

Bộ môn Kỹ thuật điện tử

Kỹ thuật đo lường điện tử

2 tín chỉ

Nội dung môn học

- Các khái niệm cơ bản về đo lường các đại lượng vật lý
- Cấu tạo, nguyên lý hoạt động của các thiết bị đo
- Đo lường các thông số mạch điện
- Đo dòng điện, điện áp
- Đo công suất, đo góc pha, đo tần số
- Giới thiệu hệ thống đo các đại lượng không điện

Đánh giá môn học

- Điểm chuyên cần: 10%
- Kiểm tra: 20%
- Thi kết thúc học phần: 70%
- Hình thức thi: Trắc nghiệm + Tự luận
- Thời gian 60 phút không sử dụng tài liệu

Nội dung buổi 1

- Định nghĩa đo lường
- Phương pháp đo
- Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo
- Đặc tính của thiết bị đo
- Sai số và gia công kết quả đo lường

Định nghĩa đo lường

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**

Phương trình mô tả đo lường

$$A_x = \frac{X}{X_0} \rightarrow X = A_x \cdot X_0$$

A_x

Kết quả đo lường

X

Đại lượng cần đo

X_0

Đại lượng đơn vị đo

Đo điện áp $U = 4 \text{ V}$

U là đại lượng cần đo

4 là kết quả đo

V đại lượng đo điện áp

Định nghĩa đo lường

$$A_x = \frac{X}{X_0} \quad \rightarrow \quad X = A_x \cdot X_0$$

Để có được kết quả đo lường cần trải qua:

- Biến đổi tín hiệu và tin tức
- So sánh với đơn vị đo hoặc so sánh với mẫu trong quá trình đo
- Chuyển đơn vị, mã hóa để có kết quả đo tương ứng với đơn vị đo

Thiết bị đo và thiết bị mẫu

- Thiết bị đo là hệ thống mà đại lượng vào là đại lượng đo, đại lượng ra được chỉ trên thiết bị (kết quả cùng với đại lượng đo)



Ampe kìm



Đồng hồ vạn năng



Máy hiện số cầm tay



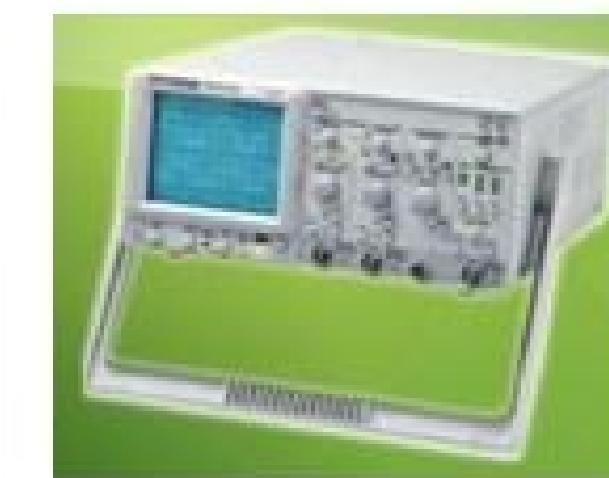
Thiết bị đo LCR



Thiết bị hiệu chuẩn



Máy hiện sóng loại số



Máy hiện sóng loại tương tự



Đo chỉ thị pha



Đo điện trở Micro – ohms

- Thiết bị mẫu được dùng để kiểm tra và hiệu chỉnh thiết bị đo và đơn vị đo

Đại lượng đo lường

- Đại lượng đo là một thông số đặc trưng cho đại lượng vật lý cần đo. Đại lượng vật lý cần đo là dòng điện thì đại lượng đo có thể là biên độ hoặc giá trị hiệu dụng.
- Phân loại theo bản chất đối tượng đo
 - Đại lượng đo điện
 - Đại lượng đo không điện
- Phân loại theo tính chất thay đổi của đại lượng đo
 - Đại lượng đo tiền định
 - Đại lượng đo ngẫu nhiên
- Phân loại theo cách biến đổi đại lượng đo
 - Đại lượng đo liên tục
 - Đại lượng đo số

Đại lượng đo lường

- Đại lượng cơ bản theo hệ quy chiếu SI (*International System of Units*)

Tên tiếng Việt	Tên tiếng Anh	Đơn vị đo	Ký hiệu đơn vị đo
Độ dài	Length	meter	M
Khối lượng	Mass	kilogram	kg
Thời gian	Time	second	s
Dòng điện	Electric current	ampere	A
Nhiệt độ	Thermodynamic temperature	kelvin	K
Lượng vật chất	Amount of substance	mole	mol
Cường độ sáng	Luminous intensity	candela	Cd

1 m là chiều dài của đoạn đường ánh sáng truyền đi trong chân không trong khoảng thời gian $1/299\ 792\ 458$ second

Đại lượng đo lường

- Đại lượng cơ bản dẫn xuất

<i>Quantity</i>	<i>Standard unit</i>	<i>Symbol</i>	<i>Derivation formula</i>
Area	square metre	m^2	
Volume	cubic metre	m^3	
Velocity	metre per second	m/s	
Acceleration	metre per second squared	m/s^2	
Angular velocity	radian per second	rad/s	
Angular acceleration	radian per second squared	rad/s^2	
Density	kilogram per cubic metre	kg/m^3	
Specific volume	cubic metre per kilogram	m^3/kg	
Mass flow rate	kilogram per second	kg/s	
Volume flow rate	cubic metre per second	m^3/s	
Force	newton	N	kg m/s^2
Pressure	newton per square metre	N/m^2	
Torque	newton metre	N m	
Momentum	kilogram metre per second	kg m/s	

Đại lượng đo lường

- Đại lượng cơ bản dẫn xuất

<i>Quantity</i>	<i>Standard unit</i>	<i>Symbol</i>	<i>Derivation formula</i>
Moment of inertia	kilogram metre squared	kg m^2	
Kinematic viscosity	square metre per second	m^2/s	
Dynamic viscosity	newton second per square metre	N s/m^2	
Work, energy, heat	joule	J	Nm
Specific energy	joule per cubic metre	J/m^3	
Power	watt	W	J/s
Thermal conductivity	watt per metre kelvin	W/m K	
Electric charge	coulomb	C	A s
Voltage, e.m.f., pot. diff.	volt	V	W/A
Electric field strength	volt per metre	V/m	
Electric resistance	ohm	Ω	V/A
Electric capacitance	farad	F	A s/V
Electric inductance	henry	H	V s/A
Electric conductance	siemen	S	A/V
Resistivity	ohm metre	Ωm	
Permittivity	farad per metre	F/m	
Permeability	henry per metre	H/m	
Current density	ampere per square metre	A/m^2	

Đại lượng đo lường

- Đại lượng cơ bản dẫn xuất

<i>Quantity</i>	<i>Standard unit</i>	<i>Symbol</i>	<i>Derivation formula</i>
Magnetic flux	weber	Wb	V s
Magnetic flux density	tesla	T	Wb/m ²
Magnetic field strength	ampere per metre	A/m	
Frequency	hertz	Hz	s ⁻¹
Luminous flux	lumen	lm	cd sr
Luminance	candela per square metre	cd/m ²	
Illumination	lux	lx	lm/m ²
Molar volume	cubic metre per mole	m ³ /mol	
Molarity	mole per kilogram	mol/kg	
Molar energy	joule per mole	J/mol	

Đại lượng đo lường

- Các tiền tố đơn vị đo

Tên tiền tố	Giá trị ước số	Ký hiệu	Tên tiền tố	Giá trị ước số	Ký hiệu
pico	10^{-12}	p	Tera	10^{12}	T
nano	10^{-9}	n	giga	10^9	G
micro	10^{-6}	m	mega	10^6	M
mili	10^{-3}	mm	kilo	10^3	k
centi	10^{-2}	c	hecto	10^2	h
deci	10^{-1}	d	deca	10^1	da

Kết quả phép đo

- Kết quả phép đo gồm **giá trị** đo + **đại lượng** đo

$$X = X_T \pm \Delta X \quad \text{hoặc}$$

$$X_T - \Delta X < X < X_T + \Delta X$$

giá trị đo

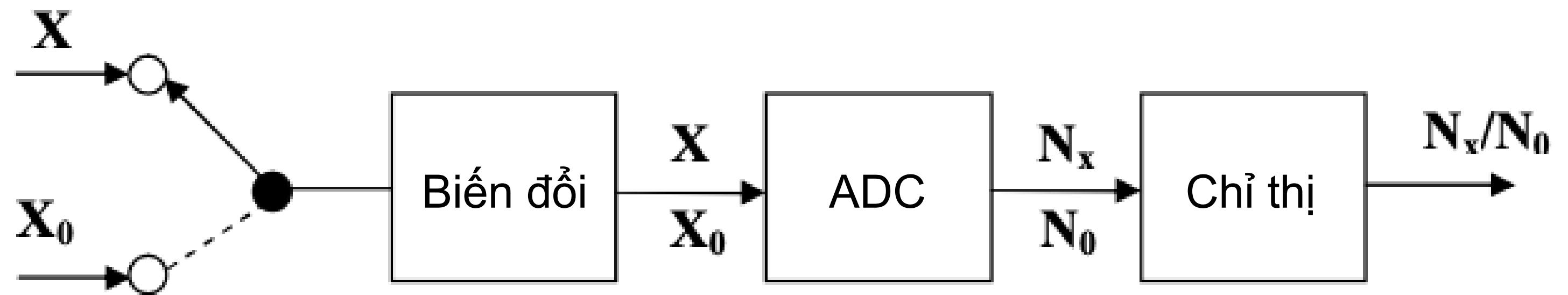
giá trị thực

ΔX Sai lệch giữa giá trị đo và giá trị thực

- Giá trị thực luôn là một giá trị không được xác định chính xác
- Giá trị đo là giá trị thu được từ kết quả đo, được đánh giá thông qua **độ tin cậy** của phép đo và ΔX

