

(MEMS) Inteligentné senzory a aktuátory

Ing. Richard Balogh

Prednášky

Prednášateľ: **Ing. Richard Balogh, PhD.**
miestnosť: D-110
mail: balogh@elf.stuba.sk
nepoužívajte AIS na mail

Prednášky aj cvičenia D-208

- Exkurzia? termín
- Spoločné prednášky – 5 ľudí po 10 min každý týždeň

Hodnotenie

15 bodov merania (nutné všetky)
15 bodov individuálny projekt,
30 bodov referáty na prednáškach
40 bodov skúška

Podmienky absolvovania predmetu:

- Z každej časti nutné získať min 1/3 bodov.

Skúška:

- open book, open notes, 60 min
základné znalosti / príklad / návrh merania

Domáce úlohy

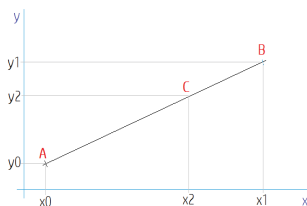
Link (invitation) do Repl.IT

T: 29.2.2020

```
#include <stdio.h>
int main(void) {
    int x[3];
    int y[3];
    scanf("%d", &x[0], &y[0]); // Enter coordinates A
    scanf("%d", &x[1], &y[1]); // Enter coordinates B
    scanf("%d", &x[2]); // Enter coordinate cx
    y[2] = 0; // replace with your code
    printf("%d", y[2]);
    return 0;
}
```

You know the left point $A = \{x[0], y[0]\}$ and right point $B = \{x[1], y[1]\}$ of the line.

Knowing that somewhere between those two points is the C with known $x[2]$, calculate $y[2]$.



int x[3] = {x0, x1, x2};
int y[3] = {y0, y1, ?};

Cvičenia

D-208

- 2-3 výpočtové
- 8 laboratórnych (meranie, návrh)
- 2-3 individuálny projekt

Individuálny projekt:

K danému senzoru navrhnúť prevodník, merací kanál, vyhodnotenie, naprogramovať funkcie a zobrazovanie.

Literatúra

- [1.] Stephen Beeby, Graham Ensell, Michael Kraft and Neil White: **MEMS Mechanical Sensors**. Artech House, Norwood, 2004.
- [2.] Kourosh Kalanter-zadeh: **Sensors. An Introductory course**. Springer, New York, 2013.
- [3.] Jacob Fraden: **Handbook of Modern Sensors**. 4th ed. Springer, New York, 2010.
- [4.] H. R. Everett: **Sensors for Mobile Robots**. Theory and Application. A K Peters, Natick, 1995.
- [5.] Ján Šturcel: **Prvky riadiacich systémov. Meranie neelektrických veličín**. STU Bratislava 2004.
- [6.] Ján Šturcel: **Snímače a prevodníky**. STU Bratislava, 2002.
- [7.] Miroslav Toman: **Senzory v automatizácii**. STU 1999. 127s.
- [8.] František Duchoň: **Snímače v mobilnej robotike**. STU 2012.
- [9.] Karel Zehnulla: **Čidla robotů**. SNTL Praha, 1990

Prednášky

po 5 slajdov, poslat najneskorsie v pondelok do 20:00
+ otazka na skusku

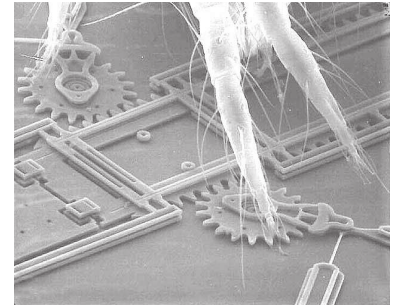
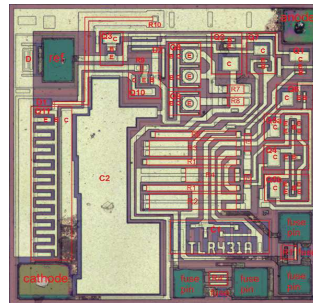
1. Ludske zmysly - sluch + urcovanie polohy
2. Ludske zmysly - zrak
3. Ludske zmysly - chut
4. Ludske zmysly - cuch
5. Ludske zmysly - hmat (tlak, teplo, dotyk, bolesť)
6. Ludske zmysly - statokineticky vestibularny organ

- a) Vlastnosti senzorov Transfer function [3.], s. 13-15
- b) Vlastnosti senzorov Functional approximation [3.], s. 15-16
- c) Vlastnosti senzorov Polynomial approximation + sensitivity [3.], s. 16-18
- d) Vlastnosti senzorov Linear PWL approximation [3.], s. 18-19
- e) Vlastnosti senzorov Spline + Multidimensional [3.], s. 19-21
- f) Vlastnosti senzorov Calibration [3.], s. 21-22
- g) Vypočty prenosovej fcie [3.] 22-25
- h) Vypočet lineárnej approx [3.] 25
- k) Vypočet Linear PWL approx [3.] 26-28
- m) Vypočet Newtonova metoda [3.] 28-30

[3.] Jacob Fraden: *Handbook of Modern Sensors*. 4th ed.
Springer, New York, 2010.

