Principles of Mechatronic Systems
مبانی سیستم های مکاترونیکی (جلسه نوزدهم)

By: Reza Tikani
Mechanical Engineering Department
Isfahan University of Technology

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

Variable Capacitance Transducers

❖ در یک خازن با دو صفحه موازی ظرفیت برابر است با:

$$C = \frac{kA}{x}$$

A – Overlapping Area

x – Gap width

k – Dielectric constant

$k = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ $\quad \varepsilon_0$ – Permitivity of vacuum $\quad \varepsilon_r$ – Relative permitivity

❖ تغییر در هر یک از این متغیرها می تواند برای حس کردن حرکت مورد استفاده قرار گیرد.

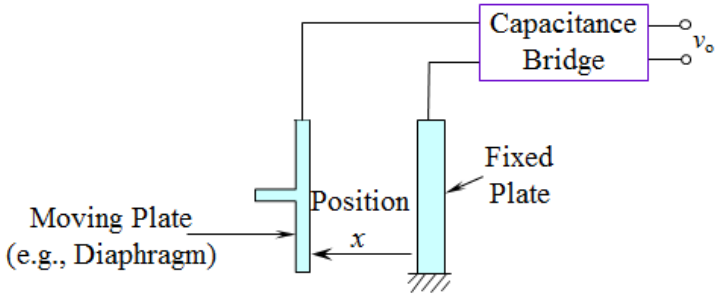
سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

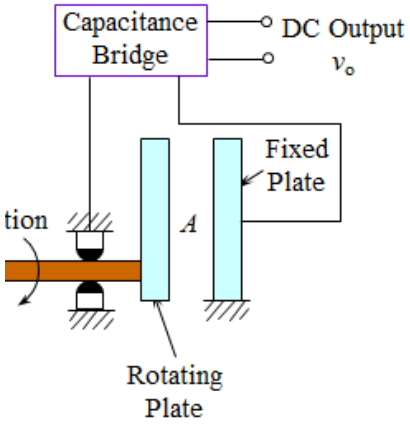
حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

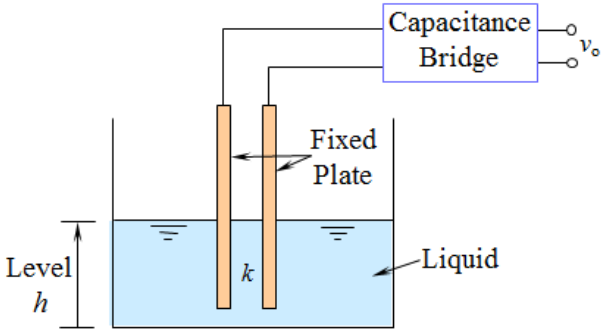
Variable Capacitance Transducers

کاربردها:

- ❖ جابجایی عرضی
- ❖ دوران
- ❖ سطح مایع







سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

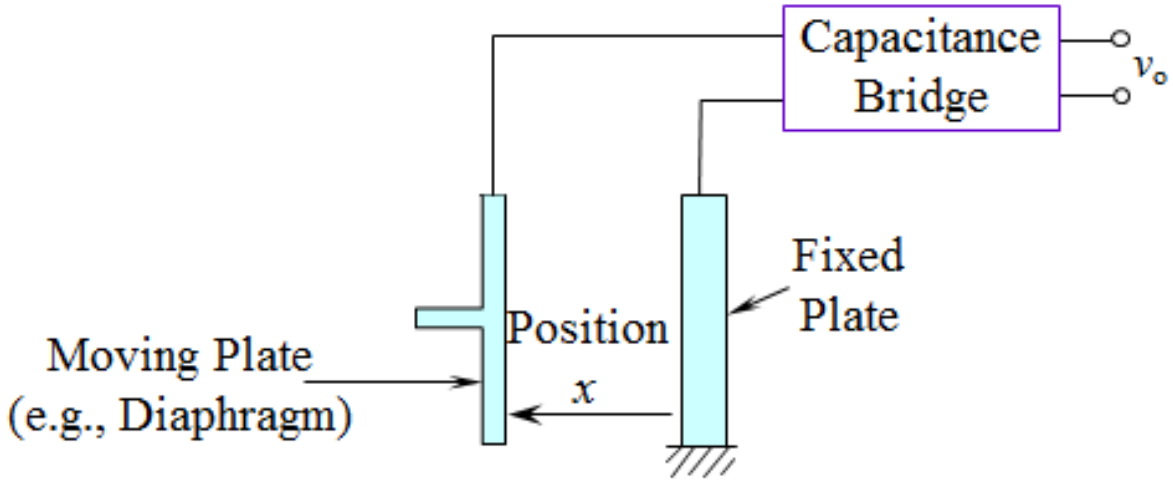
حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

Variable Capacitance Transducers

$$C = \frac{K}{x} \qquad S = \frac{\partial C}{\partial x} = -\frac{K}{x^2}$$

رابطه ظرفیت بر حسب جابجایی غیر خطی است.

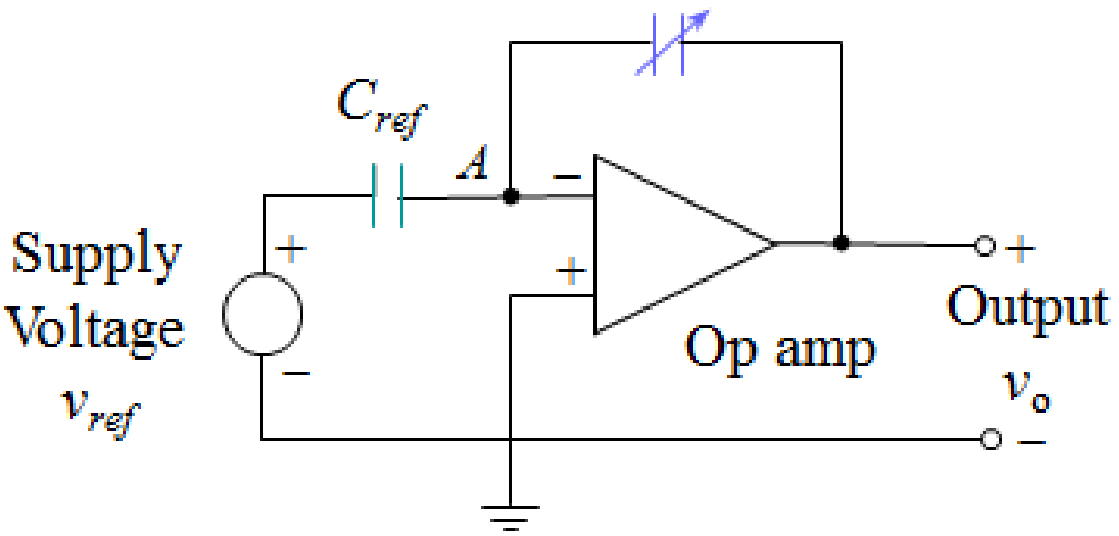
با افزایش فاصله دو صفحه حساسیت حسگر به شدت کاهش می یابد و فقط برای مقادیر کوچک قابل استفاده است.



سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

با استفاده از یک تقویت کننده عملیاتی به صورت روبرو به رابطه خطی زیر می رسیم:



$$C = \frac{K}{x}$$

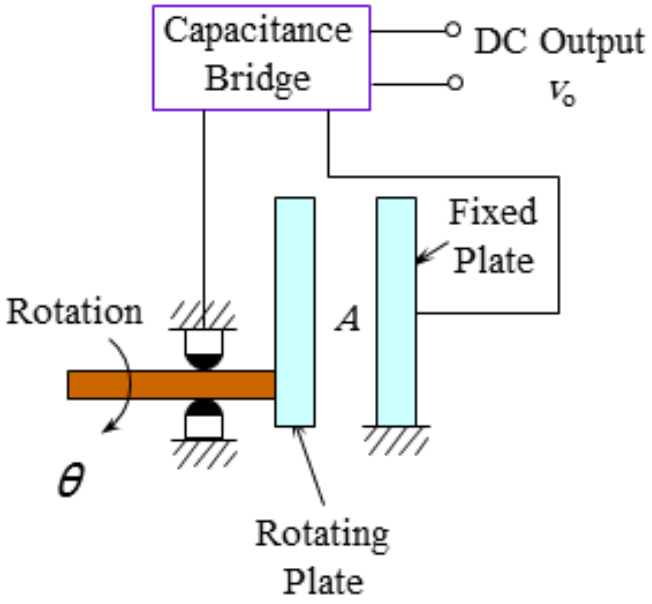
$$v_o = \frac{v_{ref} C_{ref}}{K} x$$

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

Variable Capacitance Transducers

❖ دوران



$$C = K\theta$$

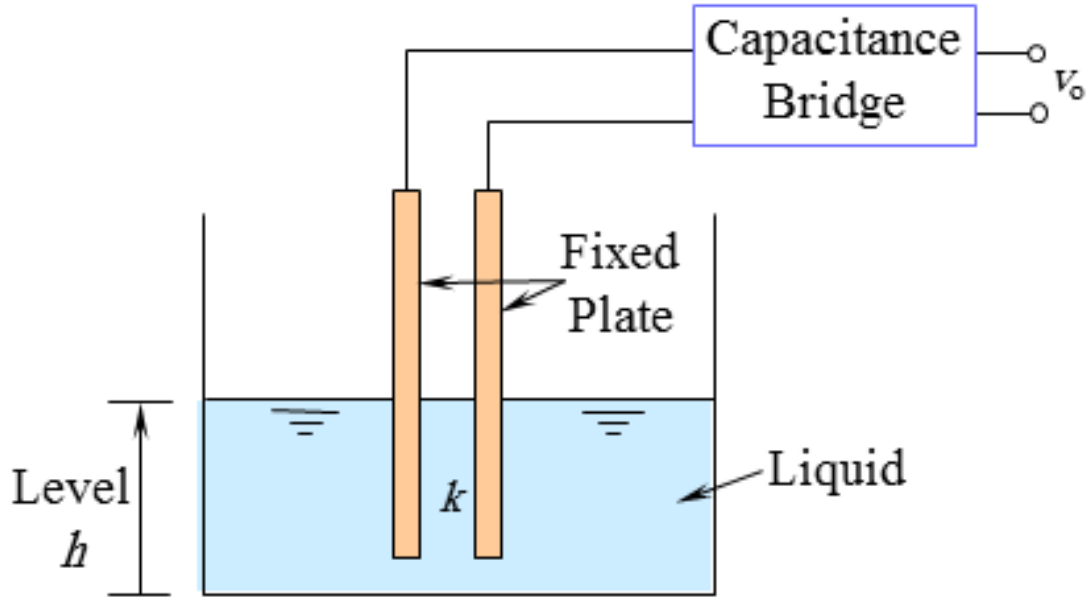
$$S = \frac{\partial C}{\partial \theta} = K$$

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

Variable Capacitance Transducers

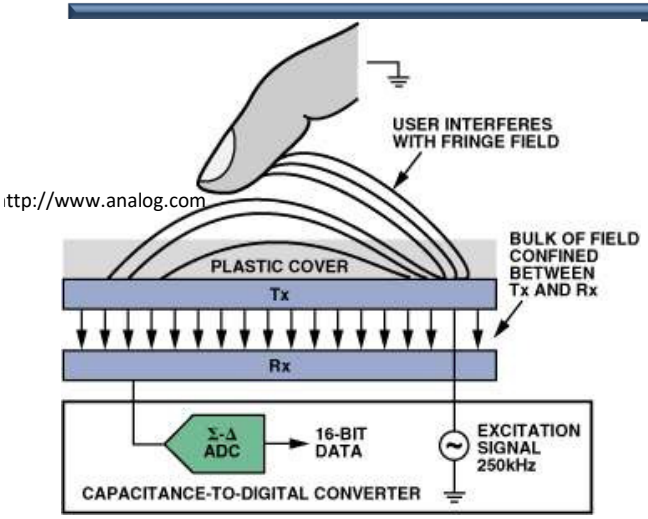
❖ سطح مایع:



