

Bài giảng (C2)

Kỹ Thuật Đo Lường

Hoang Si Hong

-----2011-----

**Faculty of Electrical Eng., Hanoi Univ. of Science and Technology (HUST),
Hanoi, VietNam**

Nội dung

Nội dung môn học và mục đích

- Chương 1: Khái niệm cơ bản về kĩ thuật đo lường
- Chương 2: Đơn vị đo, chuẩn và mẫu
- Chương 3: Sai số của phép đo và gia công kết quả 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: Cảm biến và phương pháp đo không điện (lực, áp suất, vận tốc, nhiệt độ...)
- Chương 8: Đo dòng điện và điện áp
- Chương 9: Đo công suất và năng lượng
- 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

Giáo trình và tài liệu tham khảo

- ✓ Sách được tham khảo để soạn bài giảng này gồm có:
 - 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 được tham khảo để soạn bài giảng này gồm có:
 - 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.Hương, Lê Q. Huy
 - Bài giảng MEMs ITIMS - BKHN
 - Website: sciendirect.com/sensors and actuators A and B

Chương 2-3: Đơn vị đo, chuẩn và mẫu-sai số và gia công

- ✓ Đơn vị và hệ đơn vị
- ✓ Chuẩn và mẫu
- ✓ Tổ chức quốc gia và quốc tế về hệ thống chuẩn
- ✓ Sai số của phép đo
- ✓ Xử lý kết quả đo

Đơn vị và hệ chuẩn đơn vị

- Hệ đơn vị 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	$^{\circ}\text{K}$
Ánh sáng	Candela	Cd
Định lượng phân tử	Mol	Mol

- 102 đơn vị dẫn xuất và 72 đại lượng vật lý

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

Định nghĩa về 7 đơn vị cơ bản

- a. 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
- b. 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).
- c. Thời gian:** Đó là thời gian của $9.192.631.770$ chu kỳ của máy phát sóng nguyên tử Sedi 133(Cs-133).
- d. 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.
- e. Nhiệt độ (nhiệt động):** Đó là $\frac{1}{273,16}$ nhiệt độ nhiệt động của điểm ba của nước nguyên chất.
- f. 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}).
- g. Cường độ sáng hay quang độ:** candela (Cd) là cường độ của một nguồn sáng phát ra ánh sáng đơn sắc ở tần số 540.10^{12} Hz, với công suất $\frac{1}{683}$ Watt trong một Steradian (Sr).

Một số đơn vị dẫn xuất

Đại lượng	Đơn vị	Ký hiệu	Thứ nguyên		Đại lượng	Đơn vị	Ký hiệu	Thứ nguyên	
Tần số	Hertz	Hz	$\frac{1}{s}$	T^{-1}	Từ thông	Weber	Wb	V.S	$L^2MT^{-2}I^{-1}$
Lực	Newton	N	$Kg \frac{m}{s^2}$	MLT^{-2}	Từ cảm ứng	Tesla	T	W/m^2	$MT^{-2}I^{-1}$
áp suất	Pascal	Pa	N/m^2	$ML^{-1}T^{-2}$	Điện cảm	Henry	H	Wb/A	$T^{-2}I^{-2}$
Năng lượng	Joule	J	Nm	ML^2T^{-2}	Nhiệt độ Celsies	độ	$^{\circ}C$	K	θ
Công suất	Watt	W	J/s	ML^2T^{-3}	Quang thông	Lumen	Lm	Cd/Sr	J/Sr^1
Điện áp	Volt	V	W/A	$ML^2T^{-3}I^{-1}$	Độ chói	Lux	Lx	l/m^2	$L^{-2}JSr^{-1}$
Điện tích	Coulomb	C	A/s	$T^{-1}I$	Cường độ phóng xạ	Becquerel	Bq	$1/s$	T^{-1}
Điện dung	Farad	F	C/V	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	Liều lượng tuyệt đối	Gray	Gy	J/kg	L^2T^{-2}
Điện trở	Ohm	Ω	V/A	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	Liều lượng tương đương	Sievert	Sv	m^2/s^2	L^2T^{-2}
Điện dẫn	Siemens	S	$/V$	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$					

