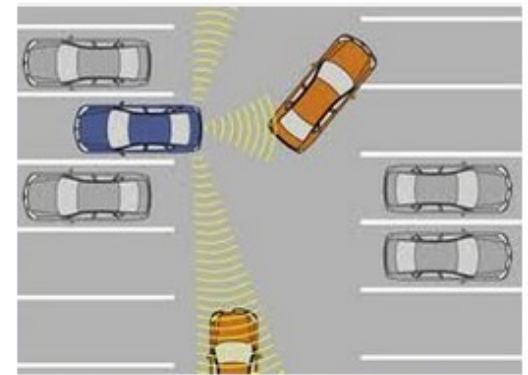
1.1. Lịch sử phát triển - Ứng dụng



Y tế



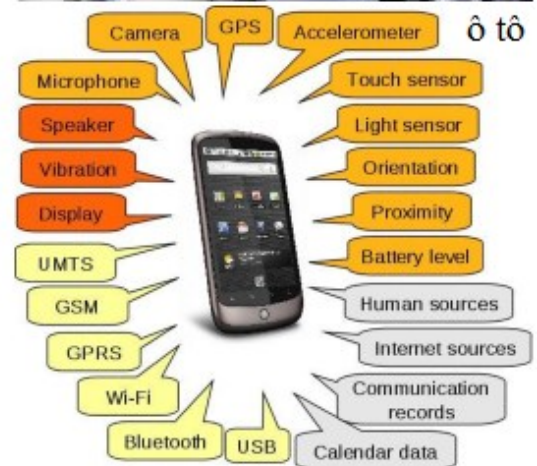
Công nghiệp



BMS

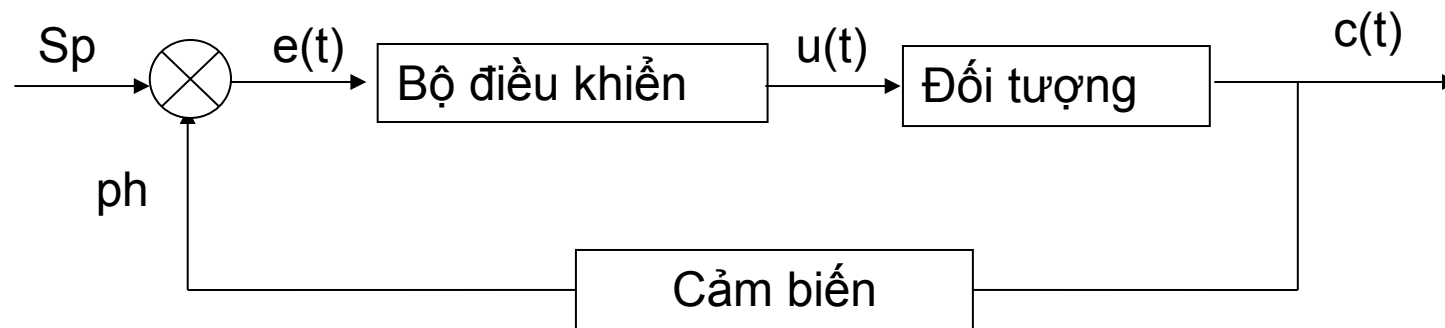


Dân dụng



1.1. Lịch sử phát triển - Ứng dụng

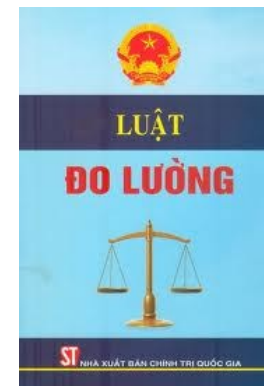
■ Trong công nghiệp



- Để thực hiện được quá trình điều khiển như định nghĩa ở trên, một hệ thống điều khiển bắt buộc có ba thành phần cơ bản là thiết bị đo lường (cảm biến), bộ điều khiển và đối tượng điều khiển. Thiết bị đo lường có chức năng thu thập thông tin, bộ điều khiển có chức năng xử lý thông tin, ra quyết định điều khiển và đối tượng điều khiển chịu sự tác động của tín hiệu điều khiển.

1.2. Định nghĩa đo lường

- Theo pháp lệnh “ ĐO LƯỜNG” của nhà nước CHXHCN Việt nam
 - ❖ Chương 1- điều 1: Đo lường là việc xác định giá trị của đại lượng cần đo
 - ❖ Chính xác hơn: Đo lường là một quá trình đánh giá **định lượng** của một đại lượng cần đo để có kết quả bằng **số** so với **đơn vị đo**
 - Ví dụ: Đo điện áp: $U = 135V \pm 0,5V$.
 - Tức là điện áp đo được là 135 đơn vị điện áp tính bằng volt, với sai số là 0,5V



Phương trình cơ bản của phép đo

■ Phương trình cơ bản của phép đo:

$$A_x = \frac{X}{X_0} \Rightarrow X = A_x \times X_0$$

X : Đại lượng cần đo.

X_0 : Đơn vị đo.

A_x : Giá trị bằng số của đại lượng cần đo.

Quá trình so sánh đại lượng cần đo với mẫu để cho ra kết quả bằng số



Có thể đo một đại lượng vật lý bất kỳ được không???



Không, vì không phải đại lượng nào cũng có thể so sánh giá trị của nó với mẫu được.

Định nghĩa đo lường

- **Đo lường học:** là 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.
- **Kỹ thuật đo lường:** ngành kỹ thuật chuyên nghiên cứu áp dụng các thành tựu của đo lường học vào phục vụ sản xuất và đời sống




Định nghĩa và phân loại phép đo

- **Phép đo** là quá trình thực hiện việc đo lường.
- **Phân loại**
 - ❖ **Đo trực tiếp:** Là cách đo mà kết quả nhận được trực tiếp từ một phép đo duy nhất
 - ❖ **Đo gián tiếp:** Là cách đo mà kết quả được suy ra từ sự phối hợp kết quả của nhiều phép đo dùng cách đo trực tiếp.
 - ❖ **Đo hợp bộ:** Là cách đo gần giống như phép đo gián tiếp nhưng số lượng phép đo theo phép đo trực tiếp nhiều hơn và kết quả đo nhận được thường phải thông qua giải một phương trình hay một hệ phương trình mà các thông số đã biết chính là các số liệu đo được.
 - ❖ **Đo thống kê:** để đảm bảo độ chính xác của phép đo nhiều khi người ta phải sử dụng phép đo thống kê. Tức là phải đo nhiều lần sau đó lấy giá trị trung bình.


Ví dụ về phép đo hợp bộ

■ Xác định đặc tính của dây dẫn điện


$$r_t = r_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t-20)^2] \quad \alpha, \beta \text{ chưa biết.}$$

Đo điện trở ở nhiệt độ 20°C , t_1 và t_2
 \Rightarrow Hệ 2 phương trình 2 ẩn α và β .

Các phép
đo trực
tiếp???


$$\begin{cases} r_{t_1} = r_{20} [1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2] \\ r_{t_2} = r_{20} [1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2] \end{cases}$$

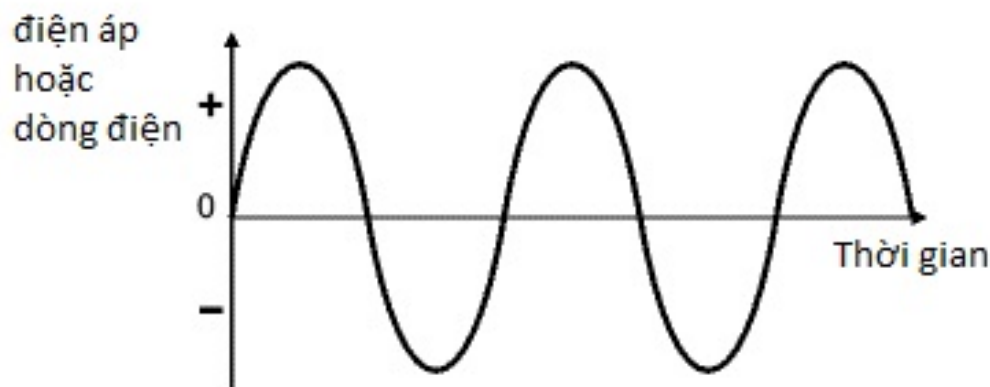
 α, β

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

- Đại lượng đo
- Điều kiện đo
- Đơn vị đo
- Chuẩn và mẫu
- Thiết bị đo và phương pháp đo
- Người quan sát
- Kết quả đo

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

- **Đại lượng đo** là một thông số đặc trưng cho đại lượng vật lý cần đo.
 - ❖ Mỗi quá trình vật lý có thể có nhiều thông số nhưng trong mỗi trường hợp cụ thể chỉ quan tâm đến một thông số là một đại lượng vật lý nhất định
 - ❖ Ví dụ: nếu đại lượng vật lý cần đo là dòng điện thì đại lượng đo có thể là giá trị biên độ, tần số,...



1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Phân loại đại lượng đo

■ Theo bản chất của đối tượng đo:

- ❖ Đại lượng đo điện: Đại lượng mang tính chất điện, ví dụ: điện tích, điện áp, dòng điện,...
 - Tích cực: các đại lượng mang năng lượng điện, khi đo các đại lượng này, năng lượng của đại lượng cần đo sẽ cung cấp cho mạch điện, ví dụ: điện áp, dòng điện,...
 - Thụ động: Đại lượng này bản thân chúng không mang năng lượng cho nên cần phải cung cấp dòng hoặc áp khi đưa các đại lượng này vào mạch đo, ví dụ: R, L, C.
- ❖ Đại lượng đo không điện: Đại lượng đo không có tích chất điện, ví dụ: khối lượng, nhiệt độ,...

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Phân loại đại lượng đo

■ Theo tính chất thay đổi của đại lượng đo

- ❖ Đại lượng đo tiền định: Đại lượng đo đã biết trước quy luật thay đổi theo thời gian.

- Ví dụ: $U = 220 \sin(314t)$

- ❖ Đại lượng đo ngẫu nhiên: Đại lượng đo có sự thay đổi theo thời gian, không có quy luật

■ Theo cách biến đổi đại lượng đo:

- ❖ Đại lượng đo tương tự: đại lượng đo biến đổi thành đại lượng đo liên tục -> có dụng cụ đo tương tự
- ❖ Đại lượng đo số: đại lượng đo biến đổi thành đại lượng đo số -> có dụng cụ đo số

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Điều kiện đo

- Khi tiến hành phép đo, ta phải tính đến ảnh hưởng của môi trường đến kết quả đo và ngược lại
 - ❖ Đại lượng đo chịu ảnh hưởng của môi trường sinh ra nó, ngoài ra kết quả đo phụ thuộc chặt chẽ vào môi trường thực hiện phép đo như: nhiệt độ, độ ẩm, từ trường,...
 - ❖ Để kết quả đo đạt yêu cầu thì phải thực hiện phép đo trong một điều kiện xác định, do tiêu chuẩn quốc gia hoặc theo quy định của nhà sản xuất
- > Khi thực hiện phép đo luôn phải xác định điều kiện đo để có phương pháp đo phù hợp

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Đơn vị đo

Khái niệm

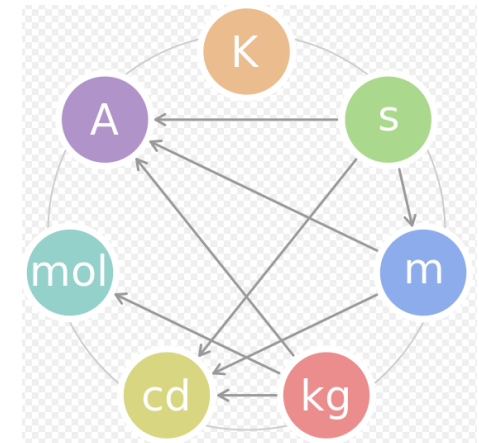
- Đơn vị đo là giá trị đơn vị tiêu chuẩn về một đại lượng đo nào đó được quốc tế quy định mà mỗi quốc gia đều phải tuân thủ
- Trên thế giới người ta chế tạo những đơn vị tiêu chuẩn gọi là chuẩn, ngày nay các chuẩn được quy định theo hệ thống đơn vị SI
- Đơn vị cơ bản được thể hiện bằng các đơn vị chuẩn với độ chính xác cao nhất.
- Đơn vị dẫn xuất là đơn vị có liên quan đến các đơn vị cơ bản bằng các biểu thức

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Đơn vị đo

- Theo Pháp lệnh Đo lường ngày 06 tháng 10 năm 1999, đơn vị đo lường hợp pháp là đơn vị đo lường được Nhà nước công nhận và cho phép sử dụng.
- Hệ đơn vị quốc tế SI gồm 7 đại lượng chính

Tên đơn vị	Đơn vị	Ký hiệu
Chiều dài	mét	m
Khối lượng	Kilogam	Kg
Thời gian	giây	s
Dòng điện	Ampe	A
Nhiệt độ	độ Kelvin	⁰ K
Ánh sáng	Candela	Cd
Định lượng phân tử	Mol	Mol



102 đơn vị dẫn xuất
72 đại lượng vật lý

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

■ Bội số và ước số của đơn vị

Hệ số	Tên	Ký hiệu	Hệ số	Tên	Ký hiệu
10^{24}	Yotta	Y	10^{-1}	Deci	d
10^{21}	Zetta	Z	10^{-2}	Centi	c
10^{18}	Exa	E	10^{-3}	Mili	m
10^{15}	Peta	P	10^{-6}	Micro	μ
10^{12}	Tera	T	10^{-9}	Nano	n
10^9	Giga	G	10^{-12}	Pico	p
10^6	Mega	M	10^{-15}	Femto	f
10^3	Kilo	K	10^{-18}	Atte	a
10^2	Hecto	H	10^{-21}	Zepto	z
10^1	Deca	Da	10^{-24}	Yocto	y

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

- **Chiều dài:** đơn vị chiều dài là mét (m). Mét là khoảng chiều dài đi được của ánh sáng truyền trong chân không trong khoảng thời gian là: $1/299.792.458$ giây
- **Khối lượng:** Đơn vị khối lượng là kilogam (kg). Đó là khối lượng của một khối Bạch kim Iridi (Pt Ir) lưu giữ ở BIPM ở Pháp – Bureau International des Poids et Mesure).
- **Thời gian:** Đó là thời gian của 9.192.631.770 chu kỳ của máy phát sóng nguyên tử Sedi 133(Cs-133).
- **Dòng điện:** Ampe là cường độ dòng điện tạo ra một lực đẩy là 2×10^{-7} N trên đơn vị chiều dài giữa hai dây dẫn dài vô cực đặt cách nhau 1m.

Định nghĩa 7 đơn vị cơ bản (2)

- **Nhiệt độ** (nhiệt động): Đó là $1/273,16$ nhiệt độ nhiệt động của điểm ba của nước nguyên chất.
- **Lượng vật chất (mol)**: Đó là lượng vật chất của số nguyên tử của vật chất ấy, bằng số nguyên tử có trong $0,012$ kg cacbon 12 (C_{12}).
- **Cường độ sáng hay quang độ**: candela (Cd) là cường độ của một nguồn sáng phát ra ánh sáng đơn sắc ở tần số $540 \cdot 10^{12}$ Hz, với công suất $1/683$ Watt trong một Steradian (Sr).
- **Hai đơn vị phụ là Radian (Rad) và Steradian.**
 - ❖ Radian là góc phẳng có cung bằng bán kính.
 - ❖ Steradian là góc khối nằm trong hõnh cầu giới hạn bởi vòng tròn cầu có đường kính bằng đường kính của qua cầu.

Bảng một số đơn vị dẫn xuất

Đại lượng	KH	Đơn vị		Thứ nguyên
		Đơn vị	KH	
Góc phẳng	α, β, θ	Radian	Ra	
Góc khối	ω	Steradian	Sr	
Diện tích	S	Mét vuông	m ²	L ²
Thể tích	V	Mét khối	m ³	L ³
Tốc độ	v	Mét/giây	m/s	LT ⁻¹
Gia tốc	γ	Mét/giây ²	m/s ²	LT ⁻²
Tốc độ góc	ω	Radian/giây	Ra/s	T ⁻¹
Gia tốc góc	$\gamma\omega$	Radian/giây ²	Ra/s ²	T ⁻²
Bước sóng	λ	Mét	m	L
Trọng lượng, Lực	P, F		N	MLT ⁻²
Trọng lượng riêng	γ	Newton/m ³	N/m ³	ML ⁻² T ⁻²

Bảng một số đơn vị dẫn xuất

Đại lượng	KH	Đơn vị		Thứ nguyên
Cường độ trọng trường	g	Newton/kg	N/kg	LT^{-2}
Điện lượng	q	Coulomb	Cb	TI
Momen điện trường	p		Cm	LTI
Hằng số điện môi	ϵ	Faraday/mét	F/m	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$
Cường độ điện trường	E	Vol/mét	V/m	$LMT^{-3}I^{-2}$
Điện thế	V	Volt	V	$L^2MT^{-3}I^{-1}$
Điện dung	C	Farad	F	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$
Điện trở	R	Ohm	Ω	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$

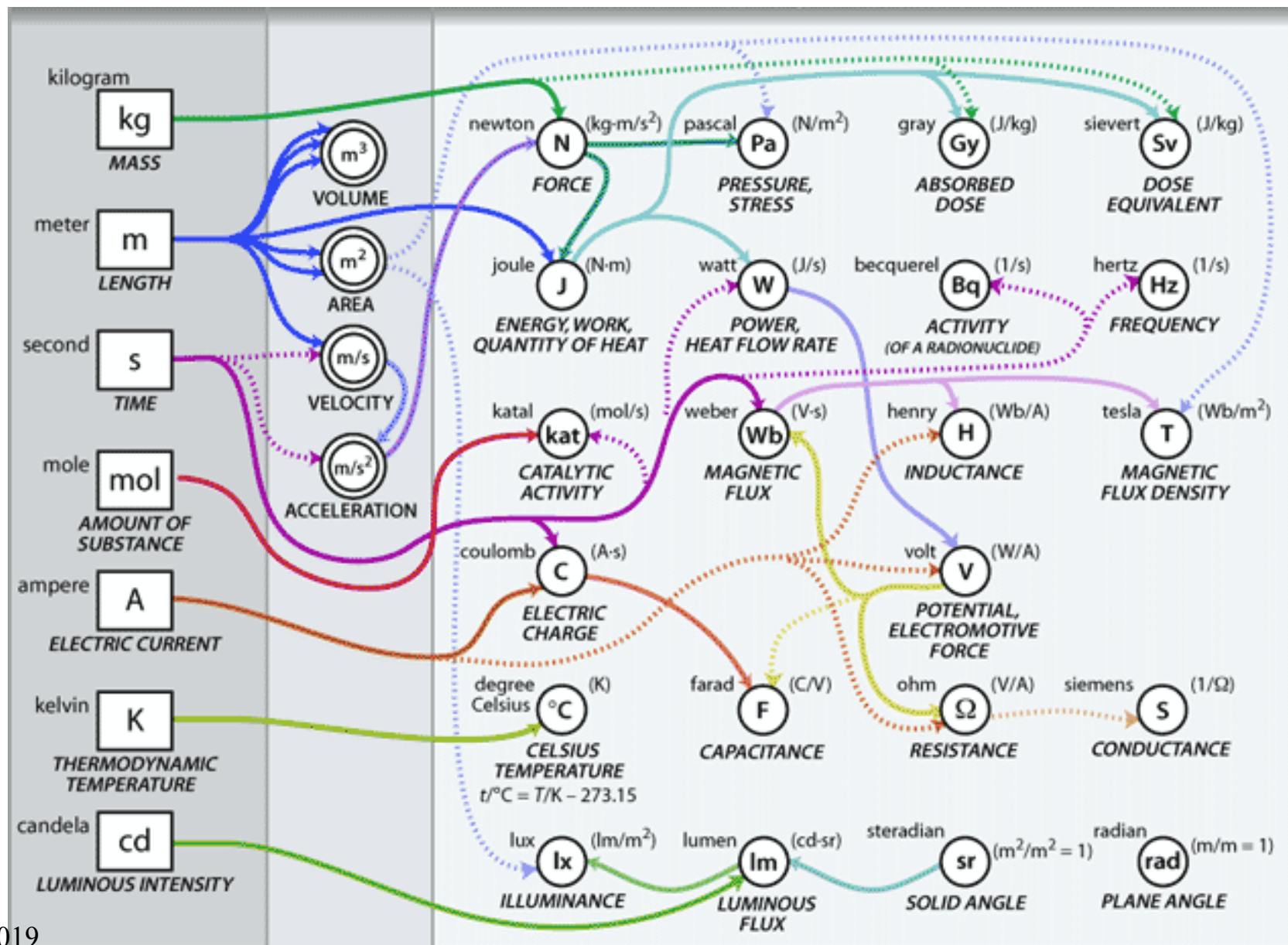
Bảng một số đơn vị dẫn xuất

Đại lượng	KH	Đơn vị		Thứ nguyên
Điện trở suất	ρ	Ohmmét	Ωm	$\text{L}^3\text{MT}^{-3}\text{I}^2$
Điện dẫn	G,g	Siemen	Si	$\text{L}^{-2}\text{M}^{-1}\text{T}^3\text{I}^2$
Điện dẫn xuất	γ	Siemen	Si/m	$\text{L}^{-3}\text{M}^{-1}\text{T}^3\text{I}^2$
Mật độ dòng điện	J	Ampe/ met ²	A/m ²	L^{-2}I
Cường độ điện trường	H	Ampe/m	A/m	L^{-1}I
Từ thông	ϕ	Weber	Wb	$\text{L}^2\text{MT}^{-2}\text{I}^{-1}$
Từ cảm ứng B	B	Tesla	Tes	MT^2I^{-1}
Từ dẫn suất	μ	Henry/mét	h/m	$\text{LMT}^{-2}\text{I}^{-1}$
Điện cảm, hồ cảm	L,M	Henry	h	$\text{L}^2\text{MT}^{-2}\text{I}^{-2}$

