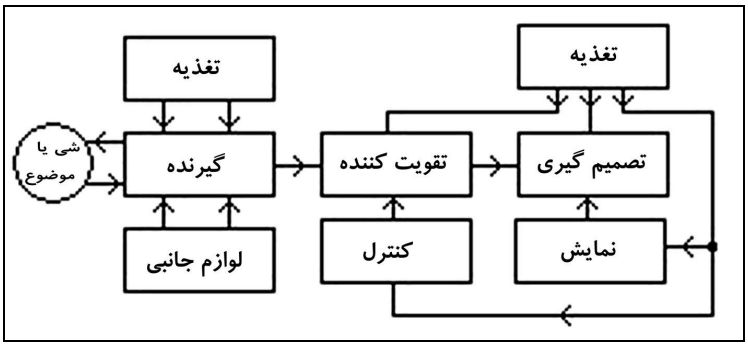
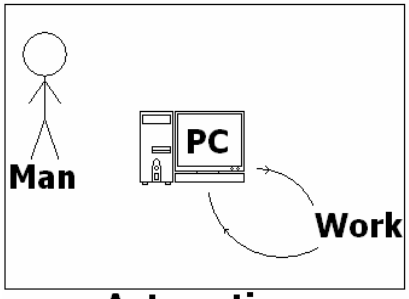
کاربرد سنسور در صنعت

سنسورها جزء لاينفك صنعت بخصوص اتوماسيون هستند . هدف اصلي اتوماسيون بهبود كيفيت و كميت با كمترين هزينه و حداقل زمان است .
سنسور جانشيني براي هر يک از حسگرهاي انسان است و از مهمترين عناصر اتوماسيون و اتوماتيک سازي صنعت محسوب مي شود. كار سنسور آشكارسازي و اندازه گيري است. سنسور شامل قسمت گيرنده و قسمت تصميم گيرنده است كه به هم متصل و يک موضوع را مشخص و يا اندازه گيري مي كند. شكل زير ساختمان اصلي يک سنسور را نشان ميدهد.



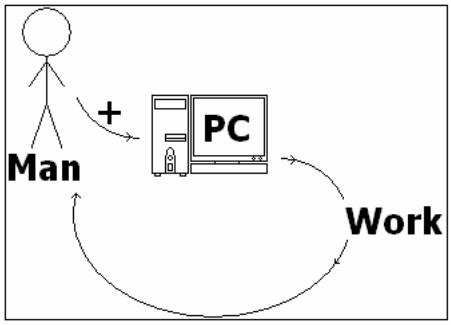
بلوك دياگرام و اجزاء سنسور

اتوماسيون : اتوماسيون صنعتي به معناي بكارگيري كامپيوتر بجاي انسان براي كنترل دستگاهها و فرآيندهاي صنعتي است .



Automation

مكانيزاسيون : مكانيزاسيون به معناي فراهم كردن ابزار مناسب براي انسان درجهت انجام آسانتر وسريعتر كارها است .



Mechanization

اتوماسيون يك گام فراتر از مكانيزاسيون است .

اندازه گيري : تعيين و مشخص كردن يك كميت نسبت به يك استاندارد و معيار خاص را اندازه گيري مي نامند . مثل بلندي و كوتاهي كه بايد نسبت به يك استاندارد سنجيده شود .

يكا (مقياس - واحد):انتخاب مقدارمشخص ازكميت موردنظربعنوان استانداردجهت تعين مقداراندازه كميتهايي ازآن جنس رايكايامقياس مينامند.

دقت : كمترين مقداري كه يك وسيله مي تواند اندازه بگيرد ، دقت اندازه گيري آن وسيله ناميده مي شود .

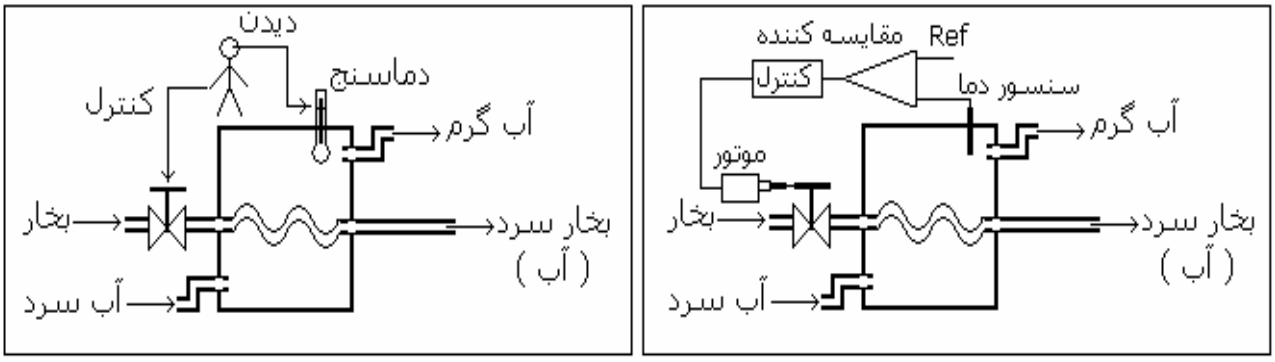
مزاياي اتوماسيون صنعتي عبارتند از :

1- تكرارپذيري فعاليت ها و فرآيندها
2- افزايش كيفيت محصولات توليد (كيفيت)
3- افزايش سرعت توليد (كميت)
4- كنترل دقيق تر و سريعتر كيفيت
5- كاهش پسماندهاي توليد (ضايعات)
6- افزايش بهره وري
7- افزايش ضريب ايمني

بطور خلاصه مزاياي اتوماسيون صنعتي عبارتست از : افزايش كميت و كيفيت با بهره وري بالا

كنترل كننده خودكار (Automatic Controller)

به مكانيزمي گفته ميشودكه بتواند كميتي را اندازه گيري و انحراف مقدار آن نسبت به مقدار مطلوب را تصحيح يا محدود كند . بعبارت ديگر از دو قسمت اندازه گيري و كنترل تشكيل شده است . با حذف قسمت اندازه گيري ، سيستم كنترل خودكار به سيستم كنترل دستي تبديل مي شود . بخش اول در يك چرخه كنترل برداشت اطلاعات از فرآيند مي باشد . اين عمل توسط سنسورها صورت مي گيرد .



مقايسه سيستم كنترل خودكار و دستي دما

كاربردهاي سنسور در صنعت :

1- نمايش فرآيندها (Monitoring)
2- كنترل فرآيندها (Process Control)

جمع آوري اطلاعات در فرآيندهاي صنعتي با استفاده از سنسورها و حسگرها صورت مي گيرد . سنسورها به منزله گوش ، چشم و ساير حواس انسان در يك سيستم كنترل هستند . بدون سنسور هيچ فرآيند كنترل اتوماتيك صورت نخواهد گرفت . سنسورها جزء لاينفك سيستم هاي كنترل اتوماتيك هستند .

مونيتورينگ : (Monitoring)

مونيتورينگ به معناي جمع آوري اطلاعات از بخش هاي مختلف يك واحد صنعتي و نمايش آنها است . براي انجام عمل مونيتورينگ وجود سنسور ضروري است .

