

MEMS Inteligentné senzory a aktuátory

Ing. Richard Balogh

Snímače mechanických veličín

9. 5. 2016



9. Mechanické veličiny

- poloha
- rýchlosť (priamočiara)
- zrýchlenie
- otáčky
- uhlové zrýchlenie
- sila
- moment

9.1. Priamočiara rýchlosť

- snímanie problematické (pre väčšie rozsahy pohybov):

prevod na rotačný pohyb (otáčky)
derivácia polohy (ak sa sníma) podľa času $v = dx/dt$

9.2. Snímače otáčok

spojité:

- tachodynamo (klasické, unipolárne)
- tachogenerátor (klasický, Feraris)

impulzné:

- magnetické:
 - s indukovaným napätím
 - s Hallovou sondou
- optické:
 - s reflexnými značkami (vyššie otáčky)
 - s optickými mriežkami (nízke otáčky)

9.2. Snímače otáčok

Tachodynamo

- má pevný stator, tvorený permanentnými magnetmi a vinutý rotor s komutátorom
- na komutátor dosadajú zberné kontakty
- výstup je jednosmerné napätie:
 - amplitúda lineárne závislá od otáčok
 - polarita závislá od smeru
- výhody:
 - jednoduché, citlivé
 - lineárne a pomerne presné
- nevýhody:
 - zvlnenie výst. napätia, šumy
 - výstup sa nedá zaťažiť
 - nevhodné pre vysoké otáčky (odhadzovanie "kefiek")

9.2. Snímače otáčok

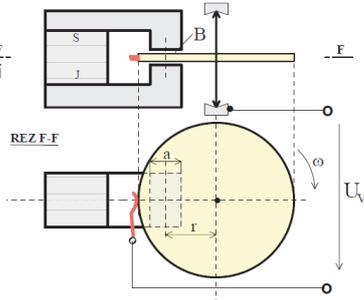
Tachodynamo

Tachodynamo MEZ typ K5A1

- $n = 0 \div 6000$ ot/min , citl. 20 V na 1000 ot/min
- linearita 1% , zvlnenie 0,5 %
- mech. príkon 0,33 W na 1000 ot/min
- trecí moment kludový 200 mNcm
- záťažný odpor $> 5000 \Omega$ na volt výst. napätia

9.2. Snímače otáčok Unipolárne dynamo

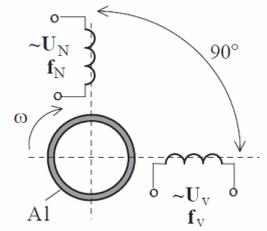
- indukovanie napätia v otáčajúcom sa el. vodivom kotúči v magnetickom poli
- výst. napätie sa odoberá len jedným klzným kontaktom
- lineárna charakteristika
- menšie komutačné poruchy
- malá zotrvačnosť pohyblivých častí
- malé výstupné napätie



$$U_v = B a r \omega$$

9.2. Snímače otáčok Tachogenerátor

- princíp podobný tachodynamu, výstup je cez nedelené zberné krúžky
- výstupné napätie je striedavé, ako signál môžeme využiť jeho
 - amplitúdu, alebo
 - frekvenciu.



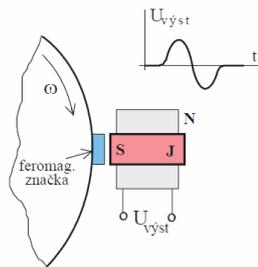
Tachogenerátor s budením (systém Ferraris).

$$U_v = k U_N n$$

9.2. Snímače otáčok Magnetické impulzné snímače

Indukcia napätia
od zmeny mag. toku

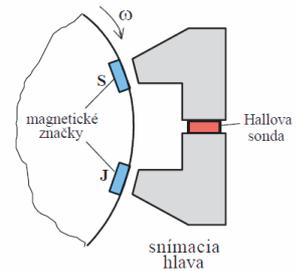
- výstupný signál má dve polarity (približovanie a vzdďaľovanie sa značky)
- amplitúda závisí od obvodovej rýchlosti
- značka je z mag. mäkkého materiálu
- značka môže byť i perm. magnet, zvyšok je potom z mag. mäkkého mat.
- systém je vhodný pre vyššie otáčky



