

# SNÍMAČE PRO MĚŘENÍ SÍLY, TLAKU, KROUTÍCÍHO MOMENTU, ZRYCHLENÍ



- 9.1. Snímače síly
- 9.2. Snímače tlaku
- 9.3. Snímače krouťícího momentu
- 9.4. Snímače zrychlení

### 9.1. SNÍMAČE SÍLY

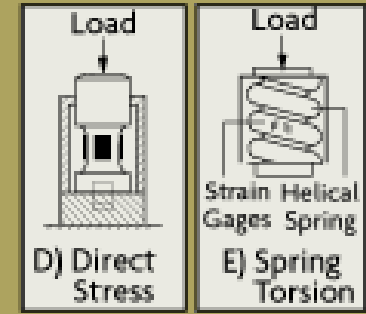
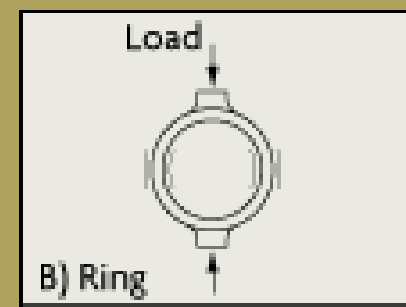
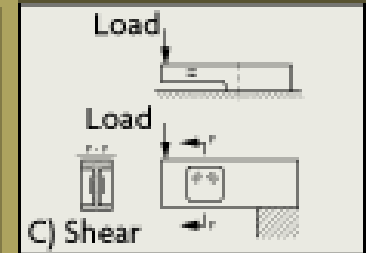
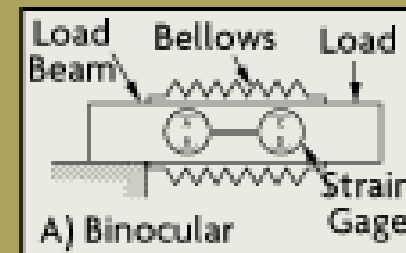
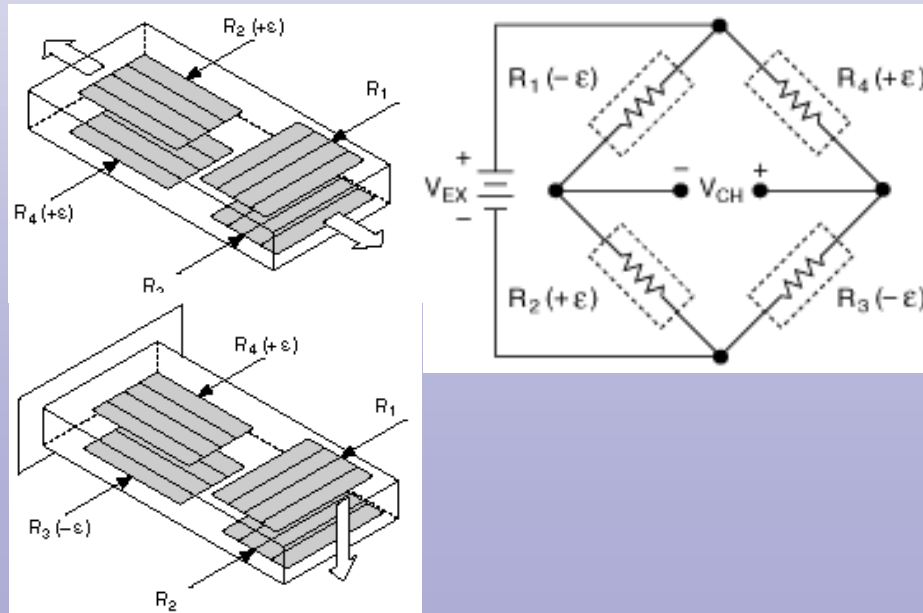
- dva základní principy:
  - 9.1.1. deformace měrného tělíska
  - 9.2.2. piezoelektrický jev



### 9.1.1. SNÍMAČE SÍLY založené na deformaci

#### Princip činnosti

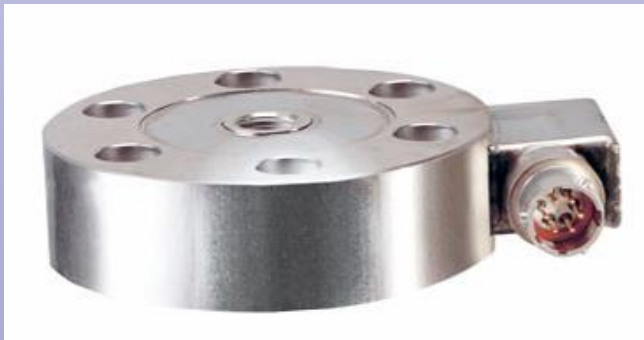
- působením síly na těleso dojde k jeho deformaci
- deformace se měří pomocí tenzometrů
- vždy zapojeny jako plný most (teplotní stabilita, větší citlivost)
- využívá se tlak (tah) nebo ohyb
- různé tvary deformačních tělísek



### 9.1.1. SNÍMAČE SÍLY založené na deformaci

#### ▪ Praktické provedení

- tah i tlak
  - přírubové provedení (většinou odolné proti bočním silám a ohybovým momentům)
  - s kotevními šrouby nebo otvory (pozor na boční síly a ohybový moment)
  - „S“ tvar (pozor na boční síly a ohybový moment)
- jen tlak
  - kulový vrchlík (vylučuje boční síly a ohybový moment)



### 9.1.1. SNÍMAČE SÍLY založené na deformaci

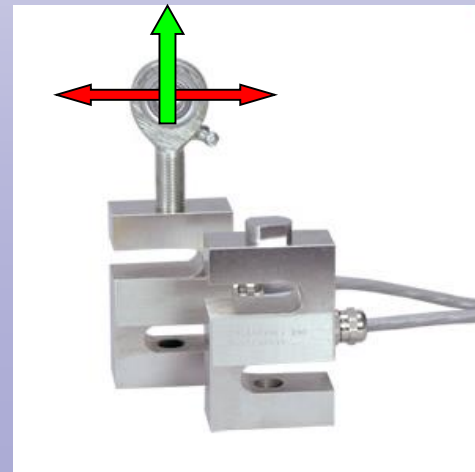
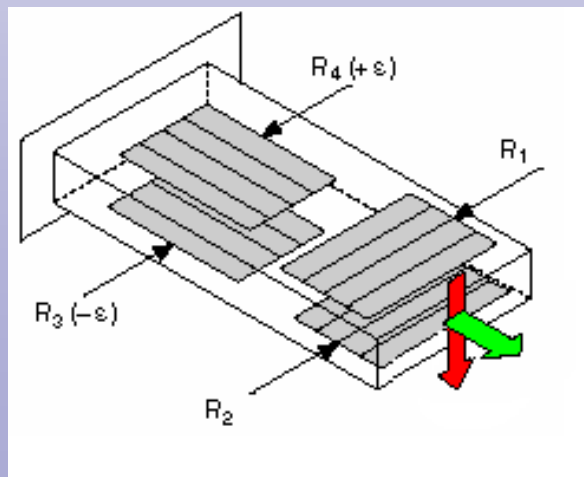
#### ▪ Zásady montáže

