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

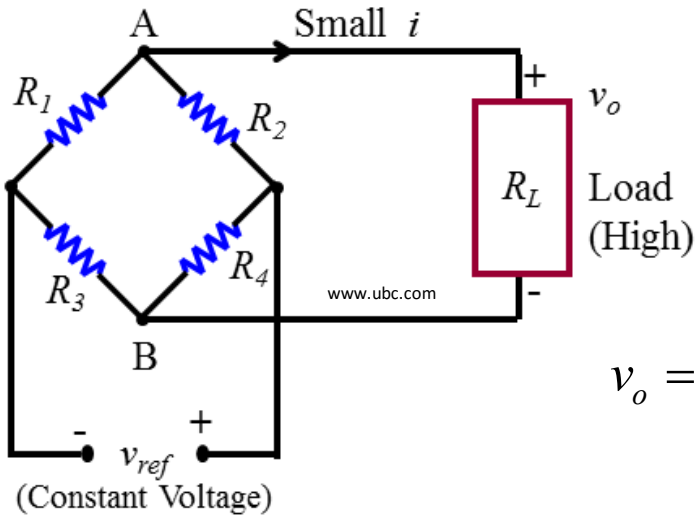
By: Reza Tikani
Mechanical Engineering Department
Isfahan University of Technology

کرنش سنج

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

۱. با استفاده از مدار پتانسیومتر

۲. پل وتسون



$$v_o = \frac{R_1 v_{ref}}{(R_1 + R_2)} - \frac{R_3 v_{ref}}{(R_3 + R_4)} = \frac{(R_1 R_4 - R_2 R_3)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} v_{ref}$$

When the bridge is balanced: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$

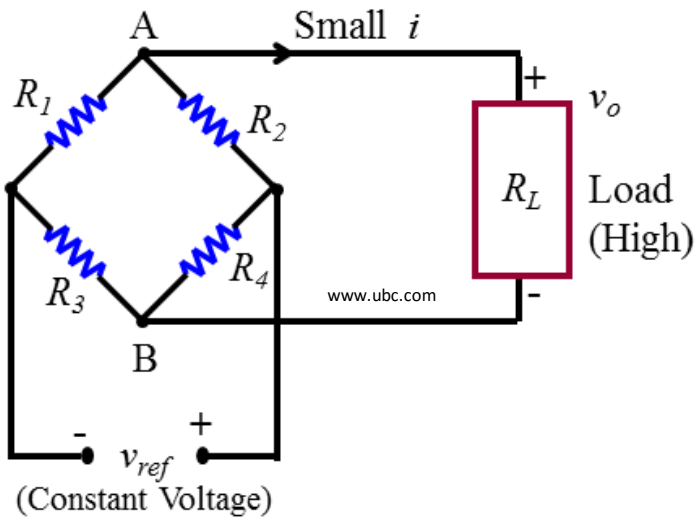
برای هر مقدار R_L

کرنش سنج

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

۱. با استفاده از مدار پتانسیومتر

۲. پل وتسون

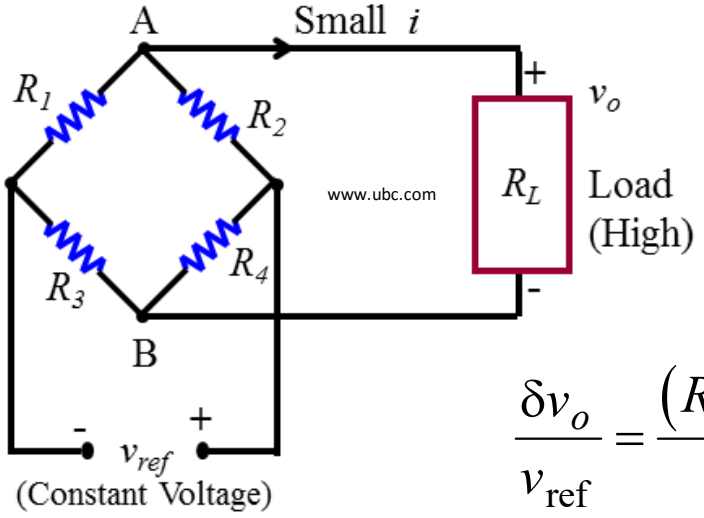


با تغییر شکل کرنش سنج بالانس پل در اثر تغییر در اندازه مقاومت متغیر به هم می خورد. میزان تغییر در اندازه متناسب با میزان کرنش است.

از آنجا که اندازه گیری **V0** زمان بر است (به دلیل بازگشت به حالت تعادل در هر بار اندازه گیری) برای اندازه گیری های دینامیک تغییرات **V0** را مدنظر قرار می دهند.

کرنش سنج

از آنجا که اندازه گیری **V0** زمان بر است (به دلیل بازگشت به حالت تعادل در هر بار اندازه گیری) برای اندازه گیری های دینامیک تغییرات **V0** را مدنظر قرار می دهند.

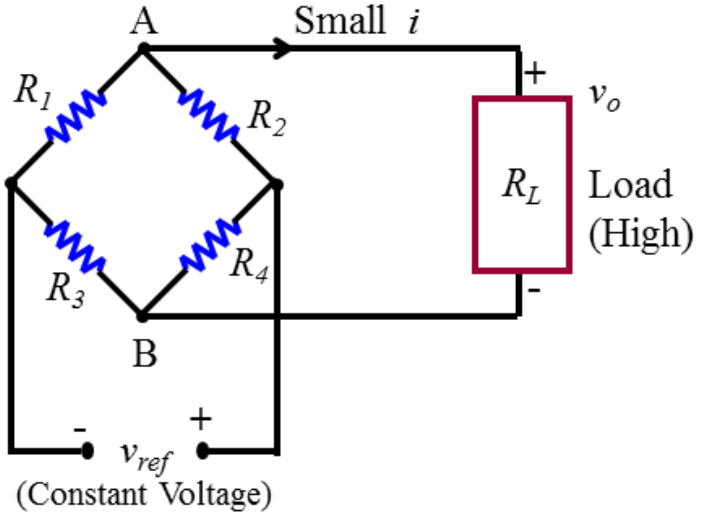


$$v_o = \frac{R_1 v_{ref}}{(R_1 + R_2)} - \frac{R_3 v_{ref}}{(R_3 + R_4)} = \frac{(R_1 R_4 - R_2 R_3)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} v_{ref}$$

حساسیت پل:

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = \frac{\left(R_2 \delta R_1 - R_1 \delta R_2\right)}{\left(R_1 + R_2\right)^2} - \frac{\left(R_4 \delta R_3 - R_3 \delta R_4\right)}{\left(R_3 + R_4\right)^2}$$

برای حذف اثرات دمای محیط بایستی ضرایب حرارتی مقاومت‌های مجاور(**R1** با **R2** و **R3** با **R4**) با هم برابر باشند.