9.2. Snímače otáčok Magnetické impulzné snímače

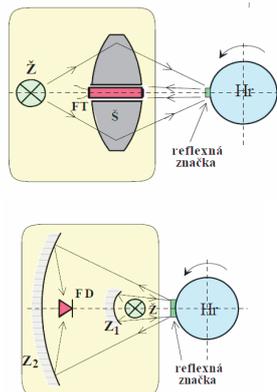
Využitie Hallovho javu

- značky môžu byť nahrané priamo na hriadeľ
- nahrávacía hlava je podobná snímacej, len s cievkou namiesto Hall. sondy
- systém je vhodný i pre pomalé otáčky



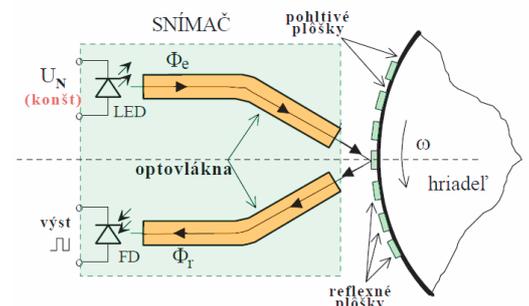
9.2. Snímače otáčok Optické impulzné snímače

- presnejšie snímanie (nízke otáčky) → opísané optické mriežky
- nižšie nároky, resp. vyššie otáčky → jednoduchšie systémy, obvykle reflexné



9.2. Snímače otáčok Optické impulzné snímače

Systém s optovláknami



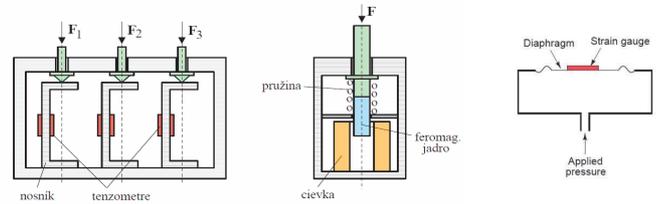
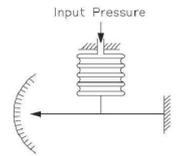
9.3. Snímače sily

- **deformačné členy + snímanie** :
 - mech. napätia - tenzometre
 - zmeny polohy - malé výchylky [mm, um]
- **piezoelektrické** - nevhodné pre statické merania
- **magnetoanizotropné**
- **zmena elektrického odporu**

9.3. Snímače sily Deformačné členy

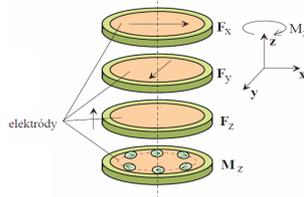
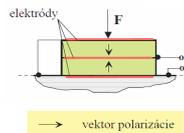
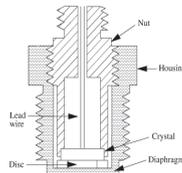
Meria pôsobiacu silu na inú veličinu

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



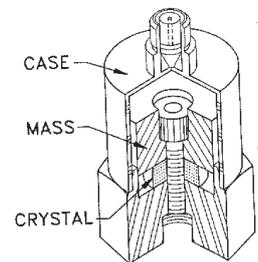
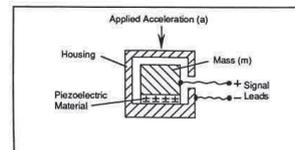
9.3. Snímače sily Piezoelektrické snímače

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

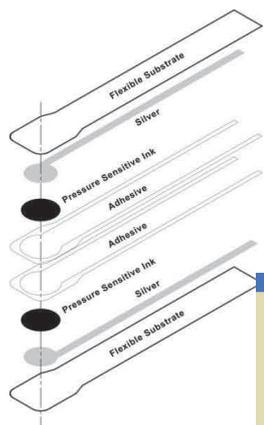


9.3. Snímače sily zrýchlenia Piezoelektrické snímače

- **teliesko so známou hmotnosťou m , pri pôsobení sily $F = m \cdot a$**
→ snímač zrýchlenia
- meranie vibrácií, diagnostika, monitoring