Phương pháp đo

- Đo biến đổi thẳng



1. Quá trình khắc độ

$$X = \frac{N_x}{N_0} \cdot X_0$$

Thực hiện đo lường các đại lượng mẫu X_0 → ghi nhận lại giá trị chỉ thị tương ứng

Sử dụng 1 thanh gỗ dài, làm phẳng để đo các thước mẫu có độ dài 1 cm, 2 cm,.... để vạch ra các vạch tương ứng lên thanh gỗ

2. Thực hiện đo

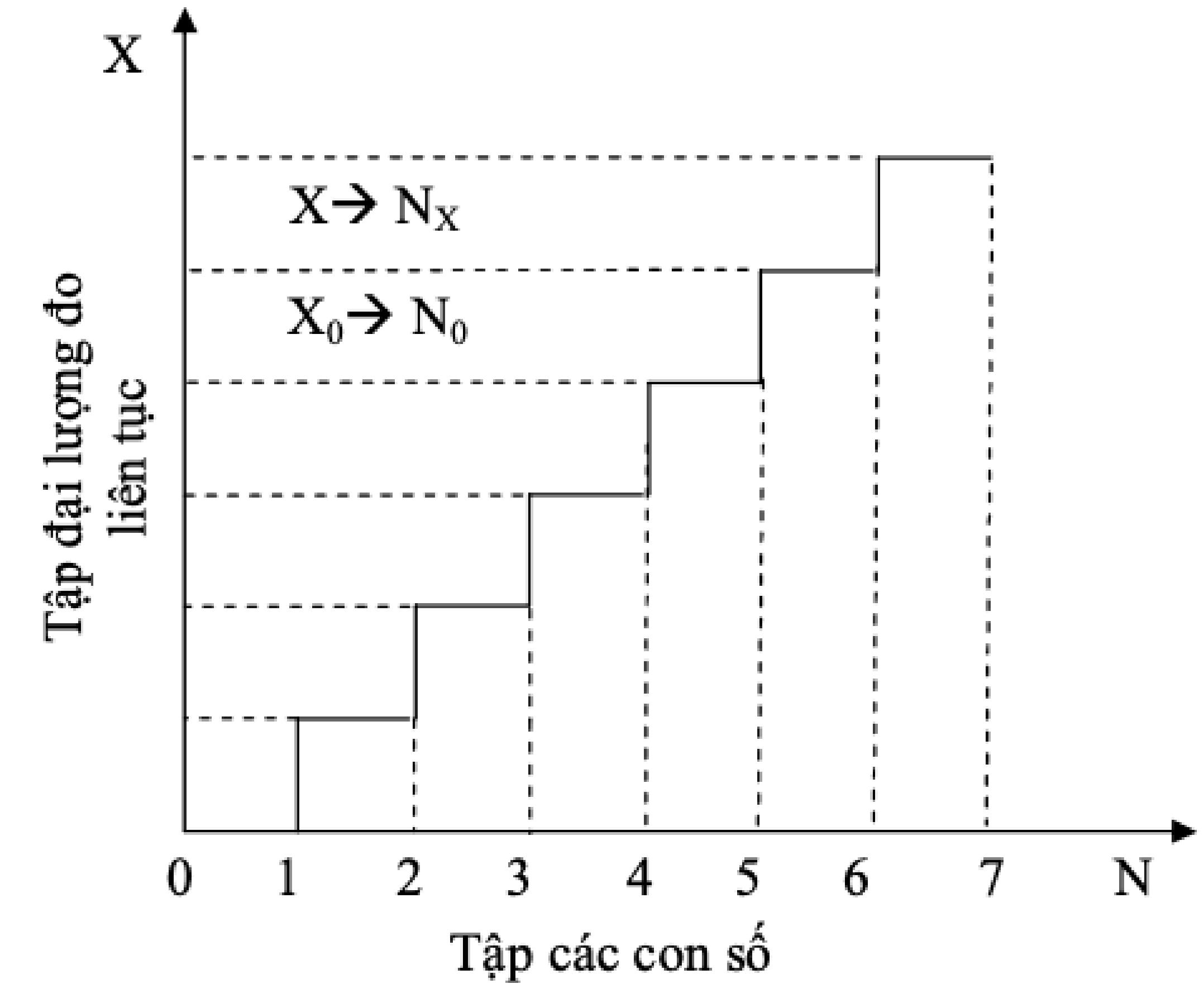
Với dụng cụ đo đã được khắc độ, ta có thể dùng để đo đại lượng tương ứng bất kỳ

Phương pháp đo

- Đo biến đổi thẳng

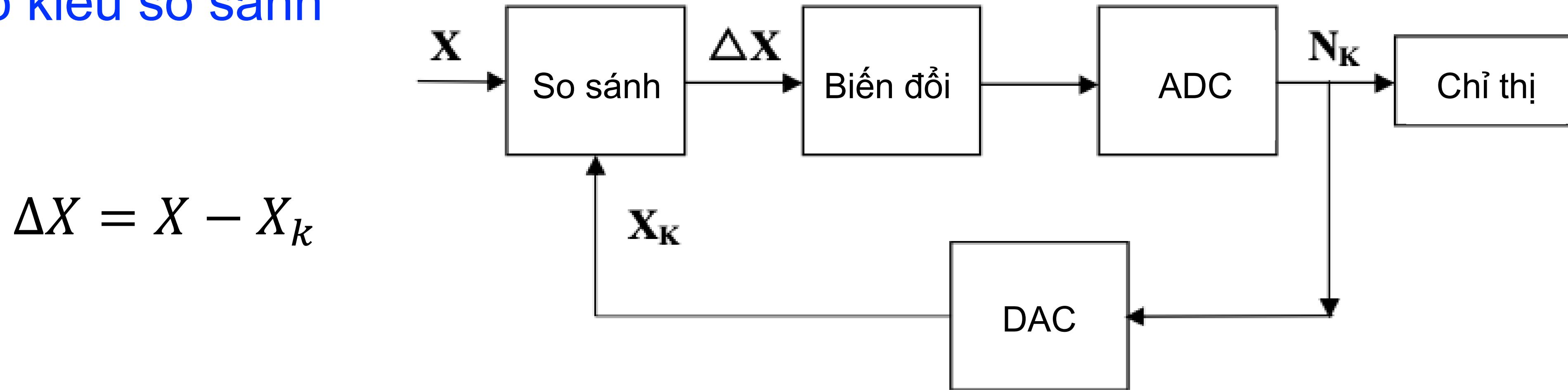
Giá trị đo chỉ có ý nghĩa tại những điểm khắc độ khi có mẫu tương ứng

Những giá trị không tương ứng với vạch chia độ thì có thể làm tròn



Phương pháp đo

- Đo kiểu so sánh



Đại lượng cần đo được so sánh với đại lượng mẫu

Nếu tồn tại sai lệch, mẫu được điều chỉnh tương ứng đến khi sai lệch là nhỏ nhất có thể



Phương pháp đo

- Đo kiểu so sánh

So sánh cân bằng là phép đo mà có thể thực hiện điều chỉnh sao cho

$$\Delta X = X - X_k = 0$$

Khi đó

$$X = X_k = N_k \cdot X_0$$

So sánh không cân bằng là phép đo mà $\Delta X \neq 0$

Khi đó

$$X = X_k + \Delta X = N_k \cdot X_0 + \Delta X$$

Phương pháp đo

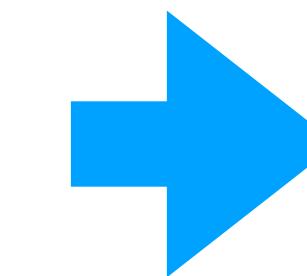
- Đo kiểu so sánh

So sánh không đồng thời

Đại lượng X tương tác với dụng cụ đo → đáp ứng N

Đại lượng mẫu $X_k \rightarrow N_k$

X_k và X “tương tác” với dụng cụ đo ở các thời điểm khác nhau



Nếu $N = N_k$ thì

$$X = X_k$$

So sánh đồng thời là phép so sánh cùng lúc nhiều điểm của đại lượng cần đo X và của mẫu X_k . Căn cứ vào các điểm trùng nhau mà tìm ra giá trị của đại lượng cần đo