$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = \frac{\left(R_2\delta R_1 - R_1\delta R_2\right)}{\left(R_1 + R_2\right)^2} - \frac{\left(R_4\delta R_3 - R_3\delta R_4\right)}{\left(R_3 + R_4\right)^2}$$

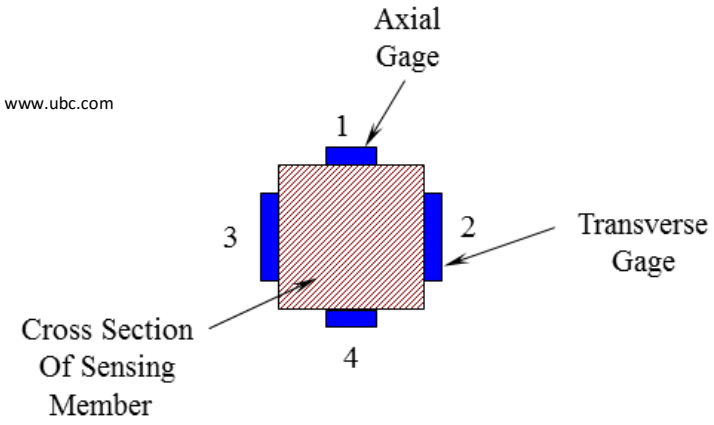
$$\frac{\delta v_o}{v_{ref}} = \frac{\delta R}{4R}$$

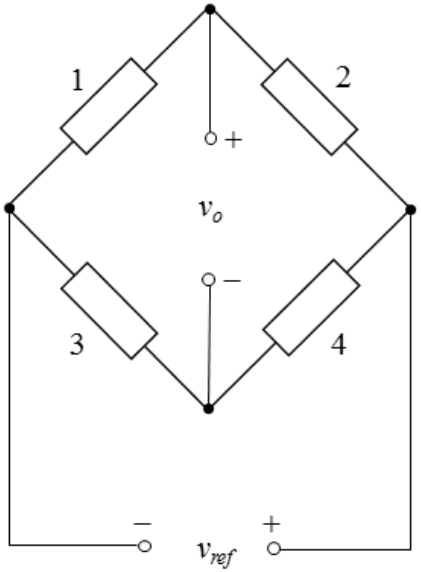
$$\frac{\delta v_o}{v_{ref}} = k\frac{\delta R}{4R}$$

$$k = \frac{\text{bridge output in the general case}}{\text{bridge output if only one strain gage is active}}$$

کرنش سنج

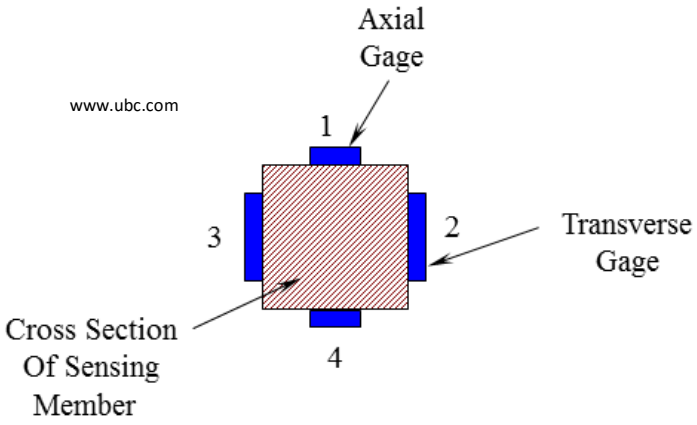
مثال: یک نیروسنج با ۴ کرنش سنج یکسان که در مقطع عرضی نیروسنج نشان داده شده اند، پل وتسون زیر را تشکیل می دهند. دو کرنش سنج روبروی هم به صورت طولی و دو کرنش سنج دیگر به صورت عرضی قرار گرفته اند و برای ماکزیمم شدن حساسیت پل، به صورت نشان داده شده به هم متصل گردیده اند. ثابت پل را بر حسب ضریب پواسون میله نیرو سنج به دست آورید.

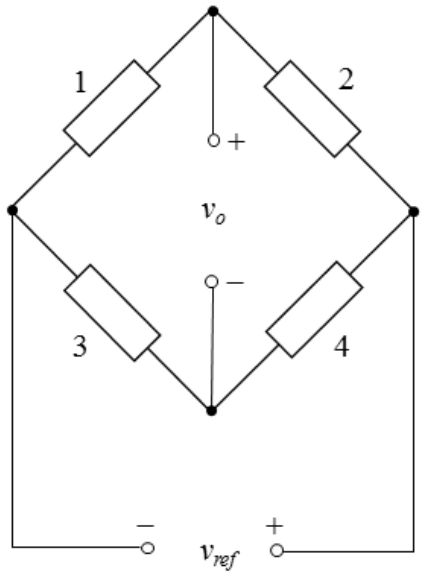




Transverse strain = (-ν) x longitudinal strain

کرنش سنج





Transverse strain = (-ν) x longitudinal strain

$$\delta R1=\delta R$$
$$\delta R2=-\nu\delta R$$
$$\delta R3=-\nu\delta R$$
$$\delta R4=\delta R$$

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}}=\frac{\left(R_2\delta R_1-R_1\delta R_2\right)}{\left(R_1+R_2\right)^2}-\frac{\left(R_4\delta R_3-R_3\delta R_4\right)}{\left(R_3+R_4\right)^2}$$

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}}=2(1+\nu)\frac{\delta R}{4R}$$

$$k=2(1+\nu)$$

کرنش سنج

ثابت کالیبراسیون:

Calibration Constant

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = C\varepsilon \qquad \frac{\delta R}{R} = S_s \varepsilon$$

$$\frac{\delta v_o}{v_{ref}} = k\frac{\delta R}{4R} \Rightarrow C = \frac{k}{4} S_s$$

