



1



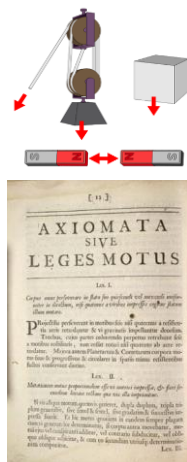
2

Sila

slov. od 14. stor., úsilie

LAT	vis (<i>vis major</i> , strength, force, power)
GB	force (lat. fortis -> fr. force -> en. force)
DE	Kraft
FR	force
PL	siła
HU	erő
UA	сила [sila]
RU	сила [sila]
CZ	síla

Isaac Newton: *Principia Mathematica*, 1687.
https://la.wikipedia.org/wiki/Leges_motus_Newtoni



3

Sila

Sila je fyzikálna veličina, ktorá predstavuje veľkosť vzájomného pôsobenia telies.

Značka **F** / jednotka Newton [N]

1 newton je sila, ktorá udelí telesu s hmotnosťou 1 kg zrýchlenie jeden meter za sekundu na druhú.

$$1\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

2. Newtonov zákon $F = m \cdot a$

Presná definícia (aj vzhľadom na to, že je to jedna zo základných veličín) nie je jednoduchá.

Na makroskopickú úroveň môžeme vzájomné pôsobenie telies (ktoré pozorujeme na základe našej skúsenosti) našťastie opísať jedinou a jednoduchou vektorovou veličinou.

4

9.3. Snímače sily

deformačné členy + snímanie :
 mech. napätia - tenzometre
 zmeny polohy - malé výchylky [mm, um]

piezoelektrické - nevhodné pre statické merania

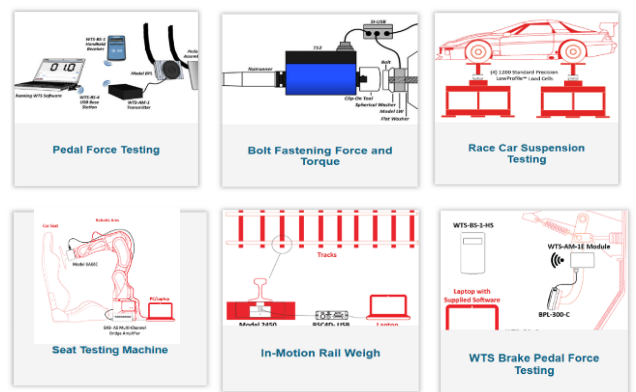
kapacitné

magnetoanizotropné

zmena elektrického odporu

5

9.3. Snímače sily - aplikácie



6

9.3. Snímače sily - aplikácie

	ALF304 Brake Pedal Force Sensor Compact, low profile loadcell for measuring brake pedal application forces	Measurement Range 2.5kN	Accuracy [%] ±0.05% of F.S.	Output mV/V	Load direction Compression
	ALF305 Seat Belt Tension Force Sensor High performance loadcell for measuring seat belt tension forces	Measurement Range 16kN	Accuracy [%] ±3% of F.S.	Output mV/V	Load direction Tension
	ALF319 Hand Brake Force Sensor An excellent technical solution to measurement of an ergonomic force	Measurement Range 1kN	Accuracy [%] ±0.05% of F.S.	Output mV/V	Load direction Compression
	ALF321 Gear Shift Force Sensor Measures gear lever forces required to achieve gear selection	Measurement Range 200N	Accuracy [%] ±0.5% of F.S.	Output mV/V	Load direction Bi-directional

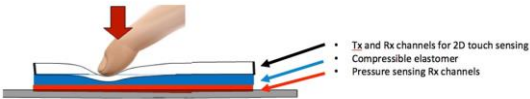
7

9.3. Snímače sily - aplikácie

Force-sensing: A third dimension in automotive touch controls



Synaptics demonstration of a steering wheel touchpad with force sensing and haptics.

