

# Измервания в електрониката

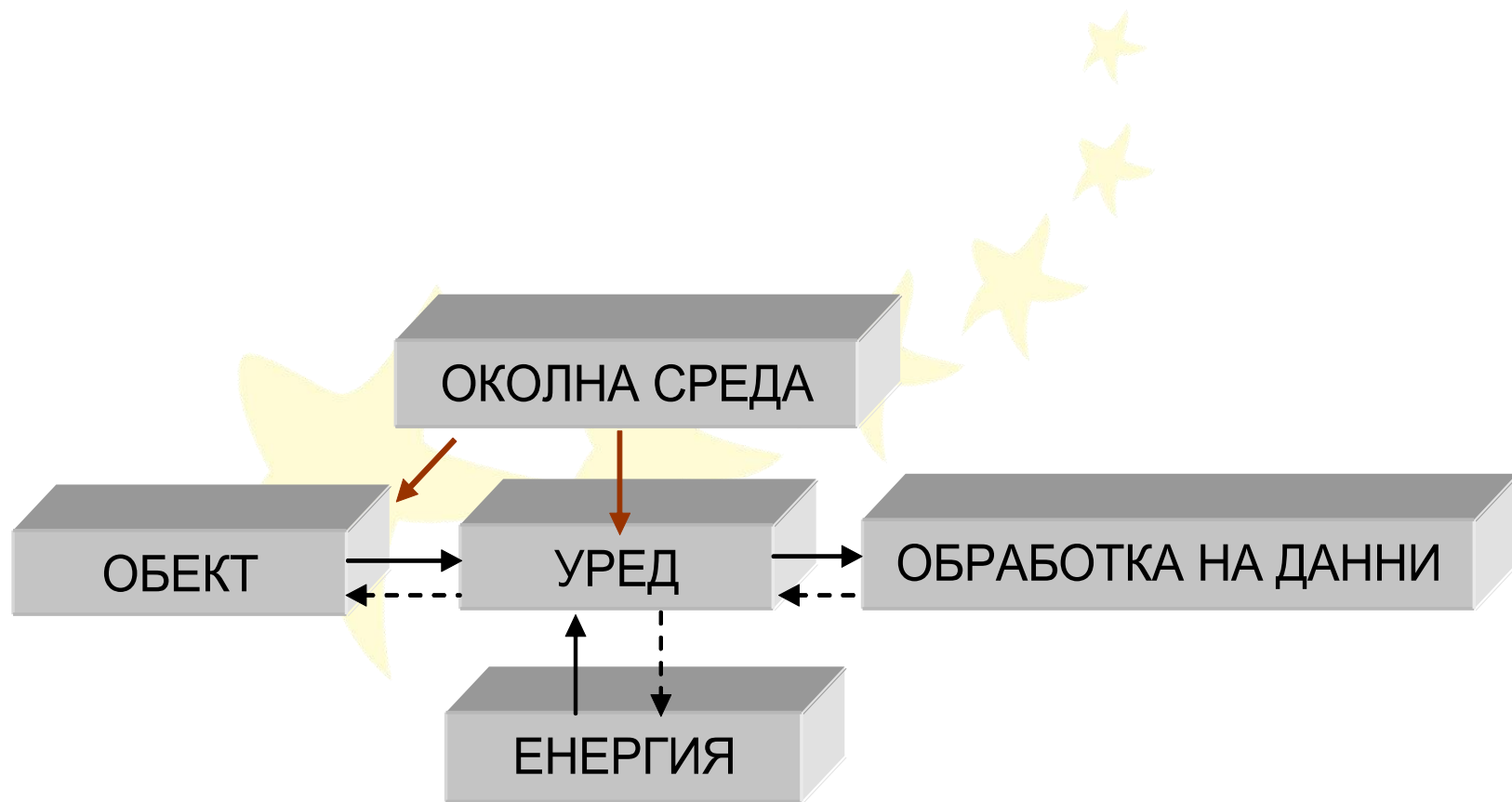
---

## **Модул 1: Основни характеристики на електронните измервателни уреди**

# Измервания в електрониката

## **Модул 1: Основни характеристики на електронните измервателни уреди**

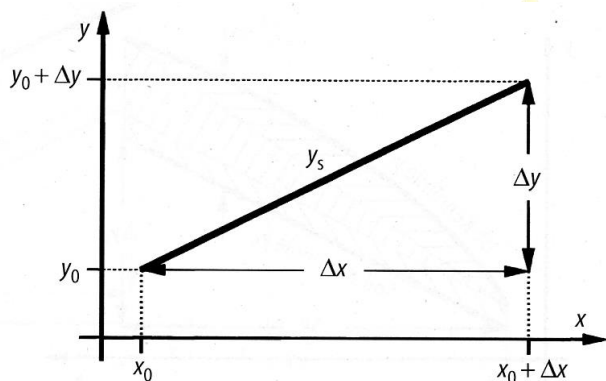
# 1.1. Измервателен уред и измервателна среда