##### • použitý snímač snižuje tuhost celku

- deformace měrného tělíska

##### • citlivost na boční síly nebo ohybový moment

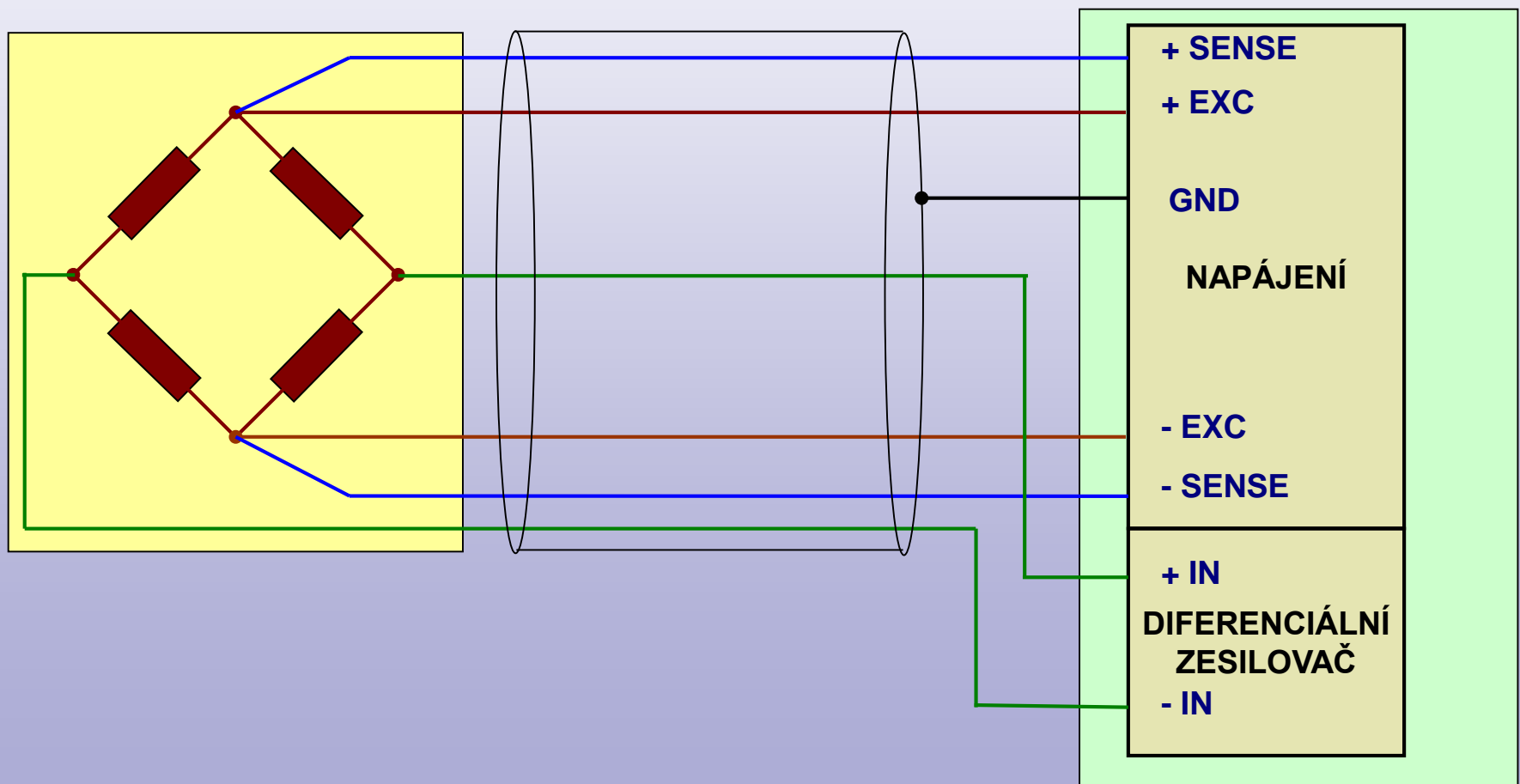
- záleží na mechanickém provedení snímače
- existují typy odolné proti boční síle a ohybovému momentu
- použitím nevhodného snímače může boční síla nebo ohybový moment
  - **zkreslit měřenou hodnotu**
  - **zničit snímač (nečekané přetížení snímače)**
- u takových snímačů je nutné vyloučit ohybové momenty a boční síly
  - klouby, kulové plochy, ....



### 9.1.1. SNÍMAČE SÍLY založené na deformaci

#### ▪ Zásady připojení

- většinou šestivodičové zapojení snímače
  - kompenzace úbytku na vedení – vstupy SENSE



### 9.1.1. SNÍMAČE SÍLY založené na deformaci

#### ■ Základní charakteristika:

- tah i tlak – záleží jen na mechanickém uspořádání snímače
- široká škála rozsahů cca 10N až jednotky MN
- přesnost až 0,03
- statické i cyklické zatížení
- lze i víceosé provedení

#### ■ Výhody:

- tahové i tlakové síly
- měří statickou hodnotu síly
- široký výběr typů, rozsahů, kotvení
- velké množství výrobců a dodavatelů

#### ■ Nevýhody:

- malá přetížitelnost
- citlivost na boční síly
- použitý siloměr snižuje tuhost celku

detaily např. na [www.hbm.cz](http://www.hbm.cz)

[www.omegaeng.cz](http://www.omegaeng.cz)

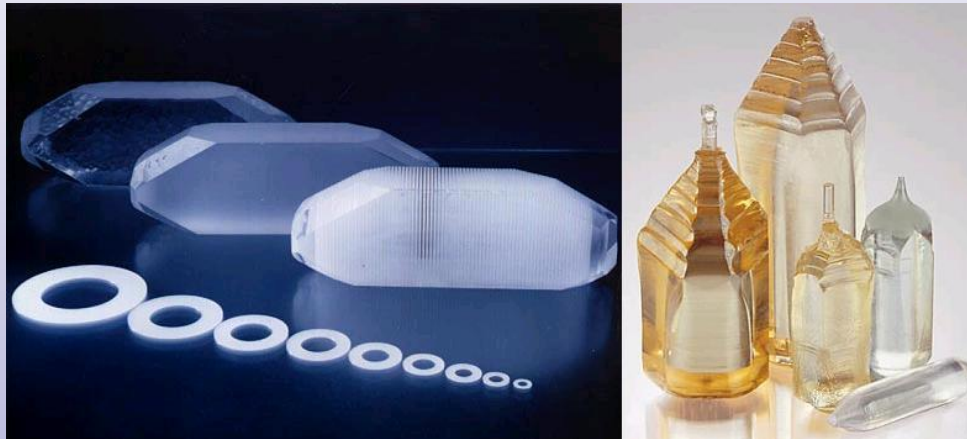
[www.gtm.cz](http://www.gtm.cz)