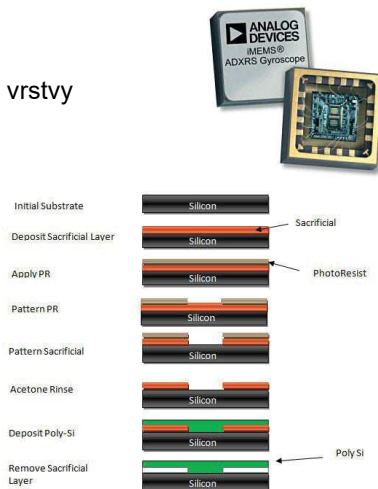
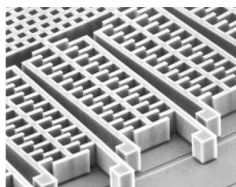
MEMS Micro-electro-mechanical systems

je označenie samotnej technológie ako aj produktov vyrobených technológiou podobnou výrobe integrovaných obvodov



MEMS Micro-electro-mechanical systems

- Nanesenie fotocitlivej krycej vrstvy
- Osvit
- Vyvolanie fotocitlivej vrstvy
- Omývanie
- Leptanie
- Čistenie
- Puzdrenie



Inteligencia intelligent system, smart system



Inteligencia intelligent system, smart system

– schopnosť riešiť problémy za okolností sprevádzaných neurčitou.

– schopnosť vyťažiť dôležité informácie z daného množstva pozorovaní, ktoré nám zabezpečia prežitie

An intelligent system is a machine with an **embedded**, Internet-connected **computer** that has the capacity to gather and analyze data and **communicate** with other systems. Requirements for an intelligent system include security, connectivity, the ability to adapt according to current data and the capacity for remote monitoring and management.

Senzor



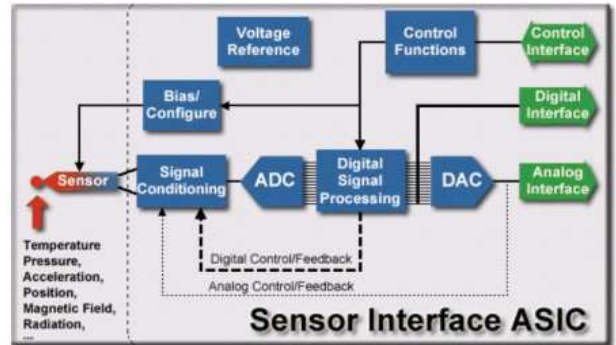
Senzor

LAT *sentire* – vnímať, cítiť, hmatať, pociťovať

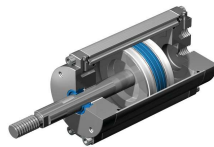
- GB Sensor, detector
- DE Sensor, (Messgrößen-)Aufnehmer, (Mess-)Fühler
- FR Capteur
- PL Czujnik
- HU Érzékelő
- UA Давач [davač]
- RU Датчик [datčik]
- CZ Senzor, čidlo, snímač

Zdroj informácií pre riadiaci systém (napr. mozog) v užšom slova zmysle technické zariadenie (prvok), ktoré meria určitú fyzikálnu alebo technickú veličinu a prevádza ju na signál, ktorý je možné prenášať a ďalej spracovávať v meracích a riadiacich systémoch. Najčastejšie ide o elektrický signál.

Inteligentný senzor



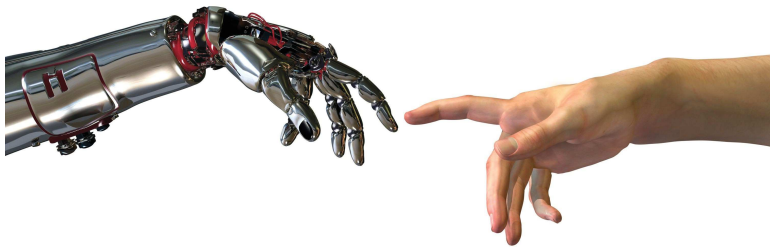
Aktuátor akčný člen



Aktuátor akčný člen

LAT *actus* – hnanie, poháňanie, pohyb, činnosť

- GB Actuator
- DE Aktor, Antriebselement
- FR Actionneur
- PL Urządzenie wykonawcze
- HU Működtető
- RU Исполнительное устройство [ispolnitel'noje ustrojstvo]
- CZ Akční člen, aktuátor



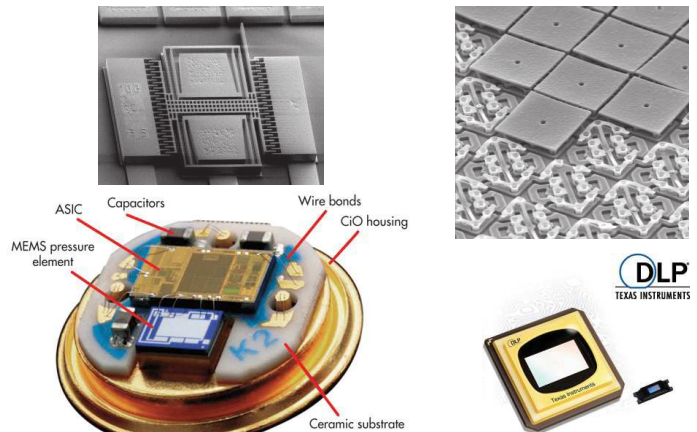
Je to časť (mechatronického) systému, ktorá premieňa informačnú časť procesu na technickú - napr. príkaz o zmene polohy prevedie aktuátor na mechanickú energiu, ktorou zariadenie vychýli požadovaným smerom.