Một số đơn vị ngoài hệ SI hợp pháp mà vẫn sử dụng

Đơn vị	Quy đổi ra SI	Đơn vị	Quy đổi ra SI
Inch	$2,54 \cdot 10^{-2} \text{m}$	Fynt/foot ²	$4,882 \text{kg/m}^2$
Foot (phút)	$3,048 \cdot 10^{-1} \text{m}$	Fynt/foot ³	$1,6018510 \text{ kg/m}^3$
Yard (Yat)	$9,144 \cdot 10^{-1} \text{m}$	Bari	$1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
Mille (dặm)	$1,609 \text{km}$	Torr	$1,332 \cdot 10^2 \text{ N/m}^2$
Mille (hải lý)	$1,852 \text{km}$	Kilogam lực	$9,8066 \text{N}$
"Inch vuông	$6,4516 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$	Calo	$4,1868 \text{J}$
Foot vuông	$9,290 \cdot 10^{-2} \text{m}^2$	Mã lực	$7,457 \cdot 10^2 \text{ W}$
Inch khối	$1,6384 \cdot 10^{-5} \text{m}^3$	Kilowatt giờ	$3,60 \cdot 10^6 \text{J}$
Foot khối	$2,832 \cdot 10^{-2} \text{m}^3$	Thermie	$1,0551 \cdot 10^3 \text{J}$
Galon (Mỹ)	$3,785 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$	Electron volt (ev)	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{J}$
Galon (Anh)	$4,5 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$	Gauss	$1 \cdot 10^{-4} \text{ T}$
Fynt	$4,536 \cdot 10^{-1} \text{kg}$	Maxwell	$1 \cdot 10^{-8} \text{Wb}$
Tonne	$1,0161 \cdot 10^3 \text{kg}$		

Sơ đồ quan hệ giữa các đơn vị



1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Chuẩn và mẫu

- Để thống nhất được đơn vị thì người ta phải tạo được mẫu của đơn vị ấy, phải truyền được các mẫu ấy cho các thiết bị đo
- Để thống nhất quản lý đo lường, đảm bảo đo lường cho công nghiệp, thương mại và đời sống, mỗi quốc gia đều tổ chức hệ thống mẫu chuẩn và truyền chuẩn của quốc gia đó.



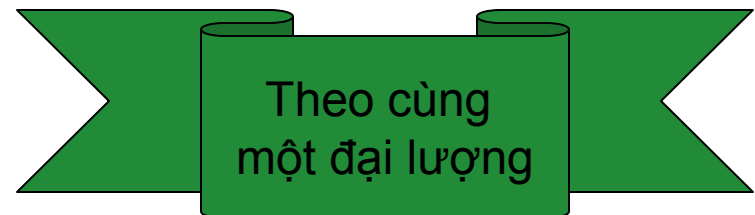
Phân loại

■ Phân loại trên phạm vi quốc tế

- ❖ Chuẩn quốc tế (International standard): Là chuẩn được một hiệp định quốc tế công nhận để làm cơ sở ấn định giá trị cho các chuẩn khác của đại lượng có liên quan trên phạm vi quốc tế.
- ❖ Chuẩn quốc gia (National Standard): Là chuẩn được một quyết định có tính chất quốc gia công nhận để làm cơ sở ấn định giá trị cho các chuẩn khác có liên quan trong một nước.
- ❖ Chuẩn chính (Reference standard): Là chuẩn thường có chất lượng cao nhất về mặt đo lường có thể có ở một địa phương hoặc một tổ chức xác định mà các phép đo ở đó đều được dẫn xuất từ chuẩn này.
- ❖ Chuẩn công tác (Working standard): Là chuẩn được dùng thường xuyên để hiệu chuẩn hoặc kiểm tra vật đo, phương tiện đo hoặc mẫu chuẩn.
- ❖ Chuẩn so sánh (Transfer standard): Là chuẩn được sử dụng như là một phương tiện để so sánh các chuẩn.

Định nghĩa

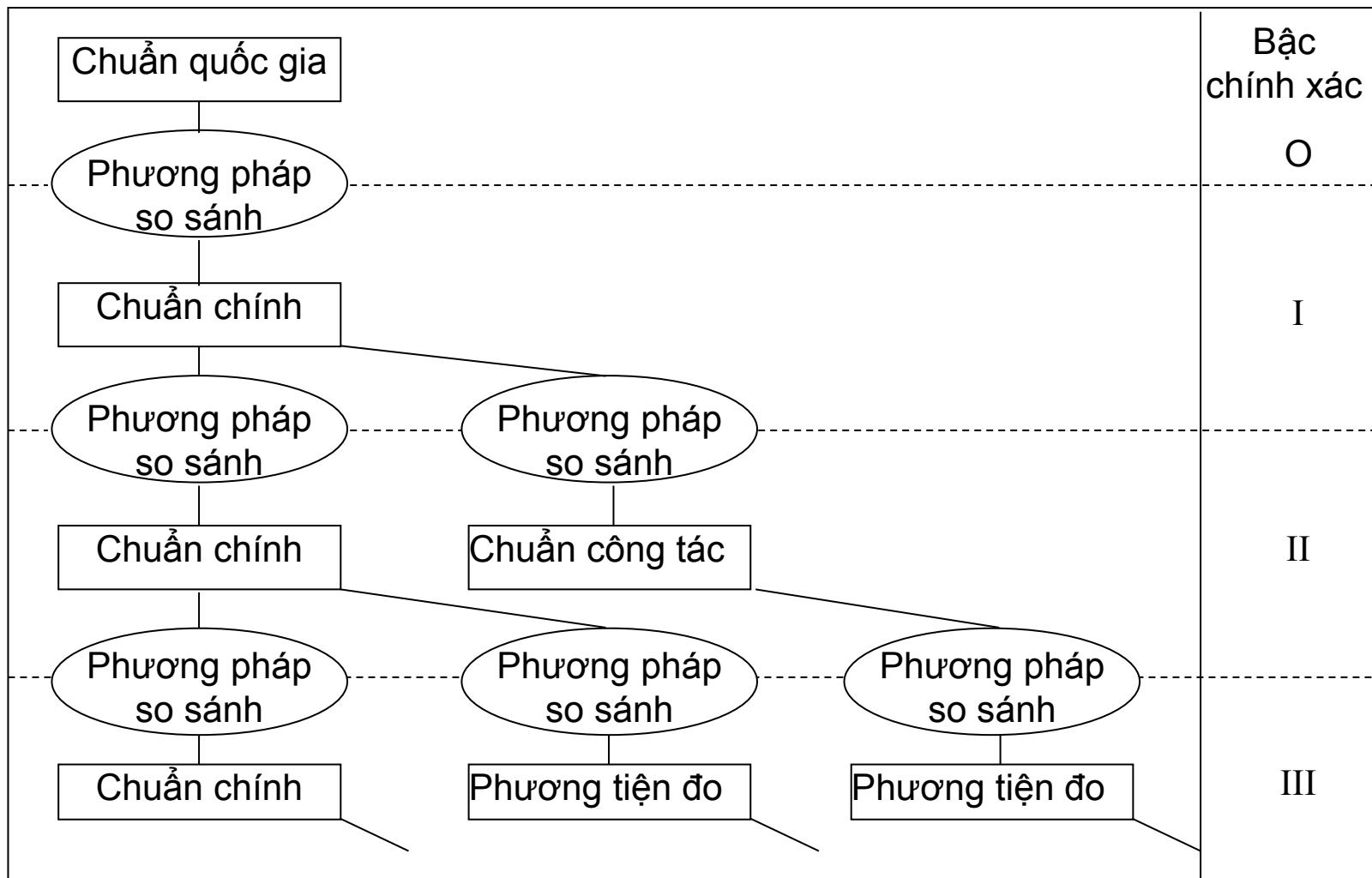
- Theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) 6165 -1996 chuẩn đo lường (measurement standard) hay vắn tắt là chuẩn, được định nghĩa như sau: “**Chuẩn** là Vật đo, phương tiện đo, mẫu chuẩn hoặc hệ thống đo để định nghĩa, thể hiện, duy trì hoặc tái tạo đơn vị hoặc một hay nhiều giá trị của đại lượng để dùng làm mốc so sánh”
- Phân loại theo độ chính xác có thể phân loại như sau:
 - ❖ Chuẩn đầu (Primary standard)
 - ❖ Chuẩn thứ (Secondary standard):
 - ❖ Chuẩn bậc I:
 - ❖ Chuẩn bậc II:



Phân loại (2)

- Chuẩn đầu (Primary standard): Là chuẩn được chỉ định hay thừa nhận rộng rãi là có chất lượng về mặt đo lường cao nhất và các giá trị của nó được chấp nhận không dựa vào các chuẩn khác của cùng đại lượng.
- Chuẩn thứ (Secondary standard): Là chuẩn mà giá trị của nó được ấn định bằng cách so sánh với chuẩn đầu của cùng đại lượng.
- Chuẩn bậc I: là chuẩn mà giá trị của nó được ấn định bằng cách so sánh với chuẩn thứ của cùng đại lượng.
- Chuẩn bậc II: là chuẩn mà giá trị của nó được ấn định bằng cách so sánh với chuẩn bậc I của cùng đại lượng .V.V..

Sơ đồ liên kết chuẩn



Sơ đồ liên kết chuẩn

Một số hằng số vật lý dùng làm chuẩn

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị (với độ không chắc chắn 1 σ)	Ứng dụng
Tốc độ ánh sáng trong chân không	C	299.792.458 m/s (chính xác)	Thời gian, tần số, chiều dài
Điện tích electron	e	1,60217733. 10 ⁻¹⁹ (0.3ppm)	Điện áp, dòng điện
Hằng số "Josephson"	K _{j-90}	483.587,96 Hz/v (0.4ppm)	Điện áp
Hằng số Von Klitzing	R _{J-90}	25,812807 K Ω (0.2ppm)	Điện trở
Hệ số dẫn từ trong chân không	μ_0	4 π .10 ⁻⁷ N/A ² (chính xác)	Điện dung

Một số chuẩn mẫu về các đại lượng không điện

Chuẩn mẫu mét

- Thời kỳ đầu mét được định nghĩa là độ dài của một phần mười triệu của chiều dài kinh tuyến qua Paris
- Cho đến trước năm 1960 mét chuẩn được xác định như sau: Mét là chiều dài giữa 2 vạch một thước mẫu làm bằng hợp kim PtIr đặt ở trung tâm chuẩn thế giới trong lâu đài Sèvres, Paris (BIPM).
- Năm 1960, ở Hội nghị toàn thế giới về chuẩn, đã lấy chuẩn mét là 1.650.763,73 bước sóng trong chân không của ánh sáng phát ra từ nguyên tử krypton 86, khi chuyển mức năng lượng từ $2p_{10}$ sang $5d_5$ (màu da cam). Sai số không quá $1 \cdot 10^{-8}$

Một số chuẩn mẫu về các đại lượng không điện

Chuẩn mẫu mét

- Từ năm 1983 người ta bắt đầu chuẩn mét thông qua đơn vị thời gian đã được xác định chính xác nhờ các máy phát tần số chuẩn nguyên tử.
 - ❖ Mét là khoảng đường chuyển động của ánh sáng trong chân không, trong khoảng thời gian là $1/290792458$ giây. (Tốc độ ánh sáng là $299.972.458$ m/s)
- Độ chính xác tần số chuẩn là 10^{-13} , vì thế mẫu chuẩn mét có thể đạt 10^{-9} .

Một số chuẩn mẫu về các đại lượng không điện

Chuẩn về khối lượng.

- Lúc đầu tiên, đơn vị khối lượng được xác định là khối lượng của 1dm^3 nước nguyên chất ở 4°C
- Từ 1882 Hội đồng quốc tế về đo lường và chuẩn CIPM chấp nhận kg là khối lượng của quả cân chuẩn làm bằng Pt - Ir (Phatin-Iridi) đặt tại lâu đài Sêvre, Paris, với sai số 7.10^{-9}kg



Một số chuẩn mẫu về các đại lượng không điện

Chuẩn thời gian và tần số

- Thời gian và tần số, là 2 thể hiện khác nhau của 1 hiện tượng phát sóng.
- Tháng 7 năm 1967, tại hội đồng chuẩn quốc tế lần thứ 13, đơn vị thời gian giây (s) được xác định là khoảng thời gian của 9.192.631.770 chu kỳ của nguồn phát sóng nguyên tử xêdi 133 (Cs 133) khi chuyển mức năng lượng ($F = 4, m_f = 0$) sang ($F = 3; m_f = 0$).
- Nguyên lý của các máy phát thời gian hay tần số chuẩn đều dựa trên công thức:

$$h\nu = E_2 - E_1.$$

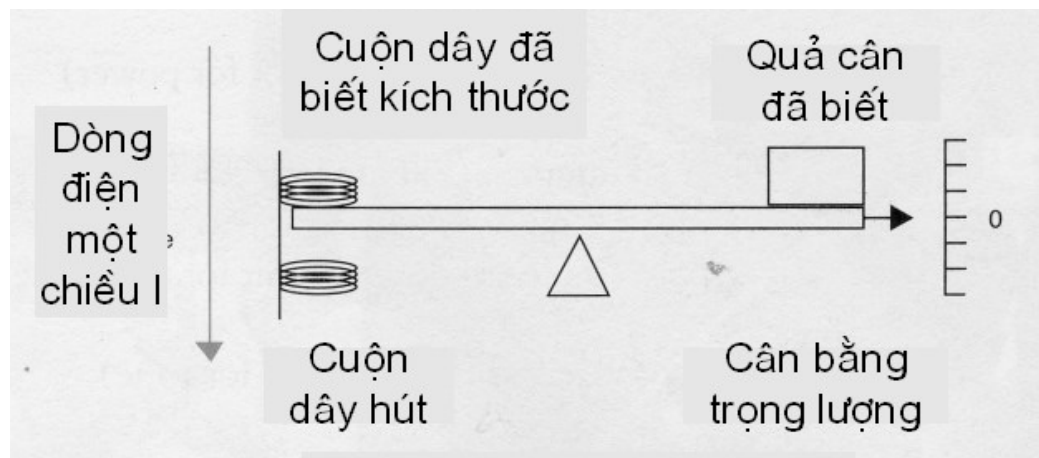
- h : là hằng số Plank, ν là tần số, E_1, E_2 là 2 mức năng lượng trong khi chuyển mức.

Một số chuẩn mẫu về các đại lượng điện

- Chuẩn dòng điện
- Chuẩn điện áp
- Chuẩn điện trở
- Chuẩn điện dung

a. Chuẩn dòng điện

- Ban đầu chuẩn bằng cân AgNO_3 điện phân
- Năm 1960 chuẩn được thực hiện thông qua cân dòng điện tức là đo lực đẩy điện từ giữa hai dây dẫn dài vô cực thông qua cân có độ chính xác cao (đạt đến $4 \cdot 10^{-6} \text{ A}$).



- Gần đây thì người ta có đề xuất việc xác định dòng điện thông qua từ trường và đo bằng phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân.
- Xác định dòng điện chuẩn rất phức tạp vì vậy trong thực tế người ta sử dụng chuẩn về điện áp.

b. Phát điện áp một chiều chuẩn

Pin mẫu Weston

- Sức điện động Pin mẫu ở 20°C cho bởi Công thức:

$$E_{20} = 1,018636 - 0,6 \cdot 10^{-4} \cdot N - 5,0 \cdot 10^{-5} N$$

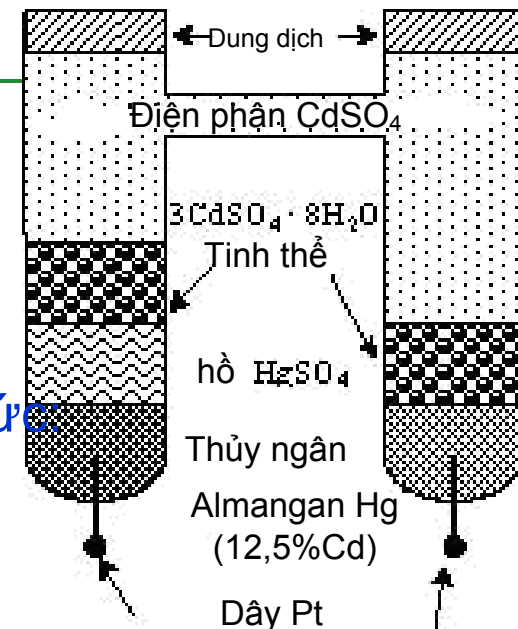
Với $N=0.04-0.08$

- Sức điện động của Pin mẫu lại thay đổi theo nhiệt độ theo Công thức:

$$E_t = E_{20} - 4,6 \cdot 10^{-5}(t-20) - 9,5 \cdot 10^{-4}(t-20)^2 + 1,0 \cdot 10^{-5}(t-20)^3 + \dots$$

Trôi sức tự động hằng năm là $1 \mu\text{V}/\text{năm}$ (microVolt)

- Mẫu điện áp Quốc gia được lấy là giá trị trung bình của 20 (hoặc 10) pin mẫu bão hoà này.



Chuẩn Jozepson

- Năm 1962, sau khi phát hiện ra hiệu ứng Josepson, hiệu ứng này được sử dụng vào việc tạo ra điện áp chuẩn theo công thức:

$$U = n \cdot \frac{h}{2e} f = \frac{n}{K_{j-90}} f$$

Trong đó:

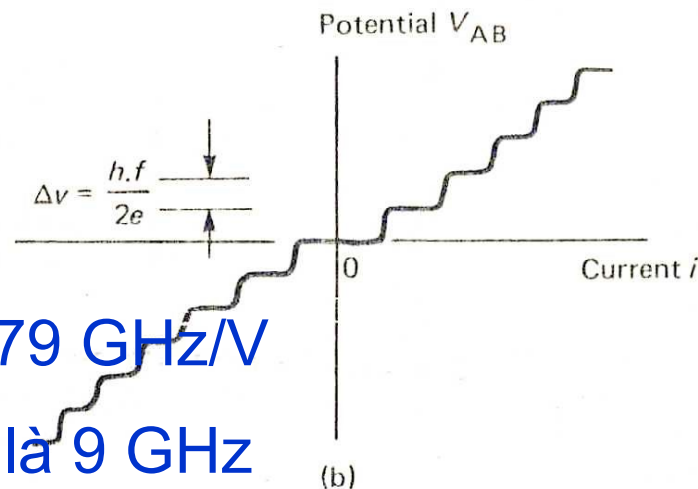
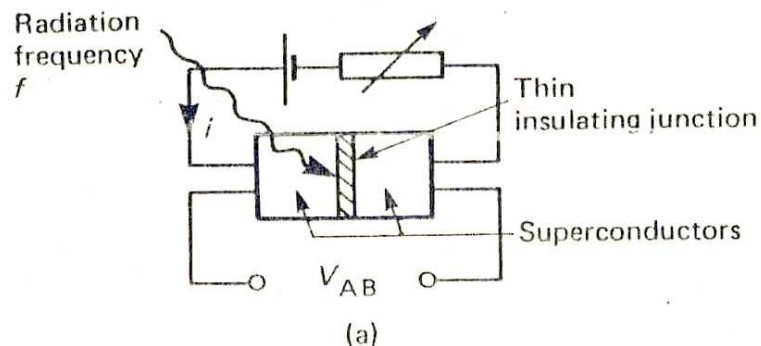
-n là số cặp chuyển tiếp siêu dẫn

-h là hằng số Plank,

-e điện tích electron.

