

Сензорни схеми и устройства

Съдържание

- 1. Основни понятия. Базови, интегрални и интелигентни сензори**
- 2. Основни сензорни характеристики**

Съдържание

2.1. Статични характеристики

2.2. Динамични характеристики

Вход и изход

□ Сензор

Вход: измервана величина (температура, налягане, интензитет на лъчение и др.)

Изход: електрически сигнал (напрежение, ток, честота и др.)

Вариации: изходът понякога е може да е преместване (термометри, магнитостриктивни и пиезоелектрически сензори). Някои реализации комбинират сензори актуатори.

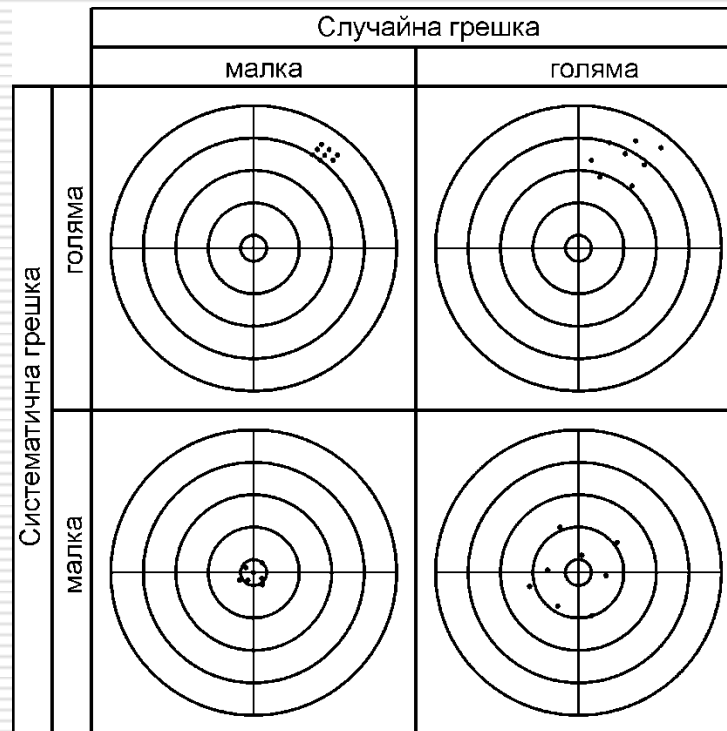
Вход и изход

□ Актуатори

Вход: електрически сигнал (напрежение, ток, честота и др.)

Изход: механичен (сила, налягане, отместване) или индикация (звук, светлина и др.)

