Principles of Mechatronic Systems
مبانی سیستم های مکاترونیکی

سنسورهای آنالوگ (۲)

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)

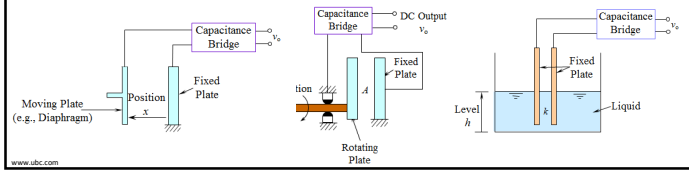
Variable Capacitance Transducers

کاربردها:

❖ جابجایی عرضی

❖ دوران

❖ سطح مایع



سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

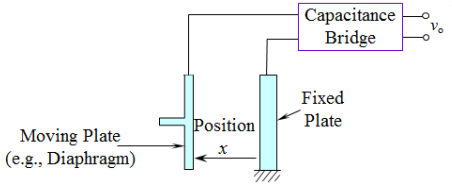
حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

Variable Capacitance Transducers

رابطه ظرفیت بر حسب جابجایی غیر خطی است.

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

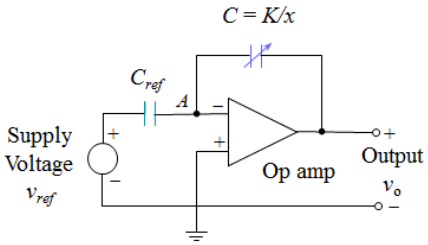
با افزایش فاصله دو صفحه حساسیت حسگر به شدت کاهش می یابد و فقط برای مقادیر کوچک قابل استفاده است.



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:



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

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

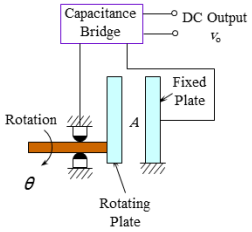
www.ubc.com

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

Variable Capacitance Transducers

❖ دوران



$$C = K\theta$$

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

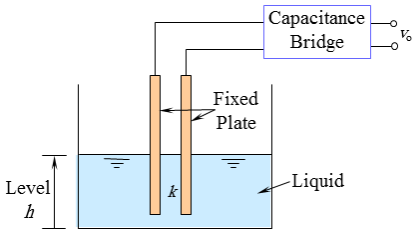
www.ubc.com

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

Variable Capacitance Transducers

❖ سطح مایع:

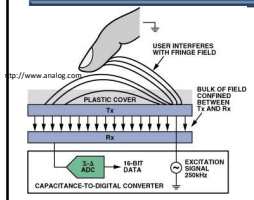


www.ubc.com

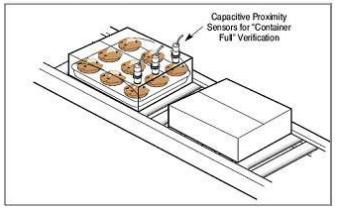
سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

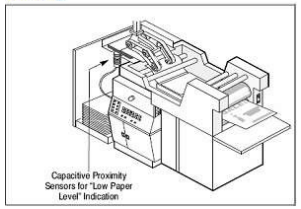
❖ نمونه ای از کاربردها:



Food Processing



Printing

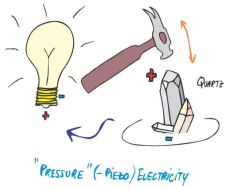


سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

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.

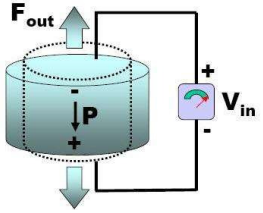


- ✓ $BaTiO_3$ (barium titanate)
- ✓ SiO_2 (quartz in crystalline)
- ✓ lead zirconate titanate (PZT)

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

مواد پیزوالکتریک:

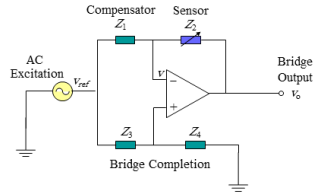
اعمال ولتاژ الکتریکی بر روی جسم پیزوالکتریک باعث تغییر شکل در آن می‌شود. میزان تغییرشکل به میزان ولتاژ اعمالی و جهت میدان الکتریکی بستگی دارد. این اثر معمولاً به کاربرد پیزوالکتریک‌ها به عنوان محرک شناخته می‌شود.



سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

حسگرهای خازنی (ظرفیت متغیر)

❖ مدار پل خازن:



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

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

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

For a balanced circuit

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

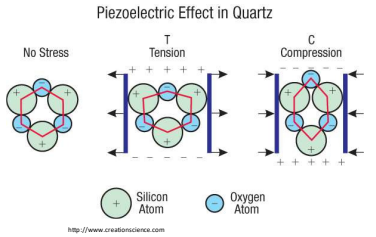
Bridge output due to sensor change

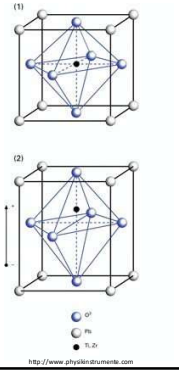
$$\delta v_o=-\frac{v_{ref}}{Z_1(1+Z_4/Z_3)}\delta Z$$

www.ubc.com

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

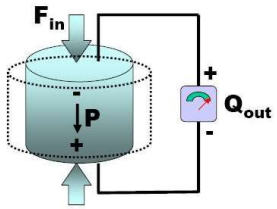
مواد پیزوالکتریک:



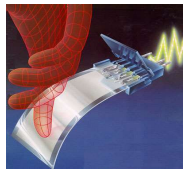


سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

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.



سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

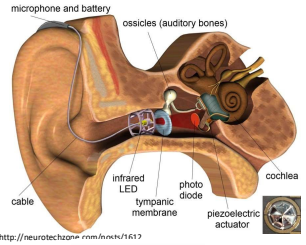
روابط حاکم بر مواد پیزوالکتریک:

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

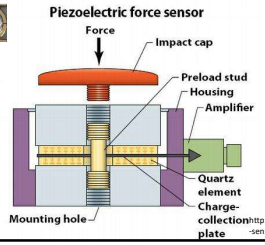
$$\begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{31} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} \xi_{11}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

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

کاربردهای مواد پیزوالکتریک:



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

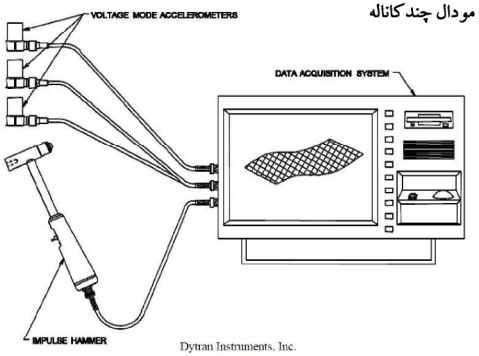


http://machinedesign.com/sensors/sens
-sense-piezoelectric-force-sensors

سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

کاربردهای مواد پیزوالکتریک:

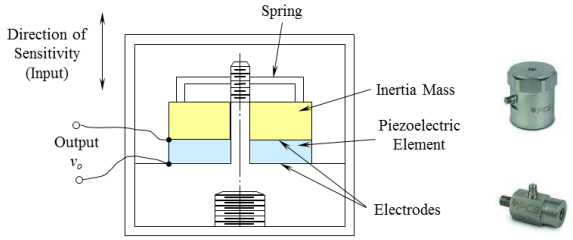
دستگاه آنالیز مودال چند کاناله



Dytran Instruments, Inc.

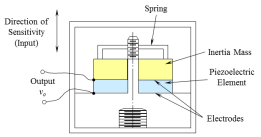
سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

شتاب سنج پیزوالکتریک:

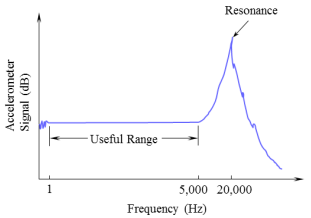


سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

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

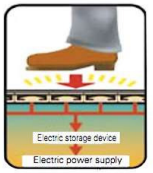


Frequency response curve of a piezoelectric accelerometer

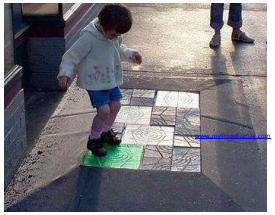
سنسورهای آنالوگ برای اندازه گیری حرکت

بازیابی انرژی الکتریکی از مواد پیزوالکتر یک:

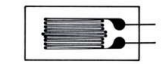
Demonstration experiment at Tokyo Station



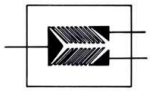
Mechanism of the power generating floor



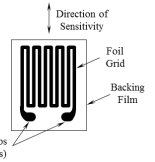
کرنش سنج

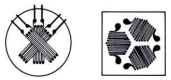


Single Element

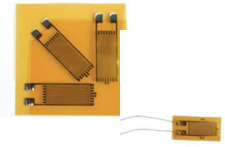


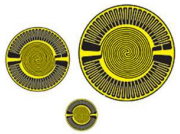
Two-Element Rosette





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

www.ubc.com

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

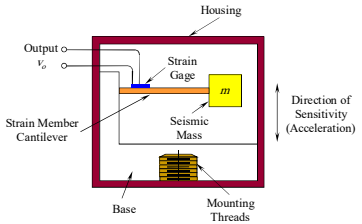
$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon} = \frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\varepsilon} + 1 + 2\nu$$

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.

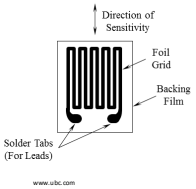


Strain gage accelerometer

www.ubc.com

کرنش سنج

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

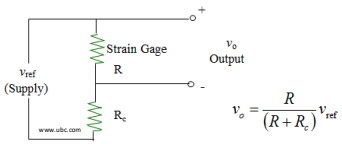


www.ubc.com

- 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



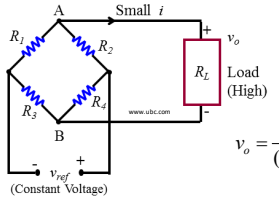
$$v_o = \frac{R}{(R+R_c)} v_{ref}$$

معایب استفاده از این روش:

- تغییرات ولتاژ تغذیه بر خروجی تاثیرگذار 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.)

کرنش سنج

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

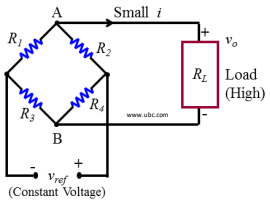


$$v_o = \frac{R_1 v_{ref}}{(R_1+R_2)} - \frac{R_3 v_{ref}}{(R_3+R_4)} = \frac{(R_1R_4 - R_2R_3)}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)} v_{ref}$$

When the bridge is balanced: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ برای هر مقدار **RL**

کرنش سنج

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

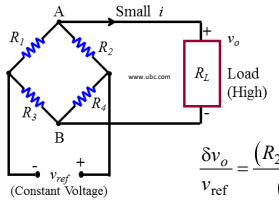


با تغییر شکل کرنش سنج بالانس پل در اثر تغییر در اندازه مقاومت متغیر به هم می خورد. میزان تغییر در اندازه متناسب با میزان کرنش است.

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.



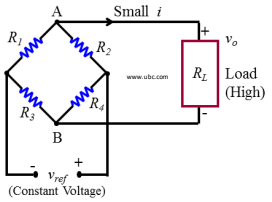
$$v_o = \frac{R_1 v_{ref}}{(R_1+R_2)} - \frac{R_3 v_{ref}}{(R_3+R_4)} = \frac{(R_1R_4 - R_2R_3)}{(R_1+R_2)(R_3+R_4)} v_{ref}$$

حساسیت پل: $$\frac{\delta v_o}{v_{ref}} = \frac{(R_2\delta R_1 - R_1\delta R_2)}{(R_1+R_2)^2} - \frac{(R_4\delta R_3 - R_3\delta R_4)}{(R_3+R_4)^2}$$

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

کرنش سنج

مثال: در صورتیکه در پل زیر تنها کرنش سنج فعال **R1** باشد، حساسیت پل را به دست آورید. مقاومت **R2** با اندازه مقاومت **R1** برابر است و همینطور **R3=R4**.



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

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

حساسیت پل را با رابطه روبرو نیز بیان می کنند:

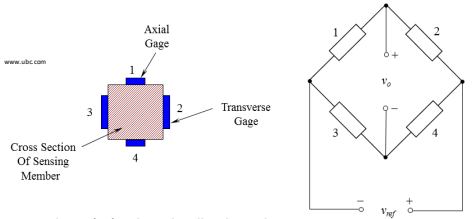
$$\frac{\delta v_o}{v_{ref}} = k\frac{\delta R}{4R}$$

در این رابطه **k** ثابت پل می باشد.

