

(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-101) a D-208

Konzultácie: piatok párnny/nepárny týždeň na FEI ?

- Exkurzia? termín
- Prezentácie - po 10 min každý týždeň

Hodnotenie

- 20 bodov merania (nutné všetky)
- 15 bodov individuálny projekt
- 10 bodov programovacie domáce úlohy
- 5 bodov referáty na prednáškach
- 50 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

Cvičenia

- 2-3 výpočtové
- 8 praktických (meranie, návrh)
- 2-3 individuálny projekt
- **Dotazník: Simulátor - Arduino - Mobil?**

Individuálny projekt:

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



Google Classroom



5ehl764

MISA 2021 HOME / 2021 Kopírovat odkaz na pozvánku

<https://senzor.robotika.sk/>

MISA 1. roč. ING
MEMS Inteligentné senzory a aktuátory [Ďalej...](#)

<https://app.codingrooms.com/>

Join code: **THXP9GGO**

Domáce úlohy

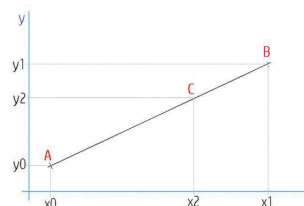
Link (invitation) do CodingRooms

T: 28. 2. 2021

```
#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, ?}

Literatúra

- [1.] Stephen Beeby, Graham Ensell, Michael Kraft and Neil White: **MEMS Mechanical Sensors**. Artech House, Norwood, 2004.
- [2.] Kourosh Kalaniter-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 Zehnula: **Čidla robotů**. SNTL Praha, 1990

