

# **Cảm biến và chuyển năng**

Chương 2

**Đặc tính tĩnh  
của các thành phần hệ thống đo**

TS. GVC. Nguyễn Hữu Cường

## 2.1 Đặc tính của hệ thống

- Các đặc tính của hệ thống là quan hệ xuất hiện giữa ngõ ra  $O$  và ngõ vào  $I$  của một phần tử khi  $I$  là một hằng số hoặc thay đổi chậm.
- Các đặc tính của hệ thống có thể được xác định chính xác bằng toán học hoặc đồ thị



## 2.1 Đặc tính của hệ thống

### ❖ Phạm vi (Range)

- Phạm vi ngõ vào của một phần tử được xác định bằng các giá trị cực tiểu và cực đại của  $I$  – từ  $I_{MIN}$  đến  $I_{MAX}$
- Phạm vi ngõ ra được xác định bằng các giá trị cực tiểu và cực đại của  $O$  – từ  $O_{MIN}$  đến  $O_{MAX}$
- Thí dụ
- Một cảm biến (transducer) áp suất có một phạm vi ngõ vào từ 0 đến  $10^4$  Pa và phạm vi ngõ ra từ 4 đến 20 mA
- Một cặp nhiệt có phạm vi ngõ vào từ 100 đến 250 °C và phạm vi ngõ ra từ 4 đến 10 mV

## 2.1 Đặc tính của hệ thống

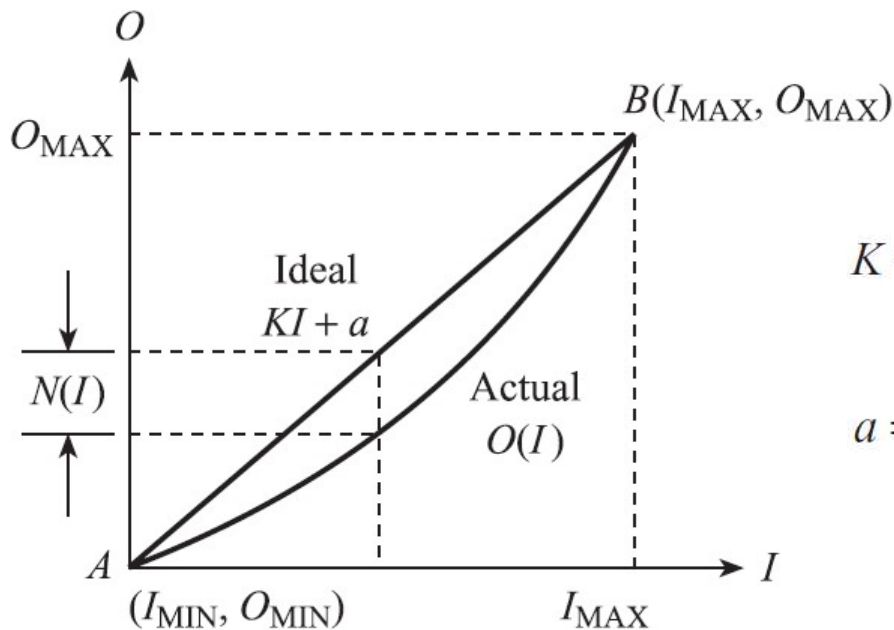
### ❖ Khoảng (Span)

- **Khoảng ngõ vào** là biến thiên cực đại ở ngõ vào,  $I_{MAX} - I_{MIN}$
- **Khoảng ngõ ra** là biến thiên cực đại ở ngõ ra,  $O_{MAX} - O_{MIN}$
- Thí dụ
- Cảm biến áp suất có khoảng ngõ vào là  $10^4$  Pa và khoảng ngõ ra là 16 mA
- Cặp nhiệt có khoảng ngõ vào là  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  và khoảng ngõ ra là 6 mV

## 2.1 Đặc tính của hệ thống

### ❖ Đường thẳng lý tưởng

- Một phân tử được gọi là tuyến tính nếu các giá trị tương ứng của  $I$  và  $O$  nằm trên một đường thẳng
- Đường thẳng lý tưởng nối từ điểm cực tiểu  $A(I_{MIN}, O_{MIN})$  đến điểm cực đại  $B(I_{MAX}, O_{MAX})$



$$O_{IDEAL} = KI + a$$

$$K = \text{ideal straight-line slope} = \frac{O_{MAX} - O_{MIN}}{I_{MAX} - I_{MIN}}$$

$$a = \text{ideal straight-line intercept} = O_{MIN} - KI_{MIN}$$

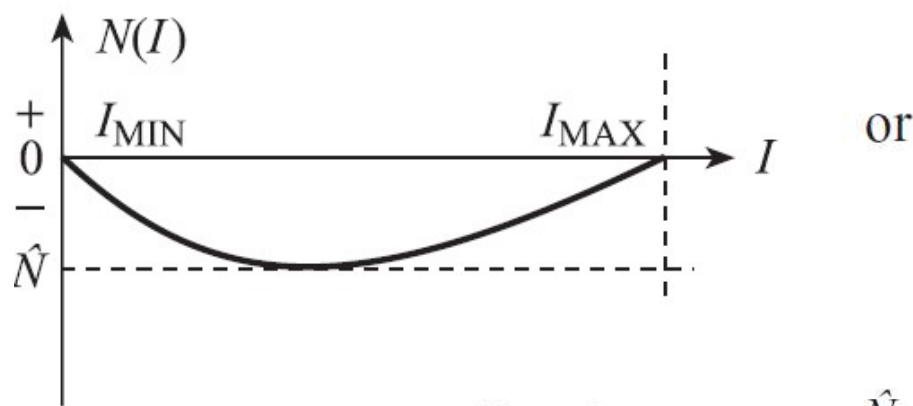
## 2.1 Đặc tính của hệ thống

- Đường thẳng lý tưởng định nghĩa các đặc tính lý tưởng của một phần tử. Khi đó những đặc tính không lý tưởng có thể được xác định dưới dạng các sai lệch so với đường thẳng lý tưởng
- Thí dụ
- Đường thẳng lý tưởng của cảm biến áp suất là:  $O = 1.6 \times 10^{-3}I + 4.0$

