آشنایی با سنسور ها

ابزار دقیق پیشرفته الکترونیکی

نیمسال دوم ۹۶-۹۷

طبقه بندی سنسور ها

- انواع سنسوراز نظر پارامتر اندازه گیری
  - جابجایی
  - شتاب
  - نیرو و فشار
  - نور (تابش)
  - دما
  - تشخیص مواد شیمیایی
  - زیستی

- طبقه بندی از نظر فرایند های ساخت
  - MEMS
  - Thickfilm
  - Thinfilm
  - Semiconductor
  - Other

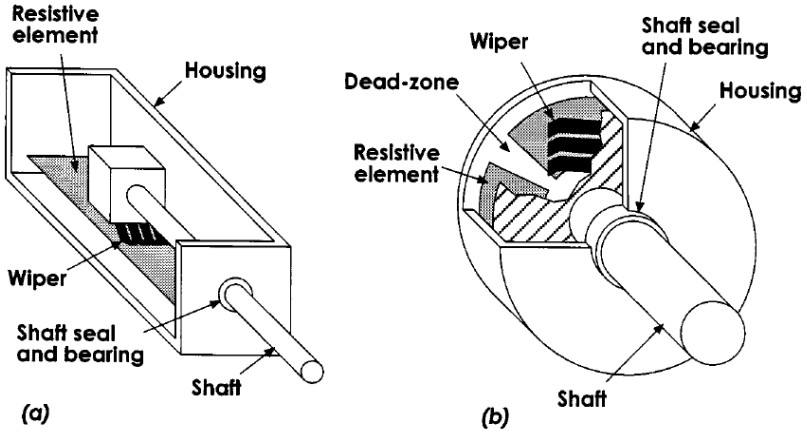
طبقه بندی سنسور ها

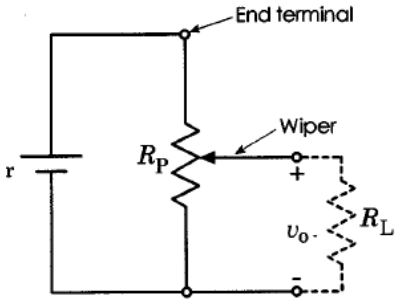
- طبقه بندی سنسور ها از نظر سیگنال خروجی
  - ولتاژ
  - جریان
  - خازنی
  - القائی
  - امپدانسی
  - فرکانس و زمان

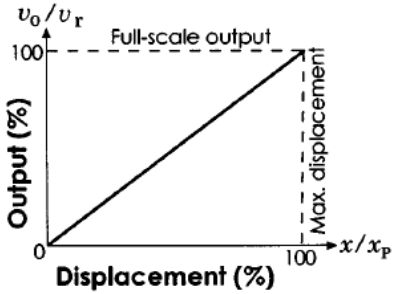
سنسور جابجایی

- مقاومتی
- القایی
- خازنی
- مغناطیسی
- پالسی
- اولتراسونیک

سنسور جابجایی مقاومتی

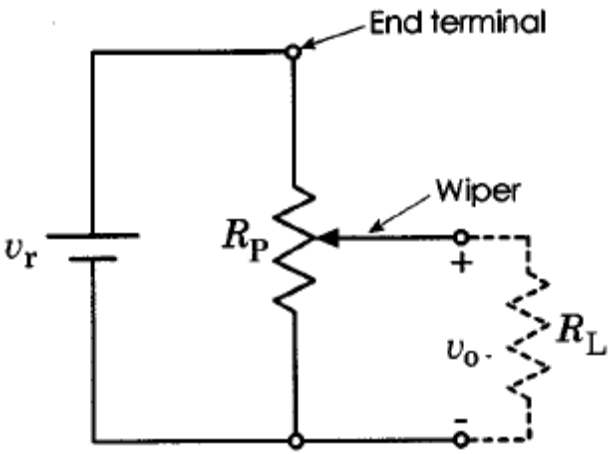






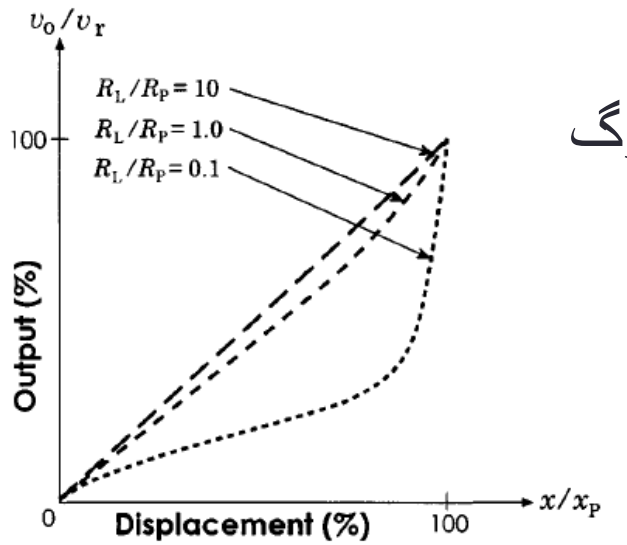
- مقاومتی: بر پایه پتانسیومتر
  - خطی و دوار
- تولید ولتاژ خروجی متناسب با جابجایی
- مزایا
  - قیمت پایین
  - کار بری آسان: عدم نیاز به مدار الکترونیک پیچیده-خروجی ولتاژ
  - عمر مفید مناسب: بیش از $۱۰^۶$ سیکل
  - حساسیت پایین به دما
  - خطی بودن: ۱% تا ۰٫۱%
  - خروجی یکنوا و پیوسته
  - دامنه حرکت: mm تا cm
- معایب
  - اصطکاک و بار گذاری
  - سرعت عملکرد پایین
  - نیاز به محافظت از آلودگی و گرد وخاک
  - محدودیت نویز (فلیکر و حرارتی)

سنسور جابجایی مقاومتی: اثر بارالکتریکی



- حساسیت خطی بودن سنسور به مقاومت بار
- کاهش مقاومت بار: کاهش خطی بودن

$$\frac{v_o}{v_r} = \frac{(x/x_P)(R_L/R_P)}{(R_L/R_P)+(x/x_P)-(x/x_P)^2}$$



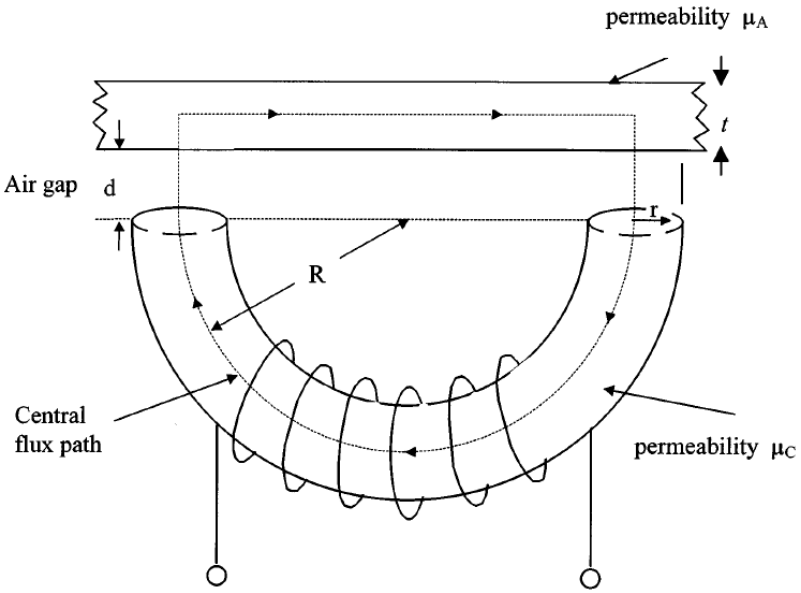
- استفاده از بافر ولتاژ مناسب با مقاومت ورودی بزرگ

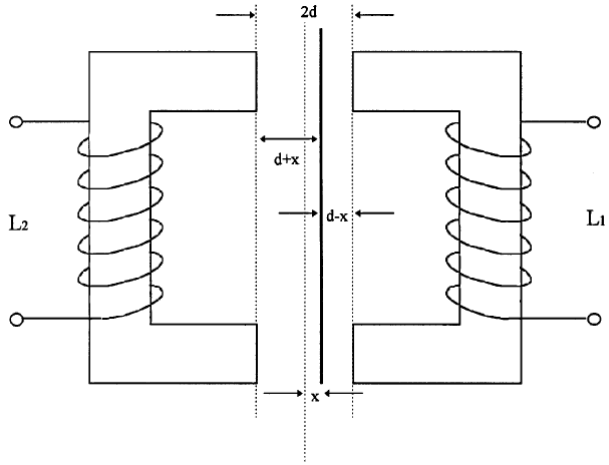
سنسور های جابجایی القایی

- سنسور های مبتنی بر تغییر رلوکتانس
- سنسور LVDT (Linear variable differential transformer) و RVDT
- سنسور های مجاورتی القایی

- غیر تماسی: عدم جود اصطکاک و جرم اندک
- عمر مفید طولانی
- سرعت پاسخ بالا
- امکان غیرخطی شدن پاسخ در محدوده جابجایی بزرگ
- نیاز به مدار مبدل پیچیده
- حساسیت به میدان مغناطیسی خارجی

سنسورهای جابجایی القایی: تغییر رلوکتانس





- سنسور های مبتنی بر تغییر رلوکتانس
  - تغییر فاصله هوایی ← تغییر رلوکتانس کل

$$\Re_T = R/\mu_C \mu_0 r^2 + 2d/\mu_0 \pi r^2 + R/\mu_A \mu_0 rt$$

$$\Re_T = \Re_0 + kd$$

- تغییر رلوکتانس ← تغییر اندوکتانس کویل

$$L = n^2/(\Re_0 + kd) = L_0/(1+\alpha d)$$

$$\alpha = k/\Re_0$$

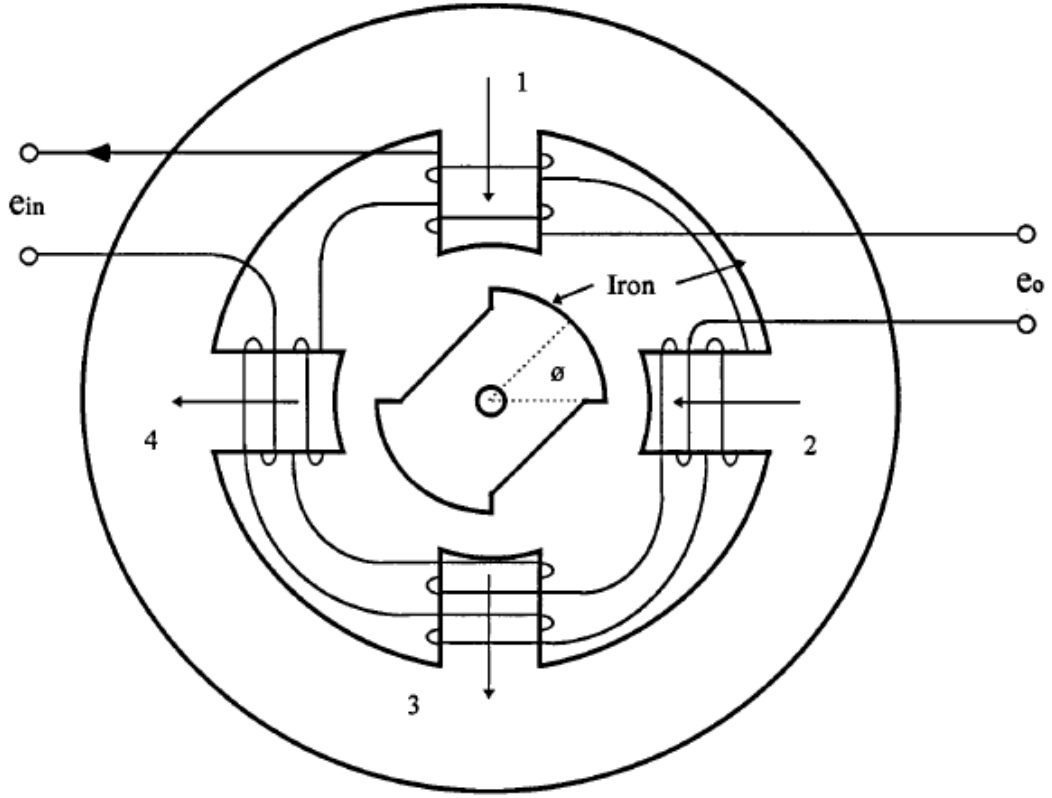
- کاهش غیر خطی بودن ← سیستم تفاضلی و استفاده از پل

$$L_1 = L_{01}/[1+\alpha(d-x)]$$

$$L_2 = L_{02}/[1+\alpha(d+x)]$$

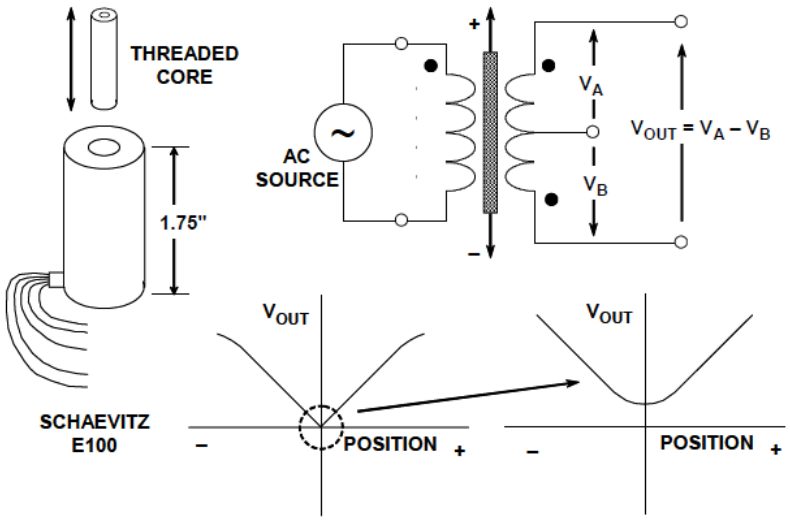
سنسورهای جابجایی القایی: تغییر رلوکتانس

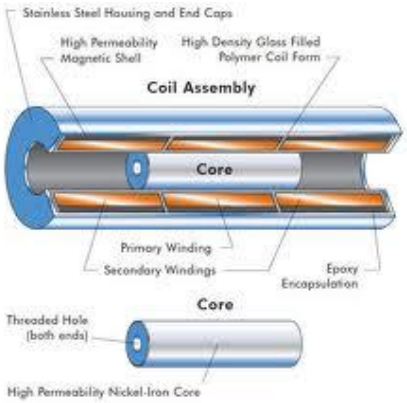
- سنسور های مبتنی بر تغییر رلوکتانس: دوار
- اندازه گیری زاویه چرخش
- Microsyn