Một số đơn vị không chính thống

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

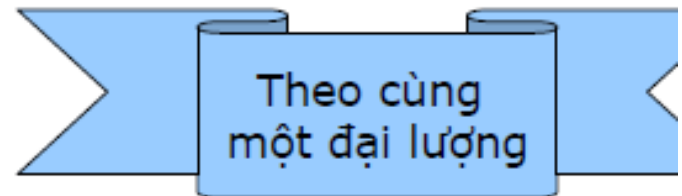
30

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.
 - Các hằng số vật lý dùng để làm chuẩn
 - Chuẩn mẫu mét
 - Chuẩn mẫu về khối lượng
 - Chuẩn mẫu về thời gian và tần số.
 - Chuẩn mẫu về các đại lượng điện.

Định nghĩa chuẩn

- 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
 - Chuẩn đầu (Primary standard)
 - Chuẩn thứ (Secondary standard):
 - Chuẩn bậc I:
 - Chuẩn bậc II:



Phân loại

- 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 I: là chuẩn mà giá trị của nó được ấn định bằng cách so sánh với chuẩn thứ của cùng đại lượng.

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):

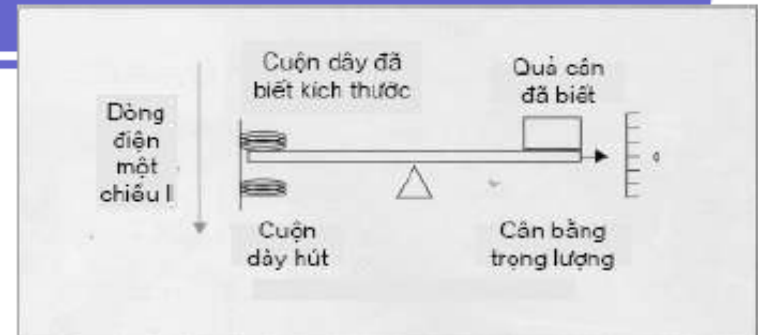
Là chuẩn được sử dụng như là một phương tiện để so sánh các chuẩn.

Một số hằng số vật lí dùng làm chuẩn

Dại 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	$1,60217733 \cdot 10^{-19}$ C (0,3ppm)	Điện áp, dòng điện
Hằng số "Jozepson"	K_{J-90}	483.587,96 Hz/v (0,4 ppm)	Điện áp
Hằng số Von klitzing	R_{J-90}	25,812807 K Ω (0,2 ppm)	Điện trở
Hệ số dẫn từ trong chân không	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A ² (chính xác)	Điện dung

Ví dụ về chuẩn dòng điện

a. Chuẩn dòng điện



- 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 $4 \cdot 10^{-6}$ A).
- Gần đây thì người ta có đề xuất việc xác định dòng điện thông qua từ trường
- Xác định dòng điện chuẩn rất phức tạp vì vậy trong thực tế người ta sử dụng chuẩn về điện áp.

Ví dụ về chuẩn điện trở

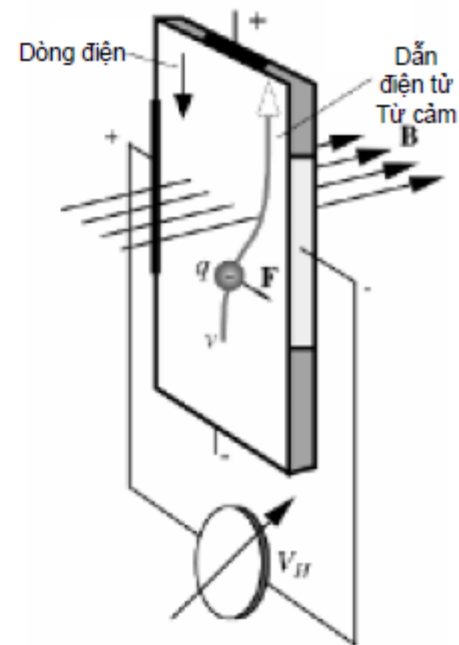
Từ lâu, điện trở mẫu là một bộ gồm 10 cuộn dây manganin có điện trở định mức 1Ω để trong hộp kín 2 lớp vỏ đầy không khí nén, có giá trị $1,0000002\Omega$ với phương sai $\sigma = 1.10^{-7}$.