Thực hiện phép đo

- Thực hiện phép đo là quá trình thu nhận kết quả đo từ dụng cụ đo

Đo biến đổi thẳng

1. Khắc độ



2. Thực hiện phép đo

- Đo trực tiếp



- Đo gián tiếp



- Đo hợp bộ, đo phức hợp

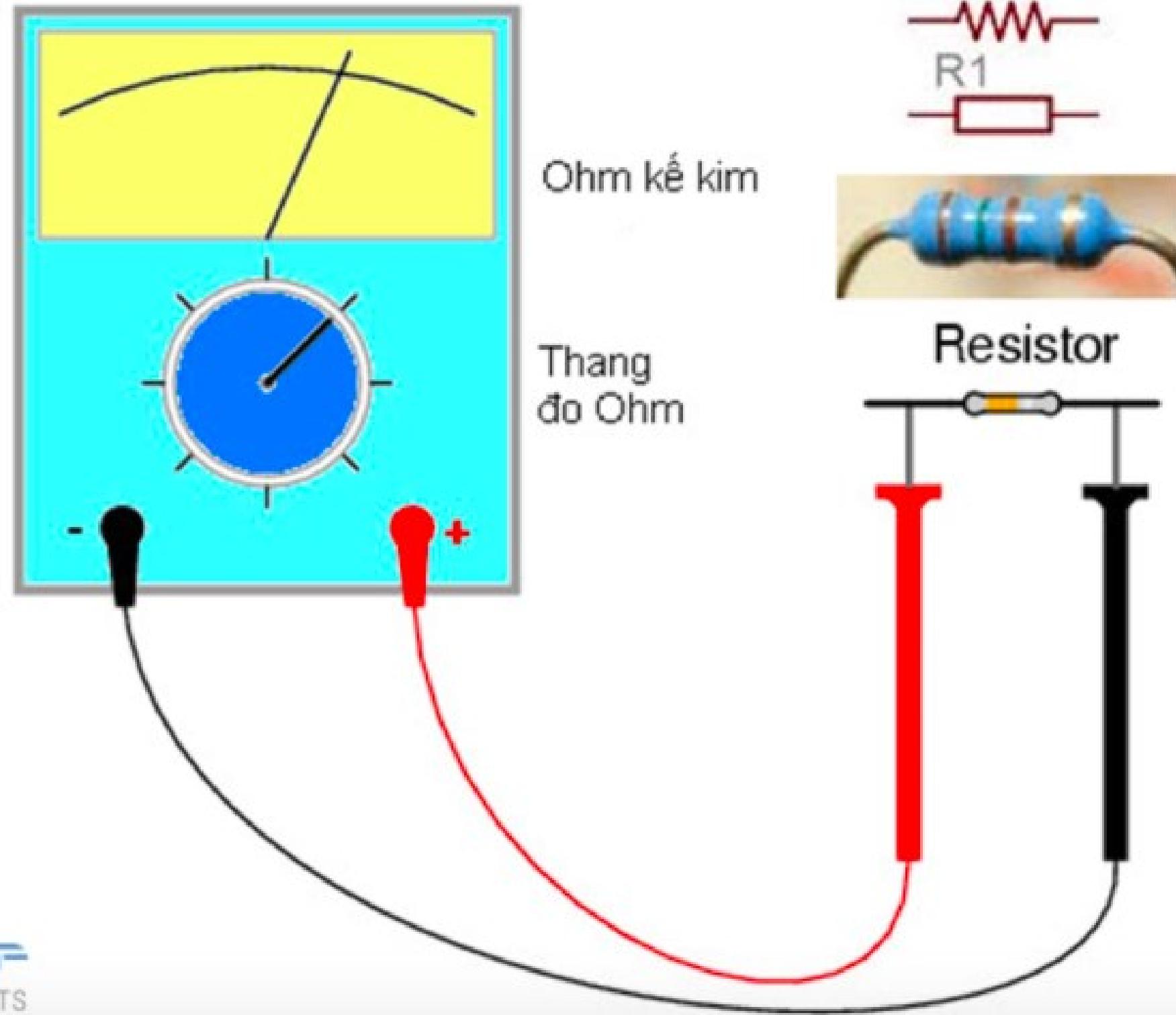
- Thống kê nâng cao độ chính xác, đo thống kê

Thực hiện phép đo

- Đo trực tiếp

Kết quả đo có thể được xác định trực tiếp ngay trên dụng cụ đo

Đo điện trở với Ohm kế



R₂

R₁

Thang
đo Ohm

Resistor

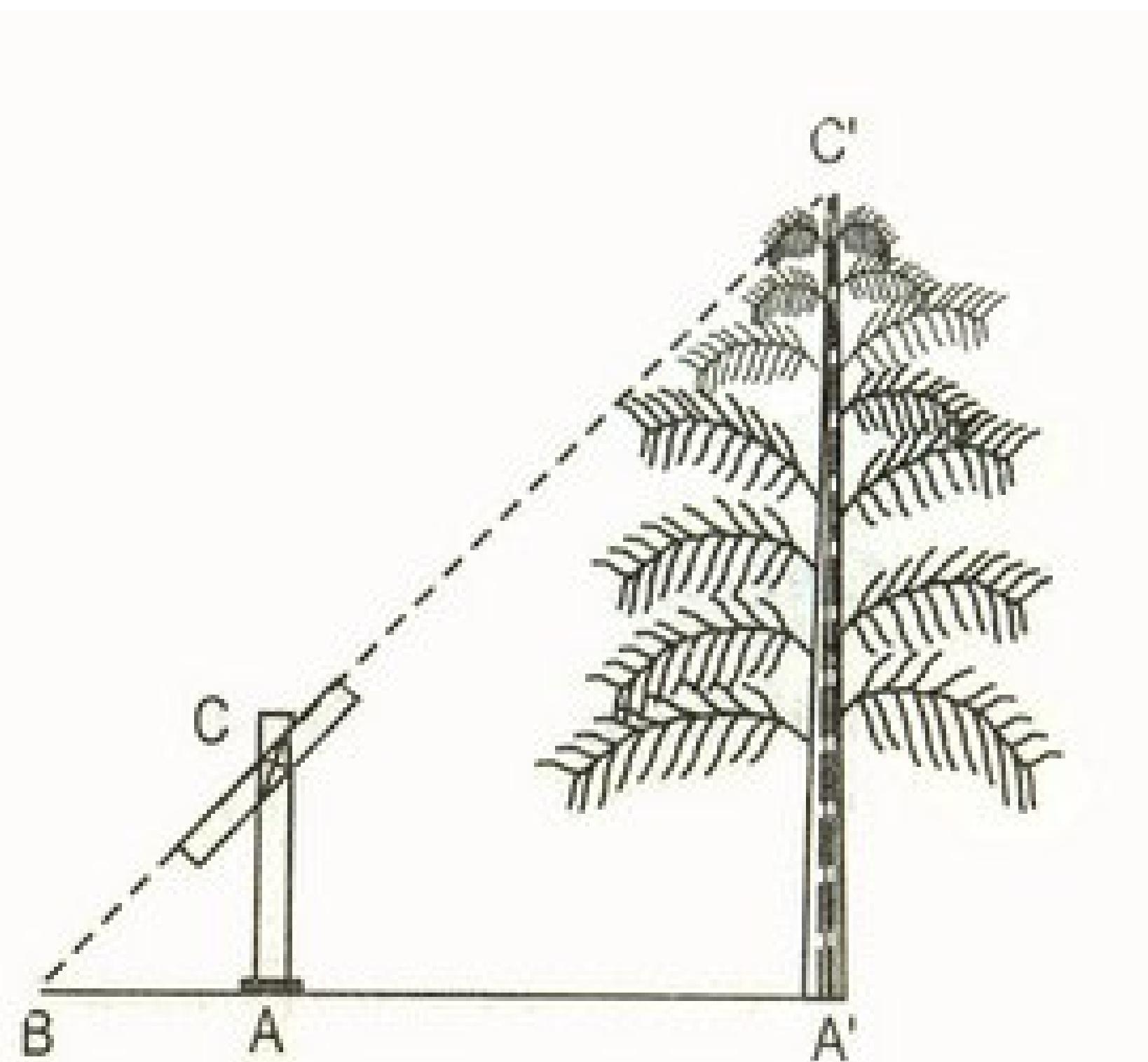
Sai số phụ thuộc
độ chính xác của
dụng cụ đo



