


MEMS Intelligent Sensors and Actuators

(MEMS) Inteligentné senzory a aktuátory

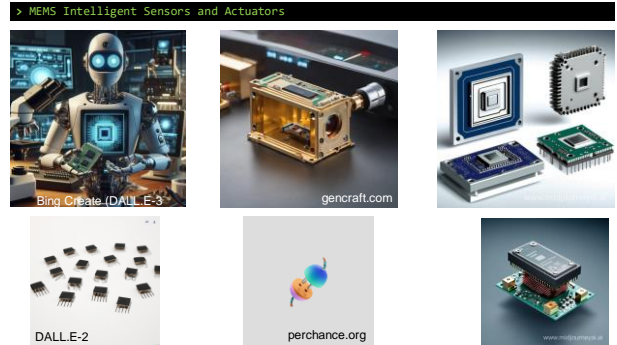
Ing. Richard Balogh



perchance.org

1

> MEMS Intelligent Sensors and Actuators



Bing Create (DALL-E-3)

gencraft.com

DALL-E-2

perchance.org

2

Prednášky (povinné)

Ing. Richard Balogh, PhD.

miestnosť: D-110 mail: balogh@elf.stuba.sk

Prednášky **CD-150** a cvičenia **D-208**

Konzultácie: piatok párný/nepárny týždeň na FEI ?

Exkurzia? termín Prezentácie - po 10 min každý týždeň

Letný semester

Počet kreditov 6.0 (6 ECTS = 150 hod. práce)

Prednáška / Cvičenie: **2.0 / 2.0** [hod./týždeň]

+ samoštúdium: 4.0 – 6.0 [hod./týždeň] !!!

3

Hodnotenie a Podmienky pre absolvovanie predmetu

15 bodov merania (nutné všetky)

15 bodov individuálny projekt

10 bodov programovacie domáce úlohy

10 bodov referáty na prednáškach

50 bodov skúška

Podmienky: Aktívna účasť (P+Cv)

Z každej časti nutné získať min 1/3 bodov.

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

4



Google Classroom



yhxe5zn

MISA 2024 14.02.2024

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



senzor

MISA 11.02.2024
MEMS Inteligentné senzory a aktuátory



Coding Rooms

<https://app.codingrooms.com/>
Join code: **THXP9GG0**

6

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.

