





دانشگاه شیراز
دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی بیوسیستم

ابزار اندازه گیری و سیستم های کنترل

Instrumentation and Control Systems

فصل سوم:

آشنایی با انواع حسگرها (سنسورها) در مبدل

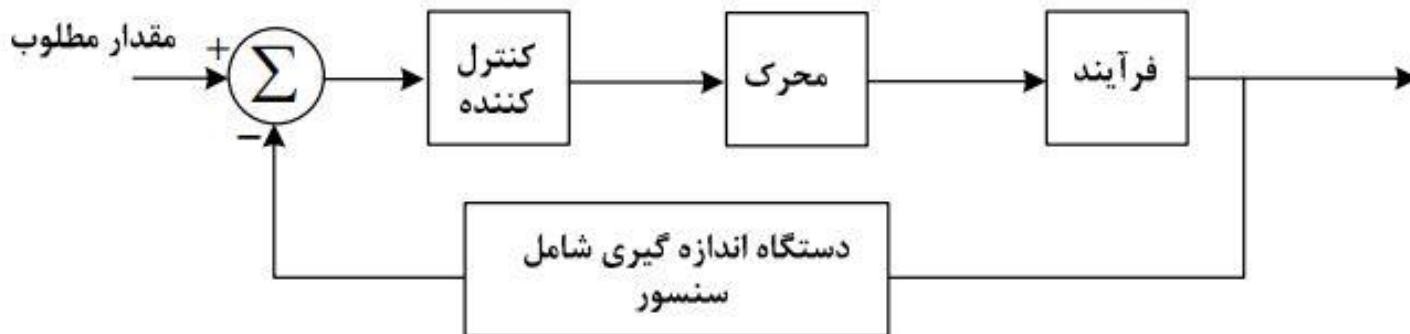
○ مبدل ها وسایل الکترومکانیکی هستند که یک تغییر در کمیت مورد اندازه گیری (مانند جابجایی یا نیرو) را به تغییر در یک سیگنال الکتریکی که می تواند بعد از دستکاری (Conditioning) به صورت ولتاژ مانیتور شود، تبدیل می کنند. گستره وسیعی از مبدل ها برای استفاده در اندازه گیری کمیت های مختلف وجود دارند.

○ عنصر اصلی تشکیل دهنده یک مبدل، حسگر آن است.

○ به طور کلی سنسور المان مس کننده ای است که کمیت های فیزیکی مانند فشار، حرارت، رطوبت، دما، و... را به کمیت های قابل اندازه گیری (اکثرا الکتریکی پیوسته (آنالوگ) و یا غیر پیوسته (دیجیتال)) تبدیل می کند و در دستگاه های اندازه گیری، سیستم های کنترل آنالوگ و دیجیتال مانند PLC مورد استفاده قرار می گیرند. عملکرد سنسورها و قابلیت اتصال آنها به دستگاه های مختلف از جمله PLC باعث شده است که سنسور بخشی از اجزای جدا نشدنی دستگاه کنترل اتوماتیک باشد. سنسورها اطلاعات مختلف از وضعیت اجزای متمرک سیستم را به واحد کنترل ارسال نموده و باعث تغییر وضعیت عملکرد دستگاه ها می شوند.

- مشخصه های مبدل ها که شامل محدوده، خطی بودن، حساسیت و دماهای عملکرد است در ابتدا توسط مسگری که در مبدل برای تولید سیگنال خروجی استفاده می شود، تعیین می گردد.

جایگاه سنسور که جزئی از دستگاه اندازه گیری می باشد در یک حلقه کنترل بسته در شکل ۱-۲ به صورت شماتیک نشان داده شده است. میزان کمیت مورد نظر در خروجی سنسور توسط عنصر حس کننده حس شده و در مقایسه کننده با مقدار مطلوب مقایسه شده و سیگنال حاصله «سیگنال خطا» به کنترلر اعمال و نتیجتاً جهت بهبود در وضعیت کنترل کمیت مورد نظر به سنسور اعمال می گردد و این عمل آنقدر تکرار می گردد تا سیگنال خطا به صفر نزدیک شود.



شکل ۱-۲: اجزا تشکیل دهنده یک سیستم کنترلی حلقه بسته

انواع سنسور بر حسب کمیت مورد اندازه گیری

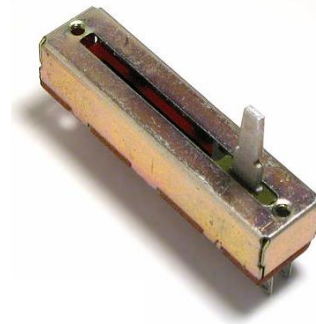
سنسورها از لحاظ کمیت مورد اندازه گیری به چندین بخش اصلی تقسیم می گردند:

- ۱- سنسورهای تغییر مکان
- ۲- سنسورهای سرعت و شتاب
- ۳- سنسورهای اندازه گیری نیرو و گشتاور
- ۴- سنسورهای دما
- ۵- سنسورهای فشار
- ۶- سنسورهای جریان سیال
- ۷- سنسورهای اندازه گیری سطح سیال

مسگرهای مورد استفاده در مبدل ها



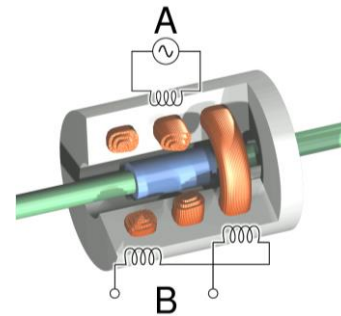
○ کریستال های پیزوالکتریک



○ پتانسیومترها



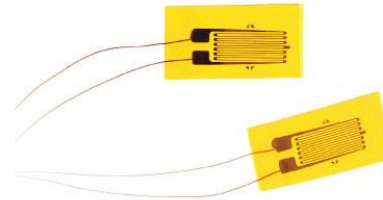
○ کریستال های پیزومقاومتی



○ ترانسفورمرهای تفاضلی



○ ترمیستورها



○ کرنش سنچ ها

○ موارد دیگر

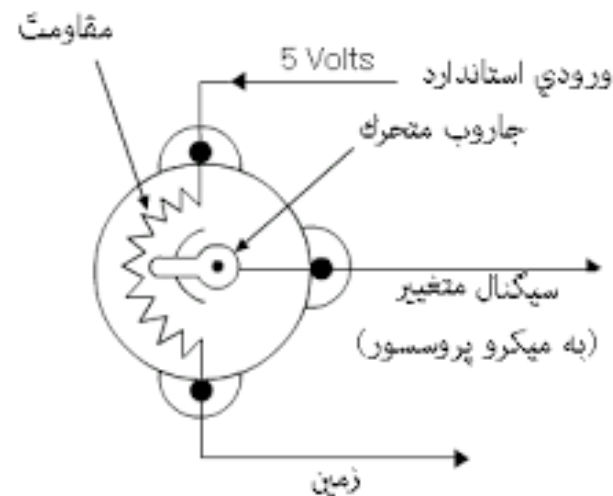
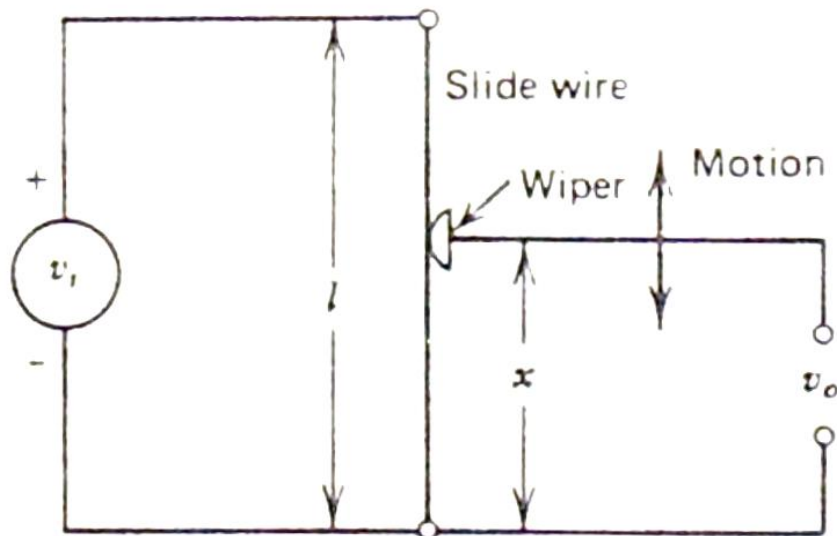


○ فازن ها

پتانسیومترها (Potentiometers)

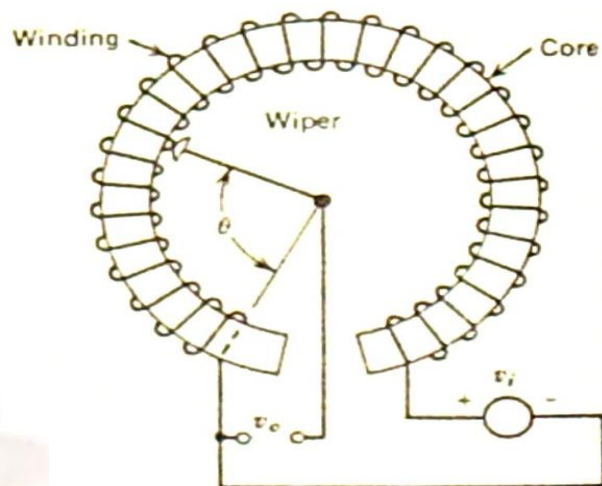
- از پتانسیومترها برای اندازه گیری جابجایی های (خطی و زاویه ای) کوچک استفاده می شود. ساده ترین نوع پتانسیومترها، نوع مقاومت سیم لغزان است.

$$v_0 = \frac{x}{l} v_i \quad \text{or} \quad x = \frac{v_0}{v_i} l$$



- کاربرد پتانسیومترهای با مقاومت سیمی مستقیم به طور گسترده میسر نیست؛ زیرا مقاومت سیم با طول کوتاه کم است و این مقاومت کم، سبب تکمیل توان اضافی روی منبع ولتاژ می شود.

○ افزایش طول سیم به صورت سیم پیچی حول یک مغزی ایزوله (عایق) باعث افزایش مقاومت گشته و این امر سبب کاهش توان مصرفی روی منبع ولتاژ می گردد.

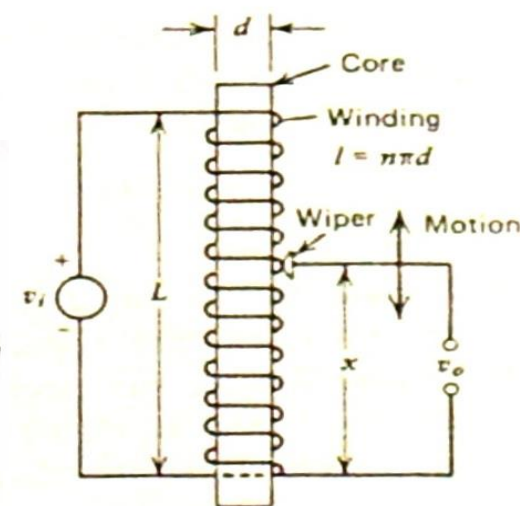
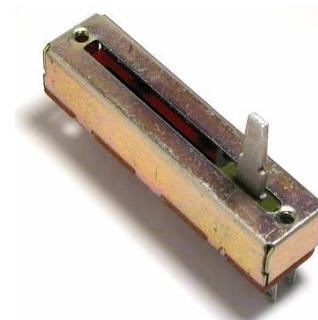


نشانه الکترونیکی

(اروپایی)

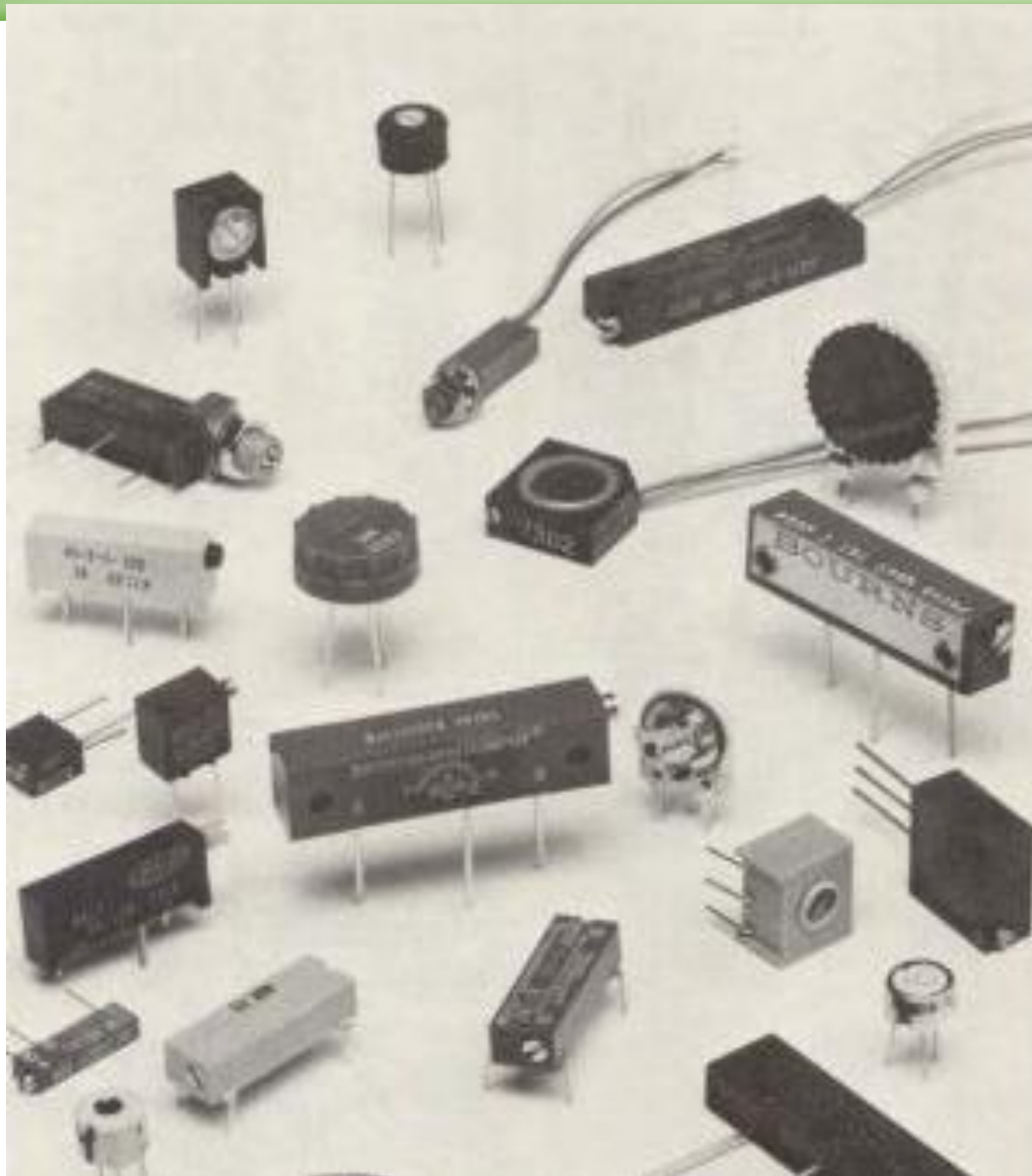
(آمریکایی)

پتانسیومتر زاویه ای



پتانسیومتر خطی

پتانسیومترها



مزایا و معایب پتانسیومترها

○ مقاومت پتانسیوترهای سیم پیچی شده وقتی که لغزنده از یک ملقه به ملقه مجاور حرکت می کند، به روش پله ای و گام به گام افزایش می یابد. این تخییر گام در مقاومت، قابلیت تمایز و وضوح پذیری پتانسیومتر را به L/n محدود می کند که L طول سیم پیچ و n تعدا ملقه ها است.

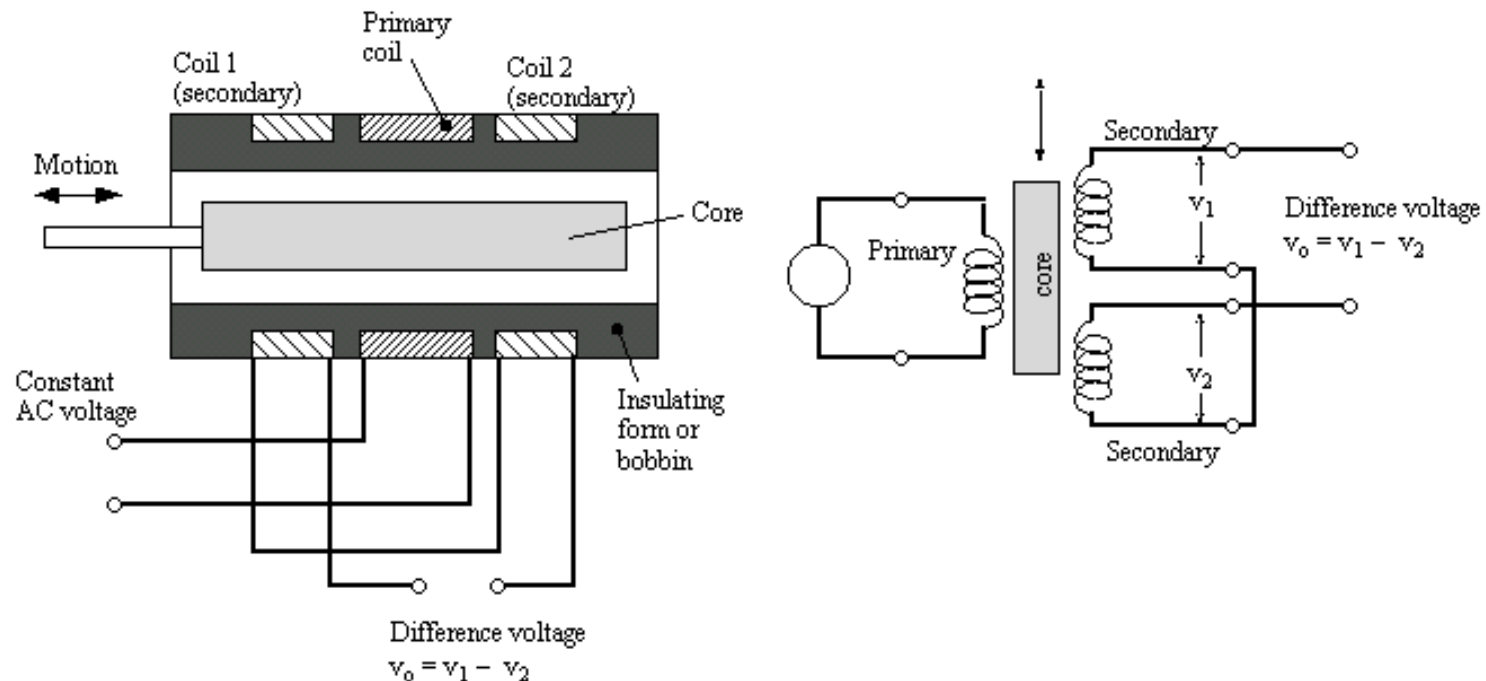
○ نویزهای الکترونیکی اغلب به هنگام حرکت کنتاکت روی جاروبگر از یک ملقه به ملقه دیگر پیش می آید. این نویز را می توان با تمیز نگهداشتن سیم پیچ از لایه های اکسیدی که روی آن تشکیل می شود (بوسیله روغنکاری) به حداقل (ساند).

○ پتانسیومترها وسایل ارزان و نسبتا دقیقی هستند؛ اما مزیت اصلی آنها سادگی عملکردشان است. از معایب آن ها محدود بودن پاسخ فرکانسی شان است یعنی نمی توان از آن ها در اندازه گیری های دینامیکی استفاده کرد. چون پاسخ دینامیکی آنها به شدت به اینرسی شافت و جاروبگر بستگی دارد. بنابراین فقط می توان در اندازه گیری های استاتیکی و شبهه استاتیکی از آن ها استفاده کرد.

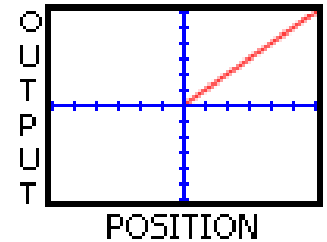
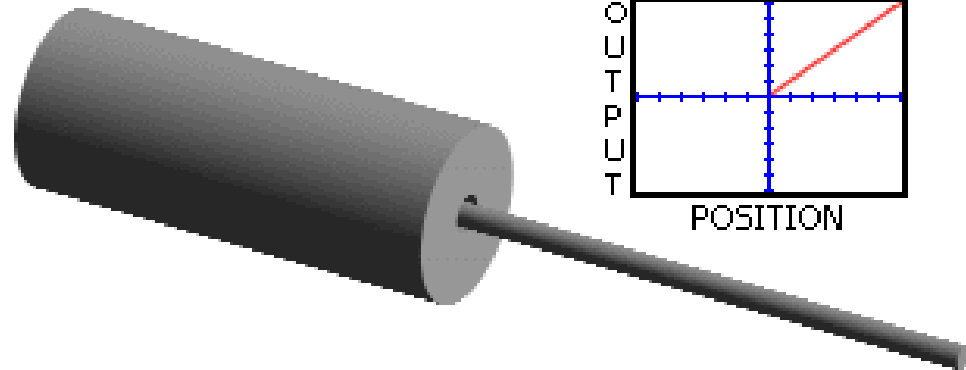
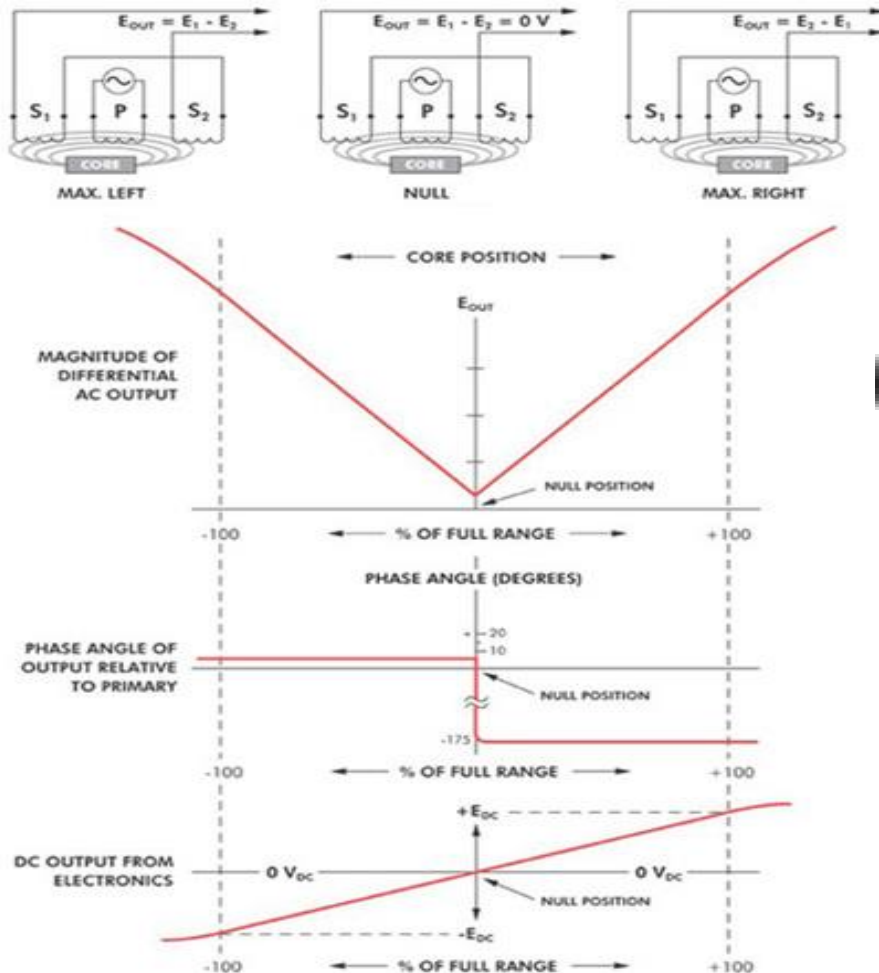
ترانسفورمرهای تفاضلی (Differential transformers)

○ این مسگر که براساس قانون اندوکتانس (خود القایی) متغیر کار می کند نیز جهت اندازه گیری جابجایی کوچک بکار میرود. عمومی ترین مسگر خودالقایی متغیر برای اندازه گیری جابجایی های خطی، ترانسفورمر تفاضلی متغیر خطی (LVDT) است.