Prednášky

po 3 slajdy, poslat najneskorsie v nedeľu do 20:00
+ otázka na skusku

- 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 linearej 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.

Prednášky

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

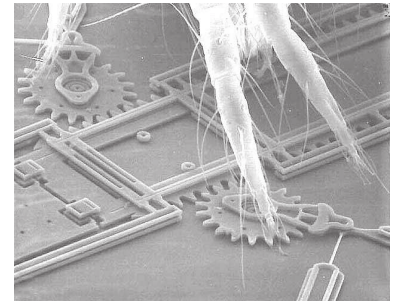
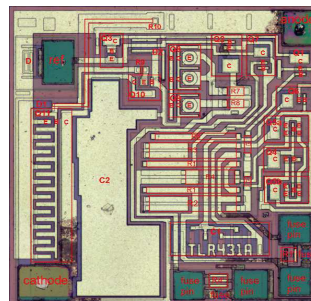
1. Ludske zmysly - sluch + urcovanie polohy
2. Ludske zmysly - zrak
3. Ludske zmysly - chut
4. Ludske zmysly - cuch
5. Ludske zmysly - hmat (tlak, teplo, dotyk, bolesť)
6. Ludske zmysly - statokineticky vestibularny organ

- 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 linearej 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



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



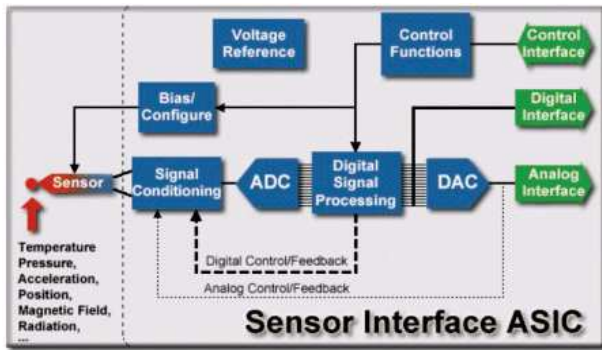
Senzor

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

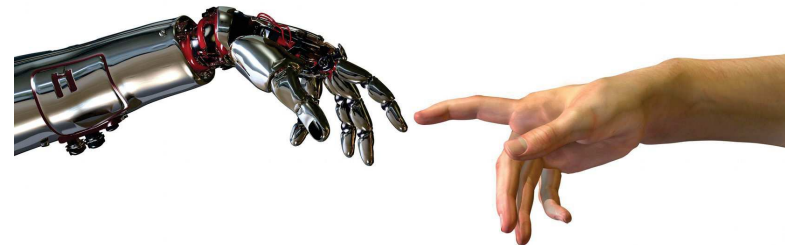
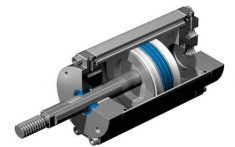
- GB Sensor, detector
- DE Sensor, (Messgrößen-)Aufnehmer, (Mess-)Fühler
- FR Capteur
- PL Czujnik
- HU Érzékelő
- UA Давач [davač]
- RU Датчик [datčik]
- CZ Senzor, čidlo, snímač

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