سنسورها وسايلي هستند كه انجام ايمن و صحيح فرآيند را فراهم مي سازند ، مشروط بر اينكه :

1- سنسور مناسب انتخاب شود
2- سنسور در مكان و موقعيت صحيح نصب شود

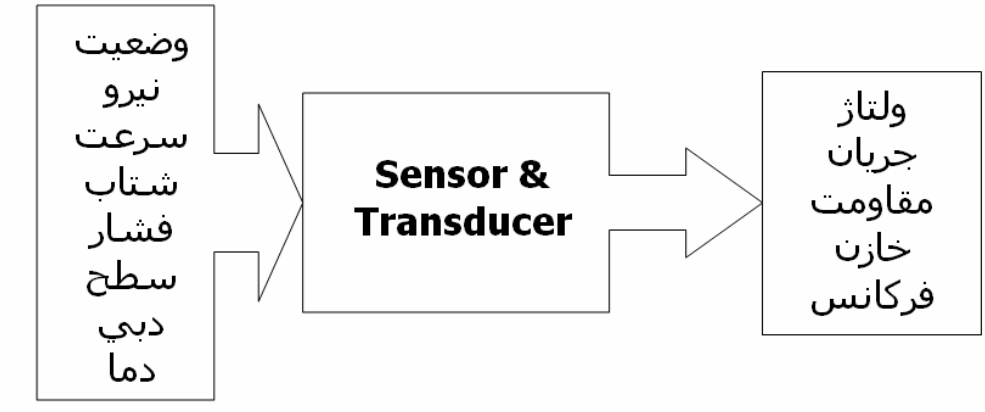
در حاليكه سنسورها بر اساس ساختمان فيزيكي و كميتي كه احساس مي كنند متفاوت هستند ، براي انتخاب سنسور مورد نياز در نظر گرفتن شرايط و ضوابط خاصي لازم است . براي تعيين اين شرايط و ضوابط سئولاتي مطرح مي شود كه عمده ترين انها عبارتند از :

1- چه كميت هايي بايد اندازه گيري و احساس شوند ؟
2- براي اندازه گيري و احساس هر كميت چه سنسوري نياز است ؟
3- شرايط فيزيكي و محيطي كه سنسور در آن نصب خواهد شد ، چيست و عملكرد سنسور مورد نظر در اين شرايط چگونه است ؟

در انتخاب سنسور بحث كيفيت اجرا و هزينه مطرح است و معمولا حدواسط اين دو فاكتور در نظر گرفته مي شوند .

دلايل تبديل كميت هاي فيزيكي به كميت هاي الكتريكي

1- امكان تقويت سيگنال
2- امكان انتقال سيگنال
3- امكان پردازش سيگنال
4- امكان ذخيره و نمايش سيگنال به روش هاي مختلف



كميت هاي فيزيكي به دو دسته كميت هاي نرده اي و كميت هاي برداري تقسيم مي شوند . كميت هاي نرده اي يا اسكالر فقط با مقدار مشخص مي شوند مثل حجم ، جرم ، زمان ، دما ، انرژي و ... اما كميت هاي برداري علاوه بر مقدار داراي جهت هم هستند مثل سرعت ، شتاب ، فشار ، نيرو و ... در آشكارسازي كميت بايد به نرده اي يا برداري بودن آن هم توجه شود .

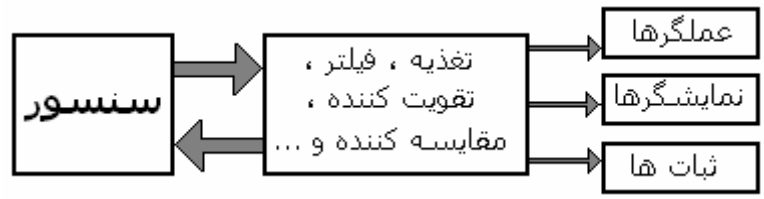
سنسور ها و نمايشگرها :

كميت هاي اندازه گيري شده توسط سنسور بر حسب نياز ، بصورت اعداد و ارقام بر روي نمايشگرها نشان داده مي شوند . نمايشگرها در چند نوع متفاوت مورد استفاده قرار مي گيرند :

1- نمايشگرهاي محلي (Local Display) ، اين نمايشگرها در محل نصب سنسور قرار مي گيرند و ارزان قيمت و ساده هستند.
2- پنل نمايشگرهاي محلي (Local Panel Display) ، نمايشگرهايي هستند كه در كنار واحد كنترل و جهت شروع ، خاتمه يا تغيير در فرآيند استفاده مي شوند .
3- اتاق كنترل مركزي (Centralized Control Room) نمايشگري كه در فاصله نسبتا دور از سنسور قرار مي گيرد به همين دليل انتقال سيگنال از اهميت زيادي در اين روش برخوردار است .
4- نمايشگر از راه دور (Remote Display) در مواقعي كه انجام فرآيند بدون اپراتور صورت مي گيرد يا امكان حضور اپراتور وجود ندارد ، از امواج راديويي براي انتقال اطلاعات از سنسور به اتاق كنترل استفاده مي شود .

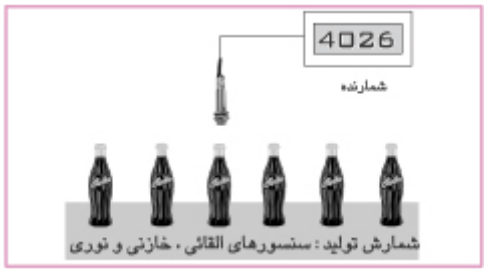
سنسورهاي هوشمند

اگر چه در سالهاي اخير ساختمان فيزيكي و شيميايي سنسورها تغييرات زيادي نكرده است ولي افزودن ميكروپروسسورها به سنسور ، كاربرد و ساختار آنها پيشرفت زيادي داشته است . تغيير در انتقال سيگنال ، نويزپذيري كم ، سرعت تجزيه و تحليل بيشتر ، نحوه نمايش و بسياري از تغييرات ناشي از افزودن ميكرو پروسسور و ميكروكنترلر به مدارات سنسور است . سنسورهاي هوشمند كميتهاي فيزيكي را احساس ، اندازه گيري و بر اساس آن خطاي خود را اصلاح مي كنند ولي سنسورهاي سنتي اين امكان را ندارند .



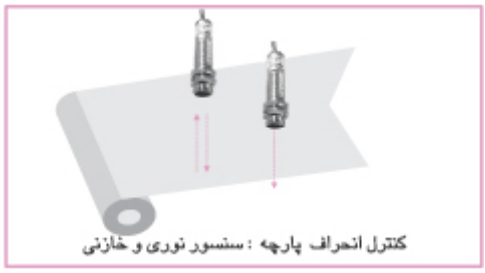
هر سيستم كنترل اتوماتيك داراي سه بخش ورودي ، خروجي و پردازش است . در ورودي سيستم كنترل ، مبدل ها و سنسورها كميت هاي فيزيكي را به سيگنالهاي الكتريكي تبديل مي كنند . در صنعت مبدل هاي زيادي نظير دما ، فشار ، مكان و جابجائي ، سرعت ، شتاب و.. وجود دارد . خروجي مبدل مي تواند گسسته يا پيوسته باشد .

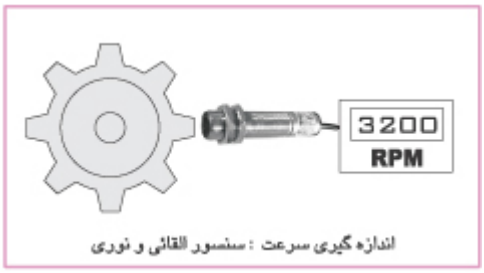
برخی ازکاربردسنسورها درشکلهای زیر نشان داده شده است



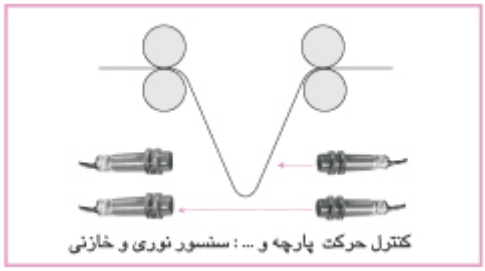
شمارش تولید : سنسورهای القائی ، خازنی و نوری

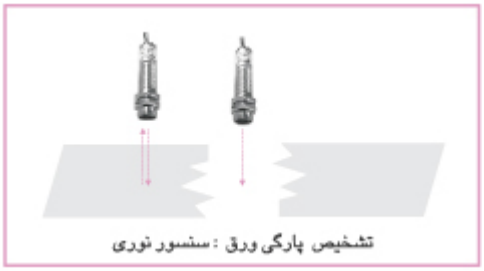
کنترل سطح مخازن : سنسور نوری وخازنی وخازنی کنترل سطح