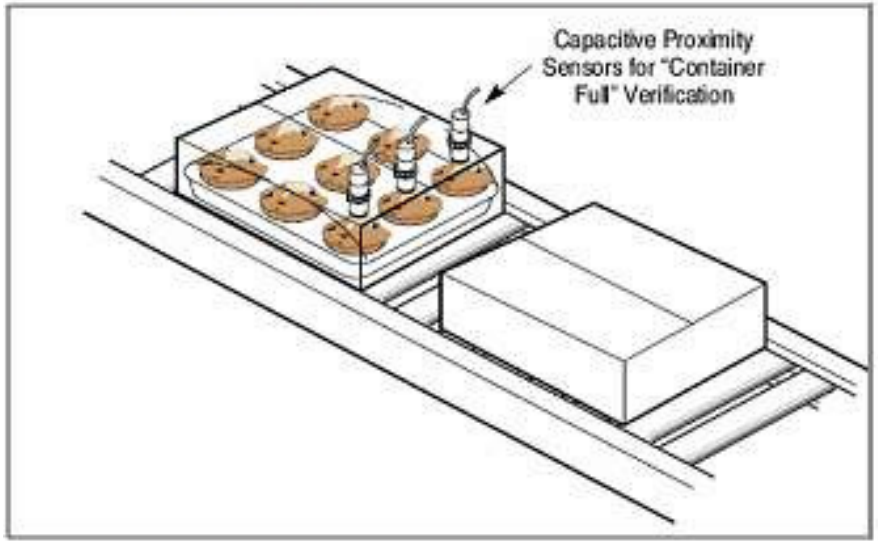
سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

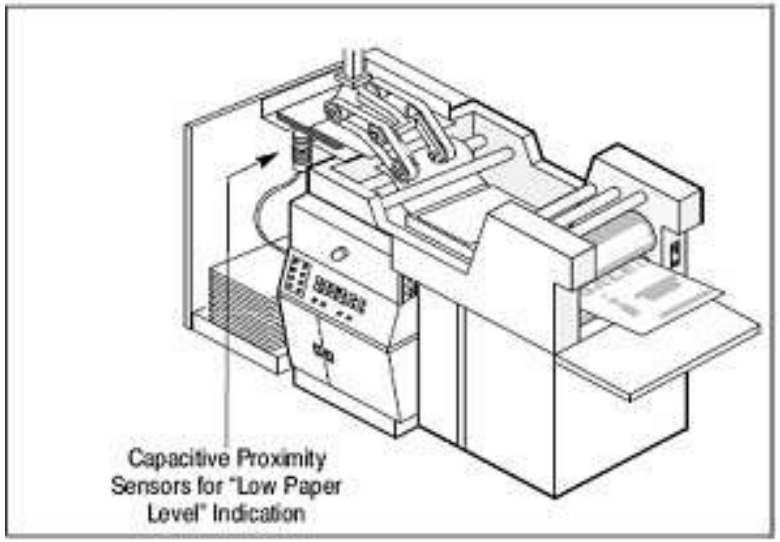
❖ نمونه ای از کاربردها:



Food Processing



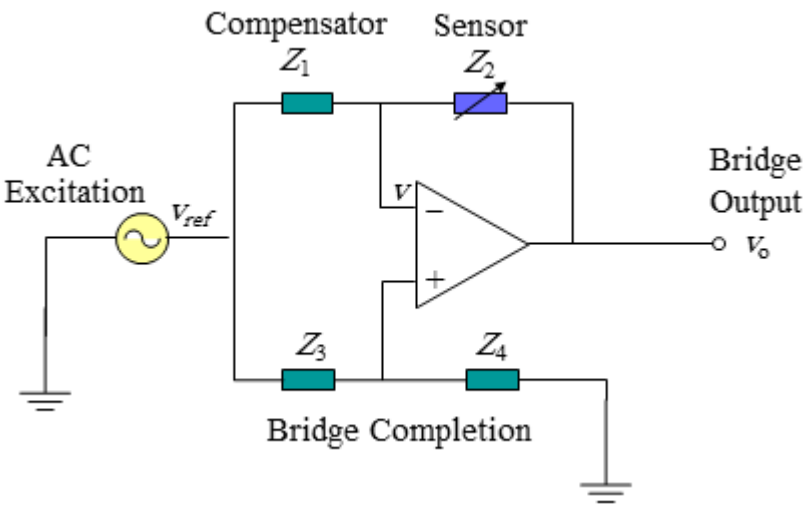
Printing



سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

❖ مدار پل خازن:



$$\frac{v_{ref}-v}{Z_1}+\frac{v_o-v}{Z_2}=0$$

$$\frac{v_{ref}-v}{Z_3}+\frac{0-v}{Z_4}=0$$

$$v_o=\frac{\left(Z_4/Z_3-Z_2/Z_1\right)}{1+Z_4/Z_3}v_{ref}$$

For a balanced circuit

$$\frac{Z_2}{Z_1}=\frac{Z_4}{Z_3}$$

Bridge output due to sensor change

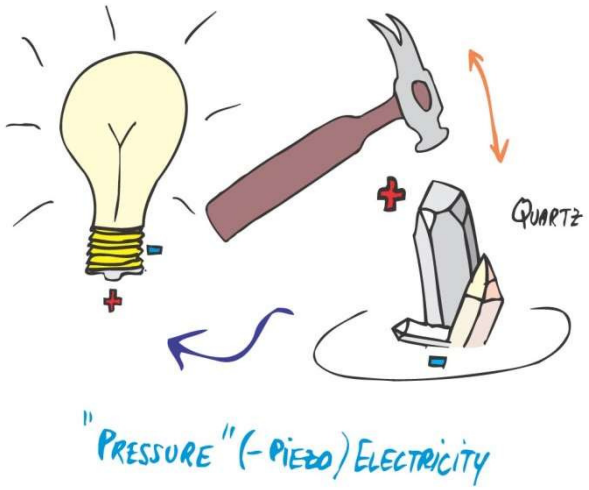
$$\delta v_o=-\frac{v_{ref}}{Z_1\left(1+Z_4/Z_3\right)}\delta Z$$

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

مواد پیزوالکتریک:

بر هم کنش فشار مکانیکی و نیروی الکتریکی را در یک محیط، اثر پیزو الکتریسیته می گویند.