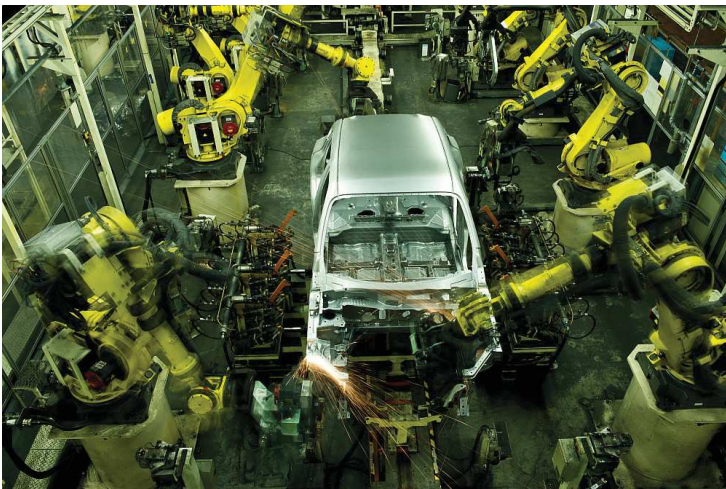
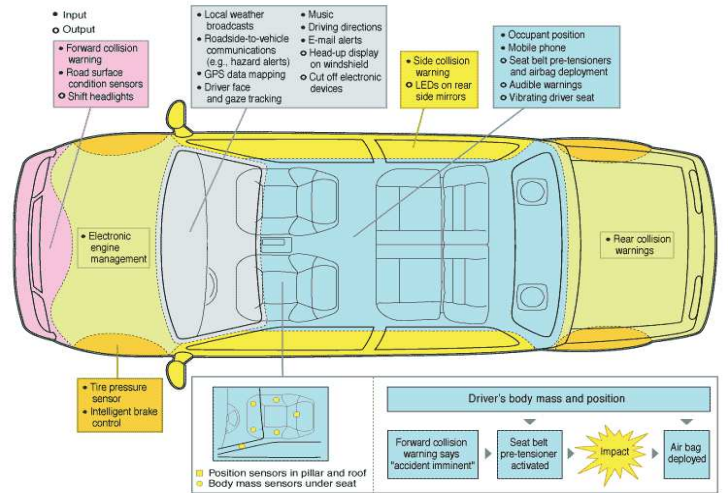
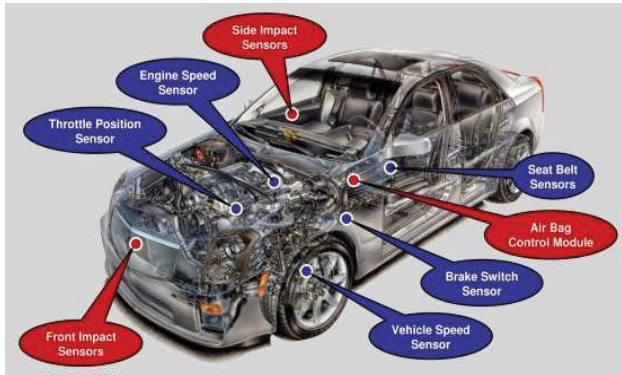
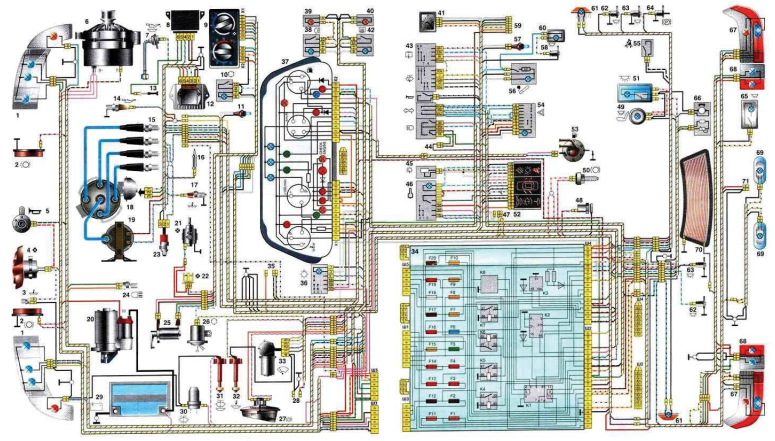
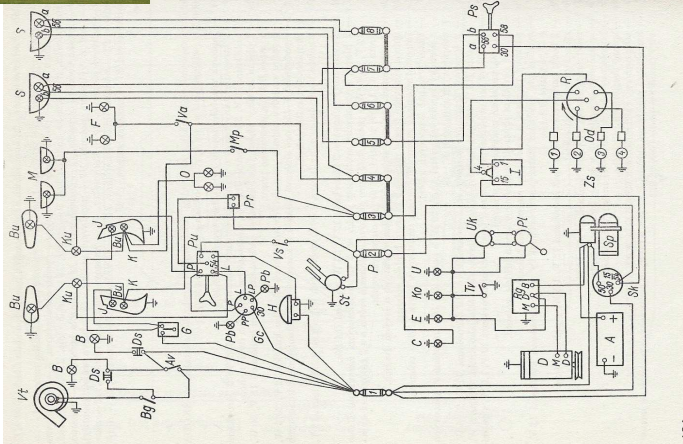
Je vlastne opakom senzora (snímača), ktorý premieňa skutočnú fyzikálnu veličinu na informáciu.