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

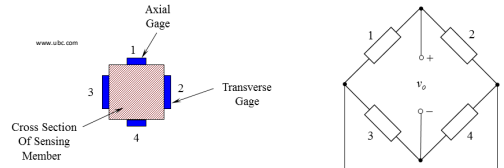
کرنش سنج

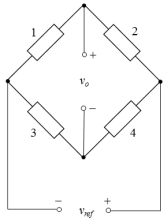
مثال: یک نیروسنج با ۴ کرنش سنج یکسان که در مقطع عرضی نیروسنج نشان داده شده اند، پل وتسون زیر را تشکیل می دهند. دو کرنش سنج روبروی هم به صورت طولی و دو کرنش سنج دیگر به صورت عرضی قرار گرفته اند و برای ماکزیمم شدن حساسیت پل، به صورت نشان داده شده به هم متصل گردیده اند. ثابت پل را بر حسب ضریب پواسون میله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



Transverse strain = (-ν) x longitudinal strain

کرنش سنج





Transverse strain = (-ν) x longitudinal strain

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

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

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

کرنش سنج

ثابت کالیبراسیون:

Calibration Constant

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

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

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

$$C = \frac{k}{4}S_s$$

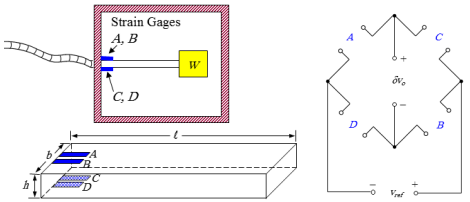
k – Bridge Constant

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.



کرنش سنج

حل الف) ثابت پل را محاسبه نمایید.

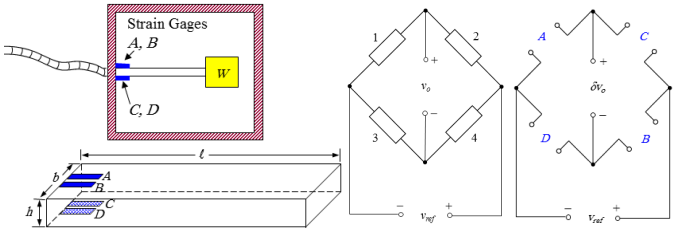
$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = \frac{\left(R_2\delta R_1 - R_1\delta R_2\right)}{\left(R_1+R_2\right)^2} - \frac{\left(R_4\delta R_3 - R_3\delta R_4\right)}{\left(R_3+R_4\right)^2}$$

بیشترین مقدار حساسیت پل زمانی است که:

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

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

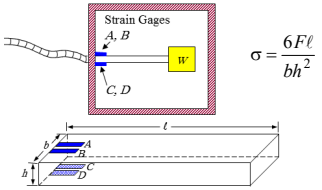
در نتیجه ثابت پل برابر است با ۴.



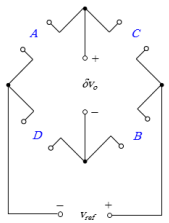
کرنش سنج

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 = gage 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.

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

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

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

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

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

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

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

$$\delta v_o = \frac{6W\ell}{Ebh^2} S_s v_{ref}\, a \qquad \frac{\delta v_o}{a} = \frac{6\times 5\times 10^{-3}\times 9.81\times 1\times 10^{-2}\times 200\times 20}{5\times 10^{10}\times 1\times 10^{-3}\times (0.5\times 10^{-3})^2}\ \text{V/g}$$

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

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.

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

$$\text{Number of } g\text{'s to yield point} = \frac{1\times 10^{-3}}{2.35\times 10^{-4}}\ \text{g} = 4.26\ \text{g}$$

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

10/4=2.5 Amplifier Gain

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.

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

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

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

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.

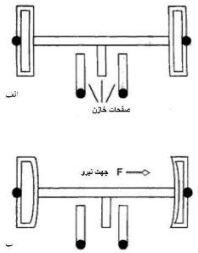
این جایزه‌ی ۱۰۰۰ دلاری در نهایت به شخصی به نام مک لیلان رسید که موفق شد اولین موتور الکتریکی بسیار کوچک را بسازد.

http://edu.nano.ir/

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.

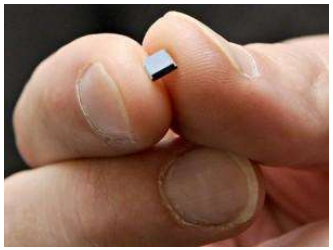


http://edu.nano.ir/

شتاب سنج های MEMS

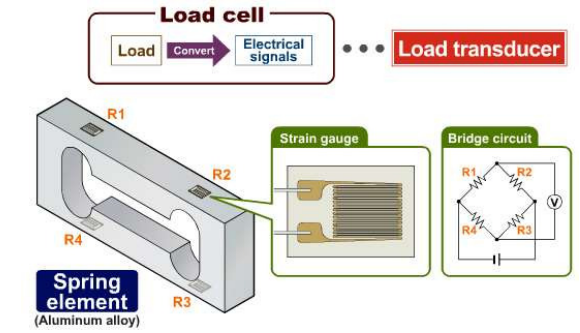
سامانه‌های الکتریکی– مکانیکی در مقیاس میکرو (MEMSs)

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.



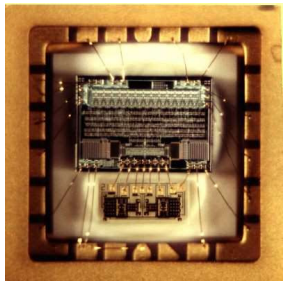
http://edu.nano.ir/

حسگرهای نیرو



شتاب سنج های MEMS

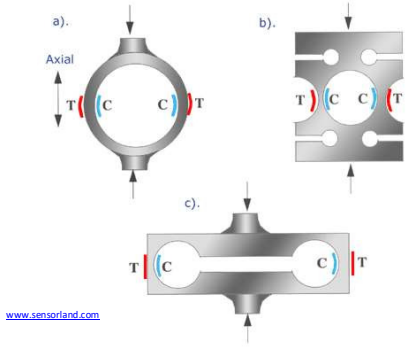
MEMS این امکان را فراهم کرده تا شتاب‌سنج و وسایل الکترونیکی با هزینه‌ای کمتر از ۵ تا ۱۰ دلار در یک ریزتراشهٔ سیلیکونی تلفیق شوند. شتاب‌سنج MEMS خیلی کوچکتر، کارآمدتر و سبکتر بوده و قیمتی بسیار کمتر از شتاب‌سنجهای مرسوم دارد.