# 1.2. Статични характеристики

- Предавателна функция – идеална и реална

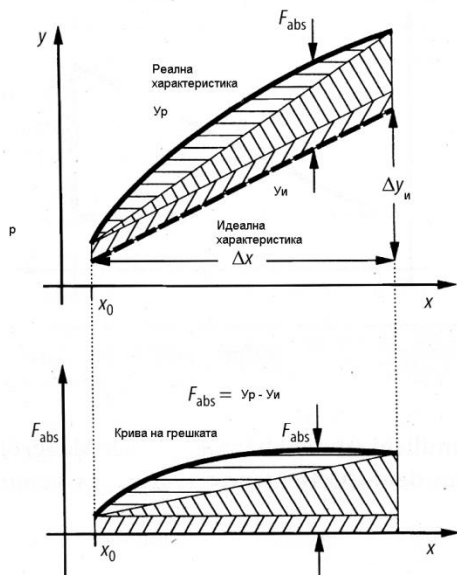
$$y(x) = y_0 + \frac{\Delta y}{\Delta x} (x - x_0)$$



- Предавателна функция – идеална и реална
- Начало на измервателен обхват
- Край на измервателен обхват
- Измервателен обхват
- Изходен сигнал за  $x=x_0$
- Обхват на изходен сигнал

# 1.2. Статични характеристики

- Идеална, реална характеристика и грешки



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

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

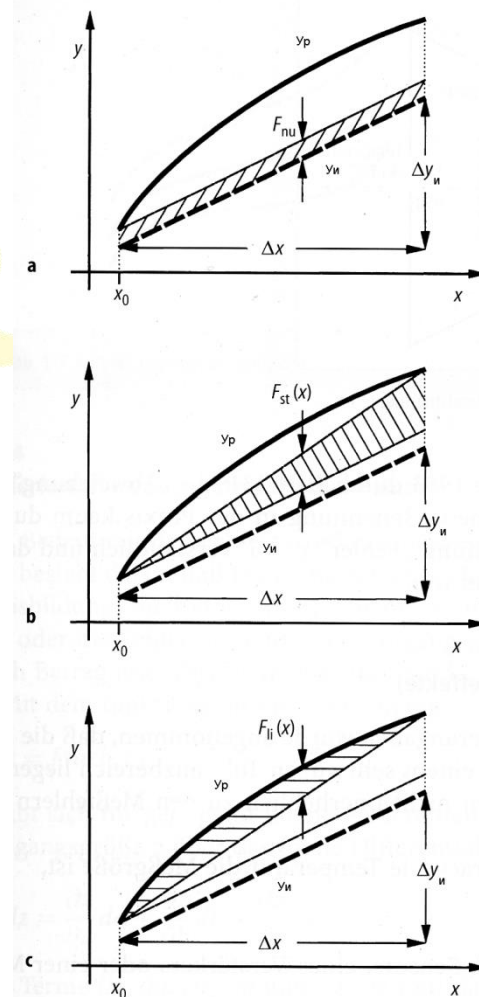
$$F_{abs} = y_P - y_{И} = (y_{OP} - y_{OИ}) + (\Delta y_P - \Delta y_{И}) \frac{(x - x_0)}{\Delta x} + F_{lin}(x)$$

