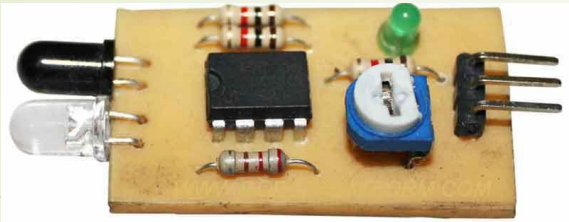
سنسور، ترانسدیوسر و ترانسمیتر

مهرداد بابازاده
گروه کنترل
دانشگاه زنجان

فهرست مطالب

1. تعاریف، دسته بندی ها و معیارهای
   - سنسور، ترانسدیوسر (مبدل)، ترانسمیتر
2. ویژگیهای مهم سنسورها
   - رنج
   - اسپن
   - صفر اندازه گیری
   - انحراف صفر
   - (Zero drift)
   - حساسیت
   - تفکیک پذیري (Resolution)
   - پاسخ دهی
   - خطی بودن
   - هیسترزیس
   - دقت
   - تکرار پذیری (Repeatability)
   - آمادگی برای اندازه گیری بعدی (Reproducibility)
   - مشخصات استاتیکی و دینامیکی سنسورها
   - ...
3. معرفی برخی از سنسورهای اندازه گیری پارامترهای محیطی

تعریف سنسور و ترانسدیوسر


IR SENSOR (TRANSCEIVER)

- سنسور: ماژول یا سیستمی است که برای تشخیص اتفاق یا تغییر وضعیتی در محیطش استفاده می شود.

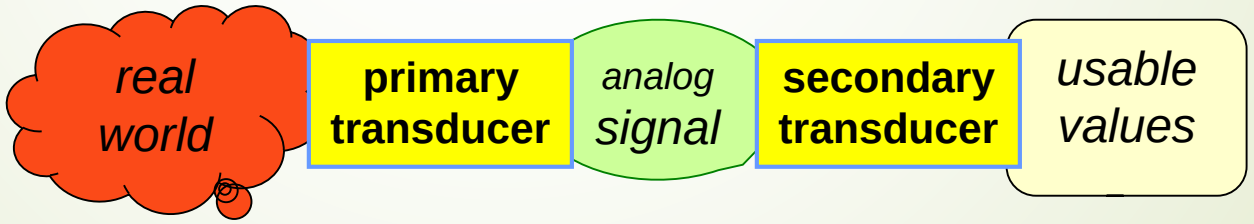
- ترانسدیوسر: المانی است که برای تبدیل انرژی از یک فرم به فرم دیگر استفاده میشود. این المان معمولا در اندازه گیری و سیستم های کنترل استفاده می شوند جایی که سیگنال های الکتریکی مربوط به گشتاور، نور، حرکت، موقعیت و غیره تبدیل می شوند. این تبدیل Transduction نامیده می شود.

ترانسميتر

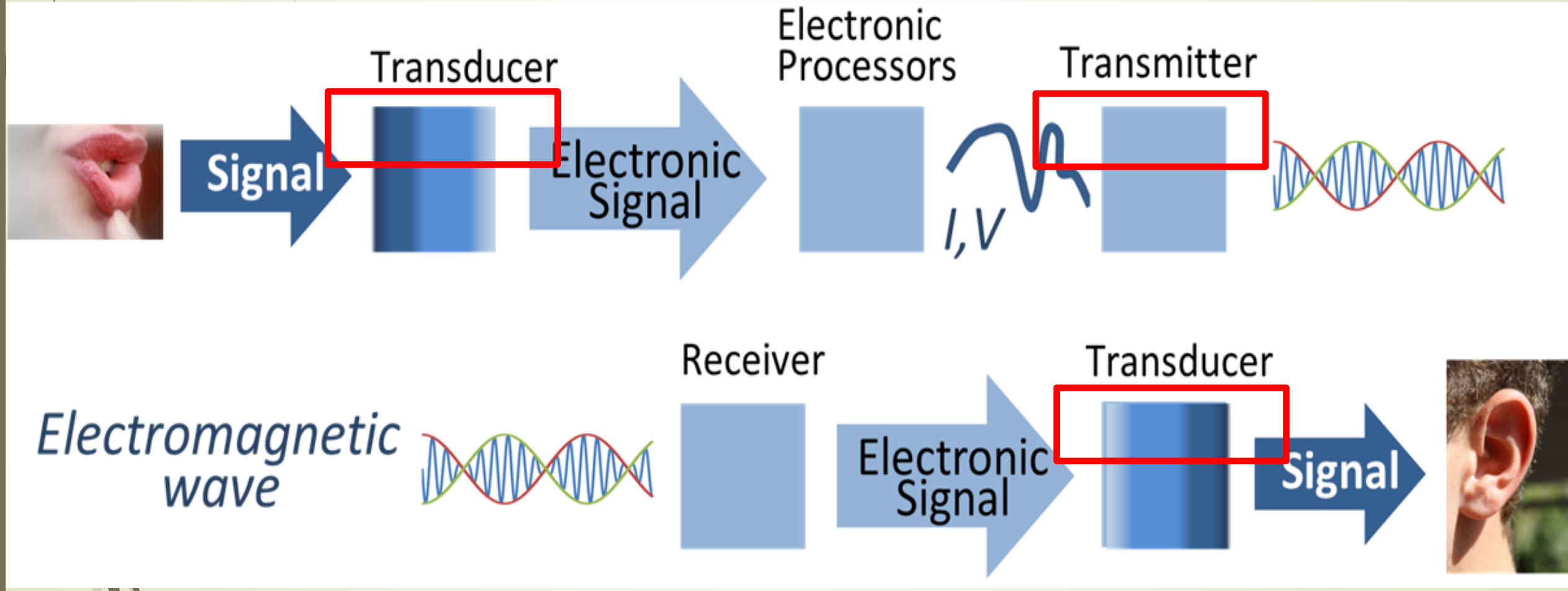
در واحد هاي صنعتي بزرگ كه عمليات توليد در محوطه ي گسترده اي انجام مي گيرد ادوات و دستگاه هاي كنترل و اندازه گيري بطور متمركز در محلي به نام اتاق فرمان يا مركز كنترل قرار دارند طوري كه امكان اندازه گيري و كنترل كلي متغييرها در سراسر كارخانه و محوطه آن توسط اپراتور در هر لحظه فراهم آيد. سيگنال ها و فرمان ها از محوطه به اطاق كنترل و بر عكس منتقل شوند. براي اين منظور از دستگاه هايي بنام ترانسميتر ها استفاده مي شود.

در حوزه مخابرات، ترانسمیتر یک المان الکترونیکی است که امواج رادیویی با آنتن ایجاد میکند تا اطلاعات را ارسال کند.

- ترانسدیوسر اولیه
  - مقاومتی (Potentiometers & Strain Gages)
  - القایی
  - خازنی
  - پیزو (Piezoelectric Sensors)
- ترانسدیوسر ثانوی
  - پل وتستون
  - تقویت کننده ها



فرایند استفاده از ترانسدیوسر و ترانسمیتر



دسته بندی سنسورها از جنبه های مختلف:

.1

- زمان پیوسته
- زمان گسسته
  - باینری
  - دیجیتال

.2

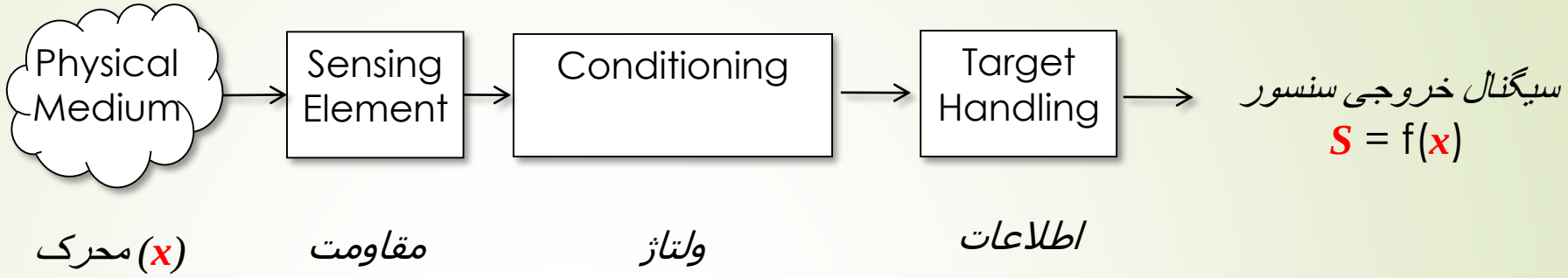
- غیر فعال (Passive)
- فعال (Active)

.3

- تماسی (Contact)
- مجاورتی (Non-contact)

.4

- Absolute
- Relative



برای سنسورهای باینری: $S = 1$ if $x > 0$

$S = 0$ if $x \leq 0$.

رابطه تقریبی برای سنسورهای آنالوگ: $S = c + m.x$

سنسور غیرفعال (خود تغذیه): تغذیه اش را خودش تولید می کند.

مثال:

Carbon microphone, thermistors, strain gauges, capacitive and inductive sensors, etc.

سنسور فعال (پارامتریک): به تغذیه خارجی نیاز دارد. گاهی به این نوع سنسور ترانسدیوسر گفته می شود.