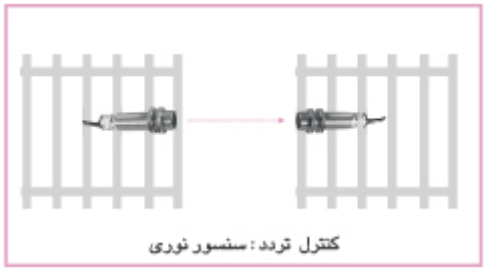

کنترل انحراف پارچه : سنسور نوری و خازنی



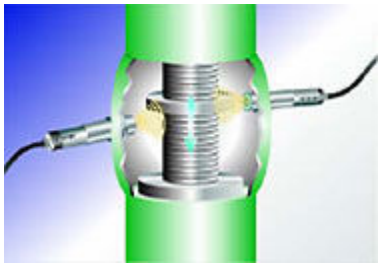
اندازه گیری سرعت : سنسور القائی و نوری

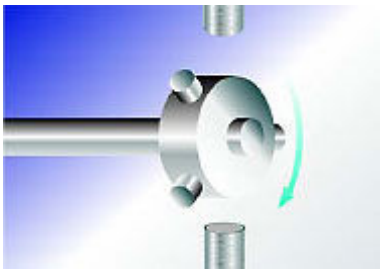

کنترل حرکت پارچه و ... : سنسور نوری و خازنی

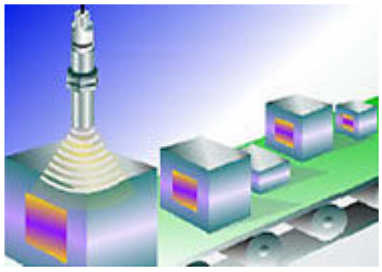

تشخیص پارگی ورق : سنسور نوری

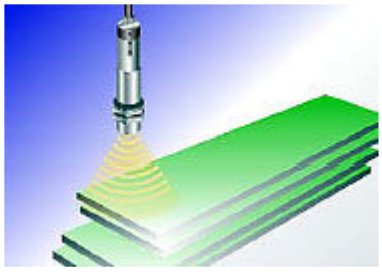

کنترل تردد : سنسور نوری

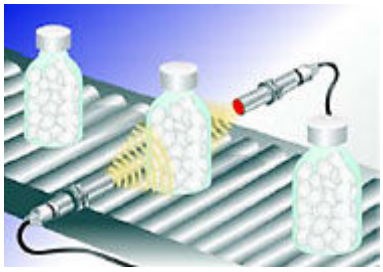
اندازه گیری فاصله قطعه : سنسور القائی آنالوگ

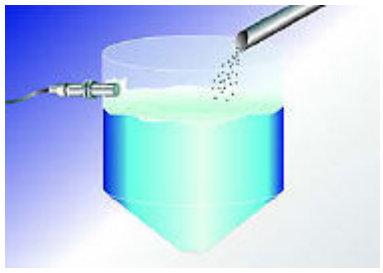


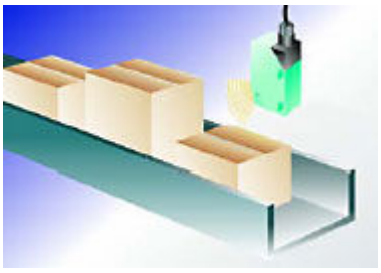












خواص و ويژگي هاي سنسور

1- حوزه اندازه گيري (Range) محدوده اي از دامنه تغييرات كميت مورد نظر كه سنسور قادر به اندازه گيري آن است .
2- صفر اندازه گيري (Zero) نقطه مشخصي كه در حوزه اندازه گيري بعنوان صفر در نظر گرفته مي شود . الزاما خروجي سنسور در نقطه صفر ، صفر نيست .
3- انحراف صفر ، معمولا خروجي سنسور را طوري تنظيم مي كننده كه خروجي آن در نقطه صفر مساوي مقدار مشخصي باشد ، اما خروجي ممكن است با گذشت زمان تغيير كند كه به مقدار اين تغيير انحراف صفر مي گويند .
4- حساسيت ، حساسيت سنسور عبارتست از نسبت تغييرات خروجي به واحد تغييرات در كميت مورد اندازه گيري
5- پاسخ دهي ، سرعت در اندازه گيري كميت مورد نظر را پاسخ دهي گويند .
6- خطي بودن ، خطي بودن به معناي ثابت بودن شيب ورودي – خروجي است ولي در عمل اكثر سنسورها مشخصه خطي ندارند .
7- هيسترزيس ، مشخص كننده رفتار غير خطي سنسورها است . اگر مشخصه ورودي – خروجي در هنگام افزايش ورودي يا كاهش ورودي بر هم منطبق نباشند ، سنسور داراي هيسترزيس خواهد بود .
8- دقت ، به معناي تطابق مقدار اندازه گيري شده با مقدار واقعي كميت مورد اندازه گيري است . دقت بر حسب درصد خطا مشخص مي شود .
9- تكرار پذيري ، تكرار پذيري در سنسورها به معني نتيجه يكسان دراندازه گيري يك كميت درشرايط ثابت مي باشد . (خطاي اندازه گيري ثابت مي باشد .)

خروجي سنسورها معمولا سيگنال جرياني 4 تا 20 ميلي آمپر است .

كاليبراسيون (Calibration)

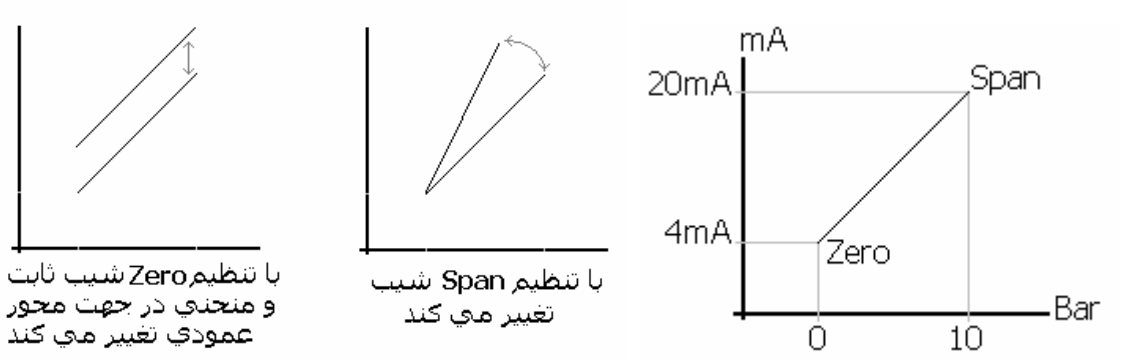
مقايسه مقدار خروجي سنسور با خروجي كه خطاي كمتري دارد و به حداقل رساندن خطا كاليبراسيون گفته مي شود .

كاليبراسيون دو نقطه اي براي سنسورهايي كه خروجي خطي دارند :

1- تنظيم Zero : تنظيم نقطه حداقل
2- تنظيم Span : تنظيم نقطه حداكثر

ابتدا Zero و سپس Span تنظيم مي شود .

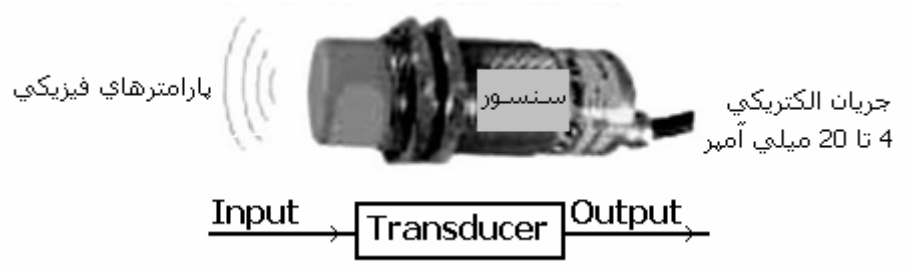
مثال – اگر يك سنسور فشار با رنج اندازه گيري 0 تا 10 بار داشته باشيم و خروجي سنسور 4 تا 20 ميلي آمپر باشد براي تنظيم Zero حداقل فشار 0 را به سنسور وارد و به كمك تنظيم Zero خروجي را روي 4 ميلي آمپر تنظيم مي كنيم .
براي تنظيم Span حداكثر فشار 10 بار را به سنسور وارد و به كمك تنظيم Span خروجي را روي 4 ميلي آمپر تنظيم مي كنيم .