سنسورهای جابجایی LVDT

- LVTD: Linear variable differential transformer





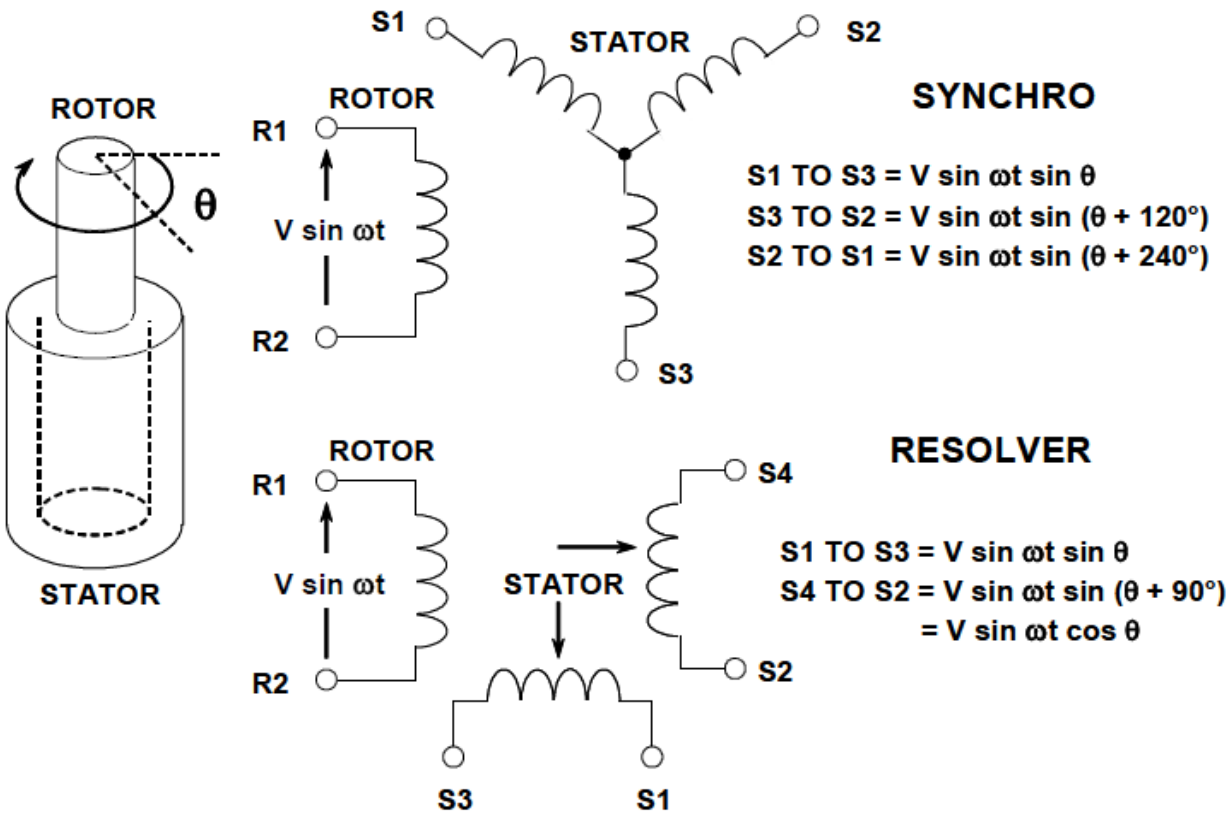
- مبتنی بر ترانسفورماتور با هسته متحرک
- یک کویل ورودی (تحریک)
- دو کویل خروجی
  - تعداد دور کاملا یکسان
  - کاملا متقارن نسبت به مرکز
  - جهت پیچش مخالف
- فرکانس تحریک: چند کیلو هرتز
- اندازه خروجی: متناسب با جابجایی
- فاز: جهت جابجایی

سنسورهای جابجایی LVDT

Parameter	E 100	E 200	E 300
Stroke range	±0.1 [±2.54]	±0.2 [±5.08]	±0.3 [±7.62]
Sensitivity, V/V/inch	2.40	1.57	1.20
Sensitivity, mV/V/mm	94.5	61.8	47.2
Output at stroke ends (*)	240mV/V	314mV/V	360mV/V
Non-linearity (maximum)	±0.5% of FR	±0.5% of FR	±0.5% of FR
Phase shift	-3°	-5°	-8.5°
Input impedance (PRI)	660Ω	970Ω	960Ω
Output impedance (SEC)	960Ω	1010Ω	1005Ω
Input voltage & frequency	3 VRMS @ 50Hz to 10kHz, sine wave		
Test input frequency	2.5kHz		
Null voltage (maximum)	0.5% of FRO		

- مزایا
  - عمر مفید بسیار زیاد
  - عدم وجود اصطکاک
  - پیوستگی ولتاژ خروجی
  - دقت و خطی بودن زیاد: تا ۰٫۱%
  - عدم وجود نویز الکترونیکی فرکانس پایین
- معایب
  - خروجی AC
  - نیاز به تشخیص فاز
  - نیاز به مدار مبدل پیچیده
  - قیمت نسبتا زیاد (نسبت به سنسور مقاومتی)

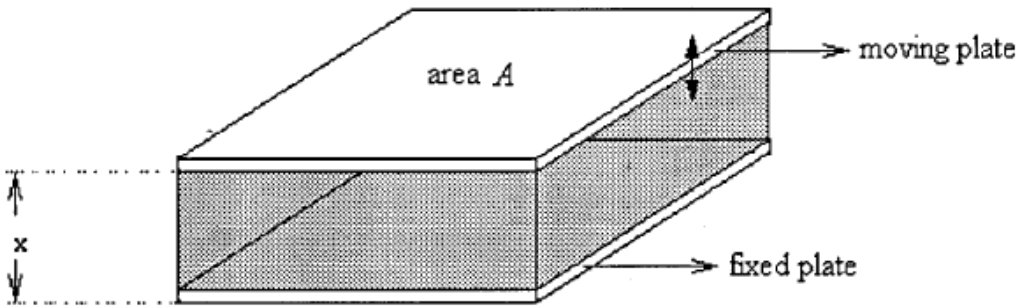
سنسور های جابجایی زاویه ای Synchro و Resolver



- تغییر فاز ولتاژ های خروجی با چرخش روتور
- تحریک AC
- Synchro: سه کویل با زاویه ۱۲۰ درجه
  - قیمت بالاتر
  - کاربرد در صنایع هوایی
- Resolver: دو کویل با زاویه ۹۰ درجه
  - قیمت پایین تر

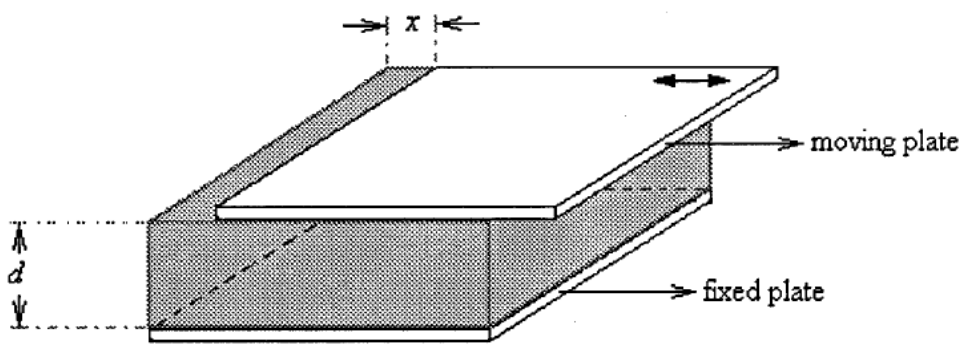
سنسورهای جابجایی خازنی

- ؟



- تغییر فاصله صفحات
- دی الکتریک هوا
- (غیر خطی)

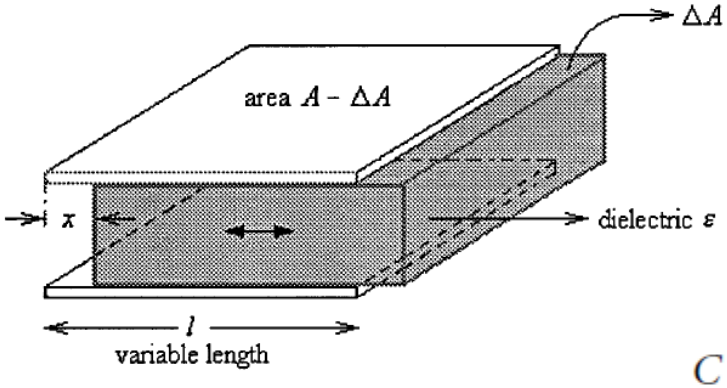
$$C(x) = \varepsilon A / x = \varepsilon_r \varepsilon_0 A / x$$



- حرکت افقی (نسبی) صفحات
- دی الکتریک هوا
- نسبتا خطی
- معمولا بصورت دوار ساخته می شود

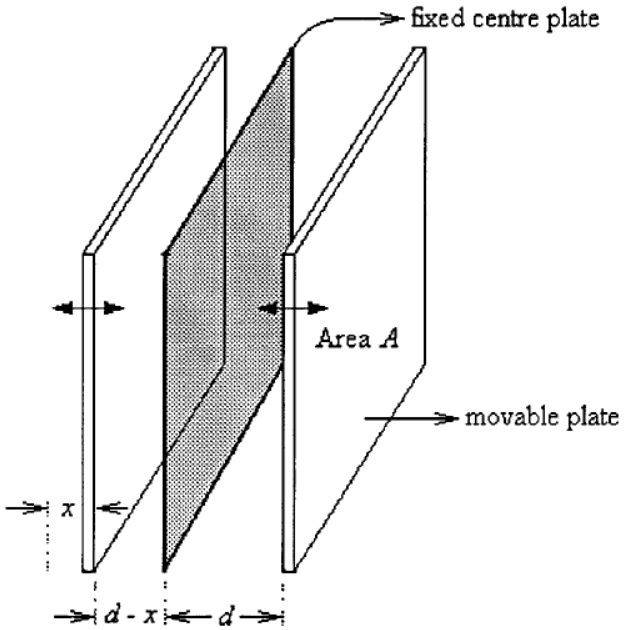
$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 (A - wx) / d$$

سنسورهای جابجایی خازنی



- توپولوژی های متفاوت:
  - تغیر مکان دی الکتریک
  - نسبتا خطی
  - معمولا مورد استفاده برای اندازه گیری سطح مایع

$$C=\varepsilon_0\, w\left[\varepsilon_2 l-\left(\varepsilon_2-\varepsilon_1\right)x\right]$$



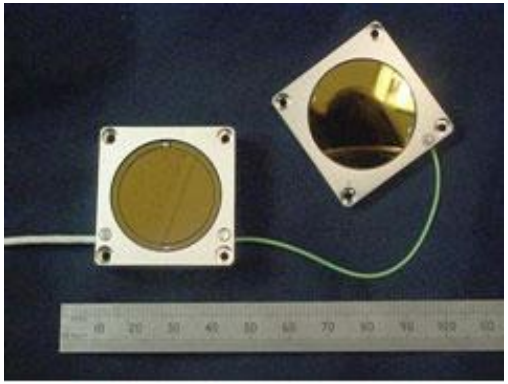
- جابجایی صفحه میانی
- تفاضلی

$$\delta C/C=\delta d/d$$

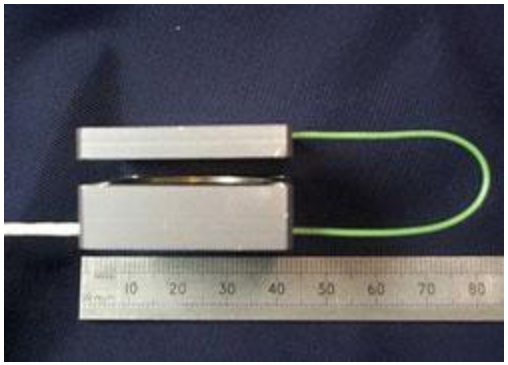
$$2\delta C=C_1-C_2=\varepsilon_r\varepsilon_0 lw/\left(d-\delta d\right)-\varepsilon_r\varepsilon_0 lw/\left(d+\delta d\right)=2\varepsilon_r\varepsilon_0 lw\delta d/\left(d^2+\delta d^2\right)$$

$$C_1+C_2=2C=\varepsilon_r\varepsilon_0 lw/\left(d-\delta d\right)+\varepsilon_r\varepsilon_0 lw/\left(d+\delta d\right)=2\varepsilon_r\varepsilon_0 lwd/\left(d^2+\delta d^2\right)$$

سنسورهای جابجایی خازنی

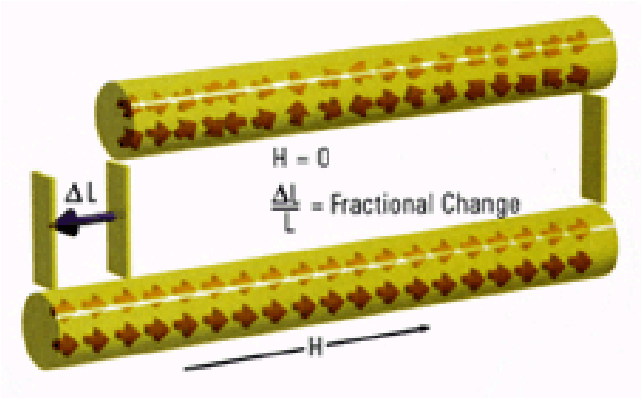


- مزایا
  - دوام زیاد ← کاربرد های صنعتی
  - قابلیت دقت بسیار بالا
  - قیمت پایین
  - قابلیت استفاده در ترانسدیوسر های نیرو و فشار