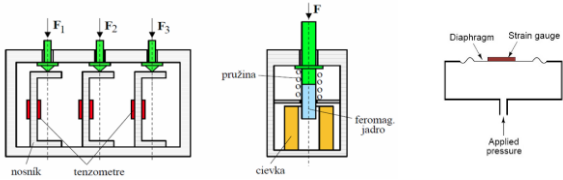
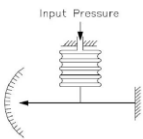


8

9.3. Snímače sily
Deformačné členy

Menia pôsobiacu silu na inú veličinu

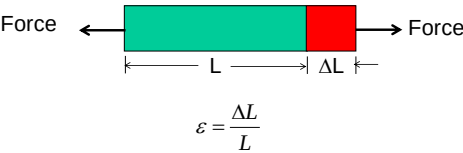
- **nosníky** → deformácia, tenzometre
- **pružiny** → zmena polohy , snímač polohy (indukčný, fotoelektrický)
- **pružné podložky** → zmena polohy



9

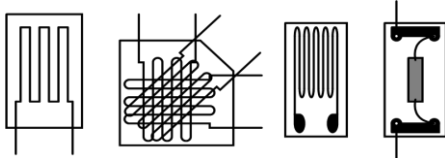
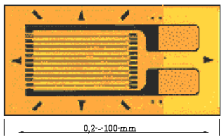
9.3.1 Deformačné členy
Tenzometer – Strain Gauge

Definition of strain, ϵ



10

Tenzometre



11

Tenzometre

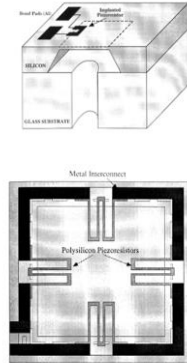
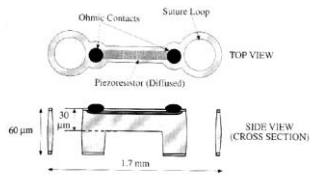
Tab.1 Prehľad vlastností nalepených tenzometrov

Tenzometre	Fóliové		Polovodičový
Typ	KFC-2-D1-23 (R _{SC})	KFC-5-350-C1-23 (R _{SA} , R _{SB} , R _{SC})	KSP-2-E3 (R _{SD})
Odpor R [Ω]	119.9±0.4	350±0.6	110±2%
Súčiniteľ deformačnej citlivosti K	2.11	2.1±1%	124±3%
Teplotný súčiniteľ deformačnej citlivosti α _{0.1} [1/°C]	≈ 0	≈ 0	0.14%
Teplotný súčiniteľ elektrického odporu α _{0.1} [μm/m/°C, tj. °C]	1.8	1.8	13.8
Súčiniteľ teplotnej rozťažnosti materiálu tenzometra α _{0.1} [μm/m/°C]	≈ 0	≈ 0	7÷22
Výrobca	Kyowa Tokyo	Kyowa Tokyo	Kyowa Tokyo
Max. relatívne predĺženie ε [μm/m]	±3000	±3000	±2000
Dĺžka aktívnej mriežky [mm]	2	5	2
Poznámka	tepelná kompenzácia pre namáhaný materiál-hliník(23μm/m/°C)	tepelná kompenzácia pre namáhaný materiál-hliník(23μm/m/°C)	

12

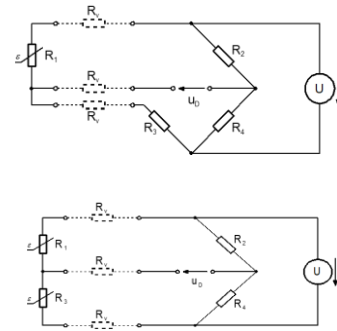
MEMS Tenzometre

Implantable strain gauge



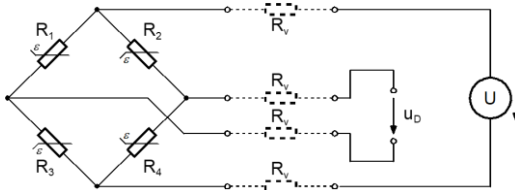
13

Tenzometre



14

Tenzometre



15

Využitie tenzometrov Sila

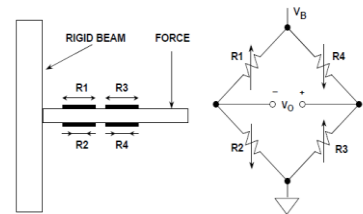


Figure 3.83: A beam force sensor using a strain gage bridge

16

Využitie tenzometrov Váženie



17

9.3. Snímače sily Kapacitné snímače

Table 5.1 Fundamental types of capacitive force transducers (CFTs)