2.1. Статични характеристики

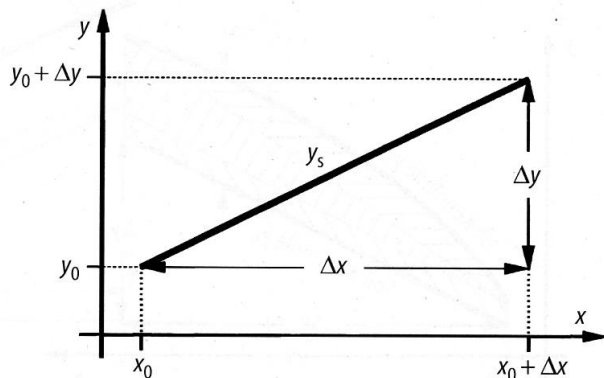


Фиг. 2.1. Систематични и случайни грешки

2.1. Статични характеристики

□ Предавателна функция – идеална и реална

$$y(x) = y_0 + \frac{\Delta y}{\Delta x} (x - x_0)$$



■ Предавателна функция – **идеална и реална**

x_0 ■ Начало на измервателен обхват

$x_0 + \Delta x$ ■ Край на измервателен обхват

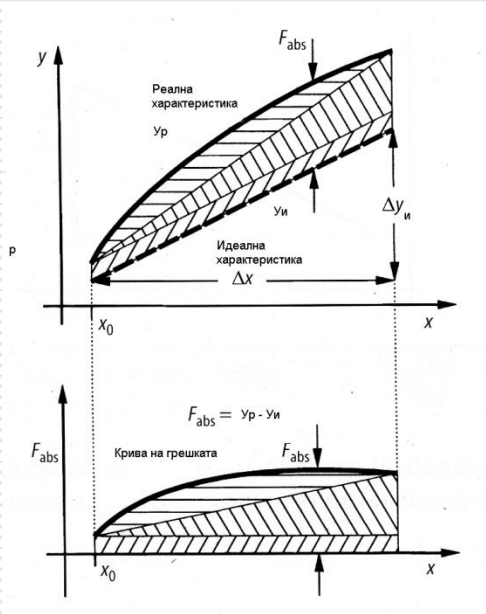
Δx ■ Измервателен обхват

y_0 ■ Изходен сигнал за $x=x_0$

Δy ■ Обхват на изходен сигнал

2.1. Статични характеристики

□ Идеална, реална характеристика и грешки



$$y_P = y_{OP} + \frac{\Delta y_P}{\Delta x} (x - x_0) + F_{lin}(x)$$

$$y_{И} = y_{OИ} + \frac{\Delta y_{И}}{\Delta x} (x - x_0)$$

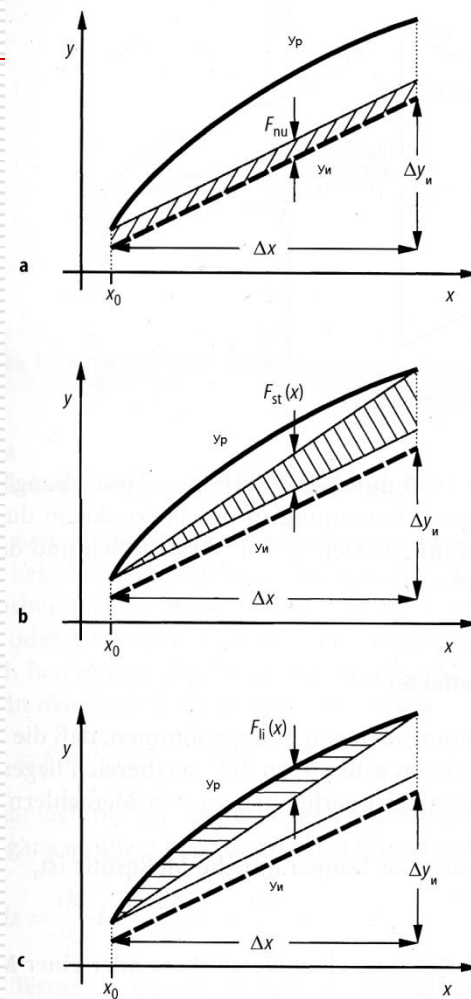
$$F_{abs} = y_P - y_{И} = (y_{OP} - y_{OИ}) + (\Delta y_P - \Delta y_{И}) \frac{(x - x_0)}{\Delta x} + F_{lin}(x)$$

$$F_{abs} = F_{null} + F_{st} + F_{lin}$$

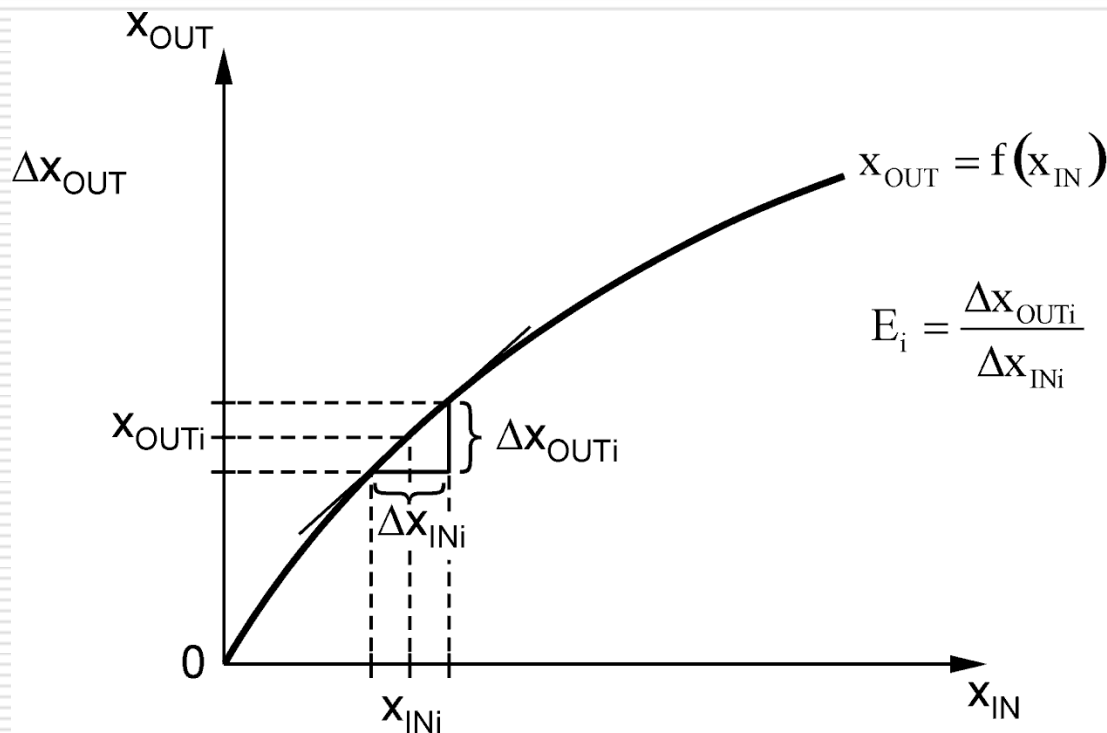
2.1. Статични характеристики

□ Компоненти на грешката

$$F_{abs} = F_{null} + F_{st} + F_{lin}$$



2.1. Статични характеристики



Фиг. 2.2. Чувствителност на сензор

□ Чувствителност:

- Отношение на изменението на изходния сензорен сигнал към изменението на входния сигнал

Предавателна функция (пример с акселерометър)

□ Акселерометър ADXL330

Ratiometric - Съотносно?
Изходното напрежение е в съотношение
със захранващото напрежение