Truyền điện trở mẫu cho các điện trở khác bằng cầu 1 chiều.

Từ năm 1990, điện trở mẫu được xác định thông qua hiệu ứng Hall lượng tử từ (QHE), nhờ có hằng số vật lý von Klitzing. Hằng số von Klitzing được xác định $R_{k-90} = 25,81280\Omega$ với sai số $0,2.10^{-6}$. Phần tử cơ bản của một QHE là một planar MOSFET mỏng để trong một môi trường nhiệt độ thấp. 1-2K (-271°C). Từ trường được đặt vuông góc với lá mỏng bán dẫn có cường độ từ cảm một vài Tesla.

Hiệu ứng Hall

- Điện áp cảm ứng Hall tỉ lệ với cường độ từ cảm B và dòng điện đi qua tấm QHE



Tạo mẫu và công tác biến đổi

- Các vấn đề tạo mẫu công tác (mẫu biến đổi):

- Lượng tử hoá chuẩn mẫu:

- Sau khi đã xác định đơn vị, cần có cách phân chia mẫu thành những bội số và ước số của đơn vị.
- Đơn vị nhỏ nhất của chuẩn mẫu gọi là lượng tử.
- Sai số lượng tử

$$\beta = \frac{q_K}{Y_K} = \frac{1}{N_K}$$

- Tổ hợp các lượng tử của mẫu thành mẫu biến đổi

Các lượng tử của mẫu được tổ hợp với nhau thành những đại lượng mẫu biến thiên. Tổ hợp các quy tắc gọi và biểu diễn các con số có giá trị xác định gọi là hệ thống đếm.

- Thuật toán biến đổi trong quá trình ra mẫu

Trong quá trình so sánh với đại lượng cần đo, mẫu cần phải thay đổi được giá trị của nó. Thay đổi theo một chiến lược như thế nào để tối ưu theo một mục tiêu nhất định, đó là thuật toán biến đổi mẫu.

Liên kết chuẩn

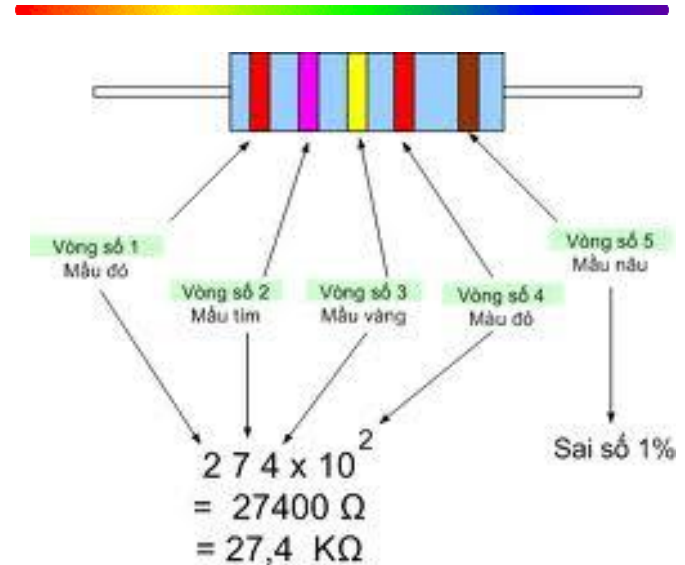
- Tổ chức chuẩn thế giới
- Tổ chức đảm bảo đo lường của Việt nam

Theo sơ đồ tổ chức quốc tế về công ước mét ở Việt nam có Tổng cục tiêu chuẩn đo lường chất lượng trực thuộc hội đồng bộ trưởng chịu trách nhiệm về việc xây dựng các tiêu chuẩn, quản lý các phương tiện đo lường để đảm bảo chất lượng các sản phẩm sản xuất tại Việt nam.