7

Domáce úlohy

Link (invitation) do CodingRooms

T: 29. 2. 2024

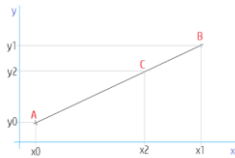
```
#include <stdio.h>
int main(void)
{
    int x[3];
    int y[3];

    scanf("%d, %d", &x[0], &y[0]); // Enter coordinates A
    scanf("%d, %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, ?};

8

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 Zehnula: *Čidla robotů*. SNTL Praha, 1990

9

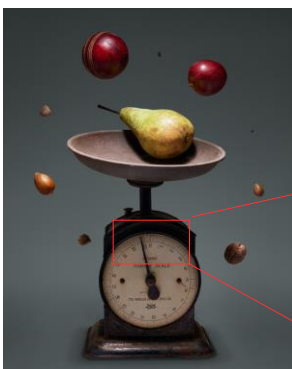


Základy merania

10



11



20
akos ? jednotky? => 19,45oz
19,45 (uncia)

$m = 560$ gramov



12



$m = 560g \pm 10g$

13



$m = 0,5kg \pm 1kg$

Meranie

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

Výsledok merania:

hodnota + jednotka ± presnosť
 $560 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$

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

14

Medzinárodná sústava jednotiek SI Système International (d'Unités)

skr.	názov	prívod	hodnota	hodnota	názov
Y	yotta	lat. ubto = osm	10^{24} (1000 ⁸)	1 000 000 000 000 000 000 000 000	kvadrilion
Z	zetta	lat. ubto = sedem	10^{21} (1000 ⁷)	1 000 000 000 000 000 000 000	trilion
E	exa	gr. εξάκις; hexakís = šesťkrát	10^{18} (1000 ⁶)	1 000 000 000 000 000 000	bilion
P	peta	gr. πεντάκις = päťkrát	10^{15} (1000 ⁵)	1 000 000 000 000 000	bilarda
T	tera	gr. τέταρτ; téras = štvrtáka = štyrikrát	10^{12} (1000 ⁴)	1 000 000 000 000	bilión
G	giga	gr. γίγας; gýgas = obrovský	10^9 (1000 ³)	1 000 000 000	bilarda
M	mega	gr. μέγας; mégas = veľký	10^6 (1000 ²)	1 000 000	bilión
k	kilo	gr. χίλις; chílios = tisíc	10^3	1 000	bilio
h	hekto	gr. ἑκατόν; hekátón = sto	10^2	100	sto
da	deka	gr. δέκα; déka = desať	10^1	10	desať
—	—	—	10^0	1	jeden
d	deci	lat. decimus = desatina	10^{-1}	0,1	desatina
c	centi	lat. centesimus = stotina	10^{-2}	0,01	stotina
m	milli	lat. millesimus = tisícina	10^{-3}	0,001	tisícina
μ	micro	gr. μικρός; mikrós = malý	10^{-6} (1000 ⁻³)	0,000 001	miliónina
n	nano	gr. νάνος; nános = trpaslík	10^{-9} (1000 ⁻⁶)	0,000 000 001	biliónina
p	piko	lat. picus = malý	10^{-12} (1000 ⁻⁹)	0,000 000 000 001	biliónina
f	femto	lat. femur = paleček	10^{-15} (1000 ⁻¹²)	0,000 000 000 000 001	biliónina
a	atto	lat. atter = zaspený	10^{-18} (1000 ⁻¹⁵)	0,000 000 000 000 000 001	biliónina
z	zepto	lat. septem = sedem	10^{-21} (1000 ⁻¹⁸)	0,000 000 000 000 000 000 001	biliónina
y	yotta	lat. ubto = osm	10^{-24} (1000 ⁻²¹)	0,000 000 000 000 000 000 000 001	kvadrilionina



15

Metódy merania

absolútne – poskytuje priamo údaj o veličine so známou jednotkou
napr. 7,5 kV 12,4 cm 1,2 μA

relatívne – porovnáme skúmaný objekt s tzv. etalónom (normál - objekt so známou hodnotou veličiny).
napr. meranie závažíami

16

Metódy merania

subjektívne – bez použitia meradla, založené na zmyslovom vnímaní
napr. kontrola farby, škrabancov...