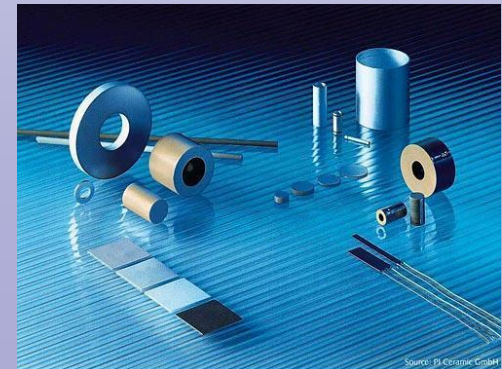
### 9.1.2. SNÍMAČE SÍLY založené na piezoelektrickém jevu

#### ▪ Princip činnosti

- piezoelektrický jev (z řeckého piezein – tlačit) je schopnost krystalu generovat elektrické napětí při jeho deformování
- může se vyskytovat pouze u krystalů, které nemají střed symetrie
- nejznámější piezoelektrickou látkou je monokrystalický křemen



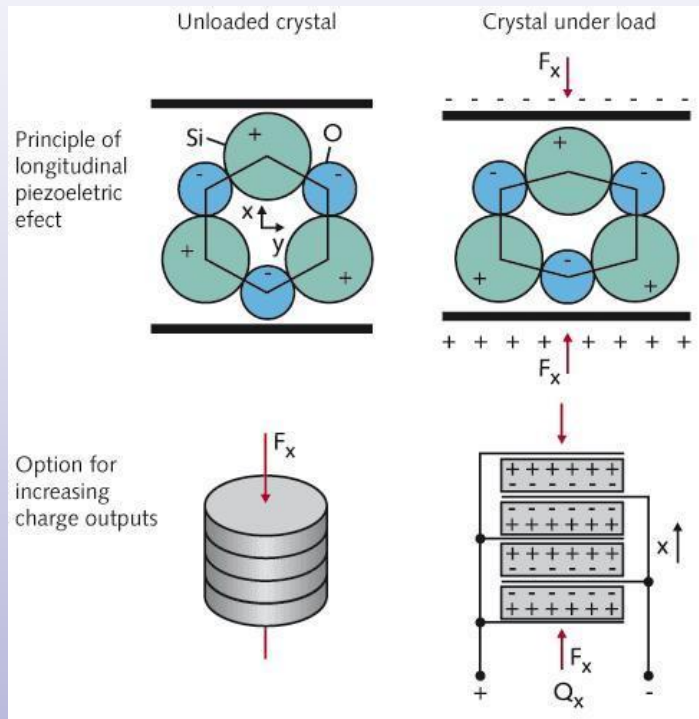
- výřez z krystalu je velmi drahý
- místo monokrystalu lze použít piezokeramiku
  - tlakem a plnivem spojené drobné krystalky křemíku
  - různé tvary
  - mnohem levnější řešení než výbrus z velkého krystalu
- v současné době nejpoužívanější řešení





### 9.1.2. SNÍMAČE SÍLY založené na piezoelektrickém jevu

#### Princip činnosti



- křemík má kladný náboj
- kyslík má záporný náboj
- výsledné elektrické pole závisí na množství nábojů a jejich poloze

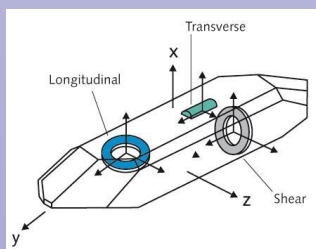
#### nezatížený krystal

- nahoře jeden křemík blíže a dva kyslíky dále od povrchu
- dole obráceně
- různý počet je vyvážen vzdáleností, výsledný náboj je 0

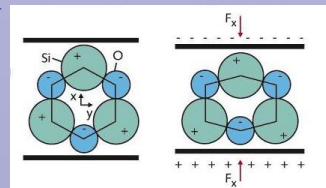
#### po zatížení

- krystalová mřížka je deformována
- vzdálenosti se změň, nahoře převáží kyslíky a dole křemíky
- horní povrch má záporný a dolní kladný náboj

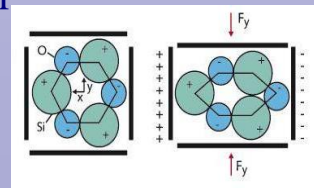
- měrné tělísko se dá z krystalu vyříznout třemi způsoby pro různou deformaci