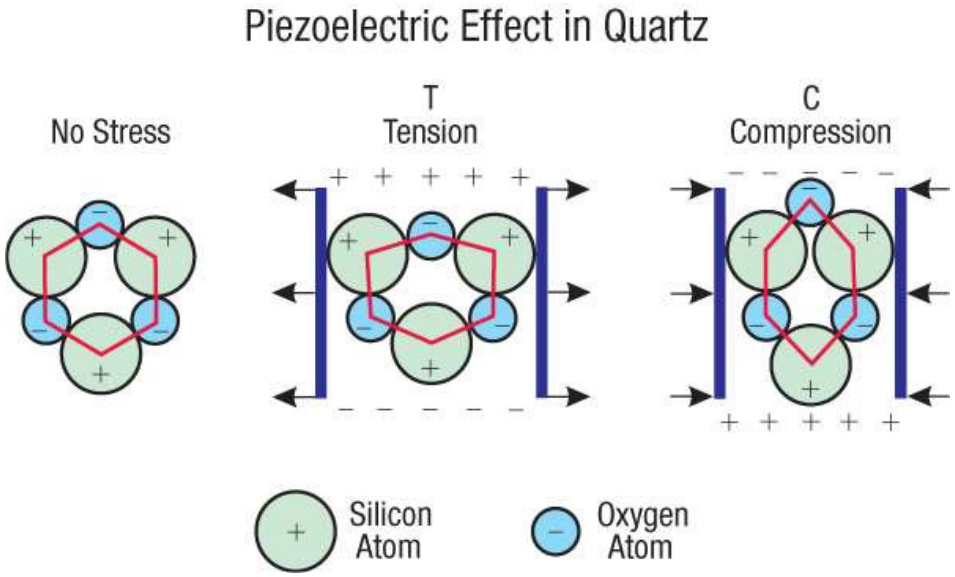
فشردن برخی از بلورها در راستای ویژه ای از بلور، نیروی الکتریکی ایجاد می کند و بر عکس ایجاد اختلاف پتانسیل در دو سوی همین بلور و در همان راستا باعث فشردگی و انبساط آن می گردد. این مواد کریستالهای یونی هستند که وقتی توزیع بار در کریستال تغییر می کند و در نتیجه یک وجه ماده بار مثبت و وجه دیگر آن بار منفی به خود می گیرد.



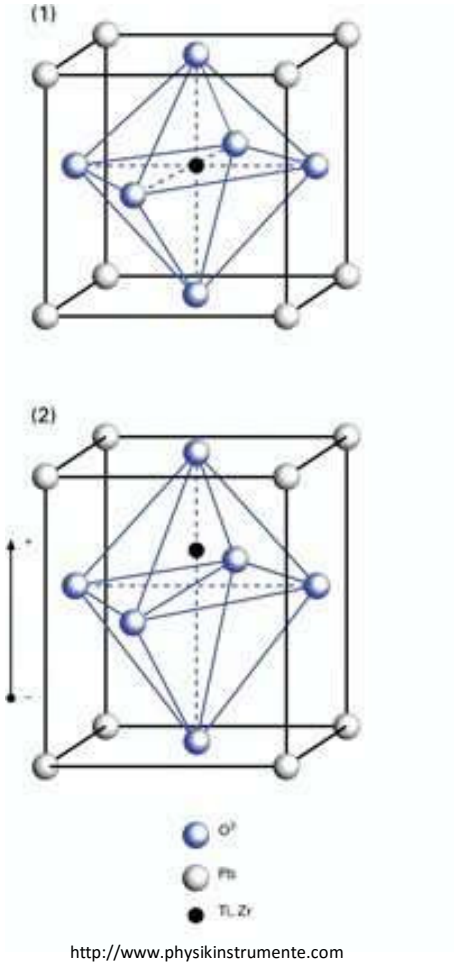
- ✓ $BaTiO_3$ (barium titanate)
- ✓ SiO_2 (quartz in crystalline)
- ✓ lead zirconate titanate (PZT)

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

مواد پیزوالکتریک:



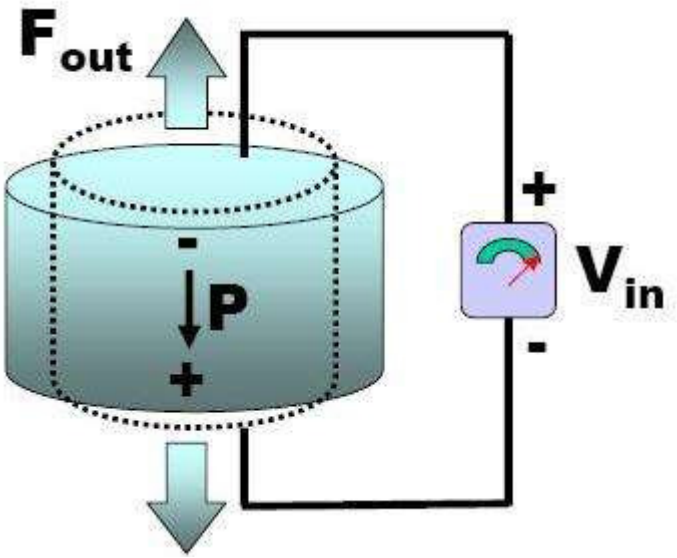
http://www.creationscience.com



http://www.physikinstrumente.com

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

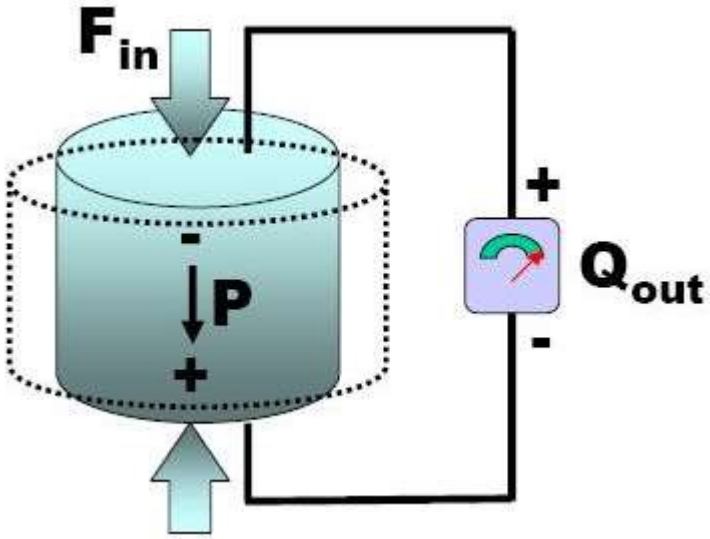
مواد پیزوالکتریک:

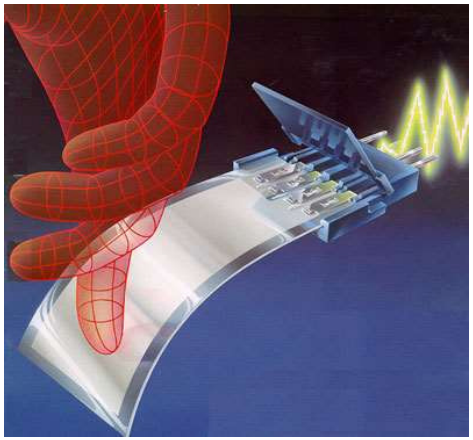


اعمال ولتاژ الکتریکی بر روی جسم پیزوالکتریک باعث تغییر شکل در آن می‌شود. میزان تغییرشکل به میزان ولتاژ اعمالی و جهت میدان الکتریکی بستگی دارد. این اثر معمولاً به کاربرد پیزوالکتریک‌ها به عنوان محرک شناخته می‌شود.