Về việc đảm bảo đo lường, trực thuộc Tổng cục TC-ĐL-CL có các trung tâm đo lường

- Trung tâm đo lường nhà nước
- Trung tâm đo lường 1, trung tâm đo lường 2..
- Các phòng thí nghiệm chuẩn chuyên ngành Vilas

Sai số là gì?



- Sai số thiết bị đo ?
- Sai số phép đo ?
- Sai số tuyệt đối?
- Sai số tương đối?
- Sai số hệ thống?
- Sai số ngẫu nhiên?

Sai số tuyệt đối, tương đối và hệ thống

- **Sai số của phép đo:** là sai số giữa kết quả đo lường so với giá trị chính xác của đại lượng đo.

- **Giá trị thực X_{th} của đại lượng đo:** là giá trị của đại lượng đo xác định được với một độ chính xác nào đó (thường nhờ các dụng cụ mẫu có cấp chính xác cao hơn dụng cụ đo được sử dụng trong phép đo đang xét).

Giá trị chính xác (giá trị đúng) của đại lượng đo thường không biết trước, vì vậy khi đánh giá sai số của phép đo thường sử dụng giá trị thực X_{th} của đại lượng đo.

Như vậy ta chỉ có sự đánh giá gần đúng về kết quả của phép đo. Việc xác định sai số của phép đo - tức là xác định độ tin tưởng của kết quả đo là một trong những nhiệm vụ cơ bản của đo lường học.

Sai số của phép đo có thể phân loại theo cách thể hiện bằng số, theo nguồn gây ra sai số hoặc theo qui luật xuất hiện của sai số.

Tiêu chí phân loại	Theo cách thể hiện bằng số	Theo nguồn gây ra sai số	Theo qui luật xuất hiện của sai số
Loại sai số	<ul style="list-style-type: none">- Sai số tuyệt đối.- Sai số tương đối.	<ul style="list-style-type: none">- Sai số phương pháp.- Sai số thiết bị.- Sai số chủ quan.- Sai số bên ngoài.	<ul style="list-style-type: none">- Sai số hệ thống.- Sai số ngẫu nhiên.

Bảng 2.1. Phân loại sai số của phép đo.

Sai số tuyệt đối, tương đối và hệ thống

- • Sai số tuyệt đối ΔX : là hiệu giữa đại lượng đo X và giá trị thực X_{th} :

$$\Delta X = X - X_{th}$$

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

$$\gamma_X = \left| \frac{\Delta X}{X_{th}} \right| \cdot 100 (\%);$$

vì $X \approx X_{th}$ nên có thể có:

$$\gamma_X \approx \left| \frac{\Delta X}{X} \right| \cdot 100 (\%)$$

Sai số tương đối đặc trưng cho chất lượng của phép đo.

Độ chính xác của phép đo ε : đại lượng nghịch đảo của sai số tương đối: $\varepsilon =$

$$\left| \frac{X_{th}}{\Delta X} \right| = \frac{1}{\gamma_X}$$

- Sai số hệ thống (systematic error): thành phần sai số của phép đo luôn không đổi hoặc thay đổi có qui luật khi đo nhiều lần một đại lượng đo.

Qui luật thay đổi có thể là một phía (dương hay âm), có chu kỳ hoặc theo một qui luật phức tạp nào đó.

Cấp chính xác

- **Định nghĩa:** cấp chính xác của dụng cụ đo là giá trị sai số cực đại mà dụng cụ đo mắc phải.

Cấp chính xác của dụng cụ đo được qui định bằng sai số tương đối qui đổi của dụng cụ đó và được Nhà nước qui định cụ thể:

$$\gamma_{qđX} = \left| \frac{\Delta X_m}{X_m} \right| \cdot 100 (\%)$$

với ΔX_m - sai số tuyệt đối cực đại, X_m - giá trị lớn nhất của thang đo.