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

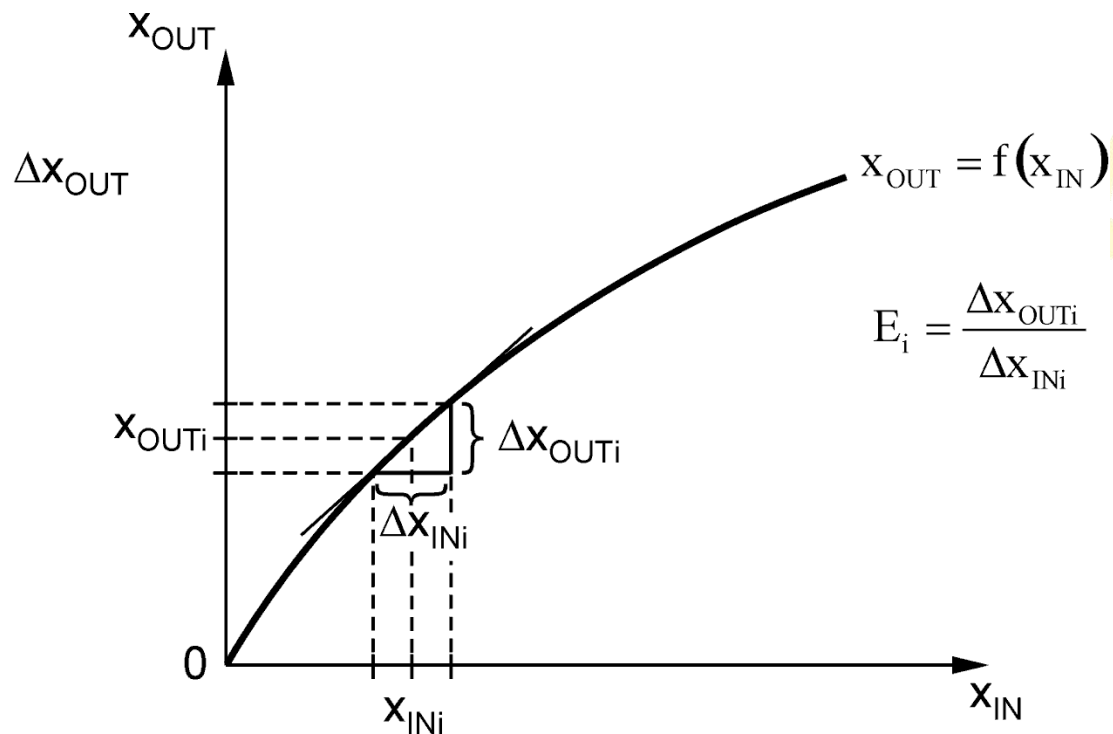
# 1.2. Статични характеристики

- Компоненти на грешката

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



# 1.2. Статични характеристики

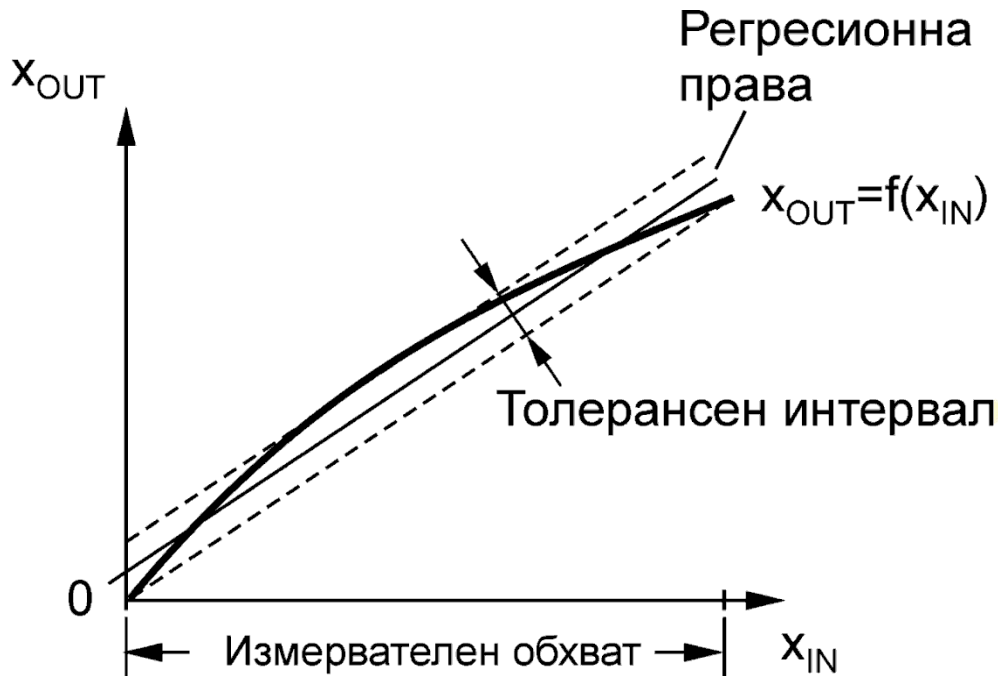


## □ Чувствителност:

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

Фиг. Чувствителност на сензор

# 1.2. Статични характеристики



## • **Нелинейност:**

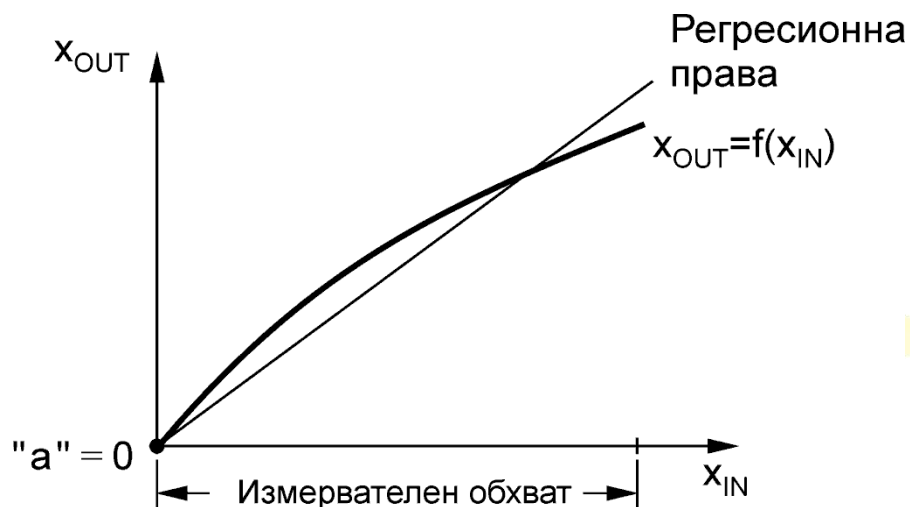