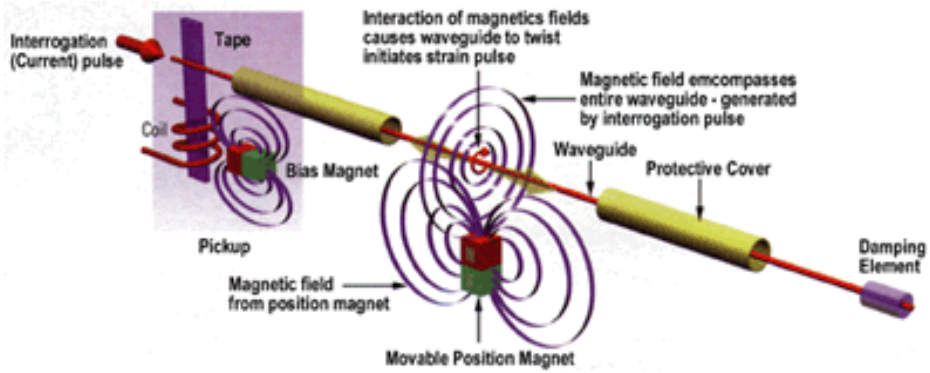


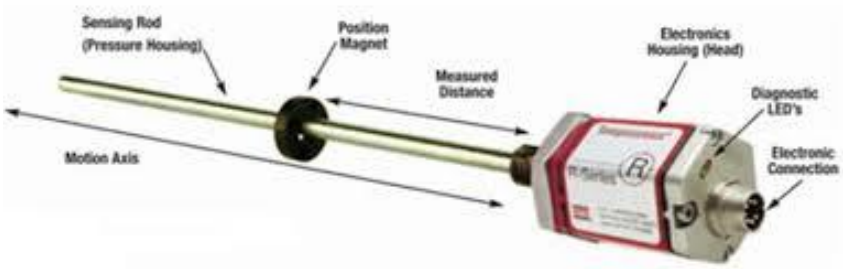
- معایب
  - سیگنال خروجی ضعیف
  - مدار واسط نسبتا پیچیده
  - عدم کاربرد در فواصل و جابجایی طولانی (بیش از چند cm)

سنسورهای جابجایی مغناطیسی (Magnetostrictive)

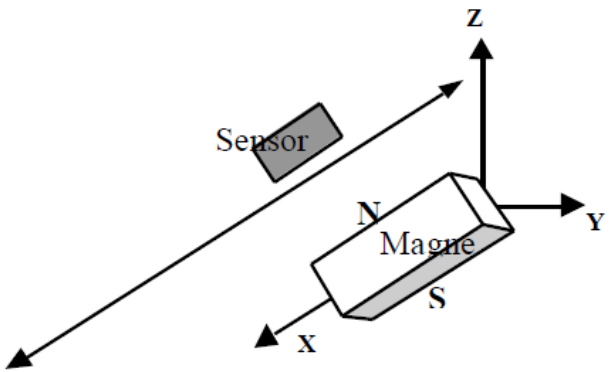


- اصول کار:
- MagneoStriction: تغییر جزئی ابعاد مواد فرومگنتیک (آهن، نیکل،..) در معرض میدان مغناطیسی
  - عناصر اصلی:
    - موجبر فرومگنتیک
    - مگنت متغیر (جابجائی)
    - کویل تولید کننده موج اکوستیک
    - دمپر انتهای موجبر
    - مدار الکترونیک
- اندازه گیری جابجائی از روی طول زمان رفت و برگشت پالس آکوستیک

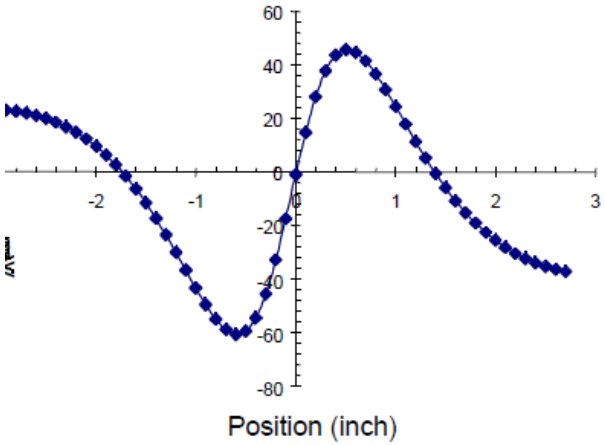


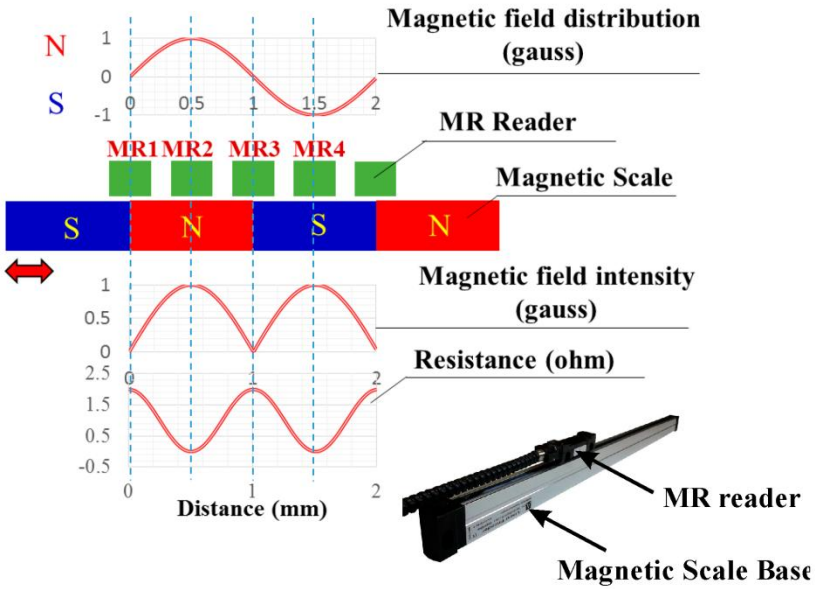


سنسورهای جابجایی مغناطیسی (Magnetoresistive)



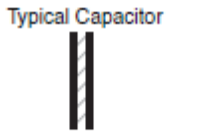
- اصول کار:
- Magneoresistance: تغییر مقاومت الکتریکی برخی مواد در معرض میدان مغناطیسی
  - حدود ۲% تغییر در مواد فرومگنتیک
  - بیش از ۵۰% در ساختارهای لایه ای (tinfilm) از مواد مغناطیسی
- تغییر فاصله -> تغییر میدان مغناطیسی -> تغییر مقاومت

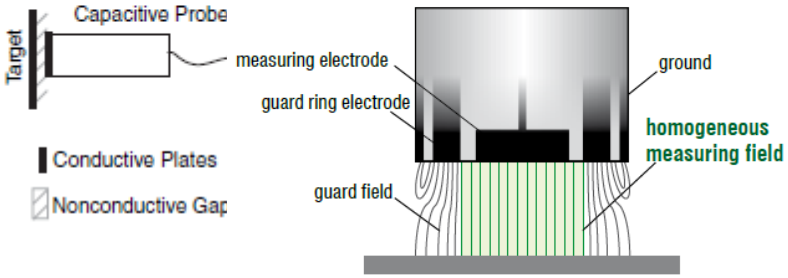




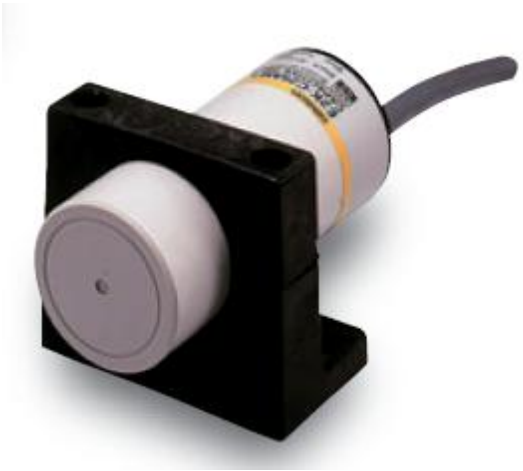
سنسورهای مجاورتی

- تعیین فاصله سنسور از یک جسم یا سطح
- خازنی، القایی، مافوق صوت، مغناطیسی،...

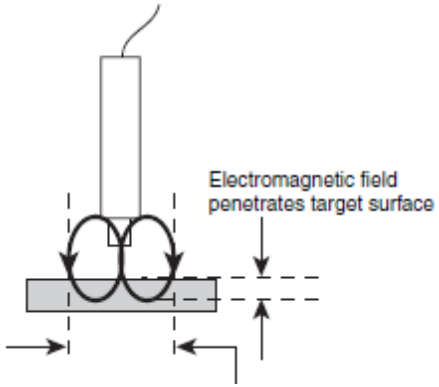




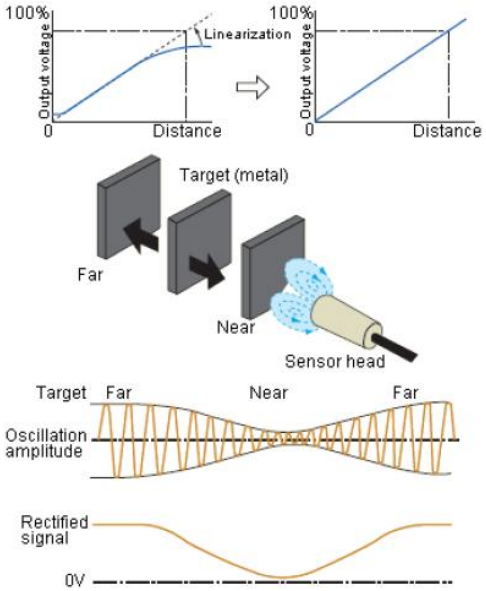
- سنسور مجاورتی خازنی:
  - تغییر ظرفیت خازنی در مجاورت صفحه رسانا رسانا
    - دقت بالا (تا حد زیر میکرومتر)
    - عدم حساسیت به جنس رسانا
    - حساسیت به وجود گرد و غبار و ... در فاصله
    - سرعت زیاد
    - فاصله تشخیص کم (حداکثر چند cm)
  - کاربرد گسترده صنعتی



سنسورهای مجاورتی

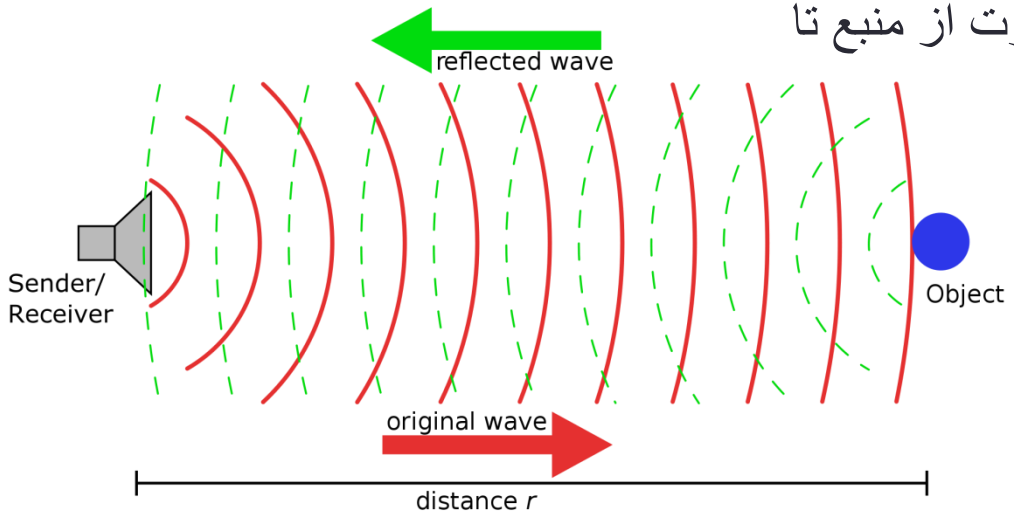


- سنسور مجاورتی القایی
  - تغییر اندوکتانس سلف در مجاورت صفحه رسانا (اثر جریان های گردابی)
    - دقت بالا (تا حد زیر میکرومتر)
    - حساسیت به جنس رسانا
    - عدم حساسیت ب گرد و غبار و ... در فاصله
    - سرعت زیاد
    - فاصله تشخیص کم و متوسط (حداکثر چند cm)
    - تغیر در دامنه و فاز خروجی
  - کاربرد گسترده صنعتی در محیط های غیر تمیز



سنسورهای مجاورتی

- سنسور مجاورتی التراسوند
  - اندازه گیری زمان رفت و برگشت صوت از منبع تا مانع
    - دقت کم
    - عدم حساسیت به جنس مانع
    - فاصله تشخیص زیاد (تا چند متر)
    - حساسیت به دمای محیط
  - کاربرد در خودرو ها

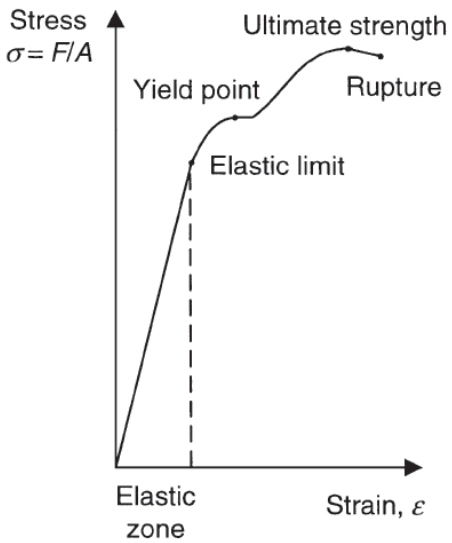


سنسورهای نیرو، فشار و شتاب

- اکثر سنسورهای شتاب و فشار نیز برپایه اندازه گیری نیرو کار می کنند
  - $p = \frac{F}{A}$ $\quad a = \frac{F}{m}$
- اندازه گیری نیرو و فشار:
  - سنسور های خازنی
  - سنسور های مقاومتی
  - سنسور های پیزو الکتریک
  - سنسورهای ترکیبی