در سيستم هاي كنترل ، توسط سنسور خروجي سيستم اندازه گيري و سپس به كنترلر داده مي شود ، كنترل كننده مقدار اندازه گيري شده را با مقدار مطلوب مقايسه و خروجي را به مقدار مورد نظر باز مي گرداند .
مقدار مطلوب SP يا SV (Set Point يا Set Value) گفته مي شود . مقدار پروسه PV(Process Value) ، مقداري است كه سنسور اندازه گيري ميكند .
سيگنال خطا يا e برابرباتفاوت دومقدارSP و PV است : e= SP- PV

سنسور

سنسور (Sensor) المان حس كننده اي است كه كميت هاي فيزيكي مانند فشار،حرارت،رطوبت ودمارابه كميت هاي الكتريكي پيوسته (آنالوگ) يا غير پيوسته (ديجيتال) تبديل مي كند .



مقايسه سنسور و حواس انساني

قابليت اعتماد , طول عمر , قيمت , دقت و زمان آشكار سازي از مهمترين پارامترهاي تعيين كننده يک سنسور هستند. امروزه سنسورهاي كوچک و مستقل در دستگاههايي نظير PLC و كامپيوترها و ... مورد استفاده قرار گرفته است .

براي مثال حس بينايي را در نظر بگيريد , در اينجا ما بايد به سوالات خاصي پاسخ دهيم . واقعا" انسانها چگونه عمل بينايي را انجام ميدهند؟ چه روش قضاوتي بكار ميرود؟ چه زماني براي بازيابي خطاهاي احتمالي مورد نياز است؟ قضاوت انساني بر پايه سيستم آنالوگ استوار است . در حاليكه در سيستم هاي ماهر و هوشمند قضاوت ماشين بر پايه سيستم ديجيتال 0 و 1 استوار است. يک انسان براي مدت طولاني و بصورت ممتد نمي تواند حواس خود را بكار گيرد, در حاليكه يک سنسور ماشين اين محدوديت را ندارد.
اگرچه حواس انسان در برخي از حالات بهتر از سنسور هاي فيزيكي است ولي در حالت كلي سنسور بر حواس انسان مي تواند ارجحيت داشته باشد.

سنسورها و امواج الكترومغناطيسي

امواج الكترومغناطيسي بعنوان حامل در سنسورها استفاده مي شود.نور عنصري از امواج الكترومغناطيسي است و چشم انسان فقط نور قابل رويت را كه در محدوده كوچكي از پهناي امواج الكترومغناطيسي است را تشخيص ميدهد. سنسورهاي صنعتي با امواج الكترومغناطيسي متفاوت با فركانس نور مرئي تحريک مي شوند. حامل هاي مورد استفاده در سنسورها غير قابل درک با حواس انسان هستند.اشعه مادون قرمز, اولتراسونيک و ليزر نمونه هايي از حامل هاي مورد استفاده در سنسورهاي صنعتي مي باشند.

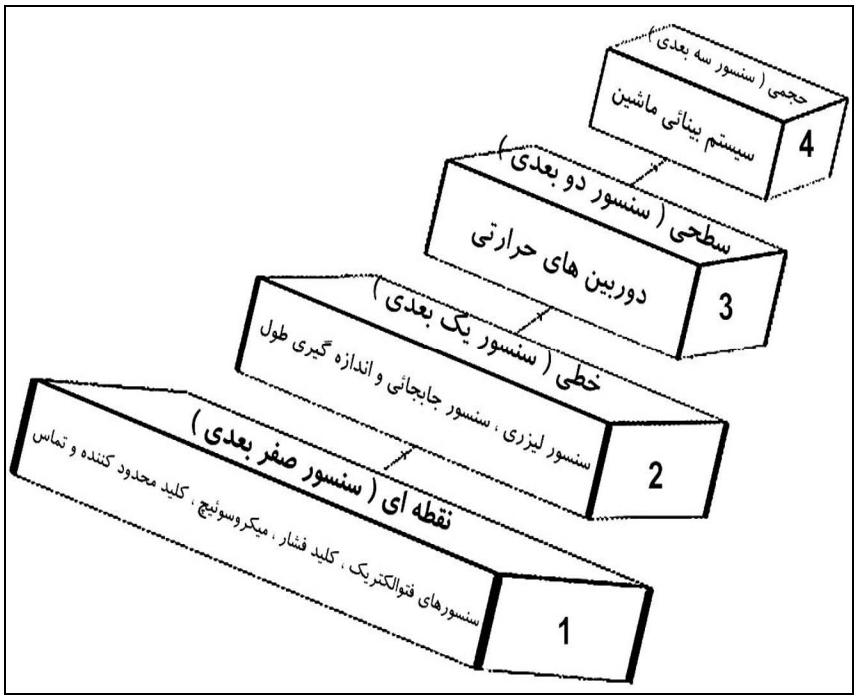
طبقه بندي سنسورها

سنسورها را بصورت هاي مختلفي طبقه بندي مي كنند . رايج ترين طبقه بندي ، طبقه بندي بر حسب پارامتري است كه احساس مي كنند ، مثل سنسور دما ، سنسور فشار ، سنسور جابجائي ، سنسور فلو ، سنسور سرعت و ....
گاهي اوقات سنسورها را بر حسب امواج دريافتي طبقه بندي مي كنند مثل سنسورهاي نوري ، سنسورهاي اولتراسونيك ، سنسورهاي ليزري و ....
همچنين سنسورها را مي توان بر اساس نوع سيگنال خروجي به سنسورهاي آنالوگ يا ديجيتال طبقه بندي كرد .
سنسورها براساس كاربرد و بصورت هاي مختلف تقسيم بندي مي شوند:

1- سنسورهاي ماشين : سنسورهاي ماشين در تعداد زياد و كاربردهاي متنوع مانند كليد محدود كننده , انكدرهاي خطي و دوراني وجود دارد.
2- سنسور اندازه گيري : سنسورهاي آنالوگي كه براي اندازه گيري فشار, جريان , حرارت و نظاير آن بكار مي رود. اين سنسورها بر اساس موضوعي كه آن را احساس مي كنند طبقه بندي مي كنند.

3- سنسورهاي جايگزين حواس پنجگانه انسان : اين سنسورها با هوش بوده و اعمال مشابه بينايي , چشايي و لامسه و .... را انجام ميدهند.
4- تجزيه و تحليل كننده ها : سنسورهاي گران قيمت و پيچيده اي كه در تجزيه و تحليل گازها و مايعات كاربرد دارند.