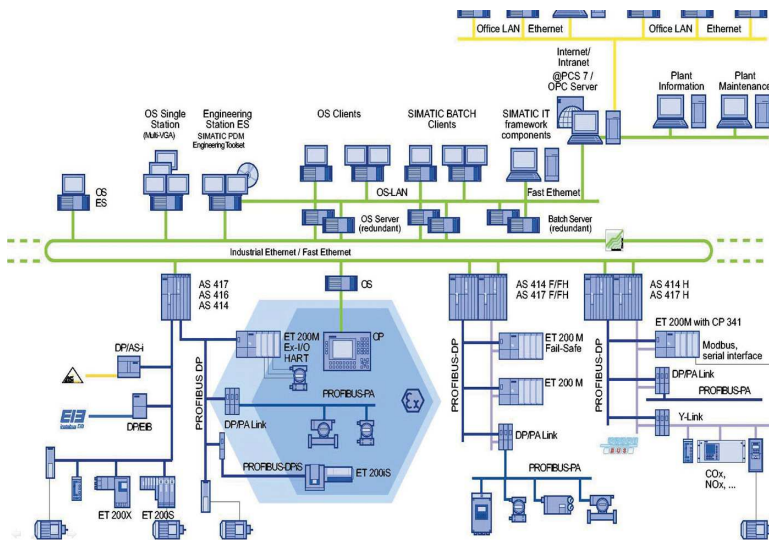
Inteligentný aktuátor

SmartActuator ICR Basic
INTEGRATED CONTROL ROD-STYLE ACTUATOR

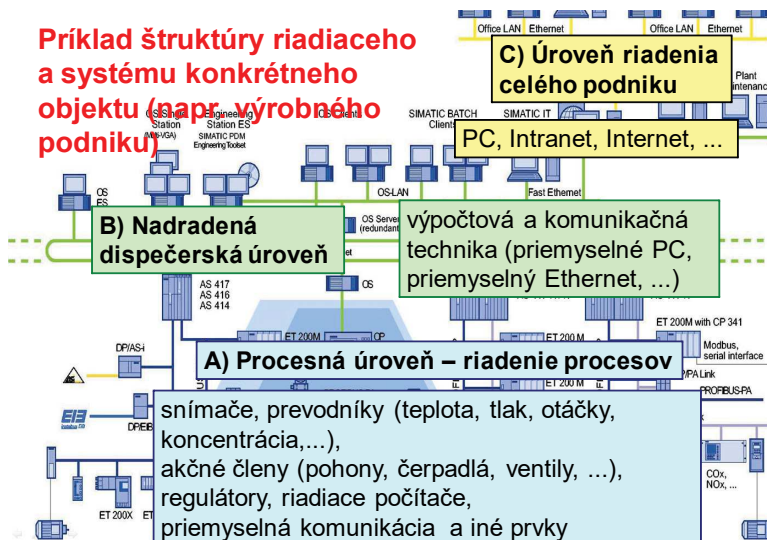
MEMS – inteligentný senzor a aktuátor



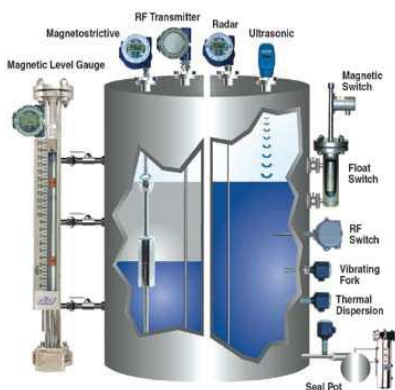




Príklad štruktúry riadiaceho a systému konkrétneho objektu (napr. výrobného podniku)

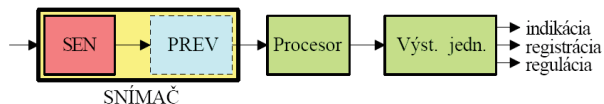


Vaše príklady?



Senzor

- Senzor
- Snímač
- Prevodník
- Merací prevodník, merací člen



Senzory

Podľa výstupu

- aktívne - U, I, f..
- pasívne - zmena parametrov (R, L, C,...)

Pozn.: v anglosaskom svete je pasívny snímač taký, ktorý nepotrebuje budenie, t.j. presne naopak.

Senzory

Podľa nosiča informácie

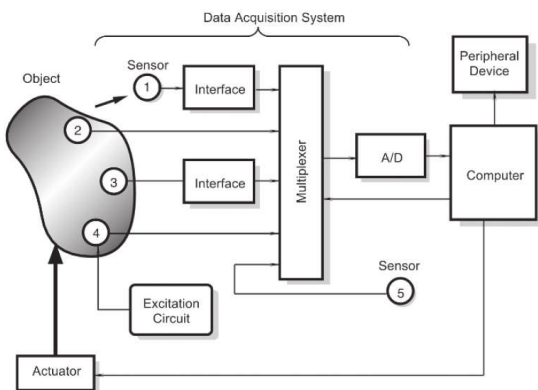
- elektrické
- neelektrické (pneumatický, mechanický, optický, magnetický...)

Senzory

Podľa meranej veličiny:

- mechanické - poloha, otáčky...
- tepelné
- elektrické - U, I, P, ..
- magnetické - B, H, Φ
- radiačné - svetlo (IR, UV), α , β , γ , kozmické ...
- chemické - pH, analýza ..