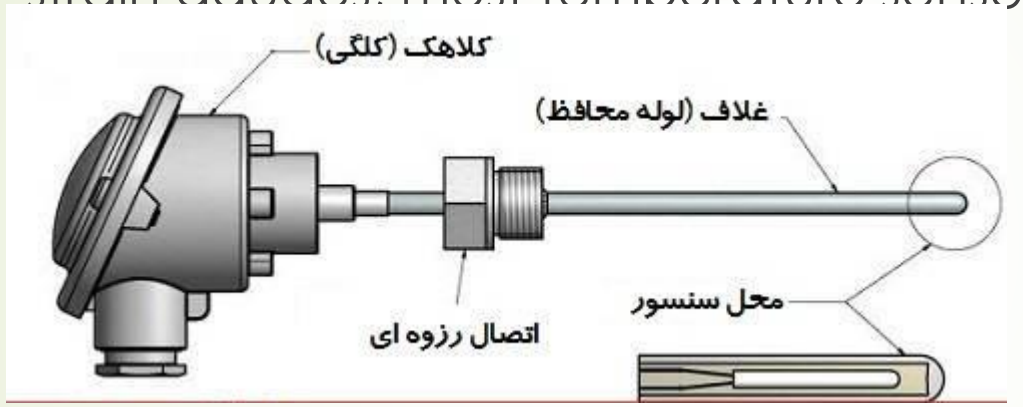
مثال:

thermocouples, magnetic microphones, piezoelectric sensors.

سنسور تماسی: نیاز به اتصال فیزیکی دارد.

مثال:

strain gauges, most temperature sensors



سنسور مجاورتی: نیاز به اتصال فیزیکی ندارد.

مثال:

most optical and magnetic sensors, infrared thermometers, etc.

سنسور مطلق: به صورت مطلق سنجش می کند.

مثال:

Thermistors, strain gauges, etc.

سنسور نسبی: نسبت به یک نقطه خاص ثابت یا متغیر سنجش می کند.

مثال:

Thermocouple measures the temperature difference.

pressure is often measured relative to atmospheric pressure.

دسته بندی خواص سنسورها

1. **1. استاتیک**
2. صحت (Accuracy)
3. تمایز (Discrimination)
4. دقت (Precision)
    1. قابلیت تکرار
    2. تکرارپذیری
5. خطاها (Errors)
    1. سیستماتیک
    2. تصادفی
6. رانش (Drift)
7. حساسیت (Sensitivity)
    1. خطی
    2. غیرخطی
8. مشخصه خطی بودن
    1. خطی
    2. غیر خطی
9. هیسترزیس
10. **2. دینامیک (مرتبه 0 و 1و 2)**

برخی از انواع سنسورها:

- Temperature
- Humidity
- Pressure
- RFID (Radio-frequency identification)
- Barcode
- Proximity (نزدیک شدن)
- Vision
- Gyroscope (گردش نما)
- Compass (قطب نما)
- Tilt/Acceleration (شتاب)

معیارهای انتخاب سنسورها

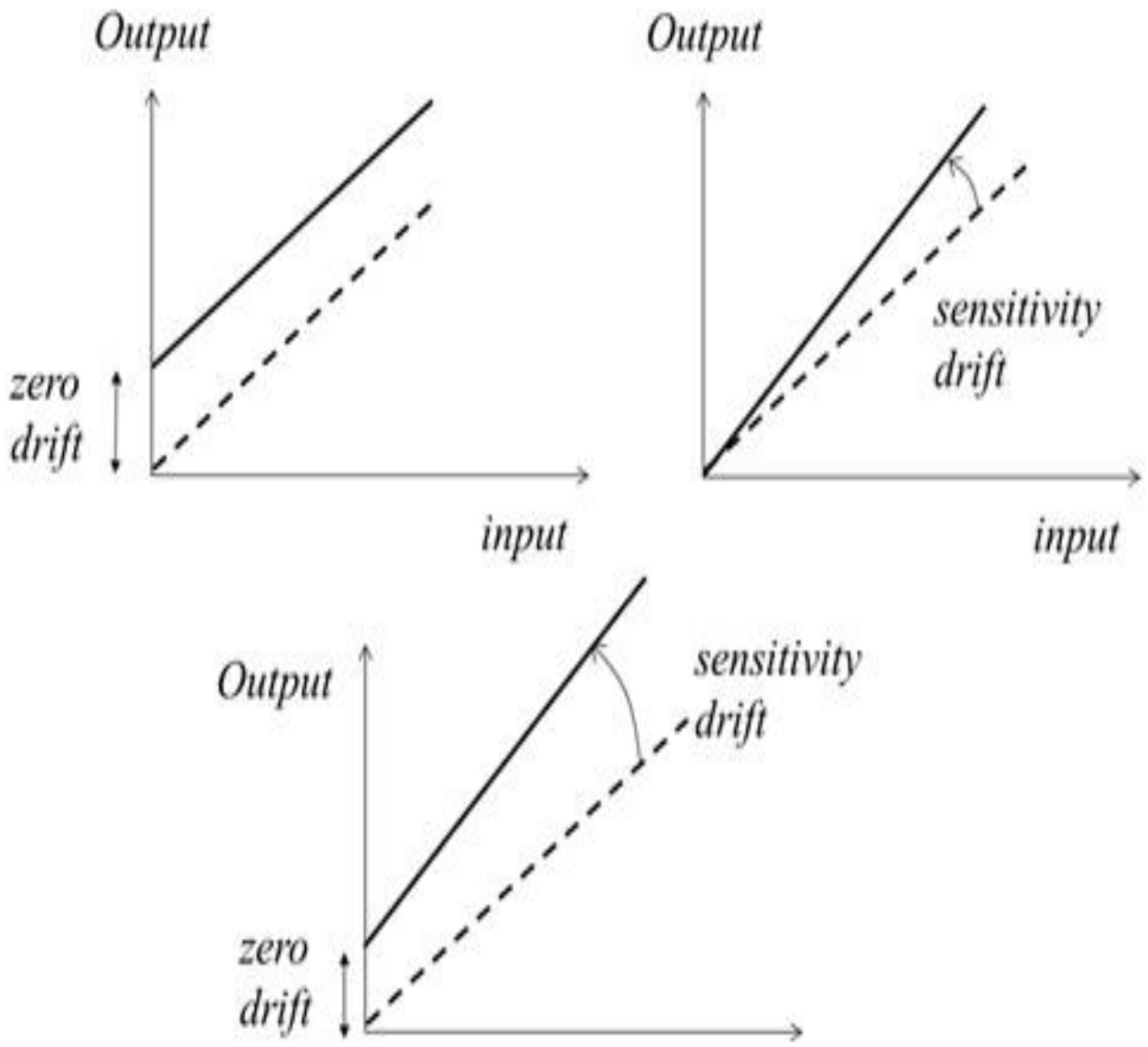
Environmental Factors	Economic Factors	Sensor Characteristics
Temperature range	Cost	Sensitivity
Humidity effects	Availability	Range
Corrosion (خوردگی)	Lifetime	Stability
Size		Repeatability
Overrange protection		Linearity
Susceptibility to EM interferences		Error
Ruggedness (سختی)		Response time
Power consumption		Frequency response
Self-test capability		

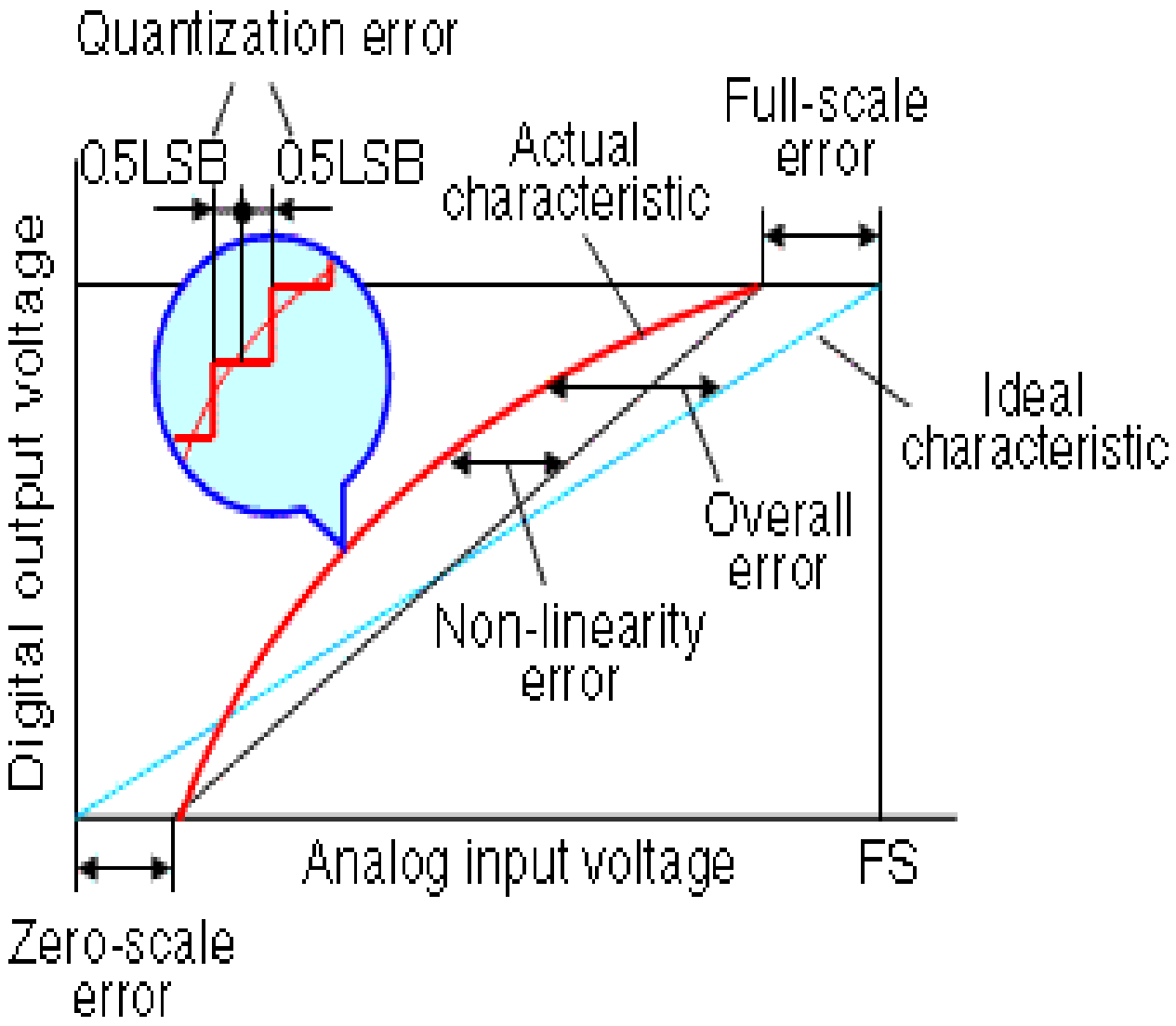
•مشخصه هاي يک سنسور ايده آل

- تمام مشخصه هاي ذکر شده براي سنسور را در حد قابل قبول داشته باشد.
- بازگشت پذير باشد.
- سرعت پاسخ بالايي داشته باشد.
- حساسيت بالايي داشته باشد.
- عمر طولاني داشته باشد.
- آلوده کننده نباشد.
- غير سمي باشد.
- به کارگيري آن آسان باشد.
- اندازه آن کوچک و قابل حمل باشد.
- ساخت آن ساده باشد.
- ارزان باشد.