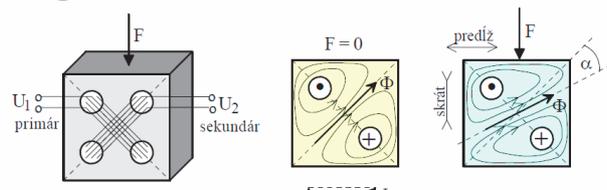


9.3. Snímače sily Piezoelektrické snímače



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)

9.3. Snímače sily Magnetoanizotropné snímače



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

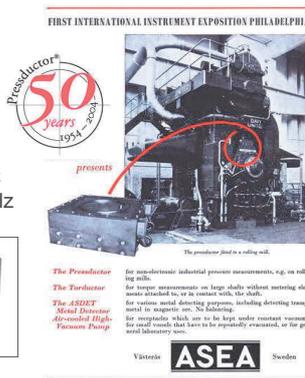
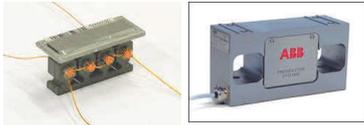
bez pôsobenia sily sekundár neviaže žiadny mag. tok, U2 je nulové

pri silovej deformácii nastanú tieto javy (obecne):
 ťah → +σ (predĺženie) → μ_r stúpa → mag tok Φ stúpa
 tlak → -σ (skrátenie) → μ_r klesá → mag tok Φ klesá

9.3. Snímače sily Magnetoanizotropné snímače

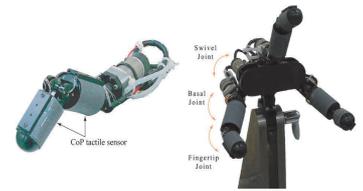
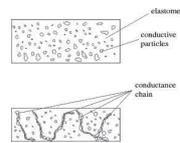
snímač pre $F = 5000 \text{ kN}$
(fy ASEA Švédsko)

- linearita, presnosť 0,5 %
- hysteréza 0,2 %
- stlačenie 0,05 mm
- preťaženie 200 %
- rozsah teplôt $+20 \div +80 \text{ }^\circ\text{C}$
- napájacia f 50, 60, 400 Hz



9.3. Snímače sily Zmena elektrického odporu

- vodivá guma
- plastické hmoty (polyuretán)



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

Poznámka: Materiály majú značnú časovú a teplotnú chybu



9.4. Meranie momentu

9.4.1. Meranie deformácie

Meranie je obvykle nepriame, cez deformačný člen - hriadeľ

Vyhodnocuje sa deformácia:

- predĺženie povrchovej priamky (ϵ - pomerné)
- skrut hriadeľa ϕ

- tenzometrami
- impulzne
- magnetoanizotropne
- inými, upravenými princípmi

9.4. Meranie momentu

9.4.1. Meranie deformácie

Pri meraní uhla skrutu sa vychádza z výrazu:

$$M_k = \frac{G I_p \phi}{l}$$

ϕ – uhol skrutu (nameraný) M_k – krútiaci moment
 G – modul pružnosti v šmyku l – dĺžka hriadeľa
 I_p – polárny moment zotrvačnosti

Po dosadení za I_p pre kruh $\pi D^4/32$ je:

$$M_k = \frac{\pi D^4 G \phi}{32 l}$$

9.4. Meranie momentu

9.4.1. Meranie deformácie

Pri meraní ϵ sa vychádza z deformácie hriadeľa:

$$M_k = \frac{\pi D^3 \tau_m}{16}$$

kde

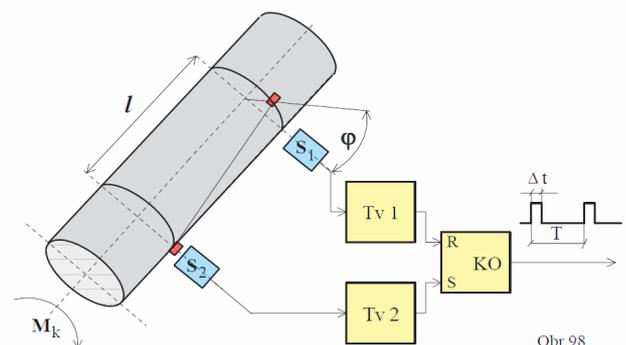
$\frac{\pi D^3}{16} = W_t$ je modul prierezu pre kruh,