## 2.1 Đặc tính của hệ thống

### ❖ Độ phi tuyến

- Trong nhiều trường hợp mối quan hệ đường thẳng không được tuân thủ thì phần tử được gọi là **phi tuyến**.
- Độ phi tuyến có thể được định nghĩa dưới dạng một hàm  $N(I)$  đó là khác biệt giữa thực tế và đường thẳng lý tưởng



$$N(I) = O(I) - (KI + a)$$

or

$$O(I) = KI + a + N(I)$$

$$\text{Max. non-linearity as a percentage of f.s.d.} = \frac{\hat{N}}{O_{\text{MAX}} - O_{\text{MIN}}} \times 100\%$$

a percentage of full-scale deflection (f.s.d.), i.e. as a percentage of span

## 2.1 Đặc tính của hệ thống

### Thí dụ

- Một cảm biến áp suất có khác biệt cực đại giữa các giá trị ngõ ra thực tế và đường thẳng lý tưởng là 2 mV. Nếu khoảng ngõ ra là 100 mV, thì phần trăm cực đại độ phi tuyến là 2% f.s.d.



## 2.1 Đặc tính của hệ thống

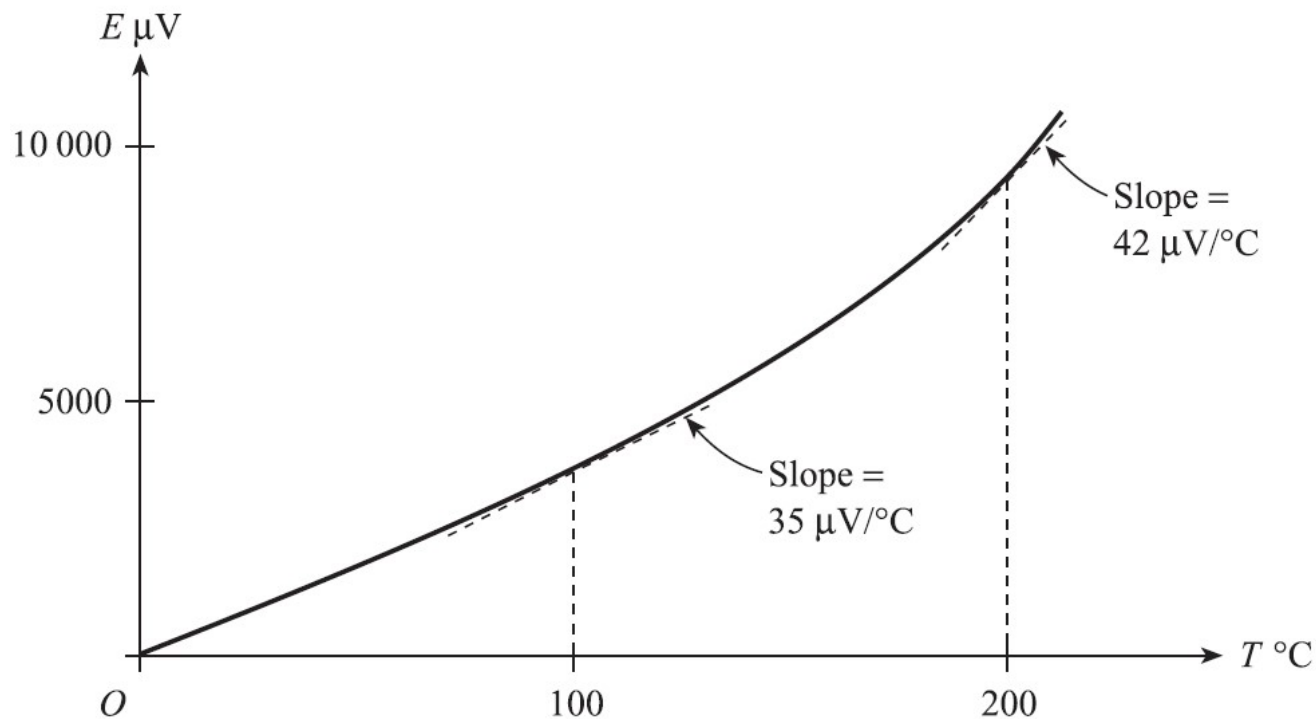
### ❖ Độ nhạy (Sensitivity)

- Đó là sự thay đổi  $\Delta O$  ở ngõ ra  $O$  đối với thay đổi đơn vị  $\Delta I$  ở ngõ vào  $I$ , tức là tỉ lệ  $\Delta O/\Delta I$ .
- Trong giới hạn khi  $\Delta I$  tiến đến không, tỉ số  $\Delta O/\Delta I$  tiến đến đạo hàm  $dO/dI$ , đó là tốc độ thay đổi của  $O$  theo  $I$ .
- Đối với một phần tử tuyến tính  $dO/dI$  bằng với độ dốc (gradient)  $K$  của đường thẳng
- Đối với một phần tử phi tuyến  $dO/dI = K + dN/dI$ , có nghĩa là, độ nhạy là độ dốc của ngõ ra so với các đặc tính ngõ vào  $O(I)$ .

## 2.1 Đặc tính của hệ thống

### Thí dụ

- Một cặp nhiệt loại T – gradient và độ nhạy thay đổi theo nhiệt độ: tại 100 °C nó xấp xỉ 35  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  và tại 200 °C nó xấp xỉ 42  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$