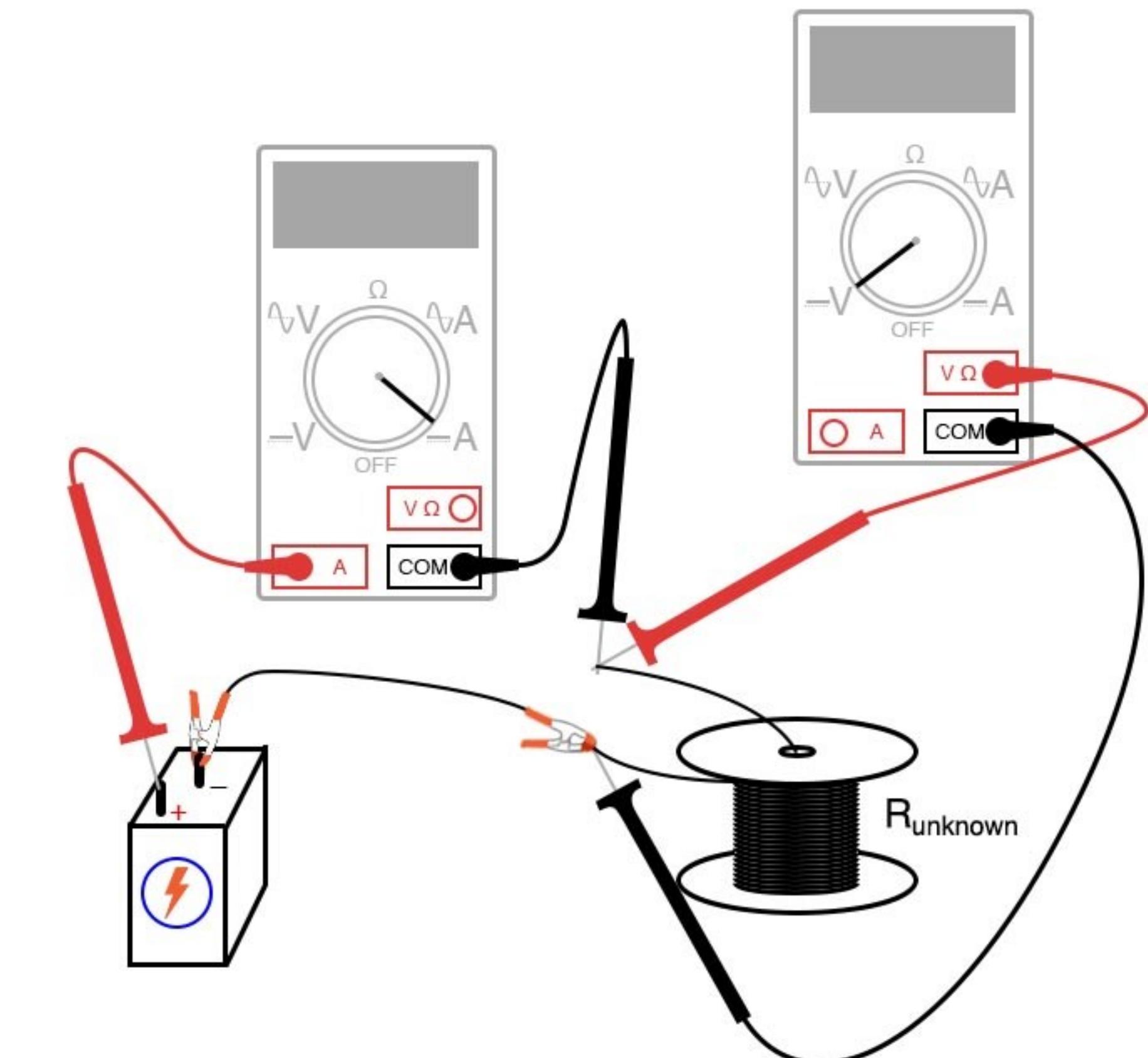
Thực hiện phép đo

- Đo gián tiếp

Kết quả đo chỉ có thể được xác định thông qua việc tính toán dựa trên các kết quả của phép đo khác



Sai số phụ thuộc
rất lớn vào phép
tính các giá trị trung
gian



Thực hiện phép đo

- Đo hợp bộ, đo phức hợp

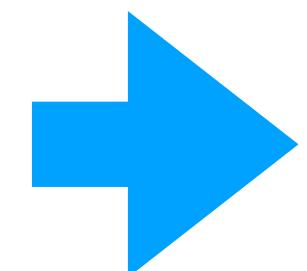
Kết quả đo được xác định từ việc giải phương trình (hệ phương trình) với các thông số của các phương trình đã biết hoặc chính là số liệu đo được

Ví dụ Nhiệt điện trở có điện trở phụ thuộc nhiệt độ

$$R_t = R_0[1 + \alpha(t - t_0) + \beta(t - t_0)^2]$$

Cần xác định các hệ số α , β mới có thể xác định được điện trở R_t ở các giá trị nhiệt độ t

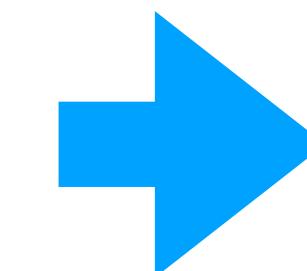
Đo điện trở R_2 ,
 R_1 và R_0 ở các
nhiệt độ t_2 , t_1 , t_0



Tính toán các hệ số α , β với các
thông số đo được

$$R_1 = R_0[1 + \alpha(t_1 - t_0) + \beta(t_1 - t_0)^2]$$

$$R_2 = R_0[1 + \alpha(t_2 - t_0) + \beta(t_2 - t_0)^2]$$



Sử dụng các hệ
số α , β tính được
để xác định R_t ở
nhiệt độ t tương
ứng bất kỳ

Thực hiện phép đo

- Thống kê nâng cao độ chính xác, đo thống kê

Đo thống kê là phương pháp áp dụng nguyên lý thống kê để nâng cao kết quả phép đo.

- Thực hiện phép đo nhiều lần
- Lấy giá trị trung bình
- Tính toán sai lệch theo xác suất thống kê

Thiết bị đo lường

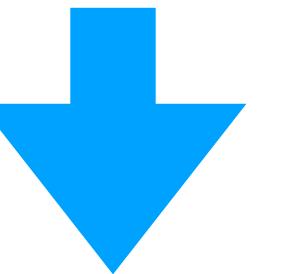
- Mẫu: là thiết bị đo để khôi phục một đại lượng vật lý nhất định. Dụng cụ mẫu cần có độ chính xác rất cao từ 0,001% đến 0,1%.
- Dụng cụ đo lường điện: là dụng cụ dùng để gia công các thông tin đo lường (tín hiệu dưới dạng điện) có quan hệ với đại lượng vật lý cần đo
- Chuyển đổi đo lường: là thiết bị để gia công tín hiệu đo lường để thuận tiện cho việc biến đổi, truyền, gia công tiếp theo, cắt giữ không cho ra kết quả trực tiếp. VD: chuyển đổi ADC, bộ phân áp, biến áp,...
- Hệ thống thông tin đo lường: là tổ hợp các thiết bị đo và những thiết bị phụ trợ để tự động thu thập số liệu từ nhiều nguồn khác nhau, truyền các thông tin đo lường qua khoảng cách và chuyển nó về dạng để tiện cho việc đo, điều khiển

Chuẩn

- Chuẩn: là các đơn vị đo tiêu chuẩn.

Ví dụ: Chuẩn Ohm (Ω) quốc tế là điện trở của cột thuỷ ngân thiết điện 1 mm^2 dài 106.3 cm ở 0°C có khối lượng $14,4521 \text{ g}$

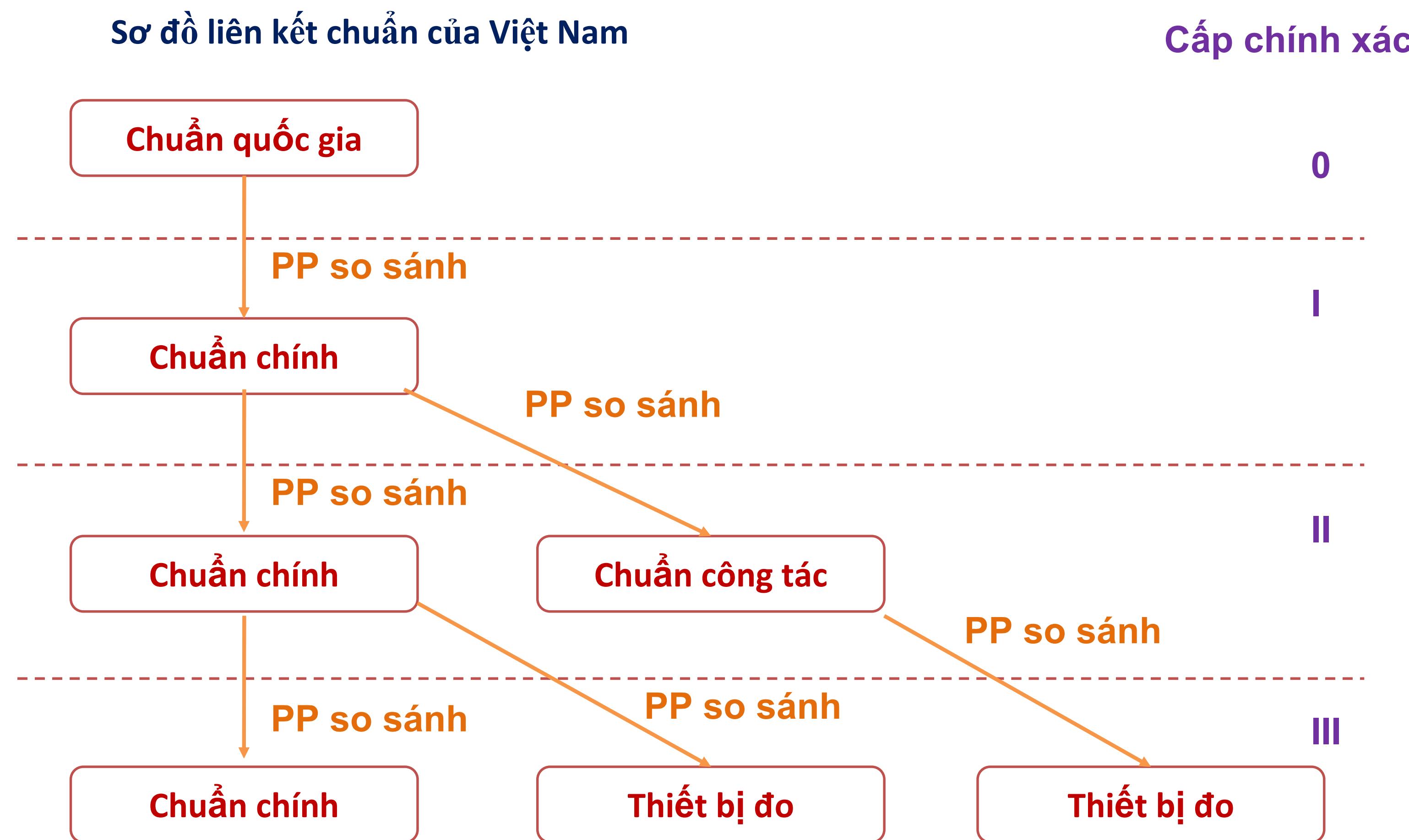
Do công nghệ chế tạo khác nhau nên chuẩn ở từng quốc gia có thể có những giá trị khác nhau dù có cùng phương pháp chế tạo