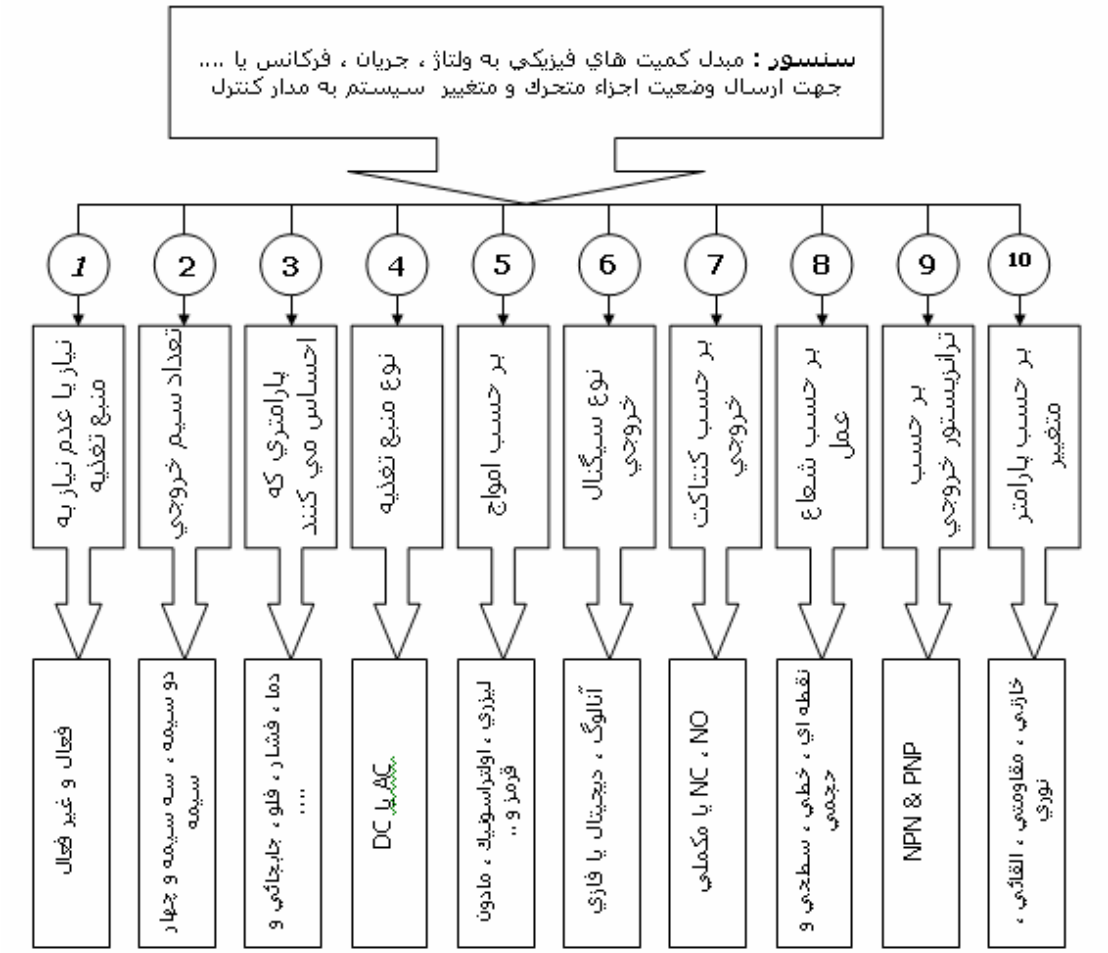
سنسورها از نظر شعاع عمل از صفر تا سه بعد مي توانند داشته باشند. سنسورهاي پيچيده و گران قيمت سنسورهاي سه بعدي هستند. در شكل زير هرم ابعاد سنسورها را مشاهده مي كنيد.



طبقه سنسورها بر اساس ابعاد احساس

از نظر محدوده احساس , سنسورهاي حرارت و جريان سنسورهاي نقطه اي هستندو سنسورهاي احساس كننده ضخامت و سطح سنسورهاي يک بعدي هستند. سنسور هاي زاويه سنسورهاي دو بعدي هستند., اما آنهارا مي توانيم جزء سنسورهاي صفر بعدي هم محسوب كنيم, چرا كه آنها از قرار گرفتن سه نقطه در زواياي مختلف بوجود مي آيند. اگر محور يک زاويه را ثابت فرض كنيم , سنسور صفر بعدي يا يک بعدي خواهد بود. اگر محور نامشخص باشد نمي توانيم آن را با يک سنسور دو يا سه بعدي اندازه گيري كنيم. سنسورهاي مافوق صوت و ميكروفن بعنوان سنسورهاي نقطه اي شناخته مي شوند ولي نمي توان آنها را جزء سنسورهاي سه بعدي محسوب كرد ولي درجه تفكيک آن را براي دويا سه بعد كم است.

سنسورهاي سرعت , چرخش , ارتعاش و شتاب اگرچه تابع زمان هستندولي بعنوان سنسورهاي يک بعدي محسوب مي شوند. سنسورهاي گشتاور , رنگ و صدا سنسورهاي با پارامتر مركب هستند. روش هاي مختلف و متفاوتي براي طبقه بندي سنسورها استفاده مي شود .

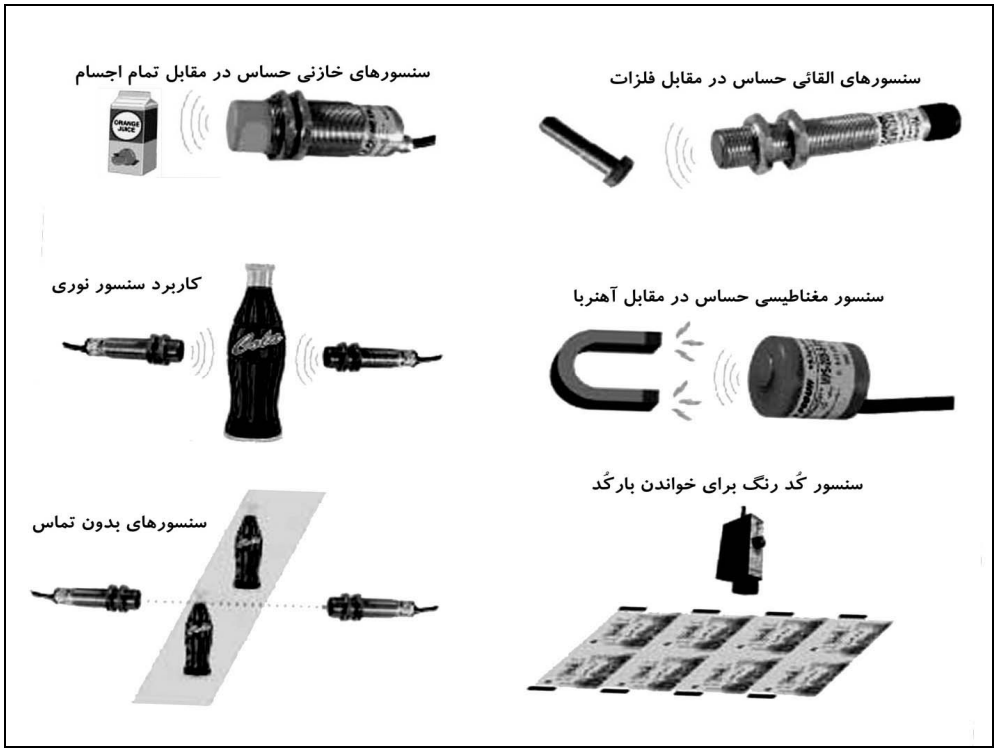


در استفاده و بكارگيري يك سنسور خاص بايد شرايط فيزيكي و محيط نصب سنسور هم در نظر گرفته شود . بعنوان مثال اثرات دما و لرزش بر كاركرد يك سنسور فشار مي تواند تاثير زيادي داشته باشد .

سنسورهاي بدون تماس

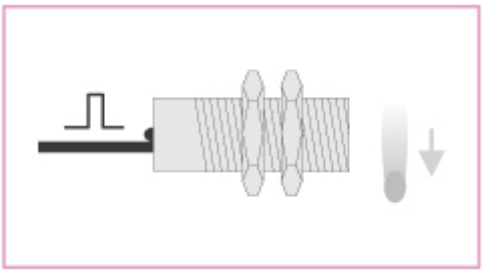
سنسورهاي بدون تماس سنسورهايي هستند كه با نزديك شدن يك قطعه وجود آن را حس كرده و فعال مي شوند . با نزديك شدن شي سنسور باعث تحريك يك محرك (Actuator) ميشود. Actuator وسيله اي كه از كنترلر فرمان ميگيرد و متناسب با فرمان دريافت شده عملي در جهت تغيير مقدار خروجي انجام ميدهد. موتور ، رله ،سلنوئيد ، كنتاكتور و .. نمونه هاي از محركها هستند . سنسورهاي القائي ، خازني ، نوري ، مغناطيسي،كد رنگ و .. نمونه هايي از سنسورهاي بدون تماس هستند.