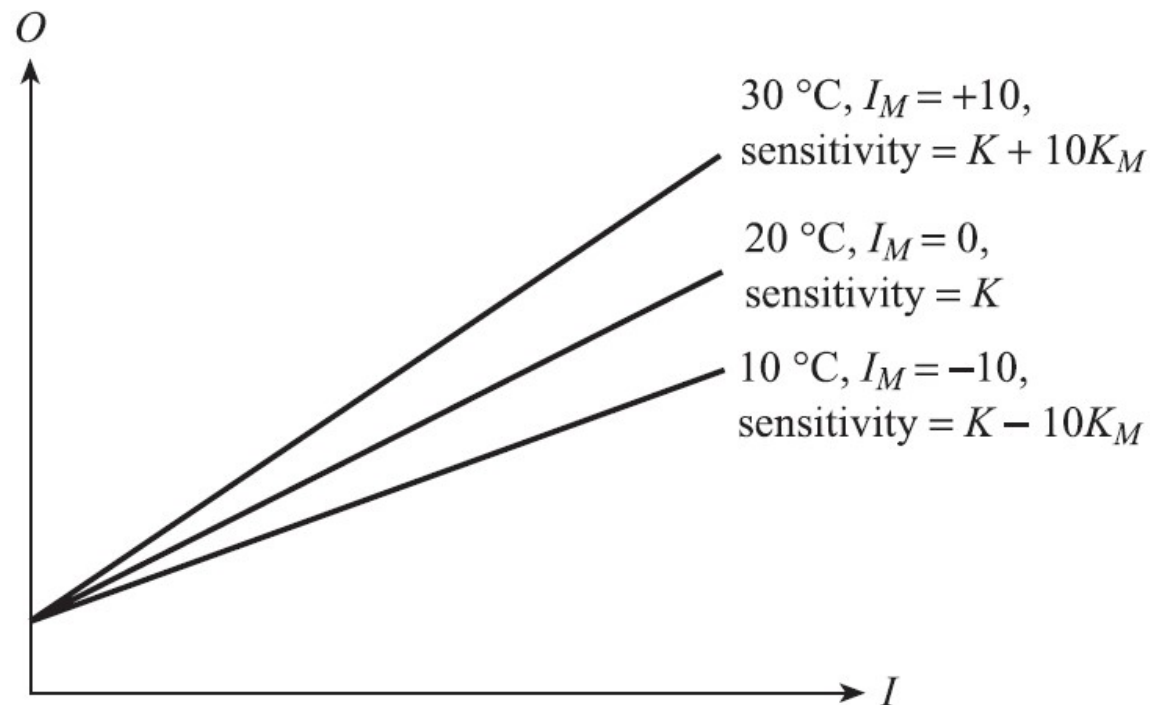
## 2.1 Đặc tính của hệ thống

### ❖ Ảnh hưởng của môi trường

- Ngõ ra  $O$  không chỉ phụ thuộc ngõ vào  $I$  mà còn phụ thuộc các ngõ vào môi trường chẳng hạn như nhiệt độ, áp suất khí quyển, độ ẩm, điện áp cung cấp, v.v..
- Khi đó biểu thức phi tuyến phải được điều chỉnh có tính đến độ lệch trong các điều kiện môi trường so với “chuẩn”.
- Có hai loại ngõ vào môi trường: ngõ vào thay đổi và ngõ vào giao thoa (modifying and interfering inputs)

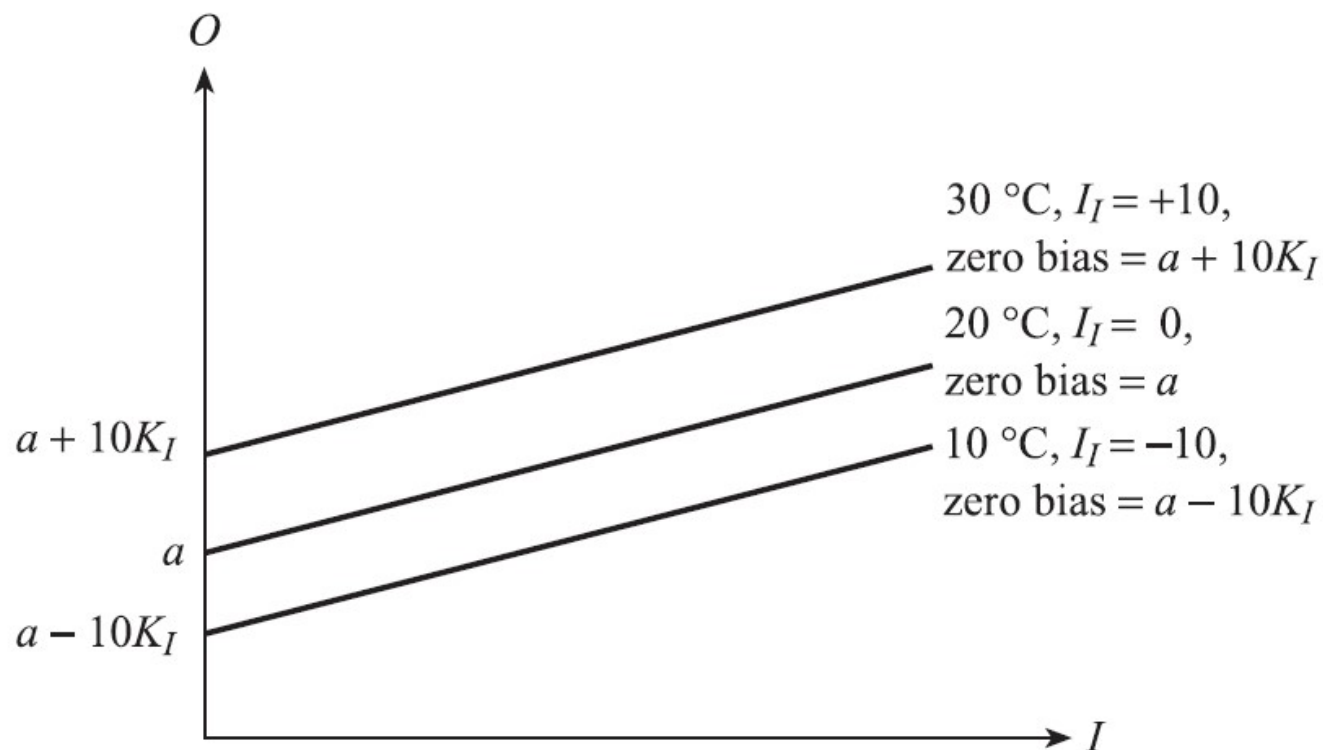
## 2.1 Đặc tính của hệ thống

- Ngõ vào thay đổi  $I_M$  làm thay đổi độ nhạy tuyến tính của một phần tử
- $K$  là độ nhạy tại điều kiện chuẩn khi  $I_M = 0$ .
- Nếu ngõ vào bị thay đổi so với giá trị chuẩn, thì  $I_M$  là độ lệch so với điều kiện chuẩn. Độ nhạy thay đổi từ  $K$  đến  $K + K_M I_M$ , trong đó  $K_M$  sự thay đổi độ nhạy đối với thay đổi đơn vị  $I_M$