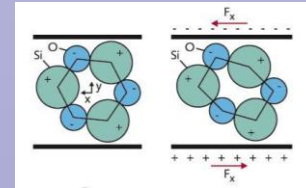
#### podélná deformace



#### příčná deformace

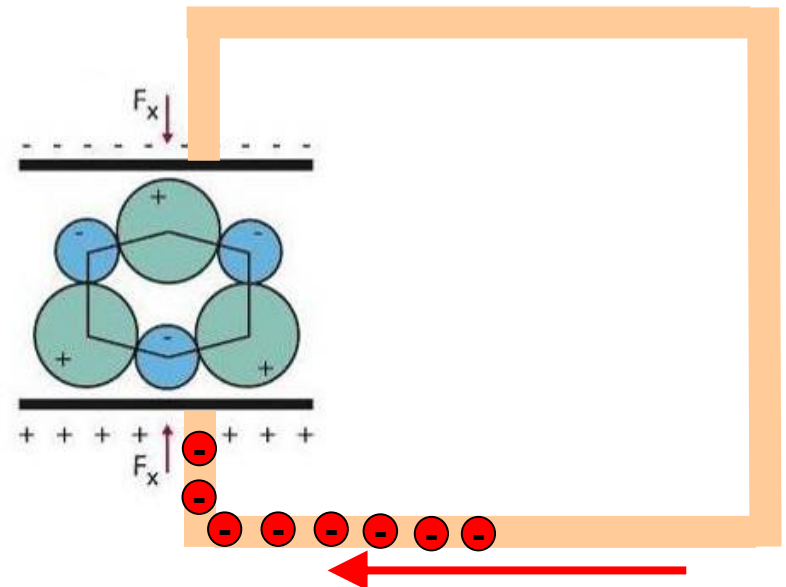
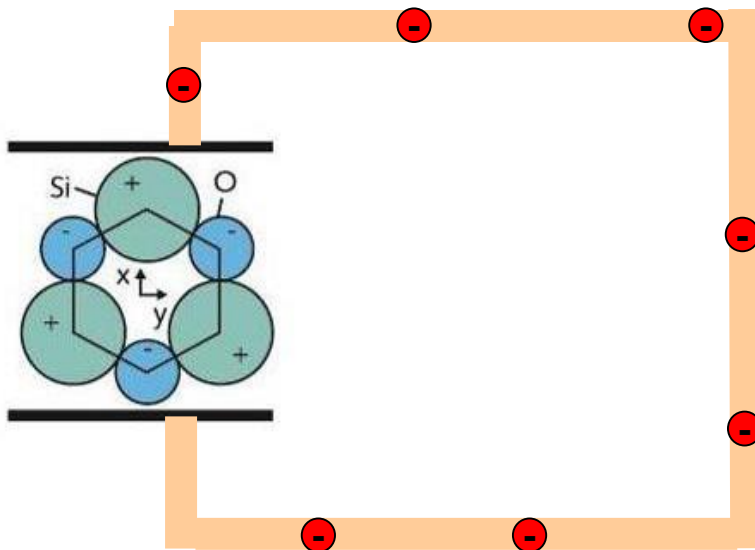


#### střižná deformace



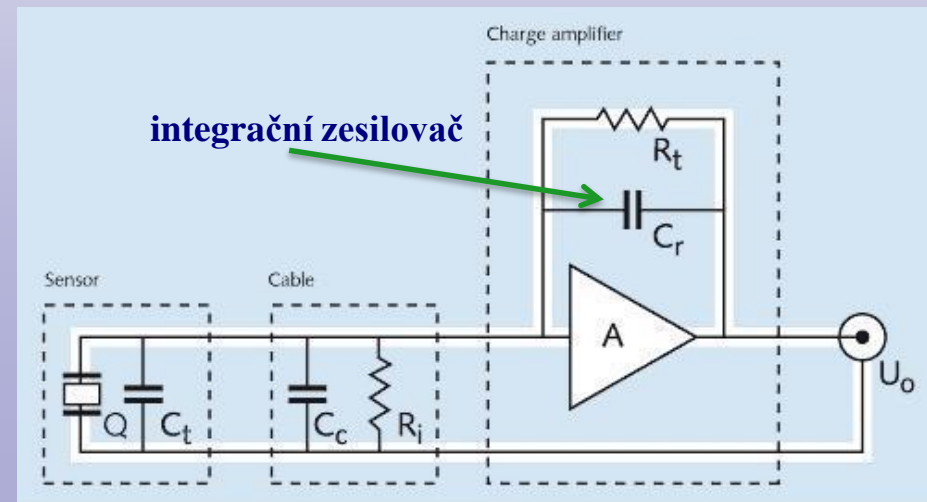
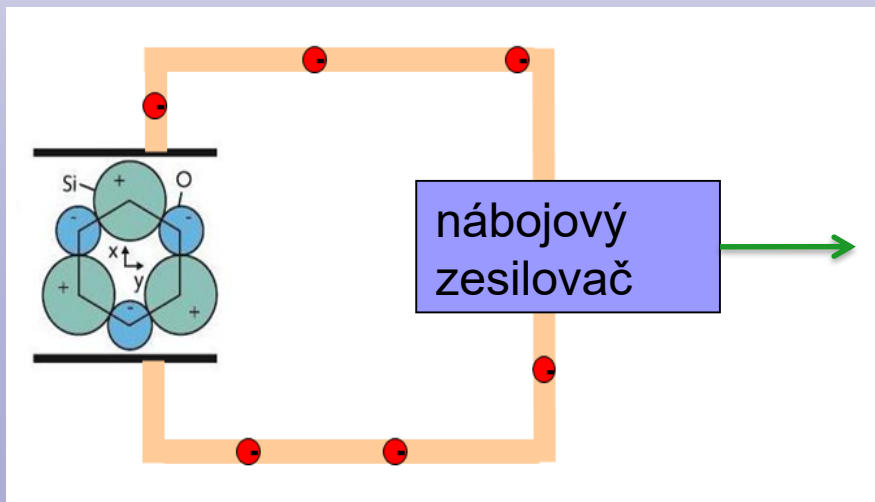
### 9.1.2. SNÍMAČE SÍLY založené na piezoelektrickém jevu

- **Princip vyhodnocení elektrické nerovnováhy na krystalu**
  - plochy krystalu propojíme vodičem
  - při zatížení se na ploše krystalu objeví elektrický náboj, který „přitahuje“ volné elektrony ve vodiči
  - pohyb elektronů vodičem = elektrický proud
  - po vyrovnání náboje pohyb elektronů ustane, tj. proud protéká jen při změně náboje – změně zatížení
  - **snímač reaguje jen na změny zatížení, neměří statické zatížení !**
  - **snímač měří od klidové polohy jen tlakové zatížení !** (krystal nelze natahovat)