Sau khi xuất xưởng chế tạo thiết bị đo lường sẽ được kiểm nghiệm chất lượng, chuẩn hóa và xác định cấp chính xác. Từ cấp chính xác của thiết bị đo lường sẽ đánh giá được sai số của kết quả đo.

Thường cấp chính xác của dụng cụ đo được ghi ngay trên dụng cụ hoặc ghi trong sổ tay kỹ thuật của dụng cụ đo.

Cách loại trừ sai số hệ thống

- *Chuẩn bị tốt trước khi đo:* phân tích lý thuyết; kiểm tra dụng cụ đo trước khi sử dụng; chuẩn bị trước khi đo; chỉnh "0" trước khi đo...
- *Quá trình đo có phương pháp phù hợp:* tiến hành nhiều phép đo bằng các phương pháp khác nhau; sử dụng phương pháp thế...
- *Xử lý kết quả đo sau khi đo:* sử dụng cách bù sai số ngược dấu (cho một lượng hiệu chỉnh với dấu ngược lại); trong trường hợp sai số hệ thống không đổi thì có thể loại được bằng cách đưa vào một lượng hiệu chỉnh hay một hệ số hiệu chỉnh:
 - *Lượng hiệu chỉnh:* là giá trị cùng loại với đại lượng đo được đưa thêm vào kết quả đo nhằm loại sai số hệ thống.
 - *Hệ số hiệu chỉnh:* là số được nhân với kết quả đo nhằm loại trừ sai số hệ thống.

Xử lý kết quả đo

Như vậy sai số của phép đo gồm 2 thành phần: sai số hệ thống θ -không đổi hoặc thay đổi có qui luật và sai số ngẫu nhiên Δ -thay đổi một cách ngẫu nhiên không có qui luật. Trong quá trình đo hai loại sai số này xuất hiện đồng thời và sai số phép đo ΔX được biểu diễn dưới dạng tổng của hai thành phần sai số đó: $\Delta X = \theta + \Delta$. Để nhận được các kết quả sai lệch ít nhất so với giá trị thực của đại lượng đo cần phải tiến hành đo nhiều lần và thực hiện gia công (xử lý) kết quả đo (các số liệu nhận được sau khi đo).

Tính toán sai số ngẫu nhiên

Dựa vào số lớn các giá trị đo được có thể xác định qui luật thay đổi của sai số ngẫu nhiên nhờ sử dụng các phương pháp toán học thống kê và lý thuyết xác suất.

Nhiệm vụ của việc tính toán sai số ngẫu nhiên là chỉ rõ giới hạn thay đổi của sai số của kết quả đo khi thực hiện phép đo nhiều lần, như vậy phép đo nào có kết quả với sai số ngẫu nhiên vượt quá giới hạn sẽ bị loại bỏ.

- **Cơ sở toán học:** việc tính toán sai số ngẫu nhiên dựa trên giả thiết là sai số ngẫu nhiên của các phép đo các đại lượng vật lý thường tuân theo luật phân bố chuẩn (luật phân bố Gausơ-Gauss). Nếu sai số ngẫu nhiên vượt quá một giá trị nào đó thì xác suất xuất hiện sẽ hầu như bằng không và vì thế kết quả đo nào có sai số ngẫu nhiên như vậy sẽ bị loại bỏ.

- **Các bước tính sai số ngẫu nhiên:**

Xét n phép đo với các kết quả đo thu được là x_1, x_2, \dots, x_n .

Tính toán sai số ngẫu nhiên

1. *Tính ước lượng kì vọng toán học m_X của đại lượng đo:*

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

chính là giá trị trung bình đại số của n kết quả đo.

2. *Tính độ lệch của kết quả mỗi lần đo so với giá trị trung bình v_i :*

$$v_i = x_i - \bar{X}$$

v_i (còn gọi là sai số dư).