От техническите характеристики на ADXL330

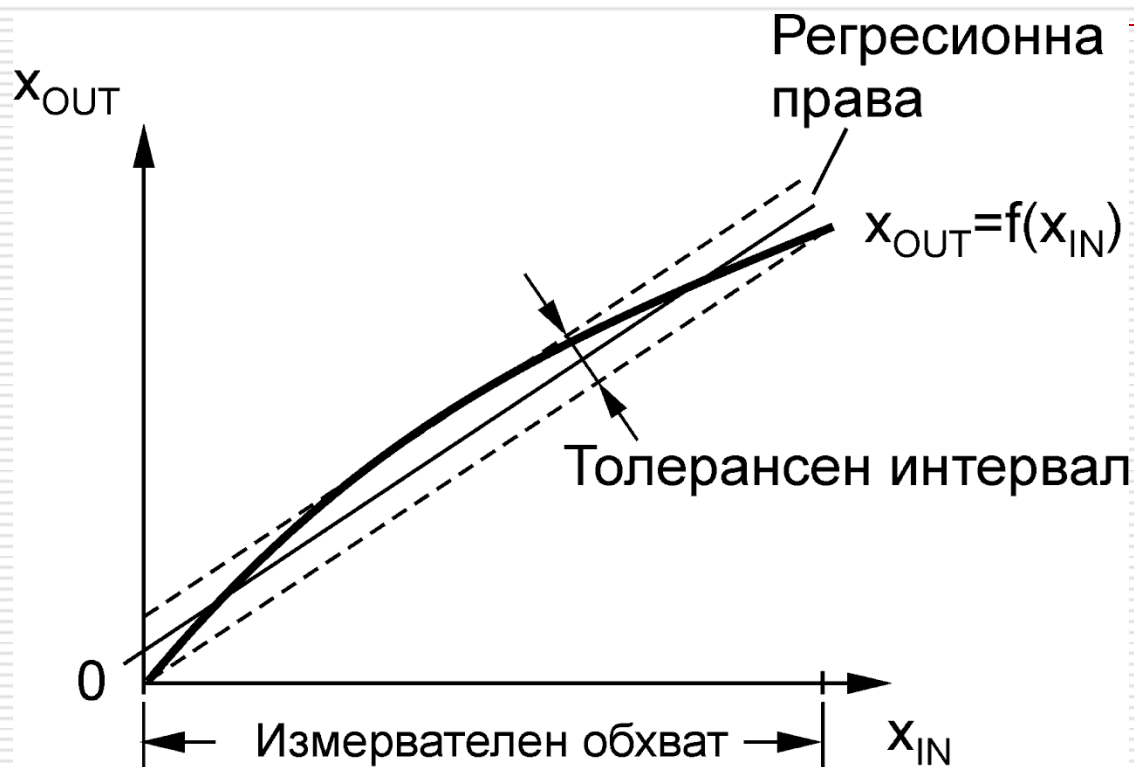
SENSITIVITY (RATIOMETRIC) ²	Each axis				
Sensitivity at X _{out} , Y _{out} , Z _{out}	V _S = 3 V	270	300	330	mV/g
Sensitivity Change Due to Temperature ³	V _S = 3 V		±0.015		%/°C
ZERO g BIAS LEVEL (RATIOMETRIC)	Each axis				
0 g Voltage at X _{out} , Y _{out} , Z _{out}	V _S = 3 V	1.2	1.5	1.8	V
0 g Offset vs. Temperature			±1		mg/°C

Означава, че при захранване $V_S = 3\text{ V}$ и при нарастване на ускорението с 1 g , изходното напрежение ще нарасне с 300 mV (типично)

Означава, че при захранване $V_S = 3\text{ V}$ и при ускорение 0 g , изходното напрежение ще бъде 1.5 V (типично)

Предавателна функция: $\text{Напрежение(V)} = 1.5\text{V} + (0.3 * \text{ускорение (g)})$

2.1. Статични характеристики



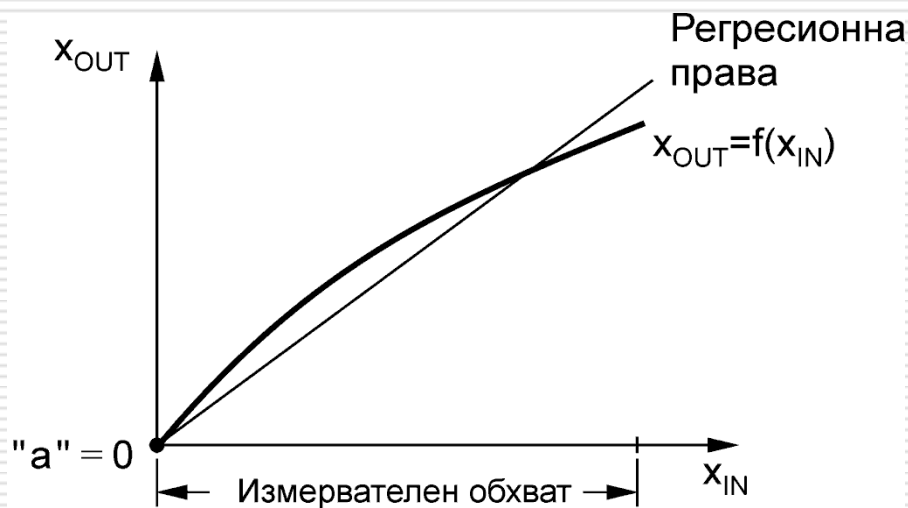
□ **Нелинейност:**

Характеристика, описваща отклонението на сензорната характеристика от зададена права линия.

□ При метода на **толерансния интервал** линията се изчислява по метода на най-малките квадрати и стойностите за максимална положителна и минимална отрицателна грешка са равни

Фиг. 2.3. Нелинейност на сензорна характеристика (метод на толерансния интервал, best fit)

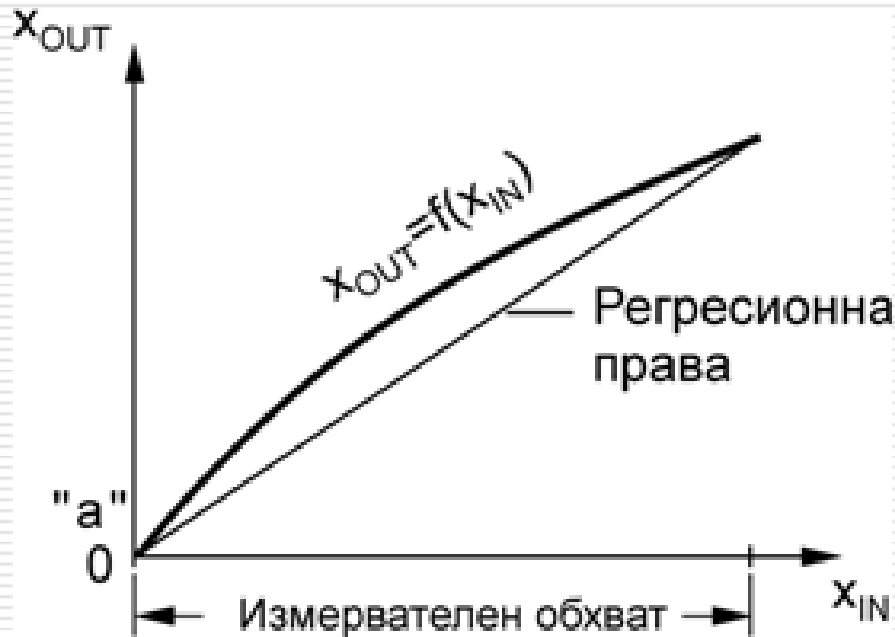
2.1. Статични характеристики



- При метода с **преминаване през нулевата точка** линията също се изчислява по метода на най-малките квадрати и се поставя **допълнително условие** за преминаване през нулевата точка на сензорната характеристика.