-Hằng số Josepson $K_{j-90} = 485,5979 \text{ GHz/V}$

- f: Tần số sóng điện từ cực ngắn là 9 GHz



Phần tử Jozepson

- Tuy nhiên do khả năng xác định chính xác các hằng số cơ bản (h , e) sai số của chuẩn Josepson chỉ đạt 1.10^{-6} V.
- Chuẩn điện áp từ phần tử Josepson được chuyển cho bộ pin mẫu mà hệ số không ổn định hàng năm không vượt quá 3.10^{-7} V.



c. Chuẩn điện trở

- Từ lâu, điện trở mẫu là một bộ gồm 10 cuộn dây manganin có điện trở định mức 1Ω để trong hộp kín 2 lớp vỏ dày không khí nén, có giá trị $1,0000002\Omega$ với phương sai $\sigma = 1.10^{-7}$.
- Truyền điện trở mẫu cho các điện trở khác bằng cầu 1 chiều.
- Từ tháng 1 năm 1990, điện trở mẫu được xác định thông qua hiệu ứng “Hall lượng tử” từ (QHE), nhờ hằng số vật lý von Klitzing.
 - ❖ Hằng số von Klitzing được xác định $R_{k-90} = 25,81280\Omega$ với sai số $0,2.10^{-6}$

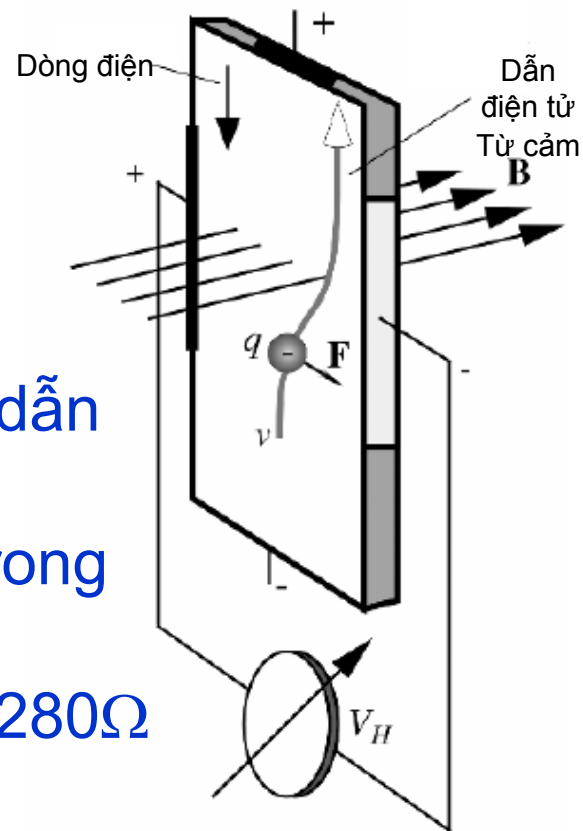
c. Chuẩn điện trở

Hiệu ứng Hall

- Phần tử cơ bản của một QHE là một planar MOSFET mỏng để trong môi trường nhiệt độ thấp. 1-2K (271⁰C).

$$R_h = \frac{U_h}{I} = R_{k-90} / i$$

- ✓ U_h : điện áp Hall
- ✓ R_h = Điện trở Hall lượng tử.
- ✓ I dòng điện chạy trong màng bán dẫn MOSFET.
- ✓ i con số nguyên n chỉ số đảo Hall trong màng bán dẫn lúc xác định R_h .
- ✓ R_{k-90} : hằng số von Klitzing= 25,81280 Ω

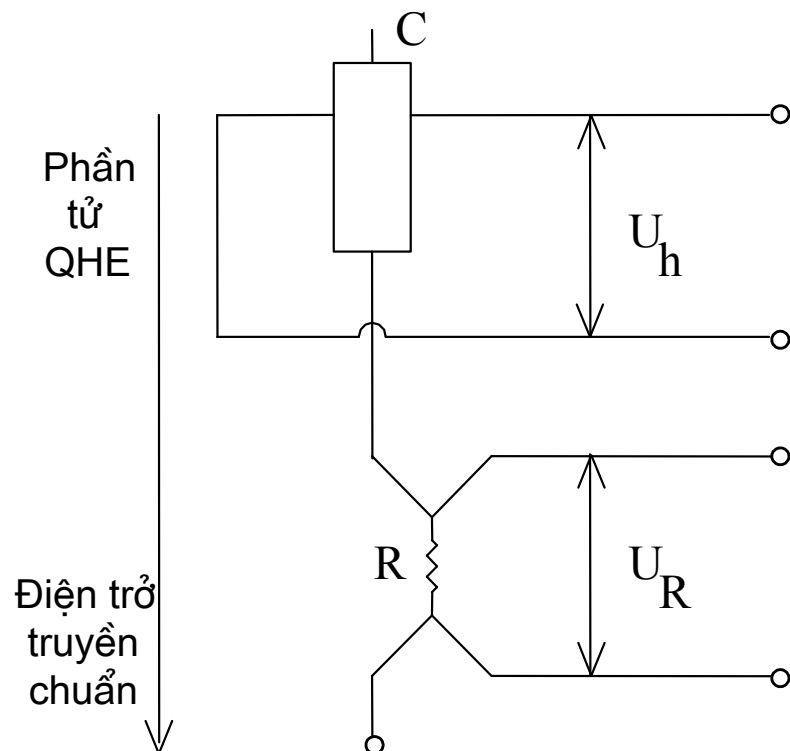


c. Chuẩn điện trở

- Điện trở Hall lượng tử R_h được truyền cho một điện trở cụ thể (dùng để làm điện trở mẫu) thông qua một sơ đồ so sánh

$$R = R_h \frac{U_R}{U_h}$$

- ❖ R_h được xác định thông qua hằng số von Klitzing;
- ❖ U_R và U_h được so sánh bằng một volmét số với khả năng phân ly cao



Ví dụ

Bảng 3.13 Điện trở mẫu của Fluke.

Loại mẫu	Đầu ra	Bộ không ổn định	Quan hệ với	Ứng dụng
QHE quantum Hall effect	$\frac{h}{ie^2}$	0,2 ppm (\pm 1 σ)	Theo định nghĩa SI về Ω	Mẫu đầu sử dụng ở phòng TN, bảo quản trong H lỏng
Thomas 1 Ω	1 Ω	0,05 ppm	2 hệ với mẫu cấp trên	Mẫu đầu phòng thí nghiệm, bảo quản trong dầu.
ESI SR 104 10k Ω	10k Ω	0,15ppm	2 hệ với mẫu cấp trên	Mẫu đầu phòng thí nghiệm bảo quản trong không khí nhưng có hiệu chỉnh nhiệt độ
Fluke 742A	1 Ω - 19M Ω 11 giá trị cụ thể	2,5ppm/6 tháng	Quan hệ với mẫu cấp trên	Mẫu cấp 2 dùng ở phòng thí nghiệm và hiện trường
Calibrator điện trở 5450	1 Ω đến 100M Ω 17 giá trị cụ thể	6ppm/90 ngày	Quan hệ với mẫu quốc gia	Mẫu công tác nhiệt độ bảo quản 18-28°C
Fluke 5700	1 Ω đến 100M Ω 17 giá trị	11ppm/90 ngày	2 hệ với chuẩn quốc gia	Mẫu công tác làm việc ở nhiệt độ 18 - 28°C
Fluke 5100	1 Ω đến 100M Ω 8 decat	10ppm/6 tháng	Quan hệ với chuẩn quốc gia	Mẫu làm việc
Các hộp điện trở	6 decat 0,1-1M Ω	100ppm		Hộp điện trở

d. Chuẩn điện dung

- Chuẩn điện dung được thực hiện bằng tụ điện tính theo lý thuyết Thompson - Lambard.
- Tụ gồm 4 thanh thép, đường kính 50mm dài 500mm có trục song song và nằm trên đỉnh hình vuông; giữa chúng có 1 thanh màn chắn tĩnh điện đặt ở ngay tâm của hình vuông:
- Sự thay đổi điện dung của tụ điện (của từng cặp điện cực) thay đổi theo khoảng di chuyển của thanh màn chắn.

d. Chuẩn điện dung

$$\Delta C = \frac{1}{2\pi} \ln 2\Delta L = \frac{1}{2\pi\mu_0 C^2} \ln 2\Delta L$$

❖ μ_0 : từ dẫn của không khí, C = tốc độ ánh sáng.

❖ ΔL đo bằng phương pháp giao thoa với $\Delta L = 100\text{mm}$ sai số 10^{-7} . $\Delta C = 0,4002443 \text{ pF}$, sai số không quá $5 \cdot 10^{-7}$.

- Điện dung mẫu được truyền sang các điện dung khác bằng cầu xoay chiều.
- Từ các mẫu này ta có thể suy ra các đại lượng điện khác thông qua các hộp điện trở và hộp điện dung chính xác cao.

Tạo ra mẫu công tác và mẫu biến đổi

- Sau khi tạo mẫu quốc gia, phải tổ chức mạng lưới quốc tế và quốc gia để truyền chuẩn đến những phòng thí nghiệm tiêu chuẩn khu vực. Những chuẩn này phải đạt độ chính xác yêu cầu: cách bố trí, quy luật biến đổi phù hợp với tín hiệu kiểm tra và thiết bị so sánh.
- Gồm những vấn đề sau:
 - a) Lượng tử hoá mẫu chuẩn.
 - b) Tổ hợp các lượng tử của mẫu thành mẫu biến đổi.
 - c) Algorithm biến đổi chuẩn.

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

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.
- ❖ Thiết bị đo gồm: thiết bị mẫu, chuyển đổi đo lường, dụng cụ đo lường, tổ hợp thiết bị đo lường và hệ thống thông tin đo lường.

■ Phương pháp đo: được chia làm 2 loại chủ yếu là phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo so sánh.

1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Người quan sát

- Là người tiến hành đo hoặc gia công kết quả đo. Yêu cầu nắm được phương pháp đo, hiểu biết về thiết bị đo và lựa chọn dụng cụ hợp lý, kiểm tra điều kiện đo (phải nằm trong chuẩn cho phép để sai số chấp nhận được) và biết cách gia công số liệu thu được sau khi đo.



1.3. Các đặc trưng của kĩ thuật đo lường

Kết quả đo

Xác định tiêu chuẩn đánh giá một phép.

- Kết quả đo ở một mức độ nào đó có thể coi là chính xác. Một giá trị như vậy được gọi là giá trị ước lượng của đại lượng đo. Đó là giá trị được xác định bởi thực nghiệm nhờ các phương tiện đo. Giá trị này gần với giá trị thực mà ở một điều kiện nào đó có thể coi là thực.
- Để đánh giá giữa giá trị ước lượng và giá trị thực, người ta sử dụng khái niệm sai số của phép đo. Sai số của phép đo là hiệu giữa giá trị thực và giá trị ước lượng

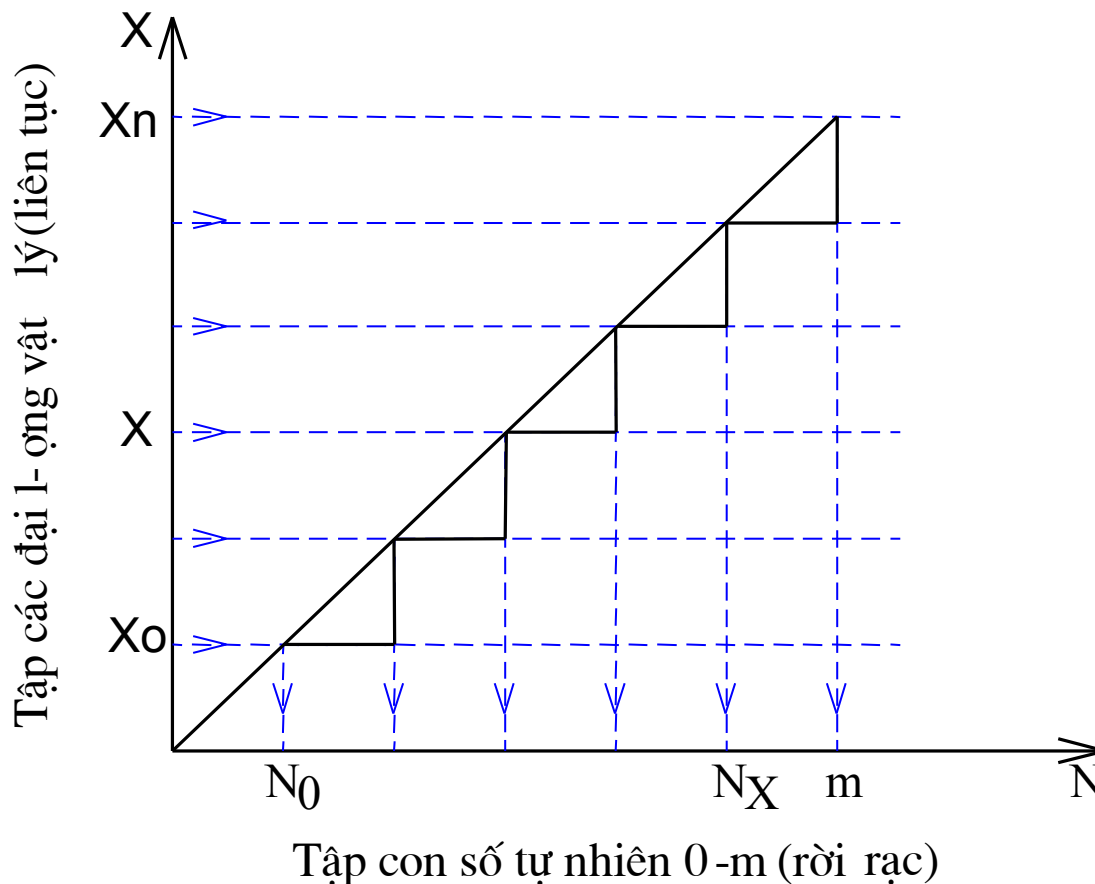
$$\Delta X = X_{\text{thực}} - X_{\text{ước lượng}}$$

- Lý thuyết sai số chúng ta sẽ học cụ thể sau

1.4. Mô hình của quá trình đo (1)

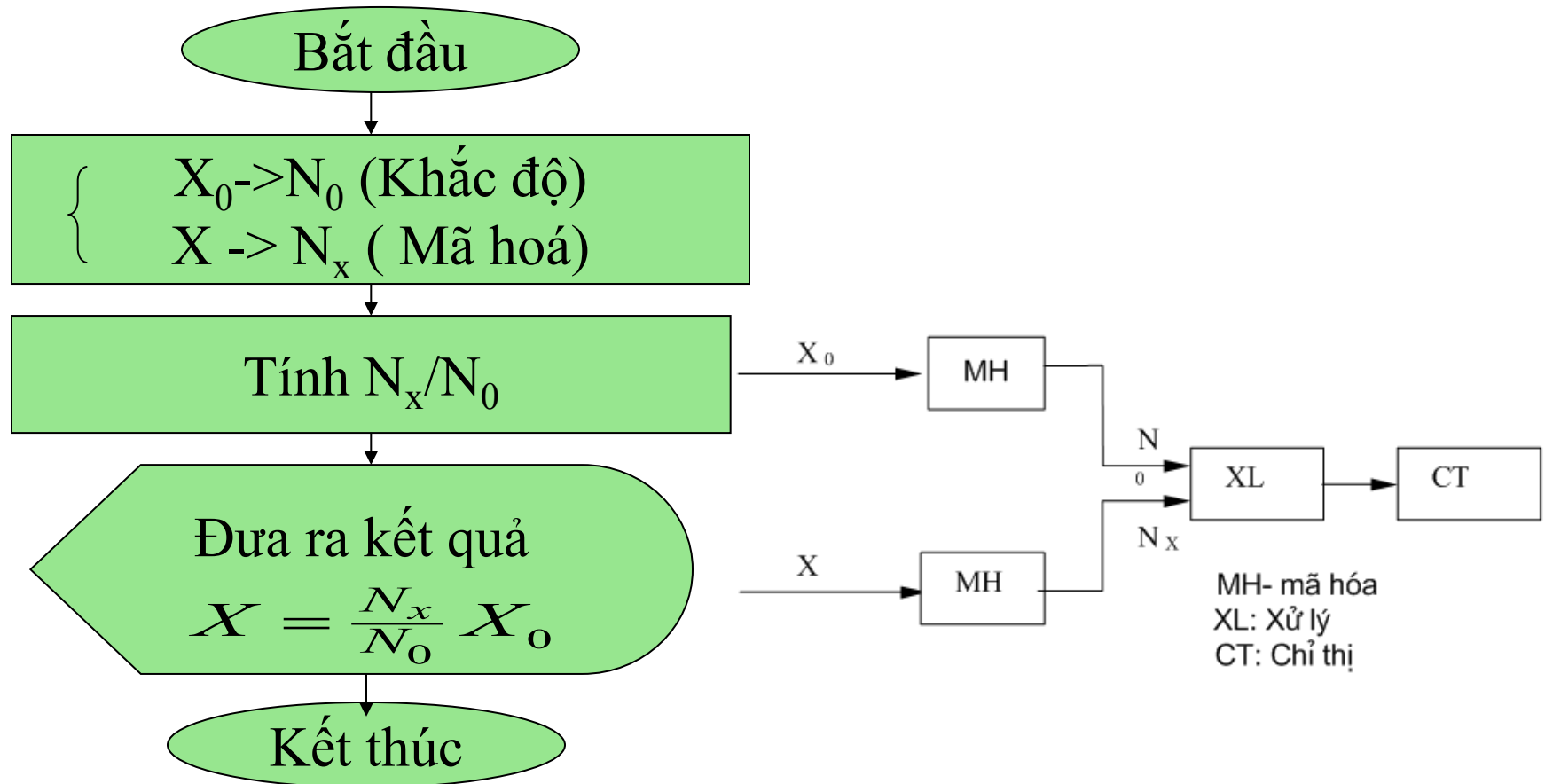
Quá trình đo biến đổi thẳng

- Ánh xạ tập các đại lượng vật lý cần đo (liên tục) vào tập các con số tự nhiên (rời rạc)



1.4. Mô hình của quá trình đo

■ Quá trình đo biến đổi thẳng



1.4. Mô hình của quá trình đo

Quá trình đo biến đổi thẳng

Ví dụ: Có một vôn mét được khắc độ như sau: 150V tương ứng 100 vạch.

- Đo một điện áp, Volmet chỉ 140 vạch, xác định kết quả đo?