## 2.1 Đặc tính của hệ thống

- Ngõ vào giao thoa  $I_I$  làm cho độ lệch không (zero bias) thay đổi
- $a$  là độ lệch không tại điều khiển chuẩn khi  $I_I = 0$ .
- Nếu ngõ vào bị thay đổi so với giá trị chuẩn, thì  $I_I$  là độ lệch so với điều kiện chuẩn. Độ lệch không thay đổi từ  $a$  đến  $a + K_I I_I$ , trong đó  $K_I$  là thay đổi độ lệch không so với thay đổi đơn vị  $I_I$



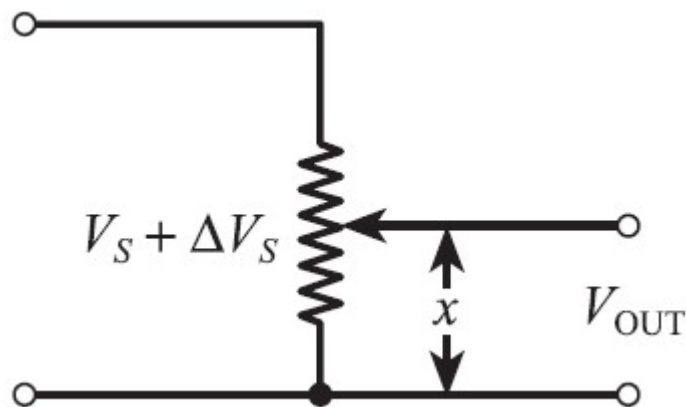
## 2.1 Đặc tính của hệ thống

- $K_M$  và  $K_I$  được coi như cặp hằng số hay độ nhạy của môi trường.
- Bây giờ ta chuẩn hóa biểu thức:

$$O(I) = KI + a + N(I)$$

$$O = KI + a + N(I) + K_M I_M I + K_I I_I$$

- Thí dụ một ngõ vào thay đổi là biến thiên  $\Delta V_S$  trong điện áp cung cấp  $V_S$  của cảm biến dịch chuyển dạng biến trở.



If  $x$  is the fractional displacement, then  
$$V_{OUT} = (V_S + \Delta V_S)x$$
$$= V_S x + \Delta V_S x$$

## 2.1 Đặc tính của hệ thống

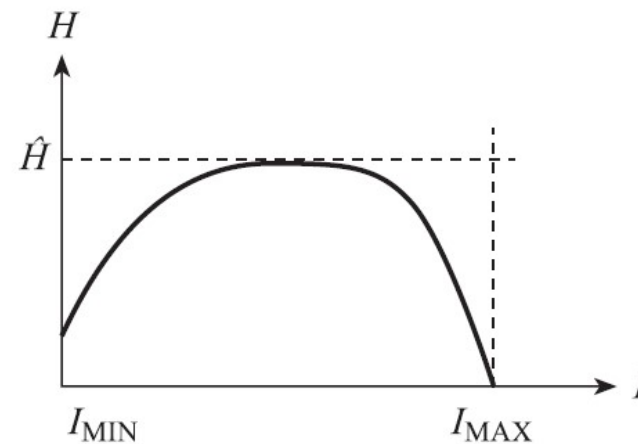
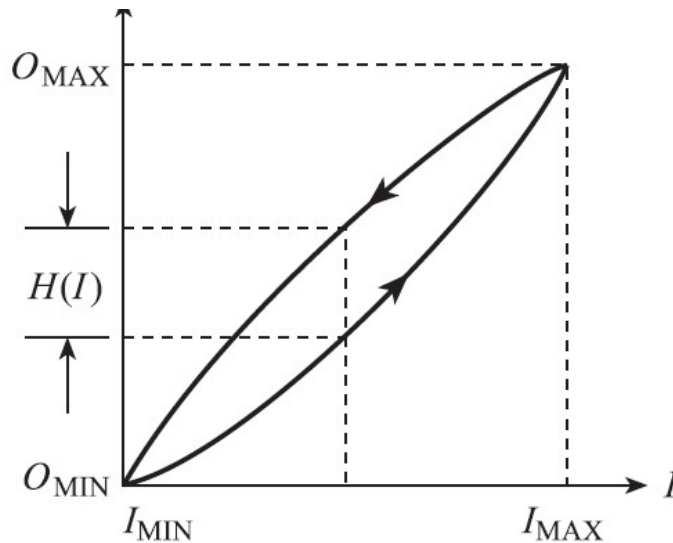
### ❖ Độ trễ

- Đối với một giá  $I$  cho trước, ngõ ra  $O$  có thể khác nhau tùy thuộc vào  $I$  đang tăng hay giảm. Độ trễ là khác biệt giữa hai giá trị đó của  $O$

$$\text{Hysteresis } H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow}$$

- Độ trễ thường được xác định dưới dạng độ trễ cực đại  $\hat{H}$  được biểu diễn dưới dạng phần trăm của f.s.d

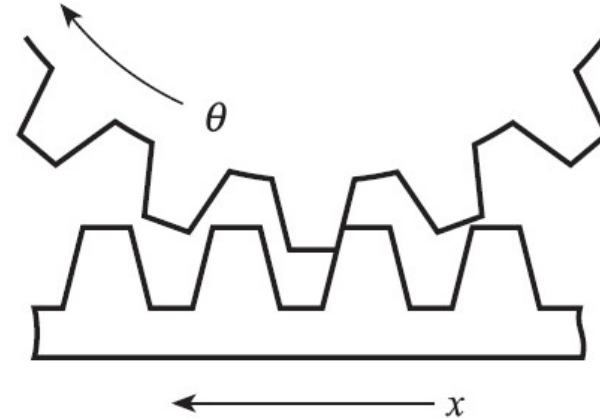
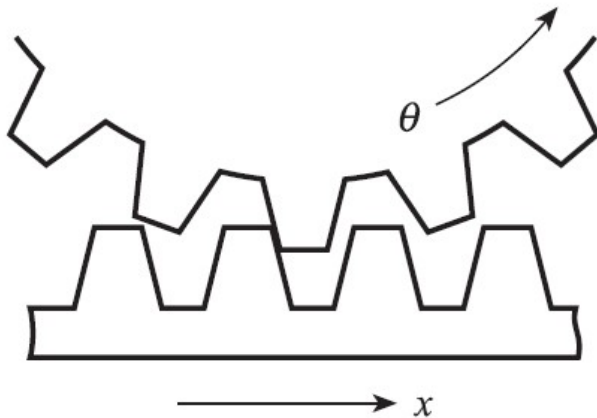
$$\text{Maximum hysteresis as a percentage of f.s.d.} = \frac{\hat{H}}{O_{\text{MAX}} - O_{\text{MIN}}} \times 100\%$$



## 2.1 Đặc tính của hệ thống

### Thí dụ

- Một hệ bánh răng đơn giản để biến đổi chuyển động tịnh tiến thành chuyển động quay. Vì 'backlash' hay 'play' trong bánh răng mà góc quay  $\theta$ , tỉ lệ với giá trị  $x$  cho trước, sẽ khác nhau tùy thuộc vào hướng của chuyển động tịnh tiến.