Type	Flat Parallel	Cylindrical Coaxial	Spherical Concentric
Layout			
Formula	$C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d}$	$C = \frac{2\pi \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot l}{\ln(r_2 / r_1)}$	$C = \frac{4\pi \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1}$

18

9.3. Snímače sily TactArray Kapacitná snímače

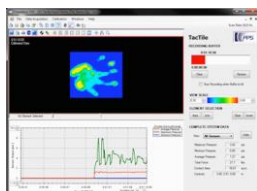
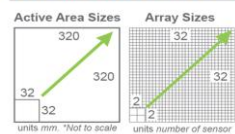
PPS -



CTA's are flexible and can be molded over complex shapes like a head

Sensor Characteristics & Performance	
Full Scale Range	2-80 psi
Thickness	< 1 mm (< 0.04 in)
Signal-to-Noise (SNR)	> 500:1
Minimum Sensitivity	10 Pa (0.0015 psi)
Linearity	99.8%
Gain Non-Repeatability	0.35%
Weight	~ 1.5 lbs (650 g)

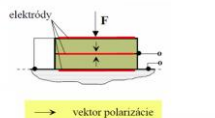
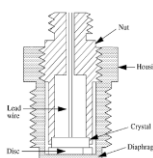
SENSOR MODELS & METRICS



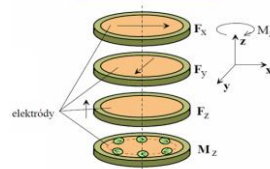
19

9.3. Snímače sily Piezoelektrické snímače

- využívajú vznik náboja pri pôsobení sily ($U = Q/C$)
- smer polarizácie - smer citlivosti
- statické merania
- - náboj po čase "zmizne"
- materiál - piezokeramika



→ vektor polarizácie

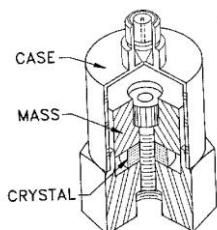
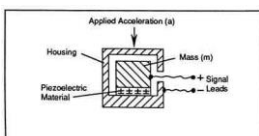


20

9.3. Snímače sily zrýchlenia Piezoelektrické snímače

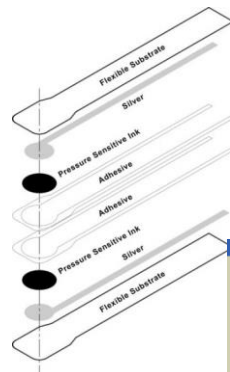
- teliesko so známou hmotnosťou m , pri pôsobení:
- $F = m \cdot a$
- snímač zrýchlenia

- meranie vibrácií, diagnostika, monit



21

9.3. Snímače sily Piezoelektrické snímače

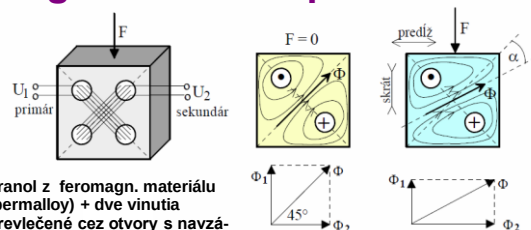


Typical Performance	
Linearity (Error)	< ±3%
Repeatability	< ±2.5% of Full Scale
Hysteresis	< 4.5% of Full Scale
Drift	< 5% per Logarithmic Time Scale
Response Time	< 5µsec
Operating Temperature	15°F - 140°F (-9°C - 60°C)



22

9.3. Snímače sily Magnetoanizotropné snímače



hranol z feromagn. materiálu (permalloy) + dve vinutia prevlečené cez otvory s navzájom ⊥ osami, tvoria transformátor

bez pôsobenia sily sekundár neviaže žiadny mag. tok, U_2 je nulové

pri silovej deformácii nastanú tieto javy (obecne):