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

مواد پیزوالکتریک:





تنش‌های مکانیکی ناشی از نیروهای خارجی وارد بر جسم پیزوالکتریک باعث ایجاد جابجایی‌های مثبت و منفی در جسم می‌شوند. این جابجایی‌ها باعث بوجود آمدن اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سر الکترود می‌شوند. این اثر معمولاً بیانگر خاصیت حسگر بودن پیزوالکتریک‌هاست.

روابط حاکم بر مواد پیزوالکتریک:

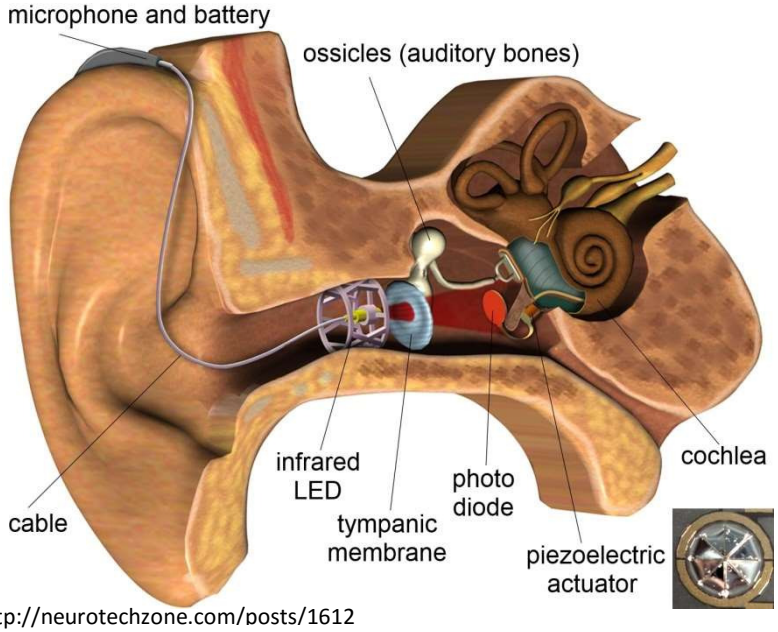
$$\begin{Bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} & 0 & 0 & 0 \\ s_{12} & s_{11} & s_{13} & 0 & 0 & 0 \\ s_{13} & s_{13} & s_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(s_{11}-s_{12}) \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{33} \\ 0 & d_{15} & 0 \\ d_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{31} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} \xi_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \xi_{11} & 0 \\ 0 & 0 & \xi_{33} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \end{Bmatrix}$$

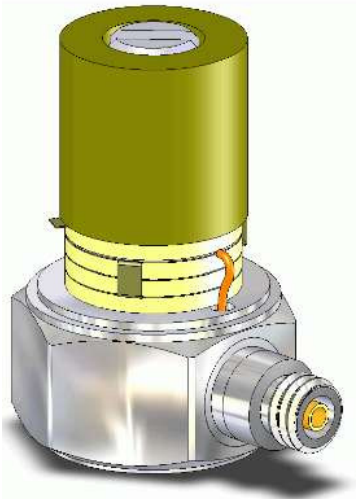
سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

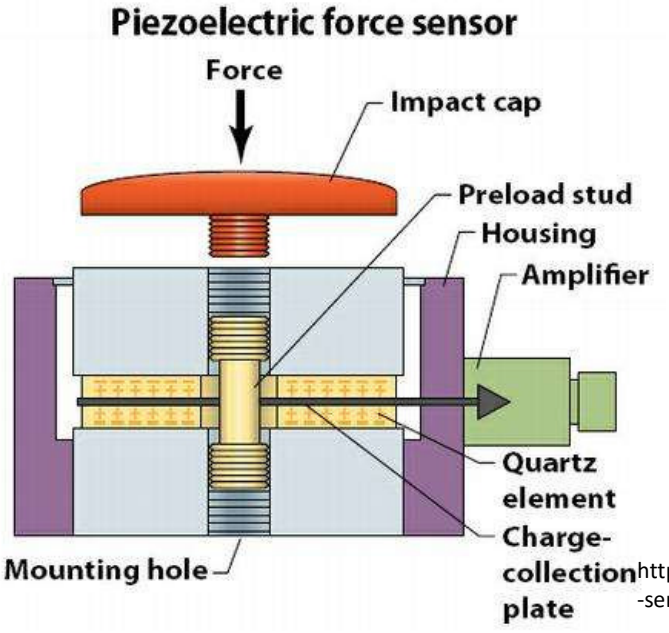
کاربردهای مواد پیزوالکتریک:

- ابزارهای اندازه گیری فشار و کرنش
- صفحات لمسی
- شتاب سنجها
- سنسورهای نیرو و گشتاور
- ...