Фиг. 2.4. Нелинейност на сензорна характеристика по метода с преминаване през нулевата точка

2.1. Статични характеристики



- При метода с преминаване през нулевата и зададена крайна точка стойностите за максимална положителна и минимална отрицателна грешка не са равни.

$$NL(\% - \text{ИО}) = \frac{K \cdot X_{IN} - X_{OUT}}{\text{ИО}}$$

Където:

K – наклон на правата,
ИО – измервателен обхват.

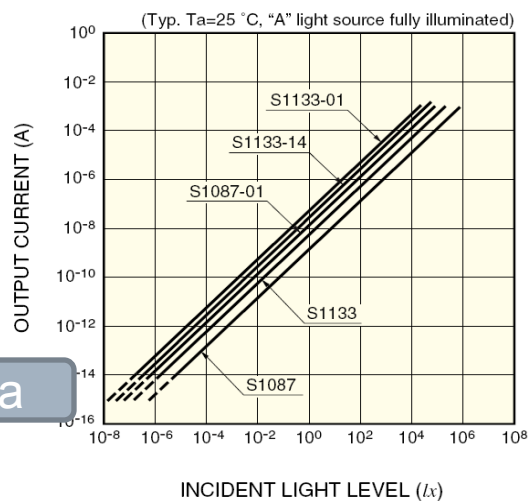
Фиг. 2.5. Нелинейност на сензорна характеристика по метода с преминаване през нулевата точка и зададена крайна точка

Линейност

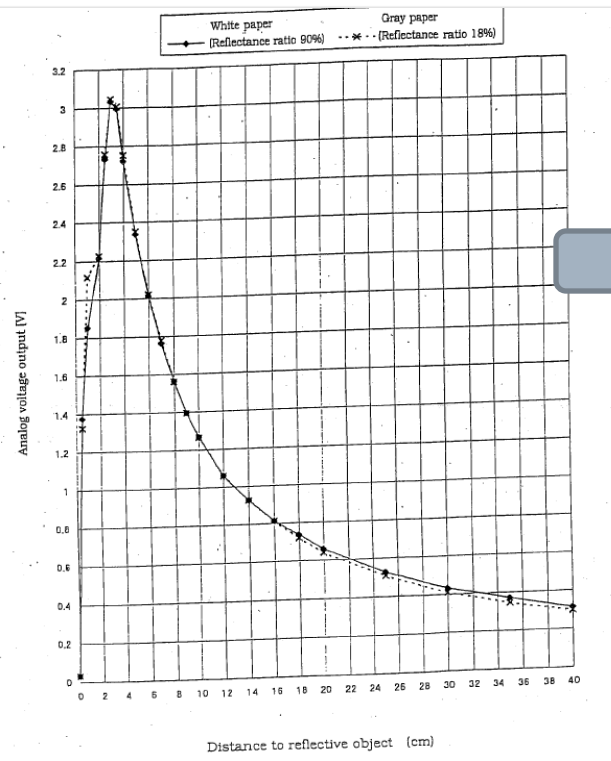
Сензор за линейни премествания Sharp GP2D120XJ00F