بهای اندک عناصر شتاب‌سنج MEMS، اجازهٔ ساخت کیسهٔ هوا برای حفاظت مسافرین در مقابل ضربات را می‌دهد. ادامهٔ پیشرفت در فناوری شتاب‌سنج MEMSدر 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

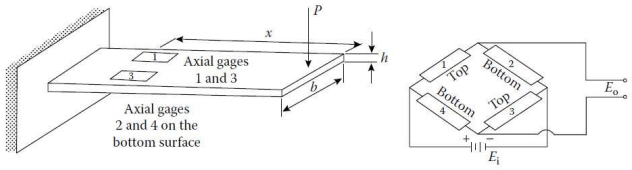
حسگرهای نیرو



www.sensorland.com

حسگرهای نیرو

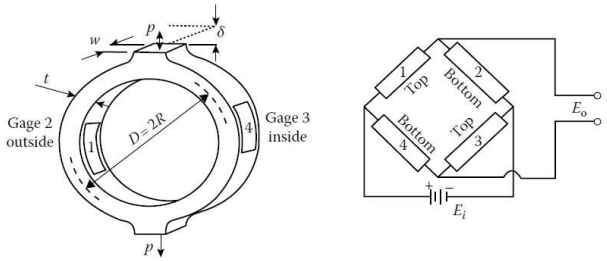
1. Strain-Gage Load Cell



Beam-Type Load Cell

حسگرهای نیرو

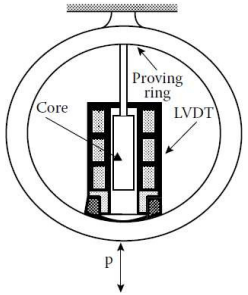
1. Strain-Gage Load Cell



Ring-Type Load Cell

حسگرهای نیرو

2. LDVT in Ring-Type Load Cell



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**

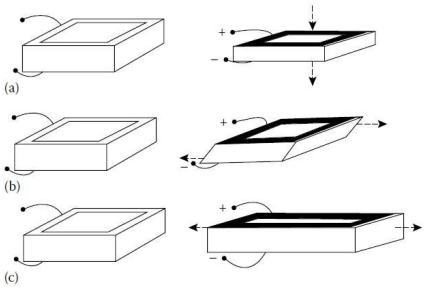
2. **Measuring the acceleration of a known mass**

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**

حسگرهای نیرو

3. Piezoelectric Methods



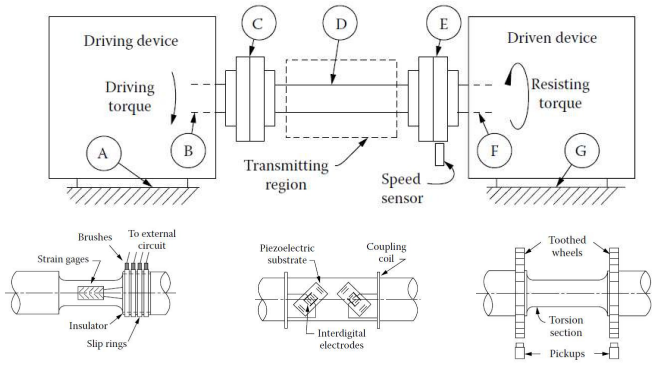
The magnitude and the polarity of the induced surface charges are proportional to the magnitude and direction of the applied force:

$$Q = dF$$

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

حسگرهای گشتاور

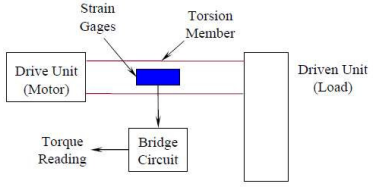
موقعیت قرارگیری حسگرهای اندازه گیری گشتاور:

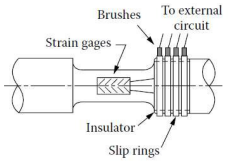


حسگرهای گشتاور

Common methods of torque sensing include the following:

1. Measuring strain in a sensing member between the drive element and the driven load, using a strain gage bridge.





For circular shaft the torque-strain relationship

$$\varepsilon = \frac{r}{2GJ}T$$

Also, the shear stress τ at a radius r of the shaft is given by

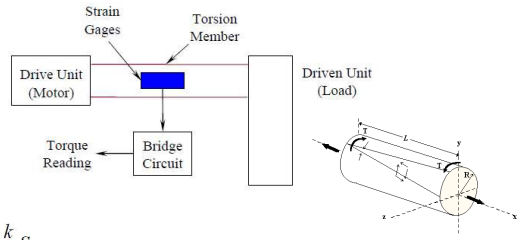
$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

T = torque transmitted through the member
ε = principal strain (45° to axis) at radius r of the member
J = polar moment of area of cross-section of the member
G = shear modulus of the material

$$J = \int_A r^2 dA$$

www.ubc.com

حسگرهای گشتاور



در حالت کلی

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

$$\varepsilon = \frac{r}{2GJ} T$$

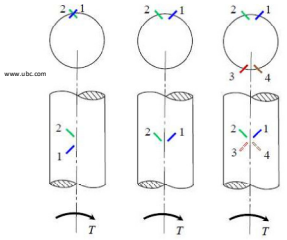
$$\frac{\delta v_o}{v_{ref}} = \frac{krTS_s}{8GJ} \Rightarrow T = \frac{8GJ}{krS_s} \frac{\delta v_o}{v_{ref}}$$

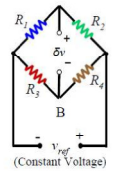
Strain gages are mounted on the shaft along the principle stress directions (45° to the shaft axis)

www.ubc.com

حسگرهای گشتاور

نحوه قرارگیری کرنش سنجها:



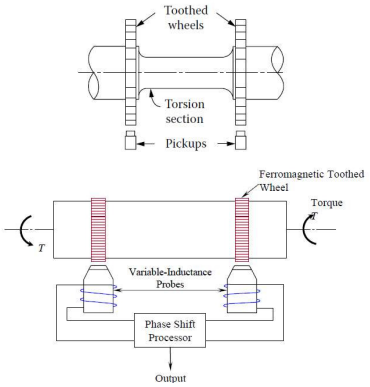


Bridge Constant (k):	2	2	4

حسگرهای گشتاور

Direct-Deflection Torque Sensor

- Direct measurement of the twist angle can be used to measure the torque
- Proximity probes produce pulse sequences as the shaft rotates
- The phase shift of the two signals determines the angular deflection which is a measure of the transmitted torque
- Both the magnitude and the direction of the torque can be measured

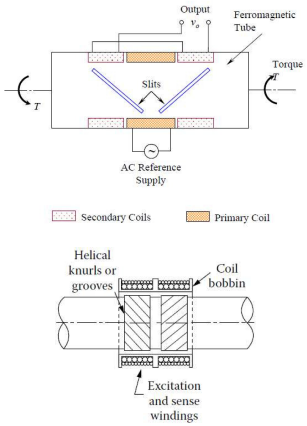


www.ubc.com

حسگرهای گشتاور

Variable Reluctance Torque Sensor

- This sensor operates like a differential transformer
- Torque sensing element is a ferromagnetic tube with two slits placed in the direction of principle stresses
- When a torque is applied one slit opens and other closes causing a change in reluctance
- Output voltage is a measure of the transmitted torque



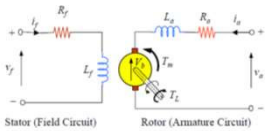
www.ubc.com

حسگرهای گشتاور

روشهای دیگر:

Motor Current Torque Sensors

۱- موتور DC:



$$T_m = ki_f i_a$$

i_f = field current

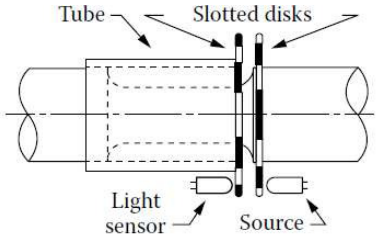
i_a = armature current

k = torque constant.

www.ubc.com

حسگرهای گشتاور

نمونه ای دیگر، برای اندازه گیری گشتاور با استفاده از زاویه پیچش :



حسگرهای گشتاور

روشهای دیگر:

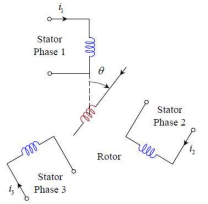
Motor Current Torque Sensors

۲- موتور AC:

$$T_m = ki_f\left[i_1 \sin\theta + i_2 \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + i_3 \sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right)\right]$$

$$i_1 = i_a \sin\omega t \qquad i_2 = i_a \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \qquad i_3 = i_a \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

$$T_m = 1.5ki_f i_a \cos(\theta - \omega t)$$



www.ubc.com

حسگرهای فشار

وسایل اندازه گیری فشار به دو دسته اصلی تقسیم می شوند:

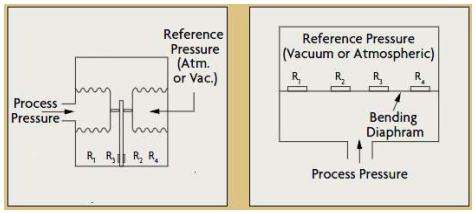
۱- وسایلی که فقط فشار را نمایش می دهند و خروجی الکتریکی ندارند. (فشارسنجهای عقربه ای)

۲- مبدلهایی که خروجی الکتریکی تولید می کنند. در این مبدلها تغییرات فشار به جابجایی و حرکت تبدیل شده و مقاومت یا خازن یا اندوکتانس یک مدار را تغییر می دهند. دیافراگم یا سایر وسایلی که خاصیت ارتجاعی دارند از مهمترین سنسورهای فشار به محسوب می شوند.

www.ubc.com

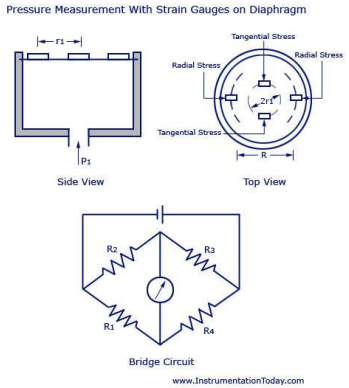
حسگرهای فشار

نوع کرنش سنج:



حسگرهای فشار

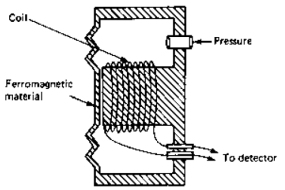
نوع کرنش سنج:



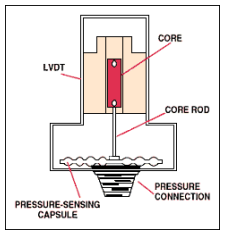
حسگرهای فشار

نوع رلوکتانسی (مقاومت مغناطیسی):

در اثر نزدیک شدن صفحه به سمت بوبین مقاومت مغناطیسی تغییر می کند (در نتیجه ضریب القا تغییر کرده) و به واسطه این تغییرات ولتاژی در خروجی ایجاد می شود.

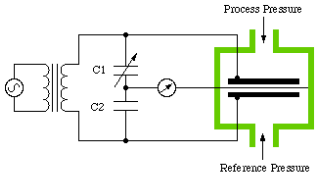


نوع LVDT:



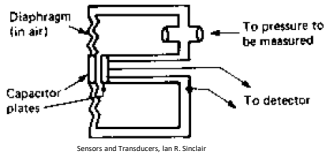
حسگرهای فشار

نوع خازنی:



Circuit 6. Schematic capacitive pressure sensor

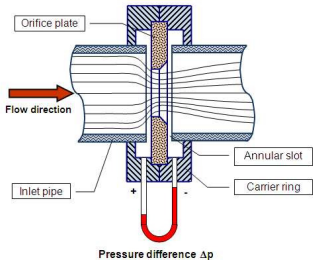
http://newton.ex.ac.uk/teaching/CDHW/Sensors/



حسگرهای اندازه گیری جریان

با استفاده از اختلاف فشار:

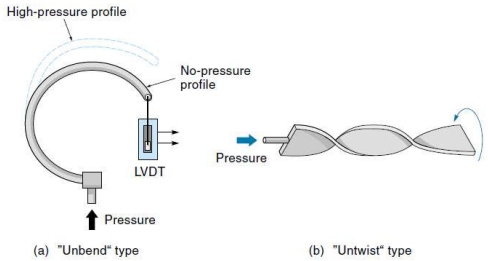
تنگ شدن مسیر سیال در اثر استفاده از اریفیس باعث اختلاف فشار بین دو طرف می شود که متناسب با جریان عبوری است.



http://en.wikipedia.org

حسگرهای فشار

نوع لوله بوردون (Bourdon-tube sensors)

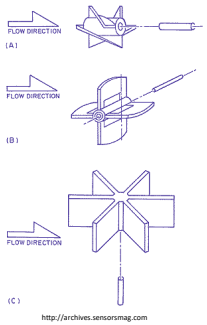


modern control technology, components and system-2nd ed.