سنسورهاي بدون تماس داراي طول عمر زيادي هستندو نياز به نيرو و فشار نداشته و در شرايط سخت قابل استفاده هستند.نويز پذيري اين سنسورها كم بوده وخودشان ايجاد نويز نمي كنند.نمونه اي از سنسورهاي بدون تماس, سنسورهاي اثرهال هستند.اين سنسور از يک لايه نازک هادي طوري ساخته شده که تحت تاثير ميدان مغناطيسي قرار گرفته و ايجاد ولتاژ مي کند.بنابراين بعنوان يک سنسور مغناطيسي شناخته مي شود ولي قادر به اندازه گيري کميت هايي مانند جريان, دما, فشار و موقعيت نيز هست. اين سنسور بعلت عدم نياز به قسمت هاي متحرک از عمر طولاني برخوردار است.معمولا در خروجي اين سنسور يک تقويت کننده عملياتي قرار داده مي شود.اين سنسورها مي توانند بصورت آنالوگ يا ديجيتال عمل کنند.



مزاياي سنسورهاي بدون تماس

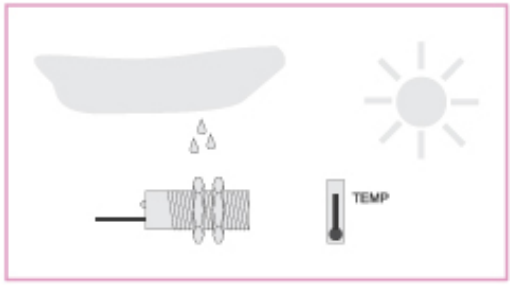
1- سرعت سوئيچينگ زياد – اين سنسورها در مقايسه با کليدهاي مکانيکي از سرعت بسيار بالاتري برخوردار هستند



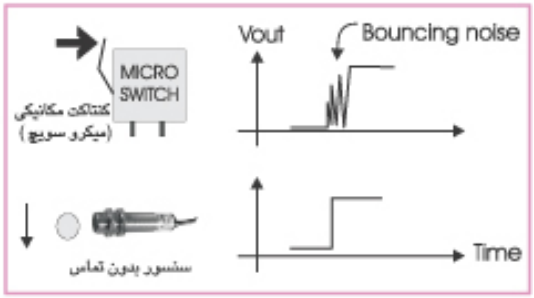
2- طول عمر زياد – به دليل عدم وجـود قـسمت هـاي متحـرك و كنتاكـت مكانيكي از طول عمر بيشتري برخوردار هستند

3- عدم نياز به نيرو و فشار – طرز عمل سنـسور بـه گونـه اي اسـت كـه براي تغيير وضعيت نياز به فشار و نيرو نيست

4- قابليت استفاده در محيط ها با شرايط كاري سخت _ اين سنـسورها قابليت عمل در محيط هاي صنعتي را دارا هستند



5- عدم ايجاد نويز – به دليل ساختمان خاص اين سنـسورها و اسـتفاده از نيمه هادي ، هنگام تغيير وضعيت هيچ نوع نويزي توليد نمي كنند



مثال هایی از کاربرد انواع سنسورها

1-شمارش تولید: سنسورهای القائی، خازنی و نوری

2-کنترل حرکت پارچه و ...: سنسور نوری و خازنی

3-کنترل سطح مخازن: سنسور نوری و خازنی و خازنی کنترل سطح

4-تشخیص پارگی ورق: سنسور نوری

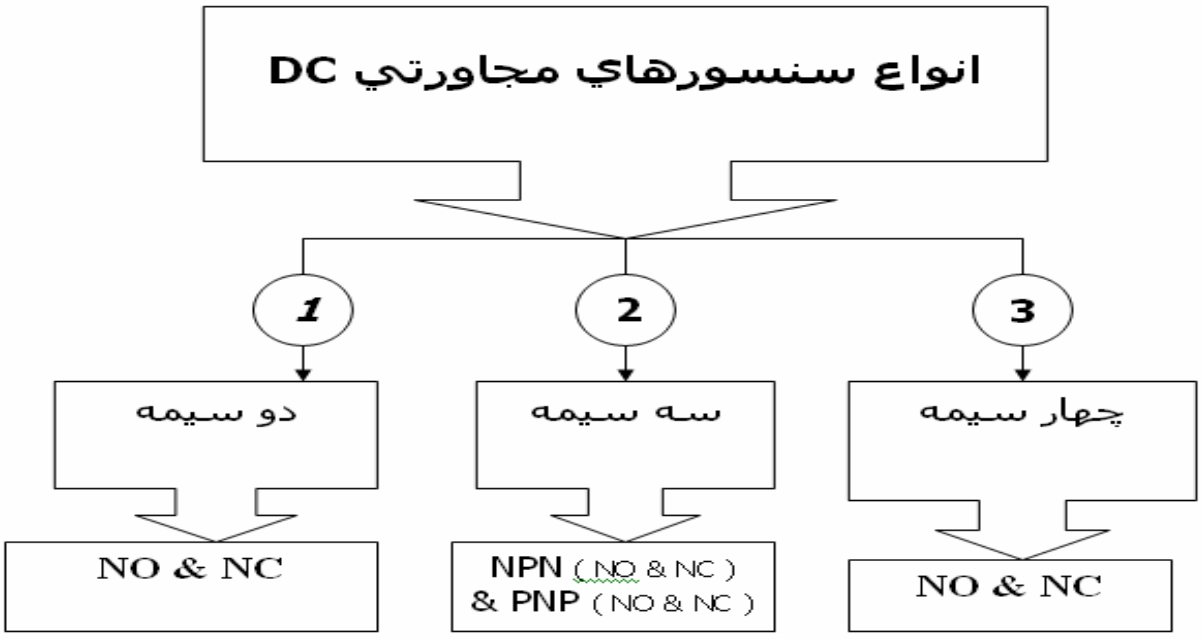
5-کنترل انحراف پارچه: سنسور نوری و خازنی

6-کنترل تردد: سنسور نوری

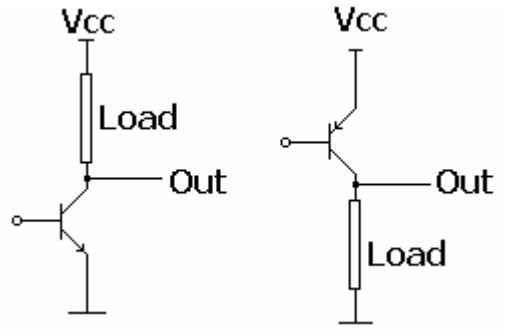
7-اندازه گیری سرعت: سنسور القائی و خازنی

8-اندازه گیری فاصله قطعه: سنسور القائی آنالوگ

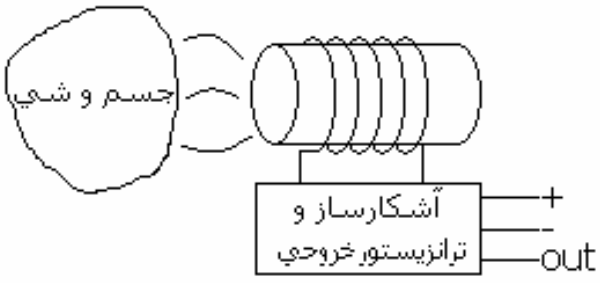
انواع سنسورهاي مجاورتي DC



سنسورهاي سه سيمه معمولا در خروجي داراي ترانزيستور هستند . يعني در خروجي اين سنسورها يك ترانزيستور وجود دارد كه حالت قطع يا اشباع اين ترانزيستور حالت 0 و 1 را در خروجي ايجاد مي كند . اگر ترانزيستور استفاده شده در سنسور از نوع NPN يا PNP باشد ، خروجي بصورت NO يا NC خواهد بود .