Характеристика, описваща отклонението на сензорната характеристика от зададена права линия.

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

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



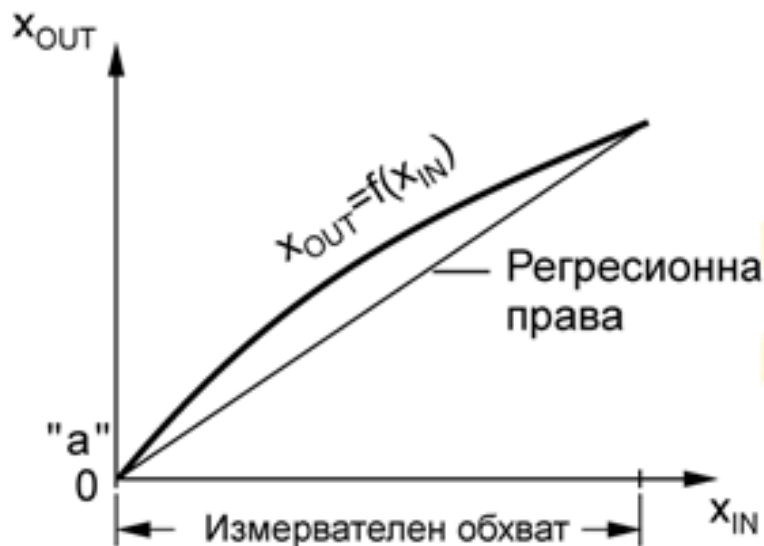
# 1.2. Статични характеристики



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

# 1.2. 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,

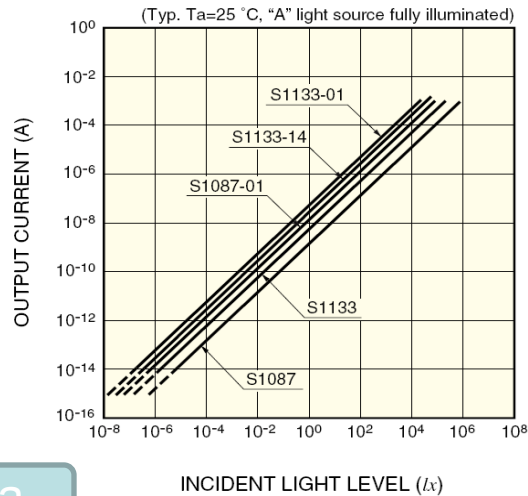
ИО – измервателен обхват.