- **صفر اندازه گیری:** نقطه مشخصی در حوزه اندازه گیری که صفر در نظر گرفته می شود. در این نقطه لزوما خروجی سنسور صفر نیست.
- کالیبراسیون و خصوصیات سنسور در شرایط کنترل شدة دما و فشار و ... معتبر هستند. در غیر این صورت رابطة ورودي و خروجي سنسور در حالت کلي دو خطاي عمده ناشي از اختلال خواهد داشت: انحراف صفر و انحراف حساسیت. این دو خطا باید در پردازش هاي بعدي تصحیح شوند. در شکل زیر نحوة تاثیر این دو خطا را در خروجي مي بینیم.
- **انحراف صفر (Zero drift):** اندازه خروجی در نقطه صفر ممکن است جابجا شود.

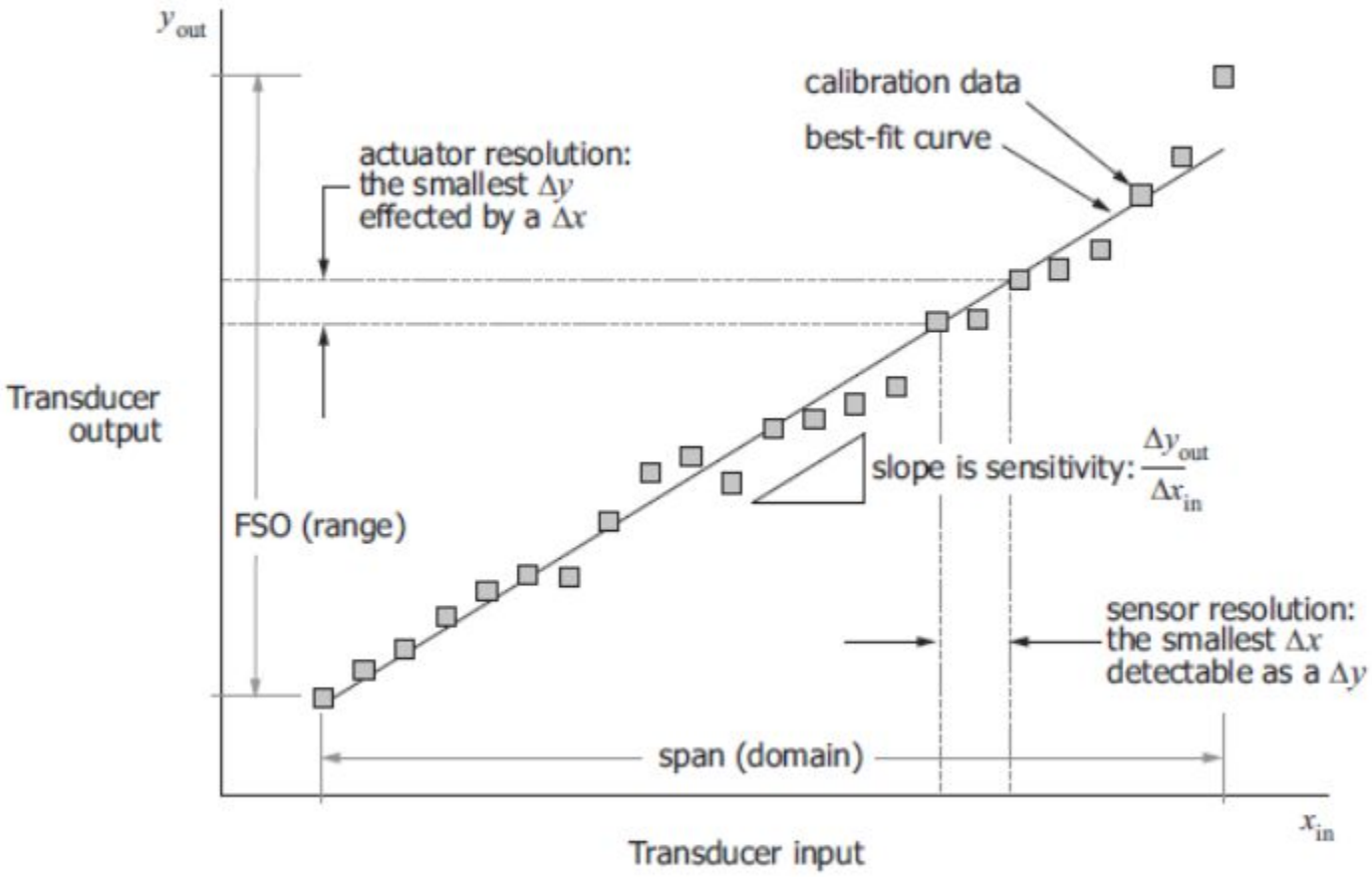
- **حساسیت (Sensitivity):** تغییرات خروجی به واحد تغییرات ورودی. حساسیت شیب مشخصه عنصر اندازه گیر مي باشد. اگر شیب مشخصه در حوزه اندازه گیري ثابت باشد، اندازه گیر را خطي مي گوییم.
- **خطای انحراف صفر و خطای حساسیت**





- **رنج (Span):** محدوده حداقل و حداکثر پارامتر مورد اندازه گیری
- **رنج ورودی کامل (input full scale):** حداکثر رنج مقادیر ورودی که خروجی با دقت ایجاد میکند.
- **رنج ورودی کامل (output full scale):** تفاضل ریاضی حداقل و حداکثر خروجی سنسور متناظر با اسپن ورودی.
- **خطی بودن:** اگر شیب ورودی-خروجی ثابت باشد سنسور خطی است. غیر خطی بودن روی دقت اثر می گذارد. حداکثر خطای منحنی غیر خطی از خطی میزان غیر خطی بودن را نشان می دهد.

Static response characteristics



Span (or full scale input)
Range of *input* values over which a transducer produces output values with acceptable accuracy

Units
Same as input. (p. ej., Pa for a pressure sensor)

Full-scale output (FSO)
Range of output values corresponding to the span.

Units
Same as output (p. ej., V for a pressure sensor)

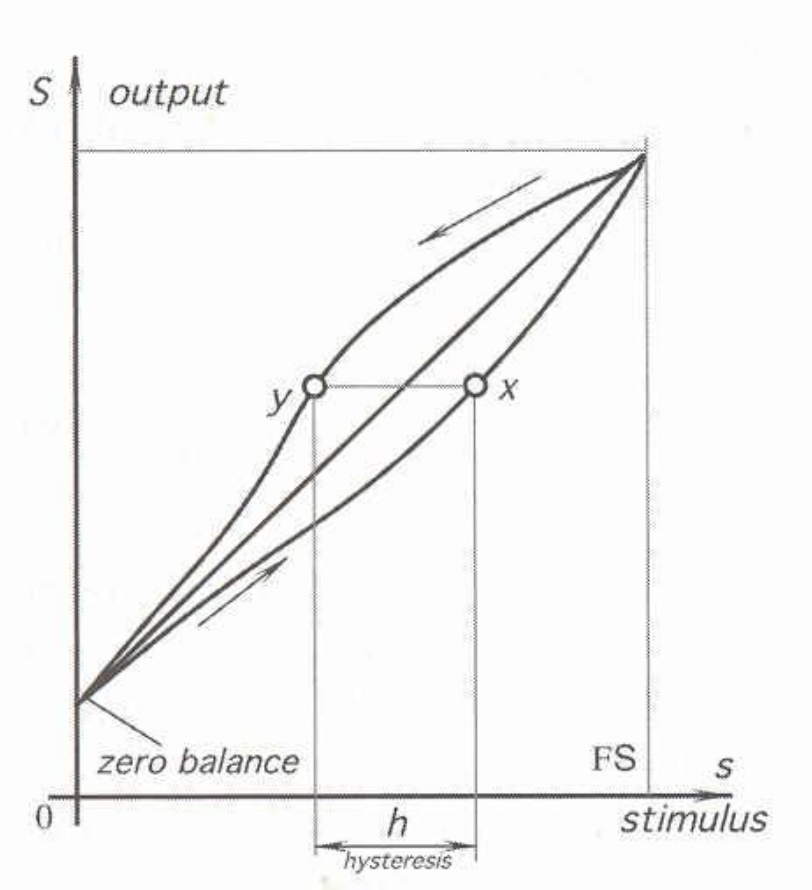
For an actuator?

µm

مثال از یک سنسور که برای اندازه گیری بین –30 °C و +80 °C ساخته شده است و خروجی بین 2.5V to 1.2V است.