Linear Variable Differential Transformer



○ تا زمانی که LVDT در محدوده کاری باشد، ولتاژ خروجی تابع خطی از حرکت هسته مغناطیسی می باشد.





مزایای استفاده از ترانسفورمرهای تفاضلی متغیر خطی و دوار

○ از آنجایی که هیچ تماسی بین هسته و سیم پیچ ها وجود ندارد، بنابراین اصطکاک و اینرسی به حداقل خود می رسد. بنابراین جرم کم هسته و فارغ بودن از اصطکاک به مسگر توانایی اندازه گیری های دینامیکی محدود را می دهد.

○ عدم تماس باعث می شود که قطعات برای مدت زیادی دوام داشته باشد و این مسگرها به وسیله حرکت بیش از حد، فسادت نبینند. بنابراین آن ها را می توان به عنوان مبدل های بازفورد در سیستم های کنترل خودکار به کار برد.

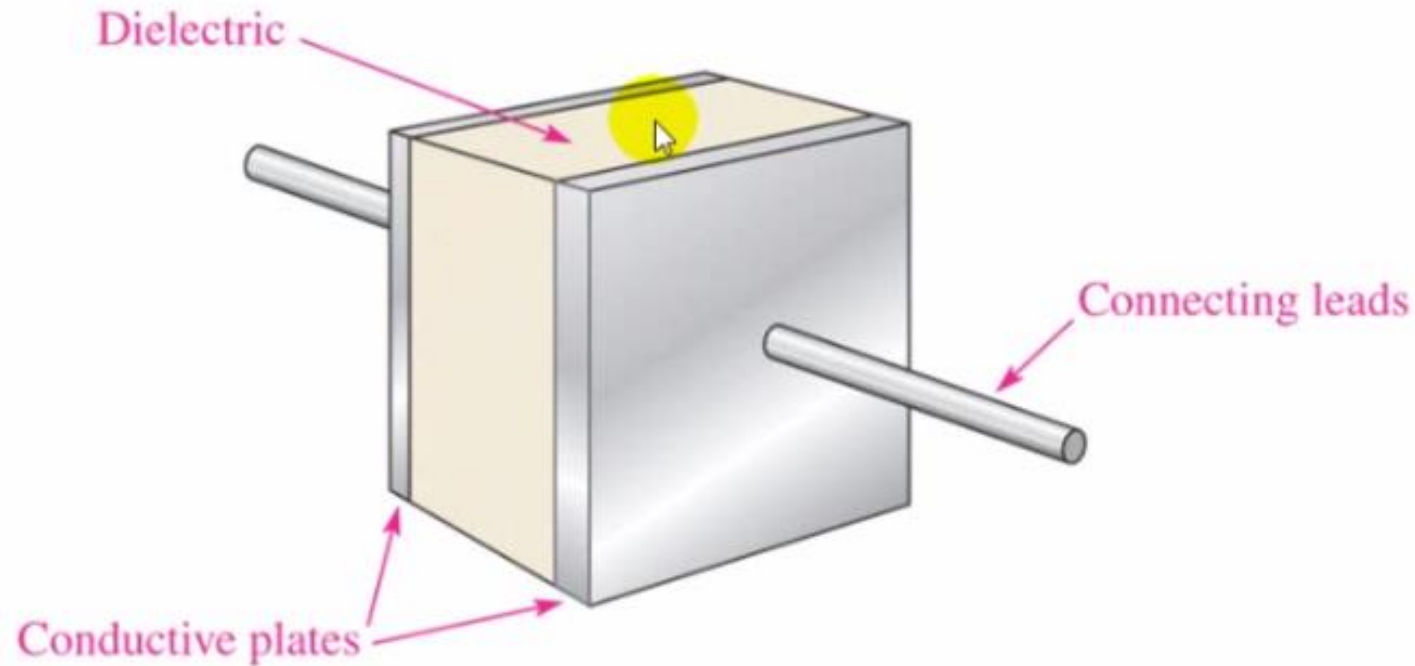
○ به علت اینکه خروجی به صورت مداوم با ورودی تغییر می کند، قابلیت تمایز (resolution) به وسیله مشخصات ثبات ولتاژ معین می شود.

مسگرهای خازنی (Capacitive Sensors)

سنسورهای خازنی سنسورهای بدون تماس و بدون اتصال الکتریکی هستند که در مقابل فلزات و اغلب غیر فلزات عمل می نمایند . این سنسورها نوع دیگری از سنسورهای مجاورتی می باشند که شباهت زیادی به سنسورهای القایی دارند و برای کنترل سطوح در مخازن که با محتوای مواد پودری و مایع پر شده اند مناسب می باشند . همچنین از آنها می توان به عنوان مولد پالس به منظور کنترل وضعیت برنامه ماشین آلات برای شمارنده ها و آشکارسازی تقریباً تمام مواد فلزی و غیر فلزی استفاده کرد .



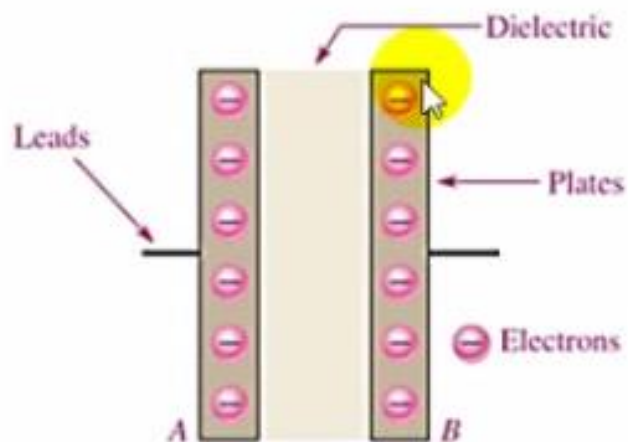
مسگرهای خازنی (Capacitive Sensors)



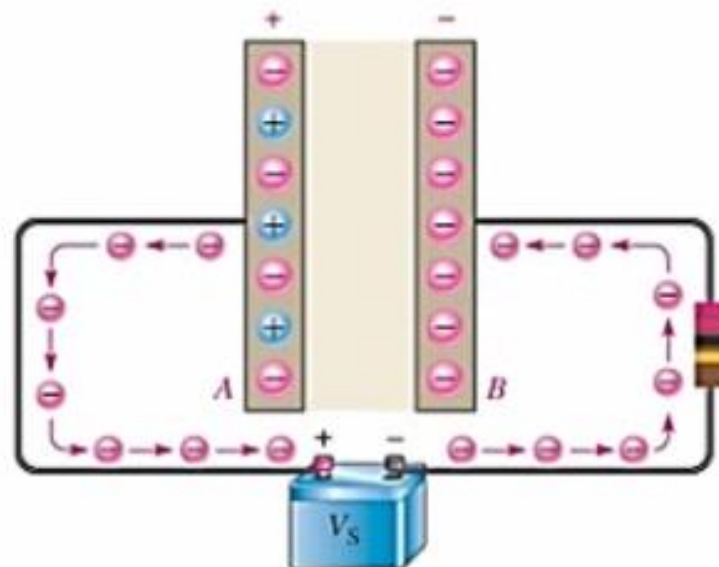
(a) Construction



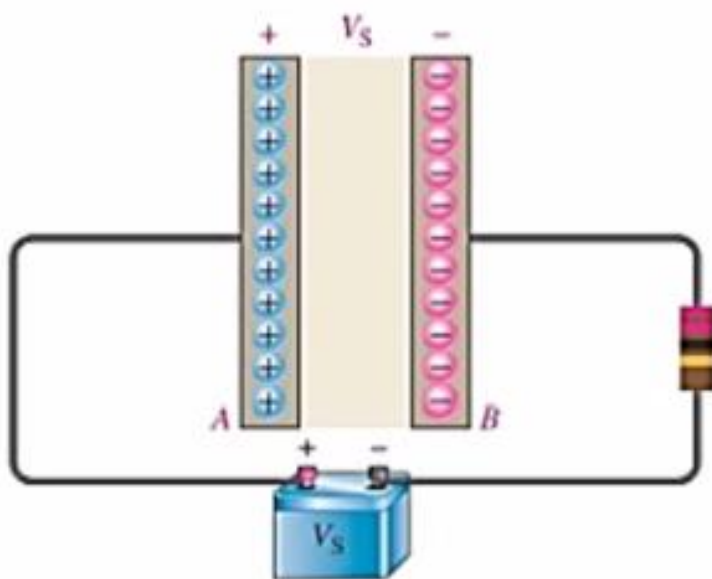
(b) Symbol



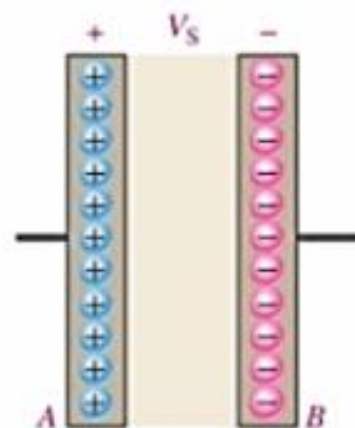
(a) Neutral (uncharged) capacitor
(same charge on both plates)



(b) Electrons flow from plate A to plate B as capacitor charges.

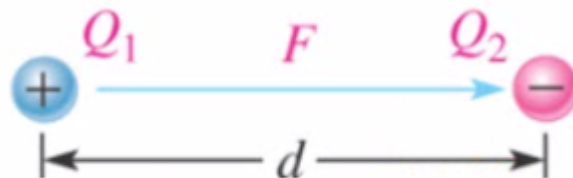


(c) Capacitor charged to V_S . No more electrons flow.



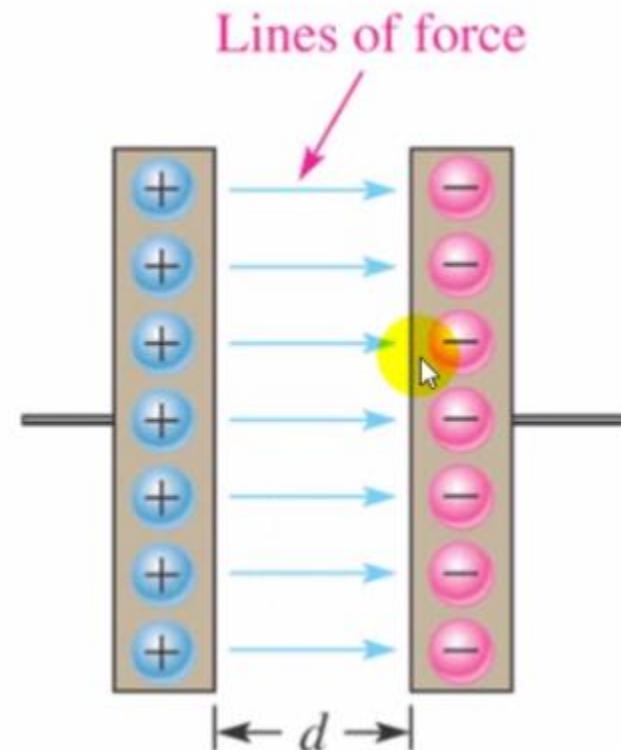
(d) Capacitor retains charge when disconnected
from source.

- A capacitor stores energy in the form of an *electric field* that is established by the opposite charges on the two plates



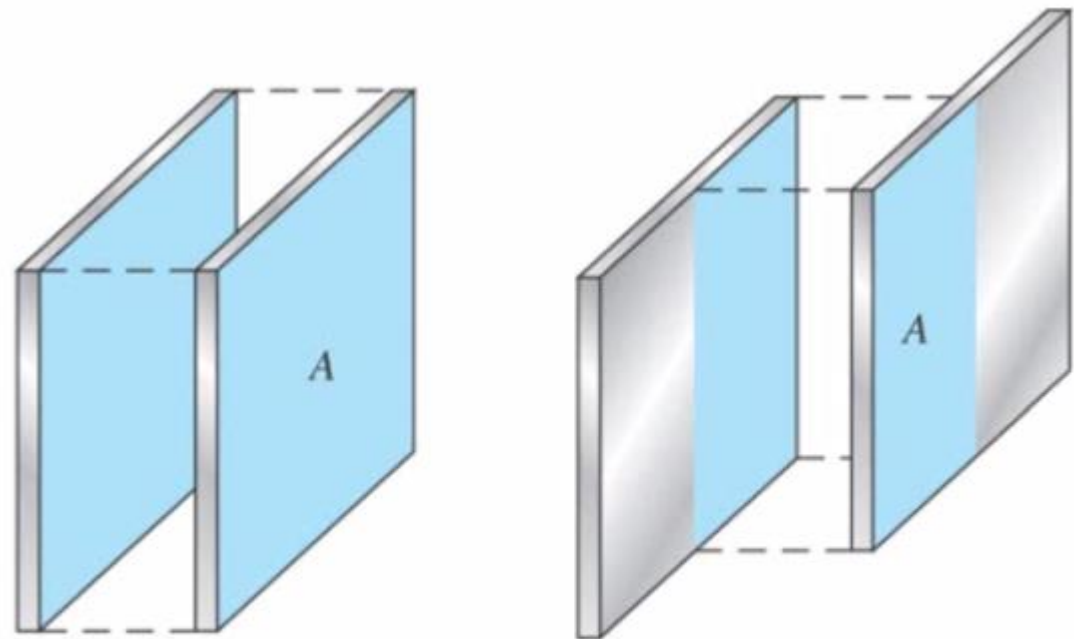
(a)

The unit for Capacitance is the Farad (F)
 1 Farad = 1 Coloumb/1V
 Usually specified un Micro-Farads (uF)



(b)

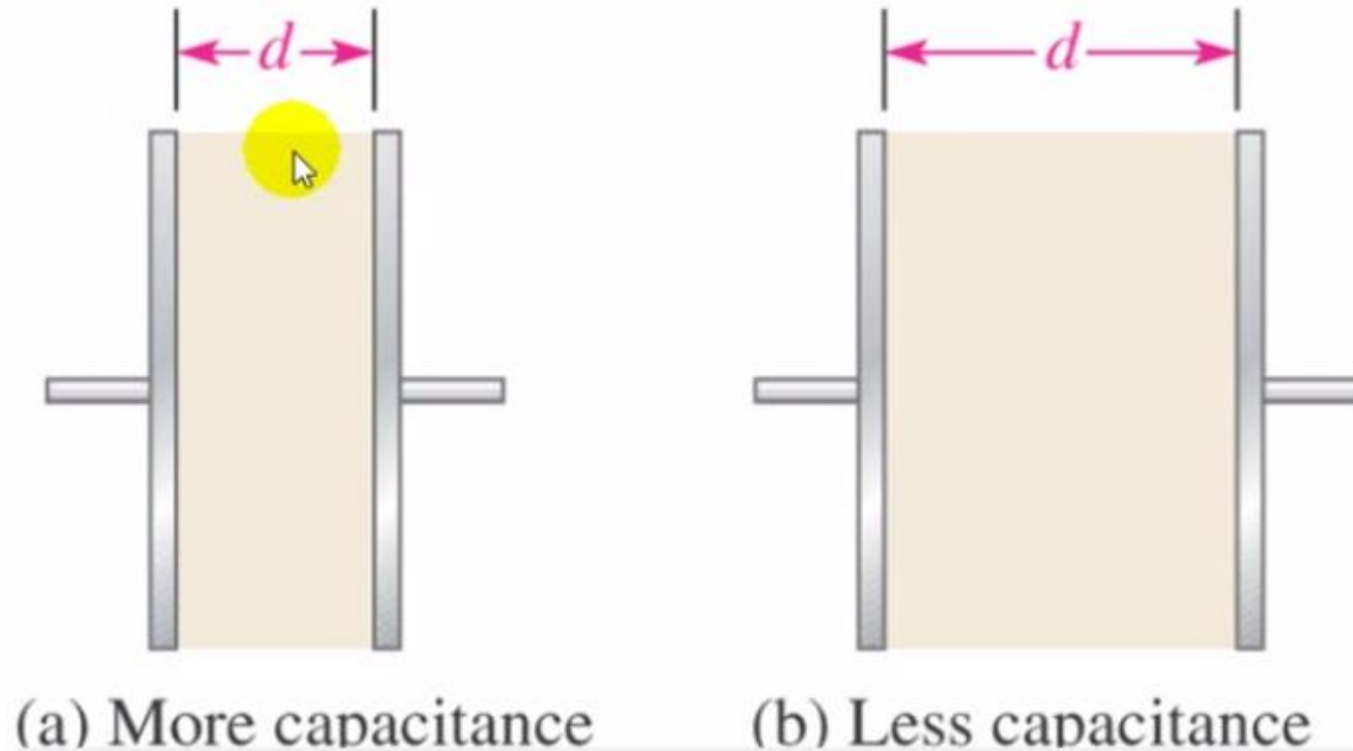
- Capacitance is directly proportional to the physical size of the plates as determined by the plate area



(a) Full plate area:
more capacitance

(b) Reduced plate area:
less capacitance

- Capacitance is inversely proportional to the distance between the plates



- اگر دو صفحه باردار با بار مخالف و برابر به قدر کافی به هم نزدیک باشند، می توان فرض کرد که میدان الکتریکی یکنواختی بین دو صفحه برقرار است:

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 \cdot A}, \quad d \ll \sqrt{A}$$

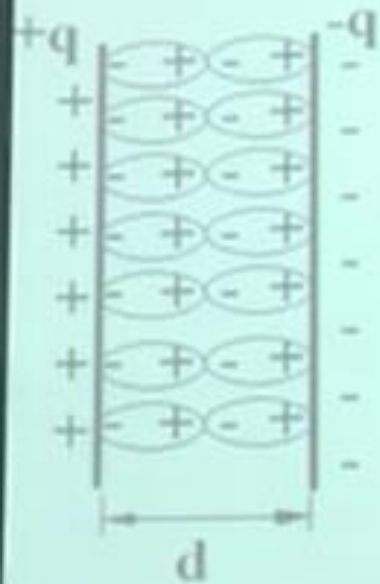
- اختلاف پتانسیل میان دو سطح و تعریف ظرفیت خازن:

$$V = Ed \Rightarrow q = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d} V \rightarrow q = CV, \quad C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$$

- در صورتی که از یک ماده دی الکتریک بین دو صفحه استفاده شود، میدان الکتریکی برآیند و در نتیجه اختلاف پتانسیل الکتریکی تضعیف می شود. در نتیجه ظرفیت خازنی افزایش می یابد:

$$E = E_0 - E_d \rightarrow \frac{E}{E_0} = 1 - \frac{E_d}{E_0} = K$$

• E_0 میدان الکتریکی بدون حضور دی الکتریک و E_d میدان ناشی از اثر دی الکتریک.



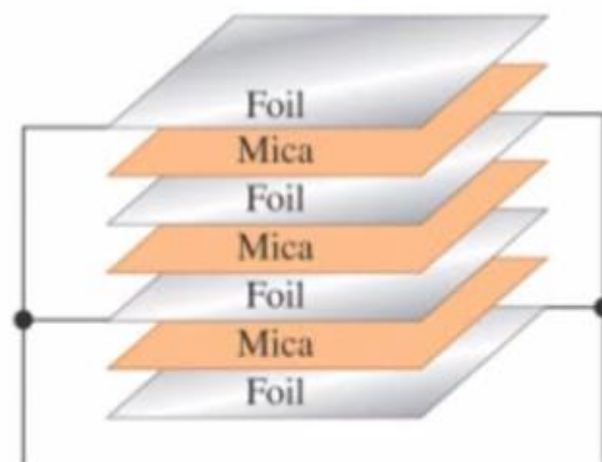
بنزن	مقاتول	روغن ترانس	آب	هوا	مادد
2.28	32.6	4.5	78.5	1	K

$$q = \frac{\epsilon_0 K A}{d} V \rightarrow C = \frac{K \epsilon_0 A}{d}$$

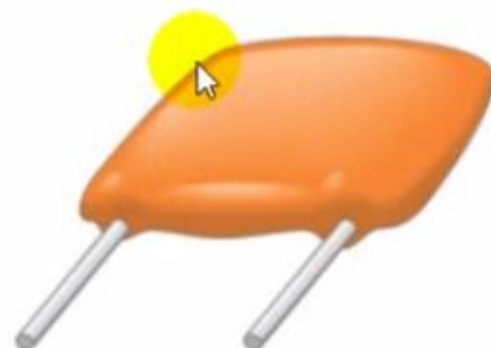
جدول ۱-۷- ضریب دی الکتریک چند نوع عایق

نوع عایق	ضریب دی الکتریک K
هوا	۱
تفلون	۲
کاغذ آغشته به پارافین	۲/۵
روغن	۴
میکا	۵
اکسید آلومینیم	۷
شیشه	۷/۵
اکسید تانتالیم	۲۶
سرامیک	۱۲۰۰

- The measure of the dielectric material's ability to *establish an electric field* is called the *dielectric constant*. Capacitance is directly proportional to the dielectric constant
- The measure of how much *voltage* a capacitor can handle across its plates is called *dielectric strength* or breakdown voltage. All capacitors specify a safe voltage at which to operate the capacitor.

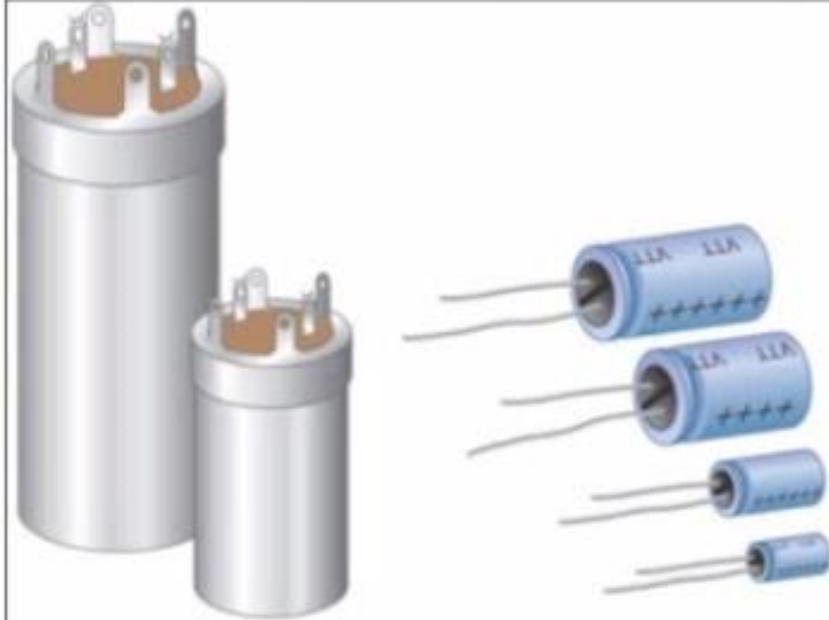


(a) Stacked layer arrangement



(b) Layers are pressed together and encapsulated.