Data acquisition system

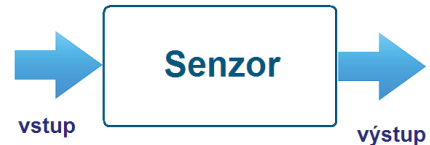


- 1 bezkontaktný senzor
- 2, 3 aktívne senzory
- 4 pasívny senzor (s budením)
- 5 vnútorný senzor

Senzor

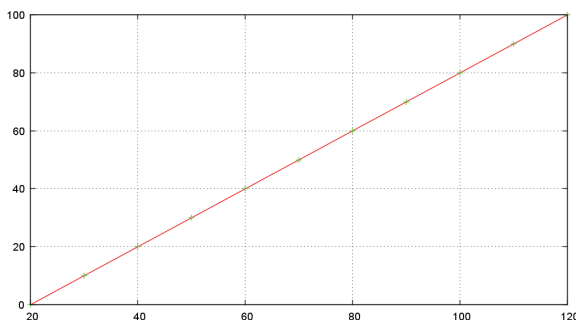
ako kybernetický systém

= čierna skrinka



Vstupno-výstupná charakteristika

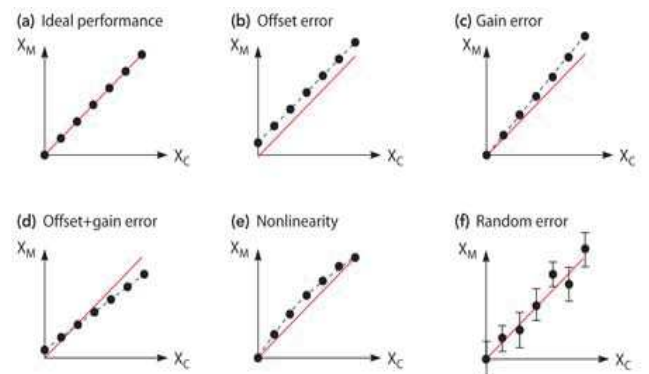
Idealizácia



vstup: 20 – 120 kPa
výstup: 0 – 100 mV

Vstupno-výstupná charakteristika

Chyby – realita



Chyba Error

Rozdiel medzi nameranou veličinou a zodpovedajúcou ideálnou hodnotou na výstupe. Obvykle sa vyjadruje v percentách rozpätia ideálneho výstupu:

$$e = \frac{Y_{\text{odmerané}} - Y_{\text{ideálne}}}{Y_{\text{max}} - Y_{\text{min}}} \cdot 100\%$$

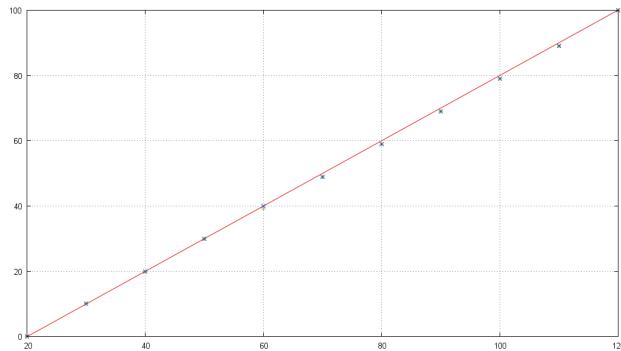
Kladná chyba znamená, že odmeraná hodnota na výstupe je väčšia ako ideálna hodnota na výstupe.

Príklad výpočtu:

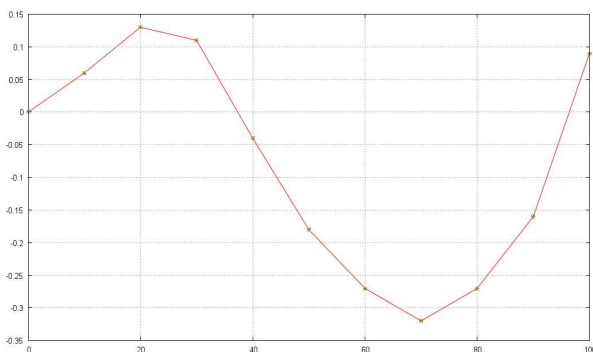
Pri prvom meraní smerom nahor sme pri vstupe 50 kPa (t.j. 30%) zmerali hodnotu 30,11 mV. Ideálna hodnota pre výstupný rozsah 0 - 100 mV je teda 30 mV (t.j. 30%).