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

# Линейност

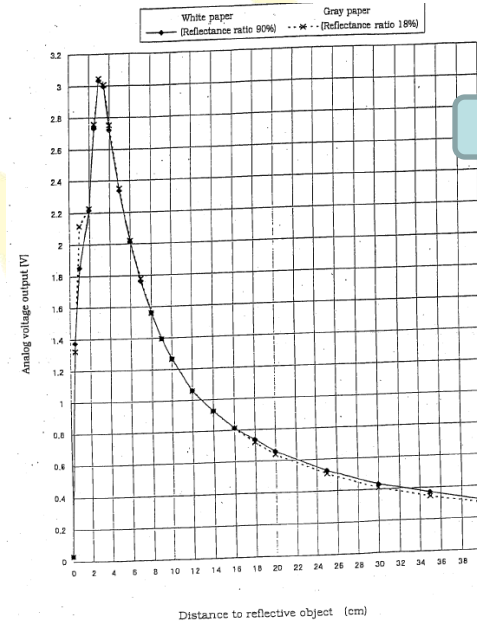
## Фотодиод: S1087, S1087-01

■ Short circuit current linearity



Добра

## Сензор за линейни премествания Sharp GP2D120XJ00F



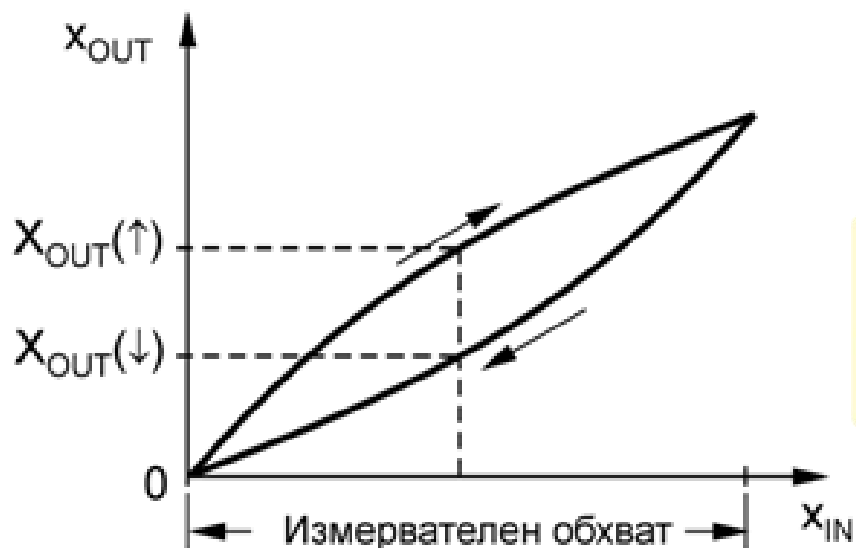
Лоша

## Акселерометър ADXL330

SENSOR INPUT	Each axis			
Measurement Range		±3	±3.6	g
Nonlinearity	% of full scale		±0.3	%
Package Alignment Error			±1	Degrees

Добра

# 1.2. 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. Грешка от хистерезис

# 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

- **Измервателен обхват**
  - В каква област на изменение може да бъде измерена дадена величина, без да се превишава допустимата грешка при измерването

# 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

- **Точност (абсолютна)**
  - Близостта на получения резултат до действителната/вярната стойност
  - Понятието не е свързано количествена оценка [Patzelt93:50]
  - Да се различава от понятието **разделителна способност!**

# 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

- **Коефициент на предаване**
  - Характеристична величина, която дава информация за това, как измерваната величина  $X_{\text{ВХОД}}$  се превръща в измерената стойност  $X_{\text{ИЗХОД}}$ .
  - Може да се дефинира за всяко **линейно** предавателно звено.

# 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

- Чувствителност  $E$  – определение (общ случай)

[Patzelt93:54], [Cooper89:1], [Харт82:102,105,106]

$$E = \lim_{\Delta X_{\text{ВХОД}} \rightarrow 0} \frac{\Delta X_{\text{ИЗХОД}}}{\Delta X_{\text{ВХОД}}} = \frac{dX_{\text{ИЗХОД}}}{dX_{\text{ВХОД}}}, \frac{\text{Мерна единица на изходния сигнал}}{\text{Мерна единица на входния сигнал}}$$

- Отношението на изменението на изходния сигнал или на показанието на измервателния уред към изменението на входния сигнал или на измерваната величина.



## 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

- Чувствителността на измервателен уред се определя от наклона на статичната му характеристика (при нелинейни характеристики е променлива).
- Дава информация за това, с каква стойност ще се промени показанието (изходната величина) при определено изменение на измерваната величина.

# 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

- Чувствителност  $E$  (аналогови уреди)

$$E = \frac{dl}{dX_{\text{ВХОД}}}, \frac{\text{Единица дължина на скалата}}{\text{Мерна единица на входния сигнал}}$$

Пример:  $E = 20 \text{ mm} \cdot \text{mm}^{-1}$ , не  $E = 20$

# 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

- Чувствителност  $E$  (цифрови уреди)

$$E = \frac{\Delta N}{\Delta X_{\text{ВХОД}}}$$

- $\Delta N$  – Digit (EMР)
  - 3 1/2 цифри (2 000 стойности) в обхват 2V = 1Digit/1 mV
  - 4 1/2 цифри (20 000) в обхват 2W = 1Digit/100  $\mu$ W

# 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

- **Разделителна способност (РС)**
  - Най-малкото изменение на измерваната величина, което измервателният уред може да регистрира.
  - Различия при основните видове измервателни средства:
    - за цифрови уреди и АЦП;
    - при европейска и американски източници.