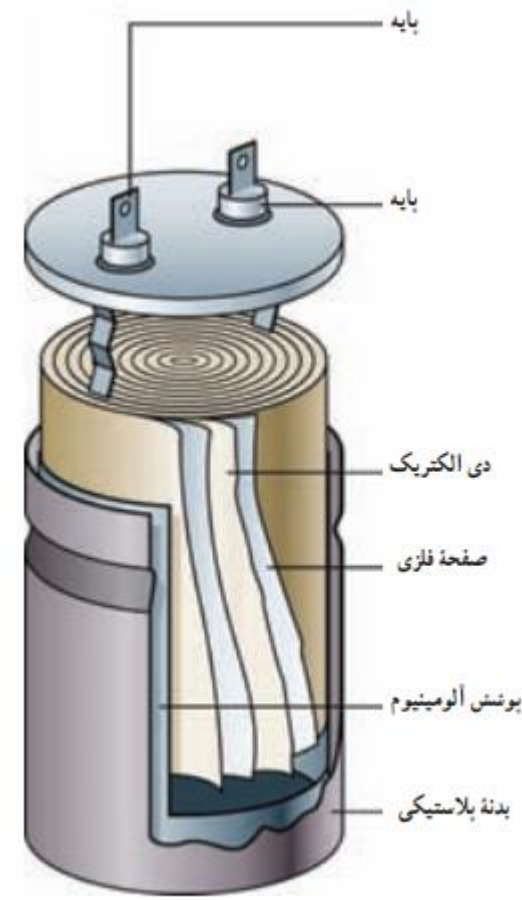
Low Capacitance @ High Voltage



(b) Typical radial-lead electrolytics

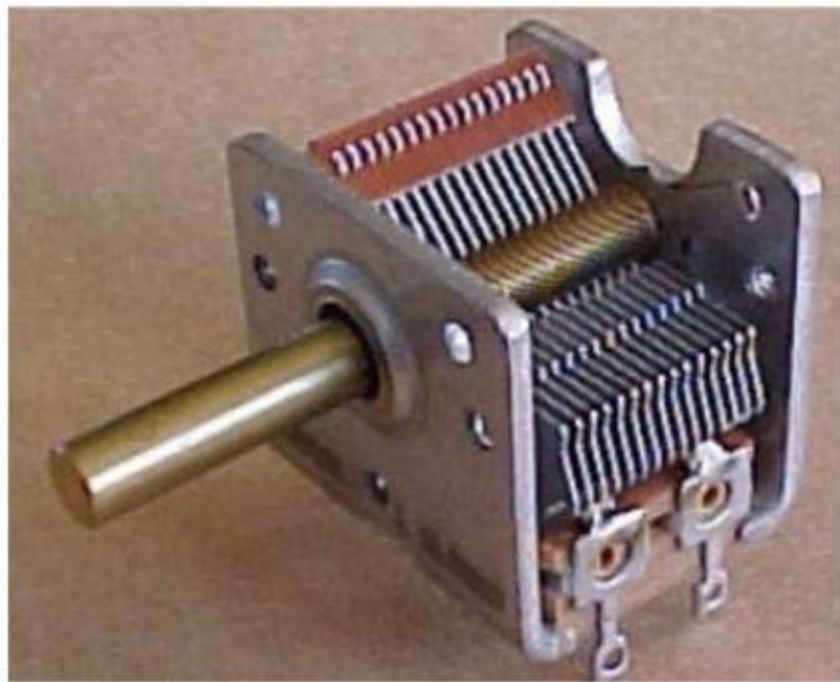
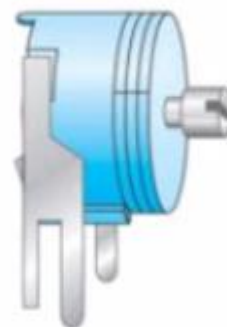


(c) Symbol for an electrolytic capacitor. The straight plate is positive and the curved plate is negative, as indicated.



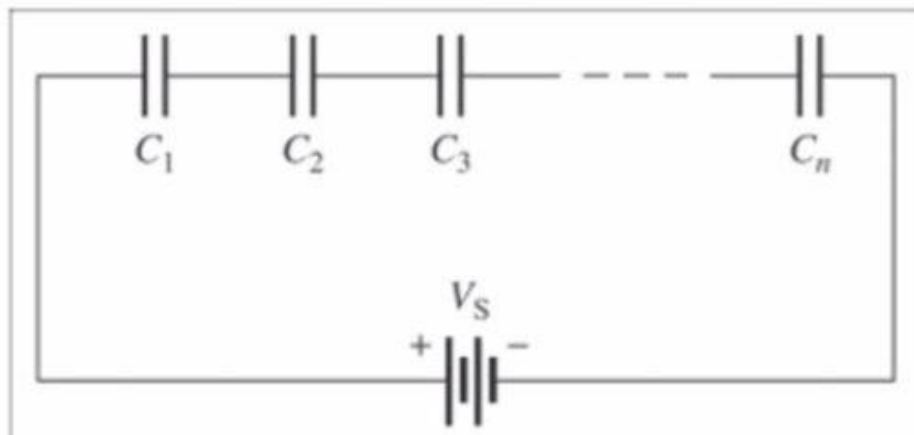
شکل ۷-۳ - ساختمان ظاهری خازن

High Capacitance @ Low (Polarized) Voltage



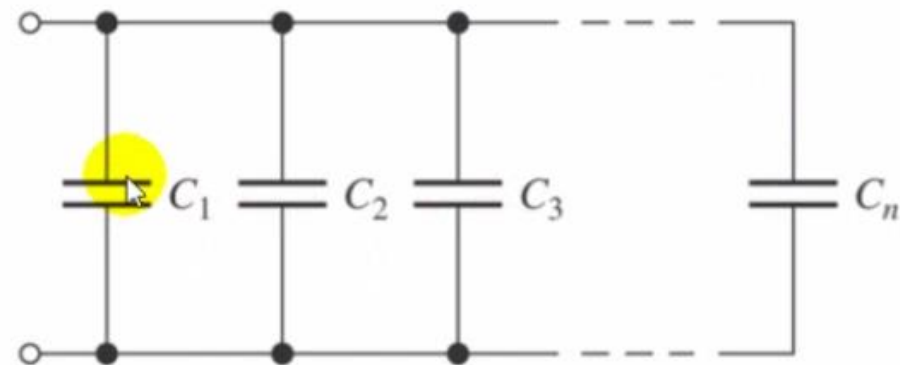
Series Capacitors

$$\frac{1}{1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n}$$

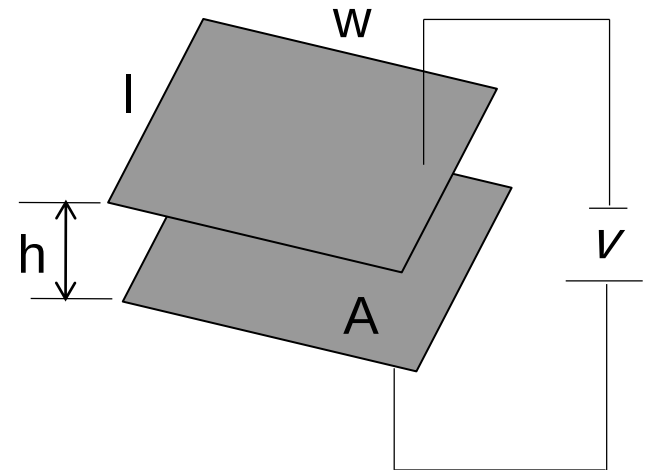


Parallel Capacitors

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$



مسگرهای خازنی (Capacitive Sensors)



ثابت تناسب (برای ابعاد اینچی برابر ۰/۲۲۵ و
برای ابعاد میلیمتری برابر ۰/۰۰۸۸۵ است.)

ثابت دی الکتریک ماده
بین صفحات (هوا=۱)

مساحت صفحات خازن

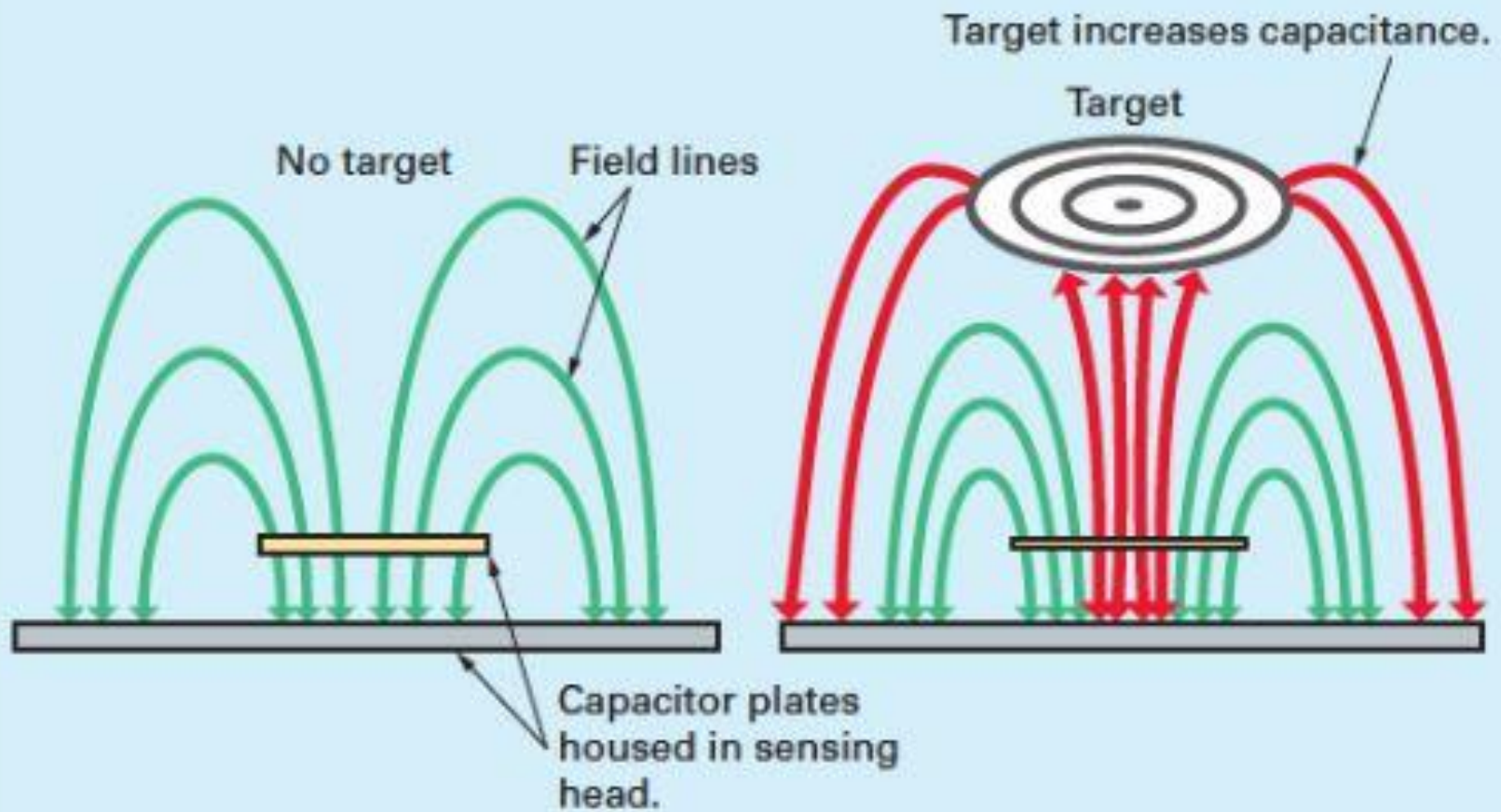
$$C = \frac{kKA}{h}$$

ظرفیت خازن (PF)

فاصله بین صفحات خازن



Capacitive sensing



اندازه گیری فاصله با مسگرهای فازنی

○ تغییر فاصله بین صفحات (Δh)

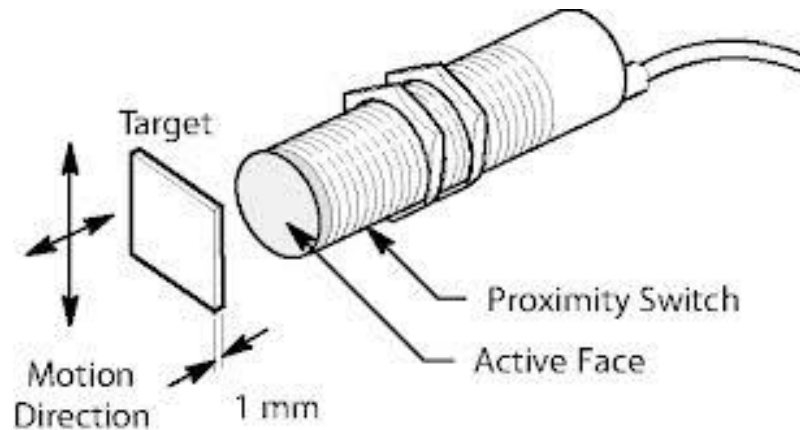
$$C + \Delta C = \frac{kKA}{(h + \Delta h)} \Rightarrow \frac{\Delta C}{C} = - \frac{\Delta h/h}{1 + (\Delta h/h)}$$

چون تغییرات خطی نیست،
بنابراین محدودیت وجود دارد.

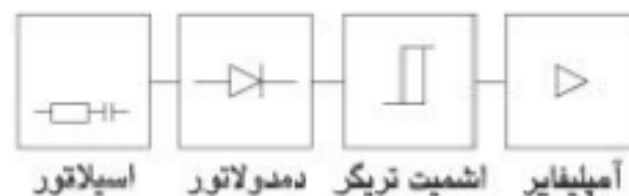
○ تغییر سطح مشترک

$$C + \Delta C = \frac{kK(\Delta A + A)}{h} \Rightarrow \frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta A}{A}$$

چون تغییرات خطی است،
بنابراین محدودیت وجود ندارد.



ساختمان اساسی این سنسورها از چهار قسمت تشکیل شده است.



قسمت اساسی اسیلاتور از دو قطعه فلزی تشکیل شده ، وضعیت قرارگیری این قطعات فلزی نسبت به هم طوری است که باعث ایجاد یک ظرفیت خازنی می شود. هرگاه قطعه ای با ضریب الکتریکی E به صفحه حساس نزدیک گردد باعث تغییر ظرفیت خازنی بین صفحات می شود. این تغییر ظرفیت خازنی باعث تغییر دامنه خروجی اسیلاتور می شود.

دمدولاتور دامنه اسیلاتور را آشکار می کند و این مقدار را با سطح مرجع مقایسه می نماید. هرگاه دامنه این مقدار از دامنه مرجع بیشتر باشد، خروجی سنسور تحریک می شود. آمپلیفایر خروجی وظیفه تامین جریان بار را بعهدہ دارد.

این سنسورها در انواع زیر تولید می شوند:

- دو سیمه AC

- سه سیمه PNP , NPN

- چهار سیمه PNP , NPN

نوع قطعه	KM ضریب تصحیح
فلز	1
آب	1
چوب	* 0.2 - 0.6
PVC	0.6
شیشه	0.5
روغن	0.1

* این ضریب بستگی به رطوبت چوب دارد .

در عملکرد سنسورهای خازنی عواملی مانند رطوبت هوا، گرد و غبار و غیره بر فاصله سویچینگ تاثیر می گذارد. فاصله سویچینگ به نوع قطعه بستگی دارد و مهمترین ضرایب تصحیح برای قطعات مختلف بشرح جدول زیر می باشد.

تشخیص اجسام مختلف توسط سنسورهای خازنی به موارد زیر بستگی دارد :

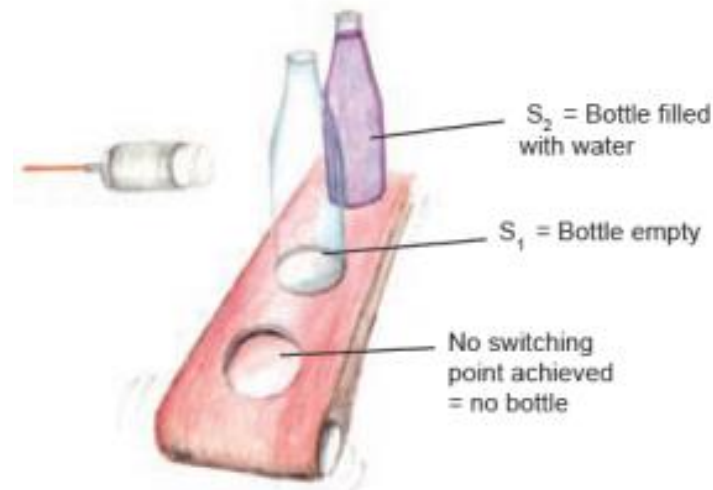
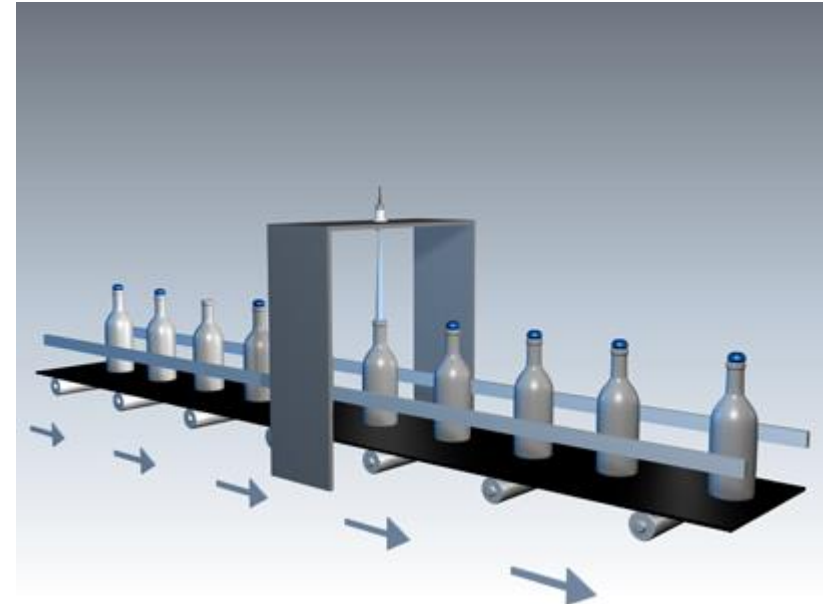
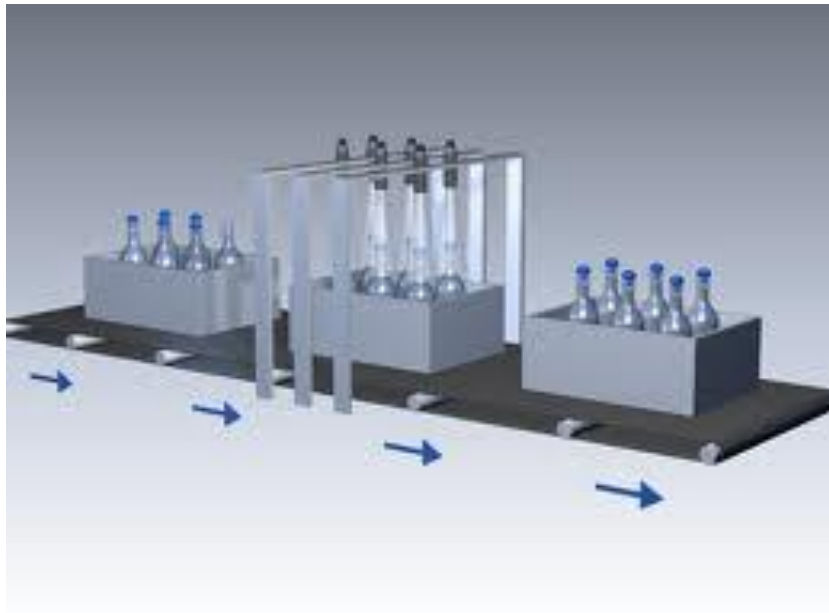
- فاصله جسم تا ناحیه حساس سنسور
- ابعاد جسم
- ثابت دی الکتریک جسم

کاربرد سنسورهای خازنی :

در صورتی که نیاز به تشخیص قطعات فلزی داشته باشیم استفاده از سنسور القایی نسبت به خازنی ترجیح داده می شود. علت این امر کارایی بهتر و قیمت پایین تر سنسور القایی نسبت به خازنی می باشد. همچنین در صورتی که امکان استفاده از سنسور نوری وجود داشته باشد با توجه به کارایی بالاتر سنسور نوری استفاده از این سنسور نسبت به سنسور خازنی ترجیح داده می شود. اما در برخی از موارد استفاده از سنسور خازنی الزامی است. در ادامه چند مورد از کاربرد سنسور خازنی ذکر شده است :

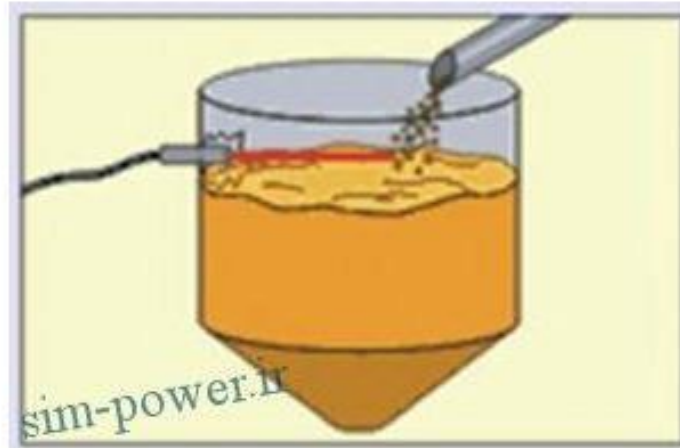
- تعیین سطح آب در بطری های پلاستیکی
- تشخیص اجسام مات وسیاه
- تشخیص پودر داخل بطری ها
- تشخیص وجود لامپ یا سایر وسایل داخل قوطی های مقوایی
- تعیین سطح پودر ها یا سایید مواد داخل مخازن

کاربرد مسگرهای فازنی در صنعت غذا

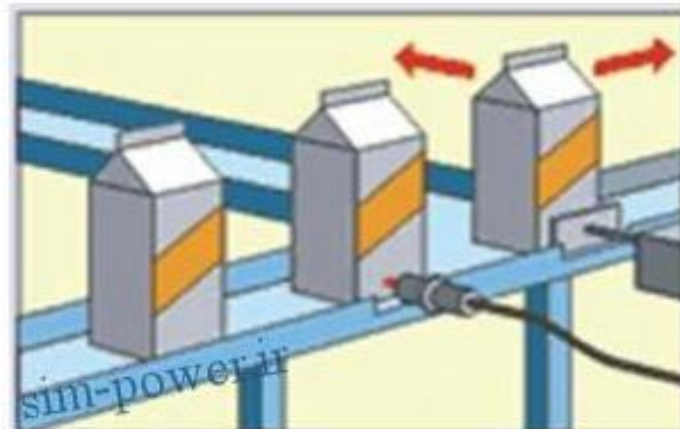


کاربرد حسگرهای فازنی

– کنترل سطح مواد جامد در مخزن



– ردیابی وجود سیالات مانند شیر در پاکت



اندازه گیری رطوبت با مسگرهای فازنی

○ تغییر ضریب دی الکتریک فازن

$$C + \Delta C = \frac{kA(K + \Delta K)}{h} \Rightarrow \frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta K}{K}$$

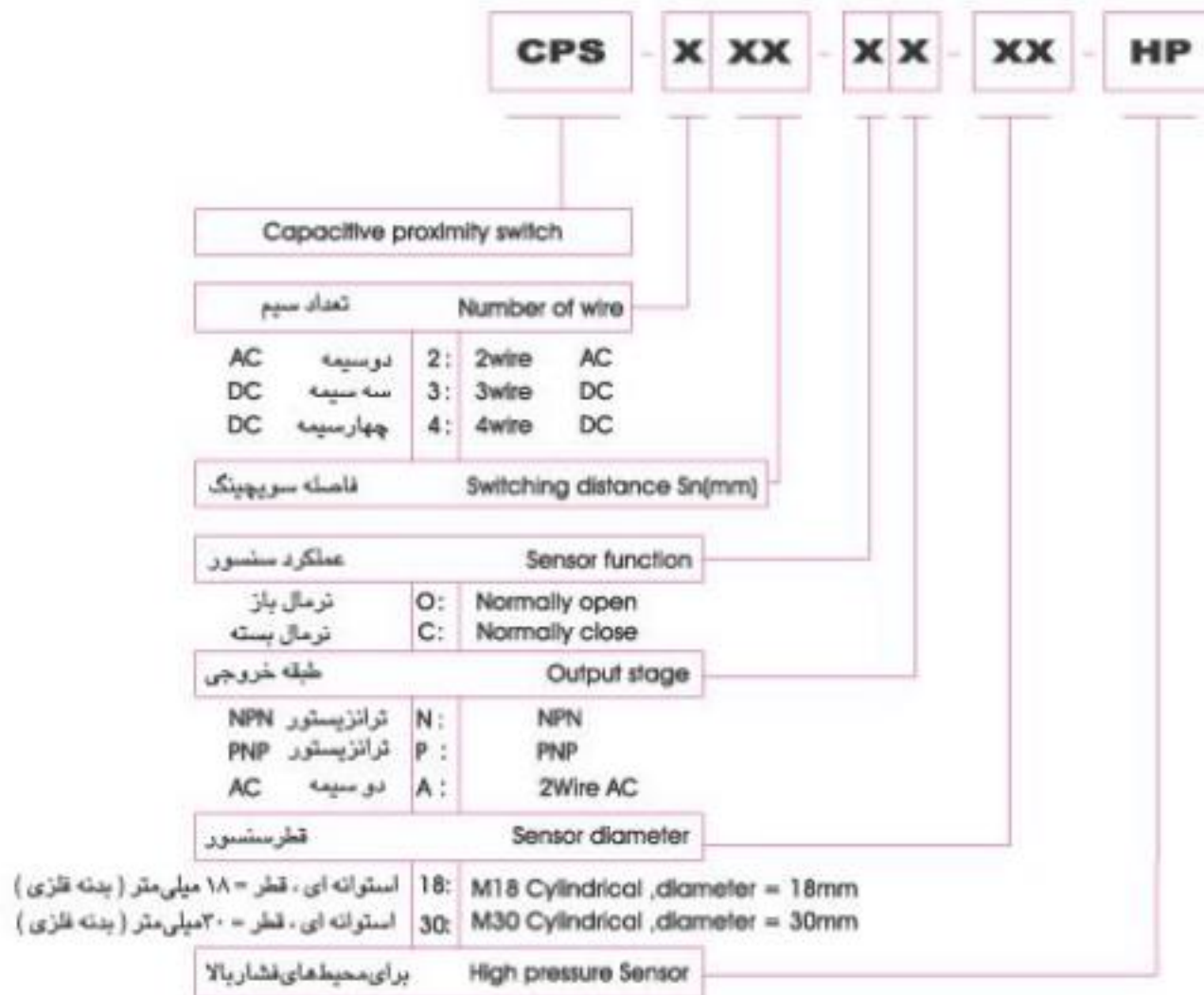
→ چون تغییرات فطی است،
بنابراین محدودیت وجود ندارد.