http://neurotechzone.com/posts/1612



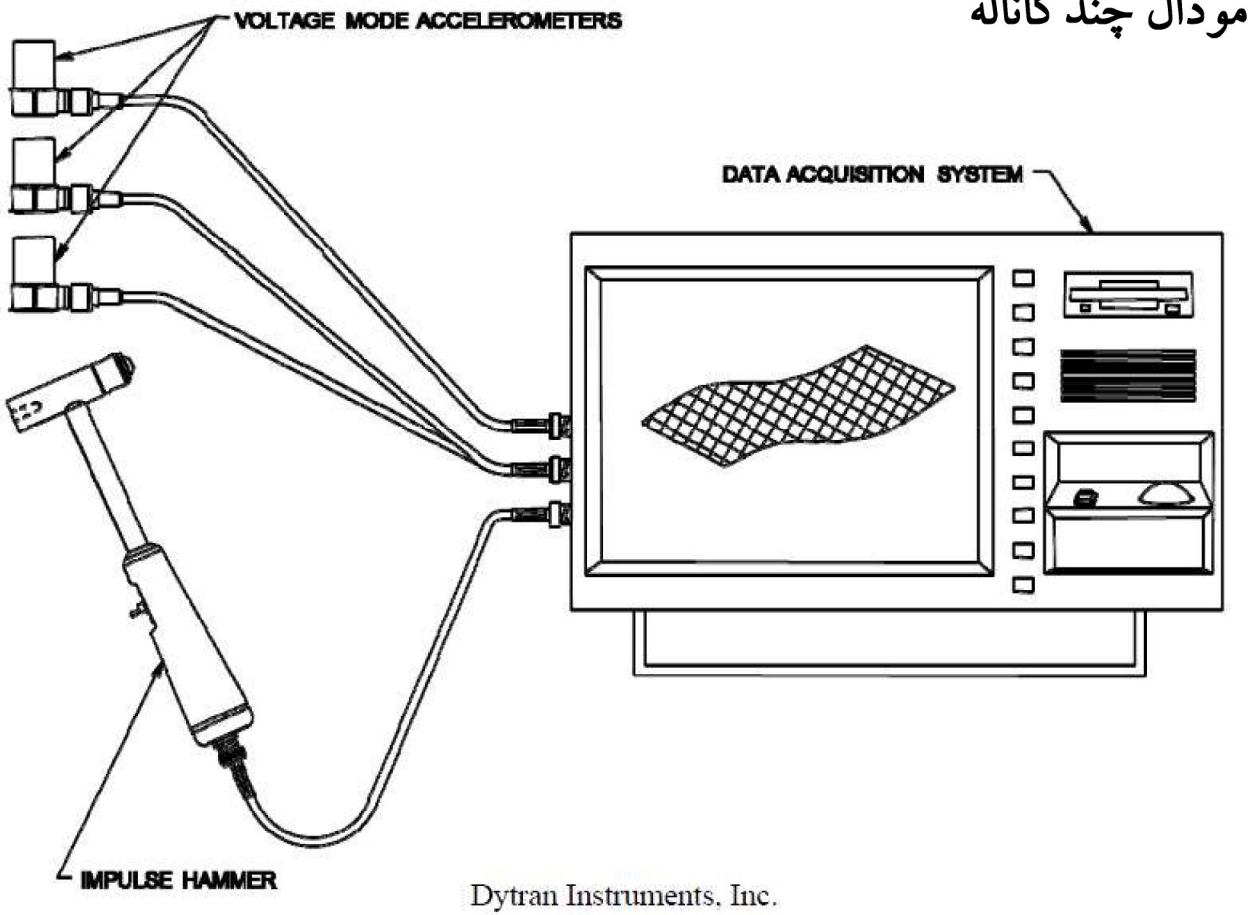


http://machinedesign.com/sensors/sensor-sense-piezoelectric-force-sensors

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

کاربردهای مواد پیزوالکتریک:

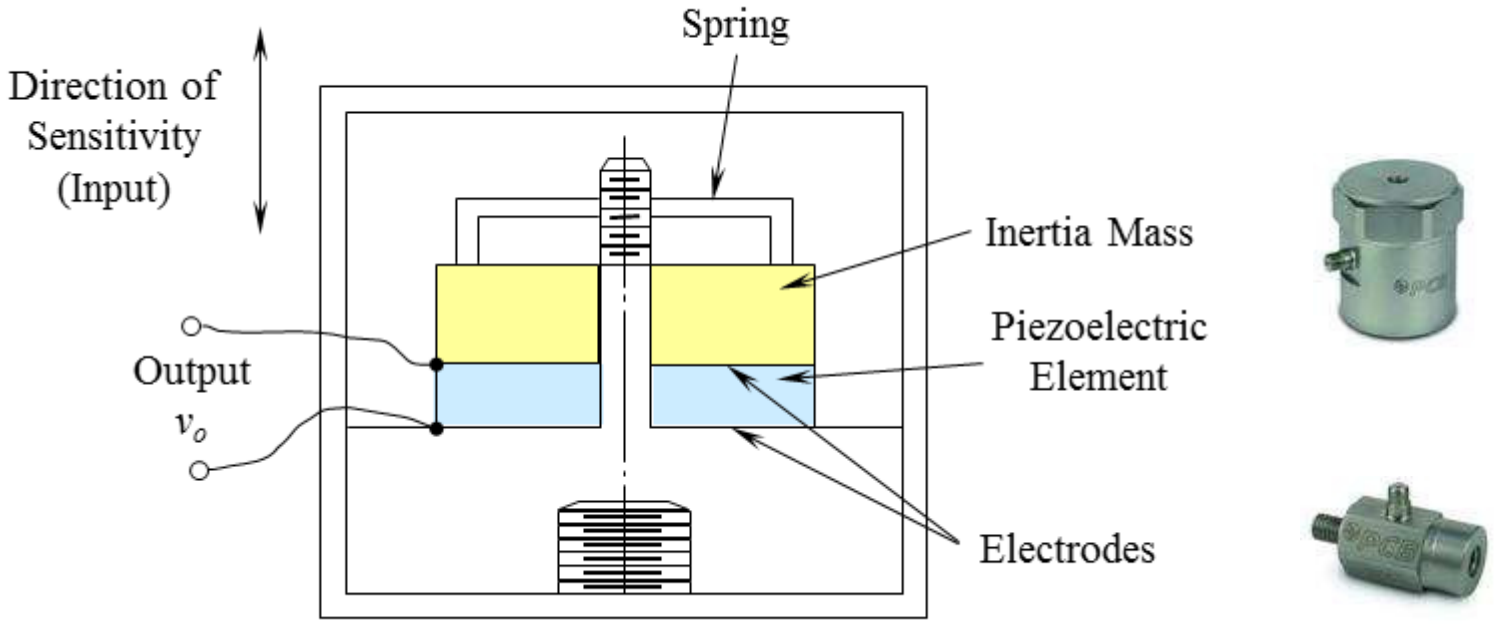
دستگاه آنالیز مودال چندکاناله



Dytran Instruments, Inc.

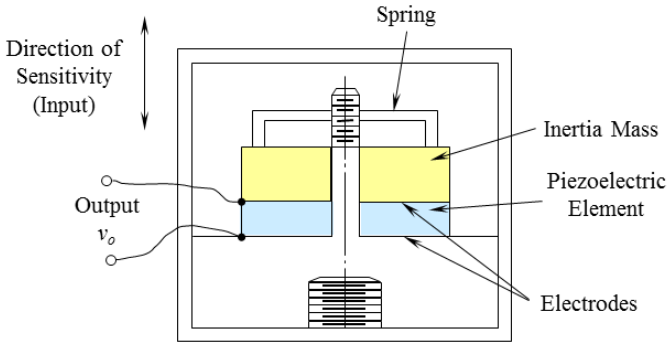
سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

شتاب سنج پیزوالکتریک:

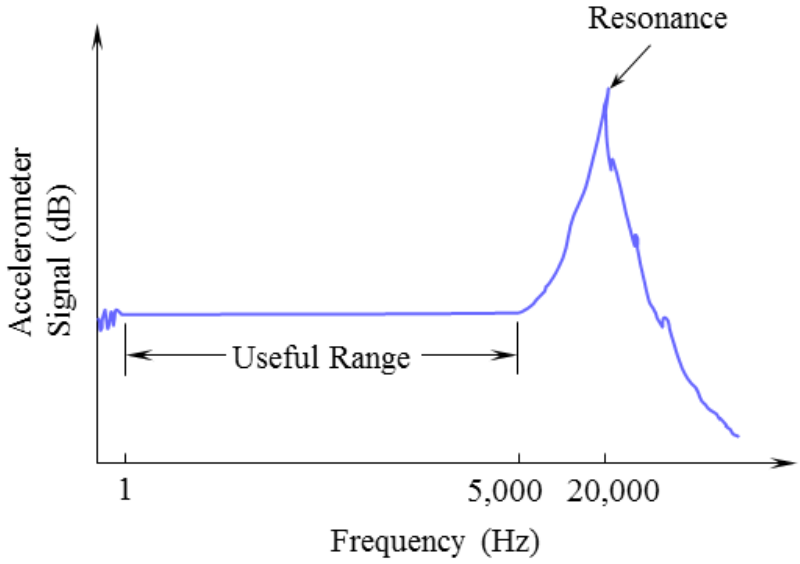


سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

شتاب سنج پیزوالکتریک:



- Inertia force caused by the acceleration produces a voltage
- High spring stiffness – natural frequency or resonant frequency is high (20kHz)
- Useful frequency range – 5kHz
- Light weight



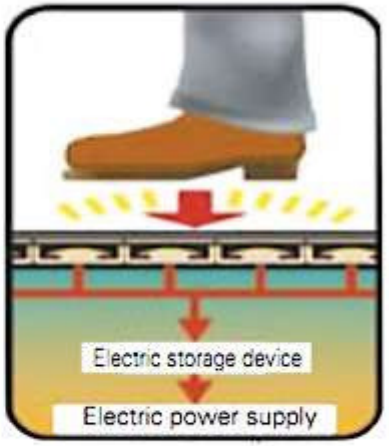
Frequency response curve of a piezoelectric accelerometer

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

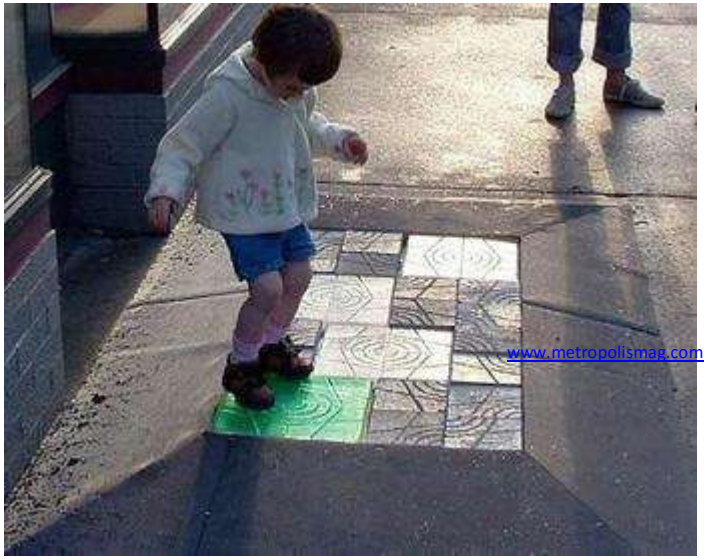
بازیابی انرژی الکتریکی از مواد پیزوالکتریک:

inhabitat.com

Demonstration experiment at Tokyo Station

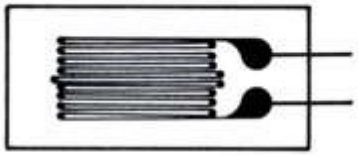


Mechanism of the power generating floor

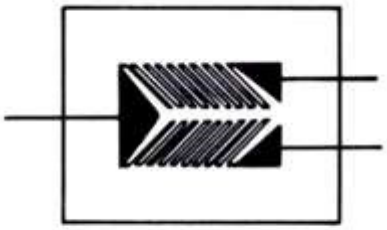


www.metropolismag.com

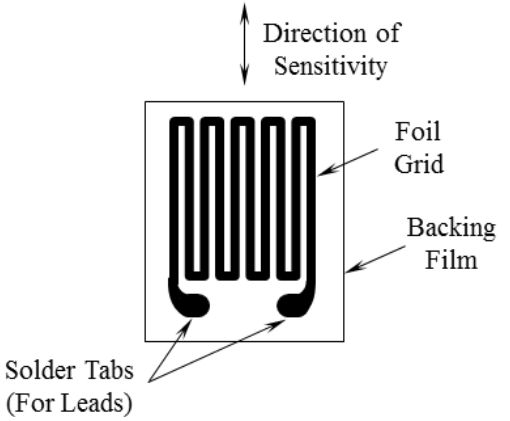
کرنش سنج

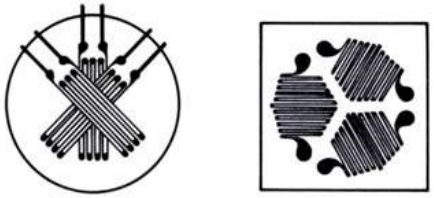


Single Element

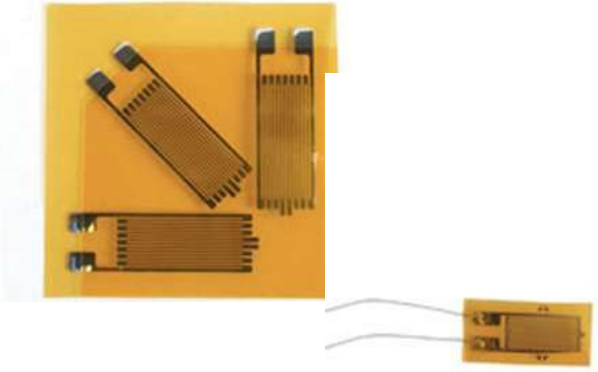


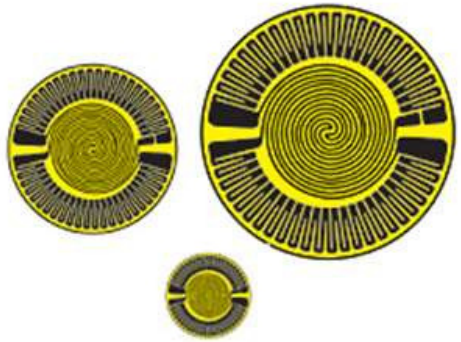
Two-Element Rosette





Three-Element Rosettes





کرنش سنج

- مقاومت الکتریکی در ماده با تغییر شکل آن تغییر می کند:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