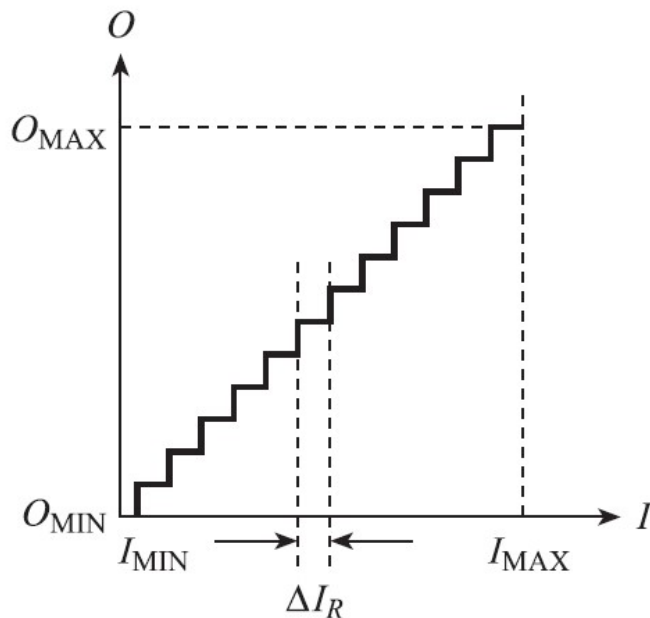




## 2.1 Đặc tính của hệ thống

### ❖ Độ phân giải

- Một số phần tử được đặc trưng bởi sự tăng của ngõ ra trong một chuỗi các bước hoặc nhảy rời rạc đáp ứng với một sự tăng liên tục tại ngõ vào. Độ phân giải được định nghĩa là độ thay đổi lớn nhất trong  $I$  sao cho không xuất hiện bất kỳ thay đổi tương ứng nào trong  $O$ .
- Độ phân giải được định nghĩa dưới dạng độ rộng  $\Delta I_R$  của bước rộng nhất; độ phân giải được biểu diễn dạng phần trăm của f.s.d như sau:

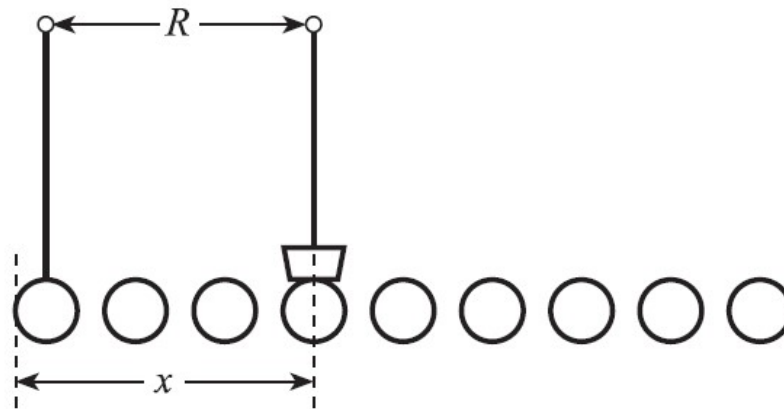


$$\frac{\Delta I_R}{I_{\text{MAX}} - I_{\text{MIN}}} \times 100\%$$

## 2.1 Đặc tính của hệ thống

*Thí dụ một biến trở dây quấn*

- Sự tăng điện trở  $R$  trong một chuỗi các bước đáp ứng với tăng  $x$  liên tục, kích thước của mỗi bước bằng với điện trở của một vòng dây quấn. Do đó độ phân giải của một biến trở 100 vòng là 1%.



## 2.1 Đặc tính của hệ thống

### ❖ Lão hóa

- Những ảnh hưởng này làm cho các đặc tính của một phần tử, chẳng hạn  $K$  và  $a$ , thay đổi chậm nhưng có hệ thống trong suốt vòng đời của nó.
- Một thí dụ chẳng hạn độ cứng của một lò xo  $k(t)$  giảm chậm theo thời gian  $k(t) = k_0 - bt$

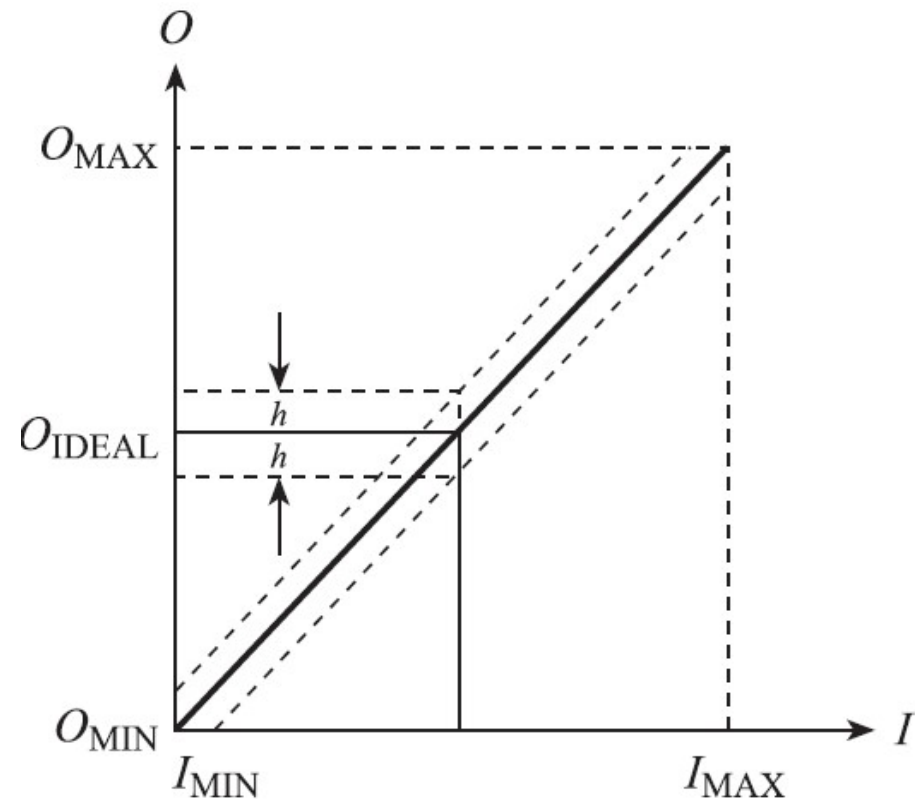
trong đó  $k_0$  là độ cứng ban đầu và  $b$  là một hằng số