حسگرهای اندازه گیری جریان

نوع پره ای:

توجه به تفاوت نوع توربینی و نوع پره ای (جهت عبور سیال و جهت شافت)



نوع توربینی

نوع پره ای

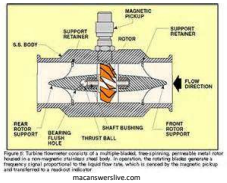
http://www.gemssensors.com

http://archives.sensorsmag.com

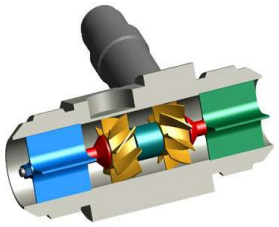
حسگرهای اندازه گیری جریان

نوع توربینی:

عبور جریان یک توربین را می چرخاند با استفاده از یک سنسور القایی مجاورتی از بیرون می توان پالسهایی را دریافت نمود که فرکانس آنها به سرعت جریان بستگی دارد.



macanswerslive.com

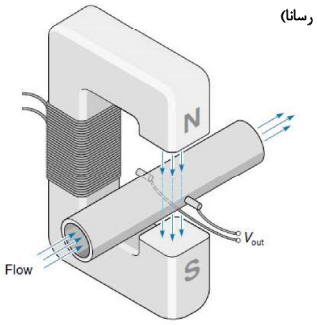


http://www.thermx.com/Exact_Flow/Exact_Flow_1.htm

حسگرهای اندازه گیری جریان

نوع مغناطیسی:

(نابل استفاده برای سیالات رسانا)

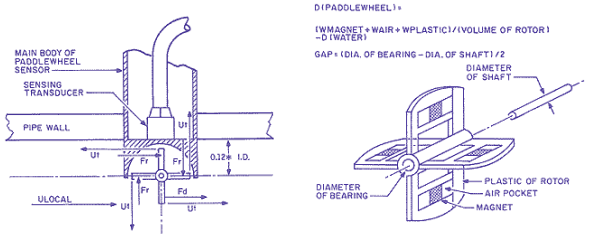


modern control technology, components and system-2nd ed.

حسگرهای اندازه گیری جریان

نوع پره ای:

عبور جریان یک پره را می چرخاند که منجر به تولید پالس می شود. هر چقدر جریان بیشتر باشد، فرکانس پالس بیشتر است.



http://archives.sensorsmag.com

حسگرهای اندازه گیری جریان

نوع کوریولیس:

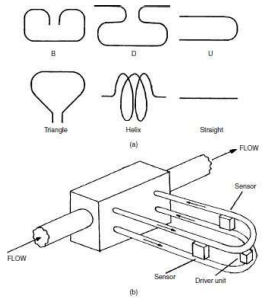
در این روش در مسیر عبور جریان دو لوله خمیده به شکل **U** یا شکلهای دیگر قرار می دهند (به عنوان نمونه از جنس استیل). خاصیت الاستیک دو لوله باعث می شود که بتوانند تا حدی جا به جا شوند. بین دو لوله یک لرزاننده مغناطیسی قرار دارد که هر دو لوله را به ارتعاش وا می دارد. سنسورهایی در سمت ورودی و خروجی روی لوله ها تعبیه شده اند.

www.offshore-technology.com

حسگرهای اندازه گیری جریان

نوع کوریولیس:

در این روش در مسیر عبور جریان دو لوله خمیده به شکل **U** یا شکلهای دیگر قرار می دهند (به عنوان نمونه از جنس استیل). خاصیت الاستیک دو لوله باعث می شود که بتوانند تا حدی جا به جا شوند. بین دو لوله یک لرزاننده مغناطیسی قرار دارد که هر دو لوله را به ارتعاش وا می دارد. سنسورهایی در سمت ورودی و خروجی روی لوله ها تعبیه شده اند.

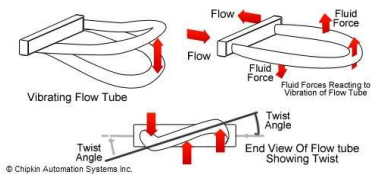


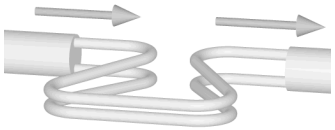
www.bestinnovativesource.com

حسگرهای اندازه گیری جریان

نوع کوریولیس:

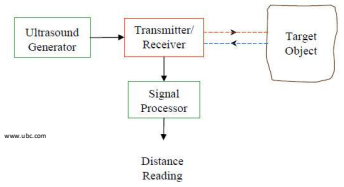
نحوه عملکرد



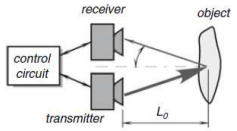


http://en.wikipedia.org

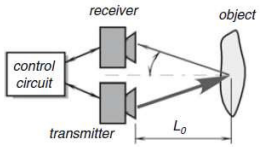
حسگرهای آلتراسونیک

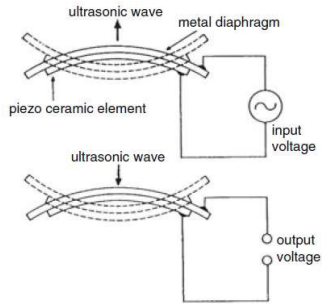


- امواج آلتراسونیک امواج فشاری شبیه صوت ولی با فرکانسی بالاتر از امواج قابل شنیدن هستند (40kHz, 75kHz, ~ 10MHz).
- این امواج با استفاده از پیزوالکتریکها یا مگنتوستریکتیو (مواد فرومغناطیس که در میدان مغناطیسی تغییر شکل می دهند) قابل تولید هستند.
- به طور معمول سنسورهای آلتراسونیک با ارسال یک پالس صوتی کوتاه در فرکانس فراصوت به سمت هدفی که این پالس را منعکس می کند و دریافت و شناسائی این امواج به شکل یک فرستنده و گیرنده عمل کرده و در مدلهائی که فاصله را محاسبه می کنند با اندازه گیری زمان ارسال و دریافت پالس می توانند به فاصله یاب تبدیل شوند .