$$e = \frac{30,11 - 30}{100 - 0} \cdot 100\% = +0,11$$

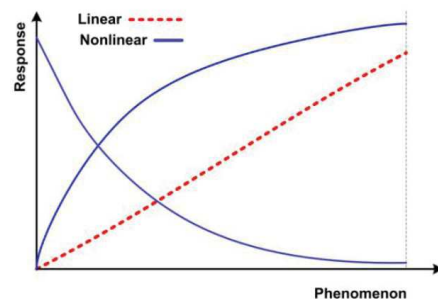
Chyba merania I. Measurement error



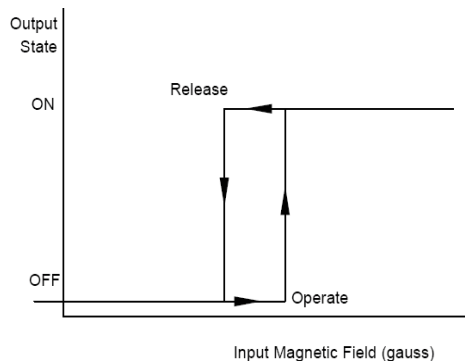
Chyba merania II. Measurement error



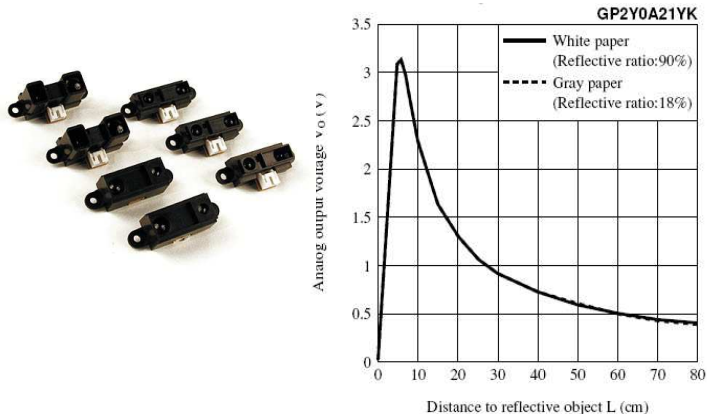
Prevodová charakteristika Transfer function



Prevodová charakteristika Transfer function

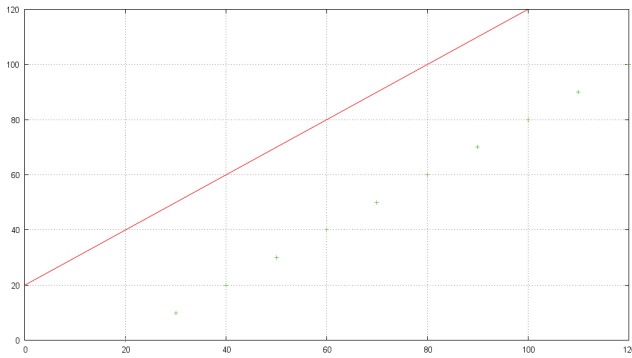


Prevodová charakteristika Transfer function

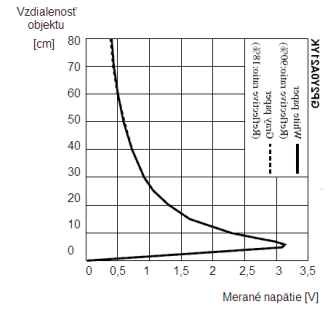


Inverzná charakteristika

Sensor model

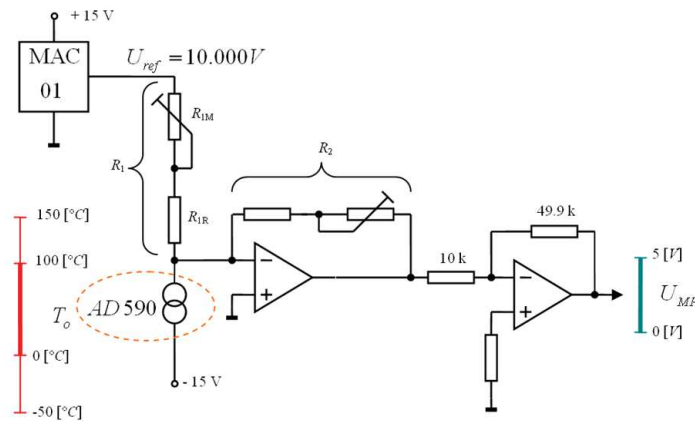


Inverzná charakteristika



Užitočný rozsah

Full scale input

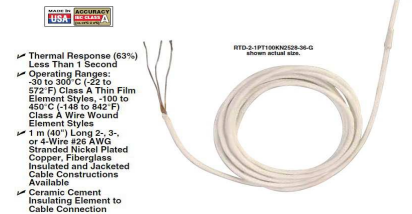


Rozsah

Range

RTD Sensors—Fast Response

Exposed RTD Element with Fiberglass Insulated Lead Wires



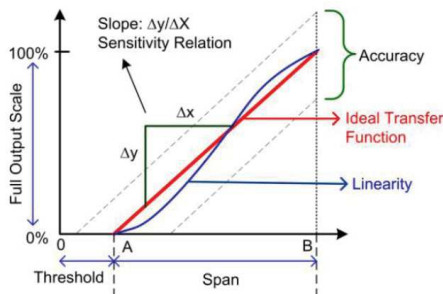
- Thermal Response (63%) Less Than 1 Second
- Operating Ranges: -30 to 300°C (-22 to 572°F) Class A Thin Film Element Styles, -100 to 450°C (-148 to 842°F) Class A Wire Wound Element Styles
- 1 m (40") Long 2-, 3-, or 4-Wire #28 AWG Stranded Nickel Plated Copper, Fiberglass Insulated and Jacketed Cable Constructions Available
- Ceramic Current Insulating Element to Cable Connection

Rozsah (Range)

Interval hodnôt medzi hornou a dolnou hranicou rozsahu, v rámci ktorého sa môže veličina meniť. Napr. unifikovaný prúdový signál má rozsah 4 až 20 mA.

Rozpätie

Span

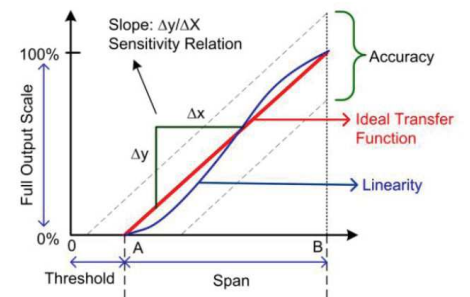


Rozpätie (Span)

Rozdiel medzi hornou a dolnou hranicou rozsahu. Unifikovaný prúdový signál 4 až 20 mA má rozpätie 16 mA.