Фотодиод: S1087, S1087-01

■ Short circuit current linearity



Добра



Лоша

Акселерометър ADXL330

SENSOR INPUT

Measurement Range

Nonlinearity

Package Alignment Error

Each axis

% of full scale

±3

±3.6

±0.3

±1

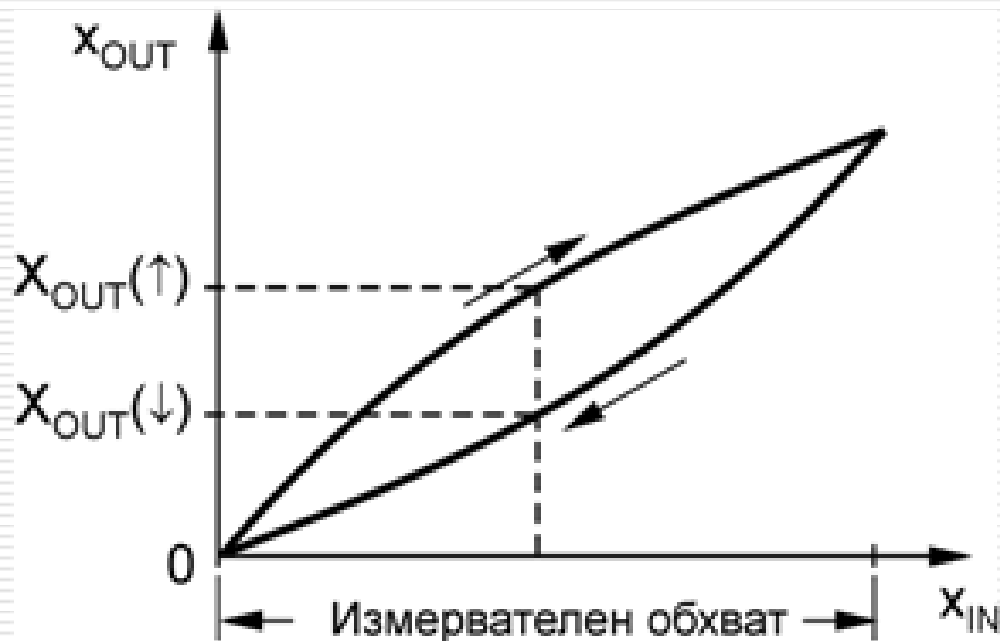
Добра

g

%

Degrees

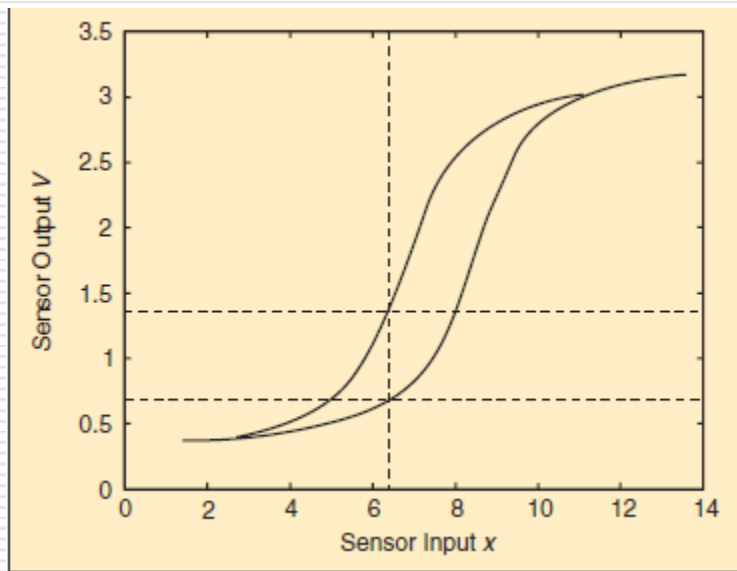
2.1. Статични характеристики



- **Грешката от хистерезис** се дефинира като разликата на две изходни стойности, съответстващи на една и съща входна стойност, но получени при нарастване и съответно намаляване на входното въздействие, отнесена към измервателния обхват ИО.

$$H(\% - \text{ИО}) = \frac{X_{\text{OUT}}(\uparrow) - X_{\text{OUT}}(\downarrow)}{\text{ИО}}$$

Фиг. 2.6. Грешка от хистерезис



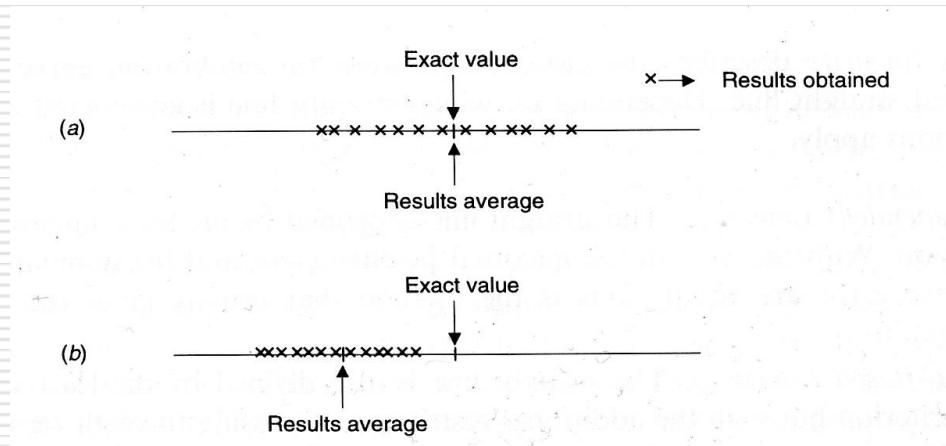
2.1. Статични характеристики

- (Работен) обхват – гарантирани метрологични параметри
- **Прецизност:** мярка за разсейването на единичните резултати
 - Оценява се чрез **стандартното отклонение** и относителното стандартно отклонение
 - В зависимост от условията – 2 категории:
 - **Повторяемост:** еднакви метод и условия, къс период
 - **Възпроизводимост:** еднакви метод и условия, по-дълъг период, различни уреди, оператори

2.1. Статични характеристики

□ Точност \neq прецизност!

- Точност: в каква степен измерената стойност се отклонява от истинската.



2.1. Статични характеристики

□ Пример

- Уред за измерване на температура, се състои от термоелемент, чийто студен край се поддържа при 0°C и от усилвател с отместване на нулевата точка.
- За измервателният обхват 200°C до 250°C трябва да се генерират напрежения в обхвата $0 - 2\text{V}$.
- Измерената стойност се дигитализира и извежда на индикация с $3\frac{1}{2}$ цифри (2000 Digits), измерваната стойност е около 230°C .
- Грешката от нелинейност е $\pm 0,5\%$ от измервателният обхват.
- Грешката на нулата е $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.
- Грешката на чувствителността е $\pm 0,05\%$ от измерената стойност
- Изчислете абсолютните стойности на грешките от:
 - 1) разделителната способност;
 - 2) нелинейност;
 - 3) грешката на нулата;
 - 4) грешката на чувствителността и
 - 5) максималната грешка, дължаща се на посочените компоненти (Worst case).

2.1. Статични характеристики

□ Пример

■ Абсолютните стойности на грешките:

1) разделителната способност;

$$(250 - 200)^{\circ}C / 2000 \text{ Digits} = 0,025K$$

2) нелинейност;

$$\pm 0,5\% \cdot 50^{\circ}C = \pm 0,25^{\circ}C$$

3) грешката на нулата и

$$\pm 0,2K$$

4) грешката на чувствителността

$$\pm 0,05\% \cdot (230 - 200)^{\circ}C = \pm 0,015K$$

Отместване на нулата!

5) максималната грешка, дължаща се на посочените компоненти (Worst case).

$$\pm (0,025 + 0,25 + 0,2 + 0,015)K \approx \pm 0,5K$$

2.1. Статични характеристики

- Точност на системи
- Изчисляване на **най-вероятни** или на **максимални** граници

- Пример

В температурна измервателна система предавателната функция е $3,2\text{mV/K} \pm 2,1\%$,

а допустимата грешка на сензора е $\pm 1,7\%$

- **Най-вероятни** граници за точността

$$\pm \sqrt{(0,021)^2 + (0,017)^2} = \pm 2,7\%$$

- **Максимални** граници за точността (**worst case**)

$$\pm (2,1 + 1,7) = \pm 3,8\%$$

2.1. Статични характеристики

□ Динамичен обхват

$$\text{Входен динамичен обхват} = \frac{\text{Входен обхват}}{\text{Входна разделителна способност}}$$

$$\text{Изходен динамичен обхват} = \frac{\text{Изходен обхват}}{\text{Изходна разделителна способност}}$$