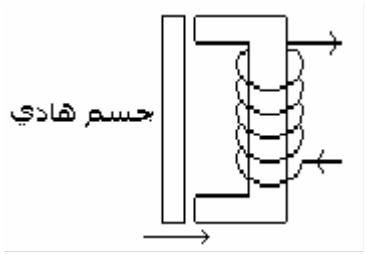


در سنسور NPN سه سيمه ، دو سيم تغذيه + و – و يك سيم خروجي داريم . در واقع خروجي سنسور در حالتيكه سنسور فعال است ، زمين شده و ولتاژ صفر مي دهد به همين دليل در اين نوع سنسور بايستي خروجي بين تغذيه + و Out قرار گيرد . جرياني كه ترانزيستور مي تواند داشته باشد روي خود سنسور يا روي برگه مشخصات سنسور توضيح داده مي شود . حداقل و حداكثر ولتاژ تغذيه هم روي سنسور درج مي شود . در سنسور PNP از نظر مشخصات ولتاژي مشابه نوع NPN است يعني معمولا روي خود سنسور يا روي برگه مشخصات سنسور بايستي مشخص شده باشد . در اين نوع سنسور زماني كه ترانزيستور به حالت اشباع مي رود در واقع سيم Out سنسور به تغذيه مثبت وصل مي شود . پس در اين سنسور بايستي بار بين سيم Out و تغذيه – قرار گيرد و بسته به اينكه سنسور از نوع NO يا NC باشد مي توانيم از كنتاكتها و رله ها در خروجي استفاده كنيم . اگر خروجي به PLC وصل شود نيازي به رله خروجي نداريم . از مزاياي سنسور هاي تقريب (مجاورتي) سرعت قطع و وصل بالاي آنهاست و استهلاك مكانيكي نداشته و طول عمر براي آن تعريف نمي شود . در هر يك از سنسورها خروجي مي تواند بصورت NO يا NC باشد . در نوع NO هنگاميكه سنسور جسم را احساس نمي كند ترانزيستور در حالت قطع بوده و با احساس شي در حالت اشباع قرار گرفته و وصل مي شود . ولي در نوع NO در حالت عادي ترانزيستور اشباع و پس از احساس جسم ترانزيستور در حالت قطع قرار مي گيرد .

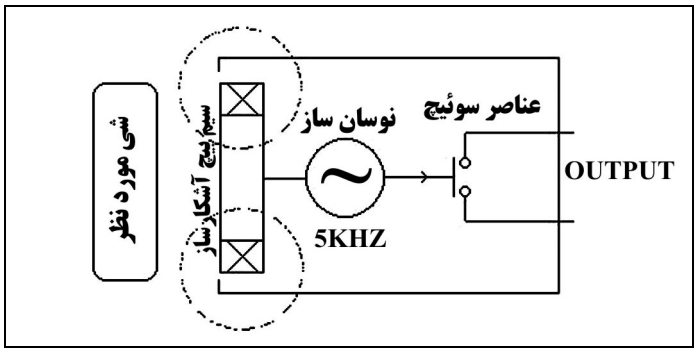


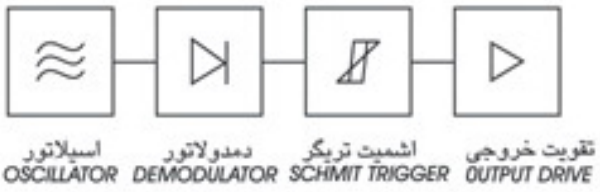
سنسورهاي القائي (Inductive Sensor)

سنسورهاي القائي ، سنسورهاي بدون تماس هستند كه فقط در مقابل فلزات عكس العمل نشان مي دهند و خروجي آنها باعث تحريك رله يا سيستم هاي اندازه گيري مي شوند . مبناي كار سنسورهاي القائي بر مدارهاي مغناطيسي استوار است و به آنها سنسورهاي الكترومغناطيسي نيز مي گيوند . اين سنسورها به دو دسته تقسيم مي شوند ، گروه اول سنسورهايي كه مانند ژنراتور عمل مي كنند يعني حركت نسبي جسم رسانا در ميدان مغناطيسي باعث ايجاد جريان الكتريكي مي شود .



در گروه دوم از اين سنسورها ، نياز به منبع تغذيه خارجي داريم . ساختمان اين سنسورها از چهار قسمت تشكيل شده است .





قسمت اصلي اين سنسور يك نوسان ساز فركانس بالا است . اين نوسان ساز يك ميدان الكترومغناطيسي در قسمت حساس سنسور ايجاد مي كند . با نزديك كردن فلز ، در فلز جريان گردابي ايجاد شده و باعث جذب انرژي و كاهش دامنه اسيلاتور مي شود . دمدولاتور تغييرات دامنه

اسيلاتور را احساس مي كند . كاهش دامنه اسيلاتور باعث فعال شدن خروجي اشميت تريگر و در نتيجه تحريك خروجي مي شود .

براي تست و بررسي سنسورهاي القائي از يك قطعه مكعب فولادي ST37 استفاده ميشود . (قطعه اي به ضخامت 1 mm و به ابعاد قطر سنسور)

فركانس سوئيچينگ سنسور

تعداد قطع و وصل شدن سنسور در مدت زمان يك ثانيه فركانس سوئيچ ناميده شده و بر حسب هرتز بيان مي شود .

فاصله سوئيچينگ

فاصله بين قطعه استاندارد (قطعه مكعب فولادي ST37) و سطح حساس سنسور در زمان سوئيچ سنسور را فاصله سوئيچينگ مي نامند .

فاصله سوئيچينگ نامي Sn

فاصله اي كه بدون در نظر گرفتن ساير پارامترهاي فيزيكي مثل حرارت ، ولتاژ تغذيه و غيره تعريف مي شود .

هيسترزيس

فاصله بين نقطه وصل شدن سنسور هنگام نزديك كردن سنسور و نقطعه قطع شدن سنسور هنگام دور شدن قطعه از سنسور را هيسترزيس سنسور مي گويند .

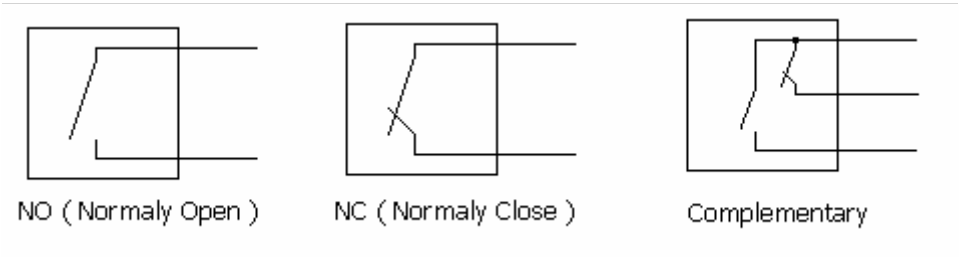
نحوه نصب سنسورهاي القائي

براي قرار دادن دو سنسور القائي در كنار يا روبروي هم بايد شرايط خاصي لحاظ شود تا بر روي يكديگر اثر نگذارند . در مورد سنسورهاي با غلاف فلزي حداقل فاصله دو سنسور بيشتر از قطر سطح احساس سنسور در نظر گرفته مي شود . اما در مورد سنسورهايي كه سطح تماس آنها خارج از غلاف فلزي است حداقل فاصله دو سنسور بايد بيشتر از دو برابر سطح حساس سنسور در نظر گرفته شود .

براي نصب دو سنسور روبروي هم بايد فاصله دو سنسور بيشتر از شش برابر فاصله سوئيچينگ نامي در نظر گرفته شود .

خروجي سنسورها

خروجي سنسور ها معمولا بصورت يك كليد است . (سنسور مانند يك كليد عمل ميكند) عملكرد سنسور بصورت NO (نرمالي باز) ، NC (نرمال بسته) يا مكمل (هر دو مي باشد . هنگام استفاده از سنسور در مدار بايد به اين نكته توجه شود .