# 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

За цифрови измервателни уреди:

– Дава се като стойността на най-младшия разряд при измерване на дадена величина в съответния обхват.

Пример:

- 3 1/2 цифри - Общо 2000 стойности
- Обхват 200 mV (0 - 199,9 mV)

$$PC = \frac{1}{2000} 200 \text{ mV} = 0,1 \text{ mV} \quad \blacklozenge \text{ “кръгла стойност”!!}$$

# 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

- **Разделителна способност АЦП**

- Определя се от разрядността на АЦП или от броя на интервалите, на които може да се раздели измервателния обхват, като всеки интервал съответства на 1 резултат.

- 12-битов АЦП  $\rightarrow PC = 1/2^{12} = 1/4096$
- $PC = 1/2^{12} = 1/4096$

# 1.2. Основни характеристики на измервателните уреди

- Разделителна способност АЦП

- Дава се и:

- Като **процент**

$$PC_{\%} = \frac{1}{4096} \cdot 100\% = 0,0244\%$$

- Като **ppm**

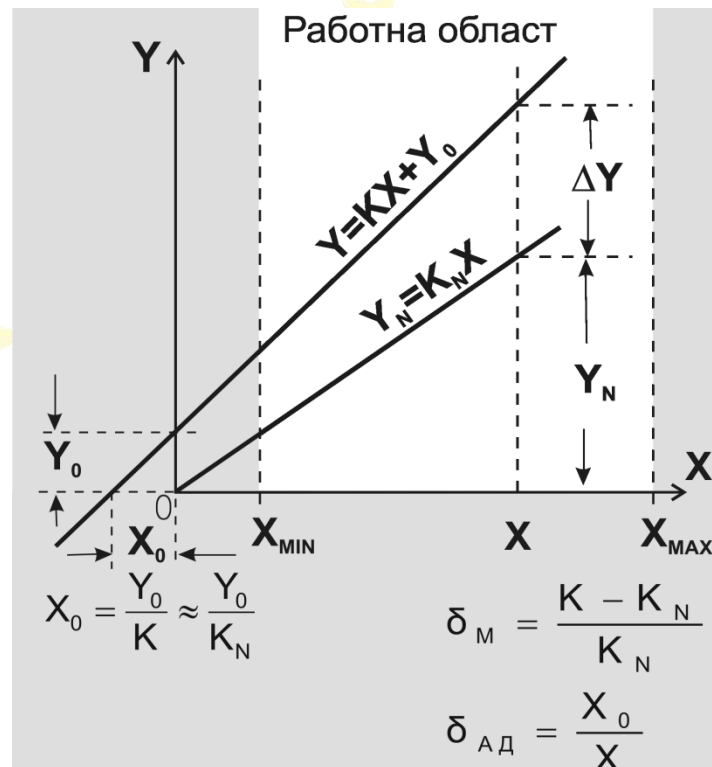
$$PC_{ppm} = \frac{1}{4096} \cdot 1000\ 000\ ppm = 244\ ppm$$

- брой **битове n**

(брой интервали при двоично кодиране  $m = 2^n$ )