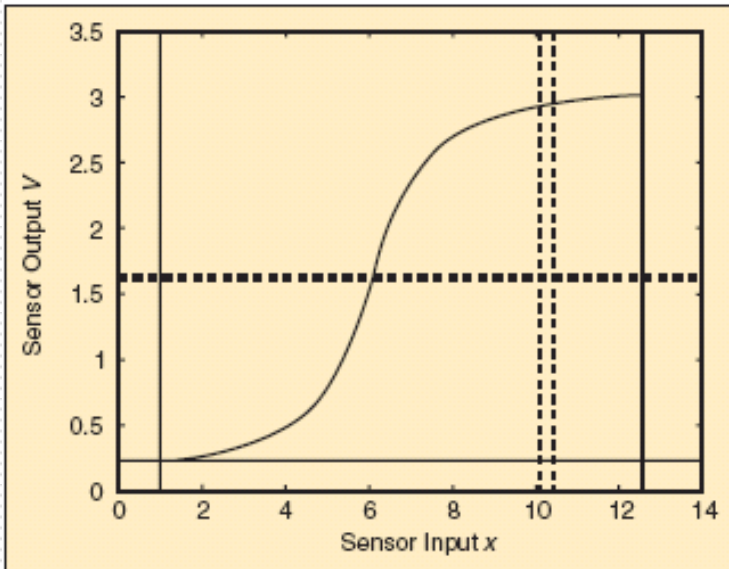


Figure 9. Output dynamic range is the ratio between the output width and the smallest distinguishable output variation. Similarly, input dynamic range is the ratio between the input width and the smallest distinguishable input variation.

2.1. Статични характеристики

□ Изходен динамичен обхват = $20 \log \frac{\text{Изходен обхват}}{\text{Изходна разделителна способност}}$

□ Пример

- Изходен обхват 8 V
- Разделителна способност 2.3 mV
- Изходен динамичен обхват 70.8 dB
- Или 11.8 bits

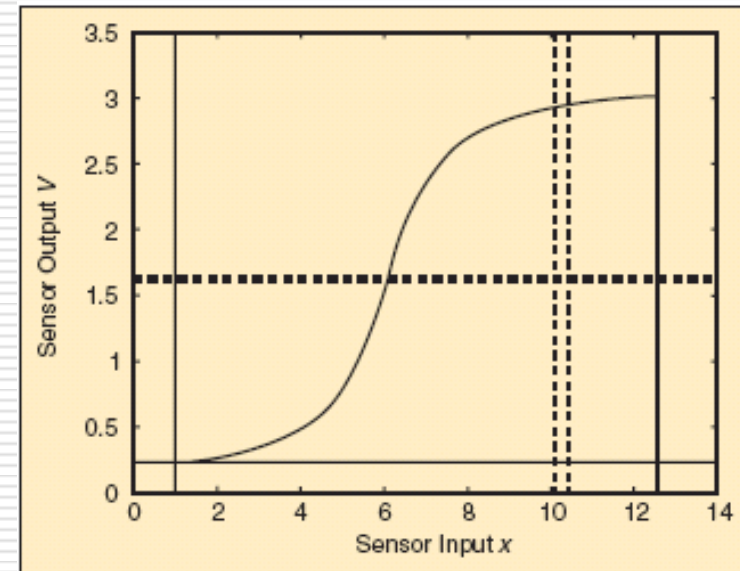
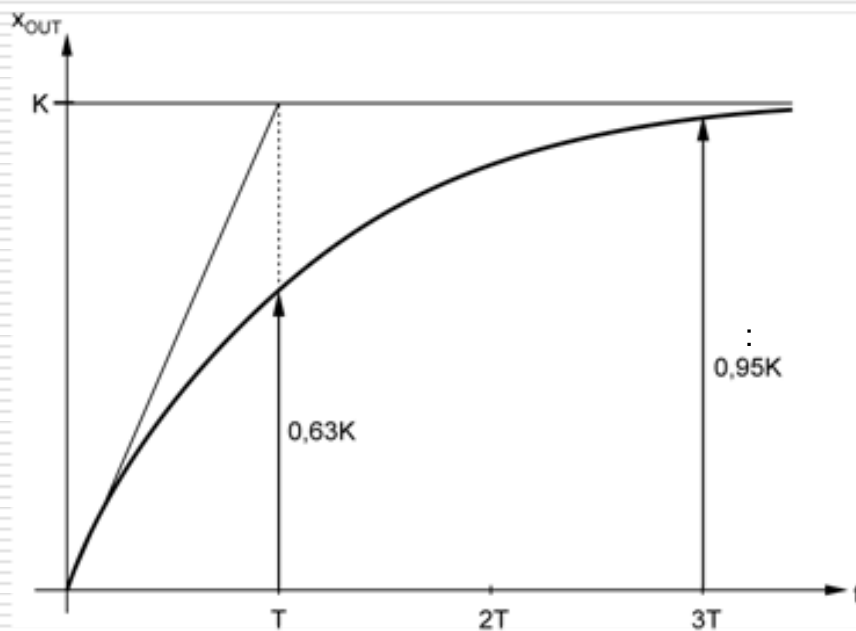


Figure 9. Output dynamic range is the ratio between the output width and the smallest distinguishable output variation. Similarly, input dynamic range is the ratio between the input width and the smallest distinguishable input variation.

2.2. Динамични характеристики



$$x_{OUT} = x_{IN} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

За $t = T$ и $x_{IN} = K$

$$x_{OUT} = K \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) = K(1 - e^{-1})$$
$$x_{OUT} = K(1 - 0,36788) = K \cdot 0,6321$$

Фиг. 2. 7. Преходна характеристика на апериодично звено от първи ред

2.2. Динамични характеристики

□ Пример

- Линеен сензор за налягане има времеконстанта $3,1\text{s}$ и предавателна функция 29mV/kPa .
 - Какво е нивото на изходния сигнал след $1,3\text{ s}$ ако налягането се повиши от 17 на 39kPa ?
 - Каква е грешката при измерване на налягането?