- Range: –30°C and +80 °C
- Span: 80– (–30)=110 °C ➔ Input full scale = 110 °C
- Output full scale = 2.5V-1.2V=1.3V

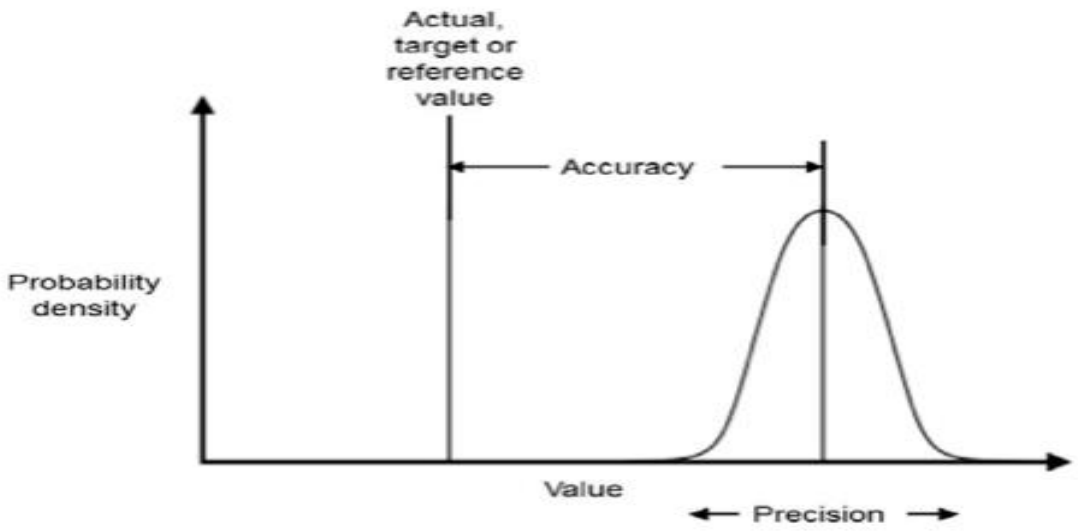
- **رزولوشن (تفکیک پذیري):** کوچکترین مقدار تغییر در ورودي است که باعث پاسخ در خروجي سنسور گردد.

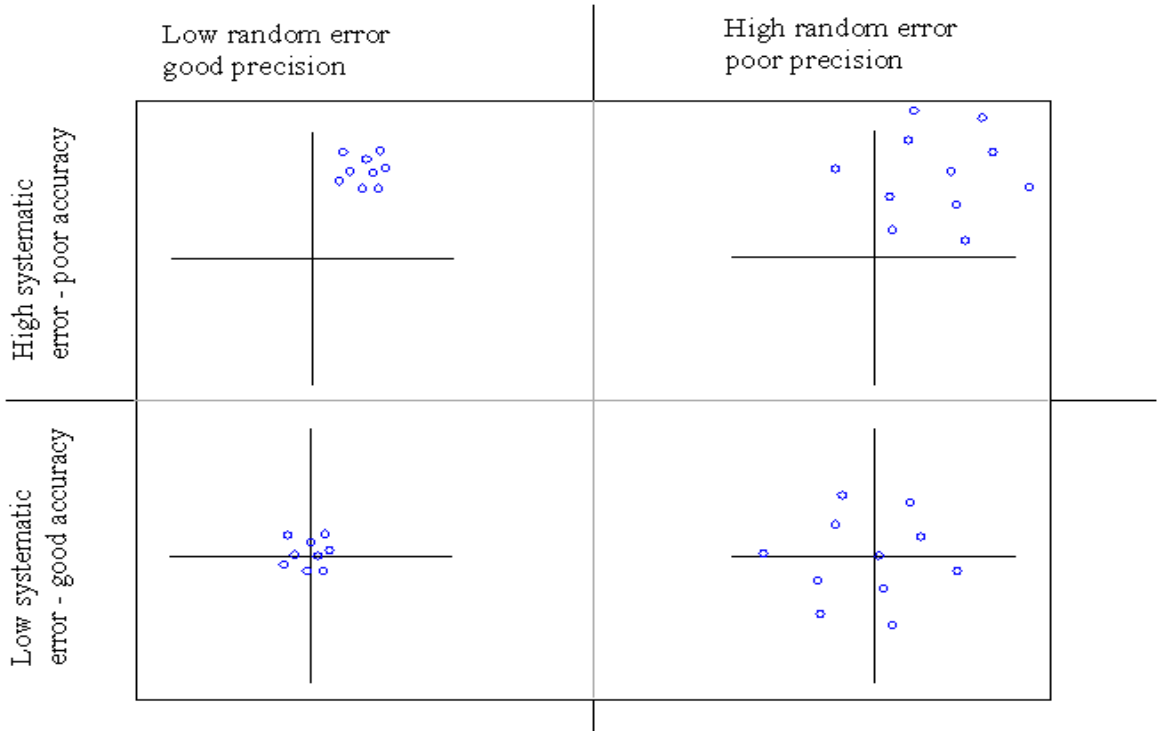


- **هیسترزیس:** مسیر افزایش و کاهش ورودی متفاوت است.

تکرار پذیری (Repeatability or Reproducibility) :

توانايي سنسور در ارائه خروجي يكسان به ازاي ورودي هاي يكسان، در زمان هاي متفاوت (مستقل از مسير هيسترزيس) تكرار پذيري ناميده مي‌شود. اين مقدار براي يک سنسور، مقدار بيشينه تفاوت بين دو مقدار خوانده شده در ازاي يک مقدار ورودي ثابت، در زمان ها و شرايط متفاوت است. به اين مقدار **تلرانس** هم گفته مي شود.





- **صحت (Accuracy):** تطابق مقدار اندازه گیری شده با مقدار کمیت مورد اندازه گیری.حداکثر اختلاف بین مقدار واقعی (که توسط یک سنسور ایده آل اندازه گیری شده) با مقدار گرفته شده توسط سنسور مورد نظر. این پارامتر می تواند به صورت درصد full scale بیان شود یا به صورت مطلق.
- **دقت (Precision):** هر چه اندازه گيري سنسور بازاي يک کمیت فیزیکي یکسان در حالت هاي مختلف همگراتر باشد، سنسور از دقت بیشتري برخوردار است. به بیان آماري هر چه انحراف معیار جامعة آماري خروجي سنسور کمتر باشد، سنسور دقیقتر است. در تصویر زیر تفاوت صحت و دقت نمایش داده شده است.

•قابليت اطمينان (Reliability)

قابليت اطمينان مقدار آماري كيفيت يک سنسور (كلا وسيله اي) است كه توانايي آن وسيله را براي انجام وظيفه اش تحت شرايط عادي راه اندازي بدون خطا، براي يک دوره زماني يا تعداد سيكل هاي مشخص تعيين مي كند. اين مقدار معمولا به ساعت، سال و ... بيان مي شود.

•فضاي مرده (Dead Space or Deadband)

بيشترين مقدار تغيير در ورودي كه در ازاي آن سنسور پاسخي ندهد، فضاي مرده ناميده مي‌شود.

•حد آستانه (Thereshold)

حداقل مقدار ورودي در ابتداي بازة ورودي كه سنسور بعد از آن شروع به كار كند، حد آستانه ناميده مي‌شود.

كلاس حفاظتي (International Protection Rating or Ingress Protection Rating)

بر طبق استاندارد DIN40050 سنسورها بر اساس نفوذپذيري طبقه بندي مي شوند. مقاومت نفوذپذيري سنسورها بر اساس دو عدد كه بعد از IP ذكر مي شوند قابل ارزيابي هستند. اين دو عدد كلاس حفاظتي ناميده شده و به ترتيب مقاومت در برابر اشياء و ذرات و همچنين آب را نشان مي دهند و طبق جداول زير تعريف مي شوند.

سطح	اندازه اشياء و ذرات كه سنسور در برابر آن ها محافظت شده است. (ميلي متر)	مقاومت مؤثر
۰	ــــــ	بدون هيچ حفاظتي در برابر تماس و ورود اشياء
۱	>۵۰	هر سطح وسيعي از بدن مانند پشت دست، ولي نه در برابر تماس عمدي اعضاي بدن
۲	>۱۲,۵	انگشت و يا اشياي شبيه به آن
۳	>۲,۵	ابزارآلات، سيم هاي ضخيم و ...
۴	>۱	اغلب سيم ها، پيچ ها و ...
۵	تا حدودي مقاوم در برابر ذرات	حفاظت كامل در برابر تماس ولي ورود ذرات كاملا متوقف شده نيست، از طرفي به مقداري هم نيست كه در كار سنسور مداخله كند.
۶	مقاوم در برابر ذرات	جلوگيري كامل از ورود ذرات و ممانعت كامل از تماس

توضیح عدد دوم ذکر شده پس از IP

سطح	محافظت	جزئيات
۰	بدون محافظت	ـــــ
۱	چكيدن آب	چكيدن آب به طور عمود به طوري كه آسيب جدي (از لحاظ مكانيكي) نداشته باشد.
۲	چكيدن آب با زاويه تا ۱۵ درجه	چكيدن آب به طور عمود به طوري كه آسيب جدي (از لحاظ مكانيكي) نداشته باشد وقتي كه محفظه دستگاه تا ۱۵ درجه از حالت معمولي چرخش داشته باشد.
۳	آب به صورت افشانه	افشانه آب تا زاويه ۶۰ درجه نسبت به حالت عمود، به شرطي كه آسيب جدي (از لحاظ مكانيكي) نداشته باشد.
۴	پاشش آب	پاشش آب از هر جهت به طوري كه آسيب جدي (از لحاظ مكانيكي) نداشته باشد.
۵	آب فوران يافته	آبي كه از يک نازل در برابر محفظه از هر جهت بپاشد، به طوري كه آسيب جدي (از لحاظ مكانيكي) نداشته باشد.
۶	آب به شدت بيرون زده	آبي كه به شدت از يک نازل در برابر محفظه از هر جهت بپاشد، به طوري كه آسيب جدي (از لحاظ مكانيكي) نداشته باشد.
۷	غوطه ور شدن در آب تا ۱ متر	وقتي كه محفظه در فشار و زمان مشخصي در آب فرورفته باشد، ورود آب به مقدار مشكل زا نبايد ممكن باشد.
۸	غوطه ور شدن در آب بيش از ۱ متر	تجهيزات براي غوطه وري مداوم در آب تحت شرايطي كه توسط توليدكننده مشخص مي شود، مناسب است. توجه: به طور معمول، اين بدين معني است كه تجهيزات محكم دربسته شده اند.
۹	فشار آب و بخار	حفاظت در برابر آب و بخار با فشار بالا براي شستشو