objektívne – pomocou meradla
napr. meranie odporu multimetrom

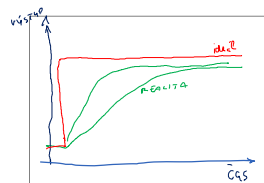
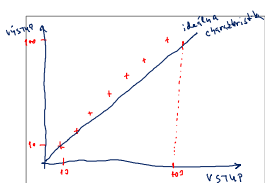


17

Metódy merania

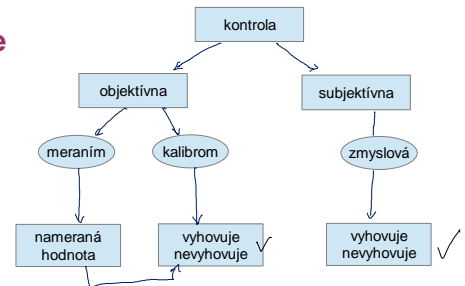
statické – meria sa ustálená hodnota, počkáme na ustálenie

dynamické – záznam meniacej sa veličiny v čase



18

Postup pri kontrole výrobkov



19

Chyby merania


systematické (presnosť meracieho prístroja a metódy merania)

náhodné (náhodné poruchové vplyvy - teplota, tlak; zmysly...)

hrubé (nepozornosť, porucha prístroja)

$5,999\text{V} \pm 1\% \cdot 600 + 2 \text{ číslice}$
 $\pm 6\text{V!}$

Presnosť merania napätia DC $\pm(1\% + 2 \text{ číslice})$
 Ak zvolíme vhodnejší rozsah 6V:
 $5,999\text{V} \pm (1\% \cdot 6\text{V} + 2 \text{ číslice}) = \pm(0,06\text{V} + 0,002) \Rightarrow 5,997 \pm 0,061\text{V}$



20

Kalibrácia meradiel

postupná strata presnosti

-- napr. časom, opotrebovaním, únavou materiálu, deformáciou, starnutím...

potreba pravidelnej kontroly a prípadne kalibrácie (= nadviazanie na etalón)

Slovenský metrologický ústav,
Slovenská legálna metrologia
ale i podnikové laboratória a pod.



21

Čo je to?

$R [S]$

22

Spojité odporové snímače

- Odporové (potenciometrické) snímače so spojitým výstupným signálom patria do skupiny **pasívnych meracích prvkov** a sú vhodné na priame meranie, napr. **polohy prvkov** mechanickej zostavy alebo **na meranie neelektrických veličín**, ktoré sa dajú transformovať na zmenu polohy, čiže na posunutie

- potenciometer s jedným odporovým vodičom
- odporový vodič navinutý na nosnej podložke
- stupňovitá odporová dráha
- odporová dráha tvorená elektrolytom

Konštrukčné riešenia odporových snímačov polohy s kruhovou dráhou

23

Príklady automotive

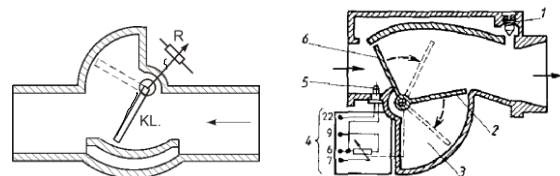
Pedal Sensor

E-Gas Throttling Device

Gear Selection Sensor

24

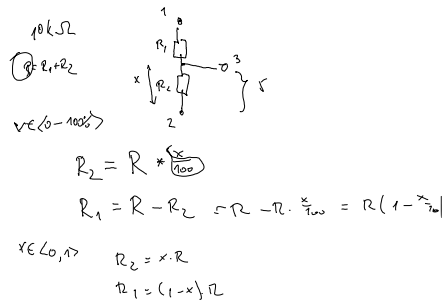
Príklad potenciometrického snímača polohy v automobile



Klapkový snímač množstva nasávaného vzduchu
 $Q = f(\Delta p, \text{polohy klapky})$
 Poloha plynového pedálu

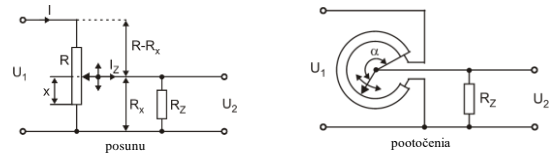
25

-1



26

Schémy zapojenia potenciometrických snímačov polohy



Pre nezaťažný potenciometer platí $U_2 = k \cdot x$, resp. $U_2 = k \cdot \alpha$

príčom konštanta úmernosti k je určená pomerom $k = \frac{U_{2max}}{x_{max}} = \frac{U_{2max}}{\alpha_{max}}$

- Podmienky:**
- stabilné a konštantné napájanie
 - prúd nesmie senzor ohrievať
 - následný obvod impedančne prispôsobený

27

Zhrnutie

- **Metódy merania**
- Výsledok merania
- **Chyby merania** (systematické, náhodné a hrubé)
- Kalibrácia
- **Odporové snímače polohy** (potenciometrické)
- Využitie v automobilovom priemysle
- **Model snímača** (prevodová charakteristika, funkcia)

28