Tolomatic... MAXIMUM DURABILITY

ENDURANCE TECHNOLOGY
Endurance Technology features are designed for maximum durability to provide extended service life. The endurance technology symbol indicates our durability design features.

MOTOR ORIENTATION
• Select the motor orientation for optimum long service life.
• Manufacture for life of actuator at the factory with the highest quality synthetic grease.

THRUST TUBE
• Excellent thrust control allows fine positioning for greater stability than threaded shaft.
• Excellent corrosion resistance from many chemicals and resists mechanical contact damage.

INTERNAL BUMPER
• Protects against the lower end and not assembly from damage of the end of stroke.

ANTI-RATTLE BEARING
• Regreased roller guide bearings provide anti-rattle of the thrust rod.
• Supports the thrust tube and is assembled through entire stroke length.

BEARING
• Unique roller bearing material allows smooth operation and support of the thrust rod.

ROD WIPERS
• Wiper contaminants from entering the housing for extended life of the actuator.

LIGHTWEIGHT ALUMINUM DESIGN
• All aluminum construction design is optimized for light and strength.
• External switch channels and mounting channels allow full length of both sides drive ball adjustment of friction, including switches and tube compensating tubes.

DIGITAL DRIVE
• Standard via digital IC to select/adjust software, programming or tuning.

DIGITAL ENCODER
• For closed loop control.

CONNECTORS
• Change
• Optional Pin

ALUMINUM MOTOR ENCLOSURE
• Provides thermal heat dissipation for higher performance.

SERVO MOTOR
• 100% duty cycle for demanding applications.
• Internal thermal protection.

HIGH THRUST BEARING
• Deep-groove bearing supports the backbone and motor.
• Large balls and bearings for longer life and tolerance of loads and axial loads.

INTERFACE CONTROL
• Speed and force control.
• Control interface that can be pneumatic valve control.
• Independent extend and retract power controls.
• Force control extend and retract.

INTERFLEX MOUNTING
• Front face and bottom mounting holes are standard.
• Options: front flange, cables, tube clamp, function, rear drive (RP models only).

OPTIONS

ROD END
• Flare ball or ball
• Flare Clamped
• Flare Flange
• Flange
• Flange
• Flange

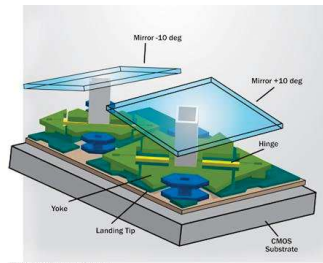
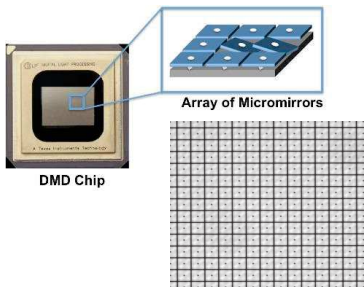
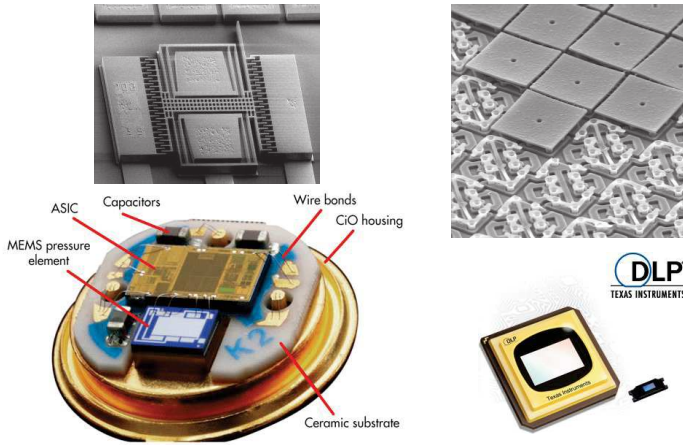
IP65
• For protection against water and dust ingress.