مثال – سنسور فشار آب

Specifications

Performance	
Long Term Drift	0.2% FS/YR (non-cumulative)
Accuracy	0.25% FS
Thermal Error	
31IS	±1.5% max, ±1% typical / 100°C (212°F)
32IS	±2% max
Compensated Temperatures	-20°C to +80°C (-4°F to +176°F)
Operating Temperatures	-40°C to +80°C (-40°F to +176°F)
Zero Tolerance, Max.	0.5% of span
Span Tolerance, Max.	0.5% of span
Fatigue Life	Designed for more than 100 M cycles
Mechanical Configuration	
Pressure Port	See under "How to Order," last page
Wetted Parts	17-4 PH Stainless Steel
Electrical Connection	See under "How to Order," last page
Enclosure	IP67 (IP65 for electrical codes B, R and G)
Vibration	BSEN 60068-2-6 (FC) Sine (20G) BSEN 60068-2-64 (FH) Random (14.1 Grms)
Shock	BSEN 60068-2-27 (Ea) (50G, 11ms)
Approvals	ATEX Category II 1G, Ex ia IIB T4 Ga (-40°C < Ta < +80°C)
Weight	50-150 grams (1.8 to 5.3 ounces). Configuration dependant

EMC Specifications

Emissions Tests: EN61326-1:2006 and EN61326-2-3:2006

EN55011:2007	Radiated Emissions:	30-230MHz 30dB µV/M @10M 230-1000MHz 37dB µV/M @10M

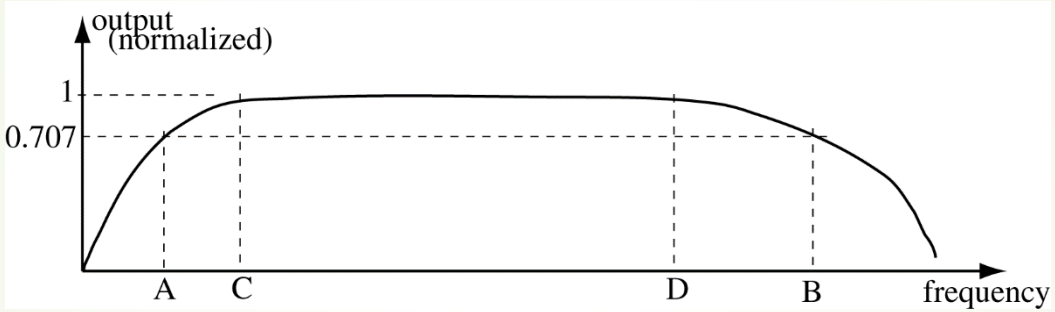
Immunity Tests: EN61326-1:2006 and EN61326-2-3:2006

EN61000-4-2:2009	Electrostatic Discharge:	±4Kv contact ±8Kv air
EN61000-4-3:2006	Radiated Immunity:	10V/M 80-1000MHz 3V/M 1400-2000MHz 1V/M 2000-2700MHz
EN61000-4-4:2004	Fast Transients:	±0.25, 0.5, 1Kv
EN61000-4-6:2007	Conducted Immunity:	3V 0.15 to 80MHz 80% 1KHz modulation

Individual Specifications

Voltage	
Output (3-wire)	0V min. to 10V max. See under "How to Order," last page
Supply Voltage	1 Volt above full scale to 30V max @ 4.5 mA
Source and Sinks	2 mA
Current	
Output (2-wire)	4-20 mA
Supply Voltage	8-24 Volts measured at the input to the transducer terminals
Maximum Loop Resistance	(Supply Voltage – 8) x 50ohms See Graph
Ratiometric	
Output	0.5 to 4.5V (Source and sink 2mA)
Supply Voltage	5 Vdc ±10% @ 4.5mA

پاسخ فرکانسی سنسور

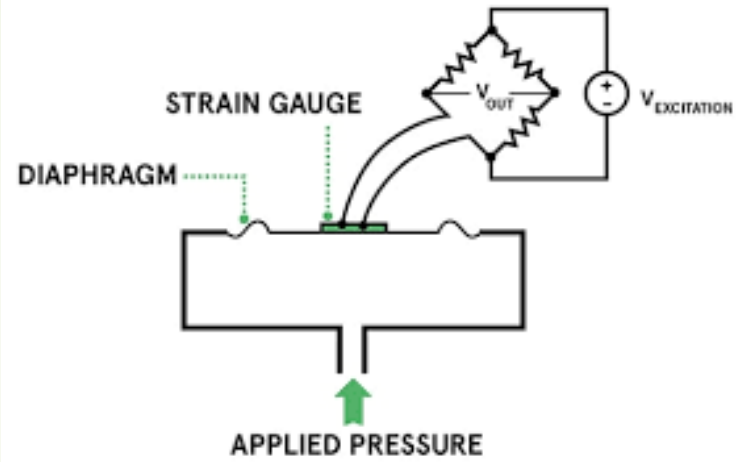


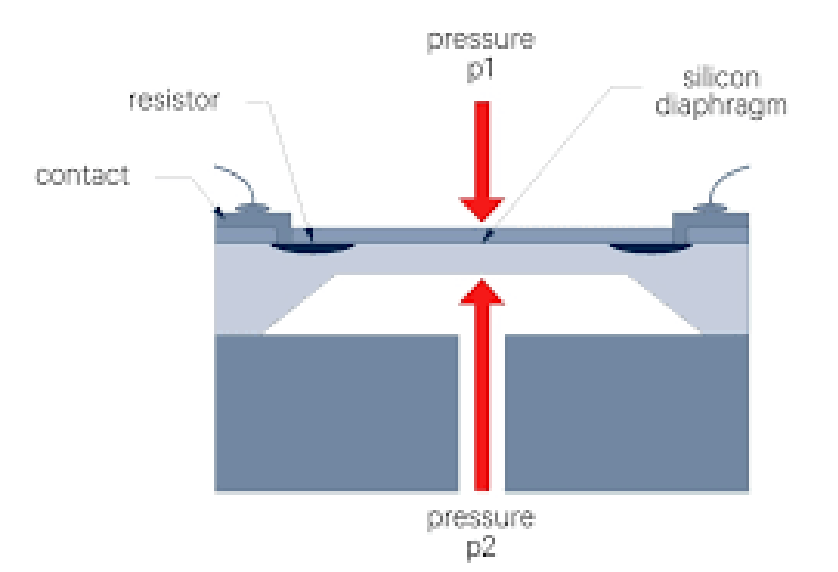
- Important design parameters
  - Bandwidth (B-A, in Hz)
  - Flat frequency range (D-C in Hz)
  - Cutoff frequencies (points A and B in Hz)
  - Resonant frequencies

مثال: سنسور فشار پیزو مقاومتی (Piezoresistive)

Technical performance:

Bridge resistance: 3KΩ ~ 6KΩ
Power supply: constant current 1.5mA, constant voltage 10V
Operating temperature: -45 ℃ ~ 125 ℃
Compensation range: -10 ℃ ~ 70 ℃
Housing and diaphragm: Stainless steel 316L
Accuracy: 0.5% FS
Zero: ± 2mV
Full scale: ≥100mV (typical)
Zero drift: 0.02% FS / ℃
Sensitivity temperature drift: 0.02% FS / ℃
Insulation: 100MΩ / 250VDC
Sealing ring: φ16 × 1.7mm (NBR or fluorinated rubber)
Long term stability: 0.2% FS / year
Oil-filled: silicone oil, olive oil (hygienic)
Response time: ≤50μm (up to 90% FS)
Vibration: 20g / (20 ~ 5000Hz)
Durability cycle:> 100 × 106 FS

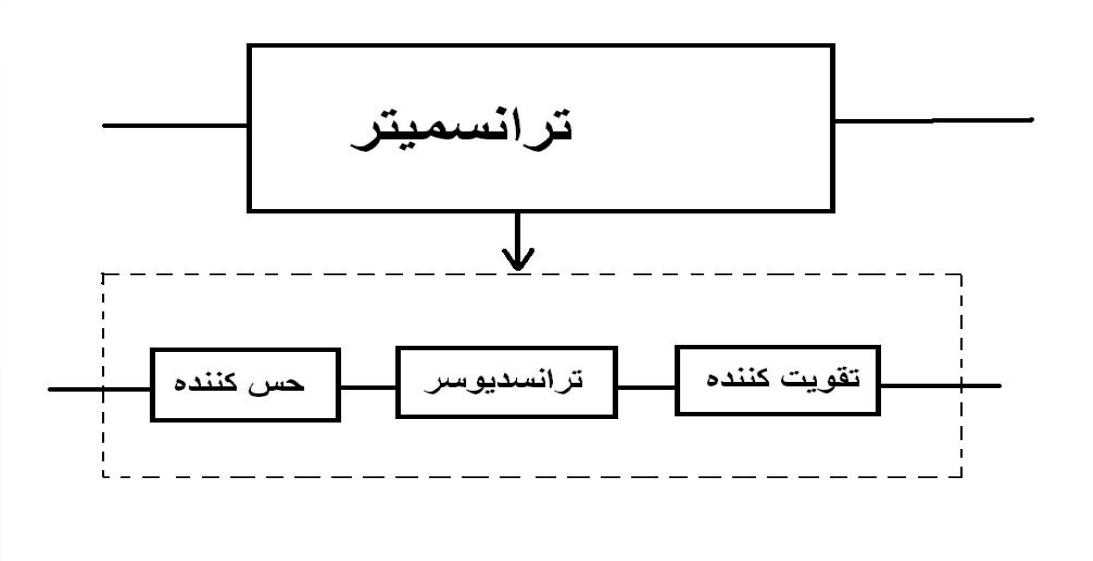




ترانسميترها روي لوله ها و مخازن در سراسر محوطه در نقاط اندازه گيري نصب ميشوند

ترانسميتر ها از سه قسمت اصلي حس كننده ، مبدل(ترانسديوسر)و تقويت كننده تشكيل مي شود.I