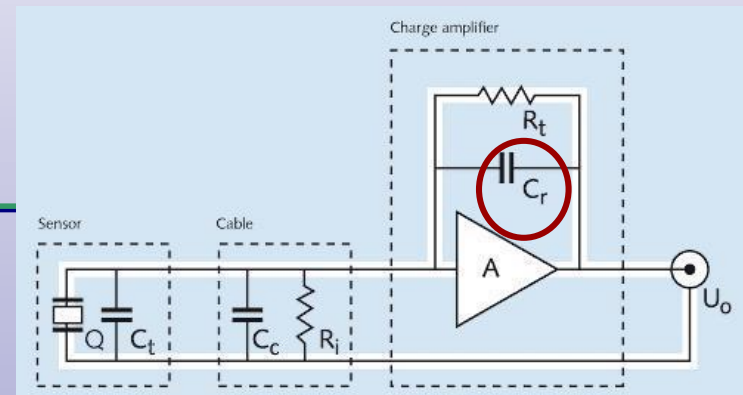
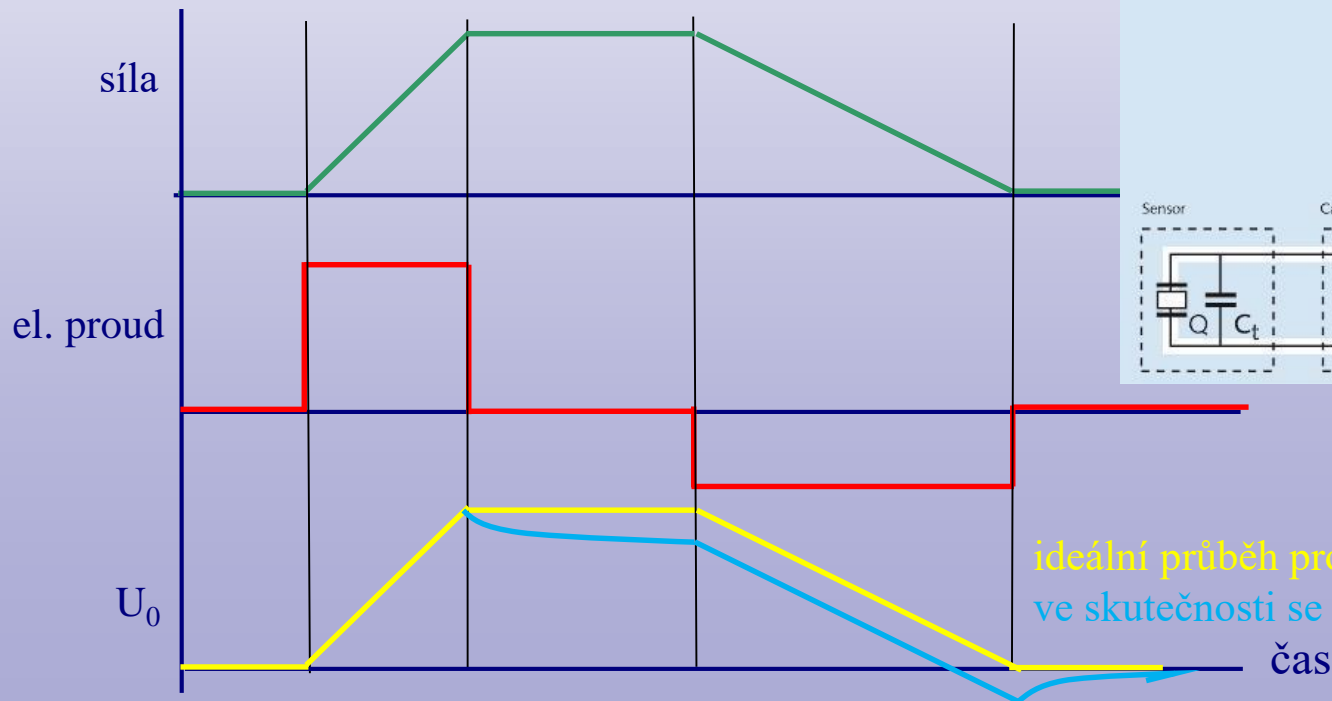
### 9.1.2. SNÍMAČE SÍLY založené na piezoelektrickém jevu

- **Princip vyhodnocení elektrické nerovnováhy na krystalu**
  - pro vyhodnocení pohybu elektronů se používá takzvaný **NÁBOJOVÝ ZESILOVAČ**
  - je to v podstatě integrační zesilovač, který integruje vstupní elektrický proud
  - může měřit i velmi malý elektrický proud
  - zesilovač je citlivý na kapacitu na vstupu
    - vliv propojovacího kabelu
    - nutnost použít speciální kabel (většinou součástí snímače)
    - velmi omezená délka kabelu – standardně cca 3 metry
    - nejlépe použít vše (snímač, kabel, zesilovač) od jednoho výrobce



### 9.1.2. SNÍMAČE SÍLY založené na piezoelektrickém jevu

- Princip vyhodnocení elektrické nerovnováhy na krystalu
  - klasický analogový integrační zesilovač
    - nedokonalá integrace vlivem reálných vlastností integračního kondenzátoru
    - pokles hodnoty v čase i při konstantní síle
    - vhodné jen pro dynamické měření ne pro dlouhodobé konstantní zatížení



ideální průběh pro ideální C<sub>r</sub>  
ve skutečnosti se projeví reálné vlastnosti C<sub>r</sub>

### 9.1.2. SNÍMAČE SÍLY založené na piezoelektrickém jevu

#### ▪ Praktické provedení

- měřicí kroužek jen pro tlakové síly
  - minimální rozměry i pro velké síly
  - velká tuhost
  - velká přetížitelnost
- předepnutá sestava pro tlakové i tahové síly
  - krystal je v „nulové“ poloze snímače mechanicky předepnut (stlačen)
  - při tahové síle se uvolňuje předepnutí
  - snižuje se tuhost celku – podobná jako u tenzometrických