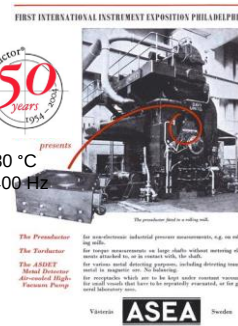
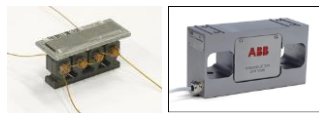
tiah → +σ (predĺženie) → μ_r stúpa → mag tok Φ stúpa
tlak → -σ (skrútenie) → μ_r klesá → mag tok Φ klesá

23

9.3. Snímače sily Magnetoanizotropné snímače

snímač pre $F = 5000$ kN
(fy ASEA Švédsko)

- linearita, presnosť 0,5 %
- hysteréza 0,2 %
- stlačenie 0,05 mm
- preťaženie 200 %
- rozsah teplôt +20 ÷ +80 °C
- napájacia f 50, 60, 400 Hz

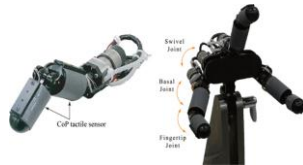
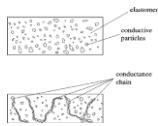


24

9.3. Snímače sily

Zmena elektrického odporu

- vodivá guma
- plastické hmoty (polyuretán)



Materiály vykazujú zmenu odporu pri stláčaní
Miera stlačenia úmerná sile (niekedy pomocná pružina)

Poznámka: Materiály majú značnú časovú a teplotnú chybu



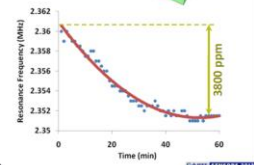
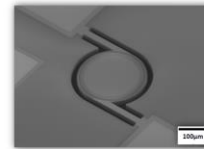
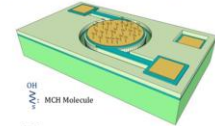
25

9.3.2 Rezonančné snímače sily

Detekcia DNA

Piezoelectric Disk Resonators for Direct Molecular Sensing

- Rotational mode disk resonators are demonstrated as direct real-time bio-molecule monitors
- Exposure to 1.0 mM MCH in aqueous solution
- Saturation is reached after 1hr



DENVER DALLAS

56

SENSORS 2013

26

Experiments and Results

DNA Detection Mechanism



Blank gold surface

- Treatment with HS-ssDNA (2.0 μ M/1.0 M KH_2PO_4 , PH 4.2)
- Exposure to 1.0 mM Mercapto-Hexanol in aqueous solution
- Hybridization with Complementary DNA Solution (1.0 μ M/1.0 M NaCl Tris-HCl 1.0 mM EDTA)

DENVER DALLAS

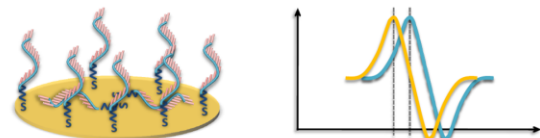
57

SENSORS 2013

27

Experiments and Results

DNA Detection Mechanism



Blank gold surface

- Treatment with HS-ssDNA (2.0 μ M/1.0 M KH_2PO_4 , PH 4.2)
- Exposure to 1.0 mM Mercapto-Hexanol in aqueous solution
- Hybridization with Complementary DNA Solution (1.0 μ M/1.0 M NaCl Tris-HCl 1.0 mM EDTA)

DENVER DALLAS

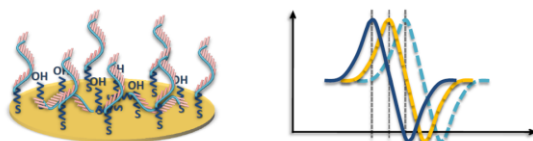
58

SENSORS 2013

28

Experiments and Results

DNA Detection Mechanism



Blank gold surface

- Treatment with HS-ssDNA (2.0 μ M/1.0 M KH_2PO_4 , PH 4.2)
- Exposure to 1.0 mM Mercapto-Hexanol in aqueous solution
- Hybridization with Complementary DNA Solution (1.0 μ M/1.0 M NaCl Tris-HCl 1.0 mM EDTA)

DENVER DALLAS

59

SENSORS 2013

29