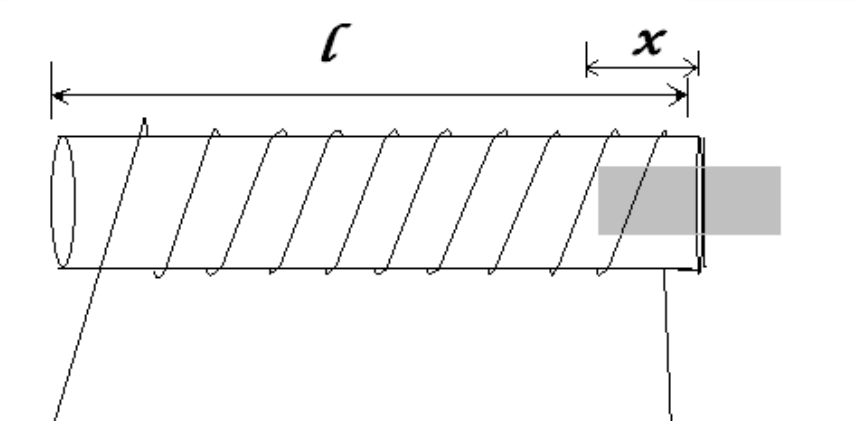
- خروجی ترانسميترهای الكتريكی بين 4-20 ميلی آمپر و ترانسميترهای نيوماتيكی بين 3-15 PSI



اندازه گيري هاي وضعيت(جابجايي):

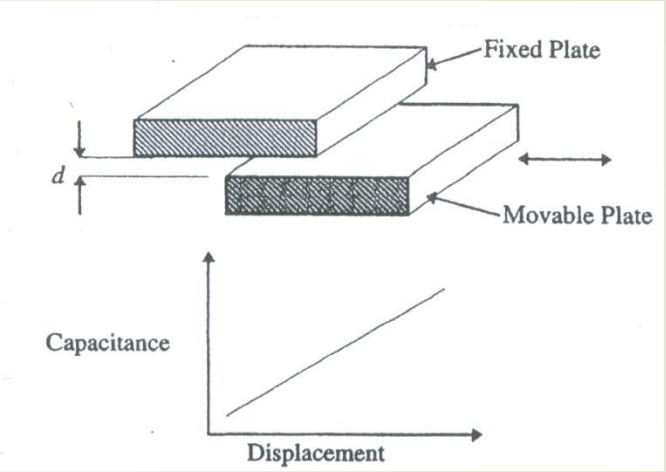
اندازه گيرهاي مقاومتي : مقاومت متناسب با طول است و بنابر اين از آن ميتوان بعنوان يك اصل فيزيكي براي اندازه گير هاي وضعيت استفاده نمود. ساده ترين نوع اندازه گير هاي مقاومتي اندازه گير هاي پتانسيومتري مي باشد.
از مزاياي اندازه گيرهاي مقاومتي ميتوان به سادگي ارزاني و سهولت كاربرد اشاره كرد و از معايب آن نيز استهلاك مكانيكي ومحدود بودن رنج اندازه گيري و ايزولاسيون ضعيف ورودي ، خروجي اشاره كرد.

اندازه گيرهاي سلفي : مشكل اساسي اندازه گير هاي مقاومتي استهلاك آنهاست يعنى لغزش سر وسط پتانسيومتر برروي آن موجب استهلاك و سايش مي شود .بعلاوه لختي سر وسط ايجاد نويز و اختلال در اندازه گيري مي نمايد. همچنين گرد غبار و آلودگي هايي كه در محيط هاي صنعتي وجود دارد نيز موجب كثيف شدن پتانسيومتر و انحراف مشخصات اوليه آن مي شود.



اندازه گير خازني:

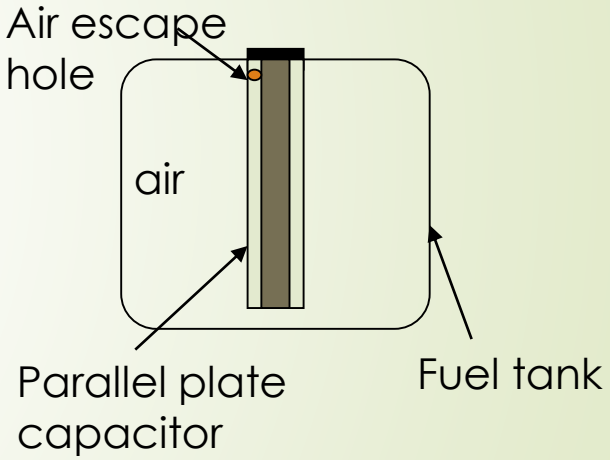
اندازه گير هاي خازني در اندازه گيري جابجايي هاي بسيار كوچك ،دقت و حساسيت بهتري دارند.بعلاوه ميدان هاي مغناطيسي كه در محيط هاي صنعتي وجود دارند تأثيري بر كار آنها نخواهد گذاشت .



$$C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 A}{d}$$

- A: overlapping area of plates (m^2)
- d: distance between the two plates of the capacitor (m)
- : permittivity of air or free space 8.85pF/m
- ε_0 dielectric constant

ε_r :

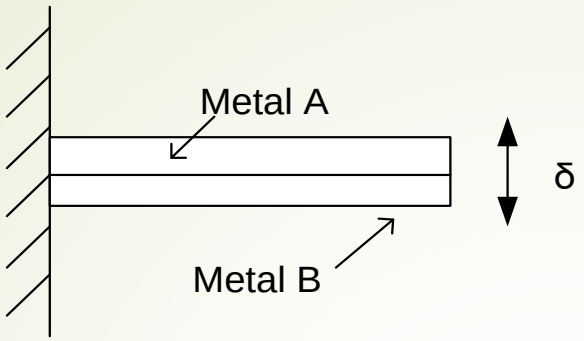


- روش های اندازه گیری خازنی تغییر مکان
  - Change distance between the parallel electrodes.
  - Change the overlapping area of the parallel electrodes.
  - Change the dielectric constant.

اندازه گیری دما

- استفاده از ترموکوپل
  - خود تغذیه
  - ساده
  - غیر خطی
  - حساسیت کم
- استفاده از RTD (Resistance Temperature Detector)
  - پایداری زیاد
  - دقت زیاد
  - گران
  - خطی تر از ترموکوپل
- استفاده از ترمیستور
  - غیر خطی تر از دو مورد قبل
  - رنج درجه حرارت محدود
  - سریع