Năm 1948, công nhận khái niệm “chuẩn quốc tế”, tiền đề cho hệ thống đơn vị quốc tế thống nhất (hệ thống đơn vị SI)

Chuẩn các cấp quốc gia

- Chuẩn quốc gia là chuẩn có độ chính xác cao nhất của quốc gia và được cơ quan có thẩm quyền công nhận



Truyền chuẩn

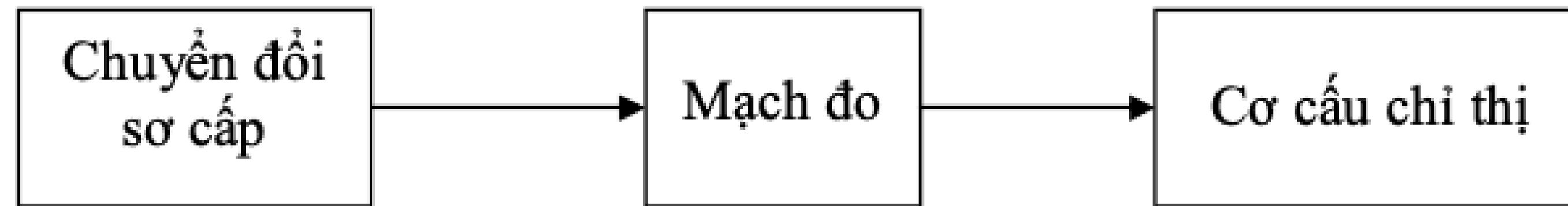
- Hiệu chuẩn là quá trình so sánh giá trị của đại lượng hiển thị trên thiết bị đo và giá trị của đại lượng tương ứng bằng chuẩn đo lường.

Ví dụ: hiệu chuẩn 1 kg là quá trình xác định sai lệch giữa 1kg cân “mẫu đang chế tạo” với 1kg cân “chuẩn” → điều chỉnh cân mẫu đang chế tạo

- Truyền chuẩn là quá trình xây dựng một “mẫu mới”, giống nhất có thể với mẫu đã được công nhận

Quá trình truyền chuẩn sẽ “nhân bản” từ một mẫu chuẩn quốc gia thành nhiều mẫu có cấp chính xác thấp hơn để đưa vào thực tế sử dụng

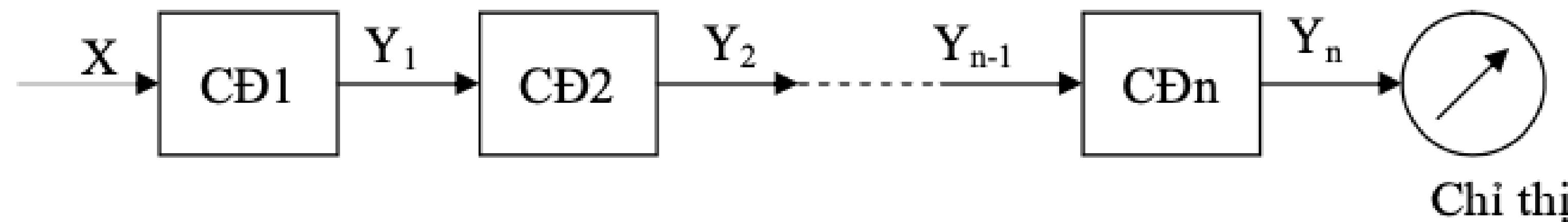
Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo



- Chuyển đổi sơ cấp: làm nhiệm vụ biến đổi các đại lượng đo thành tín hiệu điện. Đây là khâu quan trọng nhất của thiết bị đo
- Mạch đo: là khâu thu thập gia công thông tin đo sau chuyển đổi sơ cấp, làm nhiệm vụ tính toán và thực hiện các phép tính trên sơ đồ mạch
- Cơ cấu chỉ thị: là khâu cuối cùng của dụng cụ thể hiện kết quả đo dưới dạng con số so với đơn vị. Có các loại chỉ thị cơ bản: chỉ thị bằng kim, chỉ thị bằng thiết bị tự ghi, và chỉ thị số

Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo

- Dụng cụ đo biến đổi thẳng

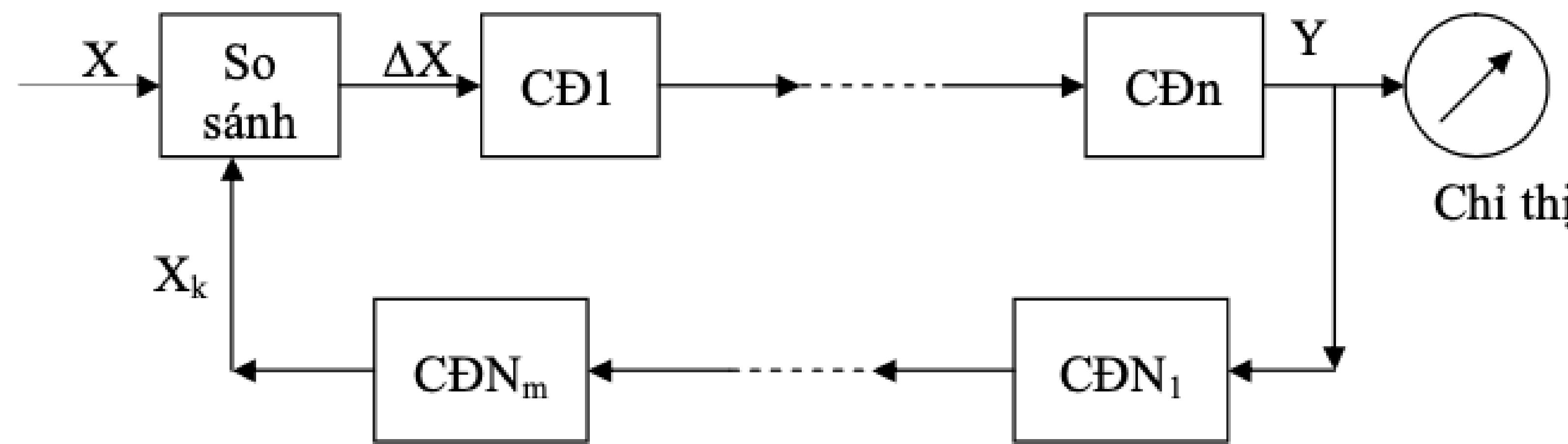


Việc biến đổi thông tin đo lường chỉ diễn ra một chiều, không có khâu phản hồi

Đại lượng đo X được đưa qua các khâu chuyển đổi $CĐ1, CĐ2, \dots$ để biến thành đại lượng Y_n tiện cho việc quan sát và chỉ thị. Y_i, Y_n là các đại lượng trung gian

Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo

- Dụng cụ đo kiểu so sánh



Dụng cụ đo này có mạch phản hồi với các bộ chuyển đổi ngược (CĐN) để tạo ra tín hiệu X_k so sánh với tín hiệu X

Mạch đo là một vòng khép kín. Sau bộ so sánh thì ta sẽ có tín hiệu $\Delta X = X - X_k$

Các đặc tính cơ bản của dụng cụ đo

- Sai số của dụng cụ đo: có thể được phân ra làm sai số hệ thống và sai số ngẫu nhiên
- Độ nhạy: là giá trị nhỏ nhất mà dụng cụ đo có thể phát hiện được

$$S = \frac{dY}{dX} = F(X)$$

- Phạm vi đo: là phạm vi thang đo là khoảng giá trị cho phép mà dụng cụ đo có thể xử lý được mà không gây tổn hại cho dụng cụ đo
- Phạm vi chỉ thị: là phạm vi giới hạn bởi giá trị đầu và giá trị cuối của thang chỉ thị