Grain moisture meter

مزایای استفاده از مسگرهای فازنی

۱. به دلیل نداشتن تماس مکانیکی دارای طول عمر زیاد هستند.
۲. قابل استفاده در محیطهای مختلف با شرایط سخت کاری (تا دمای ۲۰۰۰ درجه فارنهایت)
۳. می تواند با هر ماده ای به عنوان صفحه هدف کار کند.



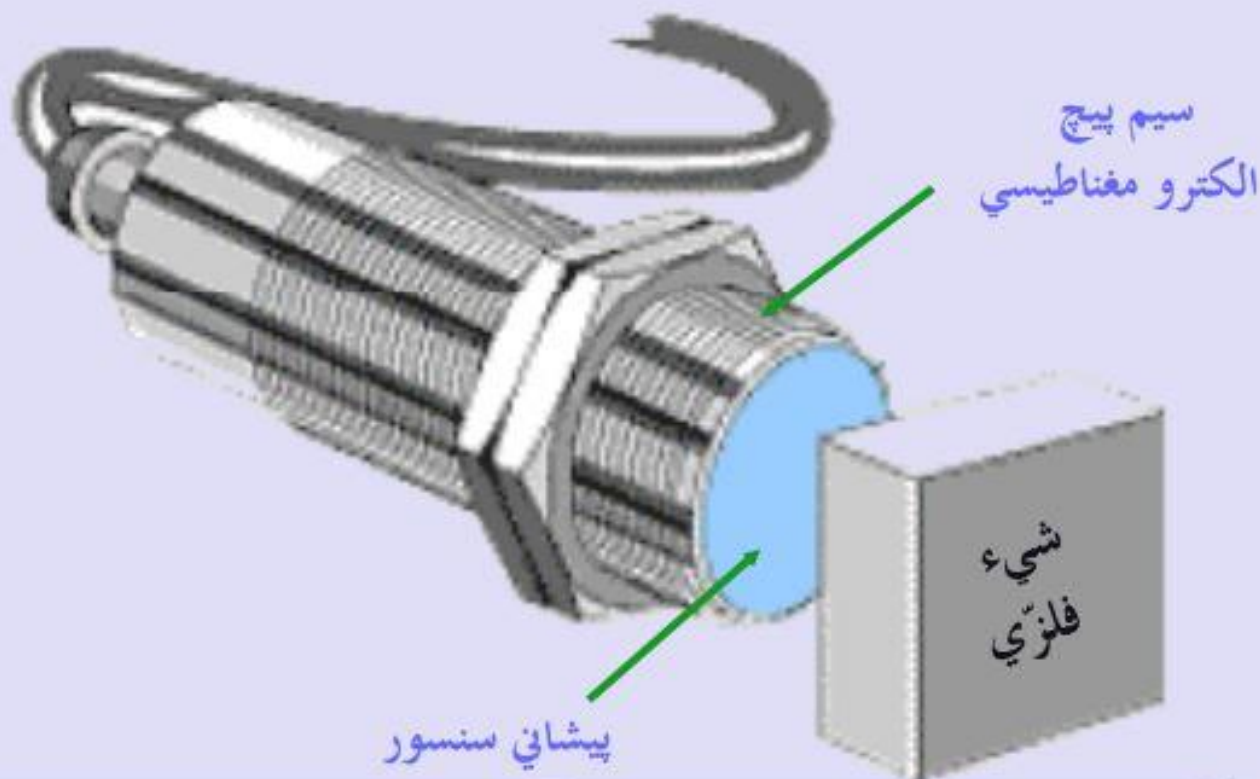
سنسورهای القایی

- سنسورهای بدون تماس هستند که تنها در مقابل فلزات عکس العمل نشان می دهند.
- می توانند فرمان مستقیم به رله ها، شیرهای برقی، سیستمهای اندازه گیری و مدارات کنترل الکتریکی ارسال نمایند.
- اساسا بر مبنای مدارهای مغناطیسی بنانهاده شده اند و به آنها سنسورهای الکترومغناطیسی نیز میگویند.

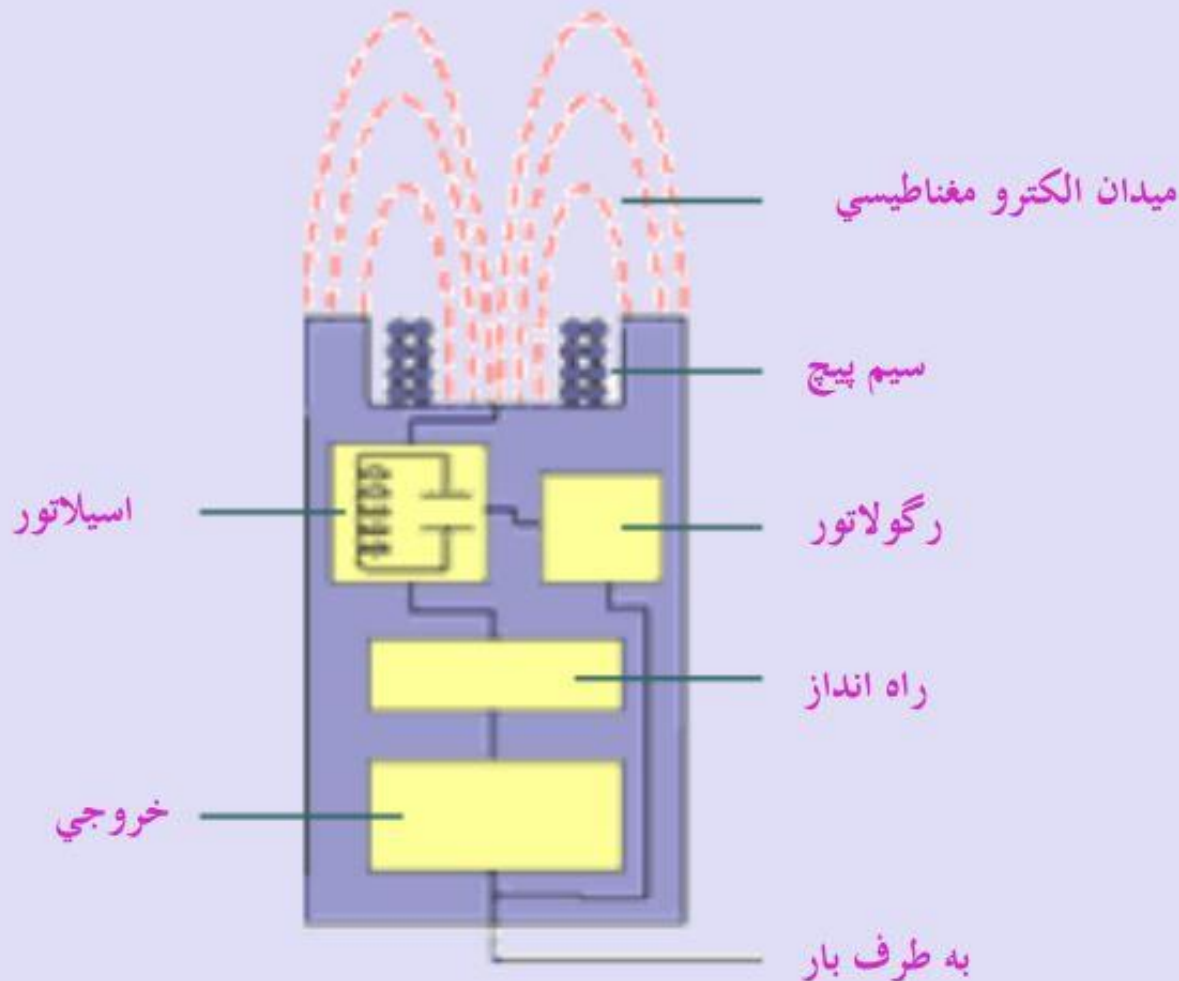
انواع شکل های سنسورهای القایی



قسمت اصلی سنسورهای سلفی، یک سیم پیچ یا سلف است که با خاصیت الکترومغناطیسی، وجود قطعات فلزی را حس می کند

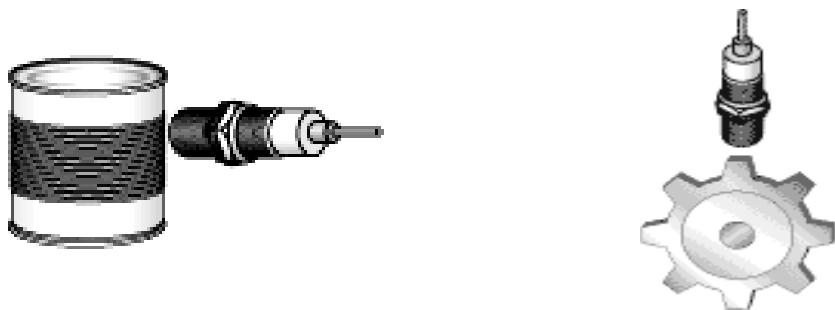


اسیلاتور یا نوسان ساز، ولتاژ متناوب تولید کرده و پس از تنظیم شدن، به سیم پیچ داده می شود.
این سیم پیچ میدان الکترو مغناطیسی لازم را تولید می کند.

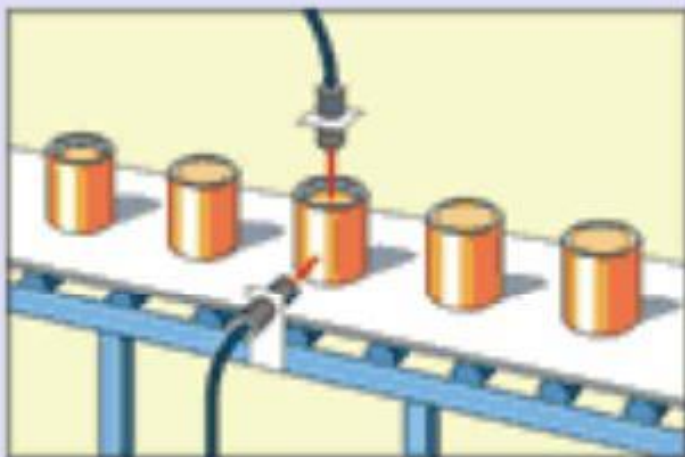


کاربرد سنسورهای القایی در کنترل صنعتی

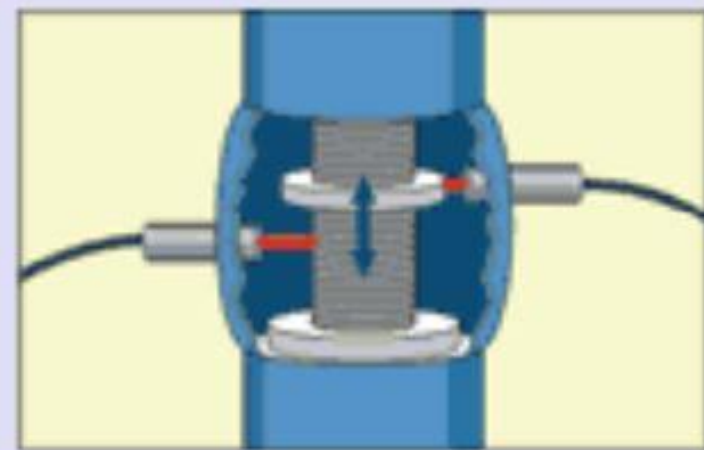
- اندازه گیری فاصله از قطعه.
- جدا سازی قطعات با ابعاد مختلف.
- اندازه گیری ضخامت قطعات فلزی.
- تشخیص قطعات فلزی شکسته دستگاه های مختلف صنعتی.
- جداسازی قسمت فلزی قطعات.
- آشکار سازی هر گونه تغییر در دندانه چرخ دنده های فلزی.
- اندازه گیری و کنترل سرعت و آشکار سازی حرکتهای مکانیکی.
- روباتیک.



کاربرد سنسورهای القایی در کنترل صنعتی



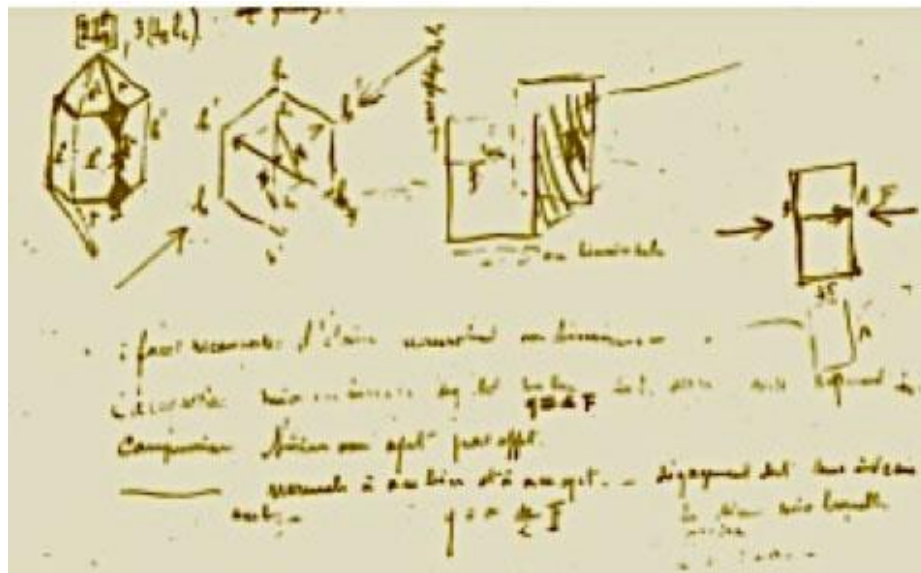
ردیابی وجود قوطی ها



اعلام وضعیت باز و بسته بودن کامل شیزها

تاریخچه و اساس اثر پیزوالکتریک

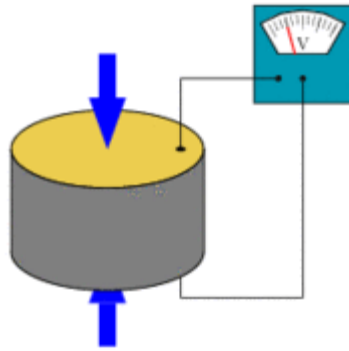
- در سال ۱۸۸۰ برادران کوری خاصیت تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی توسط مواد پیزوالکتریک را کشف کردند. هنگام تحقیق روی برخی از مواد طبیعی از قبیل تورمالین و کوارتز کشف شده است.



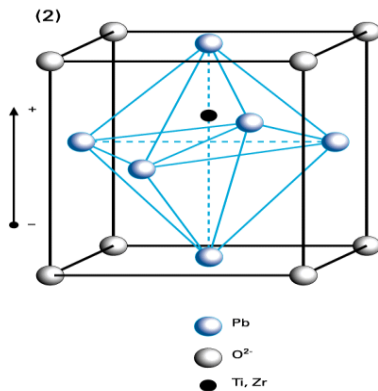
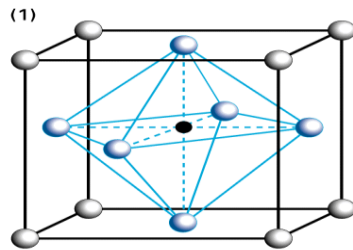
- در سال ۱۸۸۱ گابریل لیپمن بر اساس محاسبات ترمودینامیکی توانست خاصیت معکوس مواد پیزو الکتریک را اثبات کند که فوراً توسط آزمایشات برادران کوری تایید شد.

اثر پیزوالکتریک مستقیم و معکوس :

- با اعمال نیروی مکانیکی (انبساط یا انقباض) به مواد پیزوالکتریک مرکز بارهای مثبت ماده اندکی از مرکز بارها منفی فاصله می گیرد و یک دو قطبی حاصل می شود در نتیجه مقداری بار الکتریکی در سطح آن ظاهر می شود ، به این اثر ، **پیزوالکتریک مستقیم** گویند .
- این پدیده در موادی رخ می دهد که ساختارهای بلوری آنها نامتقارن است به عبارتی دیگر شرط ضروری برای پیزوالکتریک بودن یک کریستال، عدم تقارن مرکزی در ساختار کریستالی آن است زیرا در کریستال های متقارن هیچ ترکیبی از تنشهای یکنواخت نمی تواند سبب جدا شدن بارهای الکتریکی شود .
- همچنین در صورت اعمال میدان الکتریکی به این مواد شاهد تغییر ابعاد (انبساط و انقباض) آنها خواهیم بود به **این اثر پیزوالکتریک معکوس** گویند .



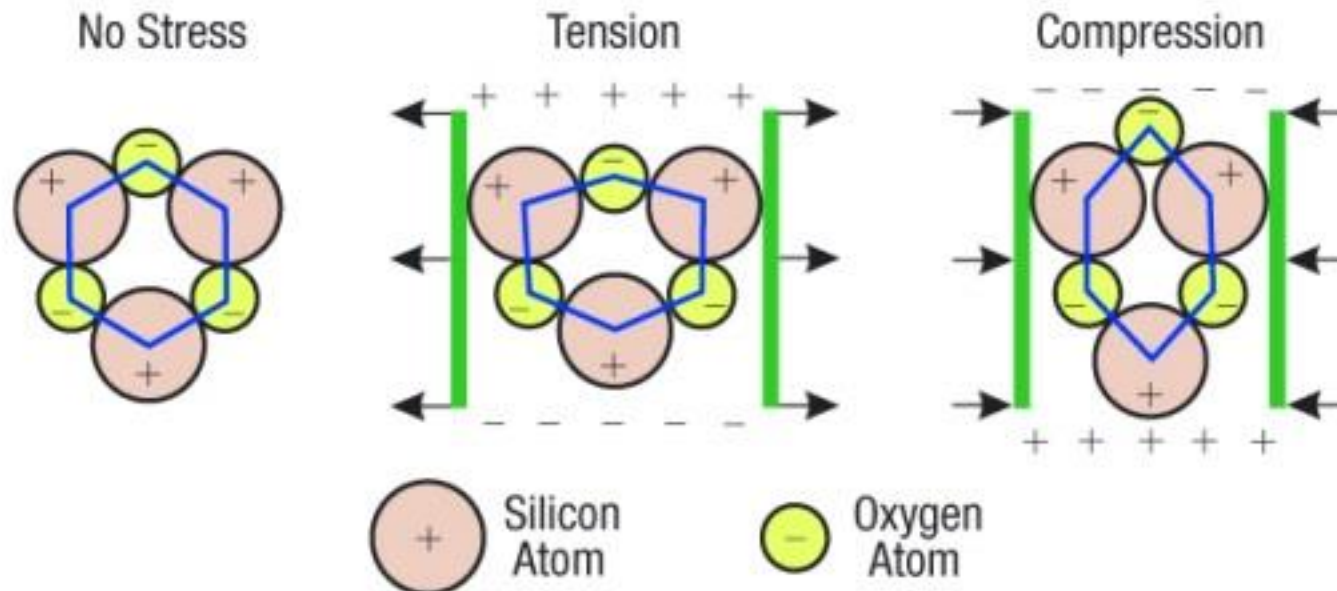
○ پیزوالکتریک ماده ای است که وقتی تحت تاثیر نیرو یا فشار قرار می گیرد، بار الکتریکی تولید می کند.



○ مواد پیزوالکتریک یا مانند کوارتز تک کریستال هستند و یا مانند تیتانات باریم چند کریستاله و حاوی مولکول هایی با توزیع بار نامتقارن هستند. هنگام اعمال فشار کریستال مزبور تغییر شکل می دهد و یک جابجایی نسبی بین بارهای مثبت و منفی درون کریستال پیدا می شود. این جابجایی بارهای داخلی، یک بار خارجی با جهت مخالف را روی سطوح خارجی کریستال ایجاد می کنند.

- شکل زیر دو قطبی مولکول ماده ی کوارتز را نشان می دهد. در حالت عادی، هیچ نیروی خارجی بر کریستال کوارتز وارد نشده است. با اعمال نیروی خارجی کششی، وضعیت دو قطبی تغییر کرده و بارهای سطحی در کریستال ظاهر می شوند که باعث ایجاد اختلاف پتانسیل می شوند. **با تغییر جهت نیروی خارجی (از کششی به فشاری) جهت اختلاف پتانسیل عوض می شود.**

Piezoelectric Effect in Quartz



- عکس حالت بالا نیز امکان دارد. یعنی مواد پیزوالکتریک می توانند انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل کنند. با دادن ولتاژ مثبت، کریستال کوارتز دچار کشیدگی و با اعمال ولتاژ منفی، دچار فشردگی می شود. اگر ماده پیزوالکتریک را به منبع متناوب (AC) وصل کنیم آنگاه شاهد یک لرزش مکانیکی خواهیم بود.