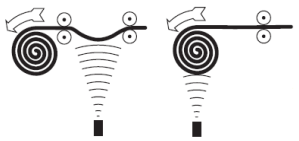


حسگرهای آلتراسونیک





حسگرهای آلتراسونیک

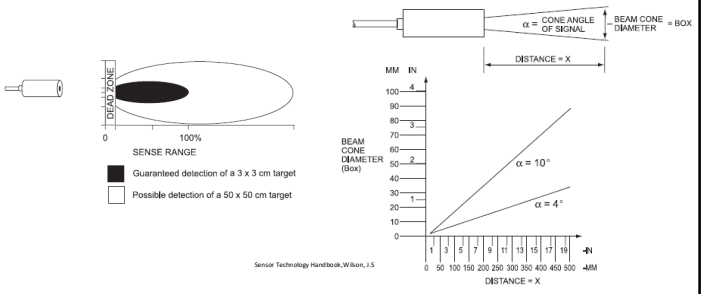


Sensor Technology Handbook, Wilson, J.S

- این سنسورها برای جایی که سایر سنسورها کارایی کمی دارند، مثل قطعات براق یا محیط مه آلود، همچنین برای جایی که نیاز به حس کردن فواصل زیاد باشد، کاربرد فراوانی دارد.
- نویزهای موجود در کارخانه اثری بر روی این سنسور ندارد زیرا فرکانس کاری این وسیله زیادتر از فرکانس صدای محیط است.
- کاربردهای این نوع سنسور:
  - صنایع کاغذی
  - صنایع غذایی
  - بسته بندی
  - ...
- سنسورهای آلتراسونیک دارای دقتی برابر ۱ میلیمتر در قلمرو ۱۰۰ تا ۶۰۰۰ میلیمتر است.

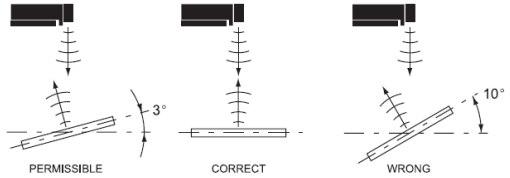
حسگرهای آلتراسونیک

- سنسورهای آلتراسونیک دارای یک ناحیه مرده هستند که در آن ناحیه قادر به تشخیص قطعه نیستند. علت این امر به زمانی بر می گردد که سنسور هنوز در حال ارسال موج است و موج برگشتی به سنسور می رسد.
- ماکزیمم فاصله اندازه گیری به صورت تجربی به دست می آید

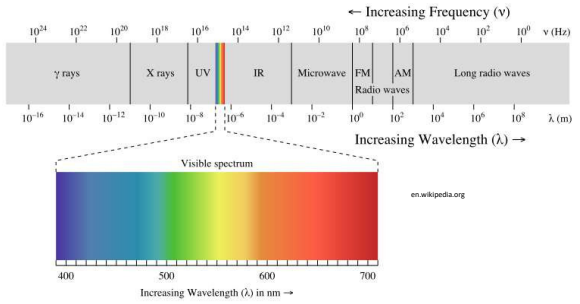


حسگرهای آلتراسونیک

- زاویه سطح قطعه نسبت به محور موج بر روی عملکرد سنسور اثر می گذارد. این زاویه برای قطعات دور تا سه درجه و برای قطعات نزدیک تا ۸ درجه مشکلی ایجاد نمی کند. برای شیب بیشتر از ۱۲ درجه تمام موج ارسالی منحرف شده و سنسور عمل نمی کند.



یادآوری



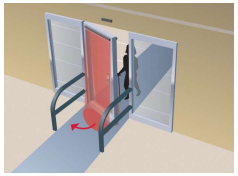
حسگرهای تشخیص حرکت

این سنسورها در سه نوع عرضه می شوند:

Passive infrared (passive)
Senses body heat. No energy is emitted from the sensor.

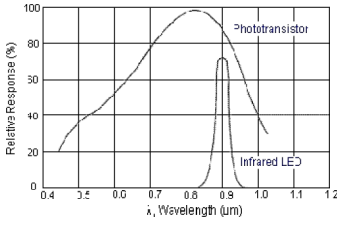
Ultrasonic (active)
Sends out pulses of ultrasonic waves and measures the reflection off a moving object.

Microwave (active)
Sensor sends out microwave pulses and measures the reflection off a moving object. Similar to a police radar gun.

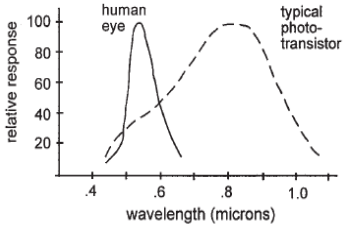


حسگرهای نوری

نور مادون قرمز از متداولتری منابع نور در این سنسورها است.



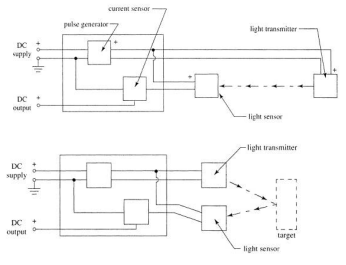
http://www.cs4gun.info/theory/phototransistors.htm

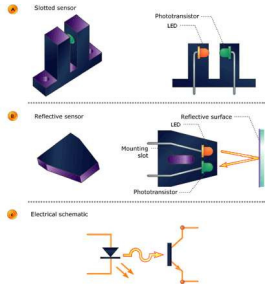


http://calipsooutreach.hamptonu.edu/

حسگرهای نوری

این دسته از سنسورها تقریباً هم قیمت با سنسورهای خازنی هستند و به دلیل قدمت و کوچکی پرکاربرد می باشند. هر سنسور نوری، معمولا دارای یک منبع نور و یک سنسور برای دریافت نور است. وجود منبع نور به این دلیل ضرورت دارد که نور را با فرکانسی مناسب (فرکانس قطع و وصل نور) برای تحریک سنسور دریافت کننده ارسال کند تا با نور منابع دیگر اشتباه نشود.