Các đặc tính cơ bản của dụng cụ đo

- Điện trở vào của dụng cụ đo và công suất tiêu thụ: điện trở vào của dụng cụ đo phải phù hợp với điện trở đầu ra của khâu trước đó. Điện trở ra xác định công suất có thể truyền tải cho khâu kế tiếp. Điện trở ra càng nhỏ thì công suất càng lớn
- Khả năng tác động nhanh: là thời gian để kết quả đo xác lập trên chỉ thị
- Độ tin cậy: được xác định bởi thời gian làm việc tin cậy trong điều kiện làm việc cho phép

Sai số phép đo ΔX

$$X = X_T \pm \Delta X \quad \text{hoặc} \quad X_T - \Delta X < X < X_T + \Delta X$$

- Sai số tuyệt đối ΔX : là hiệu giữa đại lượng đo X và giá trị thực X_T

$$\Delta X = X - X_T$$

- Sai số tương đối γ_X : được tính bằng phần trăm của tỉ số sai số tuyệt đối và giá trị thực

$$\delta_X = \frac{\Delta X}{X_T} \cdot 100 \approx \frac{\Delta X}{X} \cdot 100$$

- Sai số chiết hợp (của thiết bị đo) (còn gọi là sai số tương đối qui đổi)

$$\gamma_X = \frac{\Delta X_{Max}}{X_{Max}} \cdot 100$$

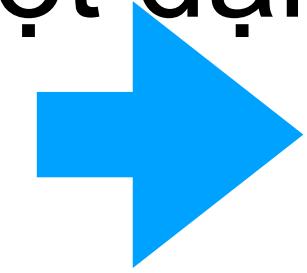
ΔX_{Max} Là giá trị sai số tuyệt đối lớn nhất mắc phải
 X_{Max} Là giá trị lớn nhất của thang đo của thiết bị

Phân loại sai số

Theo nguồn gây nên sai số

- Sai số phương pháp: là sai số sinh ra do sự không hoàn thiện của phương pháp đo
- Sai số thiết bị: là sai số gây ra bởi thiết bị đo, liên quan tới mạch đo, tình trạng dụng cụ đo
- Sai số chủ quan của người đo
- Sai số khách quan: do ảnh hưởng của điều kiện đo (nhiệt độ, độ ẩm,...)

Theo quy luật xuất hiện sai số

- Sai số hệ thống: là thành phần sai số của phép đo luôn không đổi hoặc thay đổi theo quy luật khi đo nhiều lần một đại lượng đo
- 
- Có thể loại trừ
- Sai số ngẫu nhiên: là sai số xuất hiện không tuân theo bất cứ một quy luật nào

Đánh giá sai số của phép đo trực tiếp

- Kết quả phép đo trực tiếp

$$X = X_T \pm \Delta X$$

Giá trị đo

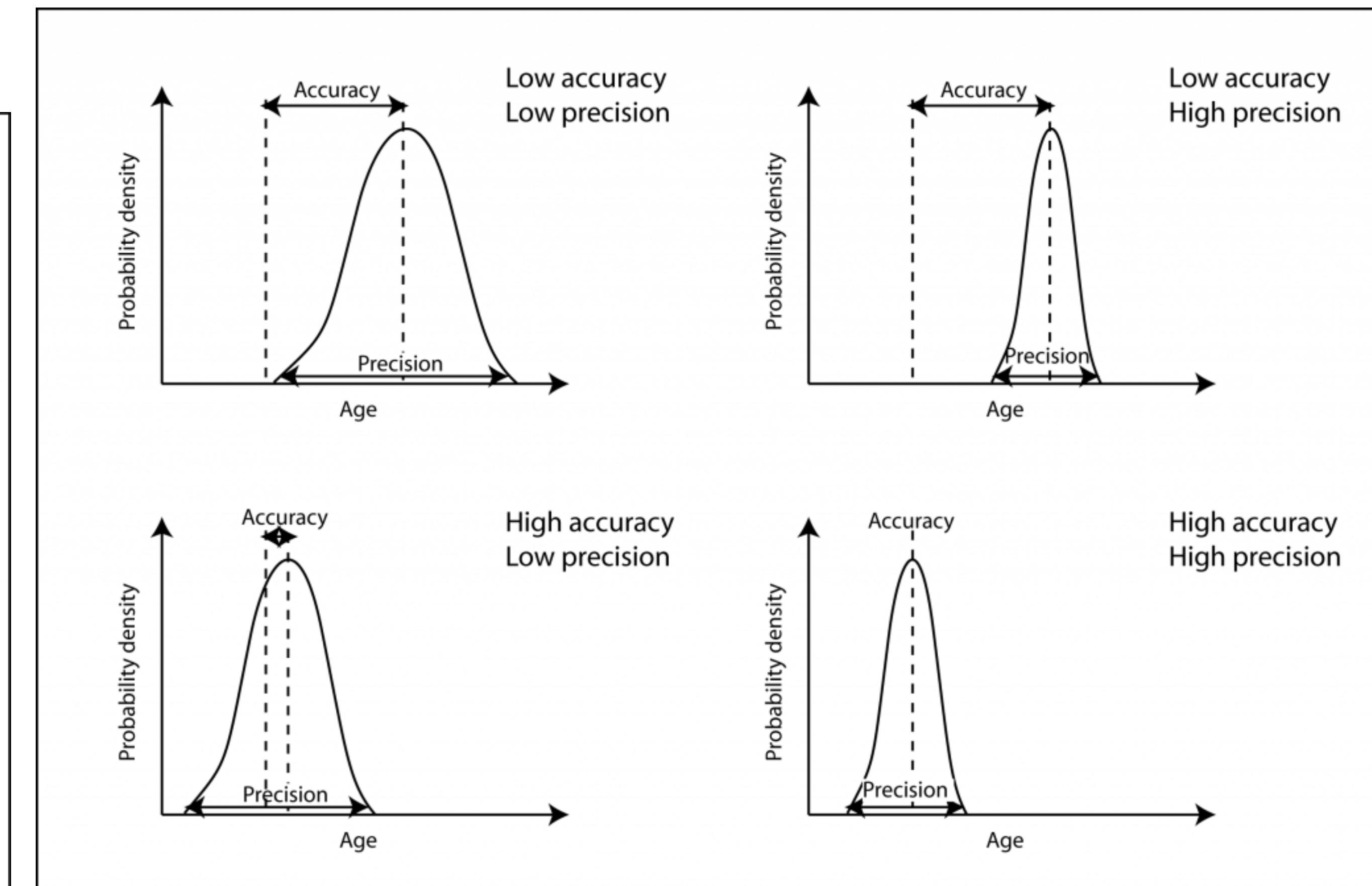
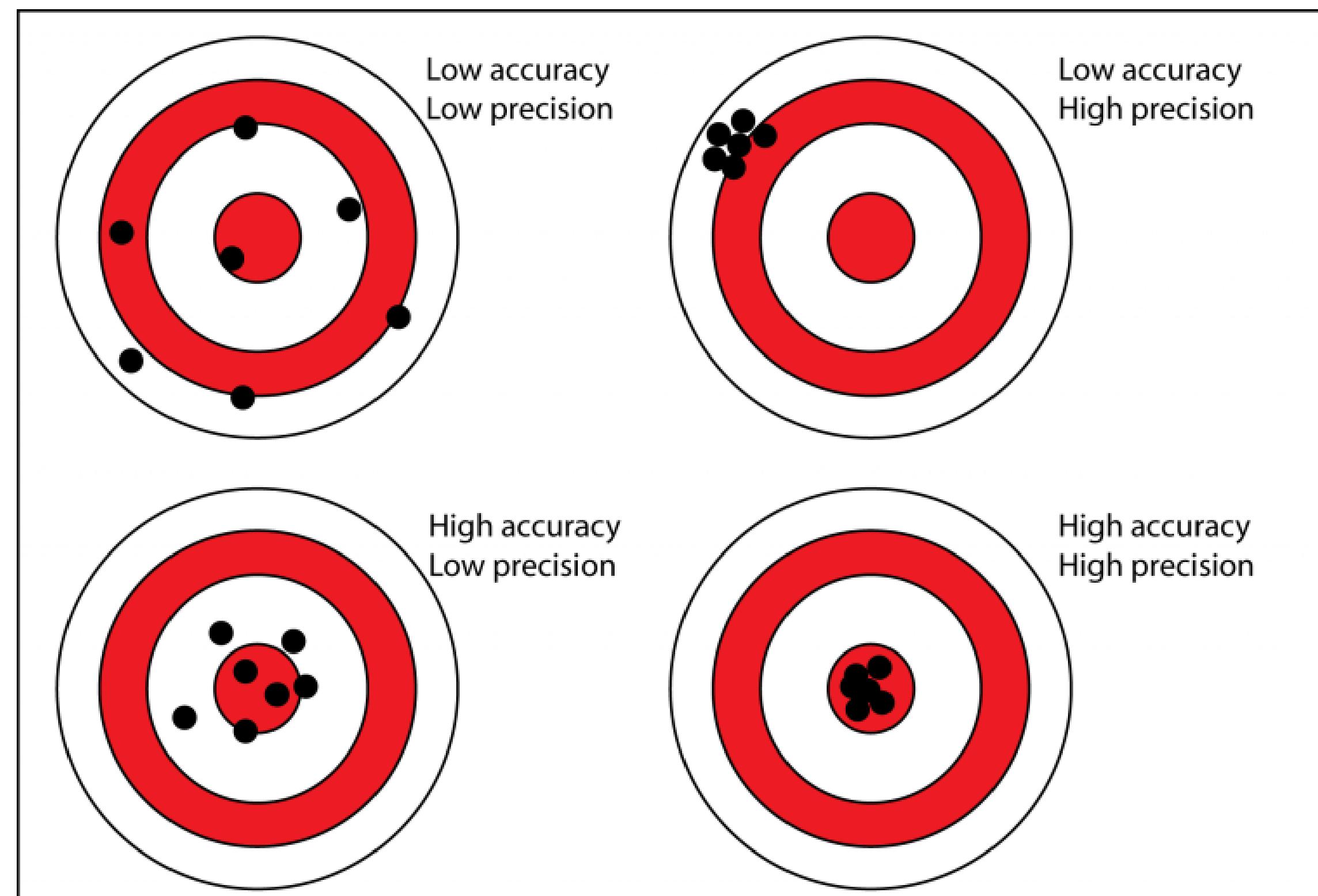
X_T Giá trị thực