Giải:

$$X_0 = 150V, N_0 = 100 \text{ vạch}$$

$$N_x = 140 \text{ vạch}$$

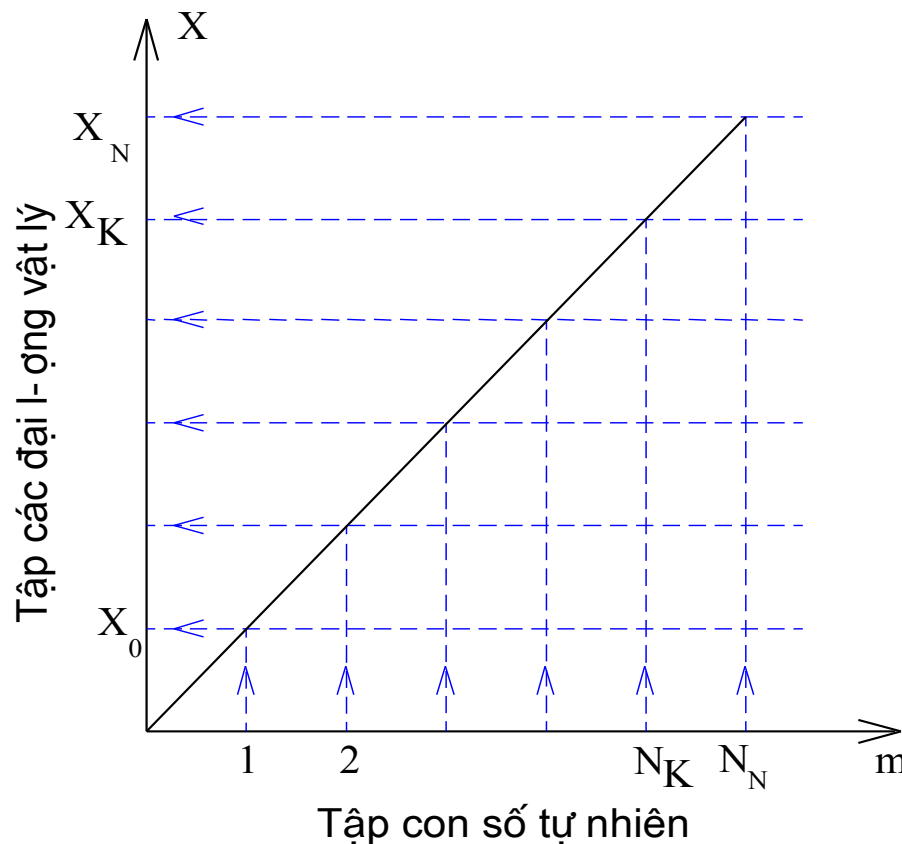
$$\text{Tính: } \frac{N_x}{N_0} = \frac{140}{100}$$

$$\text{Đưa ra kết quả: } X = X_0 \frac{N_x}{N_0} = 150 \cdot \frac{140}{100} = 210 \text{ V}$$

1.4. Mô hình của quá trình đo

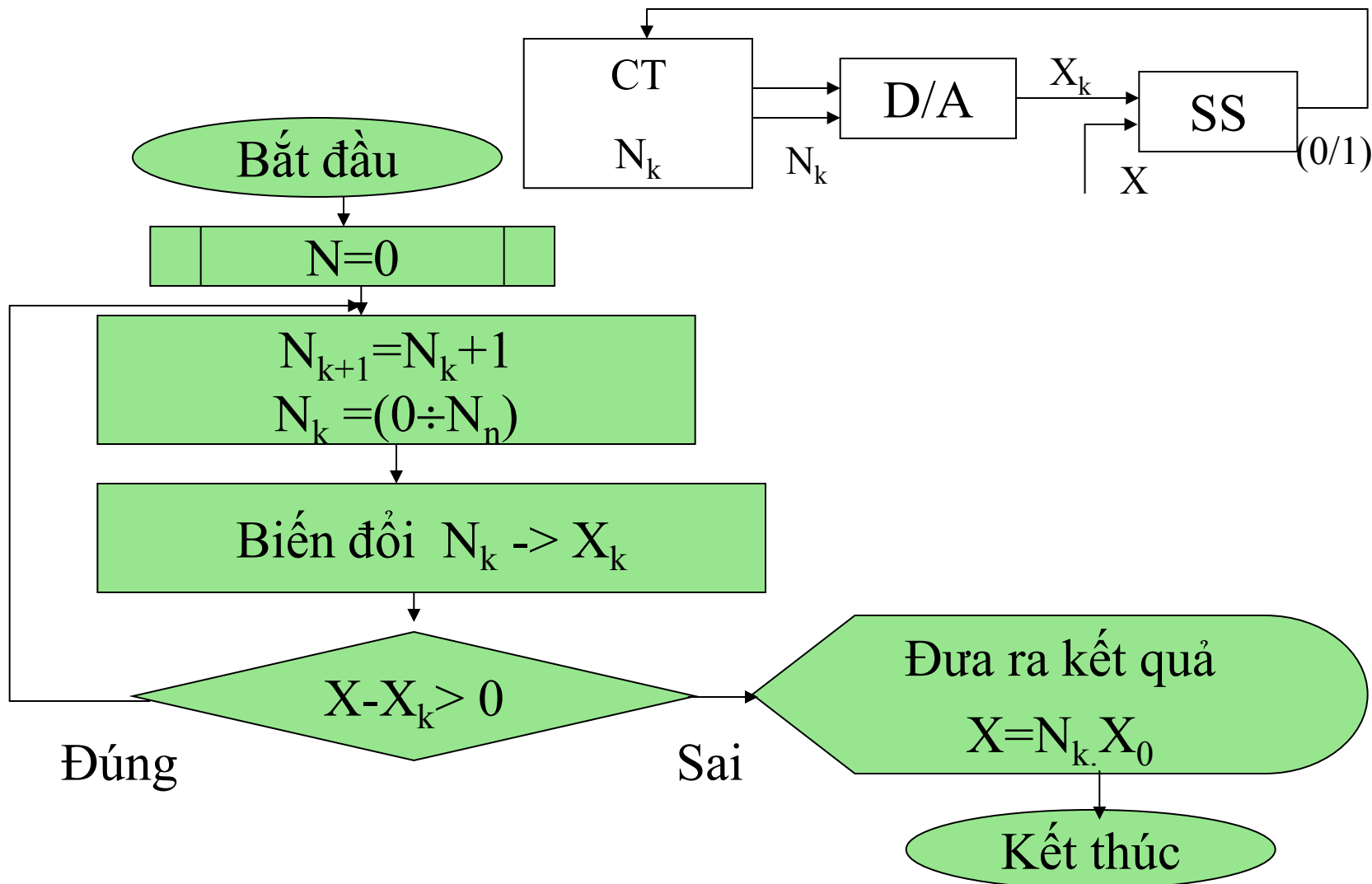
Quá trình đo kiểu so sánh

- Ánh xạ tập các con số tự nhiên (rời rạc) thành dãy các đại lượng vật lý (rời rạc)



1.4. Mô hình của quá trình đo

Quá trình đo kiểu so sánh



1.5. Các nguyên công đo lường cơ bản(1)

- Quá trình đo là thực hiện các nguyên công đo lường, các nguyên công có thể thực hiện tự động trong thiết bị hoặc do người thực hiện.

- ❖ **Xác định đơn vị đo, thành lập mẫu, tạo mẫu và truyền mẫu:**

- Xác định đơn vị, tạo ra chuẩn mẫu là những đại lượng vật lý có tính bất biến cao và là *hiện thân* của đơn vị đo lường.
- Lượng tử hoá chuẩn và tổ hợp thành đại lượng chuẩn có thể thay đổi giá trị, tạo thuận lợi cho việc xác định giá trị của đại lượng đo, ta gọi là truyền chuẩn.

- ❖ **Nguyên công biến đổi:** Thực hiện phép biến đổi trên các tín hiệu đo lường, từ đại lượng này sang đại lượng khác, từ dạng này sang dạng khác thể hiện

1.5. Các nguyên công đo lường cơ bản (2)

❖ *Nguyên công so sánh:*

- So sánh có thể thực hiện trong không gian số bằng một thuật toán chia (phương pháp đo biến đổi trực tiếp)
- Trong không gian các đại lượng vật lý, thực hiện bằng một phép trừ trong bộ so sánh (comparator)
 $X - X_k \leq \varepsilon$ (phương pháp đo kiểu so sánh)

❖ *Nguyên công giao tiếp.*

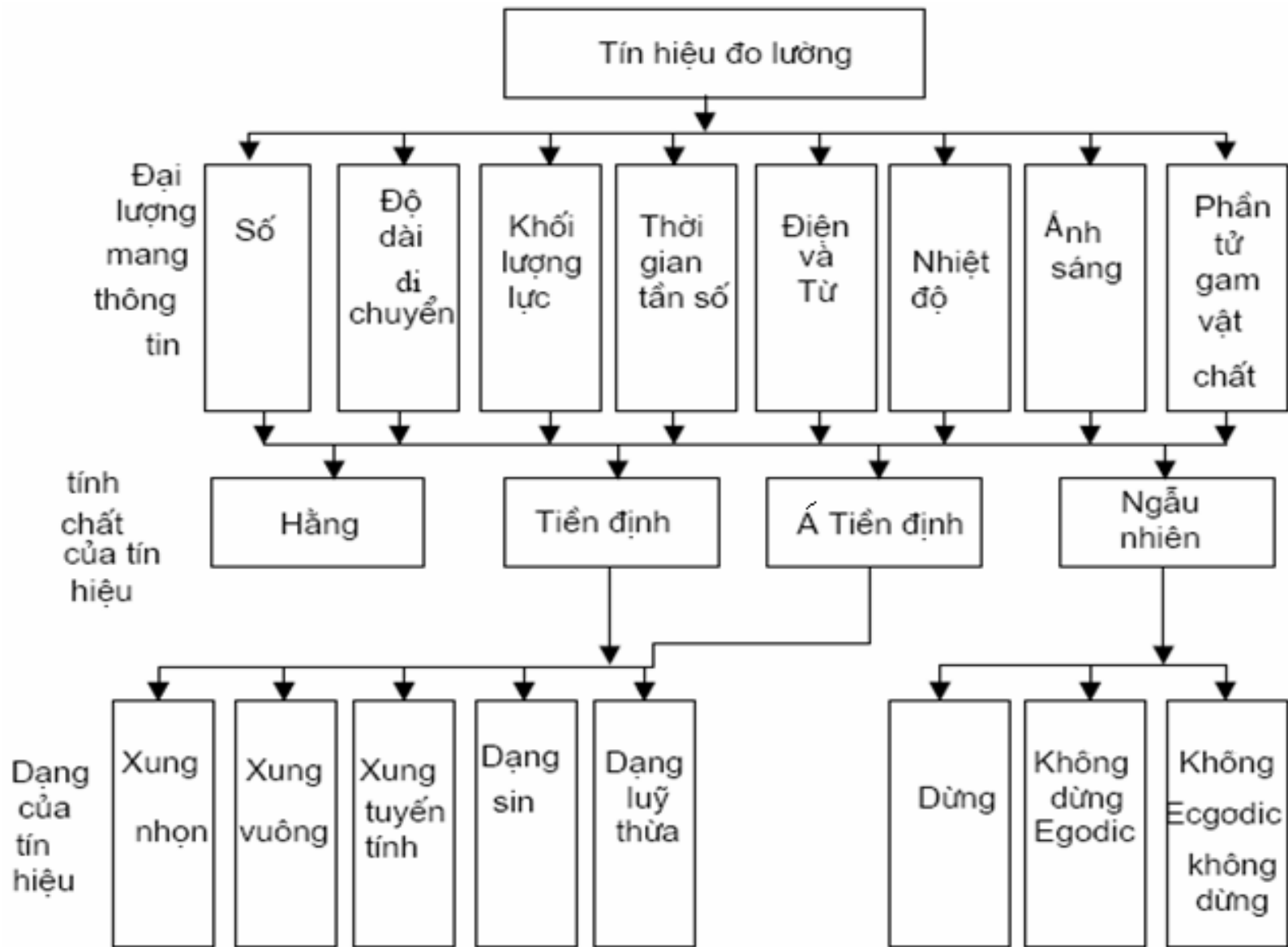
- Giao tiếp người và máy (HMI) trong ấy việc hiển thị, trao đổi, theo dõi giám sát là một dịch vụ khá lớn trong hệ thống thông tin đo lường điều khiển.
- Giao tiếp với hệ thống (tức với mạng) thể hiện chủ yếu ở dịch vụ truyền thông.

1.6. Tín hiệu

- Tín hiệu đo lường mang trong nó thông tin về đối tượng đo, thông qua các thông số đặc trưng của tín hiệu
- Tín hiệu có thể không biến thiên (đại lượng hằng) nhưng đa số là biến thiên theo thời gian theo những dạng có quy luật xác định (xung hẹp, bậc thang, tam giác, hình sin) hoặc theo quy luật thống kê, hoặc không theo quy luật nào cả gọi là tín hiệu ngẫu nhiên.
- Tín hiệu đo gồm 2 thông số
 - ❖ C_1 : Đại lượng vật lý của tín hiệu
 - ❖ C_2 : Dạng tín hiệu

$$X_{C_2}^{C_1}$$

1.6. Tín hiệu – phân loại



1.6. Tín hiệu - Đại lượng vật lý của tín hiệu

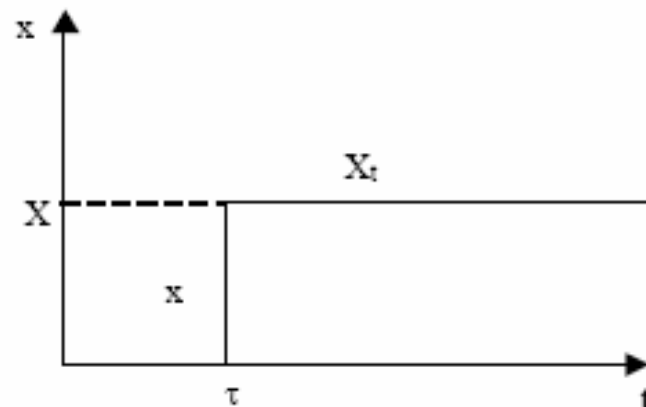
- Tín hiệu được tạo thành bằng đại lượng vật lý hằng hoặc biến thiên theo thời gian mà giá trị hoặc thông số đặc trưng của nó, mang thông tin của đối tượng cần đo.
- Có rất nhiều đại lượng vật lý dùng để mang thông tin của tín hiệu, tuy nhiên để hợp pháp và hợp lý, ta có thể quy đại lượng của tín hiệu thành 7 nhóm đại lượng cơ bản theo cách phân chia của hệ thống đơn vị

Tên đơn vị	Đơn vị	Ký hiệu
Chiều dài	mét	m
Khối lượng	Kilogam	Kg
Thời gian	giây	s
Dòng điện	Ampe	A
Nhiệt độ	độ Kelvin	⁰ K
ánh sáng	Candela	Cd
Định lượng phân tử	Mol	Mol

1.6. Tín hiệu – Dạng của tín hiệu

■ Dạng hằng

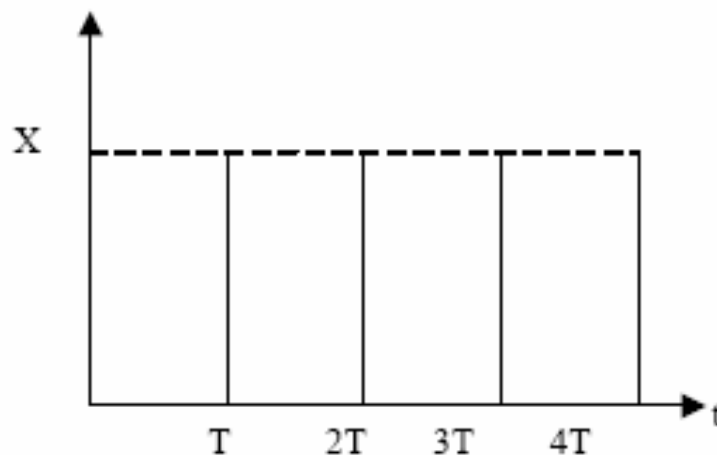
- ❖ Tín hiệu hằng là tín hiệu mà giá trị của đại lượng mang thông tin không đổi theo thời gian



■ Dạng xung hợp:

$$x = X_t \cdot \delta(t - kT)$$

$$\delta(t - kT) = \begin{cases} 1 & t = kT \\ 0 & t \neq kT \end{cases}$$



1.6. Tín hiệu – Dạng của tín hiệu

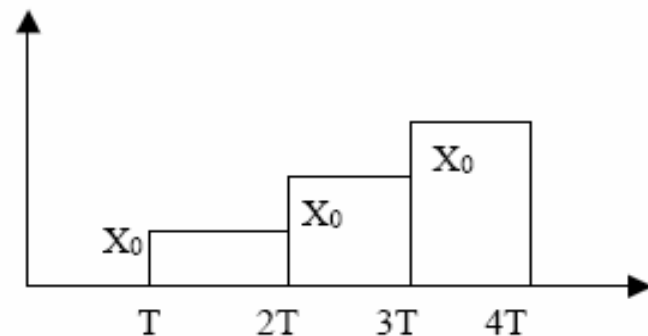
- **Dạng bậc thang**
- Tín hiệu xung bậc thang có thể biểu diễn

$$X_t = X_0 \cdot 1(t - kT)$$

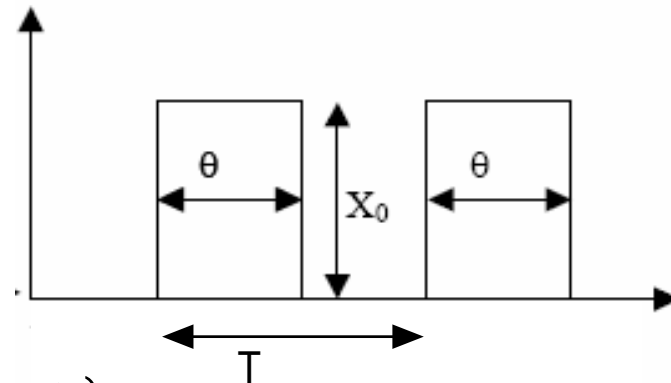
$$1(t - kT) = \begin{cases} 1 & t \geq kT \\ 0 & t < kT \end{cases}$$

- **Dạng xung vuông :**

$$X_t = X_0 \cdot \left\{ 1(t - kT) - 1(t - k(T - \theta)) \right\}$$



a)

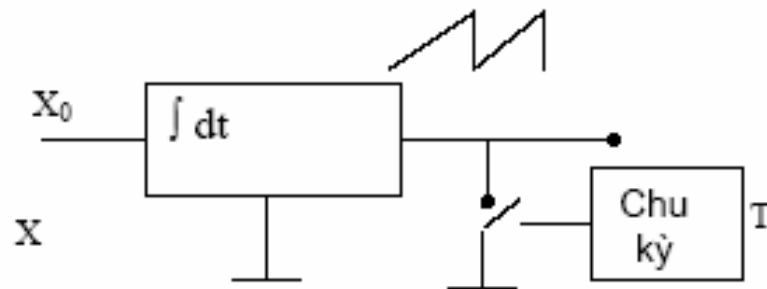
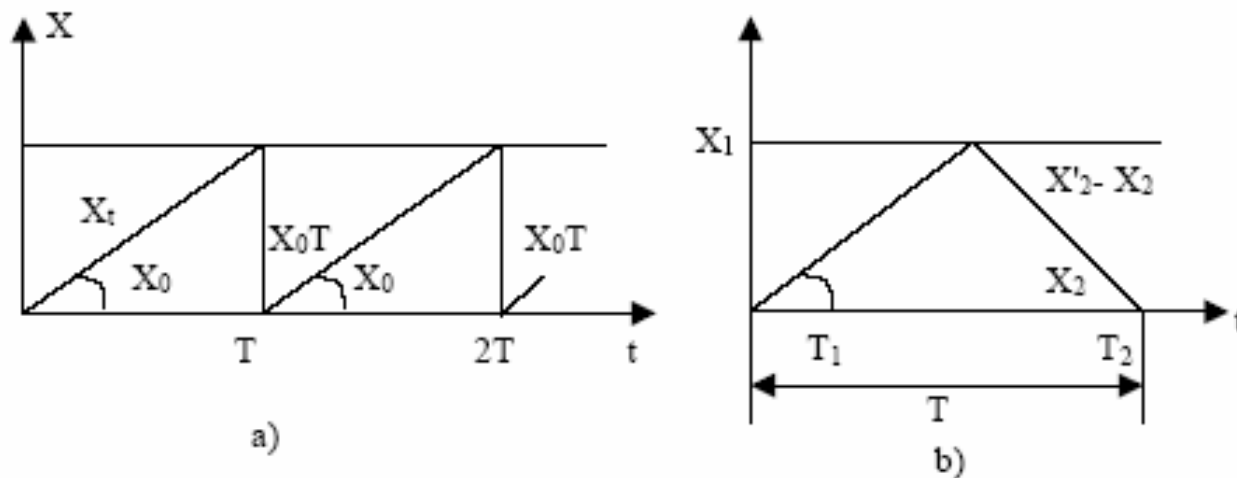


b)

1.6. Tín hiệu – Dạng của tín hiệu

■ Dạng tín hiệu tỷ lệ thời gian và xung răng cưa

❖ Tín hiệu tỷ lệ thời gian có dạng: $X_t = X_0 t$



1.6. Tín hiệu – Dạng của tín hiệu

■ Dạng tín hiệu hình sin.

❖ Tín hiệu tỷ lệ thời gian có dạng:

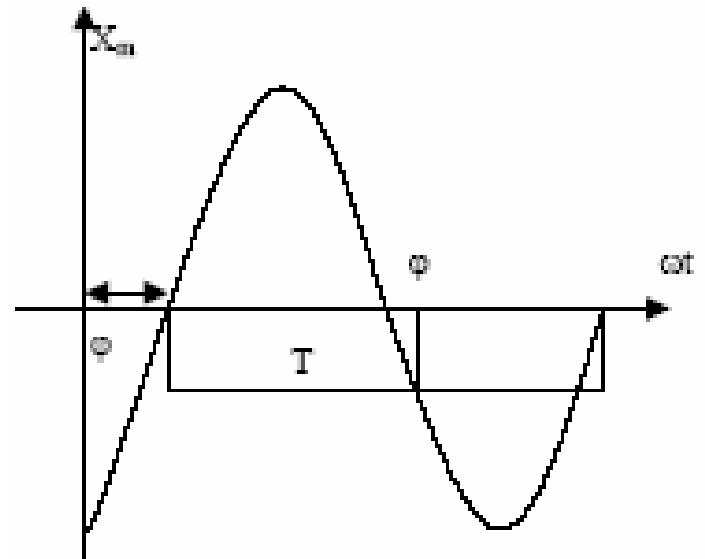
$$X_t = X_m \sin(\omega t + \varphi)$$

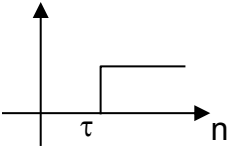
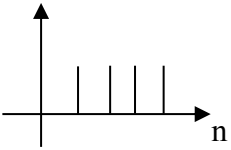
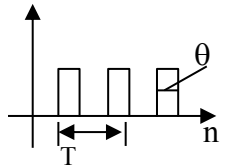
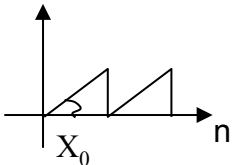
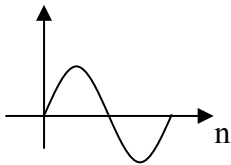
$$x_t = X_m e^{-(\omega t + \varphi)}.$$

X_m : là biên độ của tín hiệu.