BRAKE
• Alignment Guide
• For zero clearance and energy savings when DCR not in use.

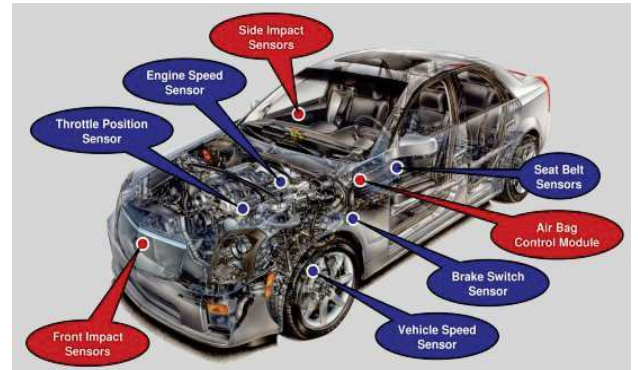
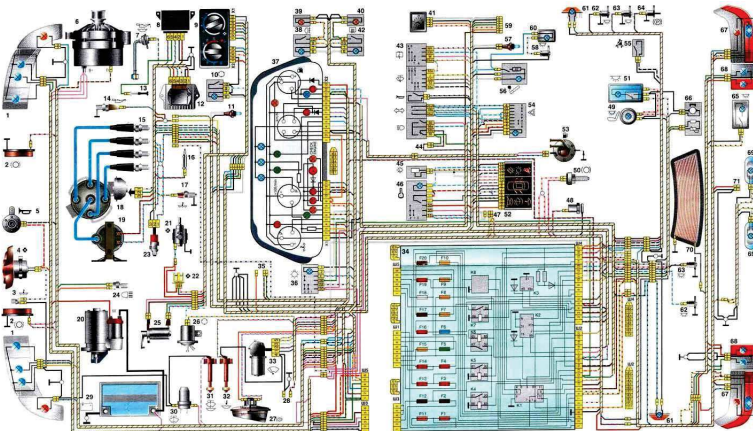
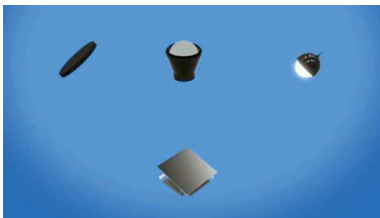
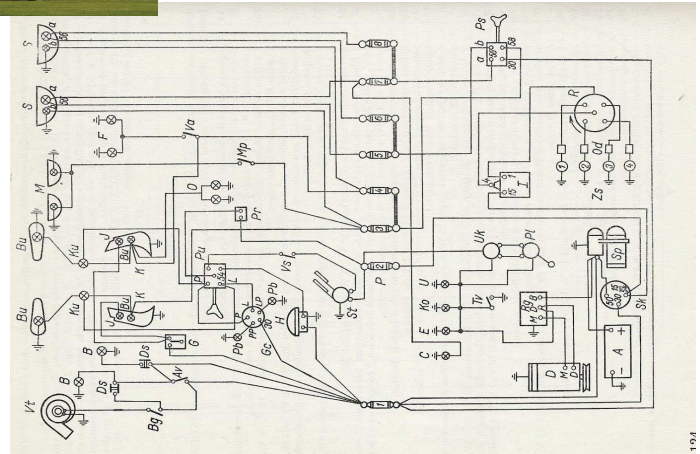
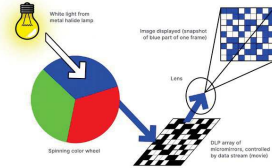
CABLES
• High Quality (5m, 10m or 15m)
• 1-10m Cable (5m, 10m or 15m)
• 1-10m Cable (5m, 10m or 15m) all available in normally open or normally closed. (Note: compliant, CE mark)

SWITCHES
• On/Off (Push, Pull, Rock, Push/Pull or 100% of available in normally open or normally closed. (Note: compliant, CE mark)

MEMS – inteligentný senzor a aktuátor



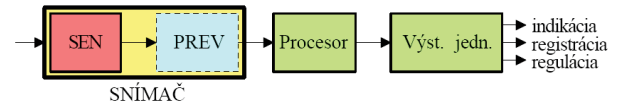
Single DLP Color Wheel Projector





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

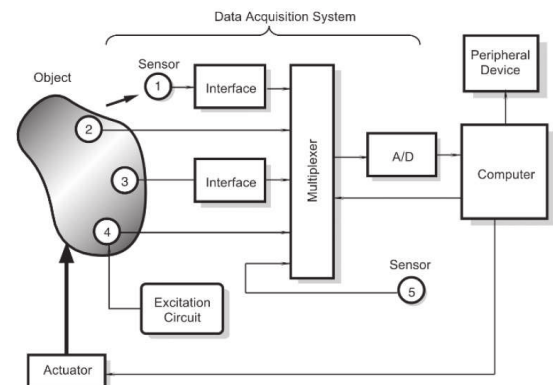
- elektrické
- neelektrické (pneumatický, mechanický, optický, magnetický...)

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

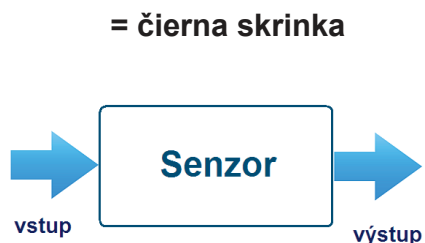


1 bezkontaktný senzor
2, 3 aktívne senzory

4 pasívny senzor (s budením)
5 vnútorný senzor

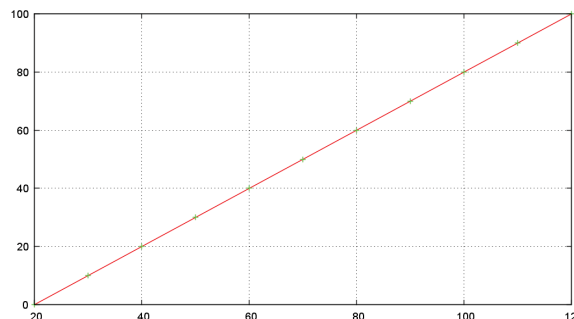
Senzor

ako kybernetický systém



Vstupno-výstupná charakteristika

Idealizácia