- Một thí dụ khác chẳng hạn các hằng số  $a_1, a_2$  của một thermocouple, đo nhiệt độ của khí thoát ra từ một ngọn lửa, thay đổi một cách có hệ thống theo thời gian vì bản chất hóa học trong vật liệu của thermocouple thay đổi.

## 2.1 Đặc tính của hệ thống

### ❖ Dải sai số (error bands)

- Các ảnh hưởng độ phi tuyến, độ trễ và độ phân giải trong nhiều sensor và transducer hiện đại rất nhỏ do đó khó để đánh giá chính xác từng ảnh hưởng. Trong những trường hợp này nhà sản xuất định nghĩa hiệu suất của phần tử dưới dạng dải sai số.
- Nhà sản xuất cho biết đối với giá trị bất kỳ của  $I$ , thì ngõ ra  $O$  sẽ nằm trong khoảng  $\pm h$  của giá trị đường thẳng lý tưởng  $O_{IDEAL}$ .

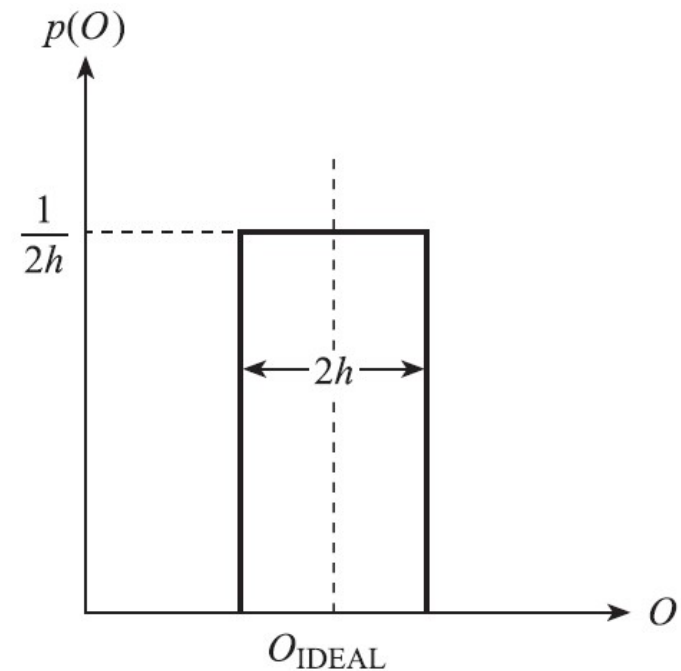


## 2.1 Đặc tính của hệ thống

- Hiệu suất thực của hệ thống được thay thế bằng giá trị thống kê dưới dạng một hàm mật độ xác suất  $p(O)$

$$p(O) \begin{cases} = \frac{1}{2h} & O_{\text{IDEAL}} - h \leq O \leq O_{\text{IDEAL}} + h \\ = 0 & O > O_{\text{IDEAL}} + h \\ = 0 & O_{\text{IDEAL}} - h > O \end{cases}$$

- Chú ý rằng diện tích hình chữ nhật là 1 đơn vị: đó là xác suất của  $O$  nằm giữa  $O_{\text{IDEAL}} - h$  and  $O_{\text{IDEAL}} + h$