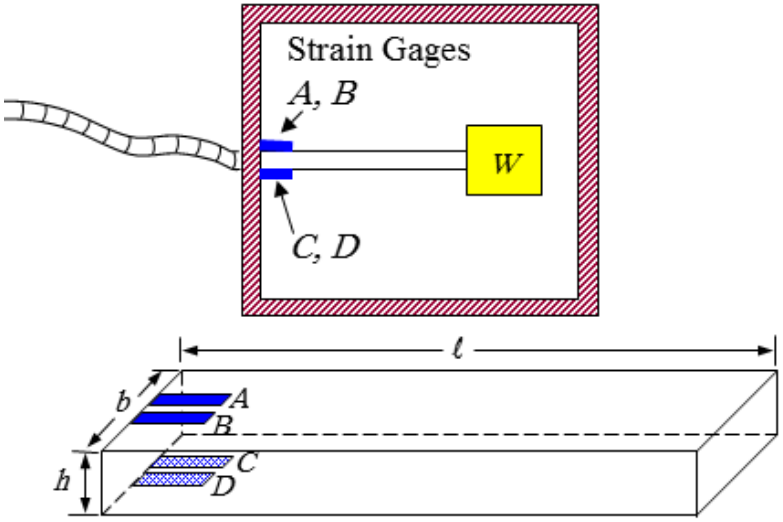
k – Bridge Constant

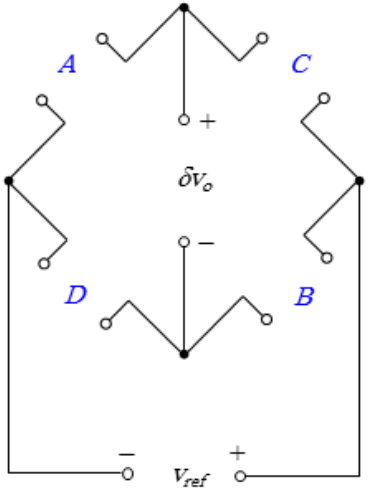
S_s – Sensitivity or gage factor

کرنش سنج

مثال: یک شتاب سنج بر مبنای استفاده از کرنش سنج در شکل نشان داده شده است. وزن **W** برای حس کردن شتاب استفاده می شود و یک تیر یک سر گیردار سبک شتاب را به کرنش تبدیل می- کند. ماکزیمم کرنش خمشی در انتهای تیر توسط ۴ کرنش سنج یکسان فعال اندازه گیری می شود. دو کرنش سنج **A** و **B** در راستای طولی در سطح بالای تیر نصب گردیده و دو کرنش سنج **C** و **D** در راستای طولی در سطح پایینی تیر قرار داده شده است. به منظور ماکزیمم کردن حساسیت شتاب سنج، ۴ کرنش سنج به صورت نشان داده شده در شکل در پل وتسون قرار گرفته است.

الف) ثابت پل را محاسبه نمایید.





Mechatronics; An Integrated Approach, D Silva

کرنش سنج

حل الف) ثابت پل را محاسبه نمایید.

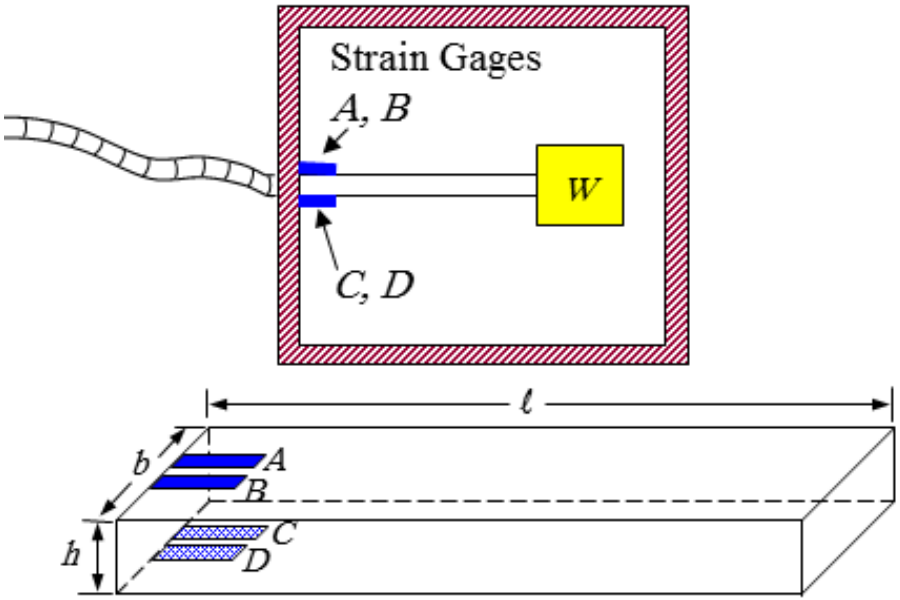
$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = \frac{\left(R_2\delta R_1 - R_1\delta R_2\right)}{\left(R_1 + R_2\right)^2} - \frac{\left(R_4\delta R_3 - R_3\delta R_4\right)}{\left(R_3 + R_4\right)^2}$$

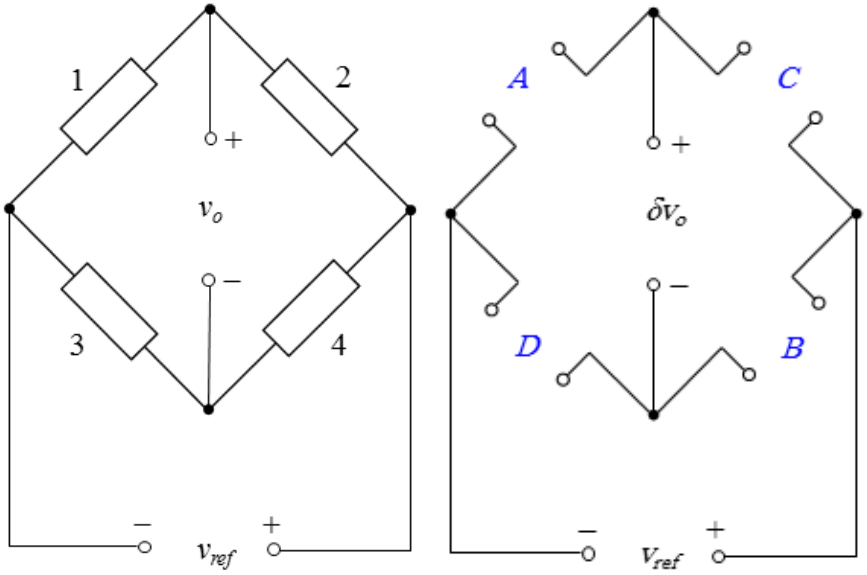
بیشترین مقدار حساسیت پل زمانی است که:

δR_1 و δR_4 مثبت و δR_2 و δR_3 منفی باشند، بنابراین داریم:

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = \frac{\delta R}{R}$$

در نتیجه ثابت پل برابر است با ۴.