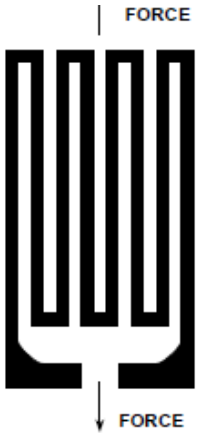
سنسورهای نیرو مقاومتی

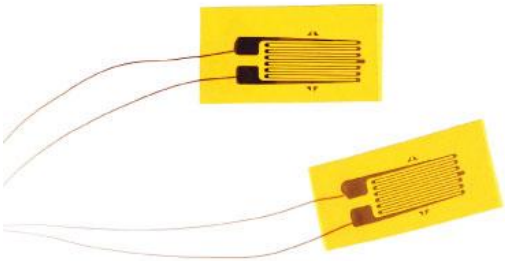
- سنسور Strain Gage
  - تغییر مقاومت الکتریکی رسانا و نیمه رسانا در برابر کشش و تنش



- نوع فیلم فلزی (Metal film or Foil Film)
  - حساسیت کم
  - دقت بالا
- نوع نیمه رسانا
  - حساسیت بالا
  - دقت کم

PARAMETER	METAL STRAIN GAGE	SEMICONDUCTOR STRAIN GAGE
Measurement Range	0.1 to 40,000 με	0.001 to 3000 με
Gage Factor	2.0 to 4.5	50 to 200
Resistance, Ω	120, 350, 600, ..., 5000	1000 to 5000
Resistance Tolerance	0.1% to 0.2%	1% to 2%
Size, mm	0.4 to 150 Standard: 3 to 6	1 to 5



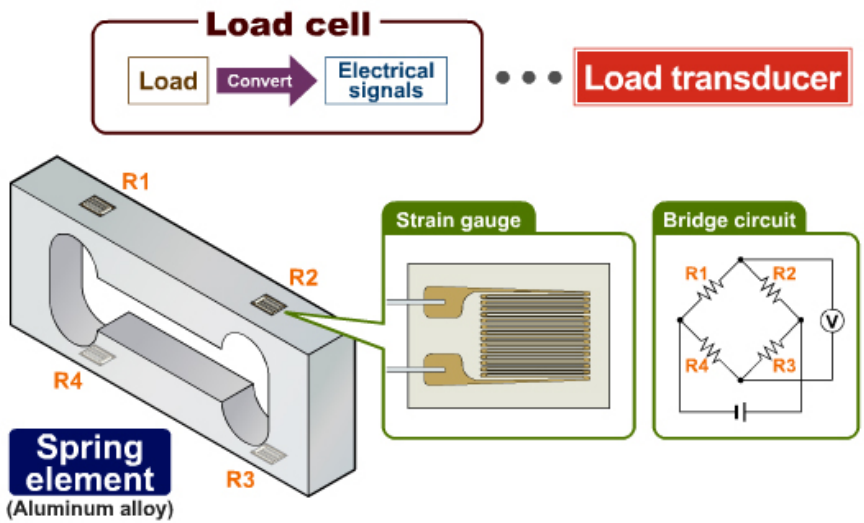


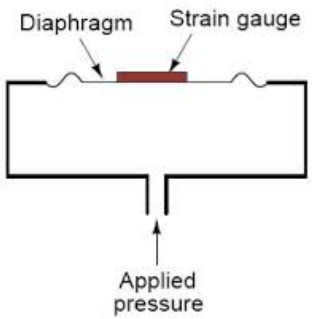
$$\Delta R/R = GF \cdot \Delta L/L$$

GF = Gage factor

$\Delta L/L$ *microstrains*

سنسورهای نیرو مقاومتی

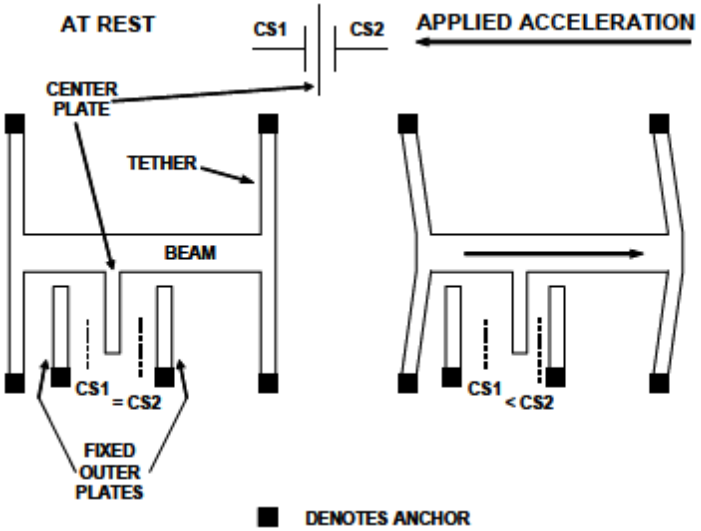


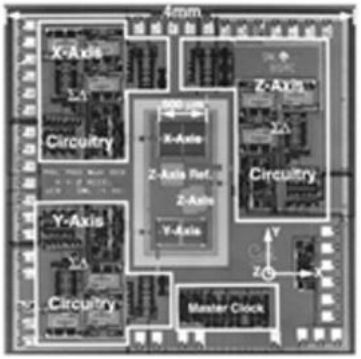


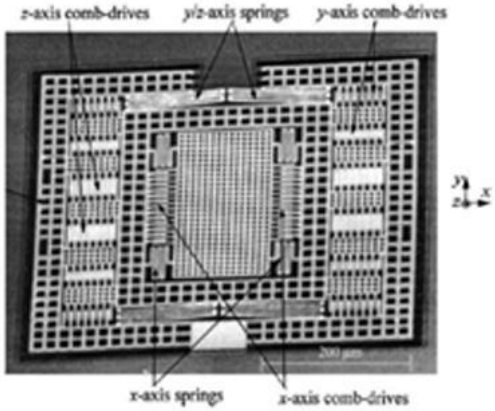
- کاربرد های Strain Gage
- لود سل (Load Cell)
  - اندازه گیری نیرو و وزن
- فشار سنج
  - تبدیل فشار به نیرو
- کاربرد معمولا به شکل پل وتستون
  - کاهش حساسیت به دما، ولتاژ، تلرانس ساخت
  - قابلیت اندازه گیری نیرو در یک جهت

سنسورهای نیرو و شتاب خازنی

- سنسورشتاب و نیرو بر پایه MEMS
  - اندازه گیری شتاب، نیرو، فشار، زاویه، لرزش
  - حساسیت از فرکانس پایین تا فرکانس بالا
  - دامنه اندازه گیری شتاب گسترده
  - امکان اندازه گیری شتاب و نیرو بصورت سه بعدی

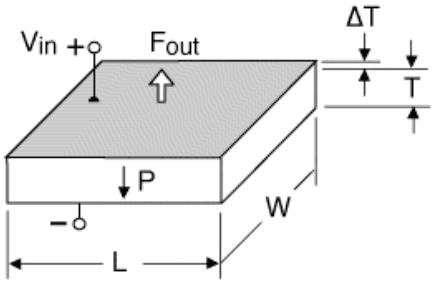






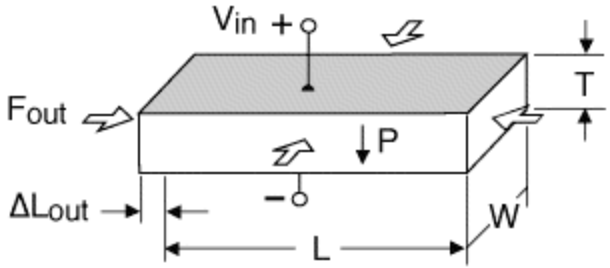
سنسورهای پیزوالکتریک

- سنسورشتاب و نیرو و فشار بر پایه اثر پیزوالکتریک
- اثر پیزو الکتریک: ایجاد پتانسیل (میدان-بار) دو سر ماده پیزوالکتریک با تغییر شکل ماده ناشی ازفشار
  - ایجاد تغییر شکل در ماده ناشی از اعمال ولتاژ
- ماده پیزو: کریستال، سرامیک یا پلیمر، قابلیت ساخت بصورت thinfilm
  - E میدان الکتریکی، T استرس، D شارالکتریکی، ϵ^T گذردهی الکتریکی در استرس ثابت



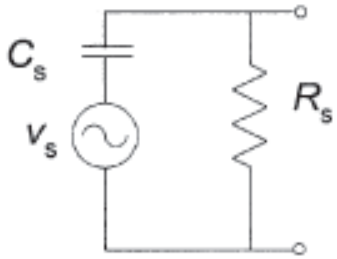
$$E = \frac{D}{\epsilon^T} - \frac{Td}{\epsilon^T} = \frac{D}{\epsilon^T} - gT$$

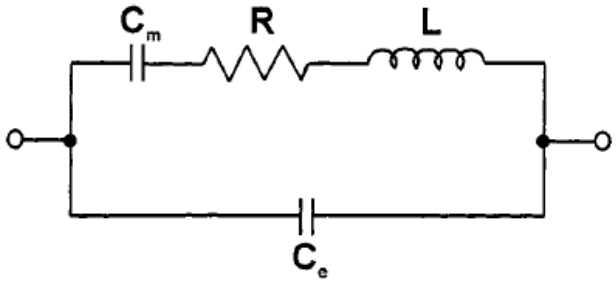
- قیمت ارزان و دقت بالا
- توانایی اندازه گیری نیرو و شتاب زیاد
- مقاومت خروجی زیاد

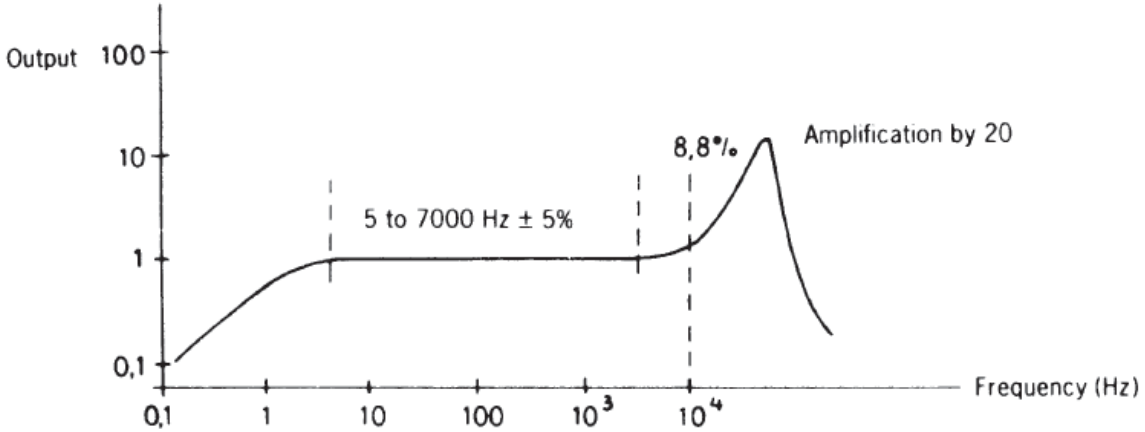


سنسورهای پیزوالکتریک

- مشکلات:
- پاسخ فرکانسی محدود
- مقاومت خروجی محدود: عدم وجود پاسخ DC
- رزونانس مکانیکی: محدودیت پاسخ فرکانس بالا
- حساسیت به دما

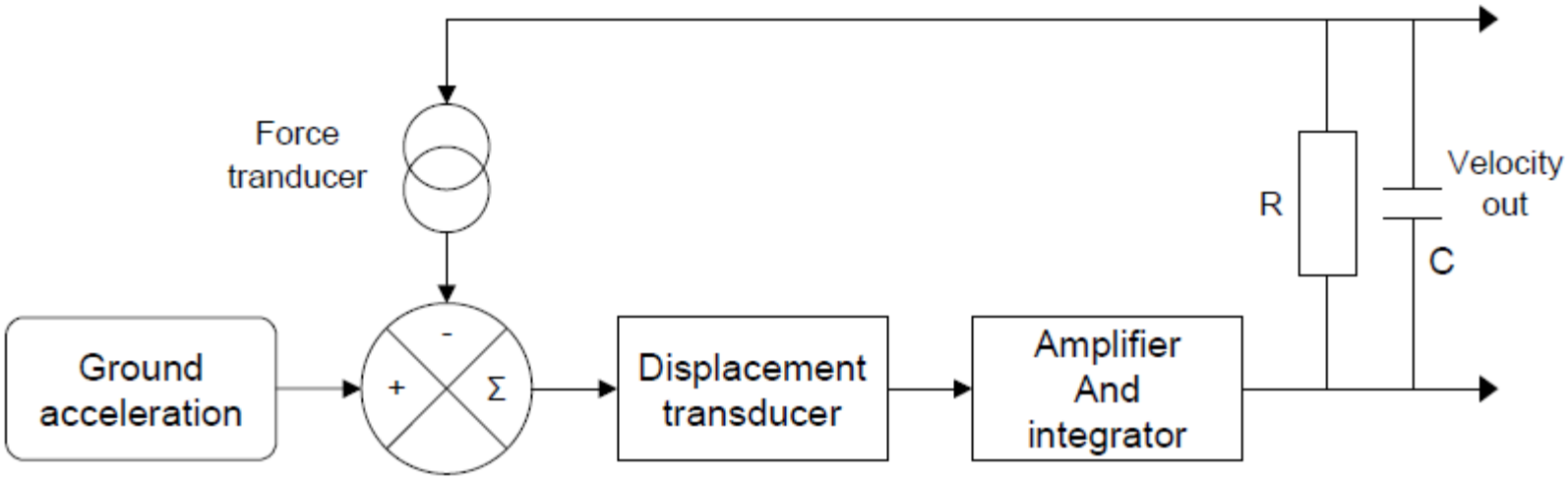






سنسور ترکیبی

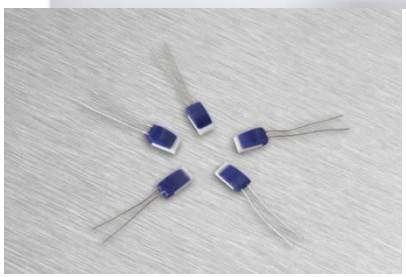
- نمونه: سنسور شتاب با ترکیب سنسور حرکت و تراسدیوسر نیرو:
  - لرزه سنج