Presnosť

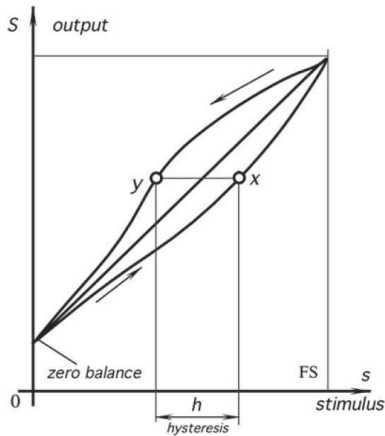
Accuracy



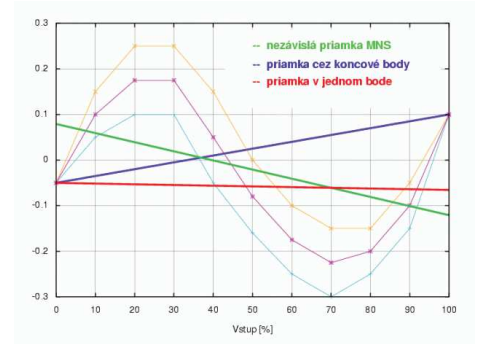
To Order Visit omega.com/rtd-2-f3105 for Pricing and Details

Model No.	Resistance at 0° and Accuracy	Element Size	Element Type
RTD-2-F3105-36-G	100 ±0.06 Ω, Class A	2 W x 2 mm L	Thin film
RTD-2-F3102-36-G	100 ±0.06 Ω, Class A	4 W x 5 mm L	Thin film
RTD-2-1PT100KN2515-36-G	100 ±0.06 Ω, Class A	1.5 Dia. x 25 mm L	Wire wound
RTD-2-1PT100KN2528-36-G	100 ±0.06 Ω, Class A	2.8 Dia. x 25 mm L	Wire wound
RTD-2-F3145-36-G	1000 ±0.60 Ω, Class A	2 W x 2 mm L	Thin film
RTD-2-F3142-36-G	1000 ±0.60 Ω, Class A	4 W x 5 mm L	Thin film

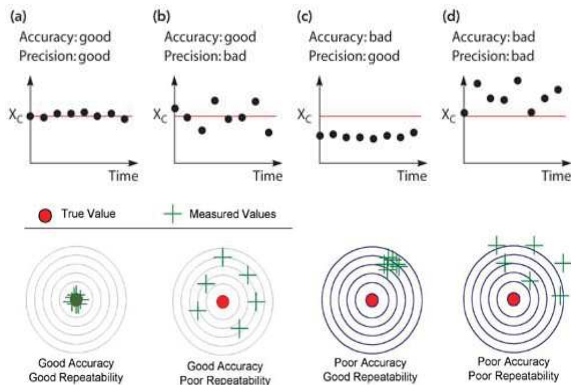
Hysteréza Hysteresis



Nonlinearity Nelinearita



Opakovateľnosť Repeatability

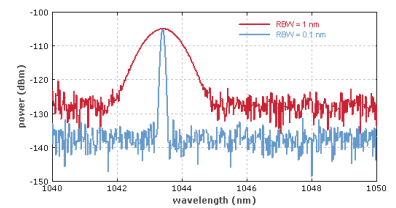


Odstup signál – šum Signal-to-Noise Ratio (SNR)

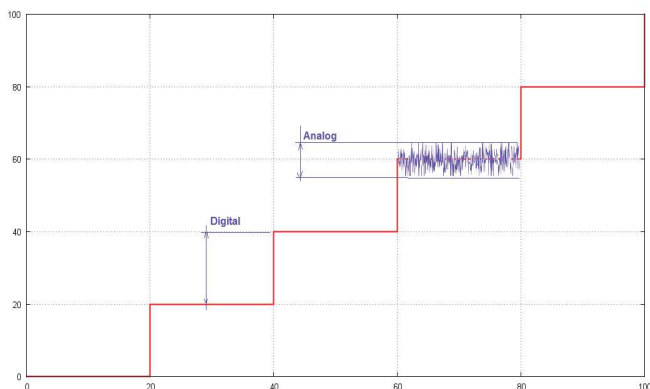
Senzor reaguje nielen na meranú veličinu, ale aj na poruchové veličiny z rôznych zdrojov a pridáva k nim aj rôzne šумы. Dobrý senzor musí mať vysoký odstup signál—šum, t.j. veľké SNR

$$\text{SNR} = \text{signal} / \text{noise}$$

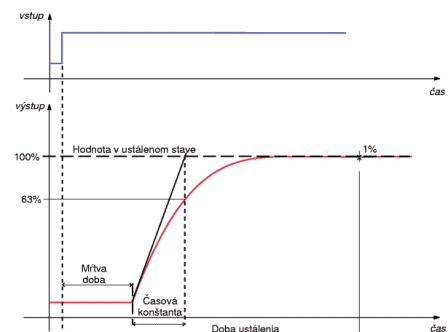
$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \right)$$



Rozlišovacia schopnosť Resolution



Dynamické vlastnosti Dynamic properties



Obr. 3. Vyhodnotenie skokovej odozvy.