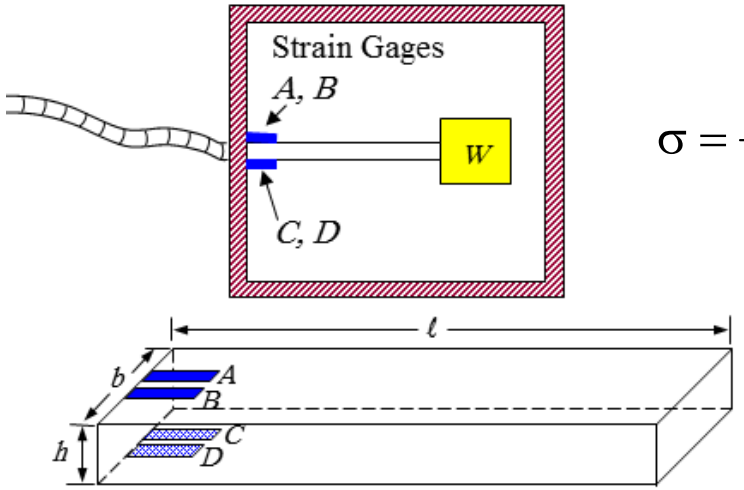




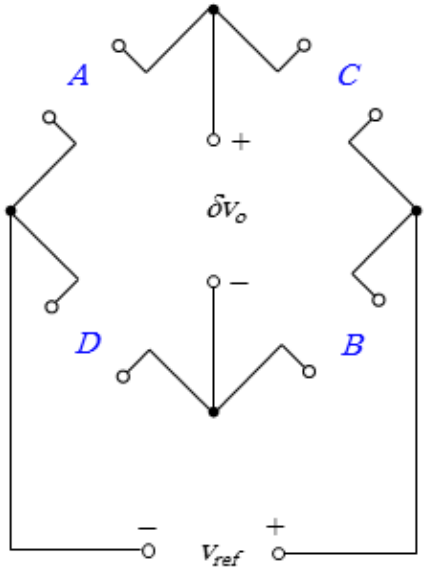
کرنش سنج

ب) رابطه ای که نشان دهنده شتاب (در واحد شتاب جاذبه) بر حسب خروجی پل δv_o با استفاده از پارامترهای زیر به دست آورید (در حالت شتاب صفر، خروجی صفر است).

$W = Mg$ = weight of the seismic mass at the free end of the cantilever element
E = Young's modulus of the cantilever
ℓ = length of the cantilever
b = cross-section width of the cantilever
h = cross-section height of the cantilever
S_s = gauge factor (sensitivity) of each strain gage
v_{ref} = supply voltage to the bridge.



$$\sigma = \frac{6F\ell}{bh^2}$$



کرنش سنج

ب) رابطه ای که نشان دهنده شتاب (در واحد شتاب جاذبه) بر حسب خروجی پل δv_o با استفاده از پارامترهای زیر به دست آورید (در حالت شتاب صفر، خروجی صفر است).

$W = Mg$ = weight of the seismic mass at the free end of the cantilever element
E = Young's modulus of the cantilever
ℓ = length of the cantilever
b = cross-section width of the cantilever
h = cross-section height of the cantilever
S_s = gage factor (sensitivity) of each strain gage
v_{ref} = supply voltage to the bridge.

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = C\varepsilon$$

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

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = \frac{\delta R}{R} \Rightarrow \frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = S_s \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{6F\ell}{Ebh^2}$$

$$F = \frac{W}{g}\ddot{x} = Wa$$

$$\varepsilon = \frac{6W\ell}{Ebh^2}a \Rightarrow \delta v_o = \frac{6W\ell}{Ebh^2} S_s v_{\text{ref}}\, a$$

کرنش سنج

ج) با استفاده از مقادیر زیر مقدار حساسیت شتاب سنج را بر حسب **V/g** به دست آورید.

M = 5 gr, E = 5x10^{10} N/m^2, ℓ = 1 cm, b = 1 mm, h = 0.5 mm, S_s = 200, and v_{ref} = 20 V

$$\delta v_o = \frac{6W\ell}{Ebh^2} S_s v_{ref}\, a$$

$$\frac{\delta v_o}{a} = \frac{6\times5\times10^{-3}\times9.81\times1\times10^{-2}\times200\times20}{5\times10^{10}\times1\times10^{-3}\times(0.5\times10^{-3})^2}\ \text{V/g}$$

$$= 0.94\ \text{V/g}$$

کرنش سنج

د) در صورتیکه استحکام تسلیم تیر یک سرگیردار برابر $5xl0^7\ N/m^2$ باشد، ماکزیمم شتاب قابل اندازه گیری توسط شتاب سنج را به دست آورید.

اگر گستره مبدل آنالوگ به دیجیتال مورد استفاده برای تبدیل کرنش به سیگنال ورودی کامپیوتر بین صفر تا ۱۰ ولت باشد، ضریب بهره تقویت کننده چقدر باشد تا ماکزیمم شتاب منطبق بر حد نهایی مبدل دیجیتال به آنالوگ باشد.

$$\frac{\varepsilon}{a} = \frac{1}{S_s v_{\text{ref}}} \frac{\delta v_o}{a} = \frac{0.94}{200 \times 20} \text{ strain/g}$$

$$= 2.35 \times 10^{-4}\ e/\text{g} = 235.0\ \mu\varepsilon/\text{g}$$

$$\text{Yield strain} = \frac{\text{Yield strength}}{E} = \frac{5 \times 10^7}{5 \times 10^{10}} = 1 \times 10^{-3} \text{ strain}$$

کرنش سنج

د) در صورتیکه استحکام تسلیم تیر یک سرگیردار برابر $5xl0^7\ N/m^2$ باشد، ماکزیمم شتاب قابل اندازه گیری توسط شتاب سنج را به دست آورید.