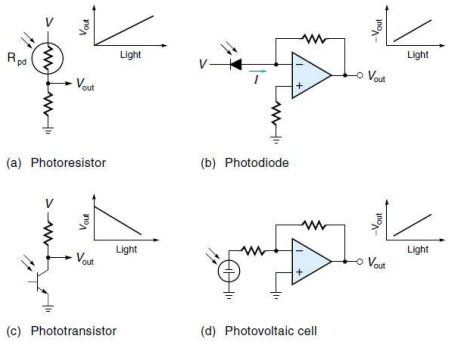




http://www.pc-control.co.uk/Optical.htm

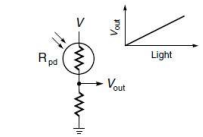
حسگرهای نوری

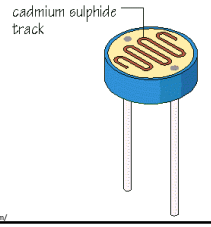
از ۴ المان زیر به عنوان تشخیص دهنده نور استفاده می شود:

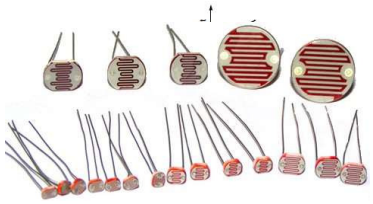


modern control technology, components and system-2nd ed.

حسگرهای نوری



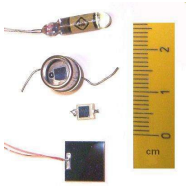


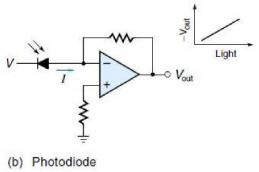


مقاومت المان با تابش نور کاهش می یابد.

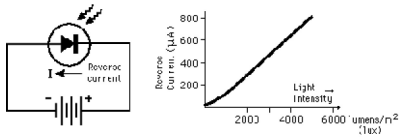
http://www.societyofrobots.com/

حسگرهای نوری





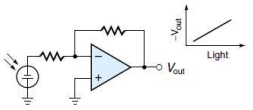
(b) Photodiode



modern control technology, components and system-2nd ed.

حسگرهای نوری

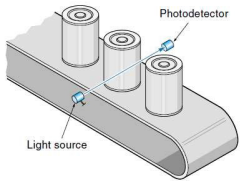
Photovoltaics (**PV**) is a method of generating electrical power by converting solar radiation into direct current electricity using semiconductors that exhibit the photovoltaic effect.



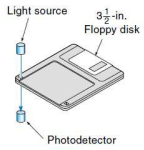
Photovoltaic cell

حسگرهای نوری

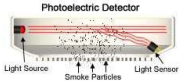
نمونه ای از کاربردها:



(a) Counting cans on a conveyor belt



(b) Detecting "read only" hole in a floppy disk

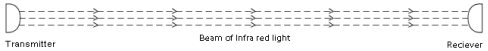


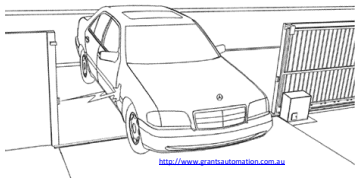
http://www.osha.gov

modern control technology, components and system-2nd ed.

حسگرهای نوری

نمونه ای از کاربردها:

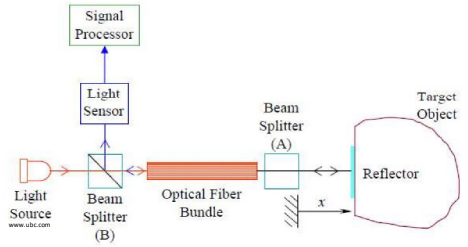




http://www.grantsautomation.com.au

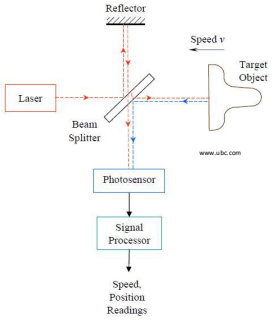
حسگرهای لیزری

در برخی از سنسورهای لیزری (نوع دوم) بر اساس زمان رفت و برگشت پالس ارسالی، فاصله هدف را تشخیص می دهند. انرژی لیزر در بازه های سریع و به صورت وقفه های متوالی و کوتاه زمانی به سمت هدف ساطع می شود. با اندازه گیری زمان رفت و برگشت موج از طریق پالسهای بازتابش شده از سطح هدف به اندازه گیری فاصله بر اساس سرعت نور می پردازد.



حسگرهای لیزری

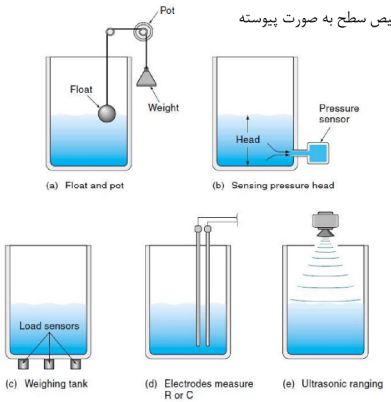
سنسورهای لیزری از پرتو نور لیزر جهت تشخیص جسم و یا حتی فاصله دقیق آن استفاده می کند. از سنسورهای لیزری در بسیاری از موارد که فاصله قابل توجه بین سنسور و جسم به همراه گرد و غبار و یا شرایط بد محیطی وجود دارد می توان استفاده نمود .



سنسورهای لیزری به دو صورت عمل می کنند؛ در نوع اول که در شکل مشخص است، بر اساس تداخل سنجی و بنابر گره ها و شکم های ایجاد شده حاصل از تداخل پرتوهای رفت و برگشت، میزان حرکت جسم مشخص می گردد.
میزان حرکت با شمارش فرینجها (نوارهای تیره و روشن که همان گره ها و شکمهای حاصل از تداخل دو پرتو مرجع و پرتو بازگشتی از هدف می باشد.) تشکیل می شود.

حسگرهای تشخیص سطح مایع

الف) سنسورهای نشخیص سطح به صورت پیوسته



حسگرهای تشخیص سطح مایع

الف) سنسورهای تشخیص سطح به صورت گسسته