ω tần số góc của tín hiệu.

φ góc pha đầu của tín hiệu.



<div> <div>Dạng tín hiệu</div> <div>Đại lượng</div> </div>		0	1	2	3	4
		Hằng	Xung hẹp	Xung vuông	Tỷ lệ t	Hình sin
0	Con số	N_X	N_T	N_m, N_T, N_θ	N_{x_0}	N_{Am}, N_f, N_ϕ
1	Chiều dài	L(m)	X(1,1) Encoder	X(1,2) Mô tơ bước	X(1,3) Mô tơ	X(1,4) Chấn động
2	Khối lượng Lực	M(kg)	X(2,1) Xung va đập	X(2,2) xung lượng ra	X(2,3) Lực nén	X(2,4) Xung âm thanh
3	Thời gian	T(s)	X(3,1) Phát xung hẹp	X(3,2) Định thời gian	X(3,3) Tgian tăng dần	X(3,4)
4	Điện	I(A) U(V)	X(4,1) Phát xung hẹp	X(4,2) Phát xung vuông	X(4,3) Phát xung tuyến tính	X(4,4) Phát hình sin
5	Nhiệt độ	t(0K)	X(5,1) Xung nhiệt	X(5,2) Xung lượng nhiệt	X(5,3) Nung với nguồn hằng	X(5,4)
6	Ánh sáng	ϕ (cd)	X(6,1) Chớp sáng	X(6,2) Chớp chu kỳ	X(6,3) Dimmer	X(6,4)
7	Mol	mol	X(7,1)	X(7,2)	X(7,3)	X(7,4)
Dạng						
Xác định		X	T	X_m, T, θ	X_0	A_m, f, ϕ

1.6. Tín hiệu – Dạng của tín hiệu

- Ta có thể lấy ký hiệu chung cho tín hiệu đo lường là X với hai chữ số ở trong dấu ngoặc: chữ số đầu tượng trưng cho đại lượng vật lý, chữ số sau chỉ dạng tín hiệu và sắp ở các ô tương ứng trong bảng

- **Ví dụ:**

$X(4,1)$: 4 là đại lượng điện
 1 là dạng tín hiệu xung hẹp.

Chương 2: Đặc tính của thiết bị đo

- Độ nhạy của thiết bị đo (S)
- Tính đơn trị
- Khoảng đo $D_x = X_{\max} - X_{\min}$
- Ngưỡng nhạy R_x, N_x
- Khả năng phân ly của thiết bị đo ,
- Mở rộng thang đo của thiết bị đo
- Độ chính xác của thiết bị đo (sai số)
- Thời gian đo của thiết bị
- Tổn hao công suất của thiết bị
- Sai số của thiết bị đo.

Mô hình thiết bị đo

$Y=F(X,a,b,c..)$ là phương trình cơ bản của thiết bị

X- là đại lượng vào

Y- Là đại lượng ra của thiết bị đo

Trong đó :

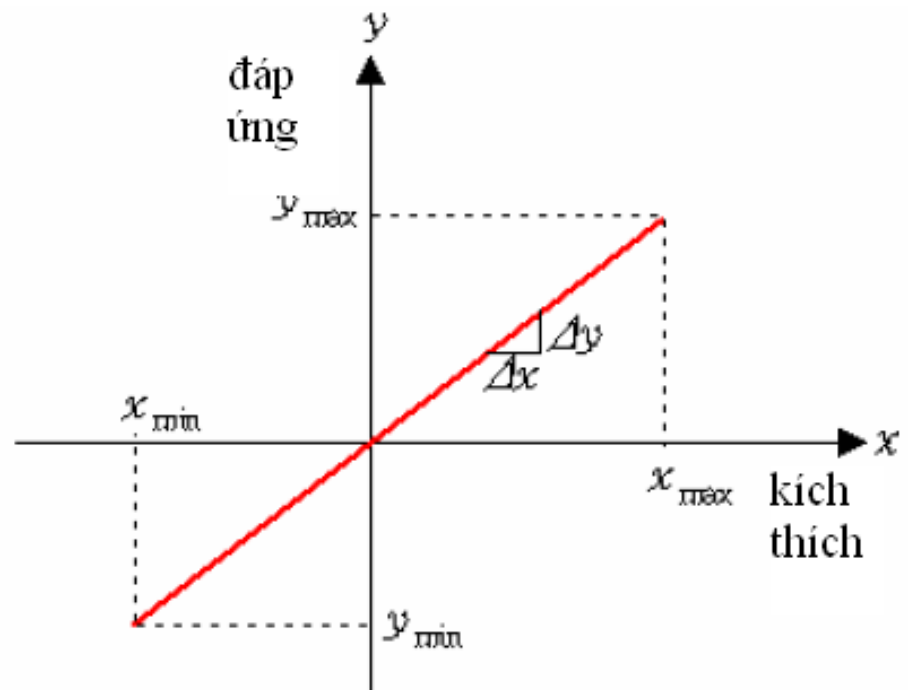
- X- là một đại lượng hằng thiết bị đo là thiết bị đo tĩnh.
 - ❖ X(t)- Biến thiên theo thời gian. Thiết bị đo là thiết bị đo động
 - ❖ X-là một đại lượng ngẫu nhiên thiết bị đo là thiết bị đo đại lượng thống kê.
 - ❖ X- là một Vector nhiều thành phần thiết bị đo là một hệ đo gián tiếp hay hợp bộ
- a, b,c Là các yếu tố ảnh hưởng hay là nhiễu tác dụng lên thiết bị đo.

Độ nhạy

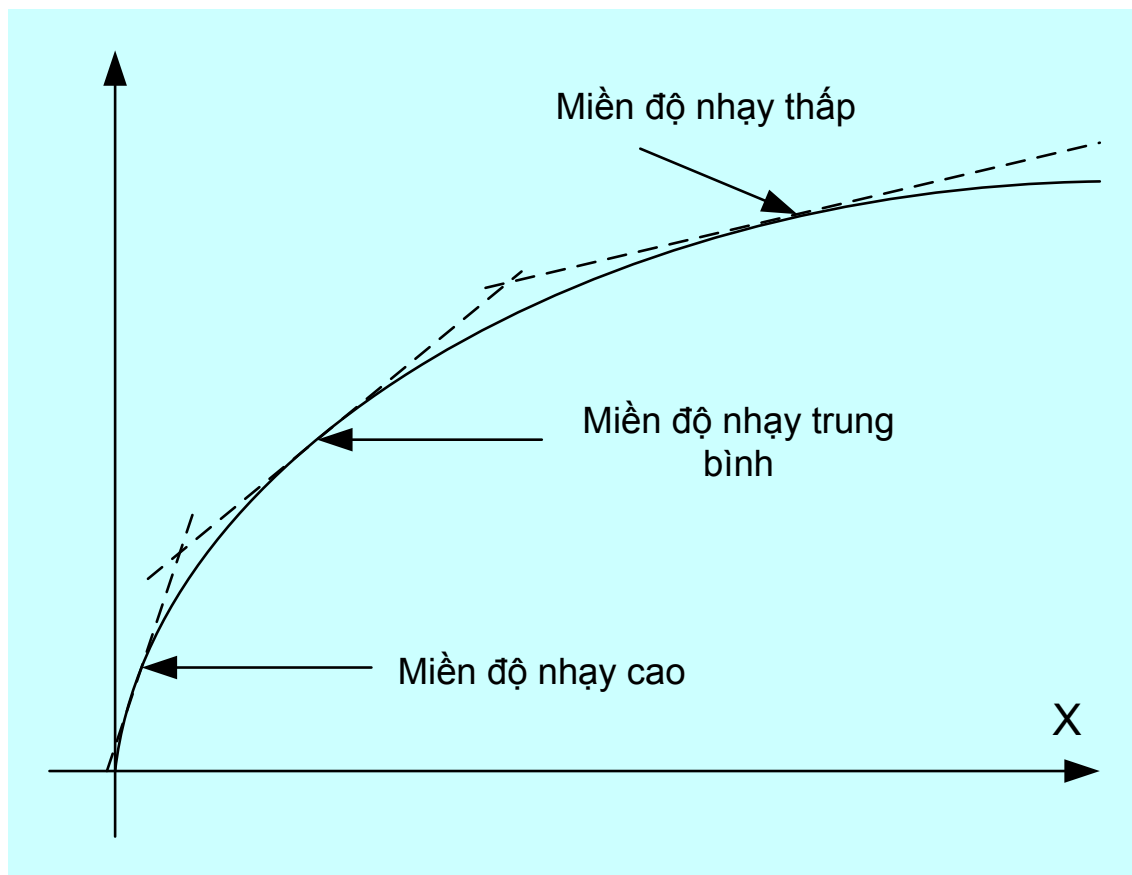
- $K = \partial F / \partial X$ – Độ nhạy với x
- Người ta còn ký hiệu là S
 - Khi $K = \text{const}$ $\rightarrow X, Y$ là tuyến tính.
 - $K = f(X)$ $\rightarrow X, Y$ là không tuyến tính \rightarrow sai số phi tuyến.

dK_{xt}/K_{xt} - Thể hiện tính ổn định của thiết bị đo hay tính lặp lại của thiết bị đo.

$dK_{xt}/K_{xt} = dS/S = \gamma_s$ - Sai số độ nhạy của thiết bị đo \rightarrow nhân tính.



Độ nhạy



Hệ số phi tuyến của thiết bị

- Để đánh giá tính phi tuyến của thiết bị đo ta xác định hệ số phi tuyến của nó.
- Hệ số phi tuyến xác định theo công thức sau:

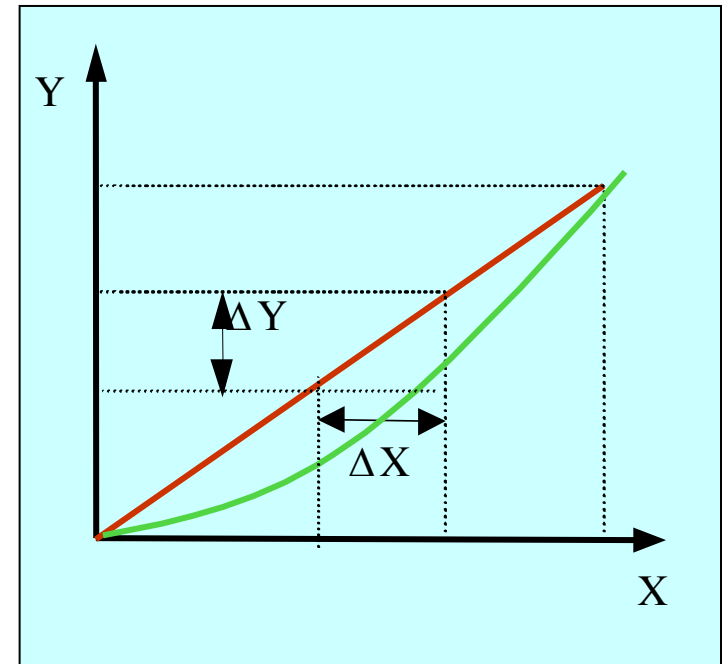
$$K_{pt} = \frac{\Delta X_{\max}}{X_n}$$

ΔX_{\max} - là sai lệch lớn nhất

Ta thường dùng khâu bù phi tuyến

$$S_{cb} \cdot S_b = K$$

(Nonlinearity Error)

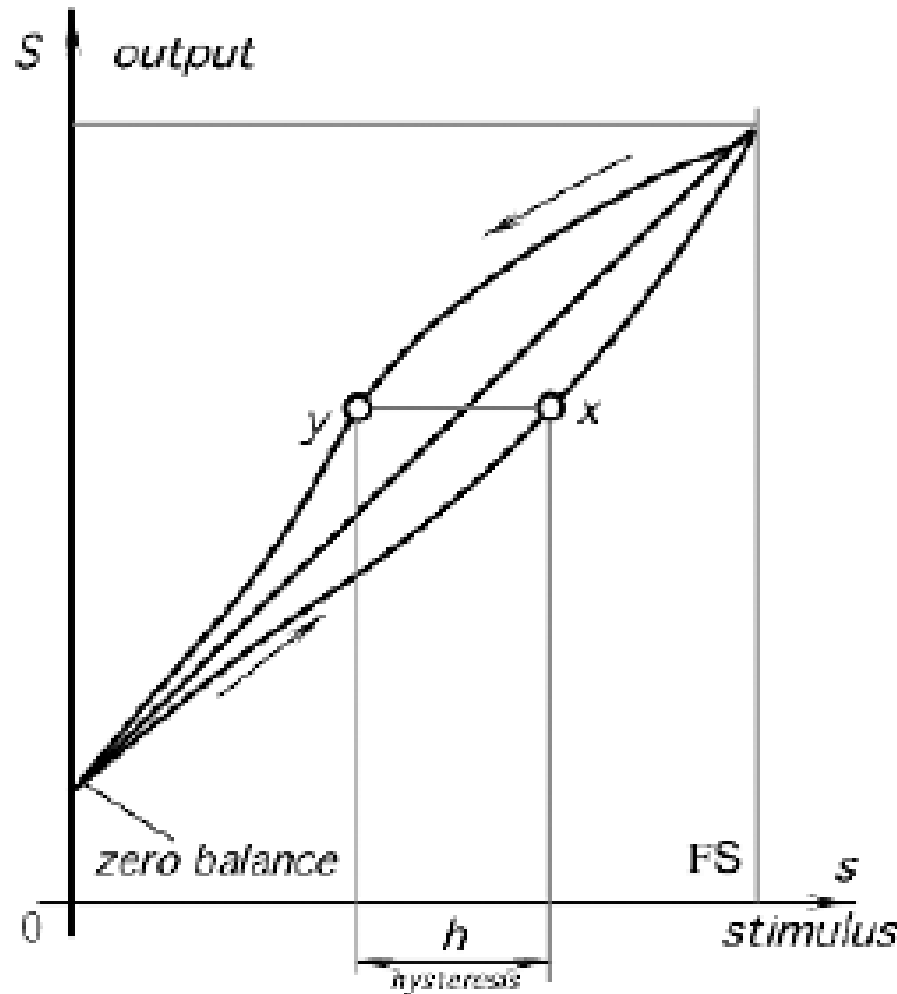


Hệ số phi tuyến của thiết bị

- Nếu K_{pt} nhỏ hơn sai số yêu cầu đối với thiết bị đo, thì thiết bị đo được coi là tuyến tính.
- Nếu K_{pt} lớn hơn sai số yêu cầu, ta phải tiến hành tuyến tính hoá.
- Ở các thiết bị đo, trước kia, khi chưa có các vi xử lý, người ta đã phải áp dụng nhiều biện pháp phức tạp để tuyến tính hoá các thiết bị đo.
- Ngày nay, phương pháp cơ bản hay dùng nhất là phương pháp tuyến tính hoá từng đoạn. Cơ sở lý thuyết của phương pháp này là: một đường cong bất kỳ, có thể coi là sự kết nối của nhiều đoạn tuyến tính.

Trễ hay trở của thiết bị (H- Hysteresis)

- Nguyên nhân: do sự thay đổi trong cấu trúc vật liệu hoặc ma sát

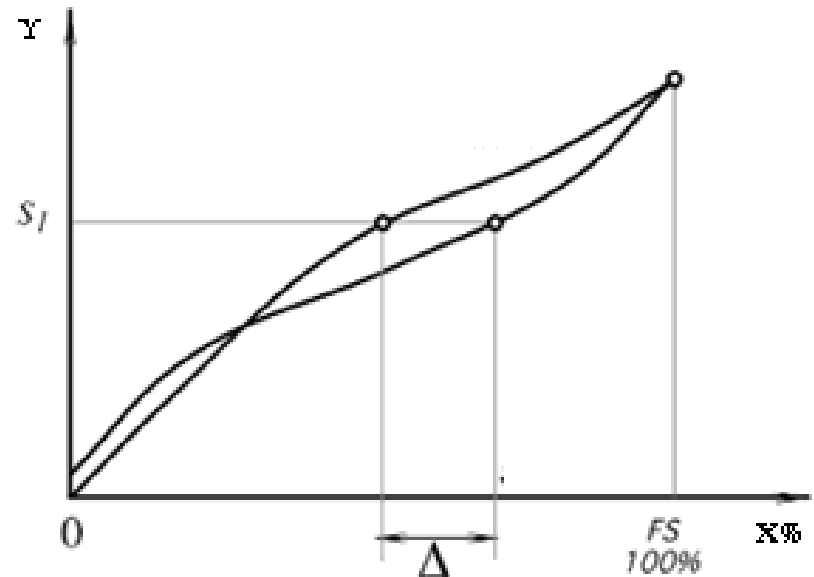


Tính lặp lại

Ở các lần đo khác nhau, K_x có thể khác nhau

$$\frac{dK_x}{K_x}$$

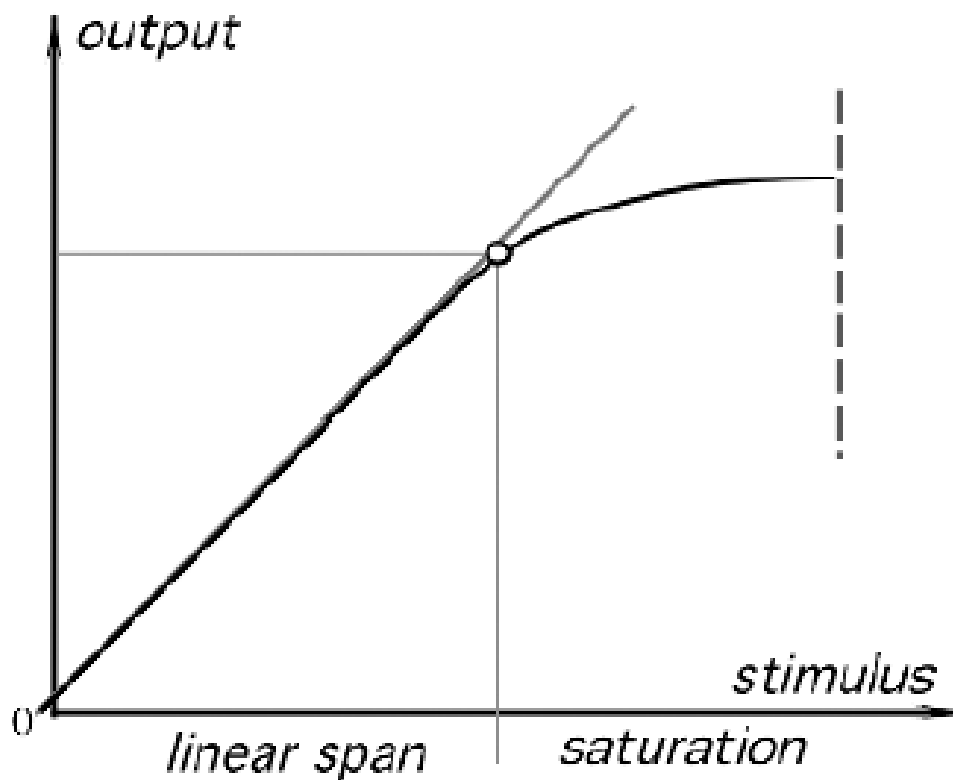
Cho phép đánh giá tính ổn định của thiết bị đo hay tính lặp lại của TBĐ, sai số lặp lại hay độ tin cậy của thiết bị đo.



Sai số về độ nhạy của thiết bị đo, $\gamma_K = \frac{dK}{K}$ sai số này có tính chất nhân tính.