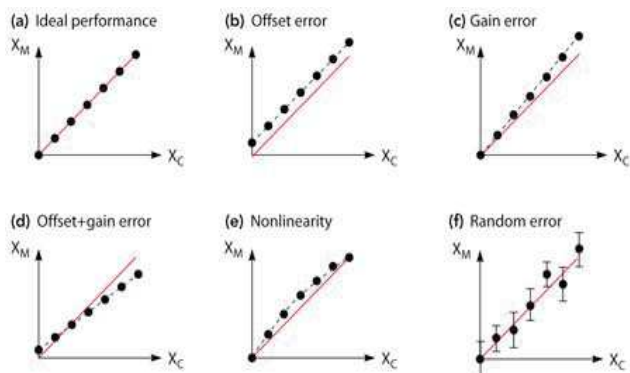


vstup: 20 – 120 kPa

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.

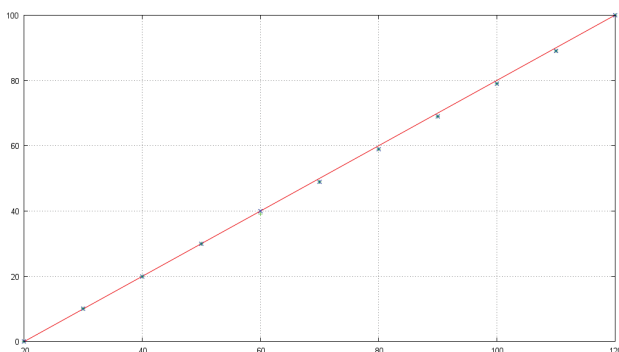
Príklad výpočtu:

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%).

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

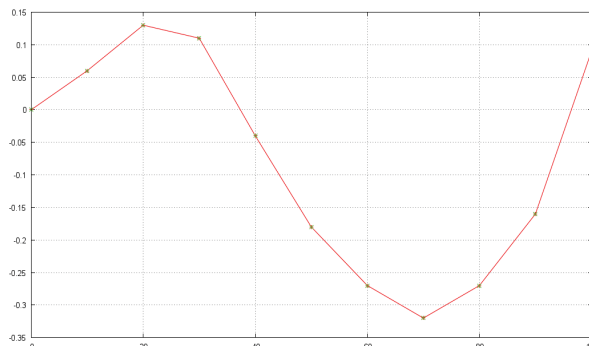
Chyba merania I.

Measurement error



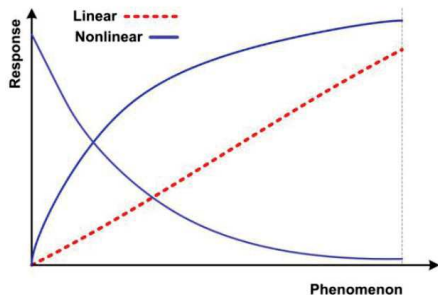
Chyba merania II.

Measurement error



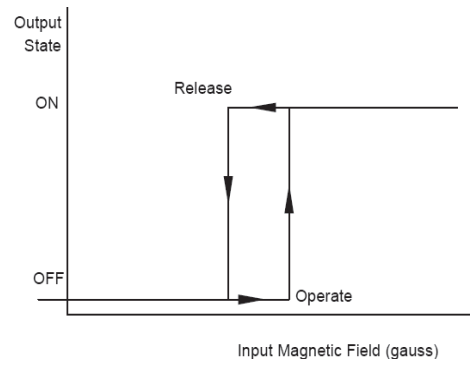
Prevodová charakteristika

Transfer function



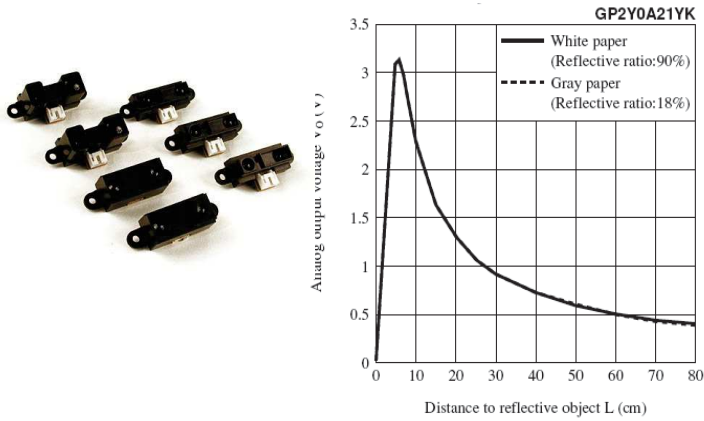
Prevodová charakteristika

Transfer function

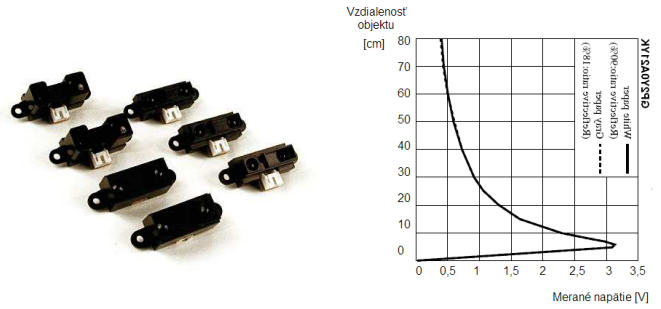


Prevodová charakteristika

Transfer function



Inverzná charakteristika



Rozsah

Range

RTD Sensors—Fast Response

Exposed RTD Element with Fiberglass Insulated Lead Wires

- ✓ Thermal Response (63%) Less Than 1 Second
- ✓ Operating Ranges: -50 to 300°C (-52 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 #26 AWG Stranded Nickel Plated Copper, Fiberglass Insulated and Jacketed Cable Constructions Available
- ✓ Ceramic Cement Insulating Element to Cable Connection

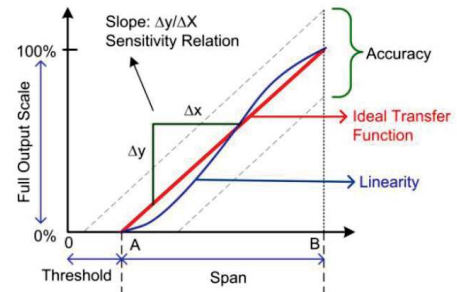


Rozsah (Range)