D – priemer hriadeľa,

τ_m – je napätie v šmyku (mechanické),
prejaví sa povrchovou deformáciou

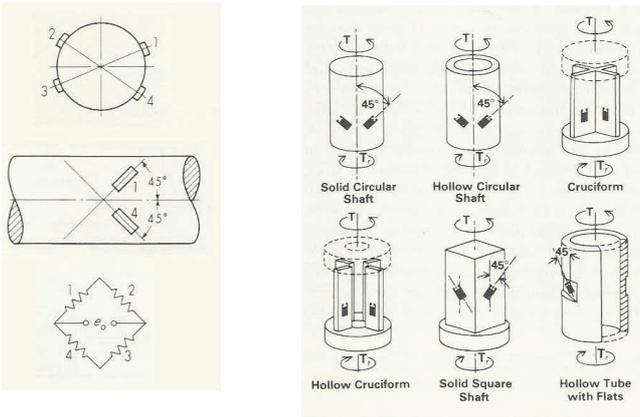
9.4. Meranie momentu

9.4.1. Meranie deformácie

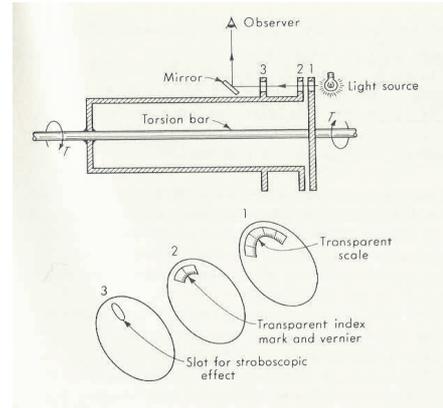


Obr.98

9. 4. Meranie momentu Tenzometrický snímač

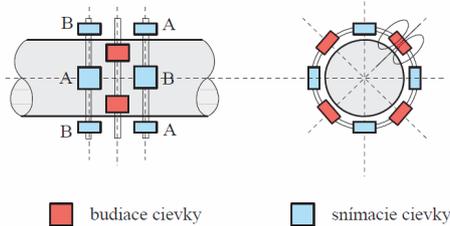


9. 4. Meranie momentu Optický snímač



9. 4. Meranie momentu 9.4.2. Magnetoanizotropný snímač momentov (na hriadeľi)

+ hriadeľ musí byť z feromag. materiálu, okolo sú sústavy cievok, ktoré sú pevné, medzi cievkami a hriadeľom je malá vzduchová medzera. Systém je transformátorový princíp + základná deformácia je skrut od momentu, tento sa prejaví sklonom povrchovej priamky (uhol ϕ) a jej predĺžením v smere kolmom nastane stlačenie materiálu

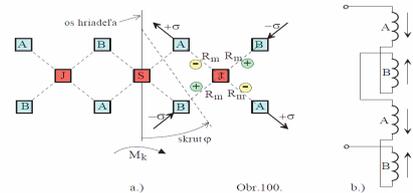


■ budiace cievky ■ snímacie cievky

9. 4. Meranie momentu 9.4.2. Magnetoanizotropný snímač momentov (na hriadeľi)

Rozvinutá sústava cievok:

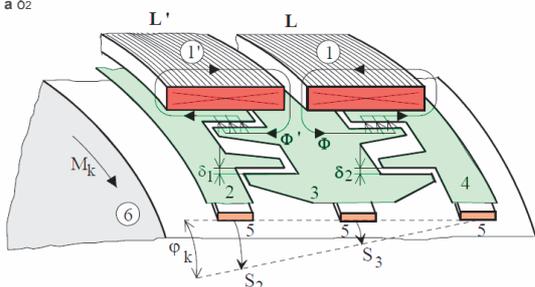
- primárne cievky vytvárajú striedavé mag. pole, póly sú S a J (pre dané t)
- $M_k = 0 \rightarrow \Phi_m$ primáru vzhľadom na jednu sekundárnu cievku rušia (rovnaké mag. odpory), výstup každej cievky je nulový
- $M_k \neq 0 \rightarrow$ vznikne uhol skrutu ϕ a opísané deformácie (ťah, tlak) zmenia sa R_m (pre $+\sigma$ klesá, pre $-\sigma$ stúpa), zmenia sa Φ_m a v sekundárnych cievkach vznikajú napätia
- amplitúda závisí od ϕ , fáza (0 alebo 180°) od prevládajúceho toku (S, alebo J)
- sekundárne cievky v sérii tak, aby sa napätia sčítali. U v A a B sú v protifáze.



Obr.100.

9. 4. Meranie momentu Indukčný snímač momentov

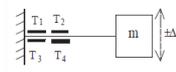
- na nemagnetickom hriadeľi 6 sú nemagnetické pásiky 5, na nich je upevnený magneticky dobre vodivý obvod, časti 2, 3 a 4, nad nimi sú pevné - neotáčajúce sa cievky 1 a 1'.
- osi cievok sú rovnobežné s osou hriadeľa
- každá cievka si vytvorí svoj Φ_m s naznačenými siločiarami
- siločiaru na vonkajšej strane cievky cez kryt (nie je zakreslený)
- siločiaru na vnútornej strane cievky cez magnetický obvod 3-2, resp. 3-4
- hlavný Φ_m ide cez medzery δ_1 a δ_2 (cez všetky po obvode súčasne)
- Veľkosti medzier δ_1 a δ_2 teda ovplyvňujú indukčnosti L a L'



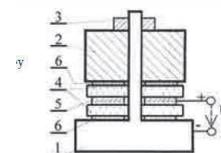
9.4. Snímače zrýchlenia

- Zrýchlenie $a = dv / dt$
- Newtonov zákon $F = m \cdot a$

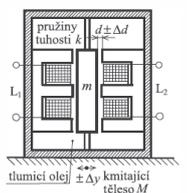
Pri známej hmotnosti telesa m je sila F merítkom zrýchlenia a .



Obr. 3.77 Tenzometrický snímač zrýchlení



Obr. 3.78b Piezoelektrický tlakový snímač zrýchlení



Obr. 3.79 Indukčnosť snímač zrýchlení

9. 4. Meranie zrýchlenia MEMS technológia

•What is MEMS?

- Acronym for Microelectromechanical Systems
- "MEMS is the name given to the practice of making and combining miniaturized mechanical and electrical components." – K. Gabriel, SciAm, Sept 1995.

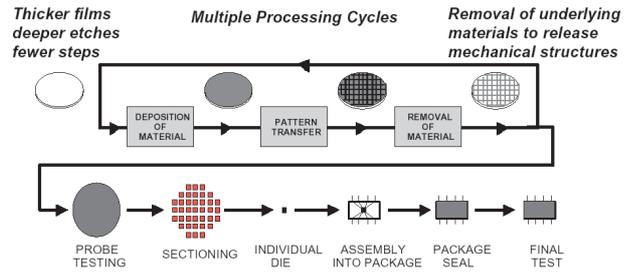
•Synonym to:

- Micromachines (in Japan)
- Microsystems technology (in Europe)

•Leverage on existing IC-based fabrication techniques (but now extend to other non IC techniques)

- Potential for low cost through batch fabrication
- Thousands of MEMS devices (scale from ~ 0.2 μm to 1 mm) could be made simultaneously on a single silicon wafer