Dynamické vlastnosti II Dynamic properties

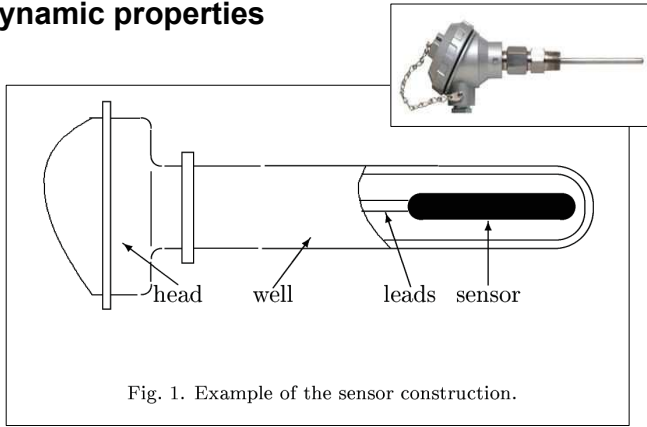
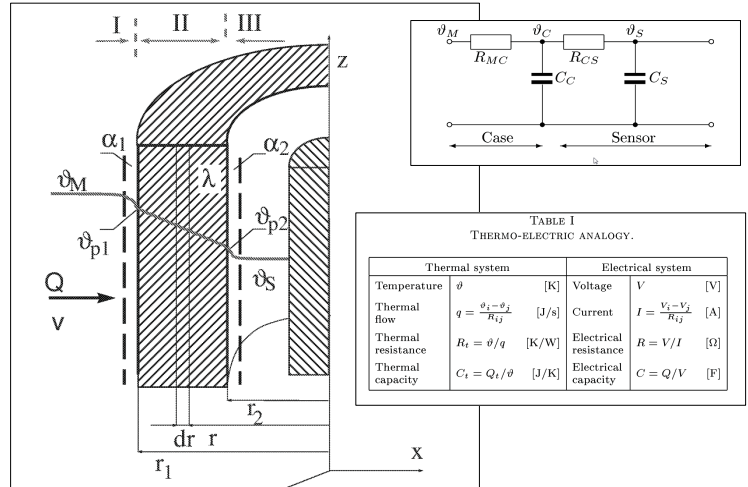


Fig. 1. Example of the sensor construction.

Dynamické vlastnosti



Dynamické vlastnosti

differential equation describing the whole system:

$$T_c T_s \frac{d^2 \vartheta_S}{dt^2} + (T_c + T_s) \frac{d\vartheta_S}{dt} + \vartheta_S = \vartheta_M \quad (9)$$

where

$$T_c = \frac{m_{CC} C_C}{k} \quad T_s = \frac{m_{SC} C_S}{\alpha_2 A_2}$$

Corresponded sensor system transfer function is

$$F(s) = \frac{1}{T_c T_s s^2 + (T_c + T_s) s + 1} \quad (10)$$

$$F(s) = \frac{1}{(T_C s + 1)} \frac{1}{(T_S s + 1)}, \quad (11)$$

Dynamické vlastnosti

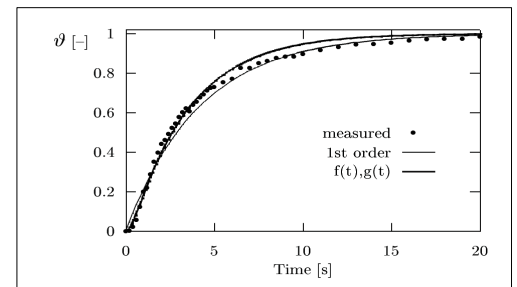
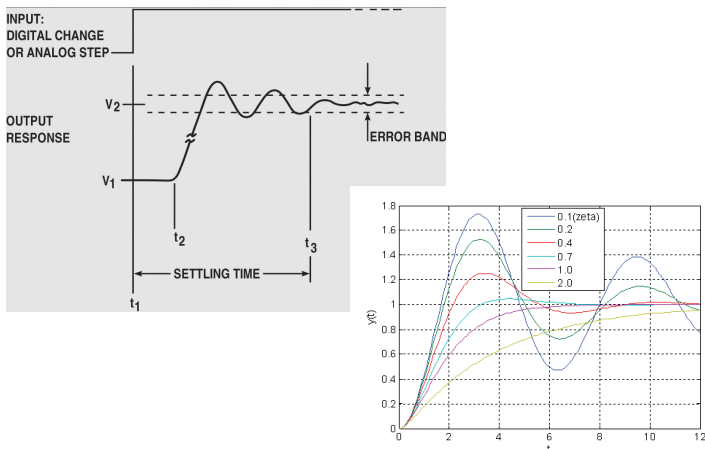


TABLE II
MATERIAL CONSTANTS FOR SOME METALS.

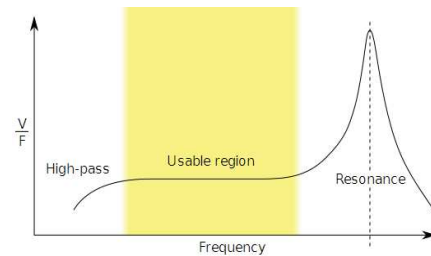
	ρ [kg m ⁻³]	c [kJK ⁻¹ kg ⁻¹]	λ [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	β [10 ⁻⁶ K ⁻¹]
Al	2700	0,896	209	23,1
Cu	8930	0,383	394	16,5
Fe	7850	0,461	47	11,5

ρ - density
 c - specific heat capacity
 λ - thermal conductivity
 β - length expansion coefficient

Dynamické vlastnosti II Dynamic properties



Dynamické vlastnosti III Frekvenčná charakteristika



Frequency response of a piezoelectric sensor;
output voltage vs applied force