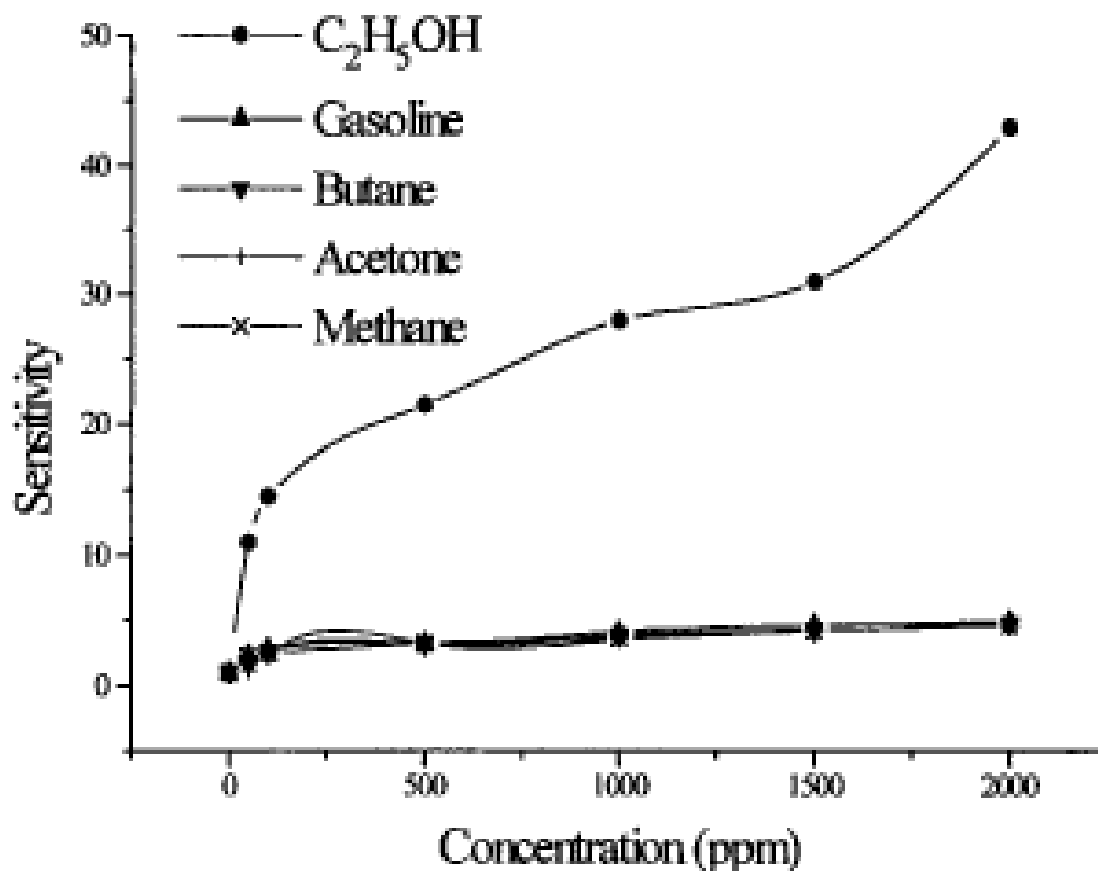
Độ bão hòa

- Đến một giá trị ngưỡng nào đấy, sự tăng thêm kích thích đầu vào không tạo ra giá trị ra như mong muốn.



Độ lựa chọn (sel)

- Một vật liệu nhạy có thể đáp ứng đồng thời với nhiều khí trong một hỗn hợp khí. Ví dụ với đặc tính trên, thì cảm biến có độ chọn lựa cao với khí C_2H_5OH .



Khoảng đo, ngưỡng nhạy và khả năng phân ly

Khoảng đo (Span/Full Scal/Range): $D_x = X_{\max} - X_{\min}$

Ngưỡng nhạy, khả năng phân ly (Resolution):

- Khi giảm X mà Y cũng giảm theo, nhưng với $\Delta X \leq \varepsilon_x$ khi đó không thể phân biệt được ΔY , ε_x được gọi là ngưỡng nhạy của thiết bị đo.

Khả năng phân ly của thiết bị

- *-Thiết bị tương tự*

$$R_X = \frac{D_x}{\varepsilon_x}$$

- *-Thiết bị số:*

$$R_X = \frac{D_X}{\varepsilon_g} = N_n$$

Đặc tính của thiết bị đo

Ngưỡng nhạy

- Ngưỡng nhạy của thiết bị đo là giá trị đo thấp nhất mà dụng cụ có thể phân biệt được : ε_x , ε_y .
- Đối với dụng cụ đo tương tự, X được xác định bằng kim chỉ thị thì ε_x là phần lẻ khoảng chia có thể đọc được (thông thường có thể chọn là 1/5 thang chia độ).
- Đối với dụng cụ số $\varepsilon_x = X_n / N_n$ là ngưỡng của ADC hay là giá trị một LSB của bộ mã hoá (Lowest Significating Bit) tức giá trị một lượng tử đo.

Ví dụ

Một bộ biến đổi tương tự số ADC-700 (D, E, F, I, N...) của Burr Brown: Số bit là 16 tức $R = 2^{16} = 65.536$

- Chữ D của ADC loại này có nghĩa là khoảng đo đầu vào là: 0 – 10V
- Chữ I có nghĩa là khoảng đo đầu vào là: 0 – 0,5V

Như vậy một LSB của ADC 700-D là : $\varepsilon = \frac{10}{65536}$

LSB của ADC 700-I là: $\varepsilon = \frac{0,5}{65536}$

Ngưỡng nhạy của ADC700-I cao hơn rất nhiều so với ADC-700-D nhưng cùng một khả năng phân ly.

Đặc tính của thiết bị đo

Khả năng phân ly của thiết bị đo

■ Đối với thiết bị đo tương tự:

- ❖ Khả năng phân ly của thiết bị được tính theo công thức:

$$R_x = \frac{D_x}{\epsilon_x} \quad \epsilon_x \text{ được lấy } 1/5 \text{ vạch khắc độ.}$$

- ❖ Ví dụ: thang chia độ được chia 100 vạch thì $\epsilon_x = 1/5$ khoảng chia = $D_x / 500$ như vậy khả năng phân ly $R = 500$.

■ Đối với thiết bị đo số: ϵ_x là 1 LSB thì khả năng phân ly của thiết bị đo số:

$$\frac{D_x}{1\text{LSB}} = N_x$$

Đặc tính của thiết bị đo

Khả năng phân ly của thiết bị đo

❖ Ví dụ: Một bộ biến đổi tương tự số ADC-700 (D, E, F, I, N...) của Burr Brown số bit là 16 tức $R = 2^{16} = 65536$.

D nghĩa là khoảng đo đầu vào là 0- 10V

Như vậy một LSB của ADC 700-D là : $\frac{10V}{65536} = 0.1525 \text{ mV}$

- Để so sánh khả năng phân ly giữa thiết bị đo tương tự và số ta có thể phân tích như sau: Để có cùng khả năng phân ly 16 bit như của ADC700 dụng cụ tương tự phải có chiều dài thang chia độ là bao nhiêu? giả sử khoảng cách chia độ là 1mm

Tổn hao công suất, điện trở vào của thiết bị đo

Thiết bị đo khi nối vào đối tượng đo, muốn có đáp ứng phải thu một ít năng lượng từ phía đối tượng đo ta gọi đó là tổn hao Công suất.

Trường hợp nối tiếp với tải: $p_a = R_A \cdot I^2$ và R_A càng nhỏ thì sai số do tổn hao càng ít.

Yêu cầu :

$$\gamma_{ff} \approx \frac{R_A}{R_t} < \gamma_{yc}$$

Trong đó : γ_{yc} - Sai số yêu cầu; P_A : Tổn hao

γ_{ff} : Sai số phương pháp

P_t : công suất ở tải

$$\gamma_{ff} = \frac{p_a}{p_t} = \frac{R_A}{R_t}$$

Trong trường hợp thiết bị đo nối song song với tải.

Tổn hao

Yêu cầu:

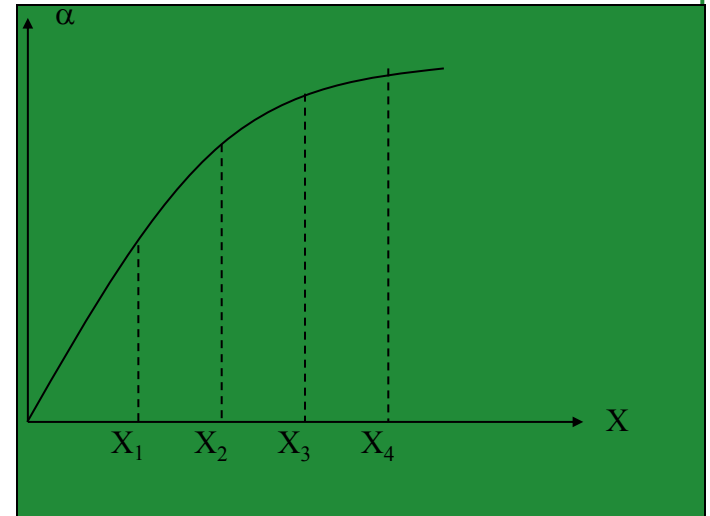
$$\gamma_{ff} \approx \frac{R_t}{R_v} < \gamma_{yc}$$

$$p_v = \frac{V^2}{R_v}$$

R_A , R_v đều được gọi là điện trở vào của thiết bị đo

Đặc tính động của thiết bị (1)

- Hàm truyền cơ bản : $Y(p)=K(p).X(p)$
- Đặc tính động:
 - + Đặc tính quá độ
 - + Đặc tính tần
 - + Đặc tính xung



Khi đại lượng X biến thiên theo thời gian ta sẽ có quan hệ

- $\alpha(t)=S_t[X(t)]$

Quan hệ được biểu diễn bằng một phương trình vi phân. Phương trình vi phân ấy được viết dưới dạng toán tử.

$$\alpha(p)=S(p).X(p)$$

$S(p)$ - Gọi là độ nhạy của thiết bị đo trong quá trình đo đại lượng động

Đặc tính động của thiết bị (1)

- Hàm truyền cơ bản :
 $Y(p)=K(p).X(p)$

- Đặc tính động:

- + Đặc tính quá độ

- + Đặc tính tần

- + Đặc tính xung

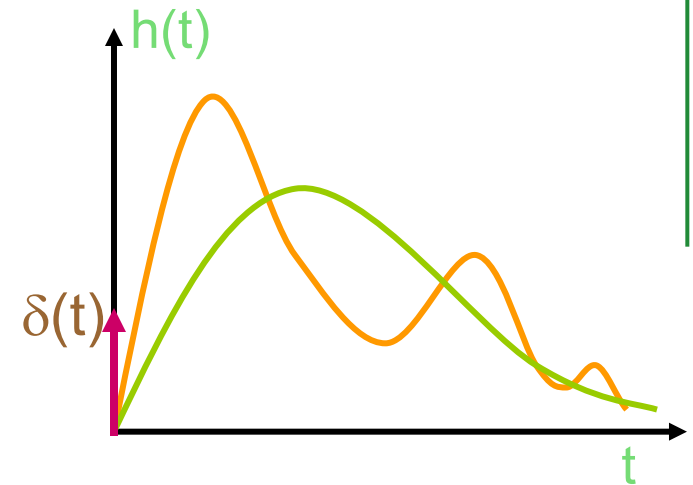
a. Đặc tính xung:

- Nếu đại lượng vào có dạng xung hẹp: $x(t)=\delta(t-\tau)$

➡ Đại lượng ra $y(t) = h(t-\tau)$ gọi là đặc tính xung của thiết bị

☺☺ Ý nghĩa của đặc tính xung???

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t-\tau)d\tau$$



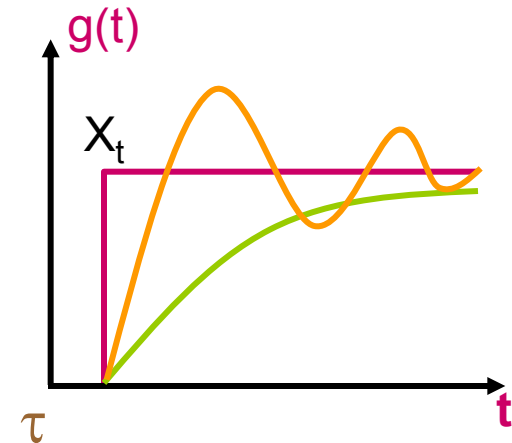
Phần tử cơ bản
cho phép tính đáp
ứng ra của thiết bị

Đặc tính động của thiết bị (2)

b. Đặc tính quá độ

- Nếu tín hiệu vào có dạng xung đơn vị: $x(t) = u(t-\tau)$

➔ Đại lượng ra $y(t) = g(t-\tau) [= h(t-\tau)]$ gọi là đặc tính quá độ của thiết bị



c. Đặc tính tần số

- Nếu tín hiệu vào có dạng sin: $x(t) = e^{j\omega t}$
- Đại lượng ra $y(t) = H(\omega).x(t)$ với $H(\omega)$ gọi là đặc tính tần số của thiết bị
- Đặc tính tần số được phân tích thành hai thành phần: đặc tính môđun $A(\omega)$ và đặc tính pha $\varphi(\omega)$. (Lý thuyết mạch 1)

☹☹ Ưu điểm cơ bản khi sử dụng đặc tính tần số của thiết bị???

Đặc tính động của thiết bị (3)

Khi tín hiệu vào có dạng hình sin: $X_t = X_m e^{j\omega t}$

$S(p)$ - thể hiện dưới dạng $S(j\omega)$ được gọi là đặc tính tần của thiết bị

$S(j\omega)$ là một số phức phân tích thành hai thành phần đặc tính $A(\omega)$ và $\theta(\omega)$ đặc tính pha

$A(\omega)$ thay đổi theo (ω) , vì vậy gây ra sai số động tính theo công thức sau:

$$\gamma_{A(\omega)} = \frac{A(\omega) - A(0)}{A(0)}$$

$A(\omega)$ - đặc tính tần của thiết bị

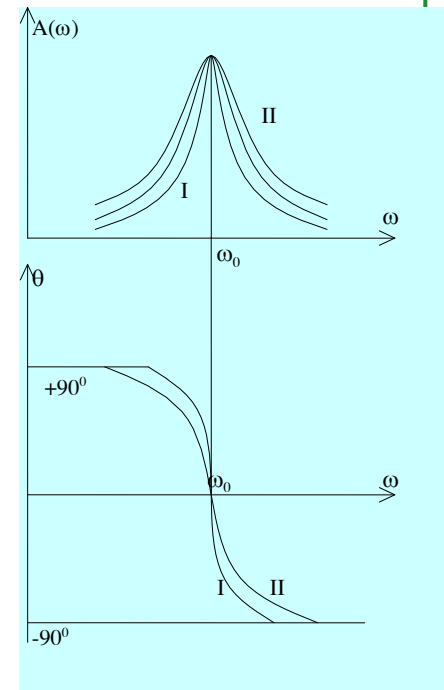
$A(0)$ - biên độ của thiết bị không ảnh hưởng của đặc tính tần.

■ Quan hệ giữa đặc tính tần và đặc tính quá độ

$$h_1(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^t dt \int_{-\infty}^{+\infty} K_n(j\omega) e^{j\omega t}$$

- Sai số tần số (Giải tần của thiết bị)
- Thời gian đo của thiết bị
- Khả năng truyền tin của thiết bị: $C = I \cdot f$

Trong đó: I - lượng thông tin một lần đo (Tính bằng bit) f - Tần số đo



Đặc tính động của thiết bị (3)

d. Hàm truyền đạt của thiết bị đo

Phương trình biểu diễn quan hệ giữa tín hiệu ra/tín hiệu vào của một thiết bị đo:

$$y(t) = b_0 x(t) + b_1 \frac{\partial x(t)}{\partial t} + \dots + b_N \frac{\partial^N x(t)}{\partial t^N} + a_1 \frac{\partial y(t)}{\partial t} + \dots + a_M \frac{\partial^M y(t)}{\partial t^M}$$
$$Y(\omega) = b_0 X(\omega) + b_1 j\omega X(\omega) + \dots + b_N (j\omega)^N X(\omega) + a_1 j\omega Y(\omega) + \dots + a_M (j\omega)^M Y(\omega)$$

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \frac{b_0 + b_1 j\omega + \dots + b_N (j\omega)^N}{1 - a_1 j\omega - \dots - a_M (j\omega)^M}$$

ω : giá trị thực. Thay $j\omega$ bằng số phức $p = \sigma + j\omega$

Hàm truyền đạt của thiết bị đo
 $H(p)$

$$H(p) = \frac{b_0 + b_1 p + \dots + b_N p^N}{1 - a_1 p - \dots + a_M p^M}$$

☹☹ Cách xác định điểm cực và điểm không của hệ thống??

Đặc tính động (4)

$$H(p) = \frac{b_N(p-z_1)(p-z_2)\dots(p-z_{N1})}{-a_M(p-p_1)(p-p_2)\dots(p-p_{N1})} = \frac{b_N \prod_{i=1}^N (p-z_i)}{-a_M \prod_{i=1}^M (p-p_i)} \quad (2-9)$$

Từ các vị trí của điểm cực (p) và điểm không (z) trên mặt phẳng p (hay s) có thể nhận biết được tính chất của thiết bị đo/hệ thống đo

Đặc tính của thiết bị đo

Thời gian đo của thiết bị đo

- Là đo thời gian tính từ lúc đặt đại lượng đo vào thiết bị cho đến khi thiết bị ổn định để lấy kết quả đo.
- Đối với các thiết bị số thì thời gian đo là thời gian biến đổi của bộ biến đổi tương tự - số ($T_{bđ}$).
- Trong các thiết bị số, thời gian lấy mẫu (T_{lm}) phải lớn hơn thời gian biến đổi.

Đặc tính của thiết bị đo

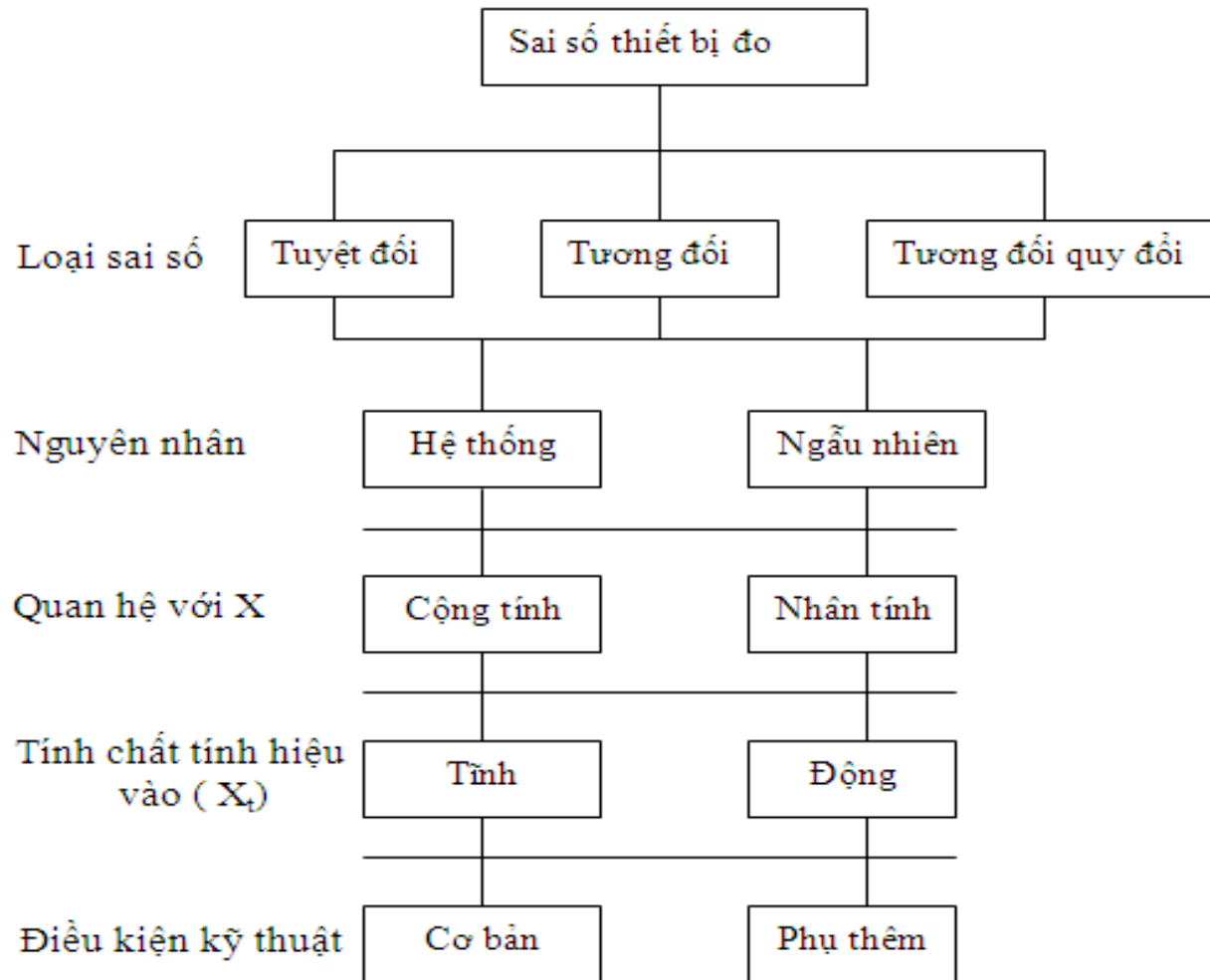
Độ chính xác của thiết bị đo

- Đo lường được thực hiện bằng cách so sánh một đại lượng cần đo với đại lượng đo tiêu chuẩn. Kết quả đo có thể biểu thị bằng số hay biểu đồ. Tuy nhiên, kết quả đo được chỉ là một trị số gần đúng, nghĩa là phép đo có sai số. Vấn đề là cần đánh giá được độ chính xác của phép đo.



Sai số của phép đo

Tính chính xác của thiết bị đo là đặc tính quan trọng nhất đối với thiết bị đo. Tính chính xác thể hiện ở sai số của thiết bị đo.