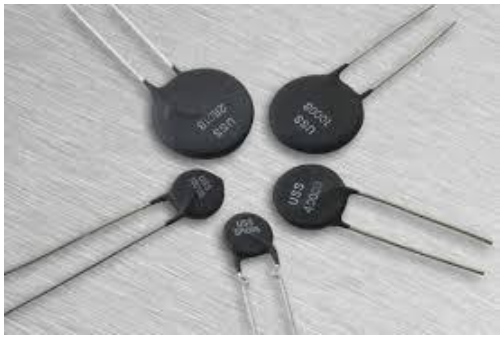
سنسورهای دما

- غیر الکتریکی
- مقاومتی (RTD) و (NTC,PTC)
- ترمو کوپل
- نیمه هادی
- غیر تماسی (تابشی)
- روشهای خاص
  - تغییر رنگ مواد خاص
  - تابش برخی مواد در مجاورت حرارت
  - طیف سنجی
  - آکوستیک

سنسورهای دمای مقاومتی



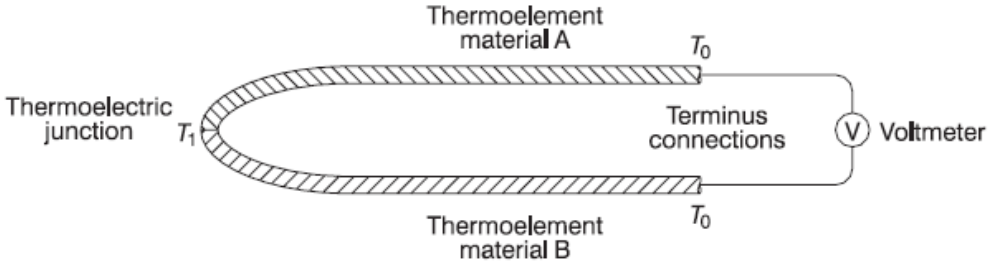
- RTD (Resistance Temperature Detector)
  - عملکرد برپایه تغییر مقاومت الکتریکی با دما در فلزات
  - مشخصه خطی خوب
  - معمولا از پلاتین استفاده می شود (خطی بودن زیاد) PT1000-PT100
  - محدوده عملکرد وسیع 200- تا ۵۰۰
  - حساسیت کم ← 0.385Ω/ºC برای PT100
  - دقت بالا



- NTC,PTC (ترمیستور)
  - عملکرد برپایه تغییر مقاومت الکتریکی با دما در سرامیک یا پلیمر
  - ضریب حرارتی منفی یا مثبت
  - محدوده عملکرد محدود (در حد ادوات نیمه هادی)
  - مشخصه بسیار غیر خطی (معمولا لگاریتمی)
  - حساسیت بسیار بالا نسبت به RTD
  - دقت متوسط

ترموکوپل

- مبتنی بر اثر ترموالکتریک
- تولید پتانسیل در محل پیوند دو رسانا در دمای بالاتر از صفر کلوین
  - مشخصه غیر خطی ← نیاز به Look-up Table
  - محدوده عملکرد بسیار وسیع 200- تا ۲۰۰۰
  - حساسیت بسیار کم: کمتر از $0.1mV/^oC$
  - دقت خوب
- انواع مختلف ترموکوپل استاندارد



ترموکوپل

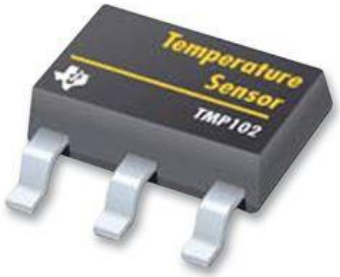
Temperature range (°C)	*Output (μV/°C)*	*Cost*	*Stability over the temperature range specified*	*Cable specification*	*Common name*	*Brief description*
−262 → 850	15@−200°C 60@350°C	Low	Low	T	Copper/a copper–nickel alloy (constantan)	Type T, copper constantan, thermocouples are useful for the −250°C to 350°C range in oxidizing or inert atmospheres. Above 400°C the copper arm rapidly oxidizes. Care needs to be applied to avoid problems arising from the high thermal conductivity of the copper arm. As one lead of this thermocouple is copper, there is no need for special compensation cable. Note that constantan is a general term for a copper–nickel alloy with between 35% and 50% copper. The thermoelectric characteristics of each alloy will vary according to the alloying proportions. Although constantan is used in type T, J and E thermocouples the actual material for each is slightly different.
−196 → 700	26@−190°C 63@800°C	Low	Low	J	Iron/a copper–nickel alloy (constantan)	Type J thermocouples are commonly called iron constantan thermocouples and are popular due to their high Seebeck coefficient and low price. These can be safely used in reducing atmospheres from 0°C up to 550°C beyond which degradation is rapid. The maximum temperature for continuous operation is 800°C.
−268 → 800	68@100°C 81@500°C 77@900°C	Low	low–mid	E	Nickel–chromium alloy (chromel)/a copper–nickel alloy (constantan)	Type E, chromel constantan, thermocouples give high output for the range −250°C to 900°C. They are ideally suited to temperature measurement around ambient because of the large Seebeck coefficient, low thermal conductivity and corrosion resistance.

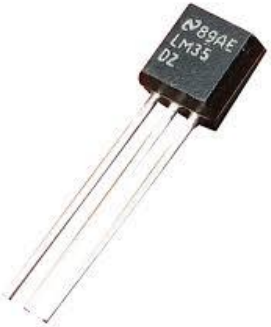
ترموکوپل

−250 → 1100	40 from 250–1000°C 35@1300°C	Low	Low	K	Nickel–chromium alloy (chromel)/ nickel–aluminium alloy (alumel)	The type K thermocouple is commonly called chromel alumel. It is the most commonly used thermocouple and is designed for use in oxidizing atmospheres. Maximum continuous use is limited to 1100°C although above 800°C oxidation causes drift and decalibration. Note that the type K thermocouple is unstable with hysteresis between 300°C and 600°C which can result in errors of several degrees.
0→1250	37@1000°C	Low	Mid–high	N	Nickel–chromium silicon (nicrosil)/ nickel–silicon–magnesium alloy (nisil)	Type N thermocouples have been developed to address the instability of type K (Burley, 1971). These trade linear response for stability and an algorithm is required for conversion between the generated emf and temperature. The voltage temperature curve for type N thermocouples is slightly lower than that for type K thermocouples.
100→1750	5@1000°C	High	High	B	Platinum–30% rhodium/platinum–6% rhodium	Type B thermocouples can be used continuously to 1600°C and intermittently to 1800°C. However, due to a local minimum in its thermoelectric emf this thermocouple exhibits a double value ambiguity between 0°C and 42°C. The emf below 100°C is very low and little concern need be given to cold junction compensation.
0→1500	6 from 0–100°C	High	High	S	Platinum–10% rhodium/platinum	Type S thermocouples can be used in oxidizing or inert atmospheres continuously at temperatures up to 1400°C and for brief periods up to 1650°C.
0→1600	10@1000°C	High	High	R	Platinum–13% rhodium/platinum	Type R thermocouples give a similar performance to type S, but give slightly higher output and improved stability.

سنسورهای دمای نیمه هادی

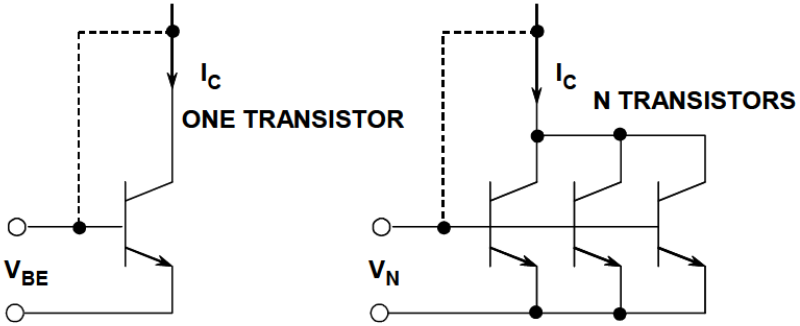
- عملکرد برپایه تغییر ولتاژ پیوند PN و ولتاژ حرارتی kT/q
  - مشخصه غیرخطی و امکان خطی سازی
  - محدوده عملکرد محدود وسیع -40 تا 120
  - حساسیت بالا
  - دقت کم در صورت عدم کالیبراسیون
  - معمولا بصورت system-on-chip با تکنولوژی استاندارد مدار مجتمع BJT یا CMOS
  - خروجی ولتاژ (LM35)، جریان (AD590) یا دیجیتال (TMP102, DS18B20)





سنسورهای دمای نیمه هادی

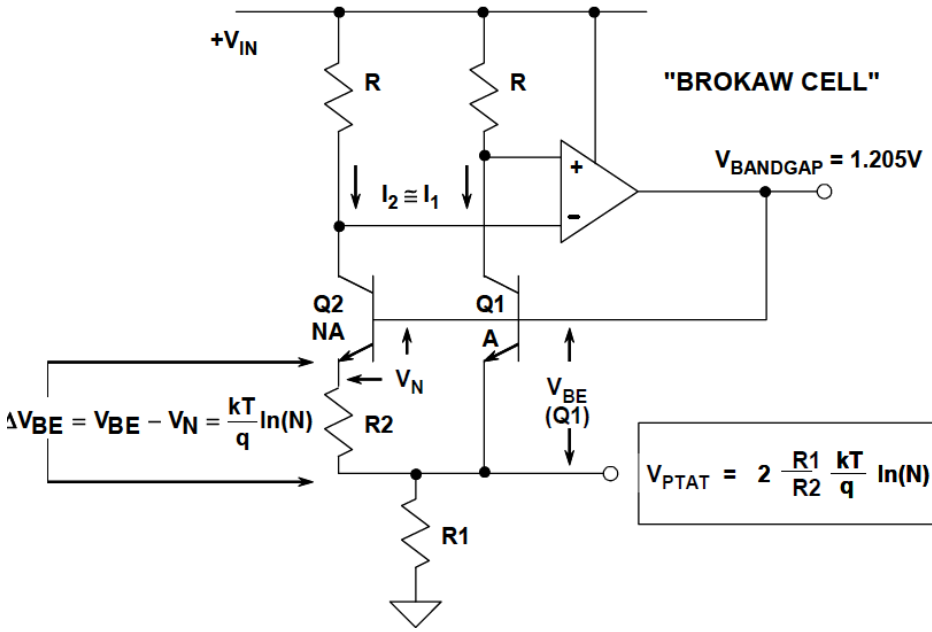
- عملکرد برپایه تغییر ولتاژ پیوند PN و ولتاژ حرارتی kT/q
- مشابه مرجع ولتاژ bandgap



$$V_{BE} = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right) \qquad V_N = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{I_C}{N \cdot I_S}\right)$$

$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q}\ln(N)$$

INDEPENDENT OF I_C, I_S

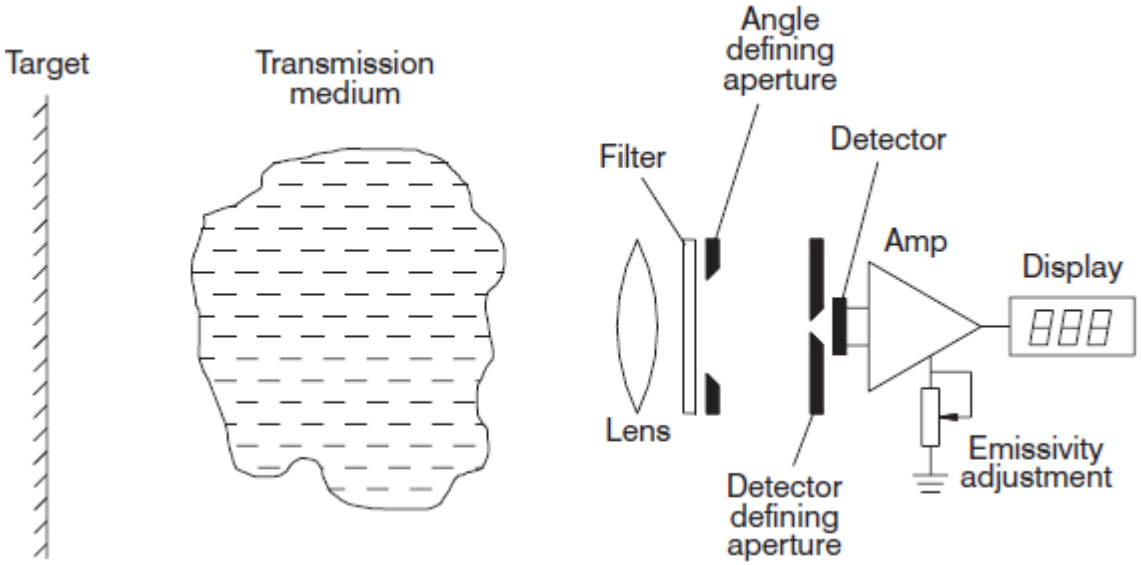


$$\Delta V_{BE} = V_{BE} - V_N = \frac{kT}{q}\ln(N)$$

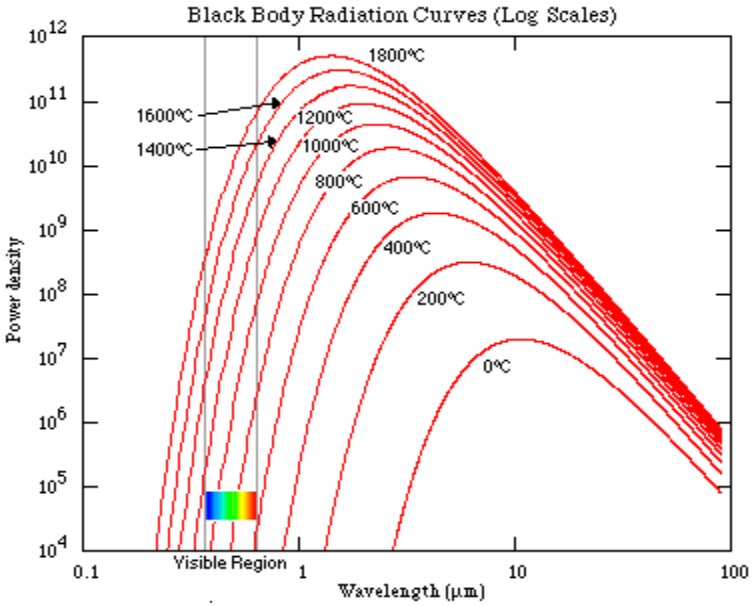
$$V_{PTAT} = 2\,\frac{R1}{R2}\,\frac{kT}{q}\,\ln(N)$$