R – Resistance
ρ – Resistivity
ℓ – Length
A – Cross-sectional area

$$\log R = \log \rho + \log(\ell / A)$$

با دیفرانسیل گیری داریم:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{d(\ell / A)}{\ell / A}$$

Change in resistance is from change in shape as well as change in resistivity

کرنش سنج

Gauge factor:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{d(\ell/A)}{\ell/A}$$

For linear deformations

$$\frac{\delta R}{R} = S_s \varepsilon$$

ε : strain

S_s : sensitivity or gage factor

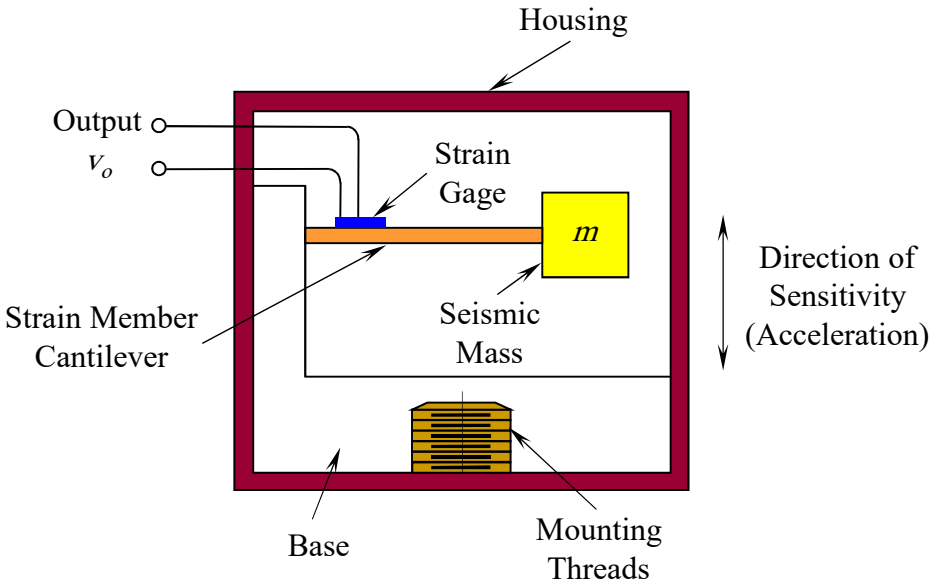
$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon} = \frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\varepsilon} + 1 + 2\nu$$

Material	Gauge Factor
Metal foil strain gauge	2-5
Thin-film metal	2
Single crystal silicon	-125 to + 200
Polysilicon	±30
Thick-film resistors	100

http://en.wikipedia.org

کرنش سنج

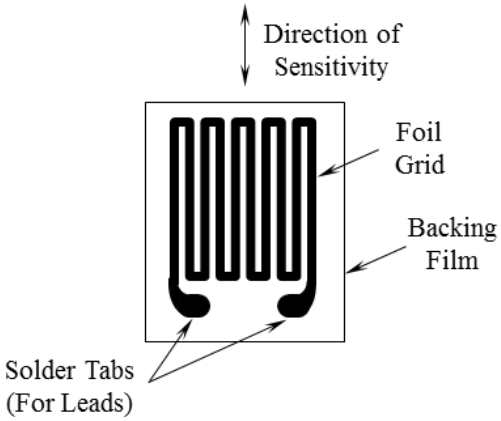
- تغییر در مقاومت الکتریکی با استفاده از یک مدار الکتریکی اندازه گیری می شود.
- با استفاده از کرنش سنج می توان متغیرهای زیادی از جمله جابجایی، شتاب، فشار، دما، سطح مایع، تنش، نیرو و گشتاور را اندازه گرفت.
- بعضی متغیرها (تنش، نیرو و گشتاور) با اندازه گیری مستقیم کرنش قابل تعیین است.
- سایر متغیرها با تبدیل متغیر توسط یک دستگاه به کرنش قابل اندازه گیری به دست می آیند.



Strain gage accelerometer

کرنش سنج

- جهت حساسیت کرنش سنج، جهت اصلی افزایش طول کرنش سنج است.



www.ubc.com

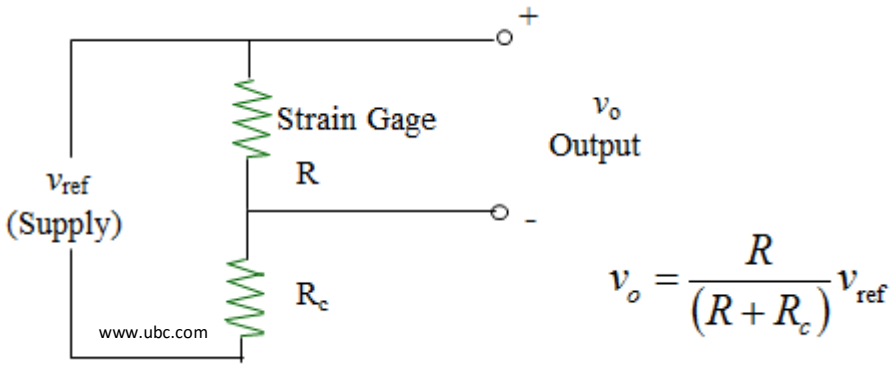
- دو روش برای اندازه گیری مقاومت کرنش سنج وجود دارد:
  ۱. با استفاده از مدار پتانسیومتر
  ۲. پل وتسون

کرنش سنج

- دو روش برای اندازه گیری مقاومت کرنش سنج وجود دارد:

۱. با استفاده از مدار پتانسیومتر

۲. پل وتسون



$$v_o = \frac{R}{(R+R_c)} v_{ref}$$

معایب استفاده از این روش:

- تغییرات ولتاژ تغذیه بر خروجی تاثیر گذار است.
- اثرات بار الکتریکی مهم است.
- تغییر در ولتاژ خروجی در اثر کرنش درصد خیلی کمی دارد.
- دمای محیط باعث ایجاد خطا می شود(تنها در صورتیکه ضرایب حرارتی **R** و **Rc** یکسان باشند، اثرات حرارتی حذف می شوند.)