2.2. Динамични характеристики

□ Пример

- Линеен сензор за налягане има времеконстанта 3,1s и предавателна функция 29mV/kPa.

- Какво е нивото на изходния сигнал след 1,3 s ако налягането се повиши от 17 на 39kPa?

$$A(17\text{kPa}) = 17 \cdot 29\text{mV} = 493\text{mV}$$

$$A(39\text{kPa}) = 39 \cdot 29\text{mV} = 1131\text{mV}$$

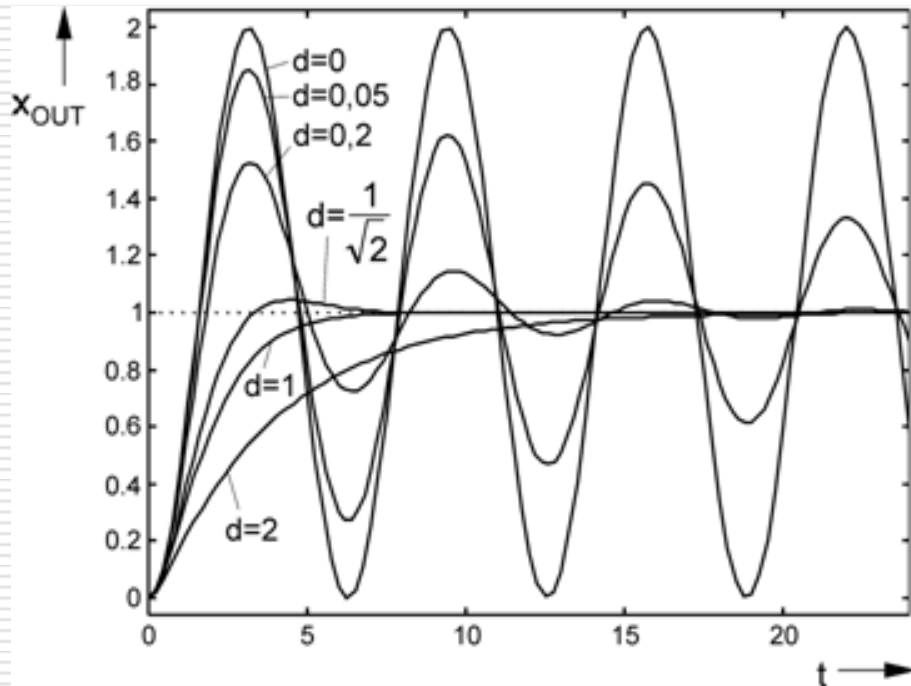
$$A(39\text{kPa}; 1,3\text{s}) = 493\text{mV} + (1131\text{mV} - 493\text{mV}) \left(1 - e^{-\frac{1,3}{3,1}} \right) = 711,53\text{mV}$$

- Каква е грешката при измерване на налягането?

$$\text{Налягане след } 1,3\text{ s} = \frac{711,53\text{mV}}{29 \frac{\text{mV}}{\text{kPa}}} = 24,53\text{kPa}$$

$$\Delta = 39 - 24,53 = 14,47\text{kPa}$$

2.2. Динамични характеристики



Фиг. 2.8. Преходна характеристика на апериодично звено от втори ред

Литература

- ***Dennis S. Bernstein***, Sensor Performance Specifications. IEEE Control Systems Magazine, August 2001

Реални проекти / ситуации

- В практическите реализации възникват винаги грешки дължащи се на:
 - шум
 - от захранване,
 - от цифровите схеми,
 - от радиосигнали,
 - от елементите;
 - толеранси а елементите
 - 5% резистори, 1% резистори,
 - 10% кондензатори,
 - и др.;
 - температурен дрейф
 - изменение на характеристиките на елементите с температурата.

 - **Прости** методи за редукция на тези **грешки**.
-

Реални проекти

Шум (случаен характер)

■ Пример с акселерометър

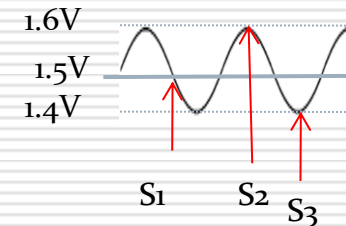
■ ADXL330 at 0 g (1.5V)

- Измерване при S1 -> ok
- Измерване при S2 -> + 0,1V -> +0,333 g
- Измерване при S3 -> - 0,1V -> -0,333 g

Решение

■ Осредняване

- $(S1 + S2 + S3)/3 = (1,5+1,6+1,4)/3 = 1,5 \text{ V}$



Реални проекти

□ Колко измервания са необходими за осредняване

■ Зависи от изискванията за точност

■ За предпочитане е дакратно на степени на 2 (2^N)

□ 10 измервания и осредняване

$Total += Si; \quad //(i=1, \dots, 10)$

$Result = Total/10;$

деление => бавно

□ 16 измервания и осредняване

$Total += Si; \quad //(i=1, \dots, 16)$

$Result = (Total >> 4);$

Bit shift => бързо

■ Да се вземе предвид капацитета на регистрите, в които се съхраняват резултатите!

□ Например при работа с цели числа максималният резултат от 12-битово АЦП е 4096

□ $Total = 4096 * 16 = 65536$ – необходими са поне 16 бита (unsigned int)!