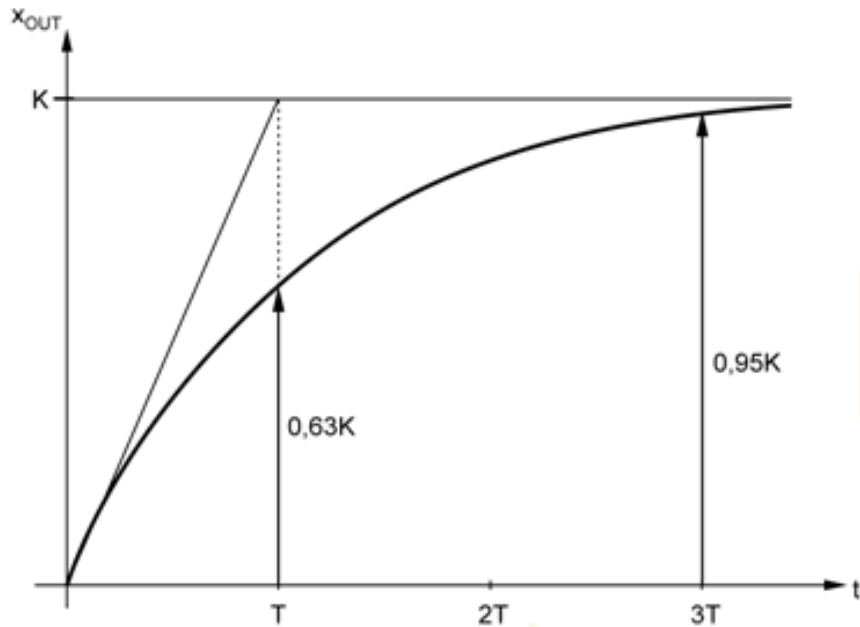
# 1.3. Измервателни преобразуватели

- Линейни преобразуватели





# 1.4. Динамични характеристики



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

За  $t = T$  и  $x_{\text{IN}} = K$

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

$$x_{\text{OUT}} = K(1 - 0,36788) = K \cdot 0,6321$$

Фиг. Преходна характеристика на апериодично звено от първи ред

# 1.4. Динамични характеристики

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

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

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

$$A(39\text{kPa}; 1,3\text{s}) = 493\text{mV} + (1131\text{mV} - 493\text{mV}) \left( 1 - e^{-\frac{1,3}{3,1}} \right) = 914,1\text{mV}$$

- Каква е грешката при измерване на налягането?

$$\text{Налягане след } 1,3\text{ s} = \frac{914,1\text{mV}}{29 \frac{\text{mV}}{\text{kPa}}} = 31,52\text{kPa}$$

$$\Delta = 39 - 31,52 = 7,48\text{kPa}$$

# 1.4. 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?

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

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

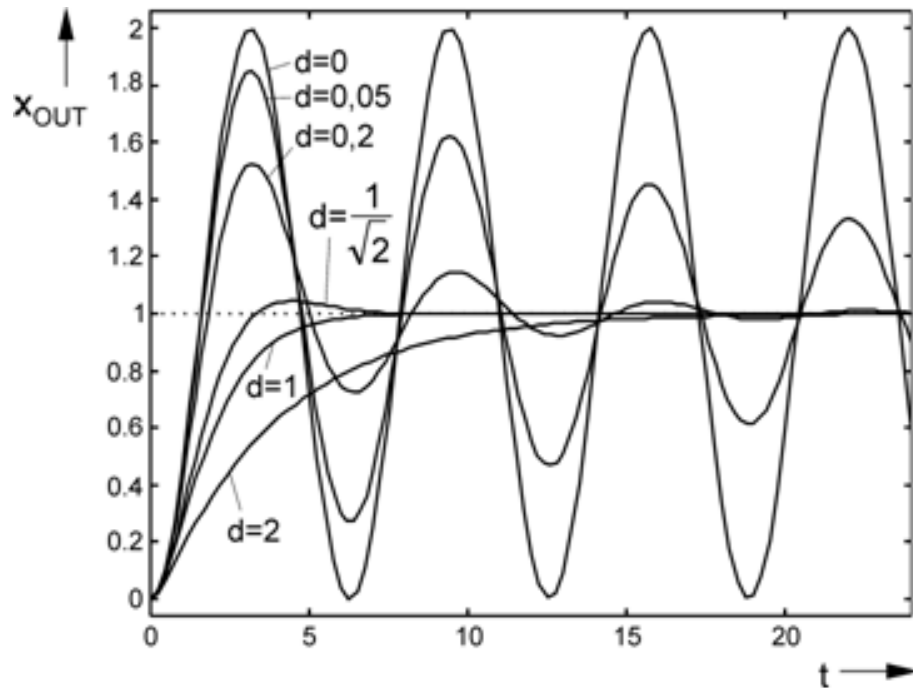
$$A(39\text{kPa}; 1,3\text{s}) = 493\text{mV} + (1131\text{mV} - 493\text{mV}) \left( 1 - e^{-\frac{1,3}{3,1}} \right) = 711,55\text{mV}$$

- Каква е грешката при измерване на налягането?

$$\text{Налягане след } 1,3 \text{ s} = \frac{711,55\text{mV}}{29 \frac{\text{mV}}{\text{kPa}}} = 24,54\text{kPa}$$

$$\Delta = 39 - 24,54 = 14,46\text{kPa}$$

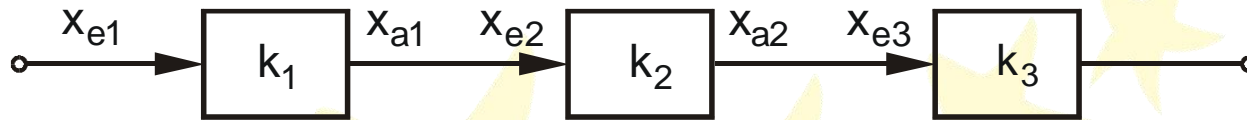
# 1.4. Динамични характеристики



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

# Към 1.5: Структури на измервателни средства

- Верижна структура



$$x_{a1} = k_1 x_{e1},$$

$$x_{a2} = k_2 x_{e2},$$

$$x_{a3} = k_3 x_{e3}.$$

$$x_{a1} = x_{e2}, \quad x_{a2} = x_{e3},$$

$$x_{a3} = k_3 k_2 k_1 x_{e1}.$$

# Към 1.5: Структури на измервателни средства

- При верижната структура коефициентите на предаване се умножават.