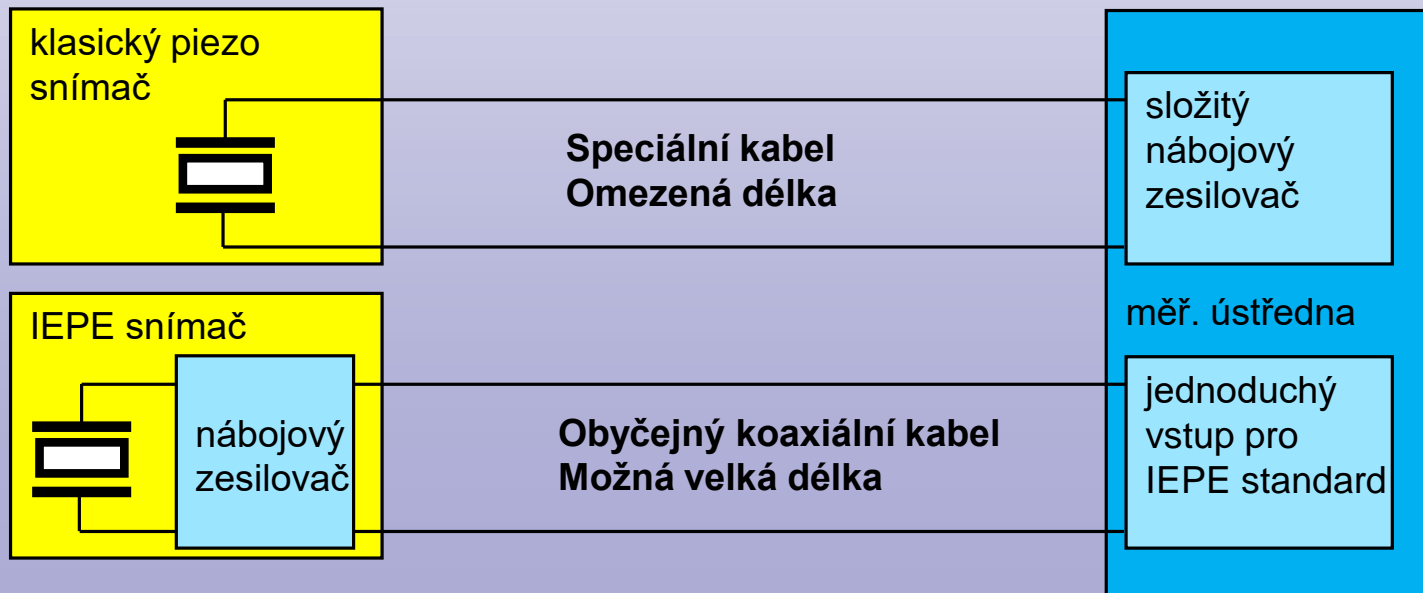


### 9.1.2. SNÍMAČE SÍLY založené na piezoelektrickém jevu

#### ▪ Praktické provedení – moderní řešení

##### • IEPE provedení

- Integrated Electronics Piezo-Electric
- v tělese snímače je spolu s piezo snímačem vestavěná elektronika
- odstraňuje náročnou kabeláž mezi piezo snímačem a zesilovačem
- normovaný standard připojení IEPE
  - dvou vodičové připojení snímače klasickým koaxiálním kabelem
  - možná velká délka kabelu (desítky až nižší stovky metrů)
  - napájení konstantním proudem, vyhodnocuje se změna napětí



### 9.1.2. SNÍMAČE SÍLY založené na piezoelektrickém jevu

#### ▪ **Základní charakteristika:**

details na [www.kistler.cz](http://www.kistler.cz)

[www.hbm.cz](http://www.hbm.cz)

- z principu jen tlak (tah jen speciální „předepnuté“ snímače)
- široká škála rozsahů (jednotky až stovky kN)
- přesnost až 0,1%
- miniaturní rozměry snímače
- lze i víceosé provedení
- klasický snímač i IEPE provedení

#### ▪ **Výhody:**

- malé rozměry snímače i pro velké síly
- velká tuhost
- velká přetížitelnost
- změnou rozsahu zesilovače lze měřit i malé síly vůči rozsahu snímače

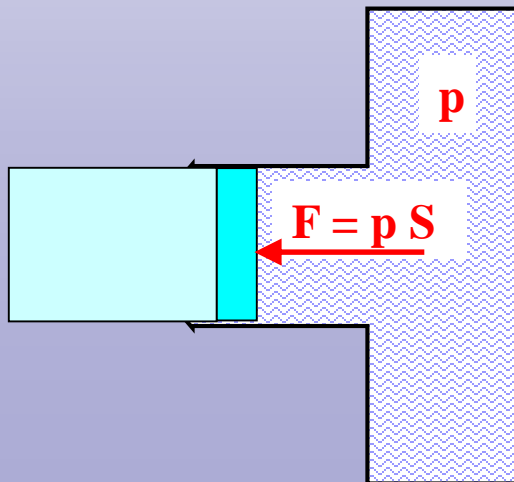
#### ▪ **Nevýhody:**

- pro tah jen speciální provedení snímače
- obtížné využití pro statické zatížení
- klasické snímače
  - nutná speciální kabeláž a nábojový zesilovač pro připojení

### 9.2. SNÍMAČE TLAKU

#### ▪ Princip činnosti

- tlak se převádí na sílu – měření tlaku má shodný princip jako měření síly
- tenzometrický princip měření
  - deformace měrného tělíska
  - měří statický tlak
- piezoelektrický jev
  - klasický piezo snímač nebo IEPE provedení
  - obtížné měření statického tlaku





### 9.2. SNÍMAČE TLAKU

#### ▪ Praktické provedení a základní charakteristika

- samostatný snímač
  - tenzometrický můstek
  - piezo snímač
- vestavěná elektronika
  - zesilovač pro můstek, unifikovaný výstup ve volitelném formátu
  - IEPE standard pro piezo
- kompaktní provedení
- různá připojovací šroubení
- odolnost proti působení měřeného média
- široká škála rozsahů

detaily např. na [www.kistler.cz](http://www.kistler.cz)

[www.omegaeng.cz](http://www.omegaeng.cz)

[www.hbm.cz](http://www.hbm.cz)

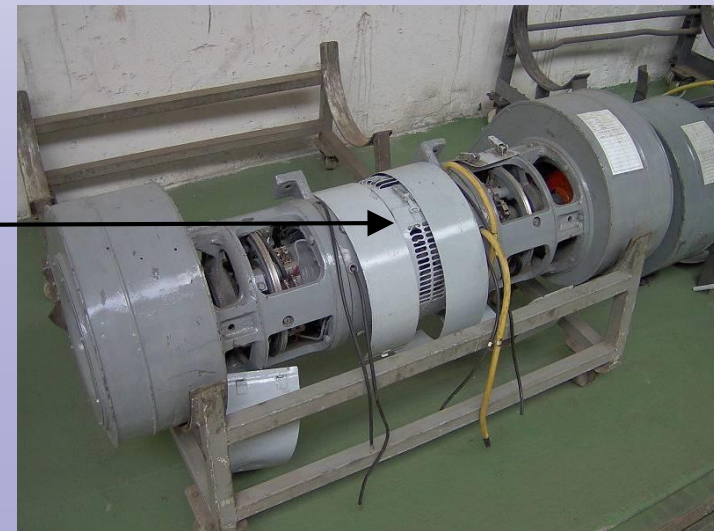
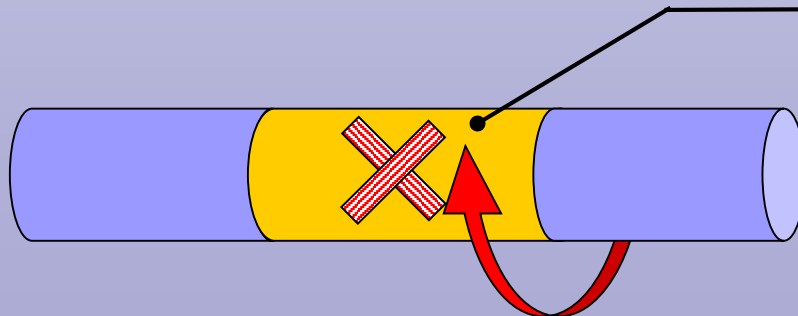


- **výhody** a **nevýhody** podle principu měření shodné se snímači síly

### 9.3. SNÍMAČE KROUTÍCÍHO MOMENTU

#### ▪ Princip činnosti

- moment se převádí na deformaci (krut) měrné tyče (hřídele)
- tenzometrický princip měření
  - měření torzní deformace tenzometry
  - měří statický moment
- piezoelektrický jev
  - klasický piezo snímač nebo IEPE provedení
  - obtížné měření statického momentu
- pro nerotující hřídel
  - utahovací moment apod.
  - jednoduché připojení vyvedeným kabelem
- pro rotující hřídel
  - nutné vyřešit vyvedení signálu a napájení