Nguyên nhân gây sai số

- Khi tính toán sai số cần tính tới trường hợp các sai số kết hợp với nhau theo hướng bất lợi nhất với các nguyên nhân:
 - ❖ Nguyên nhân chủ quan: do lựa chọn phương pháp đo và dụng cụ đo không hợp lý, trình độ của người sử dụng thiết bị đo không tốt, thao tác không thành thạo ...
 - ❖ Nguyên nhân khách quan: do dụng cụ đo không hoàn hảo, đại lượng đo bị can nhiễu do môi trường bên ngoài như nhiệt độ, độ ẩm, bụi bẩn, áp suất ...

Sai số tuyệt đối

- Sai số tuyệt đối xác định bằng sự sai lệch của một dụng cụ đo hay một phép đo được xác định là:

$$\Delta X = |X_{\text{thực}} - X_{\text{đo}}|$$

ΔX : Sai lệch của phép đo thứ I đại lượng X

$X_{\text{đo}}$: Kết quả phép đo thứ I đại lượng X

$X_{\text{thực}}$: Giá trị đúng, là giá trị đo do một mẫu cung cấp hay là kết quả đo X bởi dụng cụ đo cấp chính xác cao hơn nhiều lần thiết bị đo được sử dụng.

Sai số tương đối

- Sai số tuyệt đối không cho phép đánh giá một phép đo. Để đánh giá tính chính xác của một phép đo người ta dùng sai số tương đối:

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_{th}} \cdot 100\% = \frac{\Delta X}{X_{do}} \cdot 100\%$$

Với X_{do} là đại lượng đo được

X_{th} là giá trị thực của đại lượng đo

ΔX sai số tuyệt đối

Sai số tương đối quy đổi (quy đổi về khoảng đo)

- Sai số tương đối β không cho phép đánh giá một thiết bị đo, vì vậy người ta đưa ra sai số tương đối quy đổi là sai số tương đối quy đổi về khoảng đo của thiết bị:

$$\gamma_{qd} = \frac{\Delta X}{D_X} \cdot 100\%$$

ΔX là sai số tuyệt đối gây ra do thiết bị đo khi đo một đại lượng xác định;

D_X là khoảng đo của thiết bị dùng để đo đại lượng X .

- Để đánh giá sai số thiết bị người ta dựa vào sai số tương đối của thiết bị đo. Như vậy ta có quan hệ các sai số :

$$\beta = \gamma = \frac{\Delta X}{X_{do}} = \frac{\gamma_{qd} D_X}{X_{do}} = \gamma_{qd} \frac{D_X}{X_{do}} = \gamma_{qd} \frac{X_n}{X_{do}}$$

Bài tập

- **Bài 1:** Một thiết bị đo có thang đo cực đại 100mA, có sai số tương đối quy đổi $\pm 1\%$. Tính các giới hạn trên và giới hạn dưới của đối tượng cần đo và sai số theo phần trăm trong phép đo đối với :
 - a. Độ lệch cực đại.
 - b. 0,5 độ lệch cực đại.
 - c. 0,1 độ lệch cực đại.

Bài tập

- Bài 2: Một thiết bị đo có thang đo cực đại 100mA, có sai số tương đối quy đổi $\pm 3\%$. Hãy tính sai số khả dĩ khi dụng cụ chỉ :
 - a. 50mA.
 - b. 10mA.
- Bài 3: Để 25mA được đo ở dụng cụ có thang đo cực đại 40mA. Nếu phải đo 25mA chính xác trong khoảng $\pm 5\%$. Hãy tính độ chính xác cần thiết của dụng cụ đo.

Bài tập

Bài 4:

Một Ampemet có ba khoảng đo 5A, 2.5A, 1A. Chia thành 100 vạch, cấp chính xác 1.

1/ Đặt vào thang đo 5A để đo dòng điện, kim chỉ 18 vạch

a/ Xác định giá trị của dòng điện

b/ Tính sai số tương đối của phép đo

2/ Chọn thang đo thích hợp, xác định số vạch mà kim chỉ thị, tính sai số mới

Sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên

- Sai số tuyệt đối của dụng cụ đo ΔX được chia làm 2 loại sai số dựa theo nguyên nhân gây sai số:

$$\Delta X = \Delta_{ht} + \Delta_{ng}$$

- Trong đó:

ΔX : Sai số tuyệt đối của thiết bị đo.

Δ_{ht} : Sai số hệ thống của thiết bị đo do nguyên nhân có thể phân tích được, có thể dùng các biện pháp bù trừ được.

Δ_{ng} : Sai số ngẫu nhiên mà nguyên nhân không thể xác định được và theo quy luật ngẫu nhiên.

Sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên

- Sai số hệ thống là do những yếu tố thường xuyên hay các yếu tố có quy luật tác động. Nó khiến cho kết quả đo có sai số của lần đo nào cũng như nhau, nghĩa là kết quả của các lần đo đều lớn hơn hoặc nhỏ hơn giá trị thực của đại lượng đo.
- Nhóm các sai số hệ thống thường do các nguyên nhân sau:
 - ❖ Do dụng cụ, máy móc đo không hoàn hảo
 - ❖ Do phương pháp đo, cách xử lý kết quả đo hoặc bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng.
 - ❖ Do khí hậu

Sai số hệ thống, sai số ngẫu nhiên

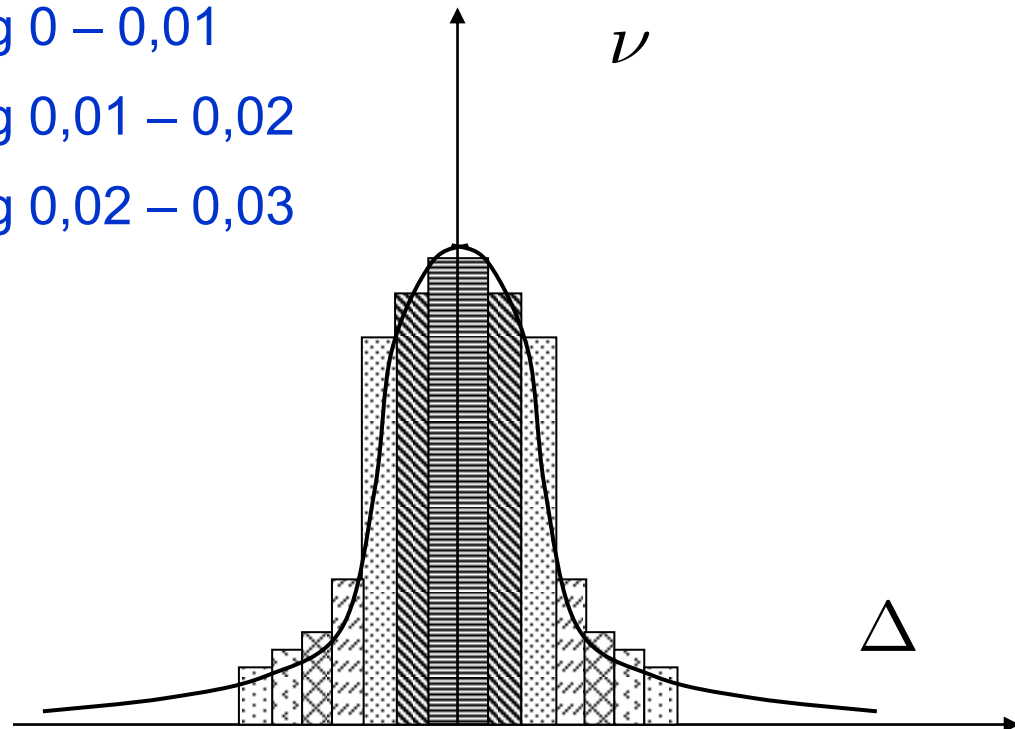
- Sai số ngẫu nhiên là sai số do các yếu tố bất thường, không có quy luật tác động.
- Do vậy, sai số hệ thống có thể xử lý được nhờ lấy lại chuẩn nhưng sai số ngẫu nhiên không thể xử lý được vì không biết quy luật tác động.

Sai số ngẫu nhiên

- Giả sử đo n lần đại lượng X với các sai số lần lượt là $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$
- Sắp xếp các sai số theo độ lớn thành từng nhóm riêng biệt n_1, n_2, \dots, n_m
 - ❖ n_1 sai số nằm trong khoảng $0 - 0,01$
 - ❖ n_2 sai số nằm trong khoảng $0,01 - 0,02$
 - ❖ n_3 sai số nằm trong khoảng $0,02 - 0,03$

$$\nu_1 = \frac{n_1}{n}$$

$$\nu_2 = \frac{n_2}{n}$$



Sai số ngẫu nhiên

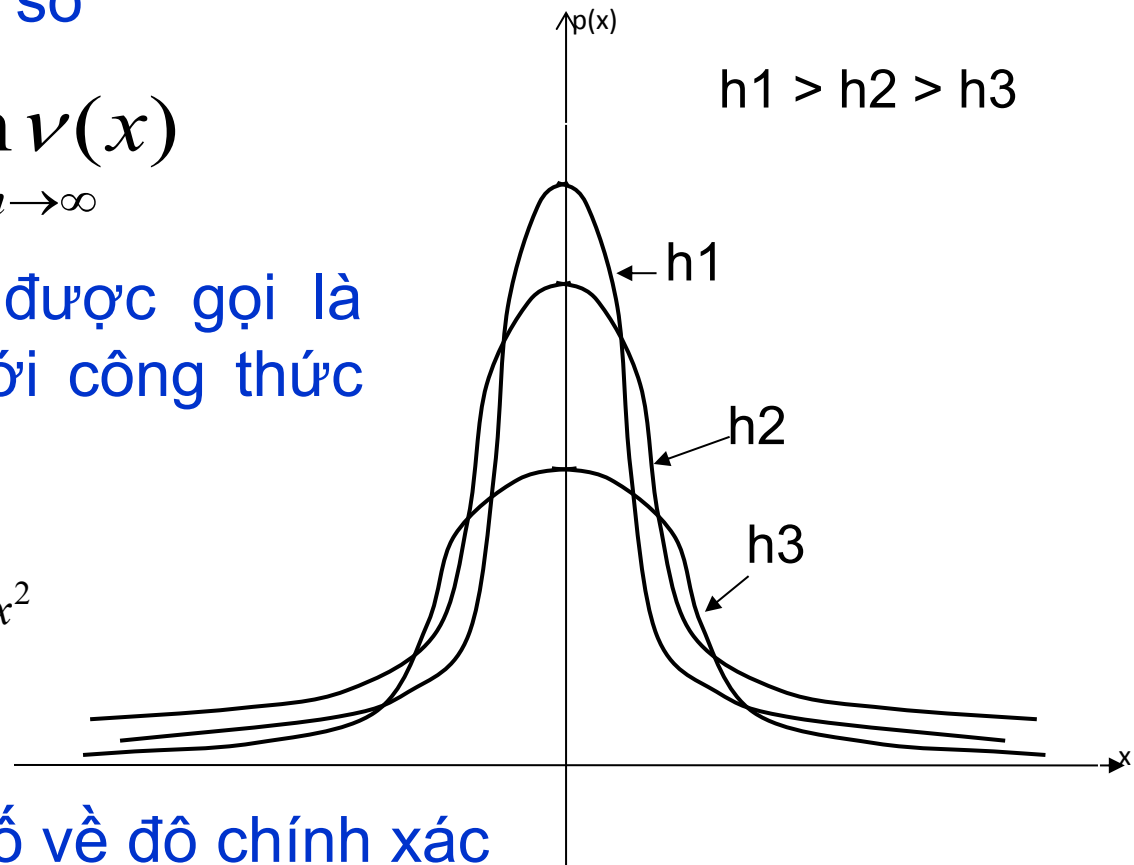
- Khi thực hiện phép đo nhiều lần, n tiến tới vô cùng, theo quy luật tiêu chuẩn của lý thuyết xác suất biểu đồ trên sẽ tiến đến một đường cong trung bình $p(x)$ gọi là hàm phân bố tiêu chuẩn sai số

$$p(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \nu(x)$$

- Hàm $p(x)$ còn được gọi là hàm Gausse với công thức sau:

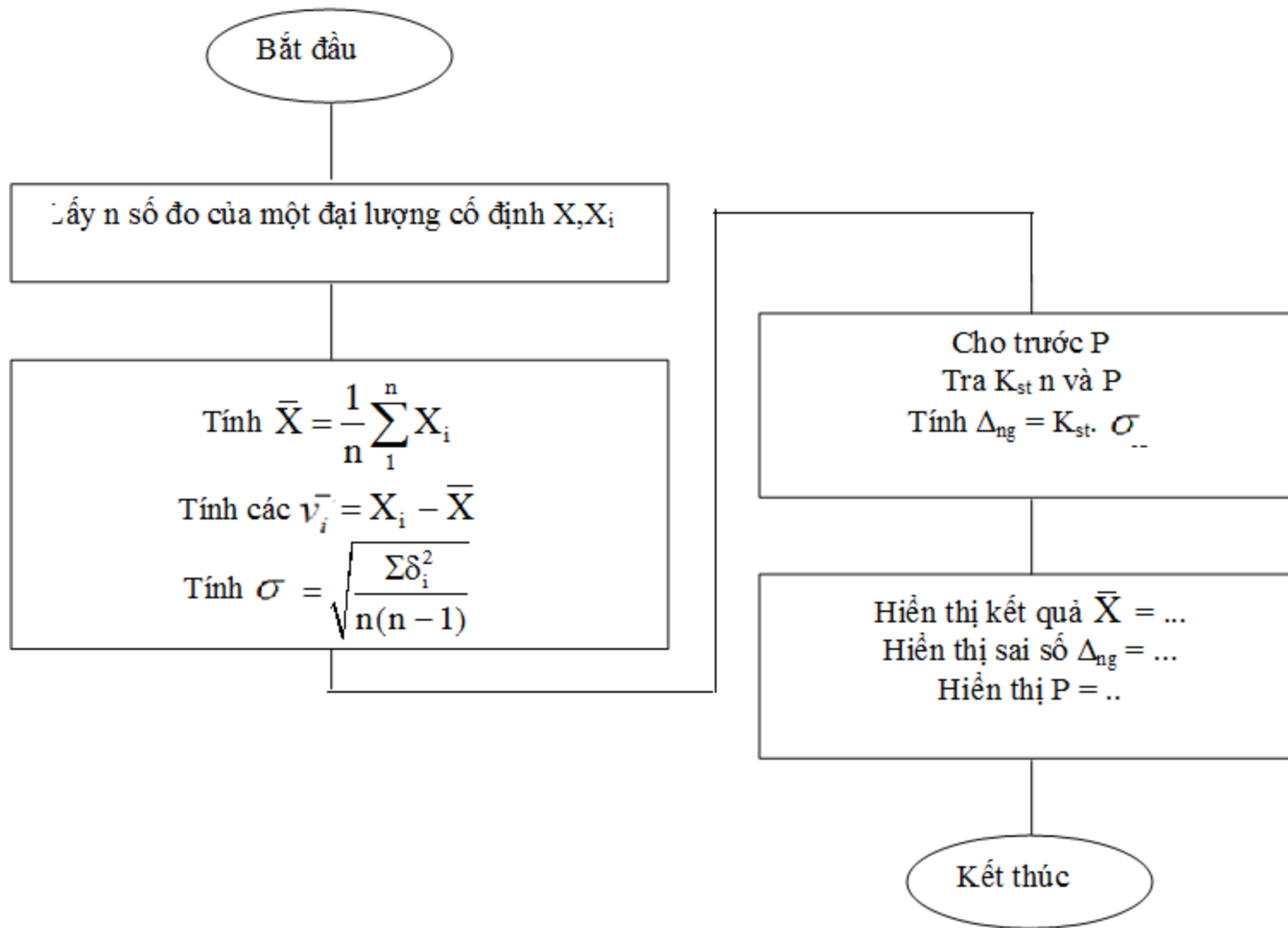
$$p(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 x^2}$$

với h là tham số về độ chính xác



Các bước tính sai số ngẫu nhiên

Lưu đồ thuật toán



Các bước tính sai số ngẫu nhiên

- *Tính ước lượng kì vọng toán học m_X của đại lượng đo: chính là giá trị trung bình đại số của n kết quả đo.*

$$m_X = \overline{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n},$$

- *2. Tính độ lệch của kết quả mỗi lần đo so với giá trị trung bình vi: $v_i = x_i - \overline{X} \rightarrow$ tính δ*

- *Tính khoảng giới hạn của sai số ngẫu nhiên: được tính trên cơ sở đường phân bố chuẩn: $\Delta = [\Delta_1, \Delta_2]$; thường chọn: $\Delta = [\Delta_1, \Delta_2]$ với: h: hệ số student*

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n.(n-1)}}, \quad \Delta_1 = \Delta_2 = h \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n.(n-1)}},$$

Ví dụ

TT	Kết quả	$v_i = X_i - \bar{X}$	$v_i^2 = (X_i - \bar{X})^2$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)}}$ $\sigma = 0,076$ <p>Chọn: $P = 0,99$.</p> <p>Tra bảng Student:</p> <p>$(n = 10, P = 0,99)$</p> <p>$K_{st} = 3,25$</p> <p>$\Delta_{ng} = 3,25 \cdot 0,076 = 0,247$</p> <p>Kết quả</p> <p>$100,013V < X < 100,507V$</p> <p>với xác suất tin cậy $P = 0,99$</p>
1	100,5	+0,34	0,0576	
2	100,4	+0,14	0,0196	
3	100,6	+0,34	0,1156	
4	100,2	-0,06	0,0036	
5	100,2	-0,06	0,0036	
6	99,91	-0,36	0,1296	
7	100,4	+0,14	0,0196	
8	100,4	+0,14	0,0196	
9	100,1	-0,16	0,0256	
10	99,9	-0,36	0,1296	
11	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10}$	$\bar{v}_i = \frac{\sum v_i}{10}$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)}}$	
12	100,26	0,00		

Sai số ngẫu nhiên

P_s									
n	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	1,000	1,376	1,963	3,08	6,31	12,71	31,8	63,7	636,6
3	0,816	1,061	1,336	1,886	2,92	4,30	6,96	6,92	31,6
4	0,765	0,978	1,250	1,638	2,35	3,18	4,54	5,84	12,9
5	0,741	0,941	1,190	1,533	2,13	2,77	3,75	4,60	8,61
6	0,727	0,920	1,156	1,476	2,02	2,57	3,36	4,03	6,86
7	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,45	3,14	3,71	5,96
8	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,36	3,00	3,50	5,40
9	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,31	2,90	3,36	5,04
10	0,703	0,883	1,110	1,383	1,833	2,26	2,82	3,25	4,78
11	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,23	2,76	3,17	4,59
12	0,697	0,976	1,088	1,363	1,796	2,20	2,72	3,11	4,49
13	0,665	0,873	1,083	1,356	1,782	2,18	2,68	3,05	4,32
14	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,16	2,65	3,01	4,22
15	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,14	2,62	2,98	4,14
16	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,13	2,60	2,95	4,07
17	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,12	2,58	2,92	4,02
18	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,11	2,57	2,90	3,96
19	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,10	2,55	2,88	3,92
20	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,09	2,54	2,86	3,88
□	0,674	0,842	1,036	2,282	1,645	1,960	2,33	2,58	3,29

Bài tập

- Đo 13 lần một giá trị điện áp U với độ chính xác như nhau bằng điện thế kế một chiều. Xác định khoảng đáng tin, cho trước xác suất đáng tin $P = 0,98$. Cho $k_{st}(13 \text{ điểm đo}) = 2,72$.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
U(V)	100,05	100,04	100,06	100,02	99,99	100,05	100,02	100,04	99,99	100,01	100,04	100,04	100,01

Sai số cộng tính, sai số nhân tính

- Xét theo quan hệ ΔX và X , ta có thể chia sai số tuyệt đối ΔX thành 2 thành phần:

$$\Delta X = \Delta X_a + \Delta X_m$$

- Trong đó:

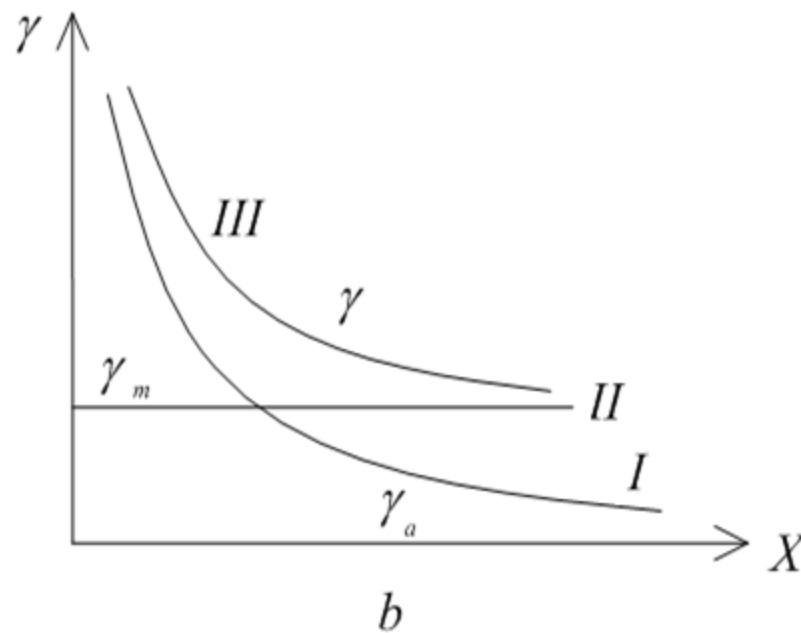
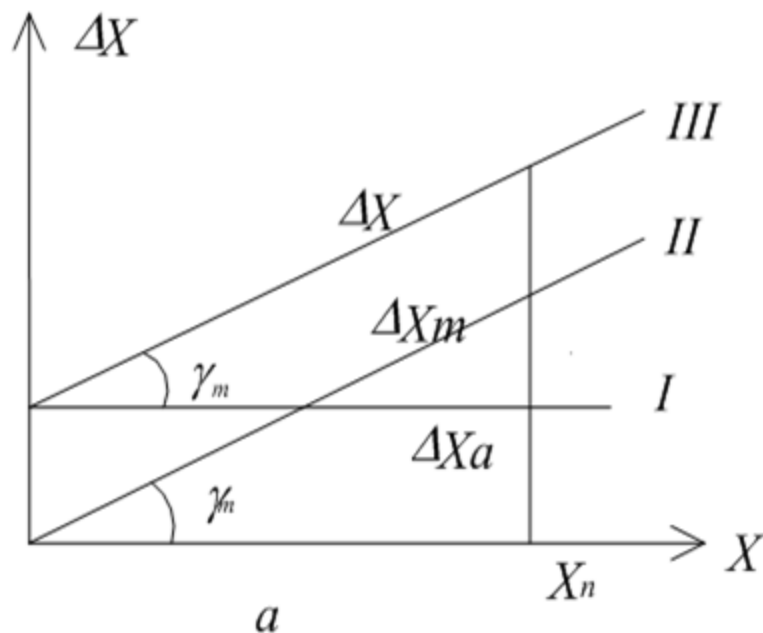
ΔX : Sai số tuyệt đối.