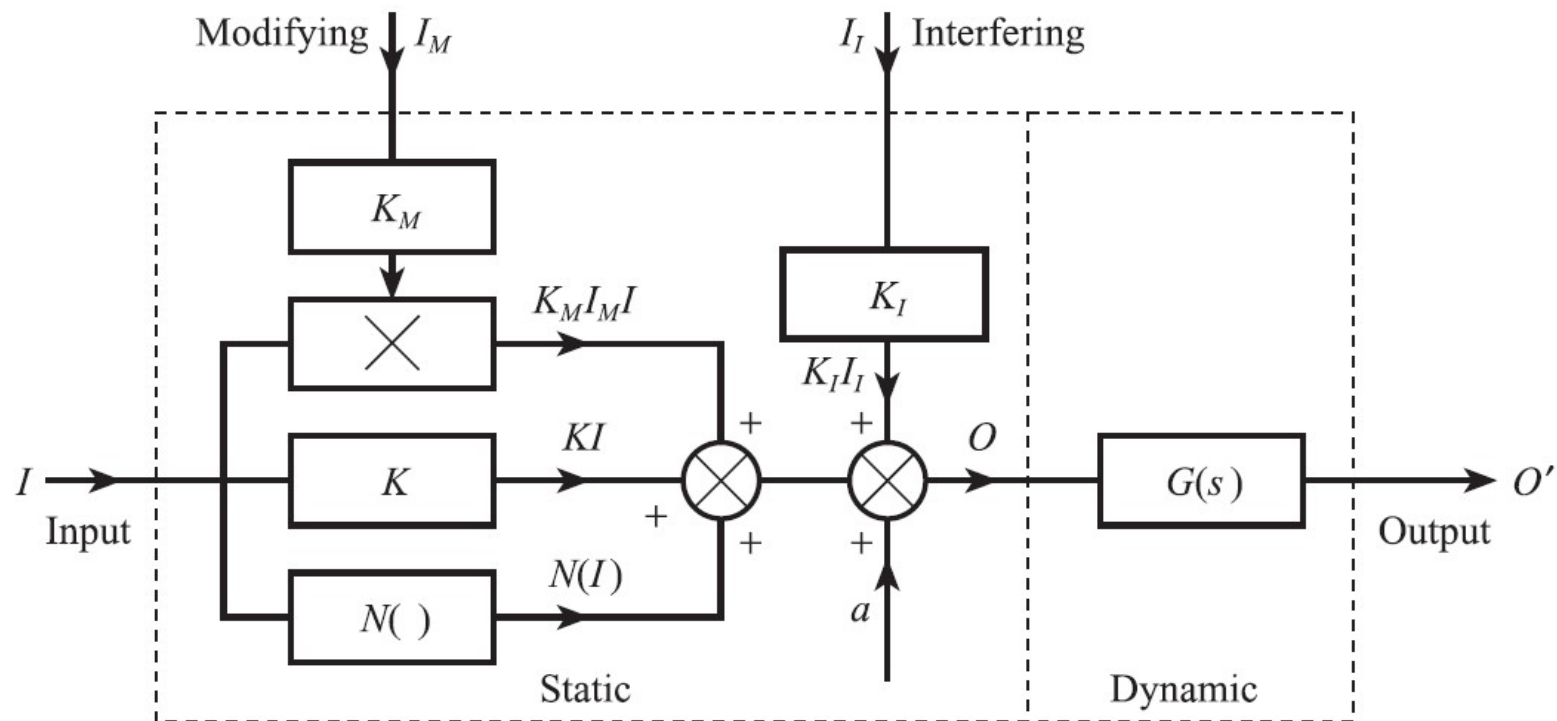


## 2.2 Mô hình hóa một phần tử hệ thống

- Nếu các ảnh hưởng độ trễ và độ phân giải không xuất hiện trong một phần tử nhưng xuất hiện các ảnh hưởng môi trường và độ phi tuyến, thì trạng thái ổn định ngõ ra  $O$  của hệ thống ở dạng tổng quát được cho bởi

$$O = KI + a + N(I) + K_M I_M I + K_I I_I$$

- Mô hình tổng quát của một phần tử



## 2.3 Đặc điểm thống kê

### ❖ Những thay đổi thống kê trong ngõ ra của một phần tử theo thời gian – độ lặp lại (repeatability)

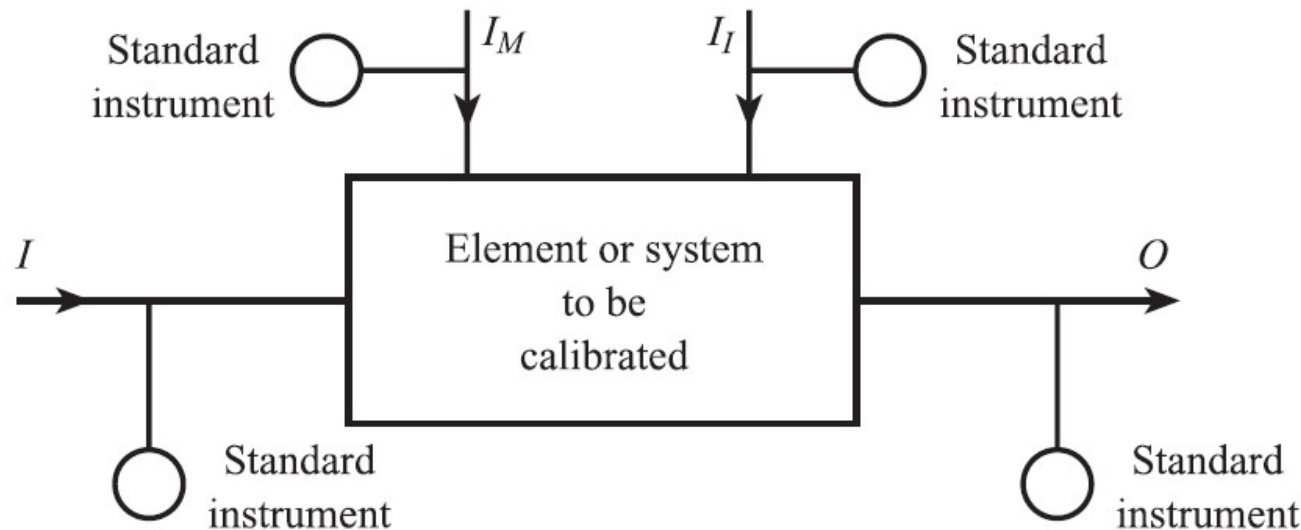
- Độ lặp lại là khả năng của một phần tử tạo ra cùng ngõ ra đối với cùng ngõ vào được đưa vào nó nhiều lần.
- Thiếu độ lặp lại là do các ảnh hưởng ngẫu nhiên trong phần tử và môi trường.

### ❖ Những thay đổi thống kê giữa một loạt các phần tử tương tự - dung sai (tolerance)

- Một loạt các phần tử giống nhau từ một nhà sản xuất cho thấy rằng tất cả các giá trị đo được không bằng với giá trị công bố bởi nhà sản xuất. Dãy các giá trị đo được phân bố thống kê quanh giá trị công bố.
- Hiệu ứng này là do những thay đổi ngẫu nhiên nhỏ trong sản xuất và thường được thể hiện bằng hàm mật độ xác suất chuẩn.

## 2.4 Nhận biết đặc tính tĩnh - calibration

- Những đặc tính tĩnh của một phần tử có thể được xác định qua thực nghiệm bằng cách đo những giá trị tương đồng của ngõ vào  $I$ , ngõ ra  $O$  và các ngõ vào môi trường  $I_M$  và  $I_I$ , khi  $I$  là một hằng số hoặc thay đổi chậm.
- Kiểu thực nghiệm như vậy được gọi là **calibration**, và phép đo các biến số  $I$ ,  $O$ ,  $I_M$  và  $I_I$  phải chính xác.
- Những thiết bị và công nghệ được dùng để định lượng các biến số này được gọi là **standards**