سنسورهای دمای غیرتماسی (تابشی ، IR)

- عملکرد برپایه انتقال حرارت تابشی
- عدم نیاز به تماس مستقیم با جسم
  - اندازه گیری دمای اجسام دور یا غیر قابل دسترس
  - اندازه گیری دمای اجسام بسیار داغ
- دقت متوسط (نیاز به کالیبراسیون)



سنسورهای دمای غیرتماسی: تئوری عملکرد



- عملکرد برپایه انتقال حرارت تابشی
  - تابش جسم سیاه: تئوری پلانک
  - افزایش دمای جسم ← افزایش توان تابشی
  - افزایش دمای جسم ← کاهش طول موج پیک توان

Approximate Emissivity of Metals

Materials	Nominal	Polished	Oxidized
Aluminum		0.05	0.15
Brass		0.09	0.60
Cast Iron		0.21	0.70
Copper		0.02	0.60
Galvanized		0.02	0.60
Glass	0.94		
Stainless Steel		0.17	0.85
Steel		0.11	0.75
Rubber	0.86-0.95		
Wood	0.95		

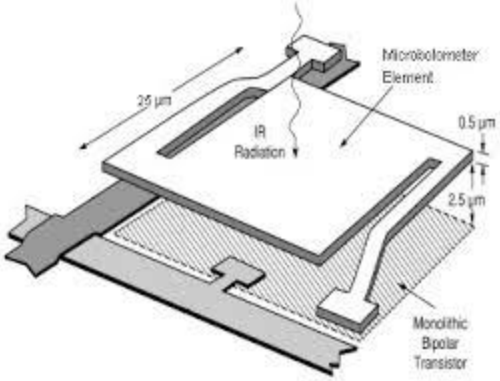
- اندازه گیری انرژی تابش جسم ← محاسبه دما
- تابش در جسم «خاکستری»
  - ضریب تصحیح نسبت به جسم سیاه وابسته به ماده

سنسورهای دمای غیرتماسی: انواع سنسور

- سنسور های با عرض باند کم: اندازه گیری توان در محدوده کمی از طیف تابشی
- سنسور تابش مادون قرمز (نیمه هادی)
  - سنسور IR سیلیکان یا ژرمانیم
  - محدوده طول موج 2um تا 0.5um
  - حساسیت کم برای دمای پایین

- سنسور های تمام طول موج: اندازه گیری توان در محدوده وسیع (کل توان تابشی)
  - بولومتر
  - ترموپیل
  - پیروالکتریک

سنسورهای دمای غیرتماسی: انواع سنسور



- بولومتر
  - تبدیل انرژی تابشی به انرژی حرارتی ← افزایش دمای سنسور
  - استفاده از تغییر مقاومت برای اندازه گیری دما
  - قابلیت استفاده در آرایه: دوربین حرارتی

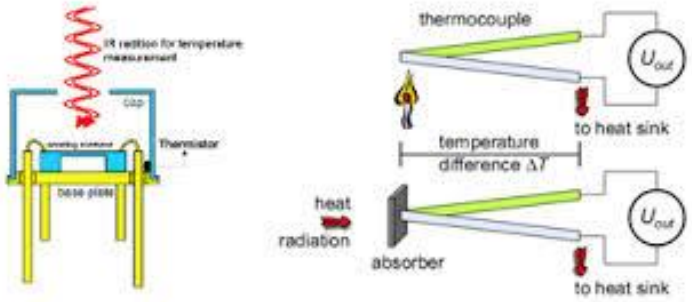
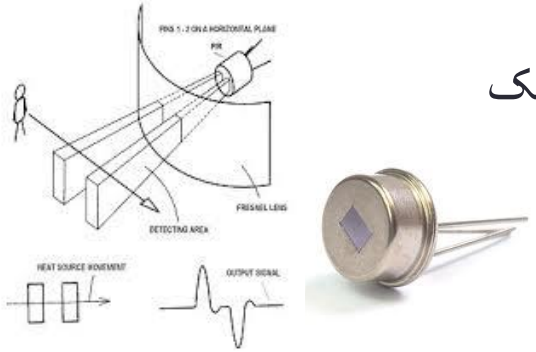


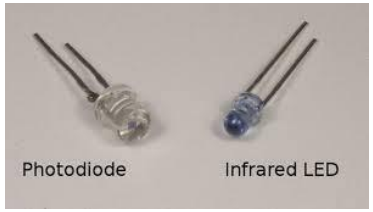
Figure 3.1R temperature sensor

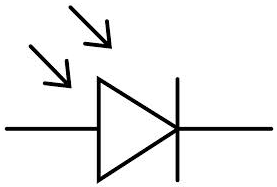
- ترموپیل
  - انرژی تابشی به انرژی حرارتی ← افزایش دما
  - استفاده از خاصیت ترموالکتریک جهت تولید ولتاژ
  - قیمت پایین



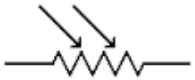
- پیروالکتریک
  - انرژی تابشی به انرژی حرارتی ← افزایش دما
  - تولید بار سطحی بر روی کریستال دارای خاصیت پیروالکتریک
  - قابلیت اندازه گیری مستمر دما را ندارد
  - کاربرد در سنسورهای (Motion)

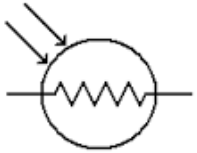
سنسورهای نور (تابش)



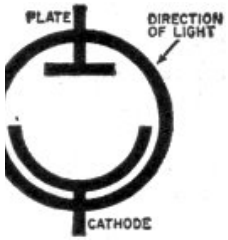


- سنسور مبتنی بر پیوند PN
  - فتودیود
  - تولید جریان یا بار ناشی از تابش
  - حساست بالا، دقت زیاد
  - تنوع زیاد در طول موج





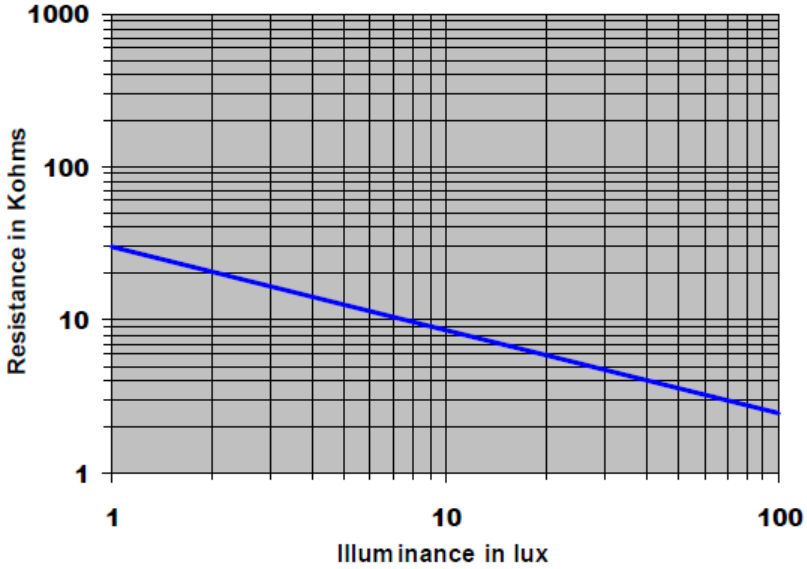
- سنسور مبتنی بر Photo Conductor
  - فتوسل،...
  - تغییر مقاومت نیمه رسانا
  - قیمت بسیار کم
  - دقت و حساسیت محدود



- سنسور مبتنی بر Photo multiplier
  - مبتنی برلامپ خلاء: پدیده فتوالکتریک و گسیل ثانویه
  - حساسیت و دقت بسیار بالا
  - قیمت زیاد
  - حجم بزرگ

سنسور نوری Photo Conductor

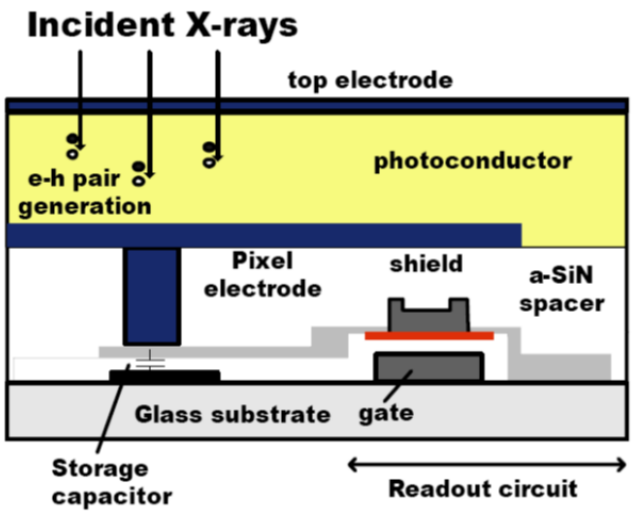
- انواع عمومی:light-dependent resistor (LDR)
- لایه نازک از CdS



- نیمه هادی با مقاومت بالا
- تابش نور ← تولید الکترون و حفره
  - کاهش مقاومت
  - تغییرات غیرخطی با انرژی تابشی
- حساس به نور مرئی و نزدیک IR

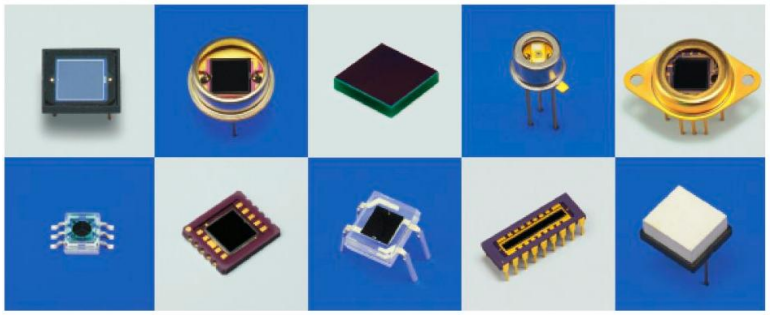
سنسور نوری Photo Conductor

- انواع با کاربرد های خاص: سنسور اشعه X و گاما
- دستگاهای رادیو لوژی دیجیتال و پزشکی هسته ای
- بصورت آرایه ساخته می شود
- لایه سلنیمم آمورف و ...

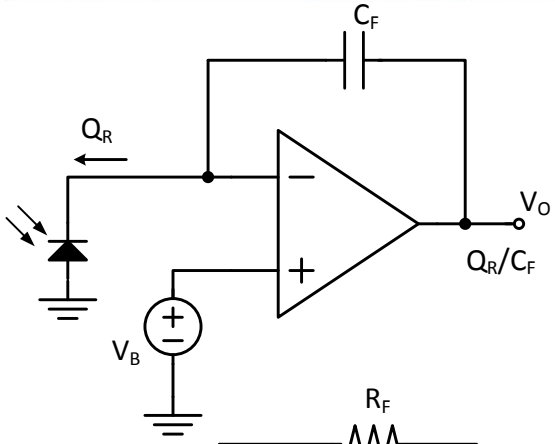


- نیمه هادی با باند ممنوعه بزرگ
- جذب فوتون با انرژی زیاد
- تابش اشعه ← تولید الکترون و حفره
  - ایجاد بار الکتریکی
  - نیاز به ولتاژ بالا
- نیاز به مبدل بار به ولتاژ

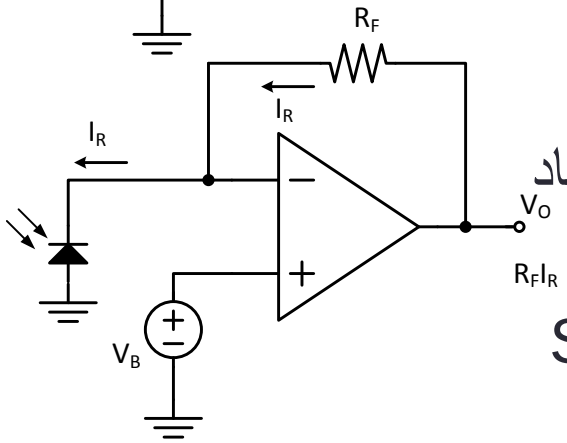
سنسور نوری Photo Detector



- مبتنی بر تغییر جریان معکوس در پیوند PN
- بصورت سنسور تکی و آرایه (دوربین، ...)
- طول موج: از UV تا IR
- تکنولوژی: Si,Ge,GaAs, InGaAs, SiC...