اگر گستره مبدل آنالوگ به دیجیتال مورد استفاده برای تبدیل کرنش به سیگنال ورودی کامپیوتر بین صفر تا ۱۰ ولت باشد، ضریب بهره تقویت کننده چقدر باشد تا ماکزیمم شتاب منطبق بر حد نهایی مبدل دیجیتال به آنالوگ باشد.

$$\text{Yield strain} = \frac{\text{Yield strength}}{E} = \frac{5\times10^7}{5\times10^{10}} = 1\times10^{-3}\ \text{strain}$$

$$\text{Number of } g\text{'s to yield point} = \frac{1\times10^{-3}}{2.35\times10^{-4}}\ \text{g} = 4.26\ \text{g}$$

$$\text{Corresponding voltage} = 0.94 \times 4.26\ \text{V} = 4.0\ \text{V}$$

10/4=2.5 Amplifier Gain

شتاب سنج های MEMS

سامانه‌های الکتریکی– مکانیکی در مقیاس میکرو (MEMSs)

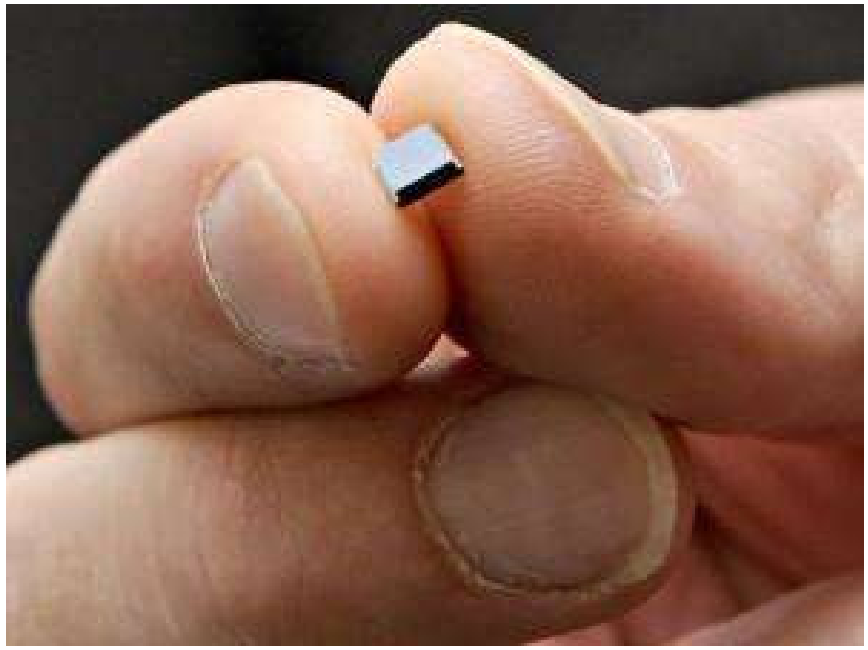
Microelectromechanical systems (MEMS)

نخستین بار ریچارد فاینمن، در سال ۱۹۵۹ در سخنرانی معروف خود با عنوان «آن پایین فضاهای بسیاری وجود دارد» ایده‌ی فناوری نانو را مطرح کرد. او در همین سخنرانی جایزه‌ای ۱۰۰۰ دلاری را برای اولین شخصی که یک موتور الکتریکی در مقیاس یک شصت و چهارم اینچ بسازد، تعیین کرد. بر همین اساس، می‌توان گفت او اولین فردی است که ایده‌ی طراحی و ساخت یک سامانه‌ی الکتریکی– مکانیکی را در مقیاس میکرو مطرح نموده است.

این جایزه‌ی ۱۰۰۰ دلاری در نهایت به شخصی به نام مک لیلان رسید که موفق شد اولین موتور الکتریکی بسیار کوچک را بسازد.

شتاب سنج های MEMS

سامانه‌های الکتریکی– مکانیکی در مقیاس میکرو (MEMSs)

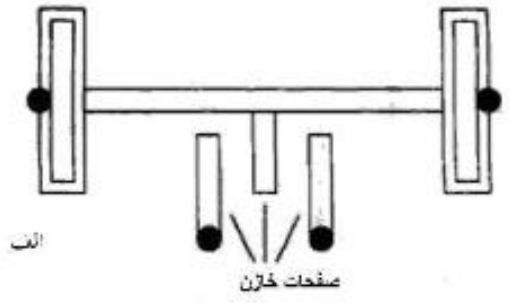


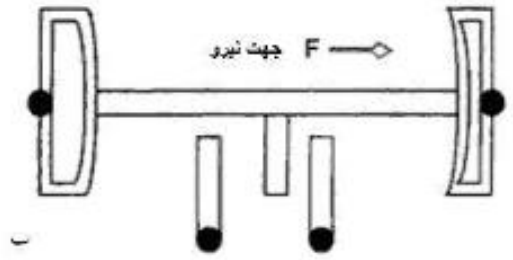
سامانه‌های الکتریکی- مکانیکی در مقیاس میکرو متشکل از تعدادی ابزارها و قطعات الکتریکی و مکانیکی است که در مقیاس میکرومتر قرار دارد. مکانیسم عملکرد آن بدین ترتیب است که، در مقابل هر سیگنال الکتریکی که از قبل تعریف شده (مثلا جریان الکتریکی مشخص یا ولتاژ الکتریکی معین) یک پاسخ مکانیکی،که این هم از قبل تعریف شده، (مثلا تغییر مکان یک قطعه) روی می‌دهد. گاهی نیز برعکس این اتفاق، رخ می‌دهد؛ یعنی یک پاسخ الکتریکی در مقابل یک تغییر شکل مکانیکی.

شتاب سنج های MEMS

سامانه‌های الکتریکی– مکانیکی در مقیاس میکرو (MEMSs)