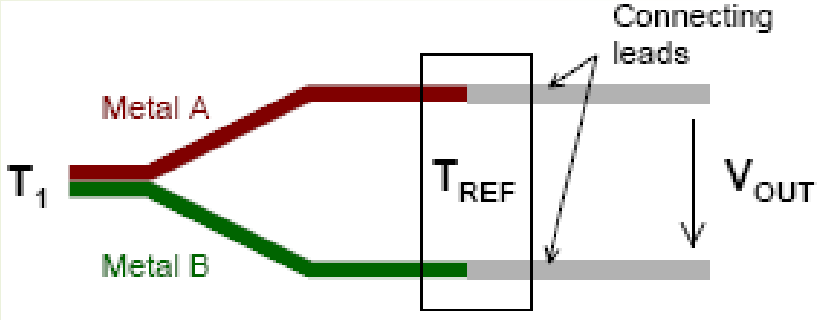
سنسور دما: بی متال



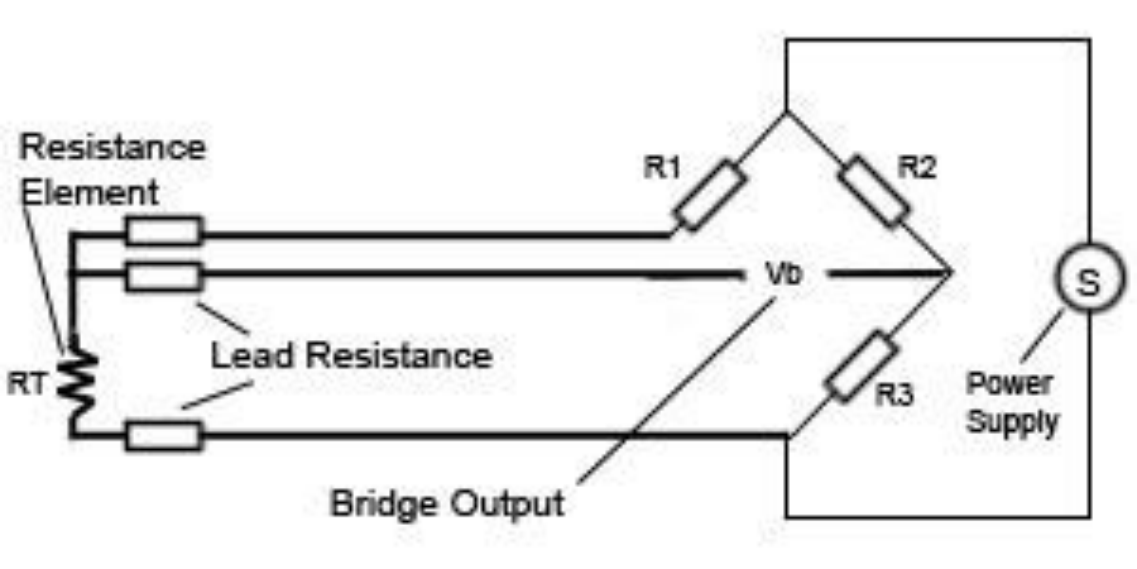
کاربرد: ترموستات

$$L = L_0[1+\beta(T - T_0)]$$

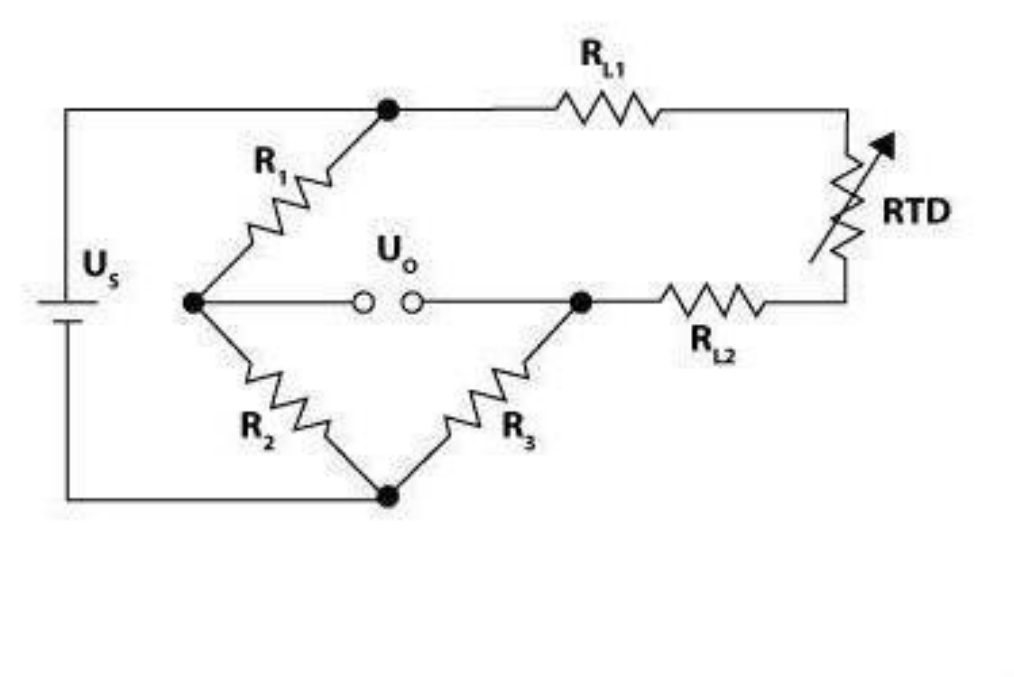
ترموکوپل



بر مبنای اثر سی بک (seebeck effect) یا ترموالکتریک عمل میکند. اختلاف دما در دو نقطه اتصالِ مداری که از دو فلز متفاوت تشکیل شده باشد، قادر است عقربه قطب‌نما را منحرف کند.


Resistance
Element
R1
R2
Vb
S
RT
Lead Resistance
R3
Power
Supply
Bridge Output

3 Wire


R_{L1}
R_1
RTD
U_s
U_o
R_{L2}
R_2
R_3

2 Wire

RTD: (Resistance Temperature Detector)

از انواع مهم RTD میتوان به Pt100 اشاره نمود. جنس مقاومت از پلاتینوم و در دمای صفر درجه مقاومت 100 اهم دارد.

مواد دیگر سازنده RTD: Platinum, Nickel, Copper

$$R_T=R_0 * [1+a_1.T+a_2.T^2+a_3.T^3 +\ldots+a_n.T^n] = R_0 * (1+a_1.T)$$

$$R = R_0[1+\alpha(T - T_0)]$$

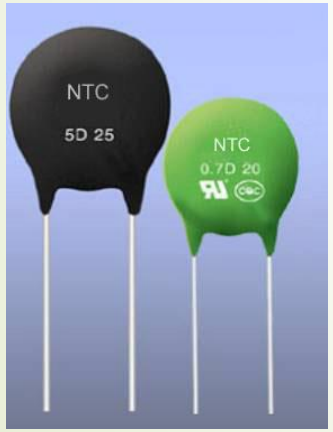
Thermistors (Thermally sensitive resistor)

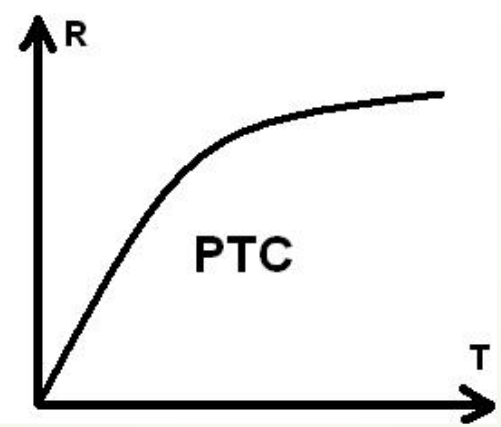
ترمیستورها

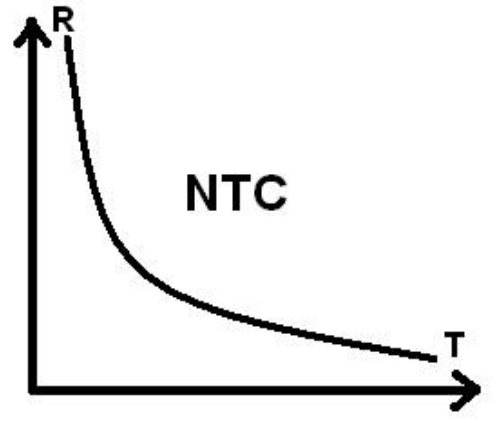
$$R = R_0 e^{\gamma\left[\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right]}$$

با استفاده از مواد نیمه هادی غیر فلزی که اغلب از ترکیبات سرامیک و یک اکسید فلزی (Mn, Co, Cu or Fe) است ساخته می شود.

دونوع معمول آن: (PTC) و (NTC).



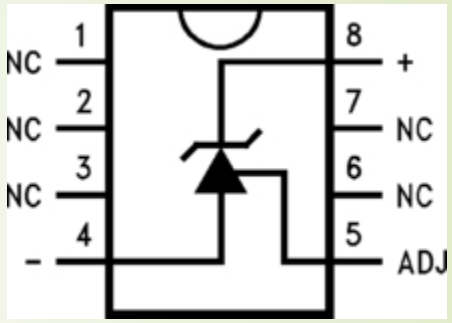


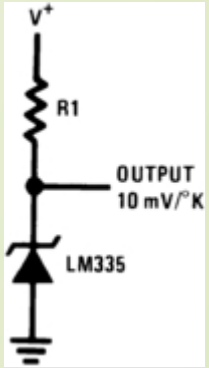


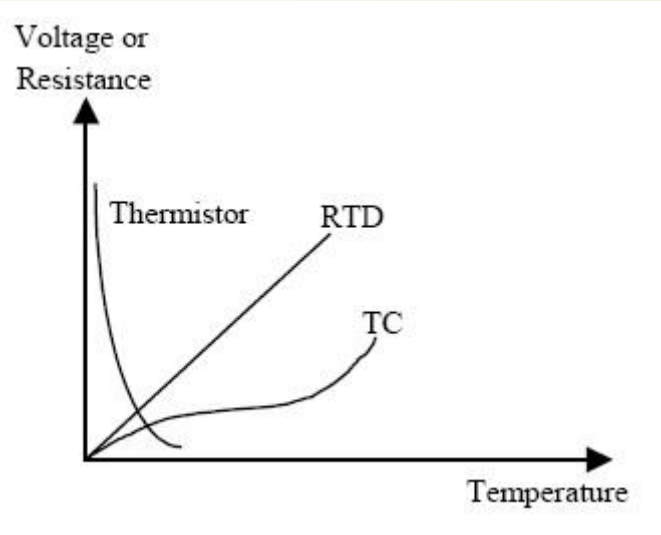
آی سی سنسور دما

مثلا (LM135/235/335)

- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 µA to 5 mA
- Less than 1 Ohm dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C over range
- Low cost







	THERMOCOUPLES	RTD	IC
ACCURACY	Limits of error wider than RTD or IC Sensor	Better accuracy than thermocouple	Best accuracy
RUGGEDNESS	Excellent	Sensitive to strain and shock	Sensitive to shock
TEMPERATURE	-400 to 4200° F	-200 to 1475° F	-70 to 300° F
DRIFT	Higher than RTD	Lower than TC	
LINEARITY	Very non-linear	Slightly non-linear	Very linear
RESPONSE	Fast dependent on size	Slow due to thermal mass	Faster than RTD
COST	Rather inexpensive except for noble metals TCs, which are very expensive	More expensive	Low cost

Sensor type	Thermistor	RTD	Thermocouple
Temperature Range (typical)	-100 to 325°C	-200 to 650°C	200 to 1750°C
Accuracy (typical)	0.05 to 1.5°C	0.1 to 1°C	0.5 to 5°C
Long-term stability @ 100°C	0.2°C/year	0.05°C/year	Variable
Linearity	Exponential	Fairly linear	Non-linear
Power required	Constant voltage or current	Constant voltage or current	Self-powered
Response time	Fast 0.12 to 10s	Generally slow 1 to 50s	Fast 0.10 to 10s
Susceptibility to electrical noise	Rarely susceptible High resistance only	Rarely susceptible	Susceptible / Cold junction compensation
Cost	Low to moderate	High	Low

Range: Unlike RTDs, thermistors can only monitor a smaller range of temperature. While some RTDs can reach 600°C, thermistors can only measure up to 130°C.

If your application involves temperatures above 130°C, your only option is the RTD probe.

Cost: Thermistors are quite inexpensive compared with RTDs. If your application temperature matches the available range, thermistors are probably the best option.
However, thermistors with extended temperature range and/or interchangeability features are often more expensive than RTDs.