ΔX Sai lệch giữa giá trị đo và giá trị thực

- Luôn tồn tại sai lệch giữa giá trị đo được X và giá trị thực X_T
- Sai số hệ thống: là sai số không đổi hoặc thay đổi theo một quy luật. Sai số này lặp lại trong cùng điều kiện đo → có thể thực hiện bù kết quả
- Sai số ngẫu nhiên: sai số thay đổi một cách ngẫu nhiên khi đo cùng một đại lượng → phải **xử lý thống kê**

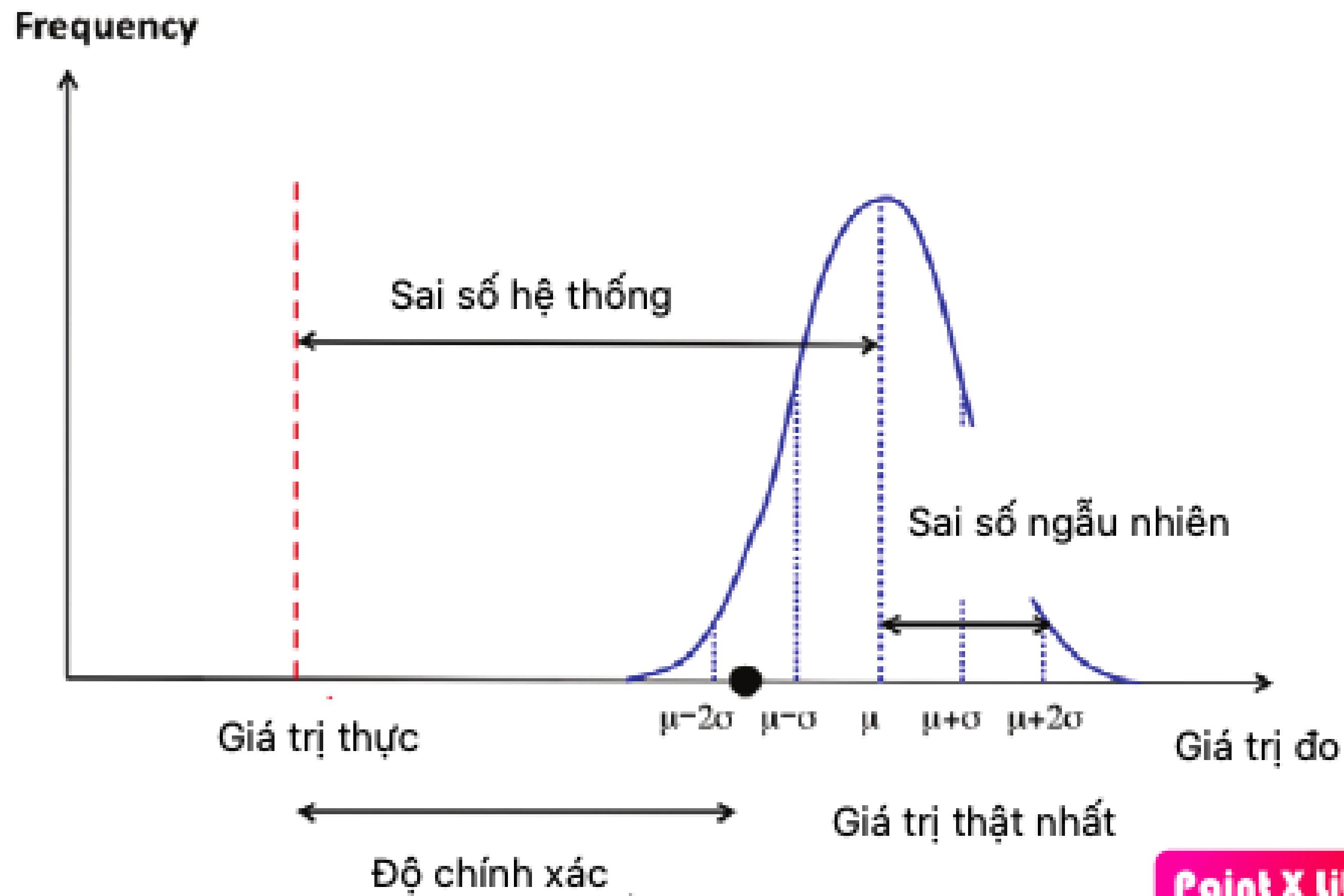
Xử lý thống kê phép đo trực tiếp

- Độ chính xác (accuracy) và độ hội tụ (precision)



Xử lý thống kê phép đo trực tiếp

- Độ chính xác (accuracy) và độ hội tụ (precision)



- Khi đo nhiều lần, xác suất đo được giá trị thật (không tính sai số hệ thống) là lớn nhất.
- Trong đo lường điện tử, hàm phân bố tiêu chuẩn các sai số tuân theo quy luật phân bố tiêu chuẩn (phân bố Gauss)

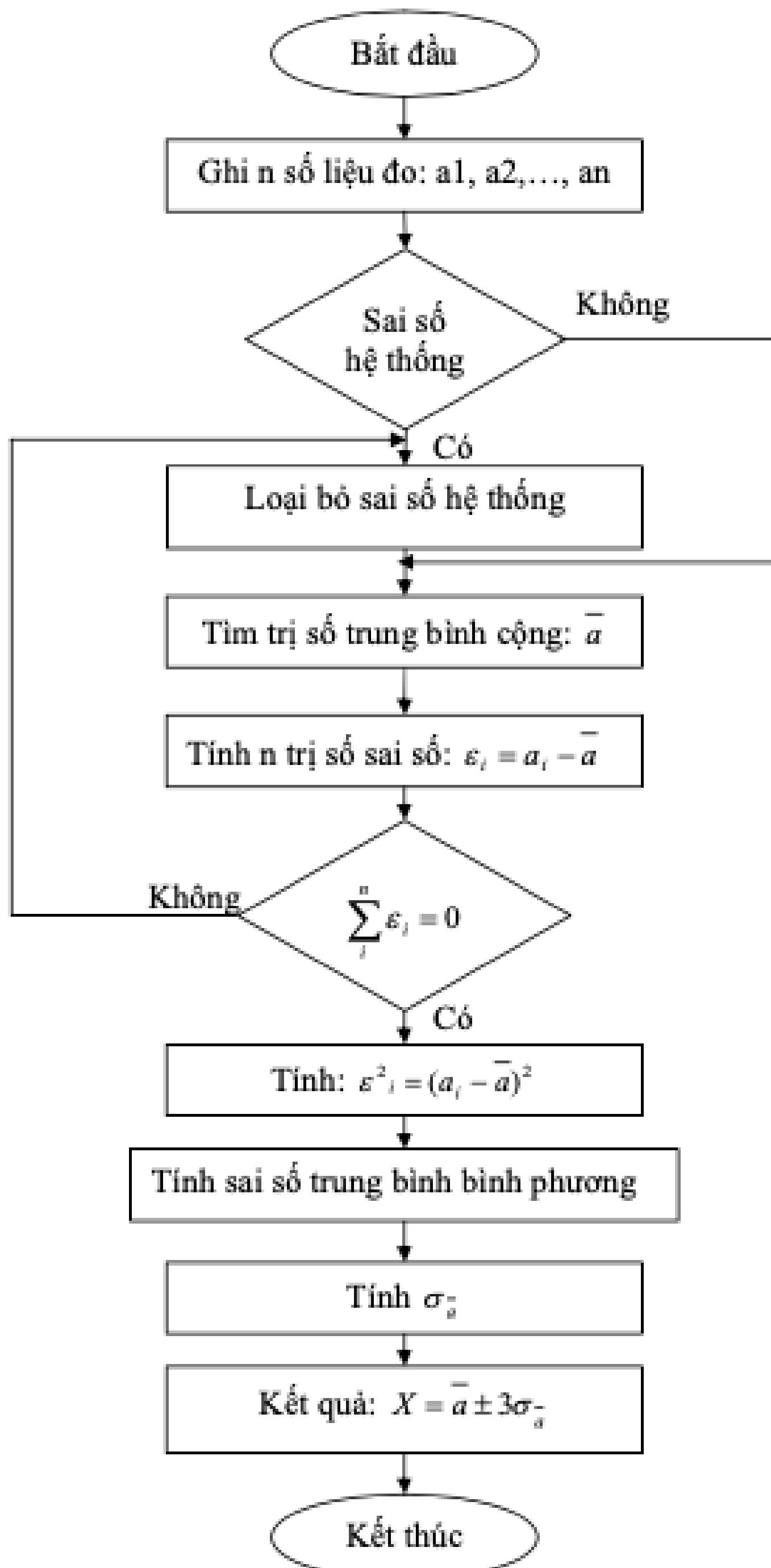
$$p(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2}$$