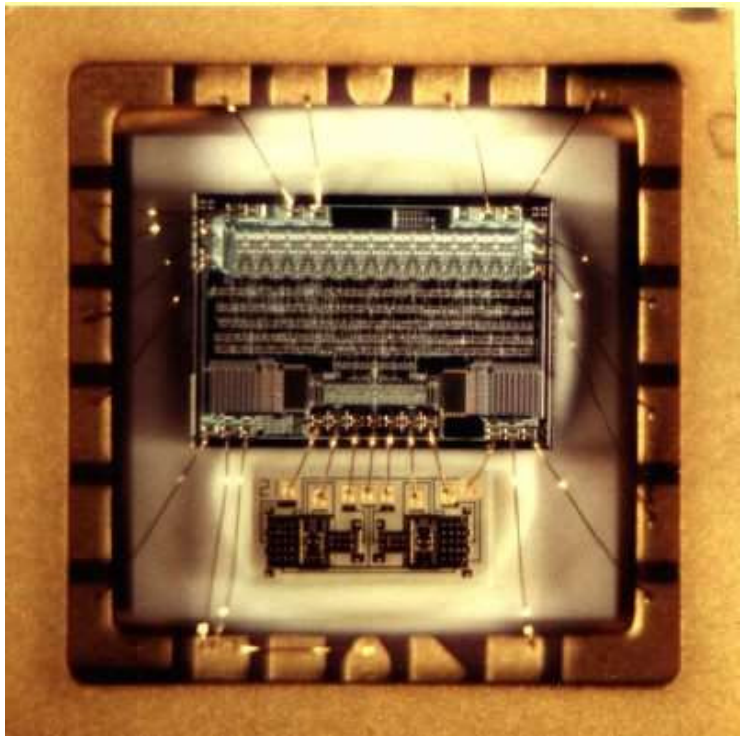
ابداع شتاب‌سنج‌ها در ابعاد میکرومتر، برای فعال کردن کیسه‌های هوا در خودروها، یکی از معروف‌ترین مثال‌های سامانه‌های الکتریکی- مکانیکی در مقیاس میکرو است. قبل از ابداع و استفاده از این شتاب‌سنج‌های میکرومتری، از ابزار دیگری که در ابعاد یک جعبه‌ی دستمال کاغذی و به جرم چند کیلوگرم بود، استفاده می‌شد.





شتاب سنج های MEMS

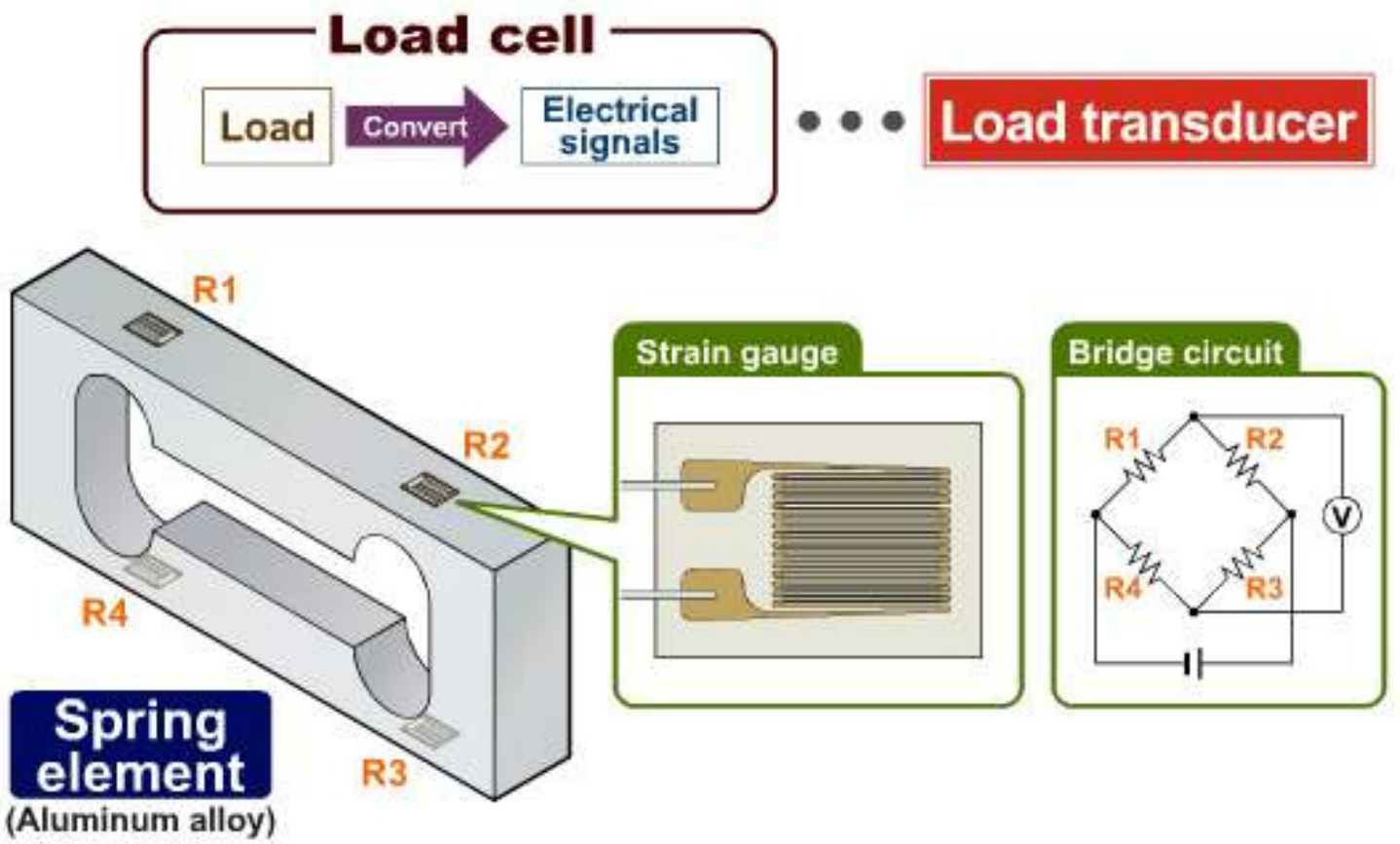
MEMS این امکان را فراهم کرده تا شتاب‌سنج و وسایل الکترونیکی با هزینه‌ای کمتر از ۵ تا ۱۰ دلار در یک ریزتراشهٔ سیلیکونی تلفیق شوند. شتاب‌سنج **MEMS** خیلی کوچکتر، کارآمدتر و سبکتر بوده و قیمتی بسیار کمتر از شتاب‌سنجهای مرسوم دارد.



بهای اندک عناصر شتاب‌سنج **MEMS**، اجازهٔ ساخت کیسهٔ هوا برای حفاظت مسافرین در مقابل ضربات را می‌دهد. ادامهٔ پیشرفت در فناوری شتاب‌سنج **MEMS**در ۵ سال آینده، امکان می‌دهد تا حس‌کننده‌ها، اندازه و وزن یک مسافر را تعیین کرده پاسخ بهینه را محاسبه کنند تا صدمات احتمالی ناشی از کیسه هوا کاهش یابد.