9. 4. Meranie zrýchlenia MEMS technológia

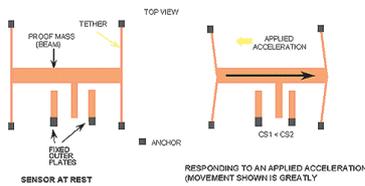


9. 4. Meranie zrýchlenia MEMS akcelerometer

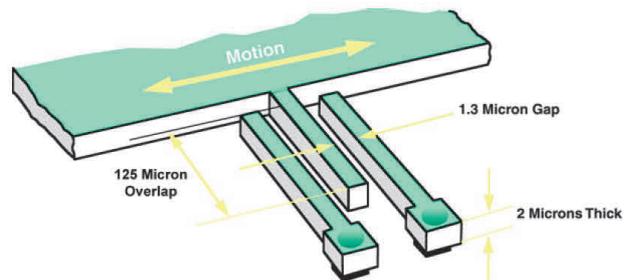
ADXL202: ± 2 g Dual Axis Accelerometer

Features

- X and Y Axis on a single chip = Small size and lower cost
- 250uA per Axis = Low power battery operation
- 3.0V to 5.0V Operation = Low power battery operation
- Surface mount package = Small size and ease of use
- High resolution PWM converter = Direct interface to micro (No A/D)
- iMEMS = Low cost AND high performance

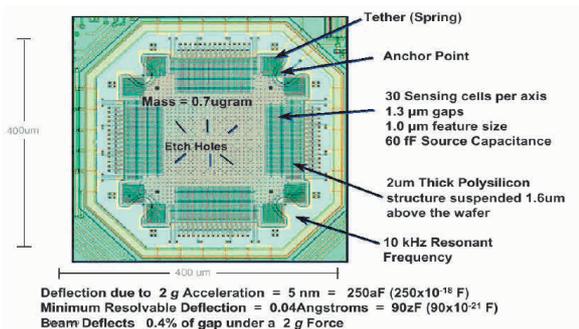


9. 4. Meranie zrýchlenia MEMS akcelerometer



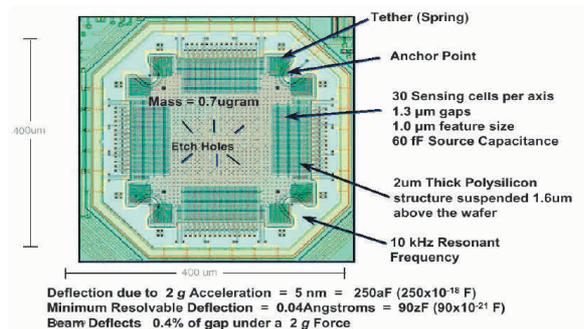
9. 4. Meranie zrýchlenia MEMS akcelerometer

ADXL 202: Micromachined Beam



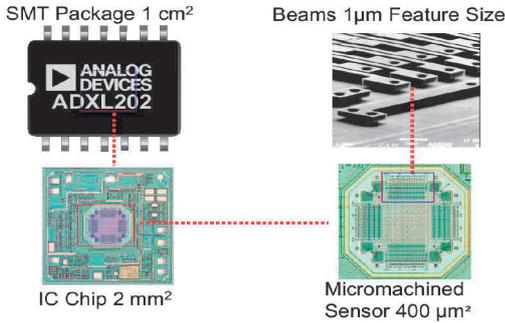
9. 4. Meranie zrýchlenia MEMS akcelerometer