3. *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:

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

với xác suất xuất hiện sai số ngẫu nhiên ngoài khoảng này là 34%.

4. *Xử lý kết quả đo:* những kết quả đo nào có sai số dư v_i nằm ngoài khoảng $[\Delta_1, \Delta_2]$ sẽ bị loại.

Tìm khoảng giá trị đo với xác suất tin cậy

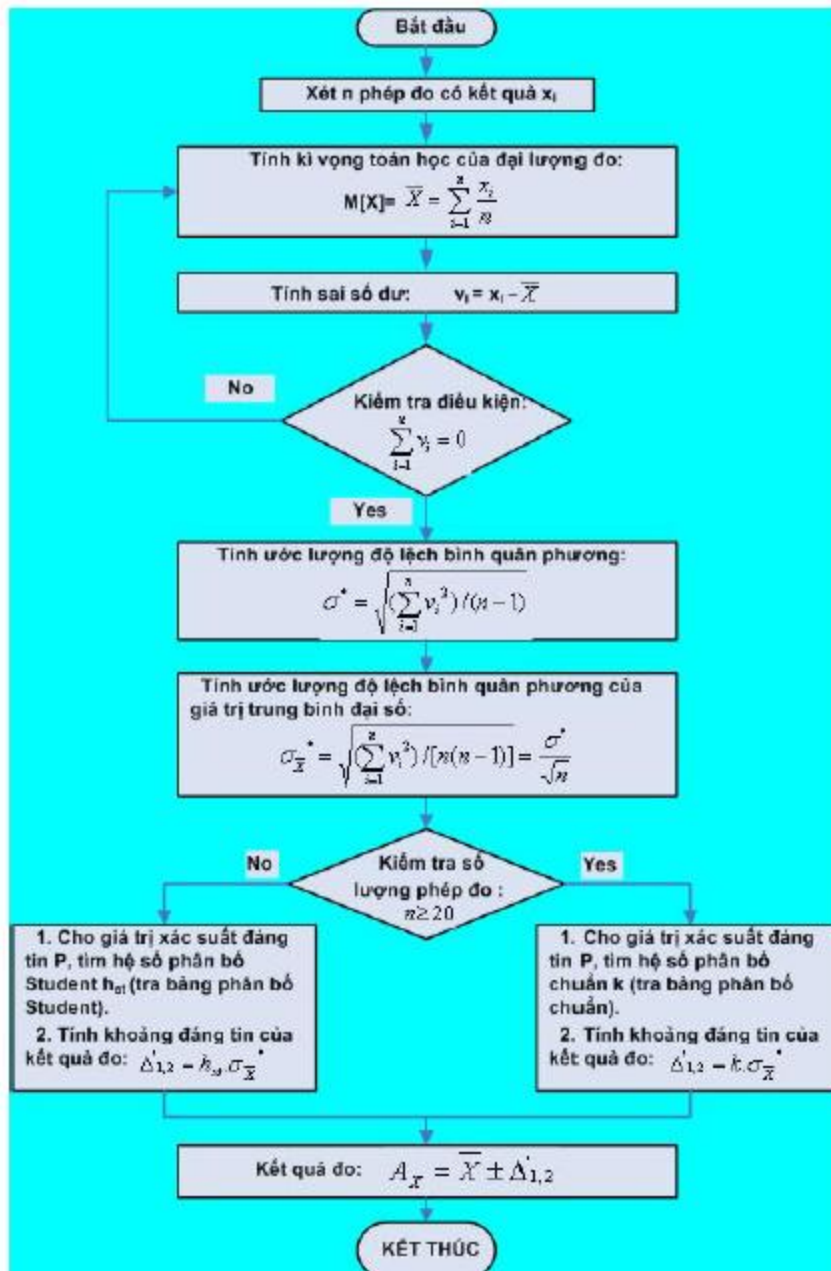
- **Cơ sở toán học:** để gia công kết quả đo ta sử dụng công cụ toán học xác suất thống kê để tìm được kết quả đo trong khoảng $A_X \pm \Delta'_{1,2}$ với xác suất tin cậy là P, với giả thiết nếu số phép đo $n \geq 20$ thì kết quả đo tuân theo luật phân bố xác suất chuẩn, còn nếu $2 < n < 20$ thì kết quả đo tuân theo luật phân bố xác suất Student.