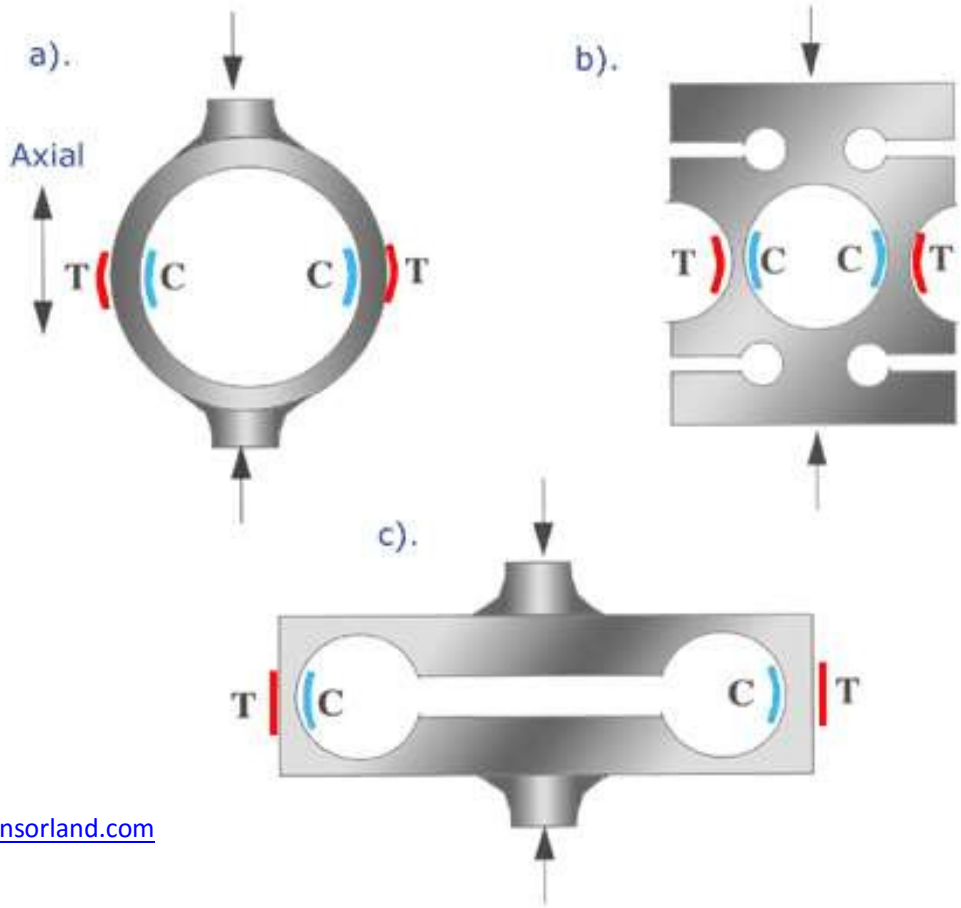
http://fa.wikipedia.org

حسگرهای نیرو



www.ishida.com

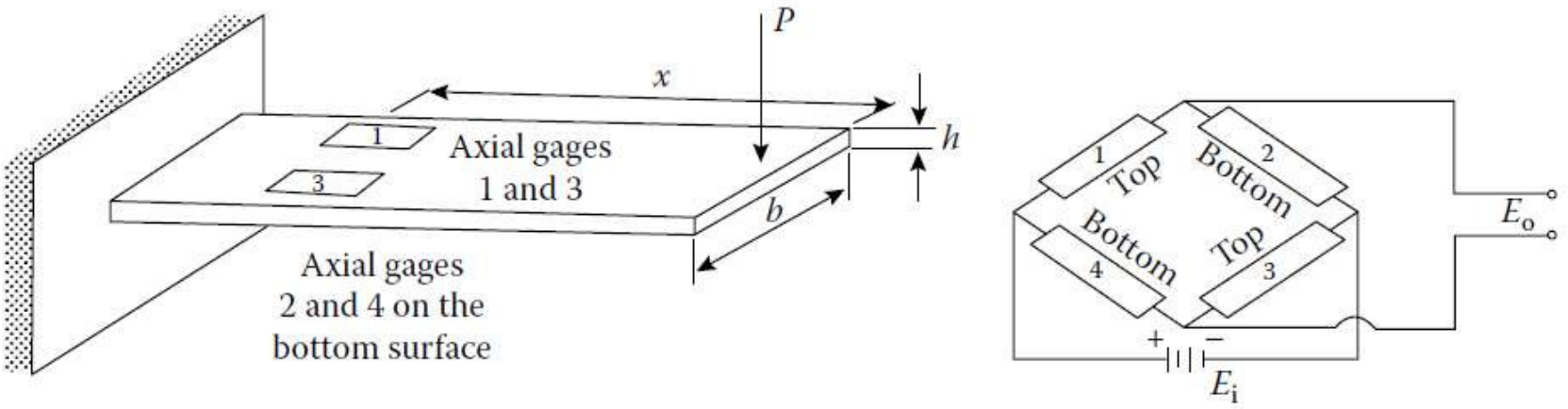
حسگرهای نیرو



www.sensorland.com

حسگرهای نیرو

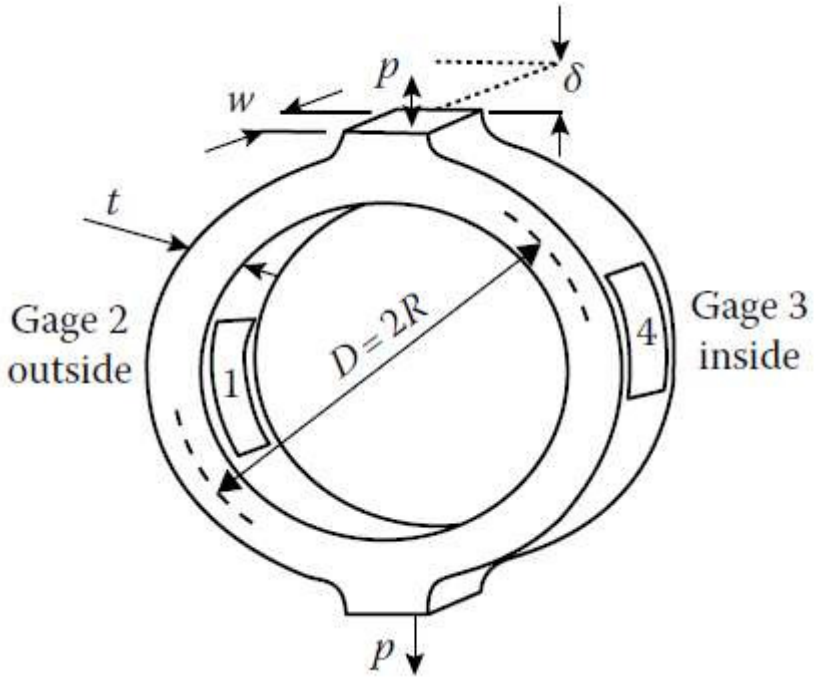
1. Strain-Gage Load Cell

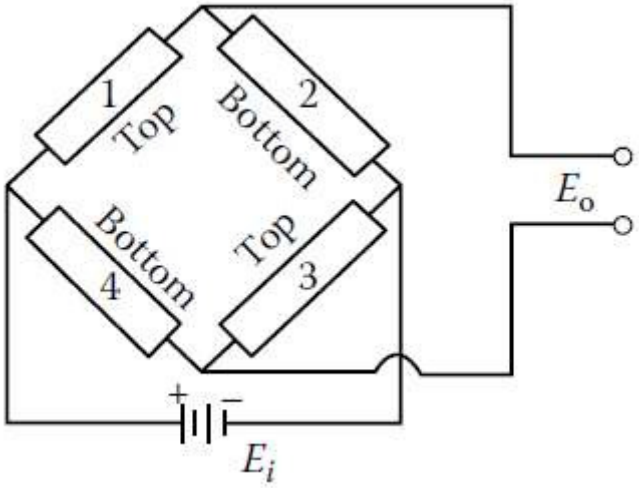


Beam-Type Load Cell

حسگرهای نیرو

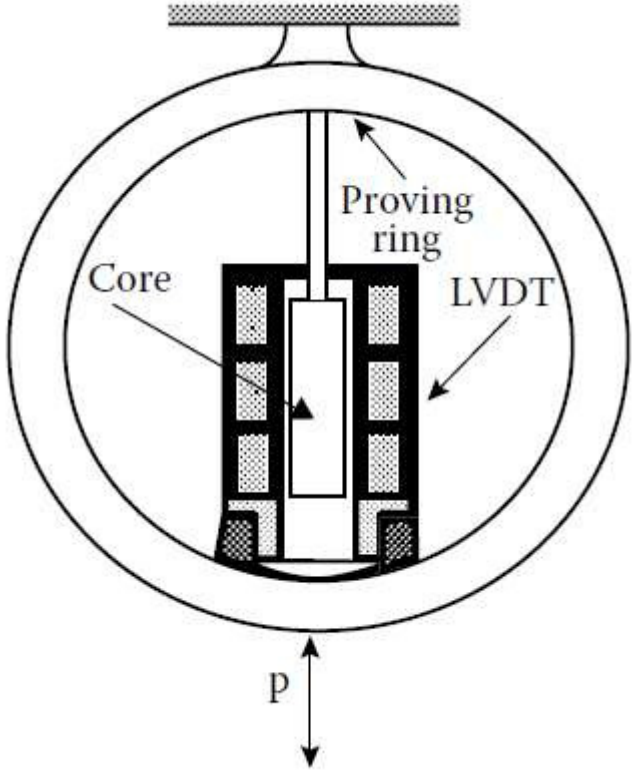
1. Strain-Gage Load Cell



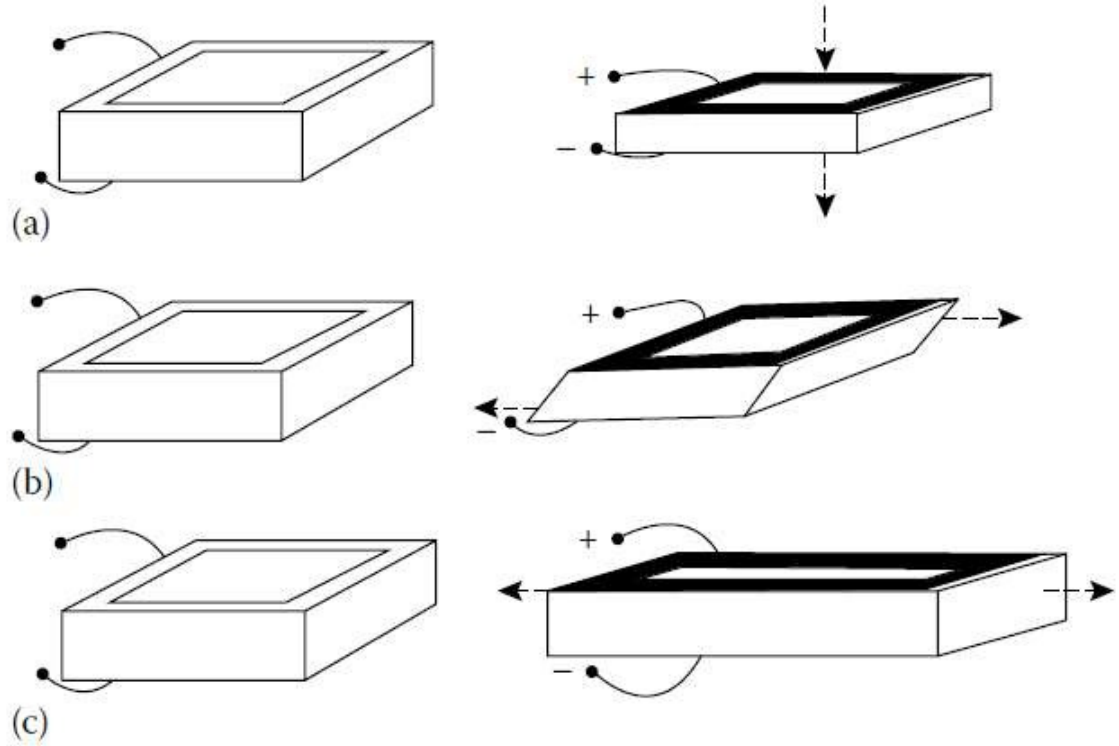


Ring-Type Load Cell

2. LDVT in Ring-Type Load Cell



3. Piezoelectric Methods



The magnitude and the polarity of the induced surface charges are proportional to the magnitude and direction of the applied force:

$$Q = dF$$

where d is the charge sensitivity (a constant for a given crystal) of the crystal in C/N.

حسگرهای نیرو

به طور کلی:

An unknown force may be measured by the following means:

1. Balancing the unknown force against a standard mass through a system of levers

2. Measuring the acceleration of a known mass

3. Distributing the force on a specific area to generate pressure and then measuring the pressure

4. Converting the applied force into the deformation of an elastic element