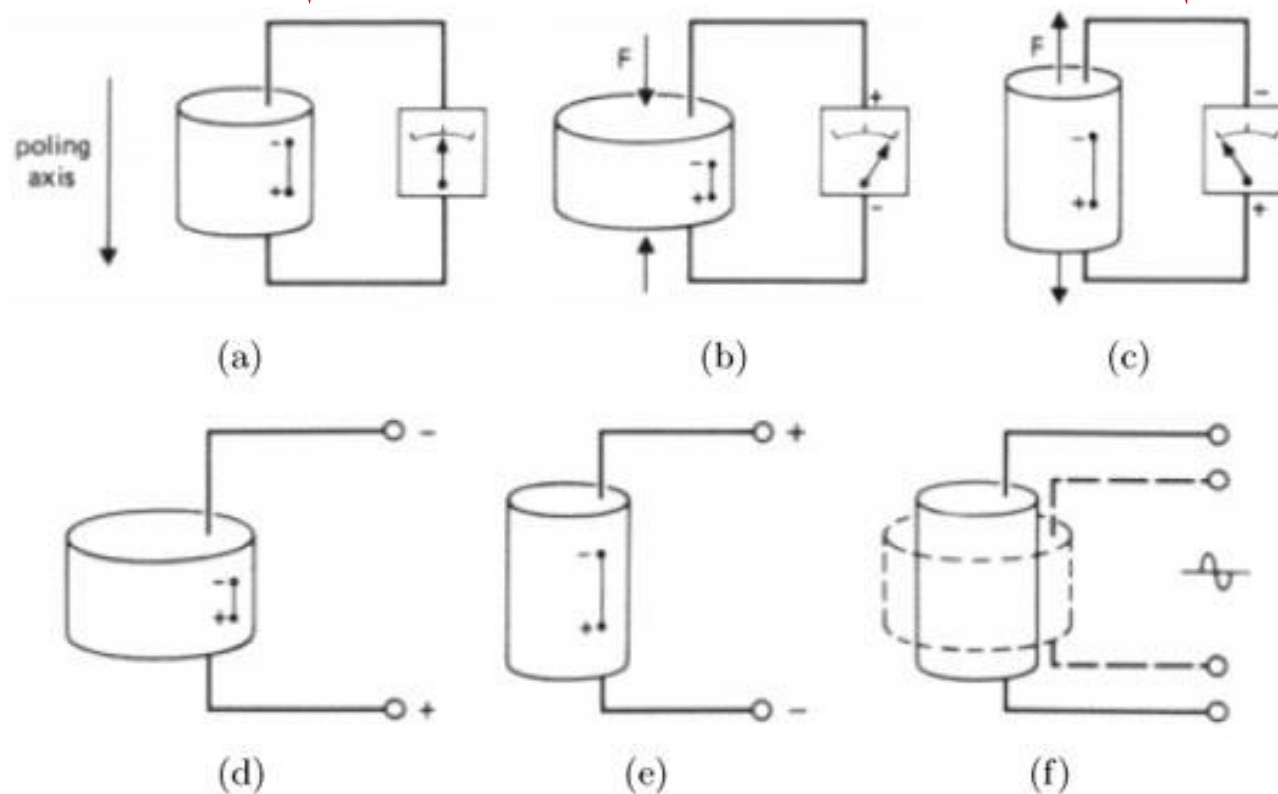
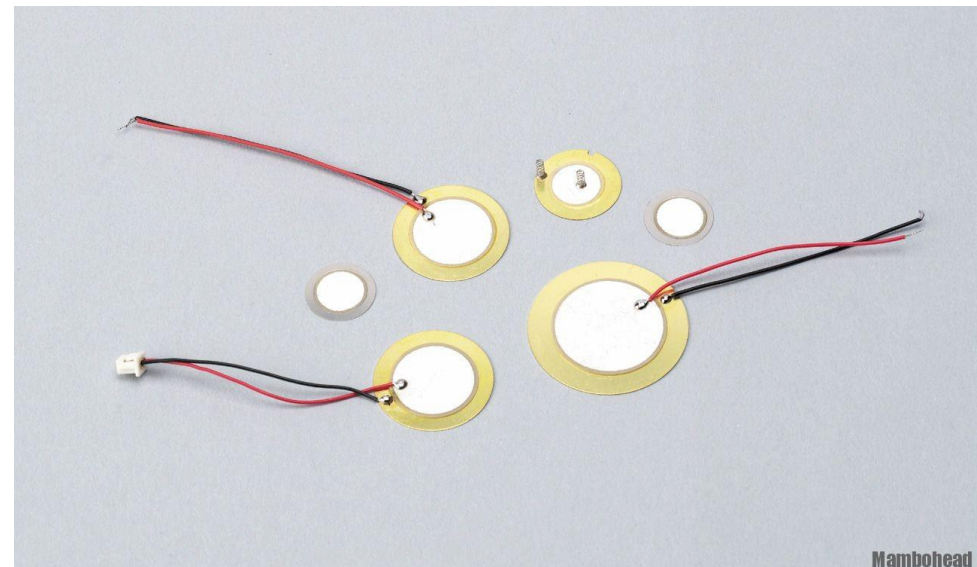
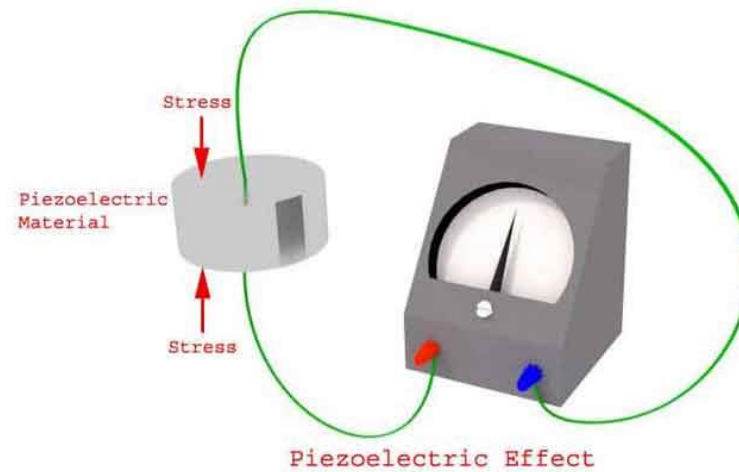


Figure 1 The Piezoelectric effect in a cylindrical body of piezoelectric ceramic (a) no load, (b) compressed, (c) stretched, (d) shorten, (e) lengthen, and (f) grow and shrink [61].



انواع مواد پیزوالکتریک

الف) کریستال های طبیعی:

• Quartz

• نمک راجل

• نیشکر

• Berlinite

• Topaz (یاقوت زرد)

ج) کریستال های مصنوعی:

• گالیوم آرتوفسفات (GaPO_4)

• لانگاسیت ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$)

ب) مواد طبیعی دیگر:

• تاندون : تاندون گروه خشن از بافت لیفی همبند است که معمولاً عضلات را به استخوان مرتبط می کند و قادر به تحمل تنش هستند.

• ابریشم

• برخی از چوب ها

• مینای دندان

• عاج دندان

انواع مواد پیزوالکتریک

(د) سرامیک های مصنوعی :

- باریوم تیتانیوم (BaTiO_3) : که اولین سرامیک کشف شده با اثر پیزو الکتریک بود.

- تیتانات سرب: (PbTiO_3)

- تیتانات زیرکونات سرب : که بیشتر به PZT معروف است و یکی از سرامیک های پر کاربرد امروزی محسوب می شود .

- نیوبیت پتاسیم (KNbO_3)

مقایسه سرامیک ها و تک بلوره ها

- اجسام پیزو الکترونیک که سنسور های مختلف مورد استفاده قرار می گیرند به دو دسته تقسیم می شوند. دسته اول که بیشتر نیز مورد استفاده قرار می گیرد اجسام تک بلوره هستند (Single-Crystal) مانند کوارتز (Quartz). علی رغم اینکه این مواد دارای طول عمر زیادی هستند یعنی مدت زمان زیادی حساس باقی می ماند و خاصیت پیزویی خود را حفظ می کنند اما حساسیت کمی نسبت به نوع دوم (سرامیک ها) دارند. سرامیک ها علاوه بر اینکه حساسیت بیشتری دارند ارزان تر نیز هستند.

- برای تولید مواد پیزو الکترونیکی سرامیکی از موادی از قبیل : باریم تیتانیوم (سرب زیرکونیم و سرب تیتانیوم و سرب متانیوتیت) و ... استفاده می شود. ایراد مواد سرامیکی این است که از آن جاییکه حساسیت آن ها در گذر زمان کاهش می یابد طول عمر سنسورهایی مجهز به مواد سرامیکی کوتاه تر از سنسورهای دارای مواد تک بلوره می باشد.

$$\begin{array}{ccc} & \nearrow q = S_q Ap & \\ v_0 = \frac{q}{C} & \longrightarrow & v_0 = \frac{S_q}{kK} hP \\ & \searrow C = \frac{kKA}{h} & \end{array}$$

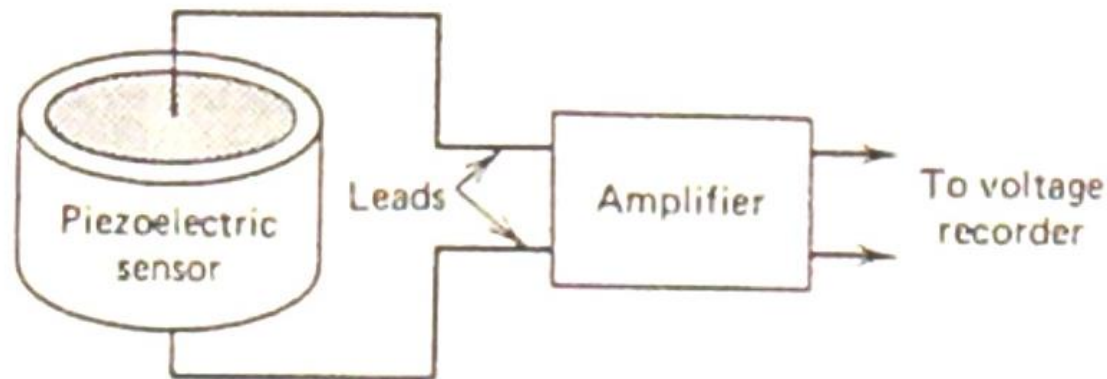
S_q : حساسیت به بار کریستال پیزوالکتریک

○ بنابراین حساسیت به ولتاژ مسگر عبارت است از:

$$S_v = \frac{S_q}{kK}$$

○ حساسیت ولتاژ تابعی است از موقعیت مسگر (معمولا یک استوانه است) نسبت به محور کریستال پیزوالکتریک.

- از آنجایی که ولتاژ خروجی مسگرهای پیزوالکتریک ضعیف است، از یک تقویت کننده (آمپلی فایر) جهت افزایش ولتاژ استفاده می گردد.



مزایای استفاده از مسگرهای پیزوالکتریک

۱. پاسخ بسامدی بالایی دارند. بنابراین برای استفاده در شرایط دینامیکی مناسب می باشند.

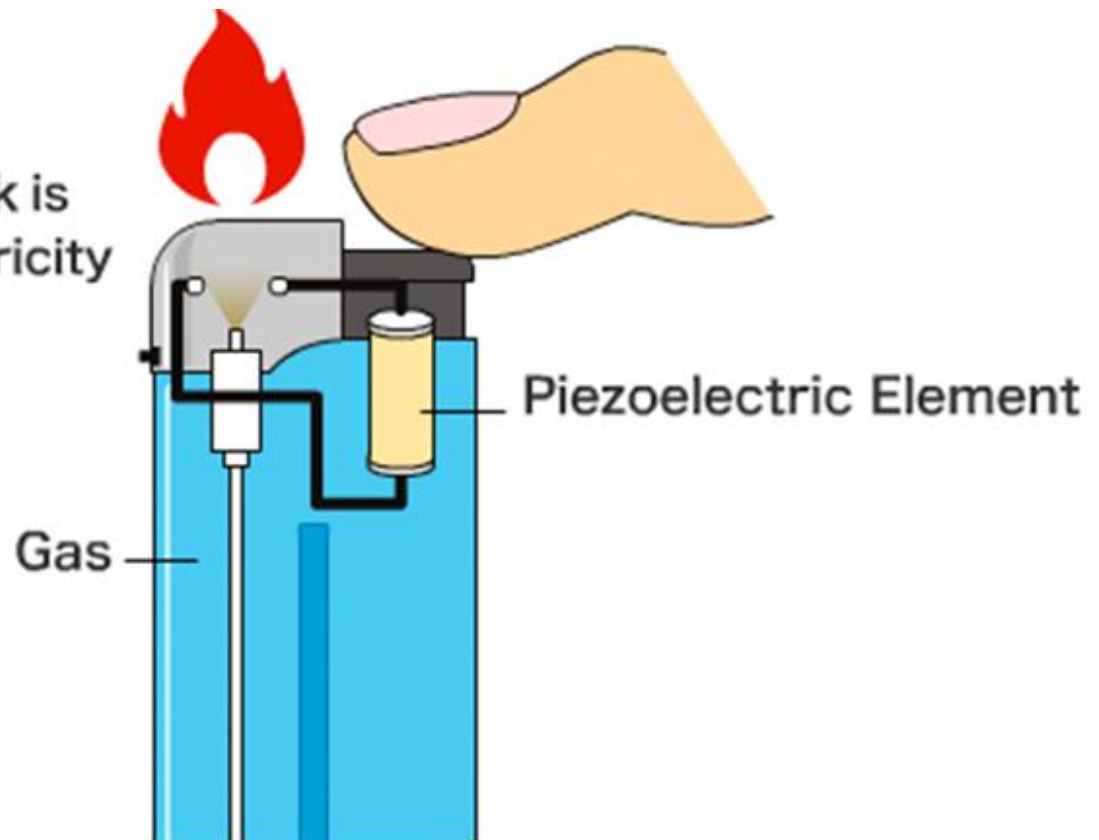
۲. در درجه حرارت بالا (تا ۵۵۰ درجه سانتی گراد) نیز خواص بسیار خوب و عالی ارائه می نمایند.

۳. از آنجایی که این مسگرها خود تولید ولتاژ می نمایند، بنابراین جزو مسگرهای غیرفعال محسوب می شوند و برای تمریک به جریان الکتریکی خارجی نیاز ندارند.

مثال هایی از کاربرد مواد پیزو الکتریک

- انواع سنسور های پیزو الکتریک : شتاب سنج ، STRAIN GAGE ، سنسور های نیرو و فشار ، سنسور های جریان سیالات
- موتور های پیزو الکتریک
- ژنراتور های پیزو الکتریک
- نوسانگر پیزو الکتریک
- چشمه موج یا سنسور آکتراسونیک
- منبع با ولتاژ بالا

Mechanical shock is
converted to electricity

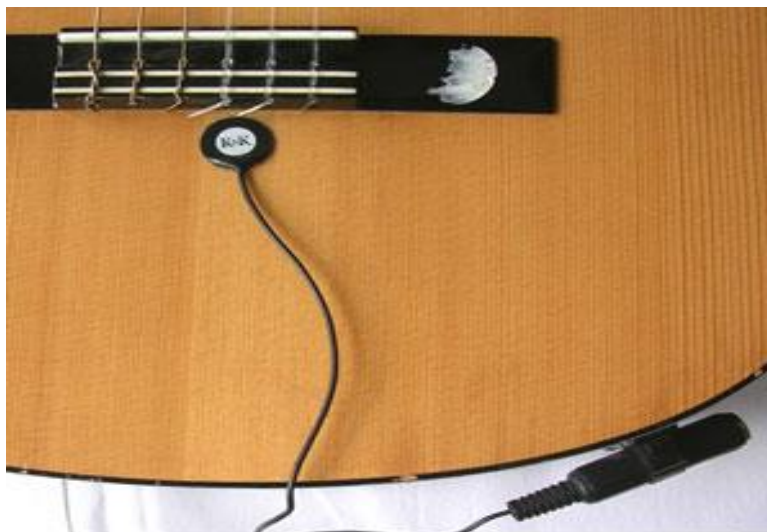


کاربرد سنسور های پیزوالکتریک

- امروزه این سنسورها برای اندازه گیری فشار، شتاب ، نیرو یا کشش و کنترل فرایند در توسعه صنایع مختلف به کار می روند.
- ماشین های لباسشویی ، از سه سنسور برای کنترل میزان بار و میزان سطح آب و کنترل چرخش استفاده می شود سنسورهای پیزوالکتریکی
- یک استفاده مهم سرامیک پیزوالکتریک ، در ایجاد و دریافت امواج صوتی است گستره کاربرد این مواد از ابزارها و تجهیزات اولتراسونیکی ، برای عمق یابی در دریا و پیدا کردن محل تجمع ماهیها تا تجهیزات ردیاب زیردریایی ها است

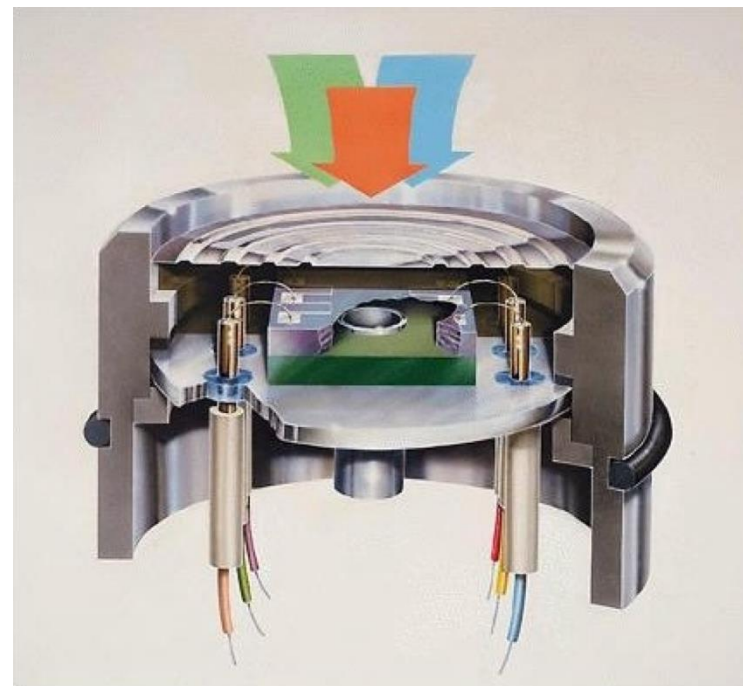
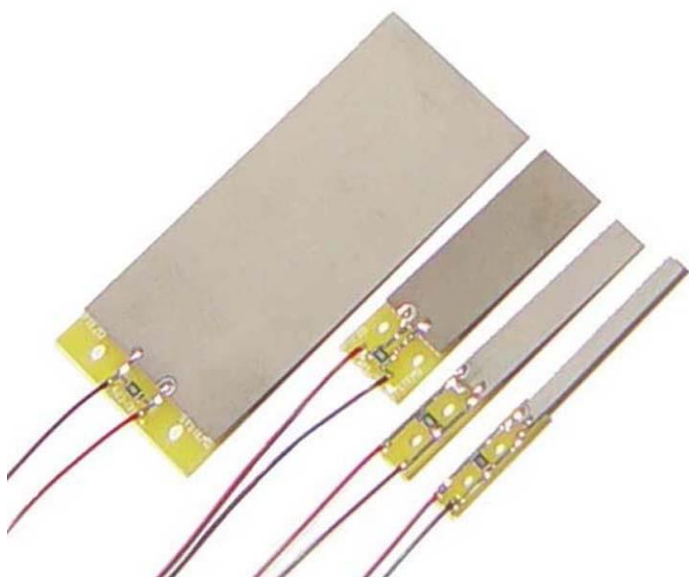
کاربرد سنسور های پیزوالکتریک

- سنسور های خودرو
- مبدل های کوچک در مجاری خون در جهت ثبت تغییرات متناوب ضربان قلب
- تشخیص انواع فشار به شکل صدا معمول ترین نوع عمل حسگر است، به عنوان مثال میکروفن های پیزوالکتریک و یا گیرنده های پیزوالکتریک در گیتارها.



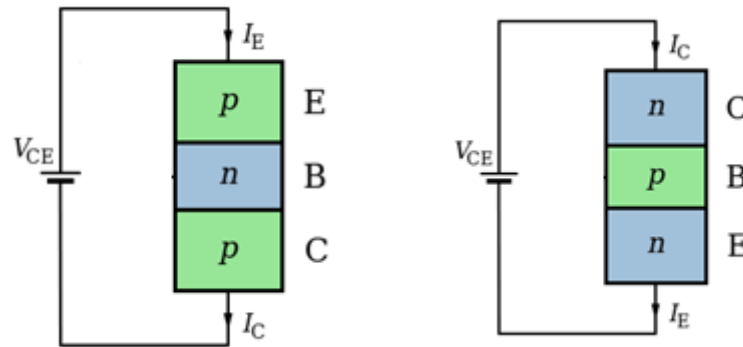
مسگرهای پیزومقاومتی (Piezoresistive Sensors)

○ مسگرهای پیزومقاومتی وقتی تحت فشار قرار می گیرند، مقاومت الکتریکی آنها تغییر می کند. توسعه مواد پیزومقاومتی نتیجه فرعی تحقیق روی نیمه هادی ها بود که بوسیله آزمایش های تلفن بل در اوایل سالهای ۱۹۵۰ انجام شد. سرانجام این تحقیقات منجر به ساخت ترانزیستور شد.



ساختار مسگرهای پیزومقاومتی

○ مسگرهای پیزومقاومتی از مواد نیمه هادی (معمولا سیلیکون) همراه با بور به عنوان ناخالصی ناچیز برای ماده نوع P و همراه با آرسنیک به عنوان ناخالصی ناچیز برای ماده نوع N ساخته می شوند.



مقاومت ماده نیمه هادی

$$\rho = \frac{1}{eN\mu}$$

مساسیت شارژ (تمرکز پذیری) حامل های بار
(وابسته به میزان کرنش و جهت اعمال نیرو نسبت به محور کریستال)

تعداد حامل های بار

بار الکترون

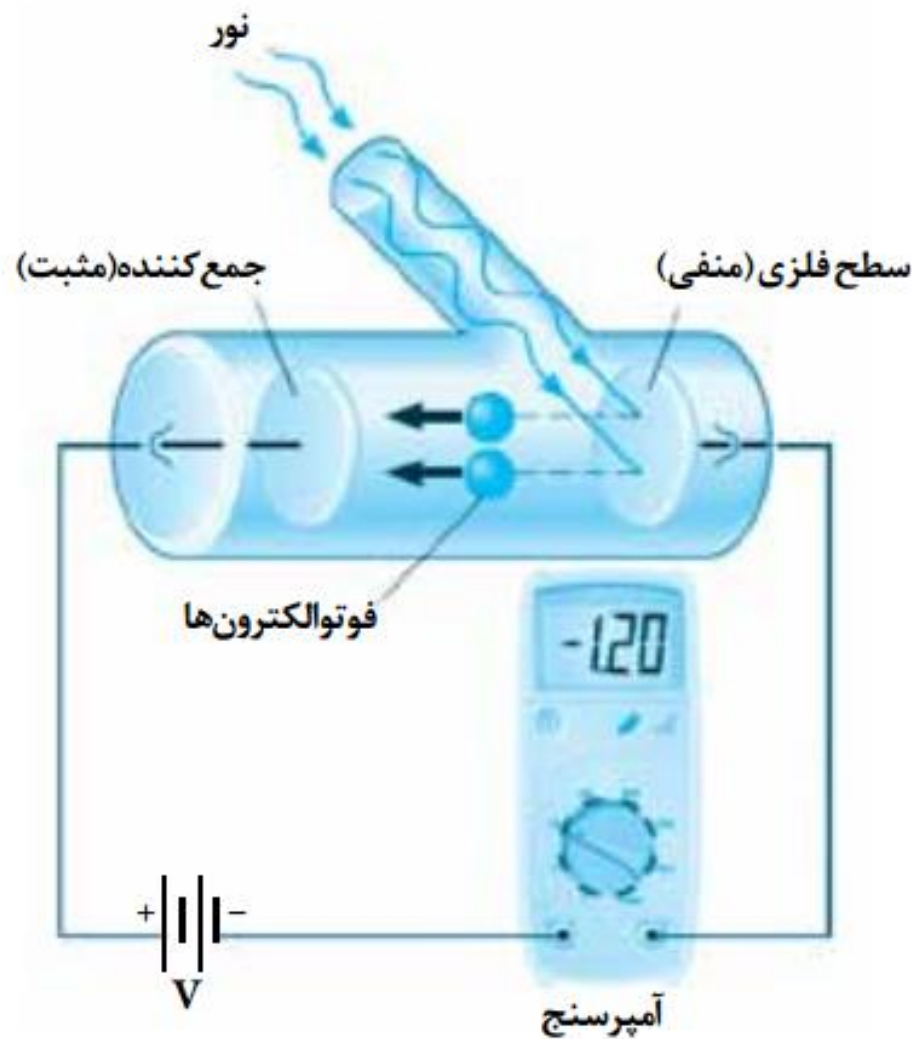
(وابسته به مقدار تمرکز ناخالصی) (وابسته به نوع ناخالصی)

مزایای استفاده از مسگرهای پیزومقاومتی

۱. پاسخ بسامدی بالایی دارند؛ بنابراین برای استفاده در شرایط دینامیکی مناسب می باشند.