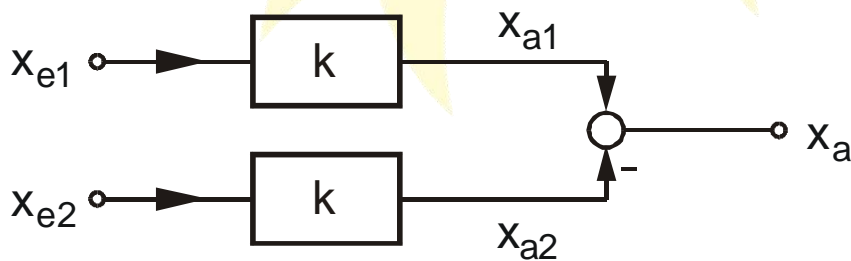
$$K = k_1 k_2 \dots k_n.$$

$$\frac{\Delta K}{K} = \sqrt{\left(\frac{\Delta k_1}{k_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k_2}{k_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta k_n}{k_n}\right)^2}$$

# Към 1.5: Структури на измервателни средства

- Паралелна структура

- Поне **2** величини се измерват едновременно или последователно с една и съща чувствителност **k**.



$$x_{a2} = kx_{e2},$$

$$x_{a1} = kx_{e1},$$

$$x_a = x_{a1} - x_{a2} = k(x_{e1} - x_{e2}).$$



## Към 1.5: Структури на измервателни средства

- Приложение:
  - Потискане на нулата;
  - Корекция на смущаващи въздействия;
  - Диференциални измервателни структури.

## Към 1.5: Структури на измервателни средства

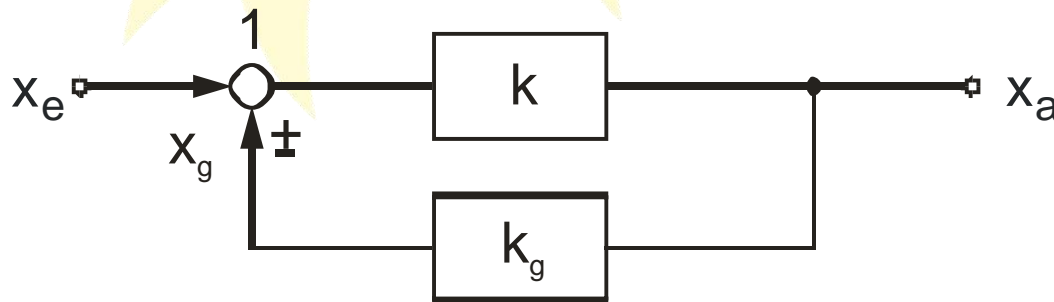
- **Пример** (Корекция на смущаващи въздействия):
  - $x_{e1}$ : Изменение на съпротивлението, предизвикано от температурни изменения -  $\Delta R_T$  (смущение) и поради деформация –  $\Delta R_\sigma$  (полезен сигнал).
  - $x_{e2}$ : Изменение на съпротивлението, предизвикано от температурни изменения -  $\Delta R_T$ .
  - $R_0$  – Базова стойност на съпротивлението.

$$x_a = x_{a1} - x_{a2} = k(R_0 + \Delta R_T + \Delta R_\sigma) - k(R_0 + \Delta R_T) = k\Delta R_\sigma.$$

## Към 1.5: Структури на измервателни средства

- Структури с отрицателна обратна връзка
  - Обратна връзка от изхода към входа.
  - Събиране или изваждане от входния сигнал.

$$x_g = k_g x_a$$



## Към 1.5: Структури на измервателни средства

- Отрицателна обратна връзка:

$$x_a = k (x_e - x_g) = k (x_e - k_g x_a),$$

$$x_a = \frac{k}{1 + k k_g} x_e.$$

- Чувствителност – зависи основно от параметрите на обратната връзка

$$E = \frac{dx_a}{dx_e} = \frac{k}{1 + k k_g} = \frac{1}{\frac{1}{k} + k_g} \approx \frac{1}{k_g} \text{ за } k \rightarrow \infty.$$

**Благодаря за вниманието!**