Реални проекти

□ Отместване на нулата (Offset)

■ Статично

■ Акселерометър: ADXL330

□ Случай **A** - за 0 g – изход 1.5V

□ Случай **B** - за 0 g – изход 1.53V

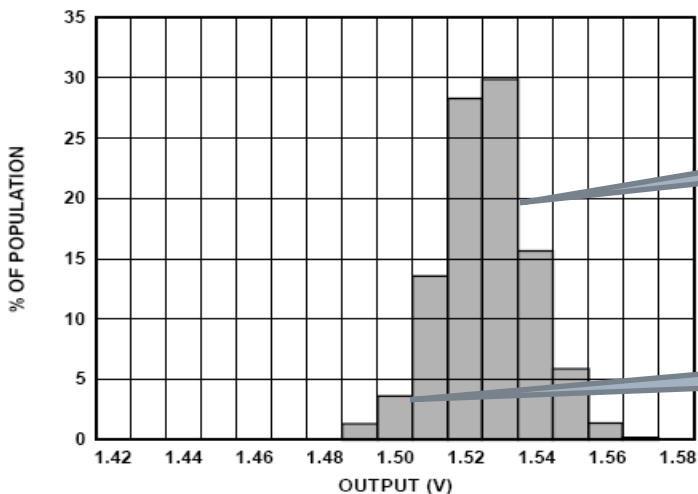


Figure 5. X-Axis Zero g Bias at 25°C, $V_s = 3V$

B) 30% от ADXL330,
за 0 g изход - 1.53V

A) 4% of ADXL330,
за 0 g изход - 1.5V

Калибриране

- Определяне на константата за калибриране и компенсиране на грешката от отместването на нулата
 - Калибриране на ADXL330
 - Предавателна функция: $V = (1.5 + C_{cal}) + (0.3 * g)$
 - C_{cal} е константата за калибриране
 - За случай **A**, за 0 g изходът е 1.5V
 - $C_{cal} = 0$
 - Ако $N_{ADC} = 2879$, ускорението трябва да е 0.859 g
 - За случай **B** за 0 g изходът е 1.53V
 - $C_{cal} = 0.03$
 - Ако $N_{ADC} = 2879$, ускорението трябва да е ?? G
-

Калибриране

- За калибриране е необходима от референтна стойност
 - Точността на референтна стойност определя точността на калибрирането.
- Как да се калибрира ADXL330??
 - Необходимо е ускорение с точна стойност 0 g (или 1 g).

Ускорение => **напрежение**

За калибриране ни е необходимо изходното напрежение за 0 g.

Как да получим въздействие точно 0 g?

- Как да се калибрира температурен сензор?
 - Необходима е температура с точна стойност.

Температура => **напрежение**

За калибриране ни е необходимо изходното напрежение за определена температура(25 °C).

2.1. Статични характеристики

□ Динамичен обхват

$$\text{output dynamic range} = \frac{\text{output width}}{\text{output resolution}}$$

$$\text{output dynamic range in bits} = \log_2 \frac{\text{output width}}{\text{output resolution}}$$

$$\begin{aligned} \text{output dynamic range in decibels} \\ = 20 \log_{10} \frac{\text{output width}}{\text{output resolution}} \end{aligned}$$

As an example, an output width of 8 V with a quantization resolution of 0.23 mV has an output dynamic range of 11.8 bits or 70.8 dB. Note that each bit corresponds to 6 dB.

$$\text{input dynamic range} = \frac{\text{input width}}{\text{input resolution}}$$

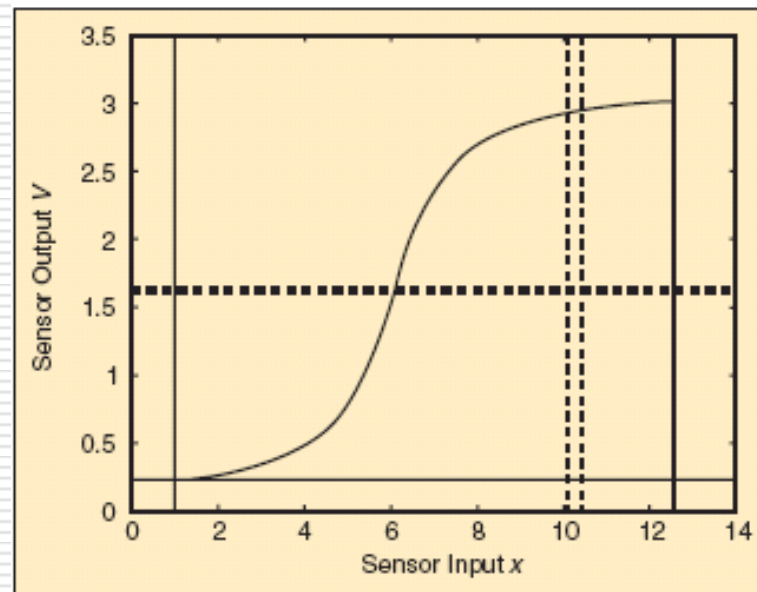


Figure 9. Output dynamic range is the ratio between the output width and the smallest distinguishable output variation. Similarly, input dynamic range is the ratio between the input width and the smallest distinguishable input variation.

2.1. Статични характеристики

□ Динамичен обхват

$$\text{Изходен динамичен обхват (dB)} = 20 \log_{10} \frac{\text{Изходен обхват}}{\text{Изходна разделителна способност}}$$

$$\text{Изходен динамичен обхват (bit)} = \log_2 \frac{\text{Изходен обхват}}{\text{Изходна разделителна способност}}$$

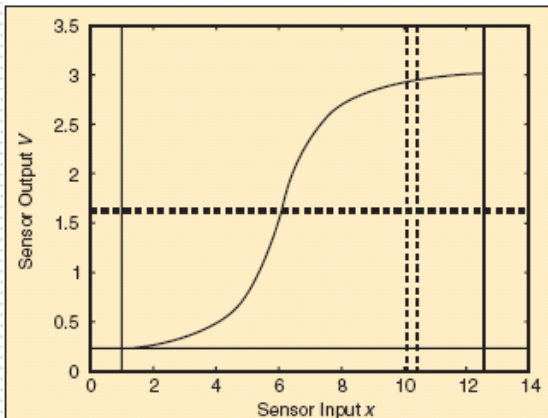


Figure 9. Output dynamic range is the ratio between the output width and the smallest distinguishable output variation. Similarly, input dynamic range is the ratio between the input width and the smallest distinguishable input variation.