۲. به دلیل قابلیت تغییر شکل راحت، این مسگرها را می توان به صورت فیلی کوچک (میکرومینیا توری) ساخت.

۳. از آنجایی که مقاومت عنصر با اعمال فشار تغییر می کند، از این مسگرها برای ساخت فشارسنج ها یا شتاب سنج ها می توان استفاده نمود.



▲ شکل ۱. در اثر فتوالکتریک، نور با بسامدی به اندازه کافی زیاد، الکترون‌ها را از سطح فلزی خارج می‌کند. این فوتوالکترونها، همان‌طور که از نامشان پیداست، به طرف جمع‌کننده مثبت می‌روند و جریانی الکتریکی را به وجود می‌آورند.

ابزار اندازه‌گیری و

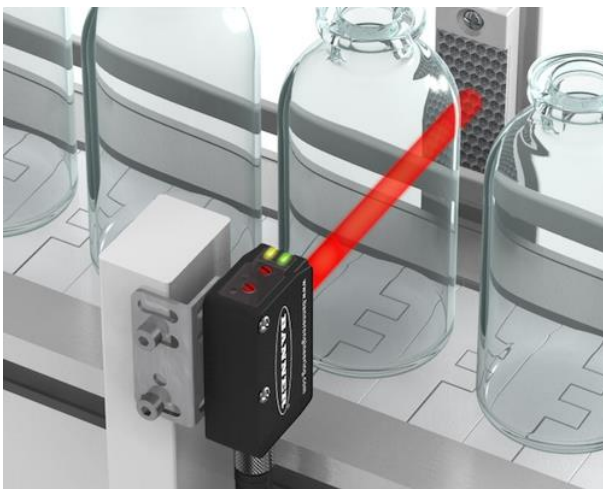
انواع آشکارساز فتوالکتریک بر اساس سیگنال ورودی به آن

۱. **گرمایی (Thermal detector):** این آشکارسازها از اثر گرمایی تشعشع نور استفاده می کنند؛ یعنی، از انتقال گرما و تأخیر دمای به وجود آمده برای مس کردن دما (به کمک مسگرهای دما) استفاده می کنند. از آنجایی که پاسخ زمانی پایینی دارند، عمده کاربرد آن ها در جایی است که شدت نور زیاد و خروجی با گذشت زمان ثابت باشد، مثل شعاع نور لیزر.

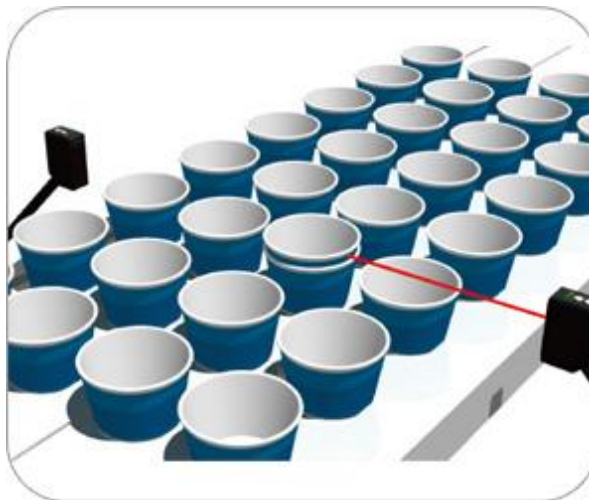
۲. **فوتونی (Photon detector):** این آشکارسازها از اثر روشنائی تشعشع نور استفاده می کنند و به علت داشتن حساسیت و سرعت پاسخ بیشتر، به عنوان مسگرهای همه منظوره (General purpose) کاربرد گسترده ای دارند. سه نوع متداول این نوع آشکارساز عبارت است از: **لوله های منتشر کننده نور (فتو گسیلنده ها)**، **سلول های رسانای نوری** و **دیوهای نوری نیمه رسانا**.

مسگرهای فتوالکتریک (Photoelectric Sensors)

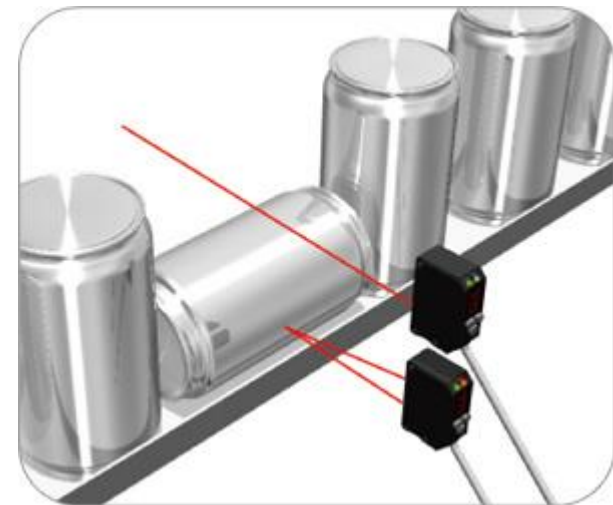
○ در جاهایی که امکان تماس با قطعه (هدف) وجود ندارد، می توان با استفاده از مسگر فتوالکتریک تغییرات در شدت نور را به کمیتی که می خواهیم اندازه بگیریم ربط دهیم. در چنین کاربردهایی، فتوالکتریک آشکارساز است و سیستم کامل که شامل آشکارساز (Detector)، تقویت کننده و ترمیم کننده سیگنال (Signal conditioner) و تجهیزات مربوط به قرائت است را اغلب رادیومتر (Radiometer) می گویند.



Detect unclear particles



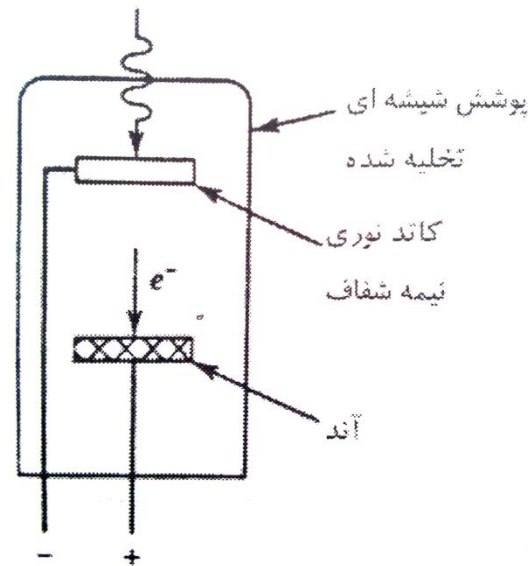
Application in dairy industry



Detect fallen cans

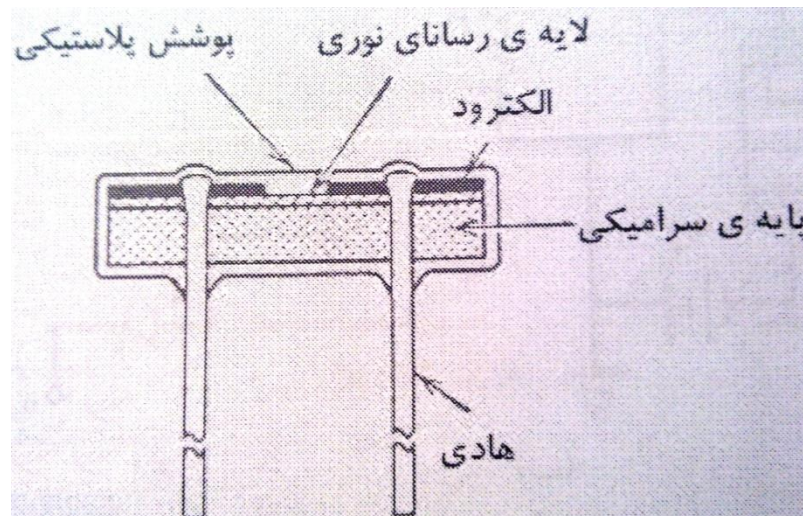
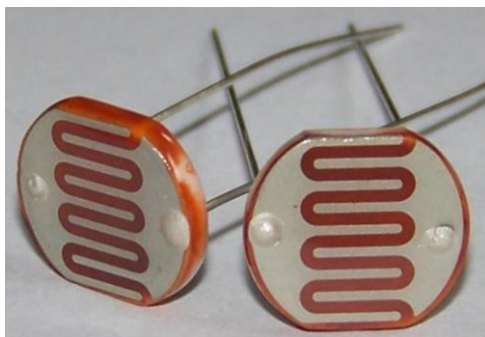
فتو گسیلنده ها (Photoemissions)

○ فتوگسیلنده ها که به آشکارسازهای لوله خلاء (Vacuum-tube detectors) نیز معروفند، بر اساس انتشار نور عمل می کنند. این آشکارسازها، حاوی یک کاتد نوری (Photocathode) نیمه شفاف و یک آند نصب شده در خلاء است. وقتی برافورد تابشی (فوتون ها) روی ماده ی کاتد نوری تاثیر می کند، الکترون ها از سطح آن ساطع شده و به طرف آند جریان پیدا می کنند.



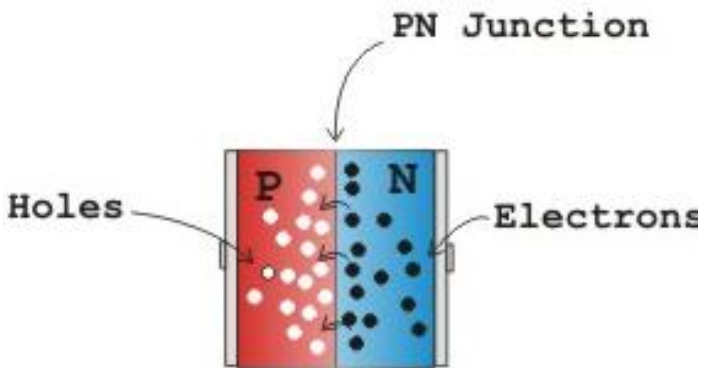
سلول های رسانای نور (Photoconductive Cells)

○ سلول های رسانای نور از مواد نیمه هادی مانند سولفید کادمییم (CdS) یا سلنید کادمییم (CdSe)، که پاسخ رسانایی نوری فراوانی دارند، ساخته می شوند. در اثر تابش نور به این سلول ها، مقاومت مواد نیمه هادی صفحه تغییر می کند (به صورت غیرخطی کم می شود).

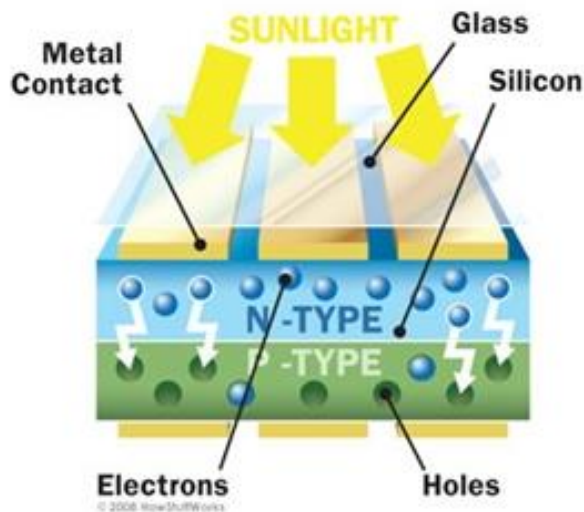


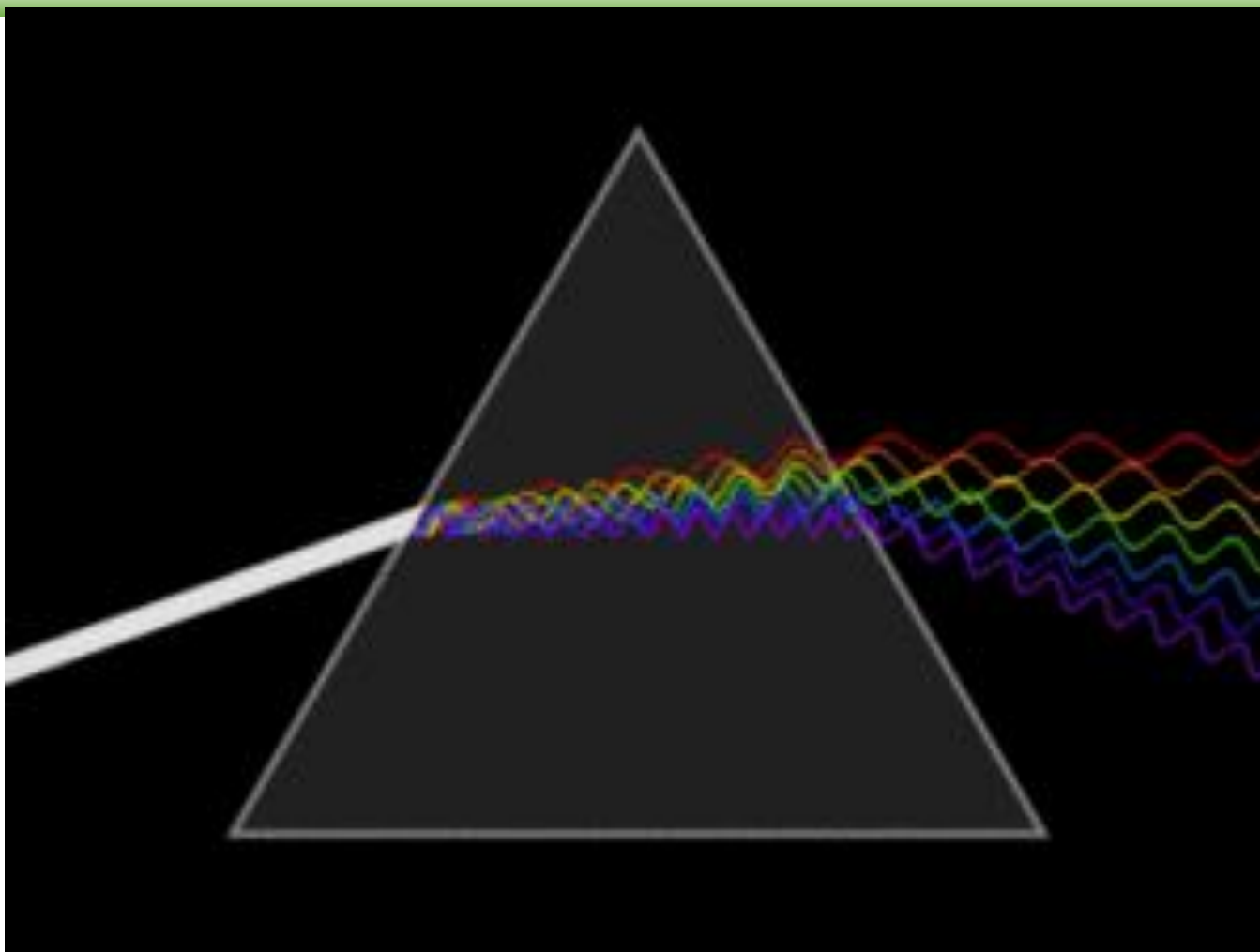
دیودهای نوری نیمه رسانا (Semiconductor photodiodes)

○ دیودهای نوری نیمه رسانا از سیلیکون (نیم رسانا) و ناخالصی نوع P و N ساخته شده است. بسته به مدار خارجی که دیود در آن قرار می گیرد، ممکن است از آن به عنوان یک وسیله فتوولتائیک (منبع ولتاژ) یا یک رسانای نوری (تغییر مقاومت) استفاده گردد.



○ یادآوری: نیم رسانا یا نیمه هادی، عنصر یا ماده ای است که در حالت عادی عایق باشد، ولی با افزودن مقداری ناخالصی قابلیت هدایت الکتریکی پیدا می نماید. نیم رساناها به دو دسته نوع P یا Positive یا گیرنده الکترون آزاد (که در آن تعداد مفرد ها بیشتر است) و نوع N یا Negative یا دارنده الکترون آزاد (که در آن تعداد الکترون ها بیشتر است) تقسیم بندی می شود.

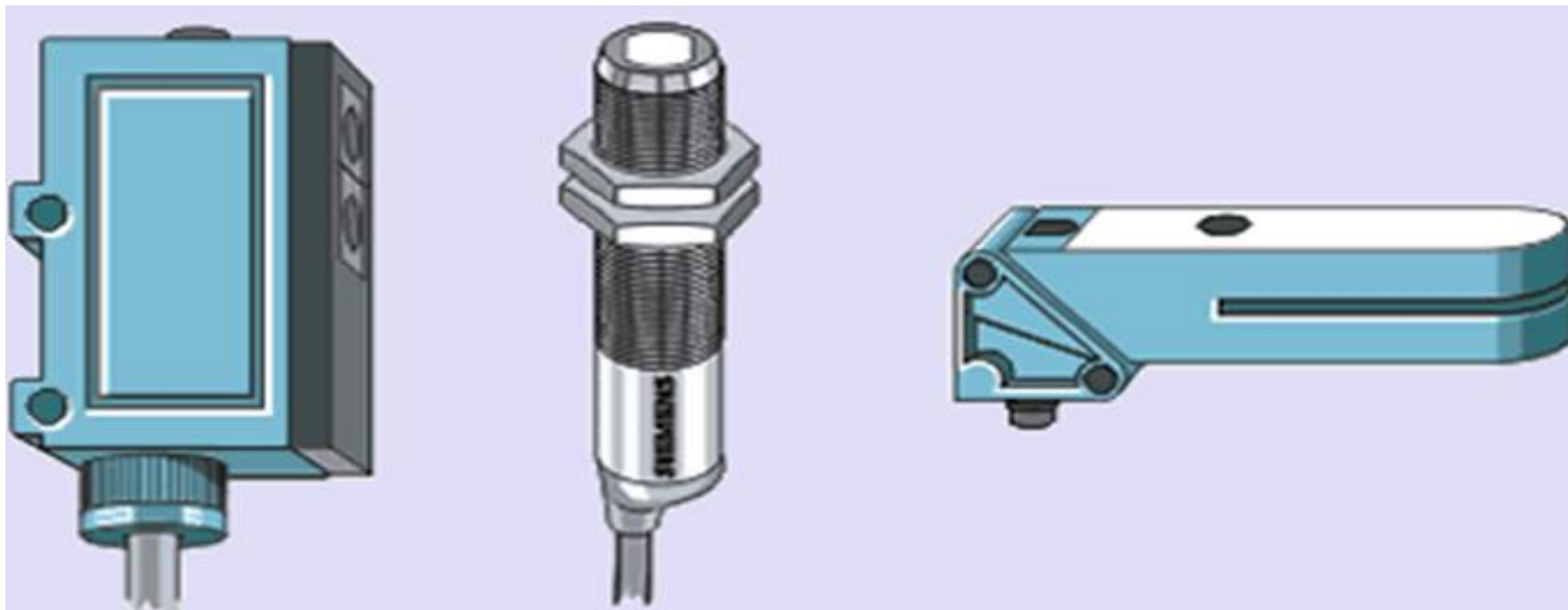




شکست نور مری سفید در یک منشور به طول موج‌های دیگر، طول موج‌های بلندتر، متمایل به قرمز و موج‌های کوتاه‌تر، مایل به آبی‌اند.

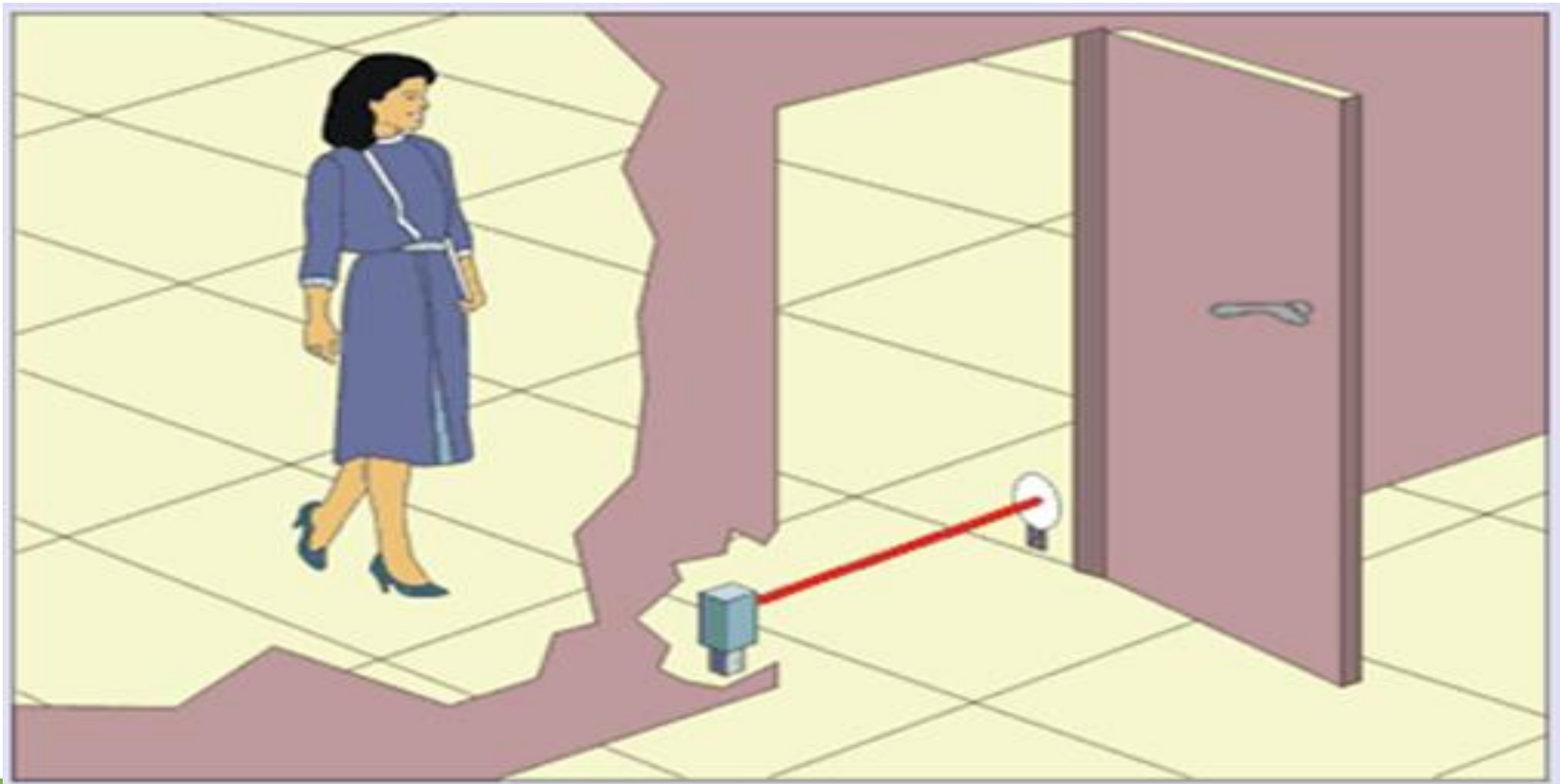
سنسورهای فتوالکترونیک

سنسور فتوالکترونیک، نوع دیگری از ابزارهای تشخیص موقعیت می باشند. این سنسور از پرتوی نور مدوله شده استفاده می کند. این پرتو توسط شی یا منعکس شده و یا قطع می گردد.