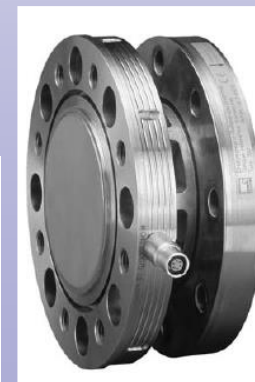


### 9.3. SNÍMAČE KROUTÍCÍHO MOMENTU

#### ▪ Praktické provedení a základní charakteristika pro nerotační provedení

details např. na [www.kistler.cz](http://www.kistler.cz)  
[www.hbm.cz](http://www.hbm.cz)

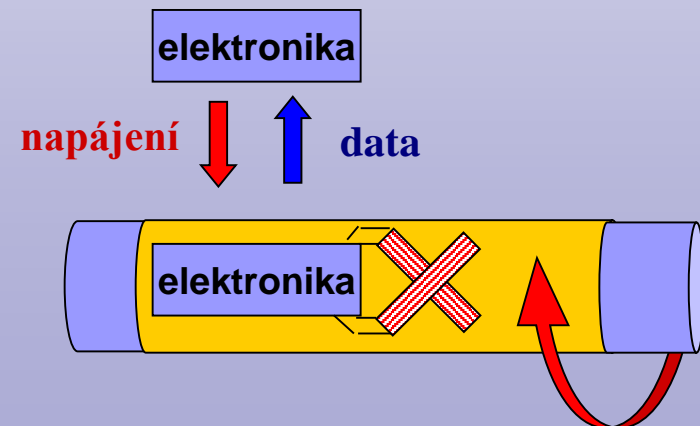
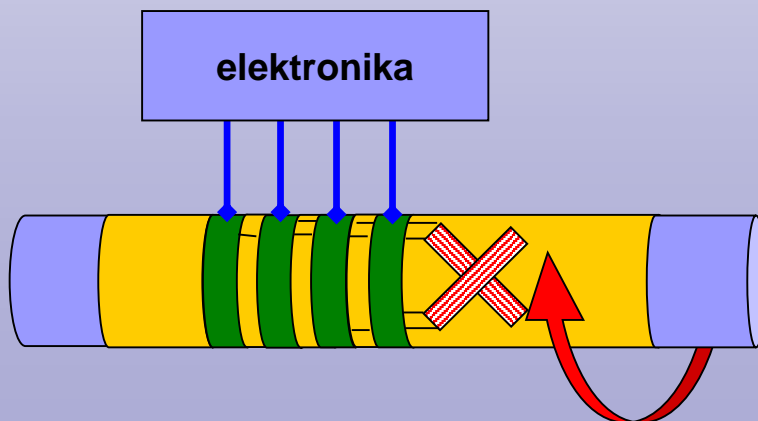
- samostatný snímač
  - tenzometrický můstek
  - piezo snímač (krystal deformovaný stříhem – krutem)
- vestavěná elektronika
  - zesilovač pro můstek, unifikovaný výstup ve volitelném formátu
  - IEPE standard pro piezo
- signál i napájení vyvedeny kabelem
- kompaktní provedení
  
- různá typy kotvení
  - příruba, čtyřhran,...
- široká škála rozsahů jednotky Nm až jednotky kNm



- **výhody** a **nevýhody** podle principu měření shodné se snímači síly

### 9.3. SNÍMAČE KROUTÍCÍHO MOMENTU

- **Princip činnosti pro rotační provedení**
  - vyvedení signálů i napájení přes sběrné kroužky – starší systém
    - jen tenzometrické měření krutu
  - bezkontaktní přenos
    - tenzometrické i piezoelektrické měření krutu
    - elektronika na nerotující části
    - elektronika na rotující části
    - napájení i přenos signálu bezkontaktně nejčastěji indukční vazbou



### 9.3. SNÍMAČE KROUTÍCÍHO MOMENTU

- **Praktické provedení a základní charakteristika pro rotační provedení**
  - vyvedení signálů i napájení přes sběrné kroužky details např. na [www.hbm.cz](http://www.hbm.cz)
    - otáčky do 4000 ot/min
    - široká škála rozsahů - jednotky Nm až jednotky kNm
    - různé typy kotvení - přírubové, čtyřhran, ...



### 9.3. SNÍMAČE KROUTÍCÍHO MOMENTU

#### ▪ Praktické provedení a základní charakteristika pro rotační provedení

- bezkontaktní přenos

detaily např. na [www.kistler.cz](http://www.kistler.cz)

[www.hbm.cz](http://www.hbm.cz)

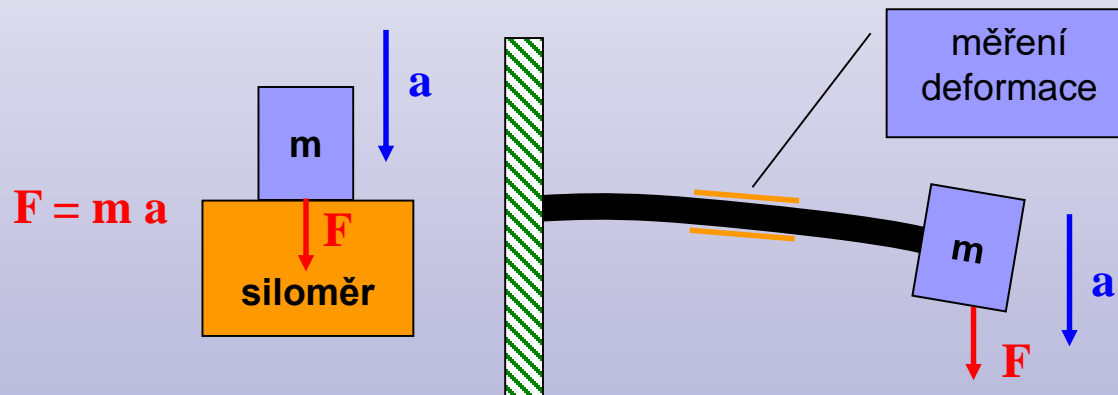
- otáčky až 24000 ot/min
- často i výstup otáček – n impulsů na otáčku
- kompaktní provedení
- oddělená nerotující a rotující část
  - nutno samostatně ukotvit obě části
  - nutno dodržet předepsané vzdálenosti mezi rotující a nerotující částí
- široká škála rozsahů - jednotky Nm až jednotky kNm
- různé typy kotvení - přírubové, čtyřhran, ...