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

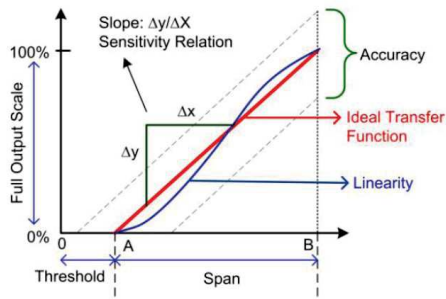
Span



Rozpätie (Span)

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

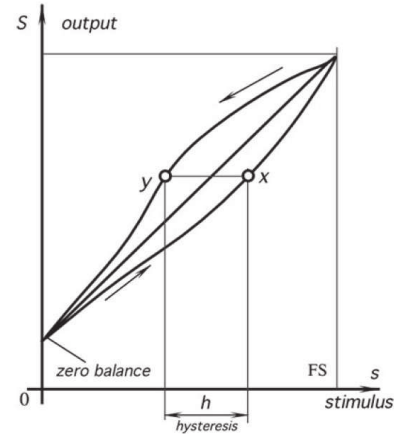
Presnosť Accuracy



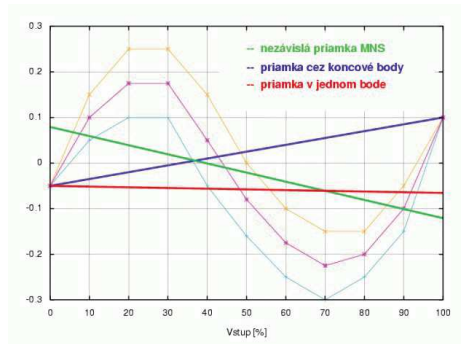
To Order Visit omega.com/rtd-2-f3105 for Pricing and Details

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

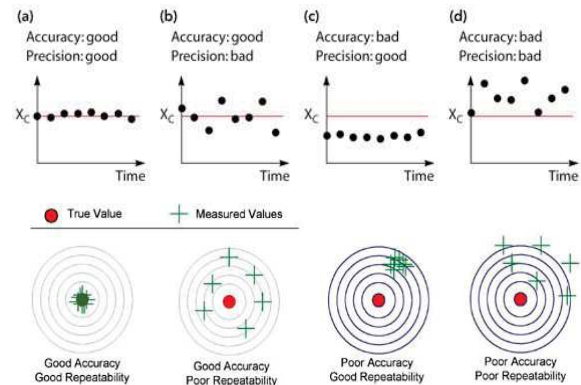
Hysteréza Hysteresis



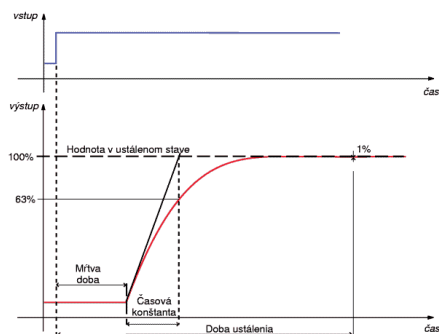
Nonlinearity Nelinearita



Opakovateľnosť Repeatability

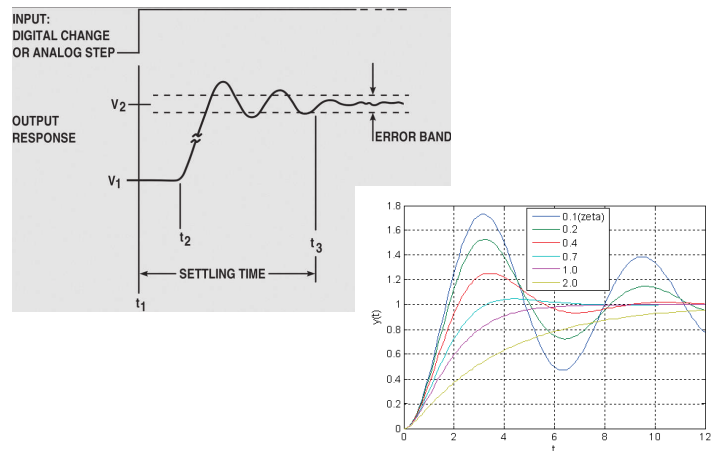


Dynamické vlastnosti Dynamic properties



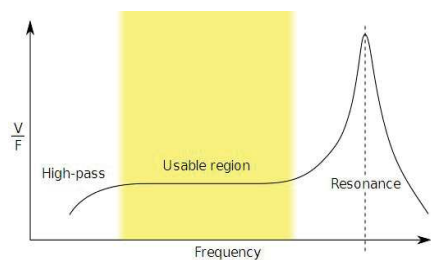
Obr. 3. Vyhodnotenie skokovej odzvy.

Dynamické vlastnosti II Dynamic properties

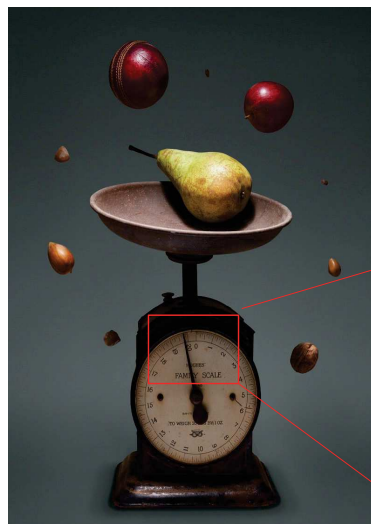


Dynamické vlastnosti III

Frekvenčná charakteristika



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



hmotnosť hrušky
20 (čoho 20? kg?)
20 oz = 0,6 kg
19,75 oz = 0,56 kg



Meranie

-- je činnosť, ktorej cieľom je stanoviť hodnotu skúmanej (fyzikálnej) veličiny.

Výsledok merania:

hodnota + jednotka \pm presnosť

Výsledok merania nie je správny, ak nie je určená aj jeho chyba! Pri jej určení vychádzame z metódy merania