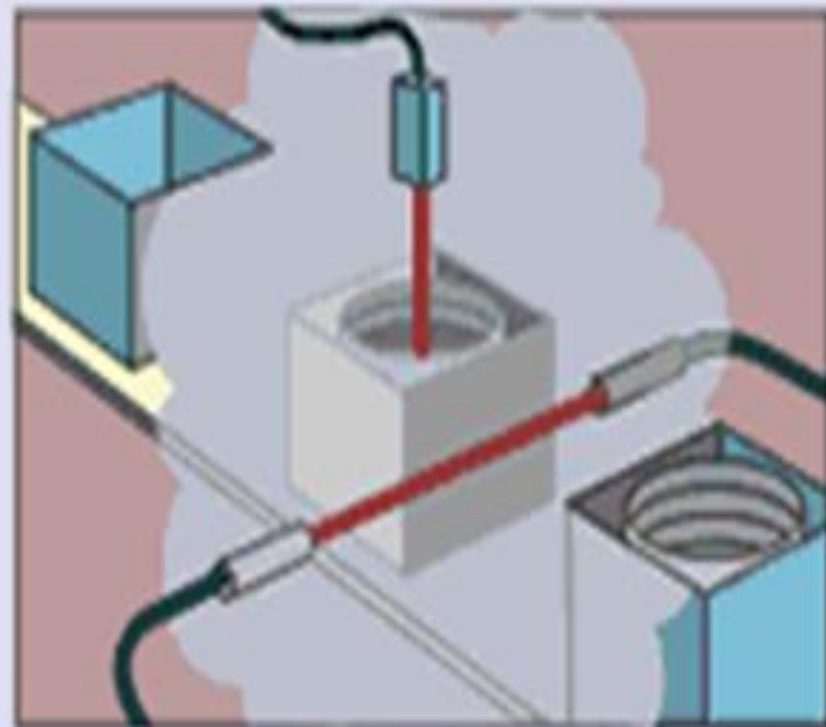
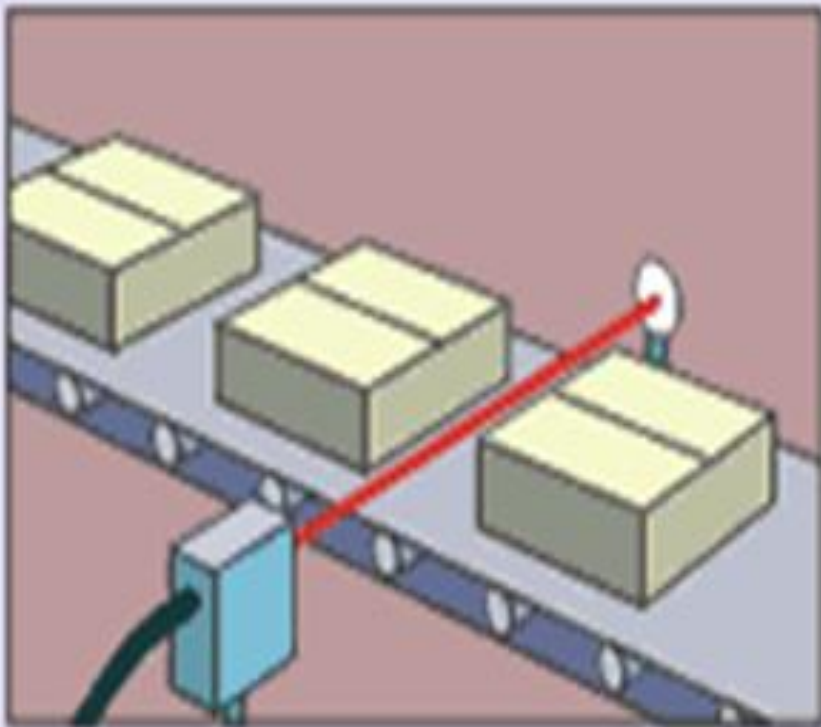
کاربرد سنسور فتو الکتریک

این سنسور شامل منبع انتشار نور، یک گیرنده برای کشف نور ارسالی و مدارات می باشد. الکترونیکی برای تقویت سیگنال کشف شده جهت راه اندازی مدارات کنترلی



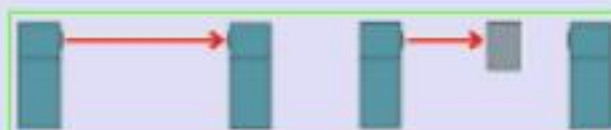
ضرب تقویت

هوای محیطی که سنسور در آنجا نصب می شود (مخصوصاً محیط های صنعتی) ممکن است حاوی گردو خاک، دود و رطوبت باشد. در این شرایط سنسور نیاز به تشعشع نور بیشتر دارد.



تکنیک های اسکن سنسور فتوالکتریک

تکنیک اسکن، روشی است که برای ردیابی شیء به کار گرفته می شود.
 بهترین روش ردیابی بستگی به نوع شیء دارد.
 بعضی اشیاء کدر و بعضی بسیار شفاف هستند.
 بعضی اوقات ردیابی رنگ احتیاج است.
 تشخیص فاصله نیز عاملی در روش اسکن می باشد.
 بعضی روش ها برای فواصل دور و برخی برای فواصل کوتاه مفیدتر هستند.
 روش های اسکن عبارتند از:
 پرتوی کامل - بازتابی - انتشار
 در ادامه به تشریح این روش ها می پردازیم.



اسکن به روش پرتوی کامل



اسکن به روش بازتابی



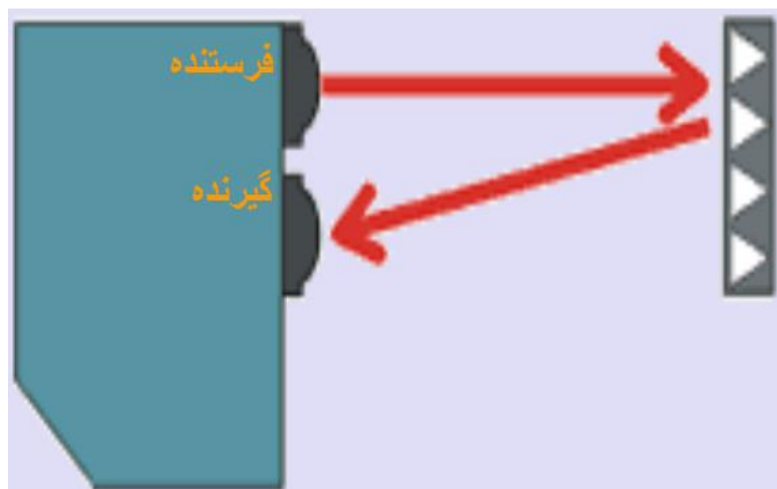
اسکن به روش انتشار

تکنیک های اسکن سنسور فتوالکتریک

اسکن به روش پرتوی کامل

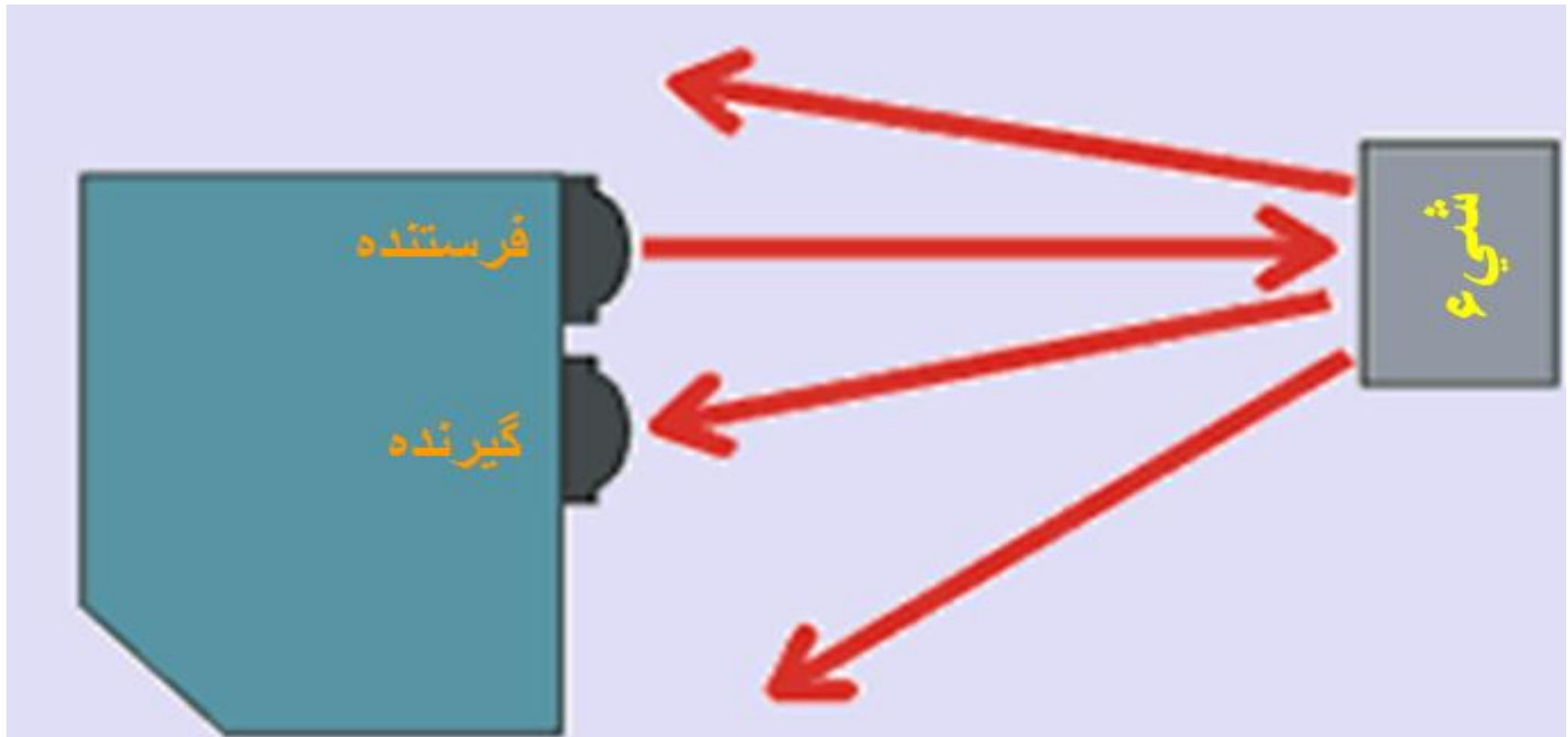


روش بازتابی



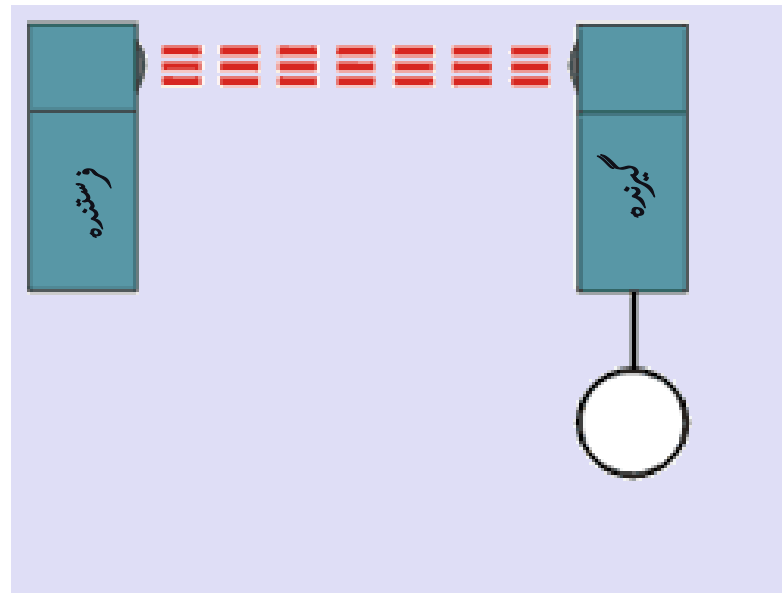
تکنیک های اسکن سنسور فتوالکتریک

روش انتشار (Diffuse): در این حالت فقط گیرنده و فرستنده وجود دارد که هر دو در یک طرف نصب می شوند و شی مانند بازتاب کننده عمل می کند. به این ترتیب که نوری (اینفرارد، نور قرمز مرئی یا لیزر) از طرف فرستنده ارسال می شود، اگر شی در مقابل این نور قرار بگیرد، بازتاب هایی از آن را در فضا می فرستد که بخشی از این بازتاب ها به گیرنده می رسد. گیرنده با دریافت این پرتو حضور جسم را تشخیص داده و اطلاع می دهد



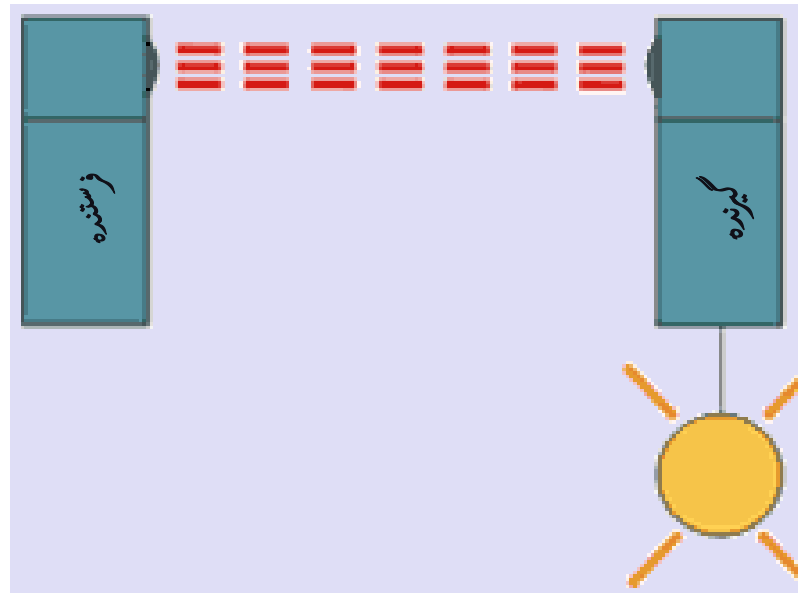
عملکرد سنسور

حالت عملکردی است که وقتی شیء بین گیرنده و فرستنده قرار گیرد خروجی سنسور فعال می کند.

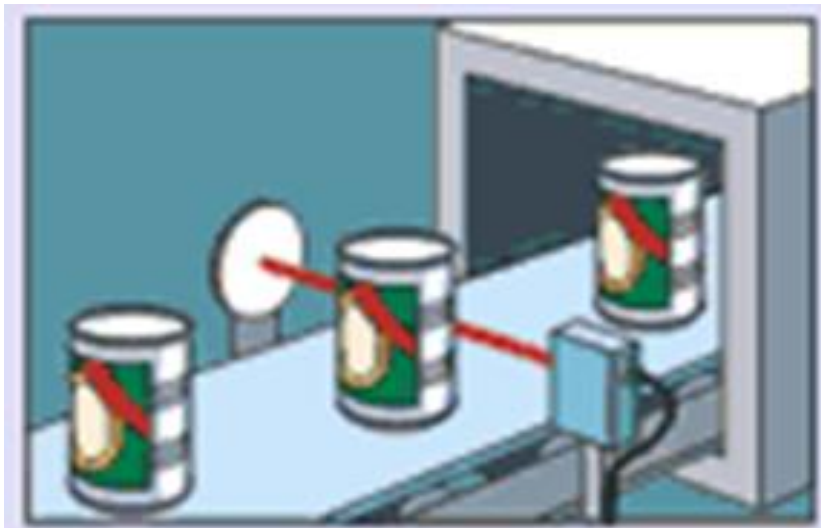


عملکرد سنسور

حالت عملکردی است که وقتی شیء بین گیرنده و فرستنده قرار گیرد خروجی سنسور را غیر فعال می کند.