- **Các bước gia công kết quả đo:**

1. Loại bỏ các kết quả đo có sai số quá lớn.
2. Loại trừ sai số hệ thống.
3. Loại trừ sai số ngẫu nhiên.
4. Thực hiện theo lưu đồ thuật toán như hình 2.2.

Kết quả sẽ nhận được kết quả đo A_X nằm trong khoảng $[\bar{X} - \Delta'_{1,2}; \bar{X} + \Delta'_{1,2}]$, với xác suất tin cậy P% (tức là chắc chắn P% rằng kết quả đo A_X nằm trong khoảng $[\bar{X} - \Delta'_{1,2}; \bar{X} + \Delta'_{1,2}]$).

Lưu đồ thuật toán



Hình 2.2. Lưu đồ thuật toán quá trình gia công kết quả đo.

Xây dựng biểu thức giải tích đường cong thực nghiệm

Trong kỹ thuật đo lường thường phải thực hiện những thực nghiệm xác định đường cong qua hệ giữa hai đại lượng X và Y , hay nói cách khác là phải tìm biểu thức giải tích về mối quan hệ giữa chúng. Quá trình này còn gọi là quá trình hồi qui.

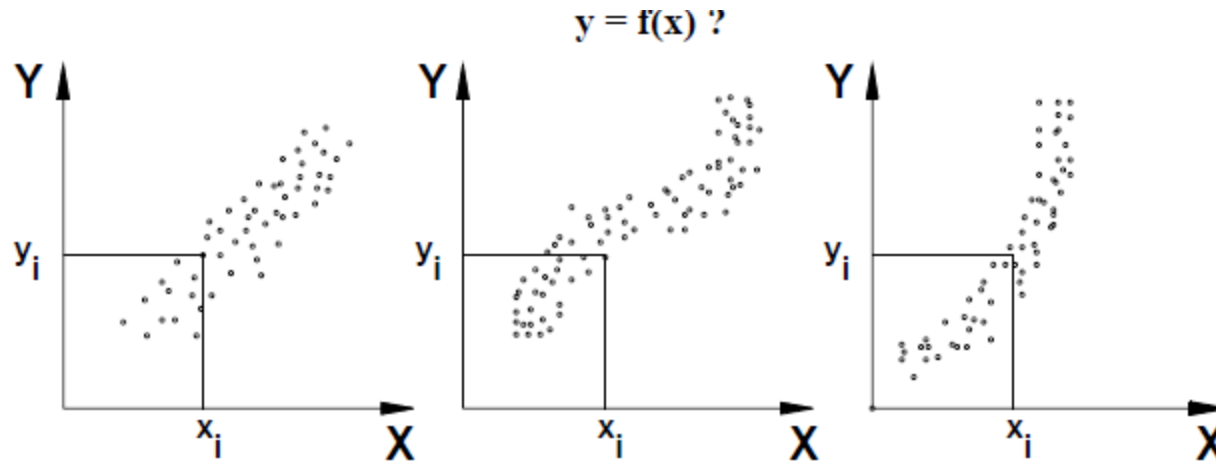
- **Tổng quan về phương pháp:** sau khi thực hiện n phép đo hai đại lượng X và Y sẽ có các kết quả đo được là x_i và y_i được xếp thành các cặp tương ứng (x_i, y_i) dưới dạng dãy số, bảng số hoặc đồ thị.