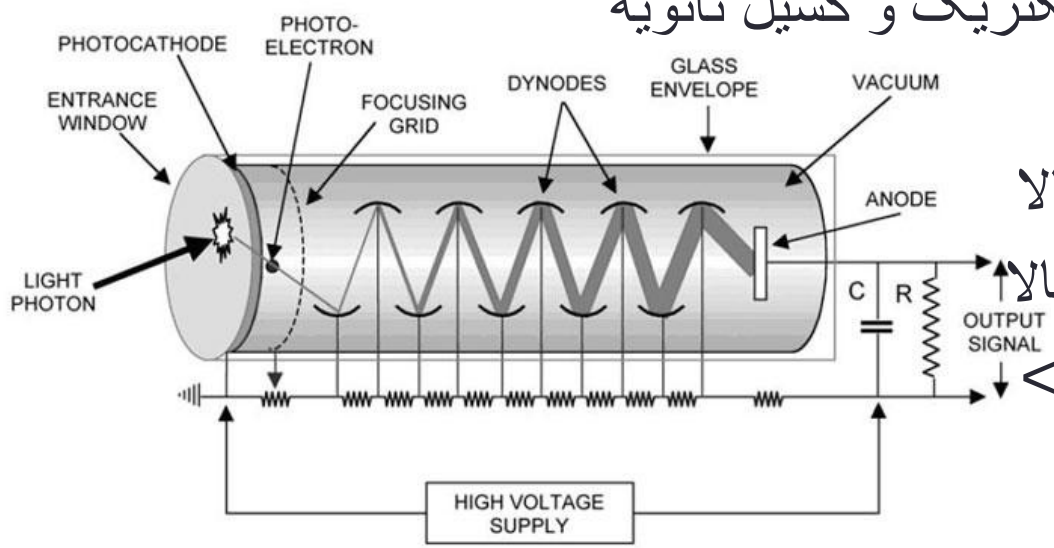


- خروجی جریان یا بارالکتریکی
- انواع: نوع افزاره
- Photodiode(PN): کاربرد عمومی
- PIN Diode: کاربرد عمومی
- Avalanche Photodiode: سرعت و حساسیت زیاد
- IR Detector: پیک حساسیت در مادون قرمز
- UV Detector: پیک حساسیت در UV ساخت با SiC



سنسور نوری Photo Mulitplier

- مبتنی بر پدیده فتوالکتریک و گسیل ثانویه
- حساسیت بالا
- نیاز به منبع ولتاژ بالا
- پاسخ زمانی بسیار بالا
- قیمت زیاد $1000>



CHARACTERISTICS (at 25 °C)

Parameter		Min.	Typ.	Max.	Unit
Cathode Sensitivity	Luminous (2856 K)	80	150	—	µA/lm
	Radiant at 420 nm	—	64	—	mA/W
	Red/White Ratio (R-68)	—	0.2	—	—
Anode Sensitivity	Luminous (2856 K)	20	80	—	A/lm
	Radiant at 420 nm	—	3.4×10^4	—	A/W
Gain		—	5.3×10^5	—	—
Anode Dark Current (after 30 min. storage in darkness)		—	5	20	nA
Time Response	Anode Pulse Rise Time	—	9.0	—	ns
	Electron Transit Time	—	70	—	ns

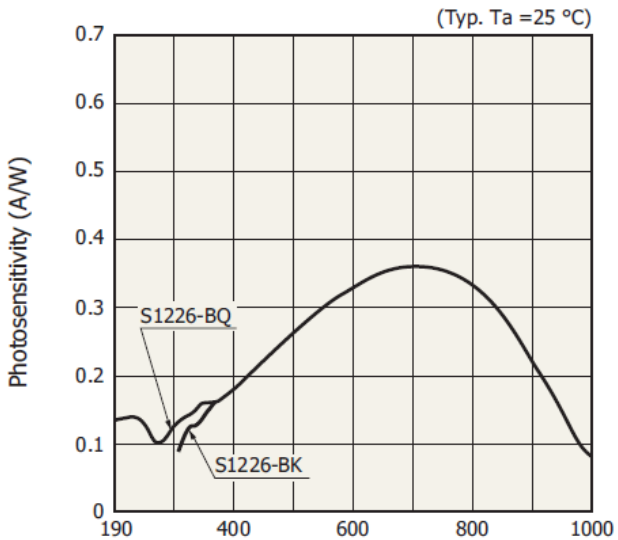
NOTE: Anode characteristics are measured with the voltage distribution ratio shown below

سنسور نوری Photo Detector

- پارامتر های مهم:

- محدوده طول موج حساس
- Dark Current
- حساسیت: A/W
- سرعت پاسخ دهی و عرض باند
- مقاومت و خازن خروجی
- نویز افزاره
- محدوده دمای کاری

Photo Detector سنسور نوری



- Hamamatsu S1226
- نمونه: Si Photodiode

Electrical and optical characteristics (Typ. Ta=25 °C, unless otherwise noted)

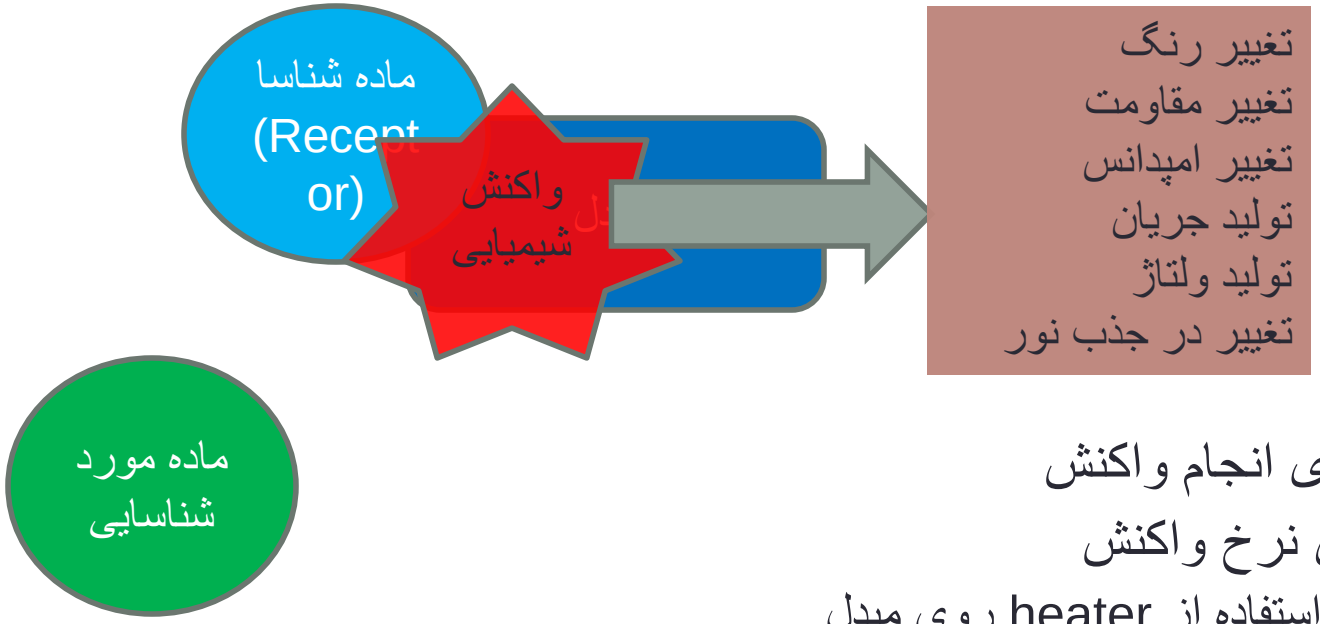
Type no.	Spectral response range λ (nm)	Peak sensitivity wavelength λp (nm)	Photosensitivity S (A/W) λp	Photosensitivity S (A/W) 200 nm Min.	Photosensitivity S (A/W) 200 nm Typ.	Photosensitivity S (A/W) He-Ne laser 633 nm	Short circuit current Isc 100 lx Min. (μA)	Short circuit current Isc 100 lx Typ. (μA)	Dark current ID VR=10 mV max. (pA)	Temp. coefficient of ID TCID (times/°C)	Rise time tr VR=0 V RL=1 kΩ (μs)	Terminal capacitance Ct VR=0 V f=10 kHz (pF)	Shunt resistance Rsh VR=10 mV Min. (GΩ)	Shunt resistance Rsh VR=10 mV Typ. (GΩ)	Noise equivalent power NEP (W/Hz$^{1/2}$)
S1226-18BQ	190 to 1000	720	0.36	0.10	0.12	0.34	0.5	0.66	2	1.12	0.15	35	5	50	1.6×10^{-15}
S1226-18BK	320 to 1000			-	-										
S1226-5BQ	190 to 1000			0.10	0.12		2.2	2.9	5		0.5	160	2	20	2.5×10^{-15}
S1226-5BK	320 to 1000			-	-										
S1226-44BQ	190 to 1000			0.10	0.12		4.4	5.9	10		1	500	1	10	3.6×10^{-15}
S1226-44BK	320 to 1000			-	-										
S1226-8BQ	190 to 1000			0.10	0.12		12	16	20		2	1200	0.5	5	5.0×10^{-15}
S1226-8BK	320 to 1000			-	-										

Photo Detector سنسور نوری

- Hamamatsu S12426
- نمونه: Si APD

Parameter	Symbol	Condition	S12426-02			S12426-05			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Spectral response range	λ		400 to 1150			400 to 1150			nm
Peak sensitivity wavelength	λp	M=100	-	840	-	-	840	-	nm
Photosensitivity	S	λ=900 nm, M=1	-	0.52	-	-	0.52	-	A/W
Quantum efficiency	QE	λ=900 nm, M=1	-	70	-	-	70	-	%
Breakdown voltage	V_{BR}	I_D=100 μA	120	160	200	120	160	200	V
Temp. coefficient of V_{BR}	ΔTV_{BR}		-	1.1	-	-	1.1	-	V/°C
Dark current	I_D	M=100	-	0.1	1	-	0.2	2	nA
Temp. coefficient of I_D	ΔTI_D	λ=900 nm, M=100	-	1.1	-	-	1.1	-	times/°C
Cutoff frequency	fc	M=100, R_L=50 Ω λ=900 nm, -3 dB	-	650	-	-	600	-	MHz
Rise time	tr	M=100, R_L=50 Ω λ=900 nm, 10% to 90%	-	0.55	-	-	0.6	-	ns
Terminal capacitance	Ct	M=100, f=1 MHz	-	0.5	-	-	1.1	-	pF
Excess noise figure	x	M=100, λ=900 nm	-	0.3	-	-	0.3	-	-
Gain	M	λ=900 nm	-	100	-	-	100	-	-

سنسورهای تشخیص مواد شیمیایی و بیوسنسورها



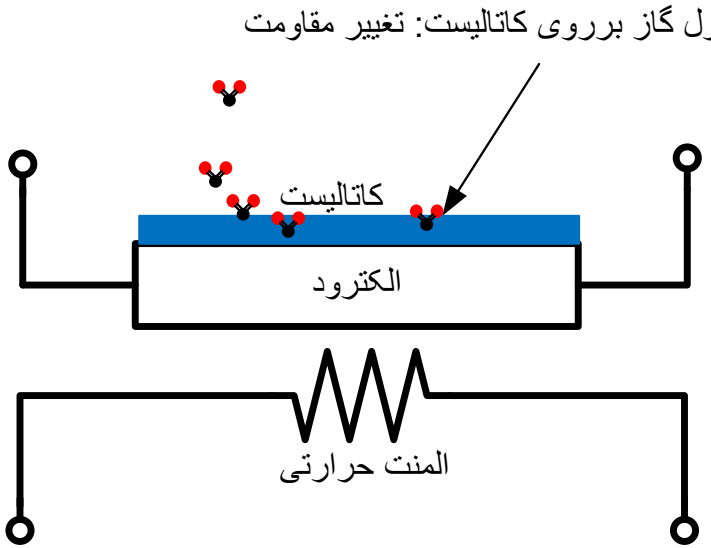
- مبدل: پایه برای انجام واکنش
- عوامل افزایش نرخ واکنش
  - افزایش دما: استفاده از heater روی مبدل
  - کاتالیزور

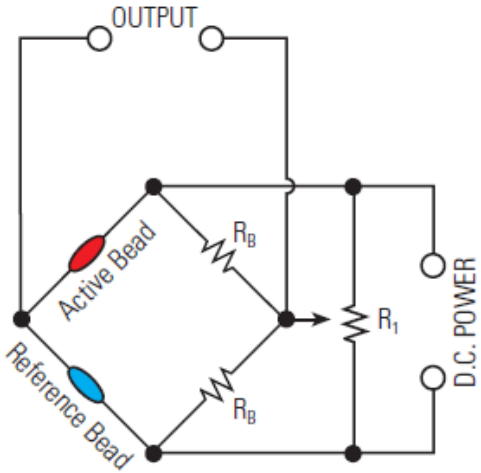
- Resistive Gas Sensors
- Electrochemical Sensors
- Optical and Colorimetric

سنسور شیمیایی مبتنی بر تغییر مقاومت

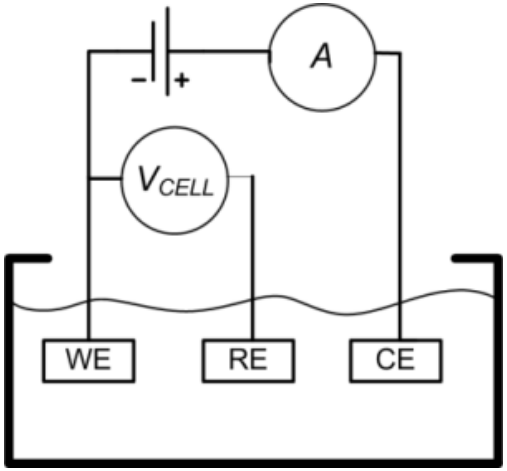
- نمونه: انواع سنسور گاز

- تکنولوژی ساده و ارزان
- قابلیت تشخیص متوسط
- خروجی معمولا بصورت مقایسه ای:
  - یک الکترود با کاتالیست و یکی بدون آن.