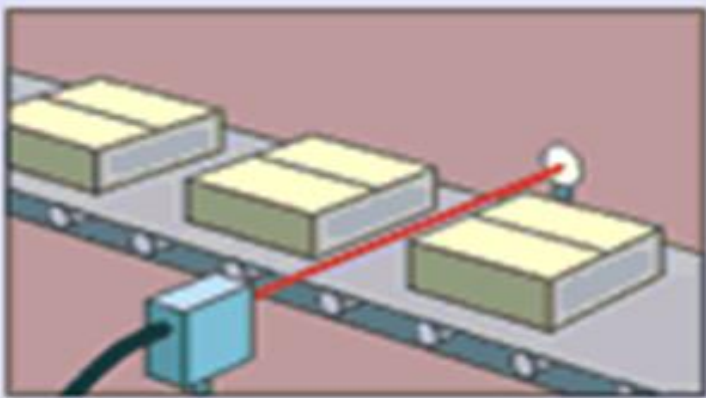
کاربرد سنسورهای فتوالکتریک



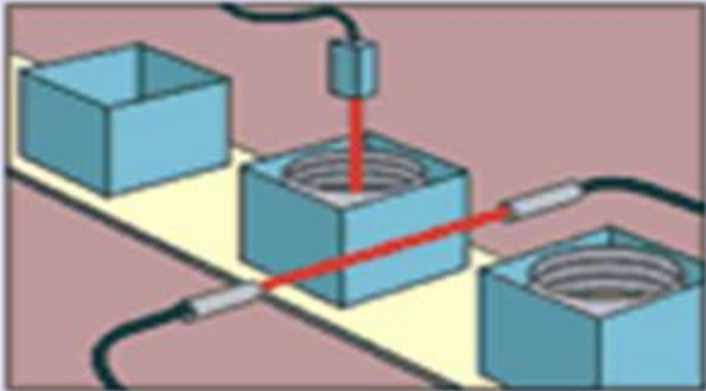
شمارش قوطی های کنسرو



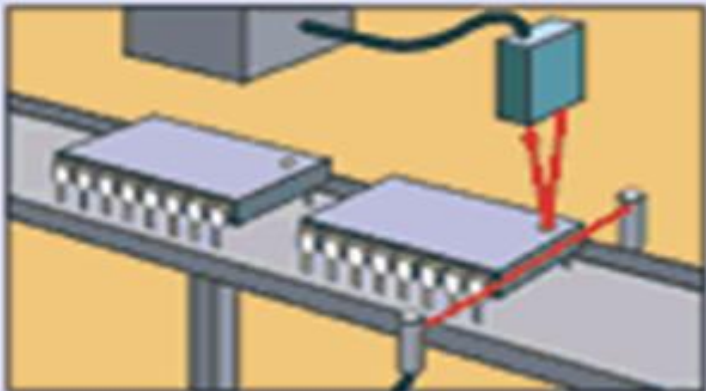
استفاده در کارواش



شمارش بسته ها



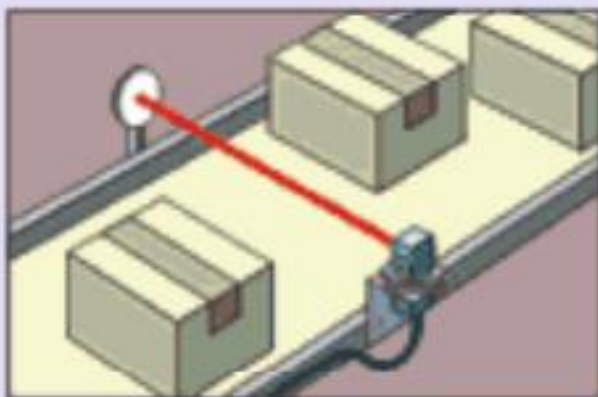
تشخیص ترکیبات داخل کنسروهای فلزی



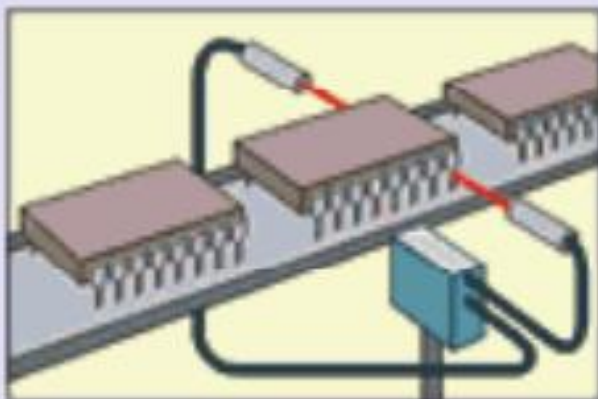
IC تشخیص جهت و موقعیت پایه نخست



تشخیص تراکم بسته ها روی تسمه نقاله



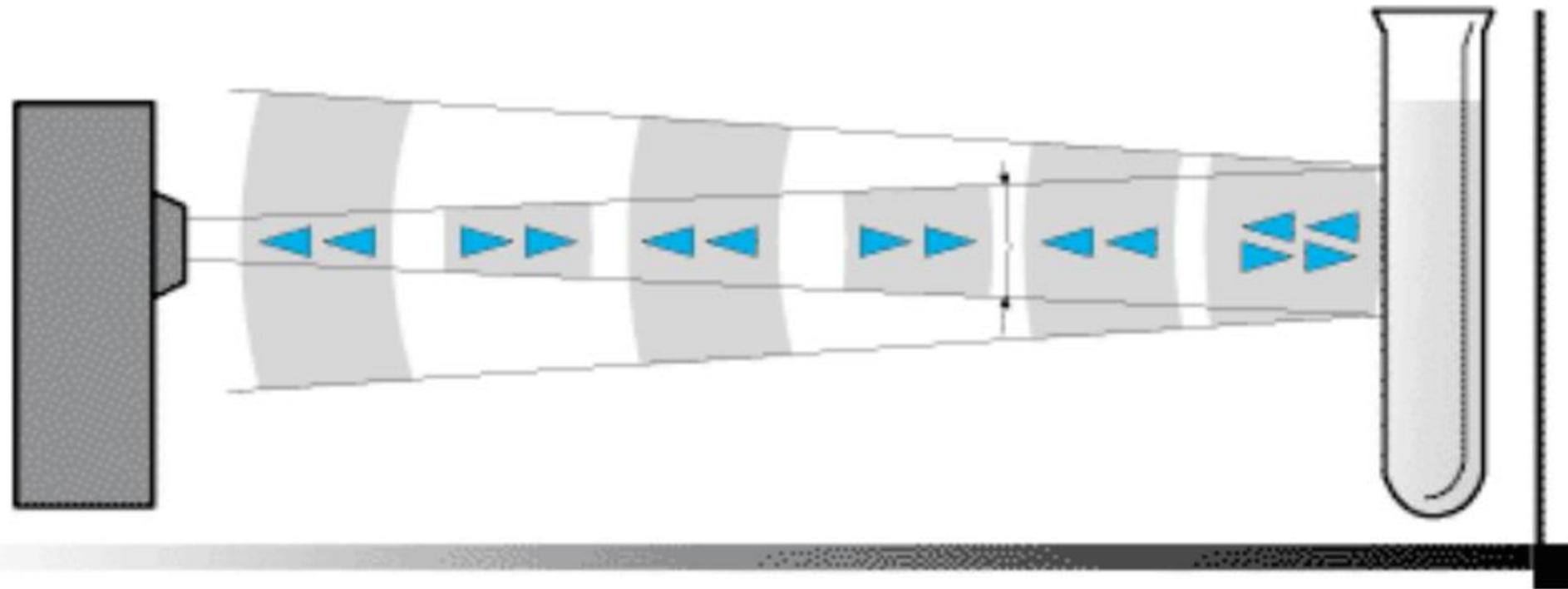
شمارش بسته ها در هر جای تسمه نقاله



شمارش پایه های IC

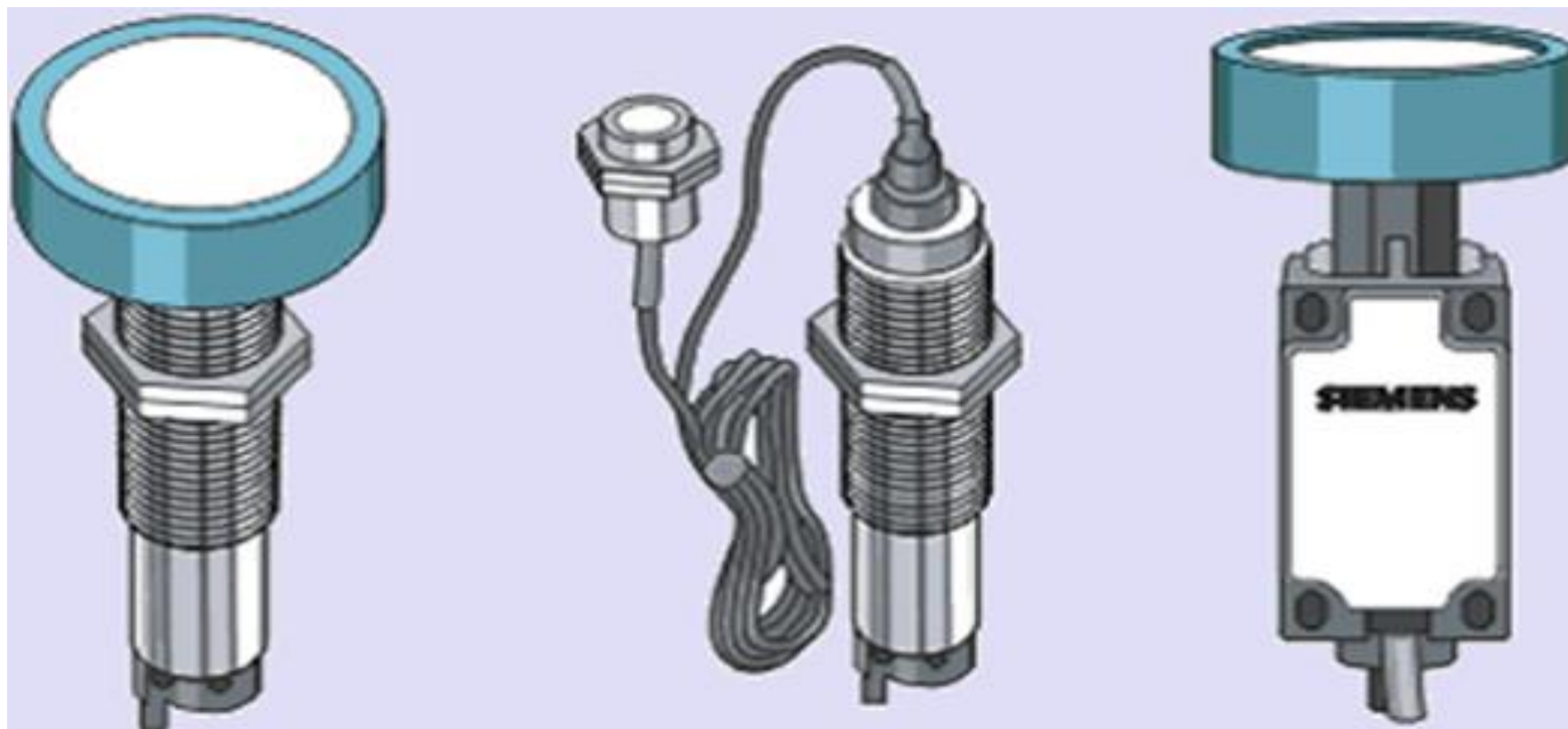
سنسورهای التراسونیک Ultrasonic sensors

امواج صوتی با فرکانس‌های بالاتر از فرکانس شنوایی (امواج التراسونیک) را می‌فرستند و امواج بازگشتی را دریافت می‌کنند. از تاخیر زمانی و سرعت صوت در هوا برای تعریف فاصله از هدف استفاده می‌کنند و همچنین می‌توان تنها برای تشخیص هدف و وجود یا عدم وجود آن مورد استفاده قرار گیرد.



سنسورهای التراسونیک

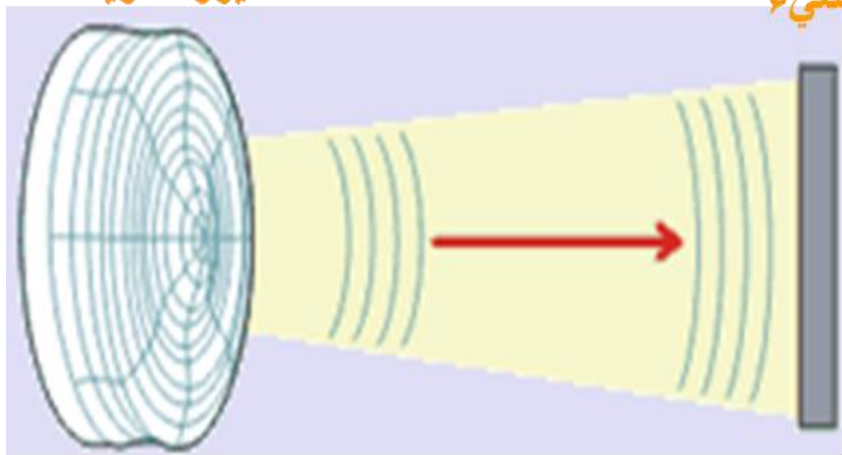
در این سنسورها سیگنال های صوتی فرکانس بالا از یک فرستنده ارسال شده و توسط گیرنده دریافت می گردد.



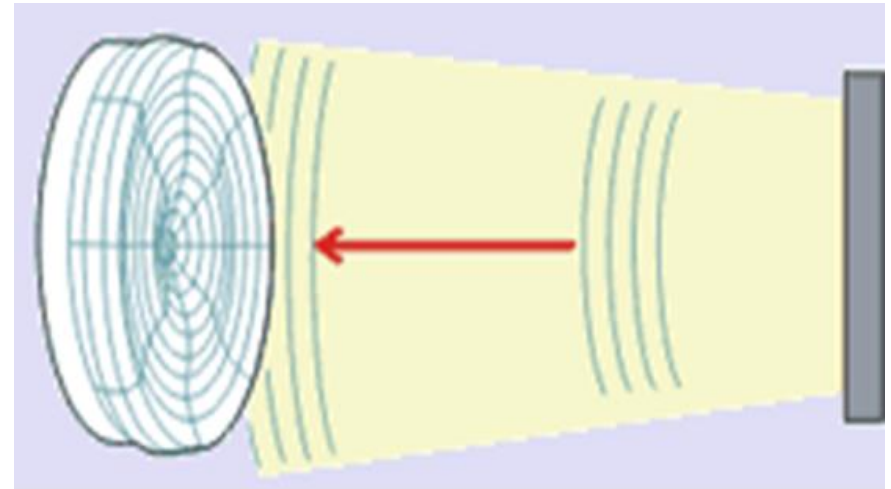
سنسورهای مجاوبتی آتراسونیک

یکی صفحه مرتعش روی سطح سنسور نصب میشود که امواج صوتی با فرکانس بالا تولید میکند. وقتی سیگنالهای ارسالی به ماده منعکس کننده صوت میرسد صدا بازتاب میکند وقتی سیگنال برگشتی در محدوده مشخصی باشد مدار داخلی سنسور عمل میکند.

صفحة
فيزوالکتریک



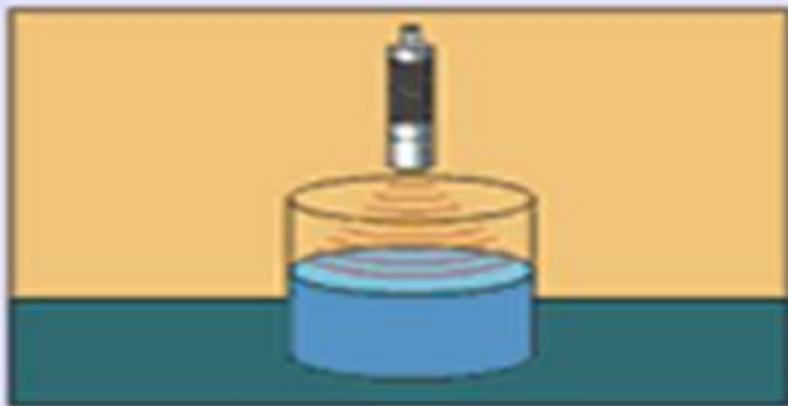
امواج ارسالی



امواج بازتاب شده

کاربرد سنسورهای آتراسونیک

اندازه گیری سطح در ظروف بزرگ



جلوگیری از برخورد

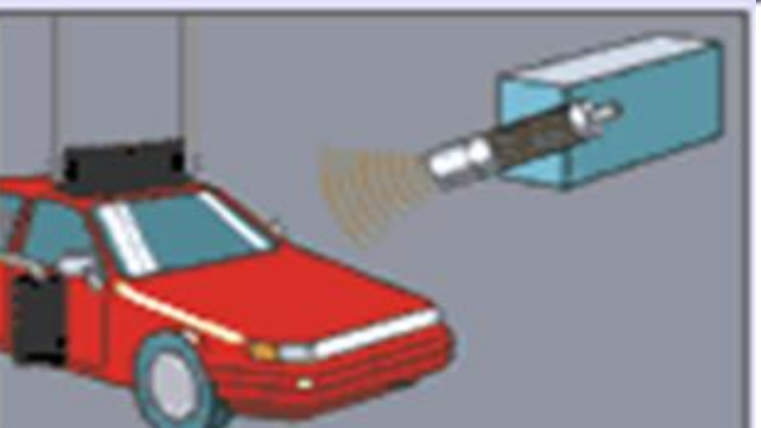


تشخیص ارتفاع قطعات

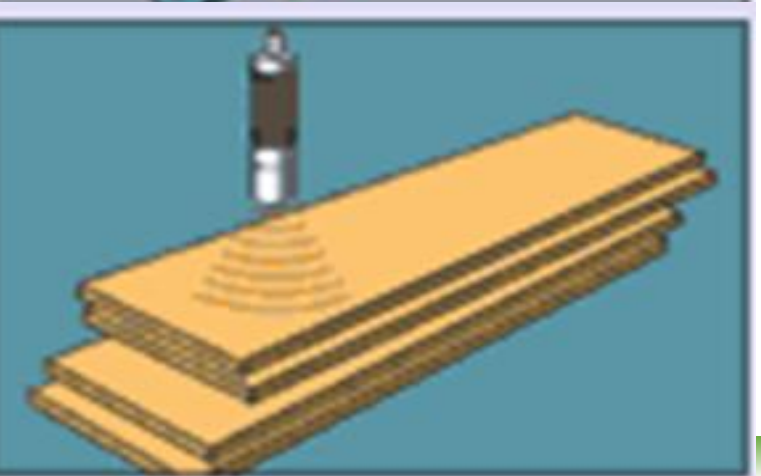




شمارش بطری ها



تشخیص وسیله نقلیه و موقعیت یابی



تشخیص ارتفاع قطعات روی هم

تشخیص قطر و کنترل سرعت نوار

تشخیص افراد

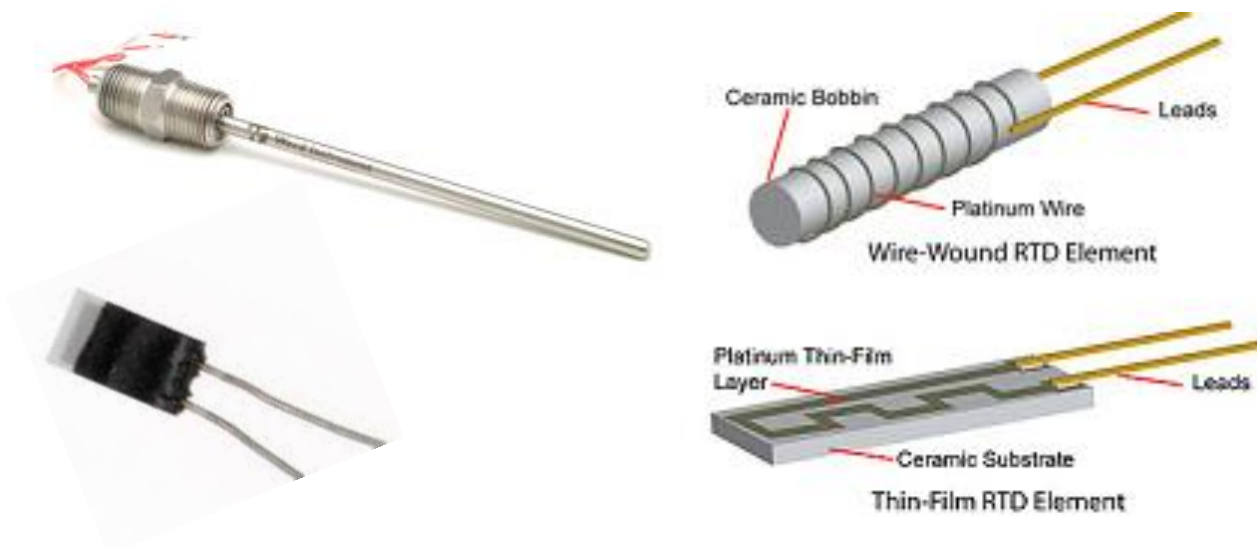
ردیابی قطعی سیم یا طناب

سنسورهاي بدون تماس فيزيكي

نوع سنسور	جنس ماداي كه حس مي كند	تكنولوژي كار
سلفي	فلز	ميدان الكترو مغناطيسي
خازني	هر چيزي	ميدان الكترو مغناطيسي
آلتراسونيك	هر چيزي	امواج صوتي
فتو الكتريك	هر چيزي	نور

آشکارسازهای دما مقاومتی (Resistance Temperature Detectors (RTDs))

○ تغییر مقاومت الکتریکی فلزات در اثر دما زمینه ای را برای خانواده ای از حسگرها، که به آشکارسازهای دما مقاومتی معروفند، فراهم می آورد. این حسگرها به طور ساده از یک هادی ساخته شده که یا به صورت کویل سیم پیچ یا به صورت یک فیلم یا شبکه ی ورقه ای است.



رابطه بین مقاومت الکتریکی یک آشکارساز دما مقاومتی با تغییر دما

$$\Delta R/R_0 = \gamma_1(T-T_0) + \gamma_2(T-T_0)^2 + \dots + \gamma_n(T-T_0)^n$$

تغییر در مقاومت در اثر
تغییر دما از T_0 به T

مقاومت مرجع
در دمای T_0

دمای مرجع

ضریب دمایی
مقاومت

○ فلز پلاتین به طور گسترده ای در ساخت حسگرهای RTD استفاده می شود زیرا:

۱. پایدارترین فلز در بین تمام فلزات است.
۲. کمترین حساسیت را به کثیفی دارد.
۳. قادر به کار کردن در محدوده دمایی ۴ درجه کلوین تا ۱۰۶۴ درجه سانتی گراد است.

حساسیت و پاسخ زمانی یک آشکارساز دما مقاومتی

○ حساسیت (S) مسگرهای دمای مقاومتی که با استفاده از پلاتین ساخته می شود نسبتاً بالا است. مثلاً برای یک RTD با یک مقاومت ۱۰۰ اهم در صفر درجه سانتی گراد برابر است با: $S=0.390 \Omega/^{\circ}\text{C}$

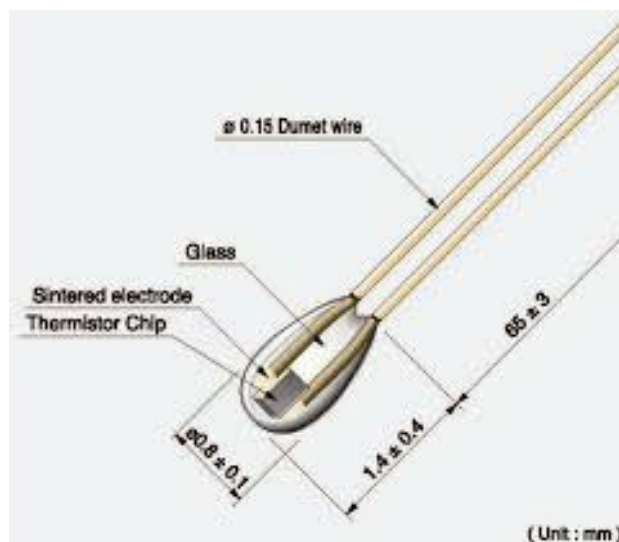
○ به دلیل غیرخطی بودن رابطه بین تغییرات مقاومت الکتریکی آشکارساز با دما (معادله قبل)، حساسیت با تغییر دما تغییر می کند. در دماهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی گراد، حساسیت به ترتیب به مقادیر ۰/۳۷۸، ۰/۳۶۷، ۰/۳۵۵، ۰/۳۴۴ و ۰/۳۳۲ اهم بر درجه سانتی گراد کاهش می یابد.

○ پاسخ زمانی یک RTD، تقریباً به طور کامل به جزئیات سافت آن بستگی دارد. برای سیم پیچ های بزرگی که روی میله های سرامیکی سنگین مونتاز شده اند و در لوله های فولادی غلاف شده اند، پاسخ زمانی ممکن است چندین ثانیه و یا بیشتر باشد. این درحالی است که برای آشکارسازهایی که به صورت فیلم یا ورق نازک نصب شده روی لایه ی پلی آمید هستند، پاسخ زمانی می تواند به کمتر از ۰/۱ ثانیه برسد.

ترمیستورها (Thermistors)

○ ترمیستورها همانند RTD ها با تغییر در مقاومت الکتریکی ناشی از تغییر دما، قادر به اندازه گیری دما هستند؛ با این تفاوت که عنصر مس کننده در ترمیستورها، به جای اینکه فلز باشد، از جنس مواد نیمه هادی است.

○ مواد نیمه هادی که شامل اکسیدهای مس، کبالت، منگنز، نیکل و تیتانیوم هستند، در مقابل تغییر دما، تغییر مقاومت زیادی از خود نشان می دهند.



رابطه بین مقاومت الکتریکی یک ترمیستور با تغییر دما

$$\ln \rho = A_0 + A_1/\theta + A_2/\theta^2 + \dots + A_n/\theta^n$$

مقاومت ویژه
ماده مورد نظر

ثابت های
ماده مورد نظر

دمای مطلق

○ در صورتیکه تغییر درجه حرارت زیاد نباشد، معادله فوق را فقط با دو جمله اولش تقریب می زنند:

$$\ln \rho = A_0 + A_1/\theta$$

○ مشتق گیری از معادله فوق نشان می دهد که شیب منحنی مقاومت ویژه منفی است. به عبارت دیگر، با افزایش دما، مقاومت ویژه کاهش می یابد. به همین علت است که به ترمیستورها، NTC (Negative temperature coefficient) نیز می گویند.

مزایا

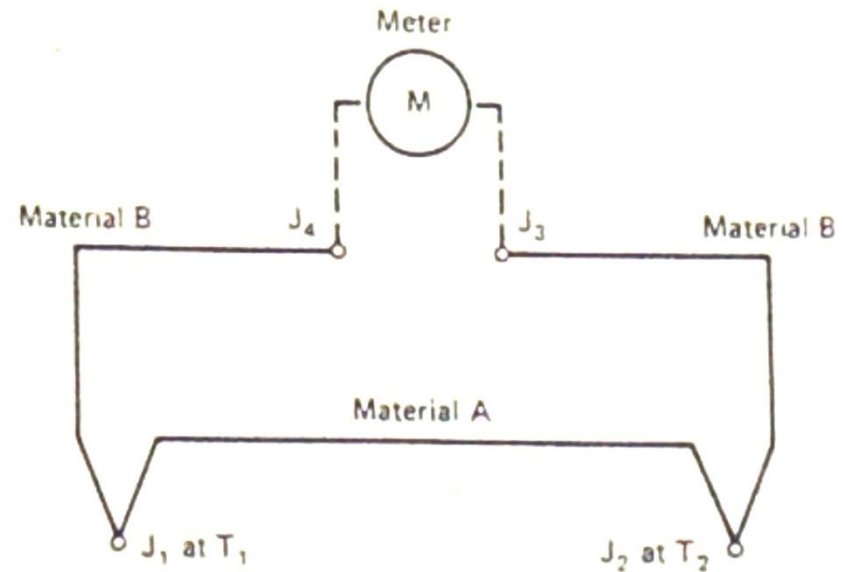
۱. می توانند کوچک باشند (قطر ۰/۰۰۵ اینچ) و لذا در اندازه گیری های نقطه ای کاربرد دارند.
۲. پاسخ آن ها نسبت به تغییرات دمایی سریع است.
۳. خروجی آنها بیش از ۱۰ برابر خروجی RTD است.
۴. به دلیل سفت و محکم بودن، می توان از آن ها در جاهایی که شوک و ارتعاش وجود دارد، استفاده کرد.

معایب

۱. رابطه بین خروجی مسگر و دما غیرخطی است.
۲. محدوده دمایی عملکردی مسگر محدود است.

ترموکوپل ها (Thermocouples)

○ ترموکوپل یک مسگر دمایی است که از دو ماده غیر مشابه (سانا یا نیم رسانا تشکیل شده که در تماس الکتریکی و حرارتی همدیگر هستند. هنگامی که دما در ناحیه تماس این دو ماده تغییر می کند، مقداری پتانسیل تولید می شود. این پدیده ترموالکتریکی به اثر سیبک (Seebeck effect) معروف است.



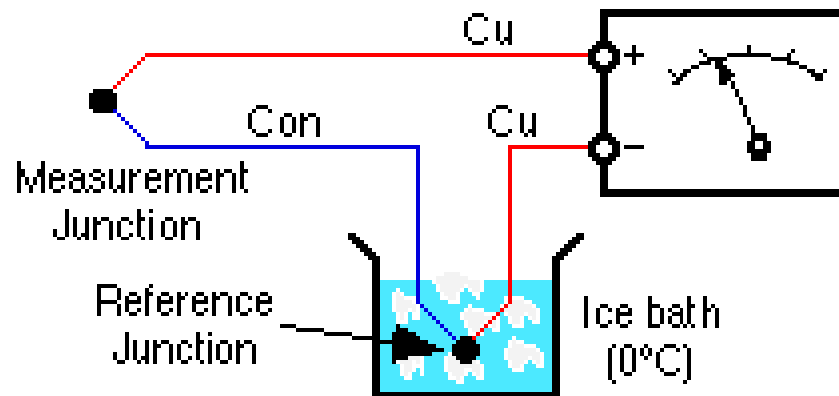
نمونه اندازه گیری دما در ترموکوپل

$$V_o = S_{A/B} (T_1 - T_2)$$

مساسیت ترکیب
مواد A و B ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)

دمای مورد
اندازه گیری

دمای مرجع



Traditional Thermocouple Measurement

مزایا و معایب ترموکوپل ها

مزایا

۱. می توان آن را کوپک سافت (با قطر سیم ۰/۰۰۰۵ اینچ). لذا در اندازه گیری های نقطه ای کاربرد دارند.
۲. پاسخ زمانی در نوع مینیاتوری این مسگرها بالا است.
۳. در محدوده دمایی وسیعی می توان از این مسگرها استفاده نمود (۱۸۰- تا ۱۸۰۰ درجه سانتی گراد).

معایب

۱. فروجی مسگر غیرفطی است و نیاز به مدار فطی ساز دارد.
۲. مشکل نگهداری و کنترل دمای مرجع وجود دارد.
۳. سطح سیگنال فروجی پایین است و نیاز به آمپلی فایر جهت تقویت سیگنال دارد.