Từ các giá trị này đặc biệt là khi biểu diễn ở dạng đồ thị, bước đầu có thể đưa ra dự đoán về mối quan hệ giữa X và Y . Để rõ hơn có thể tính hệ số tương quan giữa

X và Y . Từ hệ số tương quan giữa X và Y có thể nhận xét quan hệ giữa X và Y là tuyến tính hay phi tuyến; nếu là tuyến tính thì tuyến tính mạnh hay yếu, tương quan dương hay âm; nếu là phi tuyến thì phi tuyến mạnh hay yếu, biểu thức đường cong quan hệ là bậc 2, bậc 3, bậc cao hoặc là hàm mũ, hàm lôgarit...từ đó chọn biểu thức thực nghiệm cho mối quan hệ giữa X và Y .

Dựa trên biểu thức thực nghiệm được chọn để tìm biểu thức cụ thể có thể sử dụng các phương pháp phù hợp: phương pháp bình phương cực tiểu, phương pháp kéo chỉ, phương pháp trung bình, phương pháp tuyến tính hóa...tùy yêu cầu về độ chính xác, khả năng tính toán...

Xây dựng biểu thức giải tích đường cong thực nghiệm



Hình 2.3. Xây dựng biểu thức giải tích của đường cong thực nghiệm.

- **Xác định hệ số tương quan giữa hai đại lượng:**
 - **Vấn đề đặt ra:** xét hai đại lượng X và Y với các giá trị tương ứng biết trước là x_i và y_i được xếp thành các cặp tương ứng (x_i, y_i) . Cần **xác định xem giữa đại lượng X và Y có mối tương quan nào không?**
 - **Phương pháp:** để xác định xem giữa đại lượng X và Y có mối tương quan nào không ta phải tìm **hệ số tương quan giữa X và Y**.
- Từ giá trị tính được của hệ số tương quan sẽ rút ra các kết luận về mối tương quan giữa X và Y: có mối tương quan như giả thiết hay không, tương quan tuyến tính hay phi tuyến, tương quan tuyến tính mạnh hay yếu, tương quan dương hay âm...

Xây dựng biểu thức giải tích đường cong thực nghiệm

- **Xây dựng phương trình và biểu thức thực nghiệm từ kết quả đo:** có các phương pháp thường dùng gồm:
 - Phương pháp bình phương cực tiểu.
 - Phương pháp kéo chỉ.
 - Phương pháp trung bình.
 - Phương pháp tuyến tính hóa.
- **Phương pháp bình phương cực tiểu:**
 - **Vấn đề đặt ra:** xét hai đại lượng X và Y với các giá trị tương ứng biết trước là x_i và y_i được xếp thành các cặp tương ứng (x_i, y_i) . Cần **xác định hàm $y = f(x)$ biểu diễn mối quan hệ giữa đại lượng X và Y .**
 - **Phương pháp:** để xác định hàm $y = f(x)$ biểu diễn mối quan hệ giữa đại lượng X và Y ta sử dụng phương pháp bình phương cực tiểu để tìm đa thức $P(x)$ thỏa mãn là đường cong gần đúng của $f(x)$ và phản ánh được quá trình vật

Xây dựng biểu thức giải tích đường cong thực nghiệm

- **Phương pháp kéo chỉ; Phương pháp trung bình:** áp dụng bằng cách dự đoán trước dạng đường cong quan hệ một cách tương đối chính xác sau đó tính các hệ số của đường cong. Các phương pháp này đơn giản, thuận tiện nhưng độ chính xác không cao bằng phương pháp bình phương cực tiểu.

- **Phương pháp tuyến tính hóa:** áp dụng khi đường cong thực nghiệm có dạng khác với các đa thức, ví dụ: dạng hàm mũ, dạng hàm lôgarit..., phương pháp này đưa chúng về dạng tuyến tính (đường thẳng) bằng cách đổi biến, thay các đối số mới là một hàm của đối số cũ, từ đó ứng dụng các phương pháp bình phương cực tiểu, kéo chỉ, trung bình để giải.

Quá trình tính toán có thể tiến hành bằng tay hoặc ứng dụng máy tính (PC) để giải bằng các chương trình tự viết hoặc bằng các phần mềm chuyên dụng: Matlab, Mathematica, Maple, Excel...