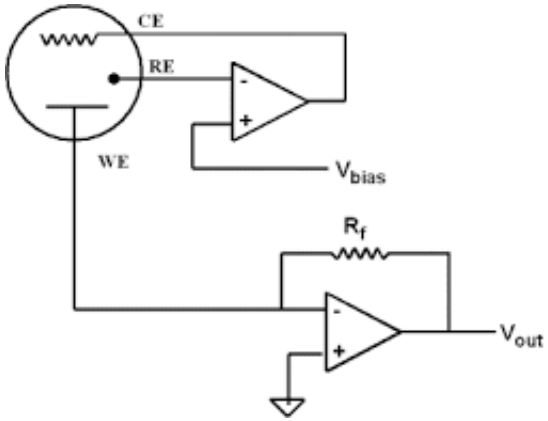




سلول سه الکترودی (Three-Electrode Cell)و پتانسیواستات (Potentiostat)

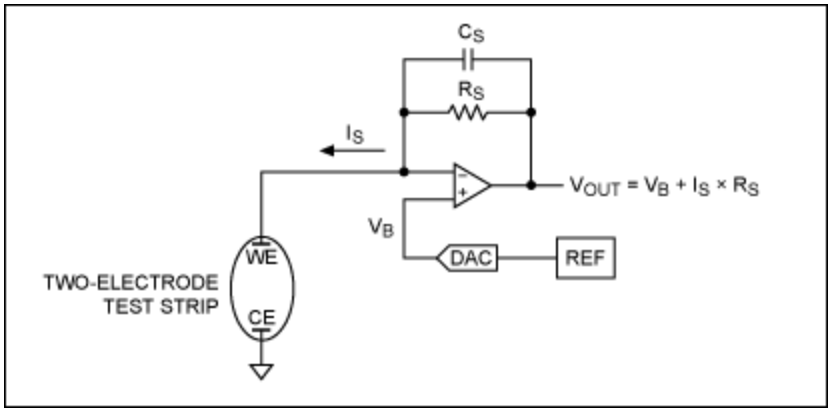


- بدست آوردن مشخصه ولتاژ-جریان درسیستم الکتروشیمیایی: تشخیص آنالیت
- سیستم بر پایه الکترولیت (محلول)
- الکترودها:
  - Working Electrode: واکنش اکسیداسیون-احیا با آنالیت
  - Counter Electrode: الکترود خنثی، جهت اندازه گیری جریان
  - Reference Electrode: الکترود خنثی، اعمال ولتاژ بدون جریان



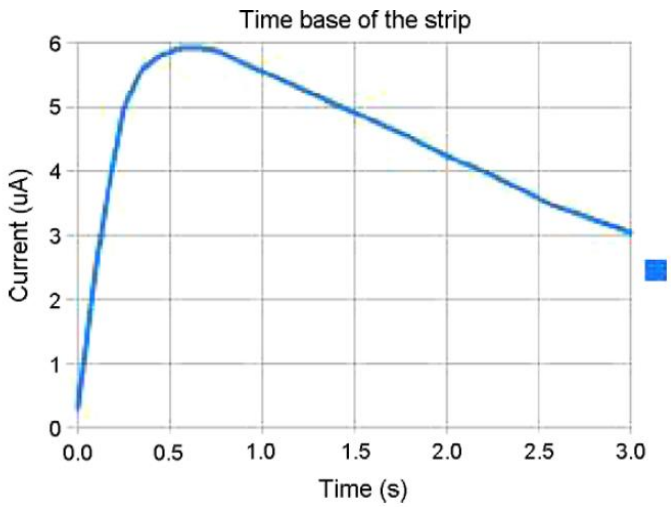
- Potentiostat: مدار مورد استفاده جهت اعمال ولتاژ بر الکترود ها و سنجش جریان

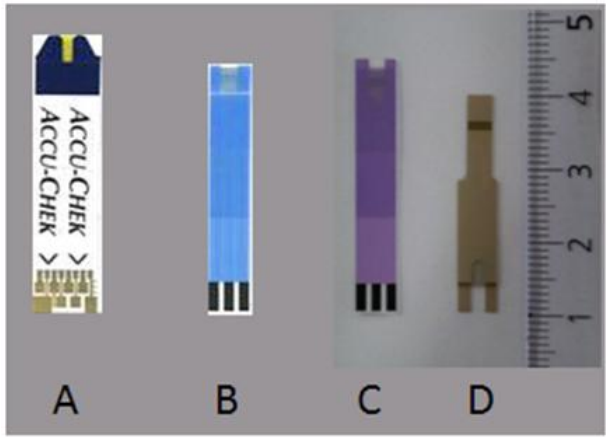
سنسور شیمیایی مبتنی بر اندازه گیری آمپرومتریک



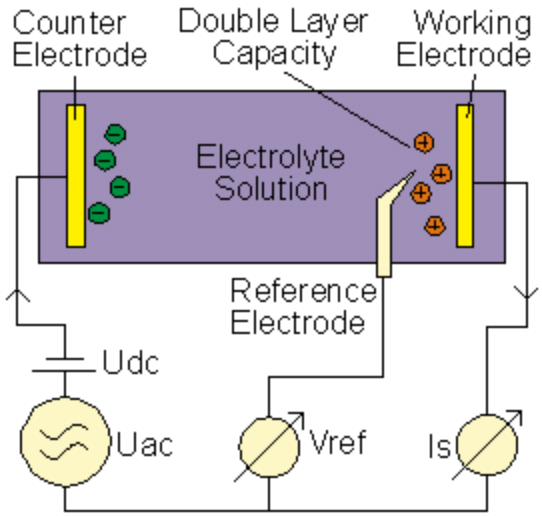
- تست قند خون
- اندازه گیری جریان در زمان

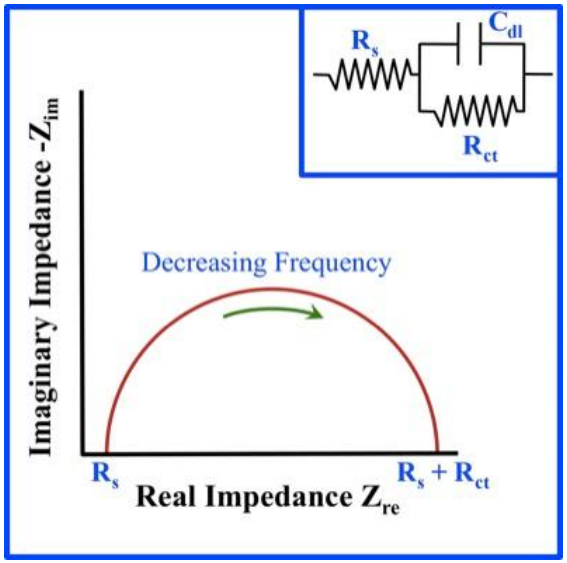
- نوار تست:
  - دو یا سه الکترود
  - آنزیم اکسیداسیون گلوکز
  - تولید جریان در صورت واکنش با گلوکز خون





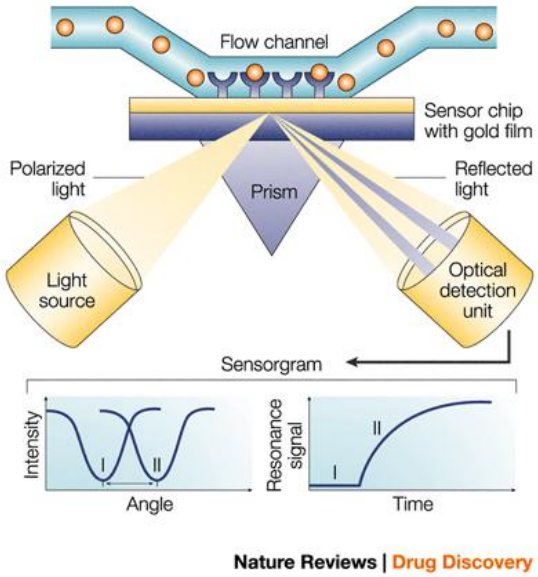
سنسور شیمیایی مبتنی بر تغییر امپدانس

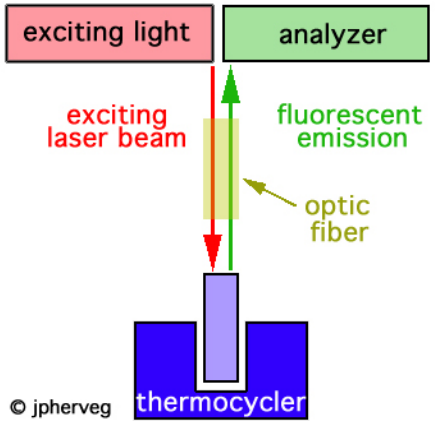




- امپدانس سیستم الکتروشیمیایی
  - شامل عناصر خازنی و مقاومتی
- طیف سنجی امپدانس:
  - بدست آوردن امپدانس بر حسب فرکانس
  - رسم امپدانس بصورت منحنی ناکوئیست
- تشخیص فرایند الکترشیمیایی از روی طیف امپدانس
  - کاربرد در بیوسنسورها
  - کاربرد در تشخیص خوردگی
  - کاربرد در تست باتری ها و پیل های سوختی

سنسور شیمیایی مبتنی بر خواص اپتیکی

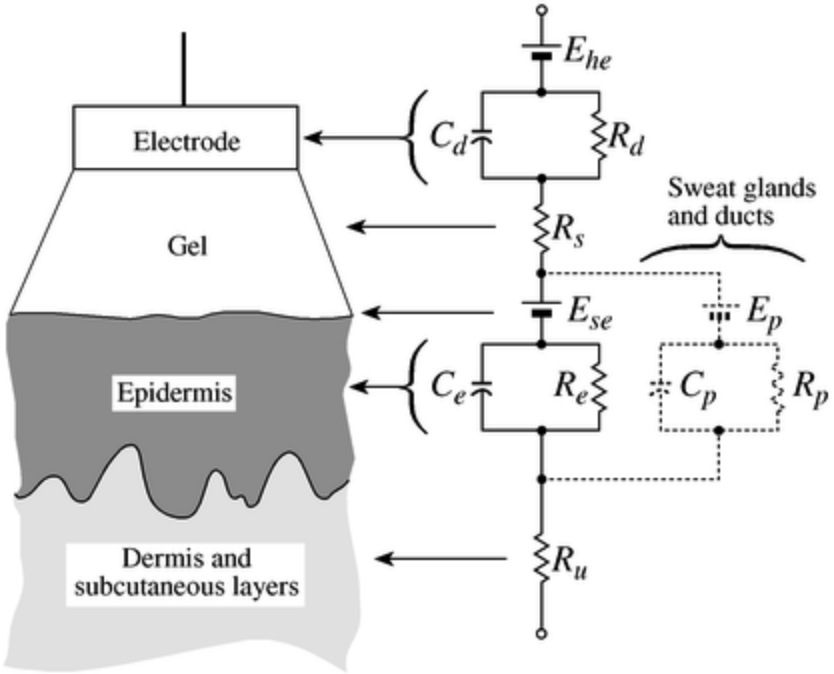




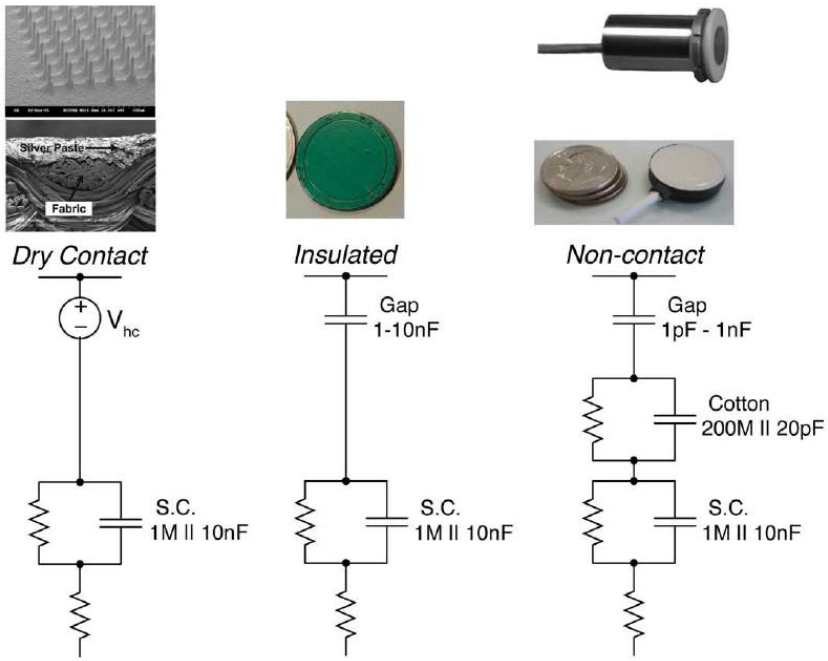
- تغییر رنگ، جذب نور در طیف مشخص، تحریک و تابش فلورسنت، تابش نور در اثر واکنش شیمیایی...
- بر پایه سنسورهای نوری
- Spectrophotometry
- ELISA
- RT-PCR
- Chemiluminescence
- Near Infrared Detection

الکترود های بیوپتانسیل

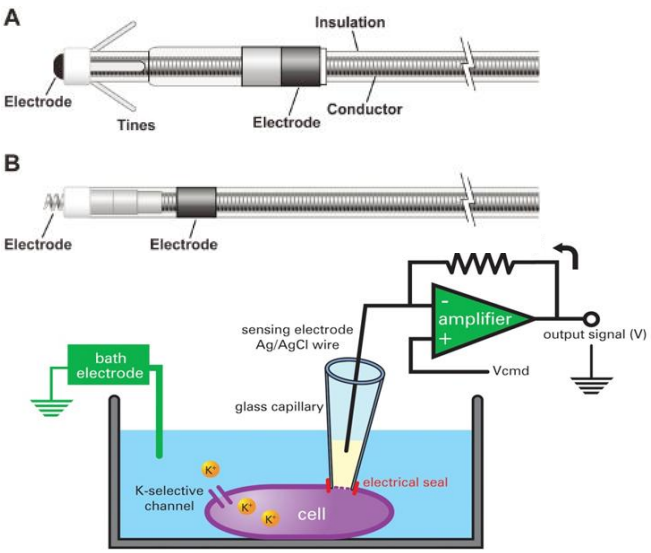
- الکترود های خارجی: تر،خشک، خازنی
- الکترود تر (نرمال)
  - یکبار مصرف یا دائمی
  - استفاده از ژل Ag/AgCl
- مدار معادل
  - شامل مقاومت، خازن و باتری
- تا 200mV ولتاژ ناشی ازنیم-پیل الکتروشیمیایی بین الکترود و الکترولیت بدن
- نیاز به حذف DC



الکترود های بیوپتانسیل



- الکترود خشک و خازنی
- عدم استفاده از ژل
- راحتی بیمار در کاربرد های با زمان طولانی
- امپدانس بسیار بالا
- نیاز به تقویت کننده با امپدانس و CMRR زیاد
- معمولا غیر تجاری



- داخلی: سلولی و ایمپلنت
- داخلی: آلیاژ ایریدیم-پلاتین
- کاربرد در Pacemaker
- سلولی: اندازه گیری خواص الکتریکی (پتانسیل و امپدانس) سلول
  - Patch Clamp