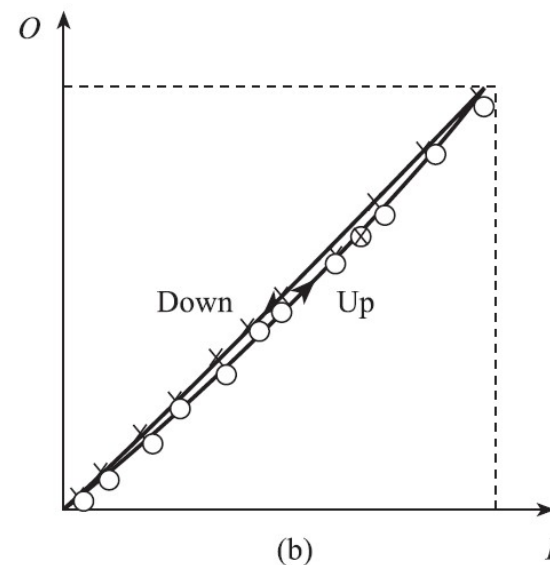
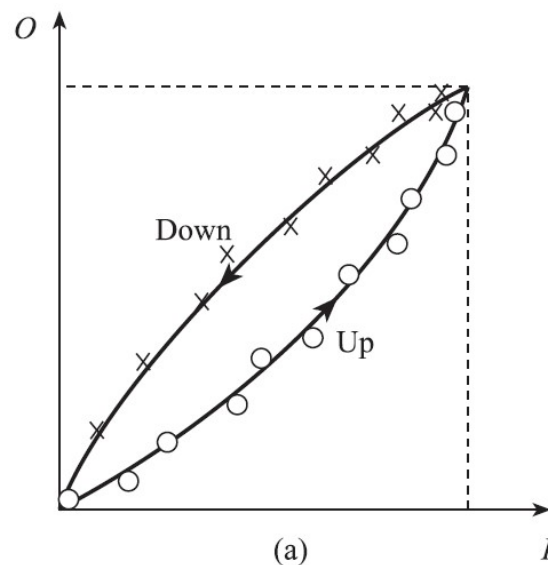


## 2.4 Nhận biết đặc tính tĩnh - calibration

Thí nghiệm calibration được chia thành ba công đoạn chính

✓ **O vs.  $I$  khi  $I_M = I_I = 0$**

- Thí nghiệm này phải được thực hiện dưới các điều kiện môi trường ‘chuẩn’ sao cho  $I_M = I_I = 0$ ; nếu điều này không thể, thì tất cả các ngõ vào môi trường phải được đo.
- $I$  được tăng chậm từ  $I_{MIN}$  đến  $I_{MAX}$  và những giá trị tương đồng  $I$  và  $O$  được ghi lại tại các khoảng của 10% span (tức là 11 lần đọc). 11 cặp giá trị khác có được khi  $I$  giảm chậm từ  $I_{MAX}$  đến  $I_{MIN}$ .



## 2.4 Nhận biết đặc tính tĩnh - calibration

- Toàn bộ quá trình nên được lặp lại hai lần ‘tăng’ và ‘giảm’ để có thêm hai tập dữ liệu, từ đó thu được hai đa thức

$$O(I)_{I\uparrow} = \sum_{q=0}^m a_q^{\uparrow} I^q \quad \text{and} \quad O(I)_{I\downarrow} = \sum_{q=0}^m a_q^{\downarrow} I^q$$

- Độ trễ  $H(I)$  khi đó được cho bởi

$$H(I) = O(I)_{I\downarrow} - O(I)_{I\uparrow}$$

- Độ dốc  $K$  và zero bias  $a$  của đường thẳng lý tưởng có thể được xác định từ các giao điểm cực tiểu và cực đại  $(I_{MIN}, O_{MIN})$  và  $(I_{MAX}, O_{MAX})$
- Hàm phi tuyến  $N(I)$  được xác định bởi

$$N(I) = O(I) - (KI + a)$$

## 2.4 Nhận biết đặc tính tĩnh - calibration

✓  $O$  vs  $I_M, I_I$  khi  $I$  không đổi

- Đầu tiên ta cần xác định những ngõ vào môi trường nào là interfering, tức là nó ảnh hưởng đến zero bias  $a$ .
- Ngõ vào  $I$  được giữ không đổi tại  $I = I_{MIN}$ , và một ngõ vào môi trường được thay đổi một lượng biết trước. Nếu có một thay đổi  $\Delta O$  trong  $O$ , thì ngõ vào  $I_I$  là interfering và  $K_I = \Delta O / \Delta I_I$ . Nếu không có thay đổi trong  $O$ , thì ngõ vào đó không phải là interfering. Quá trình được lặp lại cho đến khi tất cả ngõ vào interfering được nhận biết và các giá trị  $K_I$  tương ứng được xác định.

## 2.4 Nhận biết đặc tính tĩnh - calibration

- Bây giờ ta cần nhận biết các ngõ vào modifying, tức là nó ảnh hưởng đến độ nhạy của phân tử.
- Ngõ vào  $I$  được giữ không đổi tại giá trị trung bình  $\frac{1}{2}(I_{MIN} + I_{MAX})$  và từng ngõ vào môi trường được thay đổi bằng một lượng biết trước. Nếu một thay đổi ngõ vào tạo ra một thay đổi  $\Delta O$  trong  $O$  và đó không phải là ngõ vào interfering, thì nó phải là một ngõ vào modifying  $I_M$  và giá trị  $K_M$  được cho bởi

$$K_M = \frac{1}{I} \frac{\Delta O}{\Delta I_M} = \frac{2}{I_{MIN} + I_{MAX}} \frac{\Delta O}{\Delta I_M}$$

## 2.4 Nhận biết đặc tính tĩnh - calibration

### ✓ Kiểm tra độ lặp lại

- Kiểm tra này phải được thực hiện trong môi trường làm việc bình thường của phần tử, chẳng hạn bên ngoài nhà máy, hay trong một phòng điều khiển, nơi mà các ngõ vào môi trường  $I_M$  và  $I_I$  thay đổi ngẫu nhiên.
- Tín hiệu ngõ vào  $I$  phải được giữ không đổi ở giá trị trung bình và ngõ ra  $O$  được đo trong một khoảng thời gian dài, nhiều ngày, thu được một tập giá trị  $O_k$ .
- Giá trị trung bình của tập dữ liệu được xác định bởi

$$\bar{O} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N O_k$$

- Độ lệch chuẩn được xác định bởi

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (O_k - \bar{O})^2}$$

## 2.4 Nhận biết đặc tính tĩnh - calibration

- Sau đó vẽ histogram của giá trị  $O_k$  để ước lượng hàm mật độ xác suất  $p(O)$  và so sánh nó với dạng chuẩn