ADXL 202: Micromachined Beam

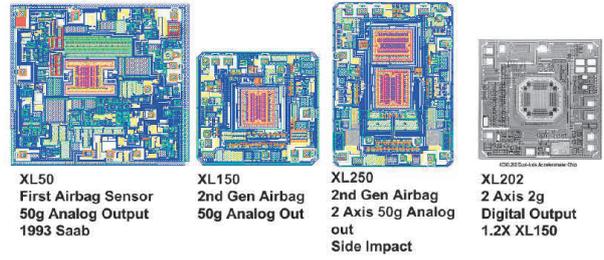


9. 4. Meranie zrýchlenia
MEMS akcelerometer

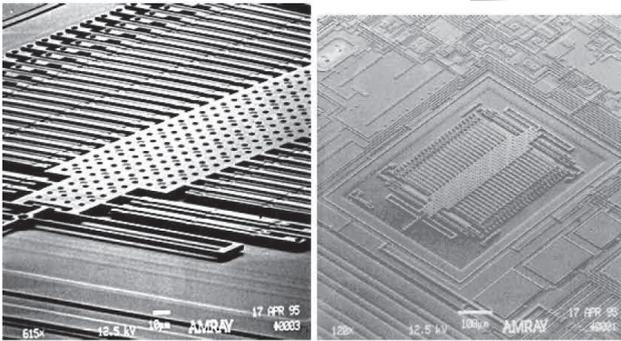
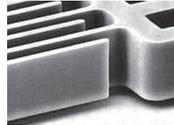
ADXL 202: acceleration sensor



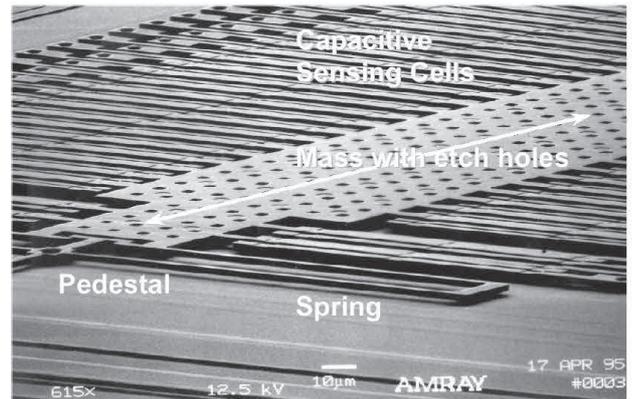
9. 4. Meranie zrýchlenia
MEMS akcelerometer



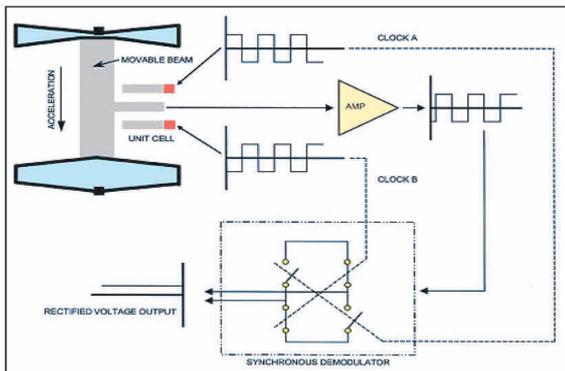
9. 4. Meranie zrýchlenia
MEMS akcelerometer



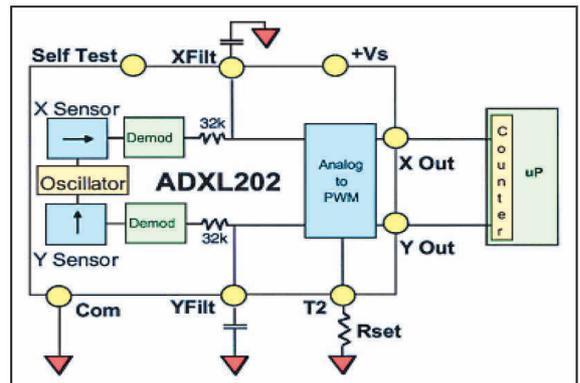
9. 4. Meranie zrýchlenia
MEMS akcelerometer



9. 4. Meranie zrýchlenia
MEMS akcelerometer

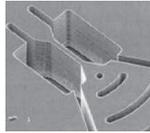
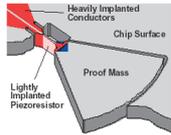


9. 4. Meranie zrýchlenia
MEMS akcelerometer



9. 4. Meranie zrýchlenia MEMS akcelerometer

- Piezoresistive MEMS accelerometer
 - Operating Principle: a proof mass attached to a silicon housing through a short flexural element. The implantation of a piezoresistive material on the upper surface of the flexural element. The strain experienced by a piezoresistive material causes a position change of its internal atoms, resulting in the change of its electrical resistance
 - low-noise property at high frequencies



Courtesy of JP Lynch, U Mich.

9. 4. Meranie zrýchlenia MEMS MX2125 hot bubble