## 9.4. SNÍMAČE ZRYCHLENÍ

### ▪ Princip činnosti

- zrychlení se převádí na sílu nebo deformaci vyvolanou pohybem hmoty
- měření
  - klasické tenzometry
  - polovodičové tenzometry – jednočipové akcelerometry
  - piezoelektrický jev



### 9.4. SNÍMAČE ZRYCHLENÍ

#### ▪ Tenzometrické akcelerometry

- plný tenzometrický most
- rozsah zrychlení jednotky G až cca 2000G
- frekvenční rozsah **0 Hz** až cca 4000 Hz – **měří statické zrychlení** (gravitaci)

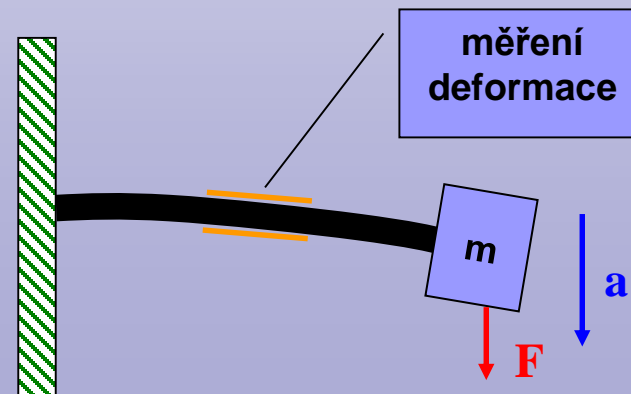
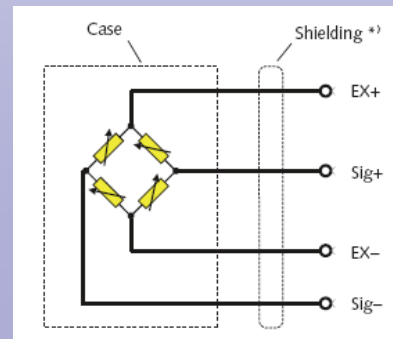
details např. na [www.kistler.cz](http://www.kistler.cz)

#### ▪ **Výhody:**

- měří statické zrychlení
- odolný proti přetížení – mechanické dorazy pohyblivé hmoty

#### ▪ **Nevýhoda:**

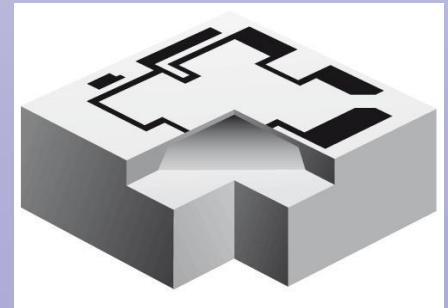
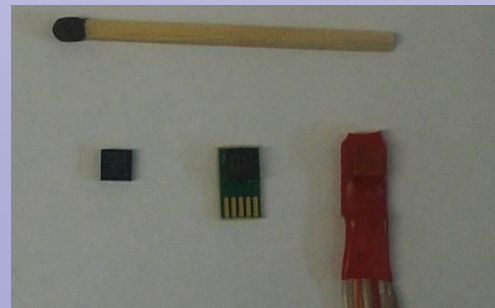
- velké rozměry





### 9.4. SNÍMAČE ZRYCHLENÍ

- **Jednočipové (i-MEMS) akcelerometry** detaily např. na [www.analog.com](http://www.analog.com)
  - pružný člen, kmitající hmota, polovodičové tenzometry a zesilovač umístěny na jednom čipu
  - vše vyrobeno technologií výroby integrovaných obvodů
  - rozsah zrychlení jednotky G až cca 70G
  - frekvenční rozsah **0 Hz** až cca 1500 Hz (pro větší G méně) – **měří statické zrychlení**
  - jedno až tříosé provedení
  - provedení
    - samostatný čip k vlastní instalaci
    - kompletní snímač
  
- **Výhody:**
  - **miniaturní rozměry**
  - **vestavěná elektronika** – unifikovaný výstup ve volitelném formátu
  - **minimální cena**
  
- **Nevýhoda:**
  - **nízké maximální zrychlení**
  - **nízká maximální frekvence**



### 9.4. SNÍMAČE ZRYCHLENÍ

#### ▪ Piezoelektrické akcelerometry

- rozsah zrychlení jednotky G až cca 50000 G
- frekvenční rozsah cca od **1 Hz** až desetitisíce Hz – **neměří staticky**
- jedno až tříosé
- klasický snímač i IEPE provedení

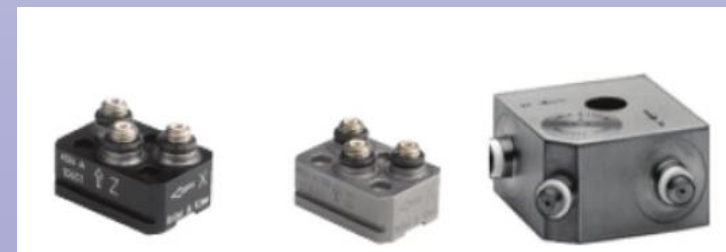
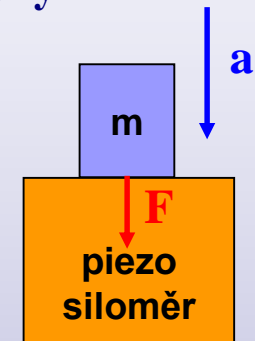
#### ▪ Výhody:

- malé rozměry i hmotnost
- vysoké hodnoty zrychlení, nejvyšší frekvenční rozsah
- velká přetížitelnost

#### ▪ Nevýhoda:

- neměří statické zrychlení (gravitaci)
- u klasických
  - nutná speciální kabeláž omezené délky
  - nábojový zesilovač

details např. na [www.kistler.cz](http://www.kistler.cz)  
[www.spectris.cz](http://www.spectris.cz)



### KONTROLNÍ OTÁZKY

- tenzometrické siloměry
  - princip funkce (str. 3)
  - praktické provedení, charakteristika, výhody, nevýhody (str. 7)
- piezoelektrické siloměry
  - princip funkce (str. 9)
  - princip vyhodnocení elektrické nerovnováhy na krystalu (str. 10, 11, 12)
  - IEPE princip (str. 13)
  - praktické provedení, charakteristika, výhody, nevýhody (str. 14, 15, 16)
- snímače tlaku
  - princip funkce (str.17)
  - praktické provedení, charakteristika, výhody, nevýhody (str. 18)
- snímače kroutícího momentu
  - princip funkce (str. 19)
  - nerotační - praktické provedení, charakteristika, výhody, nevýhody (str. 20)
  - rotační - praktické provedení, charakteristika, výhody, nevýhody (str. 21, 22, 23)
- snímače zrychlení
  - princip funkce (str. 24)
  - tenzometrické akcelerometry (str. 25)
  - jednočipové akcelerometry (str. 26)
  - piezoelektrické akcelerometry (str. 27)