ΔX_a : Sai số cộng tính (additif) là sai số mà giá trị của nó không phụ thuộc vào đại lượng đo X .

ΔX_m : Sai số nhân tính (multiplicatif) là sai số mà giá trị của nó tỷ lệ với X .

Sai số cộng tính, sai số nhân tính

- Sai số cộng tính ΔX_a là một đường thẳng nằm ngang.
- Sai số nhân tính ΔX_m tỷ lệ với X là 1 đường thẳng có góc nghiêng là $\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X}$



Sai số cộng tính và nhân tính
a. Sai số tuyệt đối; b. Sai số tương đối

Sai số công tính, sai số nhân tính

- Sai số cộng tính và nhân tính của thiết bị đo trong hình vẽ:

$\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X}$ không thay đổi theo X biểu diễn bằng đường nằm ngang I,

$\gamma_a = \frac{\Delta X_a}{X}$ giảm dần theo X (đường II) và sai số tương đối tổng hợp

$\gamma = \gamma_a + \gamma_m$ thay đổi theo X và có dạng $\gamma = \gamma_m + \frac{\Delta X_a}{X}$

Nếu xét về sai số tương đối quy đổi của một thiết bị đo ta có thể tính

$$\gamma = \gamma_m + \frac{\Delta X_a}{X_n}$$

Và $\gamma\% = \gamma_m \% \text{ of reading} + \gamma_a \% \text{ full scale}$

Cấp chính xác của thiết bị đo

- Các thiết bị đo lường trên thị trường là các thiết bị đã được kiểm nghiệm chất lượng theo các cấp như trên, kết quả kiểm nghiệm sẽ xác định được cấp chính xác. Chúng thường được ghi trên vỏ máy, catalogue giới thiệu sản phẩm, hoặc tra trong sổ tay kỹ thuật, thông thường chỉ những trường hợp đặc biệt ta mới quan tâm tới thông số này.

Cấp chính xác của thiết bị đo

Tuỳ theo tính chất của thiết bị đo, cấp chính xác của chúng được quy định theo nhiều cách khác nhau. Sau đây là các cách thể hiện của cấp chính xác thiết bị đo.

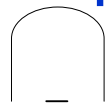
a) Đối với các thiết bị đo mà tính chính xác được thể hiện bằng sai số tuyệt đối của nó, người ta phân các thiết bị đo thành các cấp 0, cấp 1, cấp 2, cấp 3,...

■ Ví dụ:

- ❖ Pin mẫu cấp 0 là pin mẫu quốc gia được xác định theo trình độ quốc gia đó.
- ❖ Pin mẫu cấp 1 là pin mẫu dùng ở các phòng thí nghiệm quốc gia, sai số tuyệt đối của nó không vượt quá $50\mu\text{V}$ trong 1 năm.
- ❖ Pin mẫu cấp 2 sai số tuyệt đối hay dao động điện áp so với pin mẫu cấp 0 không vượt quá $100\mu\text{V}$ trong 1 năm.
- ❖ Pin mẫu cấp 3 là pin mẫu công tác, dao động điện áp không quá $300\mu\text{V}$ trong một năm..

Cấp chính xác của thiết bị đo

- b) Đối với thiết bị đo mà sai số chủ yếu là sai số cộng tính.
- Cấp chính xác của thiết bị đo được sắp xếp theo sai số tương đối quy đổi của chúng tính theo %.
 - Ví dụ: Các dụng cụ cơ điện; sai số chủ yếu là do ma sát giữa trục và trụ của cơ cấu đo; sai số có tính cộng tính. Cấp chính xác của loại dụng cụ cơ điện được sắp xếp theo sai số tương đối quy đổi.
 - Ở nước ta, các dụng cụ đo cơ điện được chia làm 8 cấp chính xác: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 4.
 - **Ký hiệu** KI . 2,5 hay class 2,5 hay đơn giản hơn là 2,5 ghi bên trái của mặt dụng cụ sau ký hiệu về nguyên lí làm việc của dụng cụ



1: cấp chính xác là 1 mà chủ yếu là sai số cộng tính

Cấp chính xác của thiết bị đo

- c) Đối với thiết bị đo mà trong ấy sai số nhân tính trội hơn sai số cộng tính. Sai số tương đối khi dùng thiết bị đo được tính: $\beta = \frac{\Delta X}{X} = \gamma_m$ γ_m không phụ thuộc vào X. Cấp chính xác của thiết bị đo này được định nghĩa là giá trị % của γ_m .
- Ký hiệu cấp chính xác của loại này được ghi là con số phần trăm của γ_m ở trong vòng tròn nằm ở phía bên trái thang chia độ sau ký hiệu về nguyên lý hoạt động của dụng cụ.
- Ví dụ ① có nghĩa là thiết bị đo có sai số nhân tính không vượt quá 1%. Sai số chủ yếu là nhân tính

Cấp chính xác của thiết bị đo

- d. Đối với thiết bị đo mà sai số cộng tính và nhân tính cùng cỡ như nhau; thì sai số cơ bản gồm 2 thành phần: Sai số tương đối cộng tính phụ thuộc vào giá trị X và sai số nhân tính không phụ thuộc vào giá trị đo.
- Sai số tương đối khi sử dụng thiết bị đo ấy được viết dưới dạng.

$$\beta = \pm \left[C + d \left(\frac{X_n}{X} - 1 \right) \right]$$

$C = \gamma_{aqd} + \gamma_m$: Tổng sai số tương đối cộng tính và nhân tính quy đổi về thang đo

$d = \gamma_{aqd}$: Sai số cộng tính quy đổi

Cấp chính xác của dụng cụ đo được ghi tỷ số c/d

Cấp chính xác của thiết bị đo

- Ví dụ: Cấp 0,03/0,01
- Có nghĩa là $C = \gamma_{\text{aqd}} + \gamma_m = 0.03\%$
 - $D = \gamma_{\text{aqd}} = 0.01\%$
- Tức là $\gamma_m = 0.02\%$
 $\gamma_{\text{aqd}} = 0.01\%$
- Một volmet có thang đo là 300V, trên volmet ghi 0.03/0.01.
Kết quả đo volmet chỉ 100V, sai số của phép đo là bao nhiêu

Sự kết hợp của các sai số

- Ở những phép đo có sử dụng nhiều dụng cụ đo hay nhiều phép đo thì các sai số hệ thống có xu hướng tích tụ lại, khi đó sai số của toàn bộ hệ thống thường lớn hơn bất kỳ sai số của phép đo đơn lẻ nào.
- Khi tính toán cần giả định rằng sai số kết hợp với nhau theo hướng bất lợi nhất.
 - ❖ Sai số của tổng các đại lượng
 - ❖ Sai số của hiệu các đại lượng
 - ❖ Sai số của tích các đại lượng
 - ❖ Sai số của thương các đại lượng

Sự kết hợp của các sai số

■ Sai số của tổng các đại lượng

$$\begin{aligned}E &= (V_1 \pm \Delta V_1) + (V_2 \pm \Delta V_2) \\&= (V_1 + V_2) \pm (\Delta V_1 + \Delta V_2)\end{aligned}$$

■ Sai số của hiệu các đại lượng

$$\begin{aligned}E &= (V_1 \pm \Delta V_1) - (V_2 \pm \Delta V_2) \\&= (V_1 - V_2) \pm (\Delta V_1 + \Delta V_2)\end{aligned}$$

■ Ví dụ:

$$E1 = 100V \pm 2V = 100V \pm 2\%$$

$$E2 = 80V \pm 4V = 80V \pm 5\%$$

$$E1 + E2 = 180V \pm 6V = 180V \pm 3,3\%$$

$$E1 - E2 = 20V \pm 6V = 20V \pm 30\%$$

Từ đó ta thấy sai số % trong hiệu của các đại lượng rất lớn nên cần tránh các phép đo có bao hàm phép hiệu của các đại lượng.

Sự kết hợp của các sai số

■ Sai số của tích các đại lượng

$$\begin{aligned}E &= (V_1 \pm \Delta V_1)(V_2 \pm \Delta V_2) \\&= V_1.V_2 \pm V_1.\Delta V_2 \pm V_2.\Delta V_1 \pm \Delta V_1.\Delta V_2 \\&\approx V_1.V_2 \pm (V_1.\Delta V_2 + V_2.\Delta V_1)\end{aligned}$$

$$\gamma = \delta E = \pm \left(\frac{V_1.\Delta V_2 + V_2.\Delta V_1}{V_1 V_2} \right).100\% = \left(\pm \frac{\Delta V_1}{V_1} \pm \frac{\Delta V_2}{V_2} \right).100\%$$

Nhận xét: sai số tương đối của tích hai đại lượng bằng tổng sai số tương đối của từng thành phần.

■ Trường hợp riêng, khi nâng lên lũy thừa

$$\delta(E^\alpha) = \alpha.\delta E$$

Sự kết hợp của các sai số

■ Sai số của thương các đại lượng

$$E = \frac{V_1 \pm \Delta V_1}{V_2 \pm \Delta V_2} \approx \frac{V_1}{V_2}$$

$$\gamma = \delta E = \pm(\delta V_1 + \delta V_2)$$

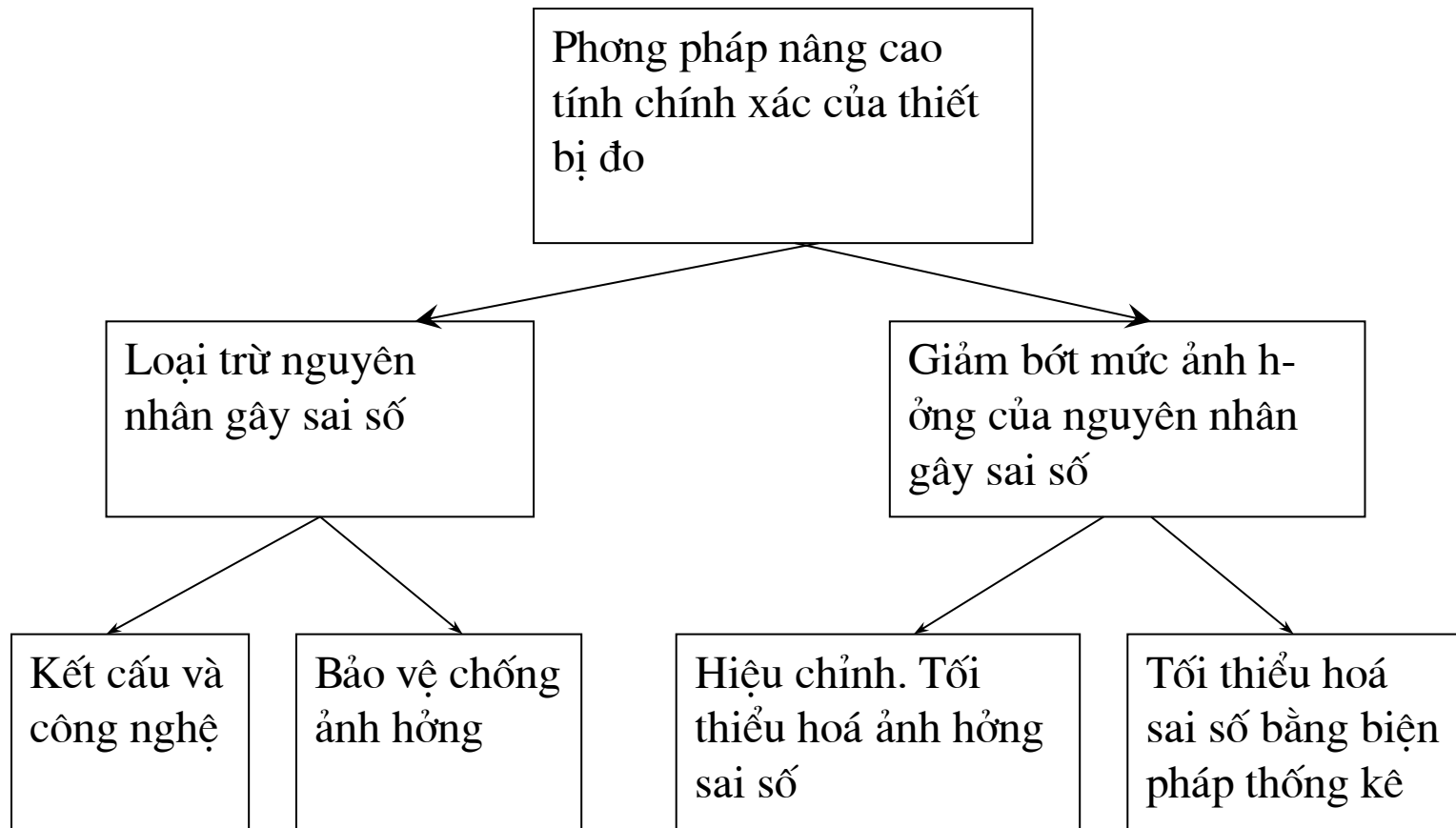
Sự kết hợp của các sai số

2. Một nguồn 12V được mắc với một điện trở $470 \pm 10\%$. Điện áp của nguồn được đo bằng một vôn kế có khoảng đo 25V và độ chính xác là 3%.

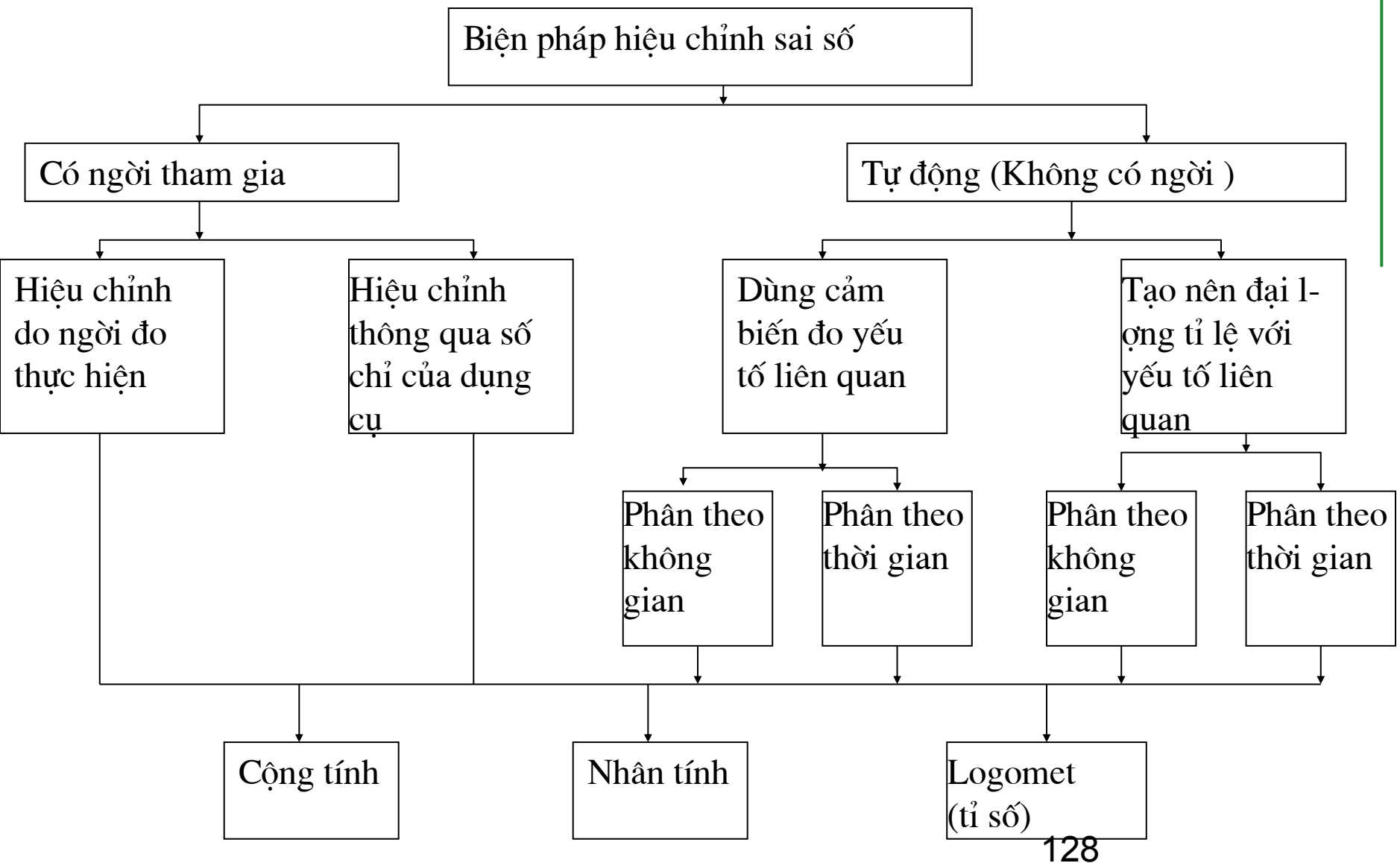
Tính công suất của điện trở và sai số của phép đo

3. Một Vôn kế có thang đo 30V và độ chính xác 4%, ampe kế có thang đo 100mA và độ chính xác 1% được sử dụng để đo điện áp và dòng điện qua điện trở R. Kết quả đo là 25V và 90mA. Hãy tính giá trị R và P_{\min} và P_{\max}

Một số biện pháp nâng cao cấp chính xác của thiết bị đo



Phương pháp hiệu chỉnh



Kiểm định phương tiện đo lường

- Kiểm tra giấy phép sản xuất và lưu hành
 - ❖ Đây là kiểm tra dùng để tư vấn cho cơ quan nhà nước cấp giấy phép sản xuất, cấp giấy chứng nhận thương hiệu
 - ❖ Nội dung kiểm tra đúng theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn nhà nước
 - ❖ Thiết bị nhập ngoại cũng phải kiểm định trước khi đưa ra lưu hành.
- Kiểm tra xuất xưởng
 - ❖ Hội đồng kiểm tra chất lượng sản phẩm định tiêu chuẩn cụ thể cho từng đặc tính kỹ thuật của thiết bị đo được sản xuất.
 - ❖ Mẫu của biên bản thử nghiệm phải được hội đồng duyệt. Biên bản này coi như một phần của công tác bảo hành.
 - ❖ Cơ quan quản lý đo lường, theo chu kỳ hoặc đột xuất , tiến hành kiểm tra sản xuất và xét tính trung thực của băng thử nghiệm.
- Kiểm tra định kỳ
 - ❖ Mỗi lần kiểm tra định kỳ, thiết bị được cấp một chứng chỉ và kết quả đo bởi dụng cụ ấy được coi có giá trị pháp nhân.
 - ❖ Hội đồng tiêu chuẩn nhà nước tổ chức các trung tâm đo lường được uỷ quyền thực hiện các phép kiểm tra cấp giấy chứng chỉ lưu hành.