Sensitivity: Both thermistors and RTD react to temperature changes with predictable changes in resistance. However, thermistors change resistance by tens of ohm per degree, compared to a smaller number of ohms for RTD sensors. With the appropriate meter, the user can therefore obtain more accurate readings.
Thermistor response times are also superior to RTDs, detecting changes in temperature much faster. The sensing area of a thermistor can be as small as a pin head, delivering quicker feedback.

Accuracy: Although the best RTDs have similar accuracies to thermistors, RTDs add resistance to the system. Using long cables can alter readings outside of acceptable error levels.

The larger the thermistor, the higher the resistance value of the sensor. If you are dealing with long distances and there is no option to add a transmitter, a thermistor is the better solution.

Conclusion:

The main difference between thermistors and RTDs is the temperature range. If your application involves temperatures above 130°C, the RTD is your only option.

Below that temperature, thermistors are often preferred when accuracy is important. RTDs, on the other hand, are chosen when tolerance (i.e. resistance) is important. In short: thermistors are better for precision measurement and RTDs for temperature compensation.

Connecting Sensors to Microcontrollers

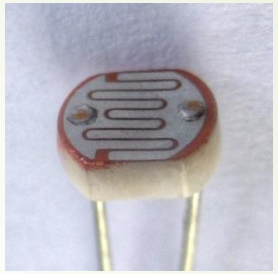
- Analog
  - many microcontrollers have a built-in A/D
    - 8-bit to 12-bit common
    - many have multi-channel A/D inputs
- Digital
  - serial I/O
    - use serial I/O port, store in memory to analyze
    - synchronous (with clock)
      - must match byte format, stop/start bits, parity check, etc.
    - asynchronous (no clock): more common for comm. than data
      - must match baud rate and bit width, transmission protocol, etc.
  - frequency encoded
    - use timing port, measure pulse width or pulse frequency

Connecting Smart Sensors to PC/Network

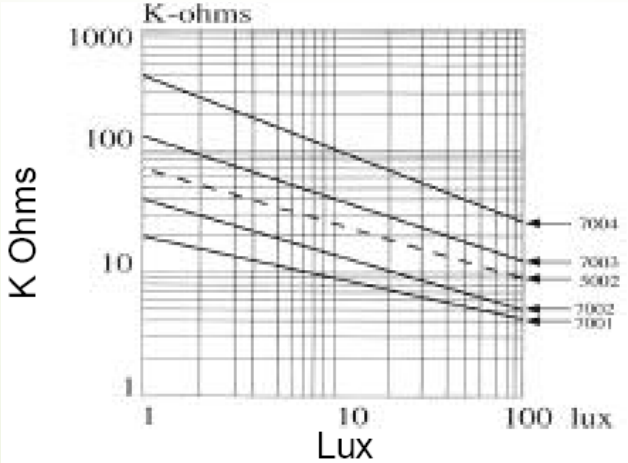
- "Smart sensor" = sensor with built-in signal processing & communication
  - e.g., combining a "dumb sensor" and a microcontroller
- Data Acquisition Cards (DAQ)
  - PC card with analog and digital I/O
  - interface through LabVIEW or user-generated code
- Communication Links Common for Sensors
  - asynchronous serial comm.
    - universal asynchronous receive and transmit (UART)
      - 1 receive line + 1 transmit line. nodes must match baud rate & protocol
    - RS232 Serial Port on PCs uses UART format (but at +/- 12V)
      - can buy a chip to convert from UART to RS232
  - synchronous serial comm.
    - serial peripheral interface (SPI)
      - 1 clock + 1 bidirectional data + 1 chip select/enable
  - I^2C = Inter Integrated Circuit bus
    - designed by Philips for comm. inside TVs, used in several commercial sensor systems
  - IEEE P1451: Sensor Comm. Standard
    - several different sensor comm. protocols for different applications

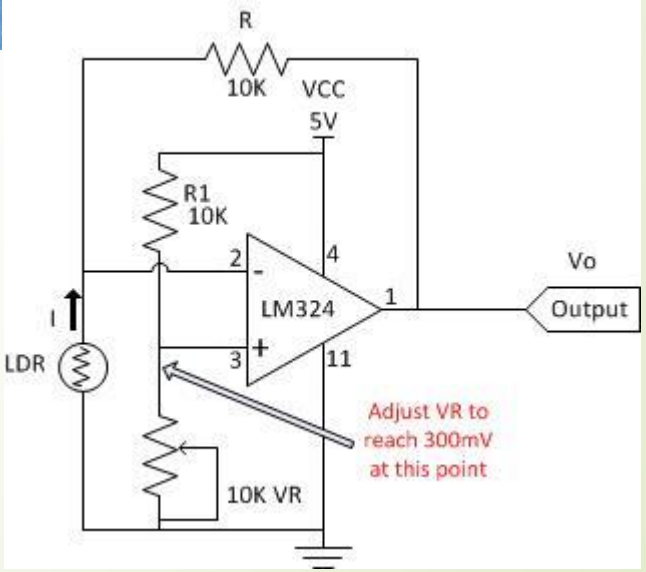
Cadmium Sulfoselenide (CdS) Photoconductive Photocells and light-dependent resistor (LDR)

light-dependent resistor (LDR)



Light sensing using CdS



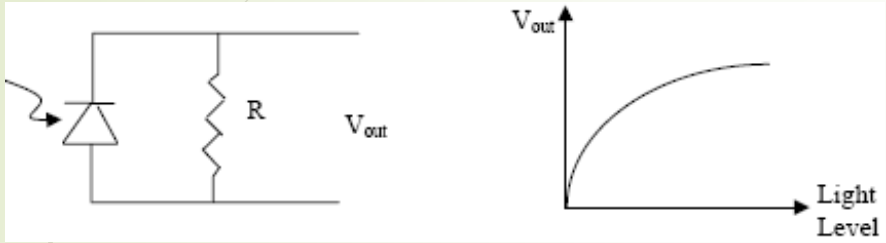


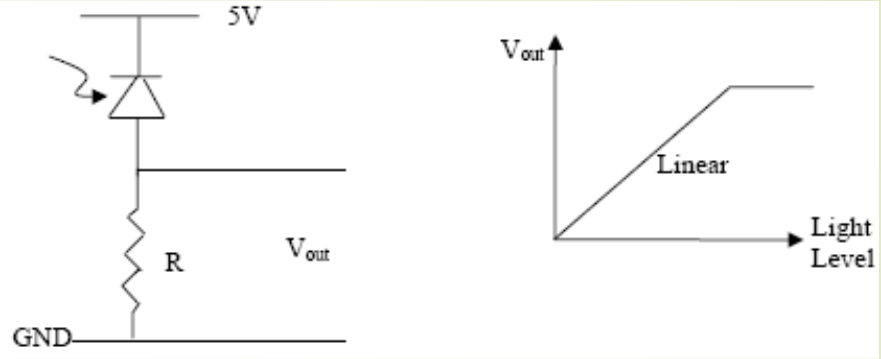
http://faculty.uml.edu/aelbirt/16.480/pdvp5001.pdf

https://en.wikipedia.org/wiki/Photoresistor

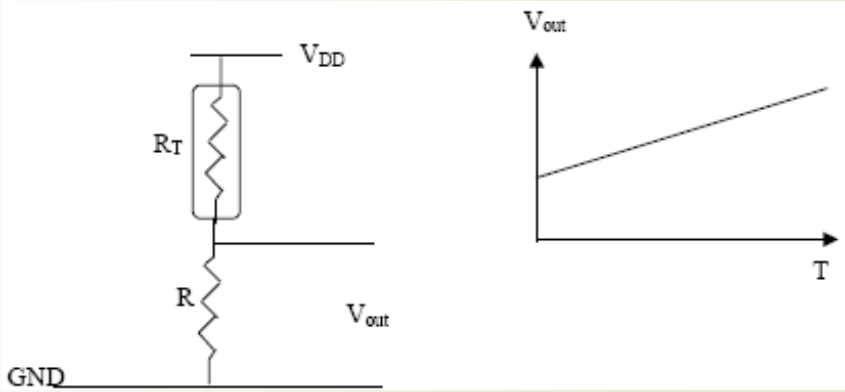
سنسورهای پسیو

- Photodiode Circuits





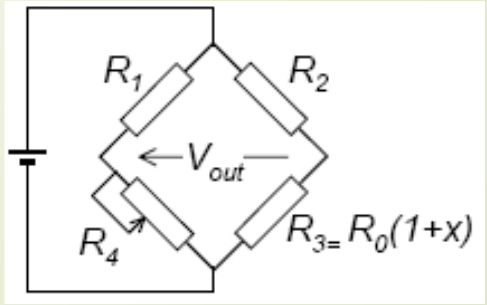
- Thermistor Half-Bridge
  - voltage divider
  - one element varies



- پل وتستون
  - R3 = resistive sensor
  - R4 is matched to nominal value of R3
  - If $R_1 = R_2$, $V_{out\text{-}nominal} = 0$
  - V_{out} varies as R_3 changes

VCC

$$V_{out} = V_{CC}\left(\frac{R_3}{R_2+R_3} - \frac{R_4}{R_1+R_4}\right)$$



Operational Amplifiers

- Properties
  - **open-loop gain:** ideally infinite: practical values 20k-200k
    - high open-loop gain → virtual short between + and - inputs
  - **input impedance: ideally infinite:** CMOS opamps are close to ideal
  - **output impedance: ideally zero:** practical values 20-100Ω
  - **zero output offset: ideally zero:** practical value <1mV
  - **gain-bandwidth product (GB):** practical values ~MHz
    - frequency where open-loop gain drops to 1 V/V
  - **low noise**
  - **low input current**
  - **low power**
  - **high bandwidth**
  - **low/high supply voltage**
  - **special purpose:** comparator, instrumentation amplifier