Đo thống kê

- Tính giá trị trung bình \bar{a}
- Tính các giá trị sai lệch $\varepsilon_i = a_i - \bar{a}$
- Nếu tổng sai lệch là 0 thì tính $\varepsilon_i^2 = (a_i - \bar{a})^2$
- Tính sai số trung bình bình phương

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}}$$

- Kết quả $X = \bar{a} \pm 3 \cdot \sigma$

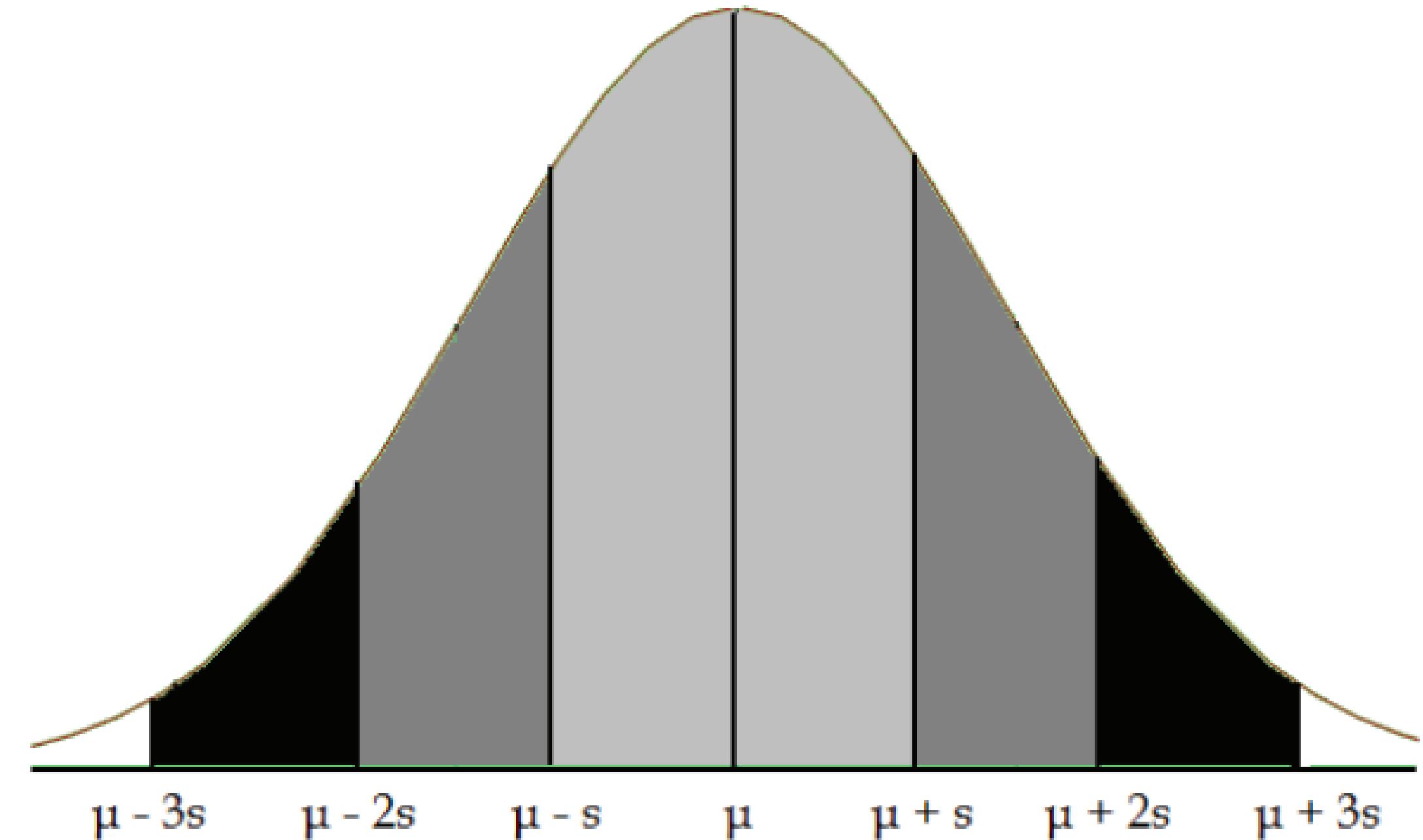


Đo thống kê

- Tính sai số trung bình bình phương

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}}$$

- Kết quả $X = \bar{a} \pm 3. \sigma$



$$p(-\sigma, \sigma) \approx 68.26\%$$

$$p(-2\sigma, 2\sigma) \approx 95.46\%$$

$$p(-3\sigma, 3\sigma) \approx 99.73\%$$

Đánh giá sai số của phép đo gián tiếp

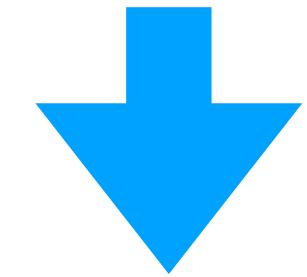
- Trong các phép đo gián tiếp, sai số của phép tính phụ thuộc vào sai số của các giá trị đo và phụ thuộc vào tính chất phép tính
- Phép cộng và trừ

$$X = (X_1 \pm \Delta X_1) + (X_2 \pm \Delta X_2)$$

$$X = (X_1 + X_2) \pm (\Delta X_1 + \Delta X_2)$$

$$X = (X_1 \pm \Delta X_1) - (X_2 \pm \Delta X_2)$$

$$X = (X_1 - X_2) \pm (\Delta X_1 + \Delta X_2)$$



$$\Delta X = (\Delta X_1 + \Delta X_2)$$

Trong phép cộng và phép trừ, sai số phép toán là tổng các sai số tuyệt đối

Đánh giá sai số của phép đo gián tiếp

- Trong các phép đo gián tiếp, sai số của phép tính phụ thuộc vào sai số của các giá trị đo và phụ thuộc vào tính chất phép tính
- Phép nhân và chia

$$X = (X_1 \pm \Delta X_1) \cdot (X_2 \pm \Delta X_2)$$

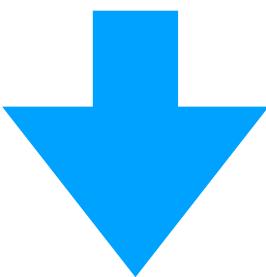
$$X = (X_1 \cdot X_2) \pm X_2 \cdot \Delta X_1 \pm X_1 \cdot \Delta X_2 \pm \Delta X_1 \cdot \Delta X_2$$

$$X \approx (X_1 \cdot X_2) \pm (X_2 \cdot \Delta X_1 \pm X_1 \cdot \Delta X_2)$$

$$\delta X \approx \frac{X_2 \cdot \Delta X_1}{X_1 \cdot X_2} + \frac{X_1 \cdot \Delta X_2}{X_1 \cdot X_2} = \delta X_1 + \delta X_2$$

$$X = \frac{X_1 \pm \Delta X_1}{X_2 \pm \Delta X_2} \approx \frac{X_1}{X_2} \pm \delta X$$

$$\delta X = \delta X_1 + \delta X_2$$



Trong phép nhân và phép chia, sai số tương đối phép toán là tổng các sai số tương đối thành phần

Bài tập minh họa

1. Một nguồn điện áp được mắc với một điện trở có trị số $470\Omega \pm 10\%$. Điện áp của nguồn đo được giá trị bằng 12V nhờ một Vôn kế có khoảng đo 25V với sai số chiết hợp là 3%. Tính công suất của điện trở và sai số của phép đo.
2. Một Vôn kế có thang đo 30V và sai số chiết hợp 4%, Ampe kế có thang đo 100mA và sai số chiết hợp 1% được sử dụng để đo điện áp và dòng điện qua điện trở R. Kết quả đo là 5V và 90mA. Hãy tính giá trị R và P_{min} và P_{max}
3. Tính kết quả đo và sai số ngẫu nhiên với xác suất có độ tin cậy p lớn hơn 95.46 % của một phép đo điện trở với kết quả như sau:

140,25; 140,5; 141,75; 139,25; 139,5; 140,25; 140; 126,75; 141,15; 142,25; 140,75; 144,15; 140,15; 142,75

Biết sai số ngẫu nhiên có phân bố chuẩn