سنسور آنالوگ (Analogue Sensor)

خروجي اين سنسور ها بصورت ولتاژ يا جريان پيوسته است و با تغيير فاصله سنسور از شي ، ولتاژ يا جريان خروجي تغيير پيدا مي كند .

سنسور نامور (Namur Sensor)

اين سنسورها ، سنسورهاي دو سيمه و همانند يك مقاومت متغيير هستند . يعني با تغيير فاصله شي از سنسور ، مقاومت داخلي سنسور تغيير پيدا مي كند .

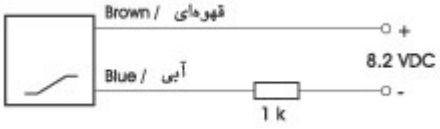
حفاظت سنسور

خروجي سنسورهاي صنعتي در مقابل ولتاژ معكوس حفاظت شده هستند ولي اگر سيم خروجي و تغذيه اشتباه وصل شوند امكان آسيب ديدن سنسور وجود دارد . در روي برخي از سنسورها دو LED قرار داده مي شود كه يكي از آنها براي مشخص كردن اتصال كوتاه خروجي است و گاهي اوقات چشمك زن شدن LED مي تواند به منزله اخطار و اشكال باشد .

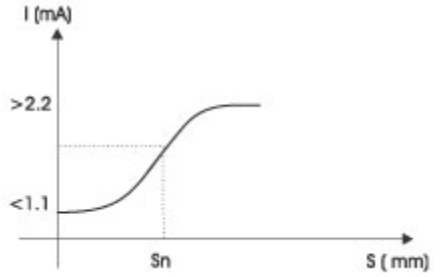
سنسورهاي القائي در انواع AC و DC ارائه مي شوند . از نظر اتصال سيم هاي خروجي نيز بصورت دو سيمه ، سه سيمه و چهار سيمه در دسترس هستند كه در نوع چهار سيمه معمولا خروجي ها بصورت مكملي قابل استفاده هستند .
سنسورهاي دو سيمه AC و DC را بدون بار به منبع تغذيه وصل نكنيد . اگر مجبور به استفاده از لامپ بعنوان بار هستيد حتما يك مقاومت الكتريكي بطور موازي با دو سيم سنسور قرار دهيد . هنگام استفاده از سنسورها به محدوده ولتاژ و جريان كاري آنها توجه داشته باشيد .

سنسور القائي نامور

سنسورهاي دو سيمه اي كه همانند مقاومت متغيير عمل مي كنند يعني مقاومت داخلي آنها متناسب با فاصله جسم از سنسور تغيير پيدا ميكند . اين سنسورها توسط يك مقاومت 1 K به منبع تغذيه DC وصل مي شوند. جريان اتصال كوتاه اين سنسور ها كم بوده و قابل استفاده در محيط هاي قابل انفجار هستند .

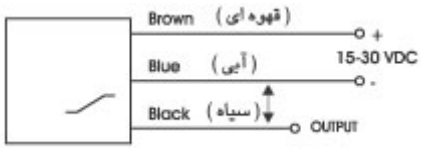


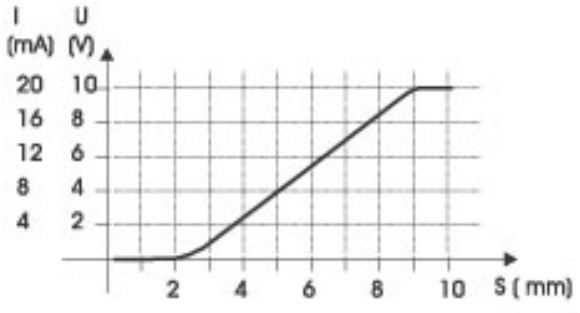
با بكارگيري تقويت كننده در خروجي سنسور مي توان از آن بعنوان سوئيچ القائي استفاده كرد .



سنسورهاي القائي آنالوگ

اين سنسورها در مقابل فلزات حساس بوده و خروجي آنها ولتاژ است . از اين سنسورها براي اندازه گيري فاصله قطعه از سنسور ، جداسازي قطعات و اندازه گيري ضخامت استفاده مي شود .





سنسورهاي القائي سرعت

اين سنسورها براي اندازه گيري سرعت استفاده مي شوند ع در قسمت حسگر اين سنسورها ، ميدان مغناطيسي وجود دارد با عبور چرخ دنده از جلوي قسمت حساس سنسور ، شدت ميدان مغناطيسي تغيير مي يابد. از اين سنسورها بعنوان سرعت سنج استفاده مي شود .

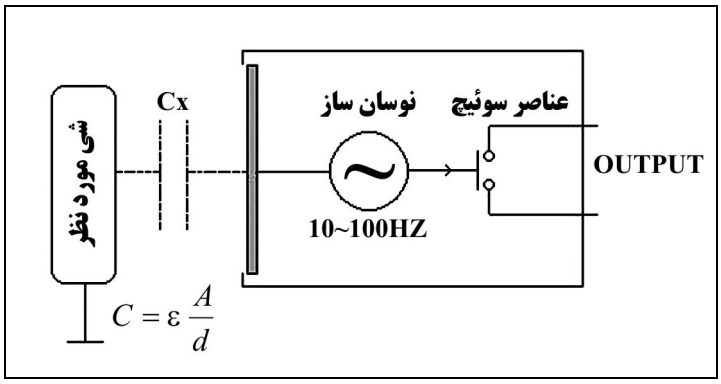
سنسورهاي مجاورتي خازني

اين سنسورها قابليت احساس تمام اجسام اعم از فلزات و غير فلزات وجود دارد . ولي اين سنسور بيشتر براي احساس مواد غيرفلزي مثل شيشه ، چوب ، پلاستيك و امثال آن بكار مي رود و براي احساس فلزات بيشتر از سنسورهاي القائي استفاده مي كنند .براي اين سنسور نيز حساسيت تعريف مي شود و براي مواد مختلف ضرايب متفاوتي براي SN در نظر گرفته مي شود .

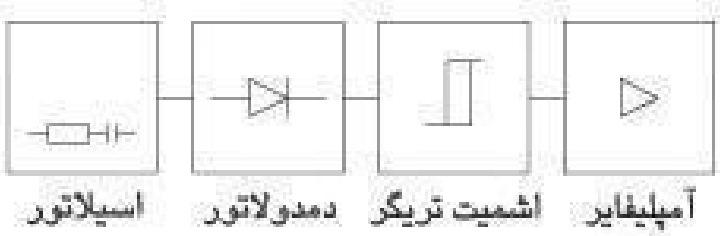
اين سنسورها در انواع دو سيمه AC ، سه سيمه NPN و PNP و چهار سيمه NPN و PNP ساخته مي شوند .

در سنسورهاي مجاورتي 2 سيمه معمولا از ترياك در خروجي استفاده مي شود كه اين ترياك معمولا با بار سري قرار مي گيرد . به اين نوع سنسورها معمولا سنسورهاي AC نيز مي گويند چون بار از نوع AC است و با بار بصورت سري قرار گرفته و ممكن است بصورت NO يا NC مورد استفاده قرار گيرد .

در سنسورهاي چهار سيمه دو سيم جهت تغذيه و دو سيم ديگر يك كنتاكت رله است كه از نظر تغذيه سنسور ايزوله مي باشد و مي تواند از نوع NO يا NC باشد .



ساختمان اساسي اين سنسورها از چهار قسمت تشكيل شده است :

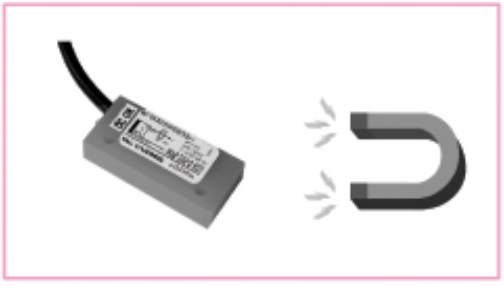


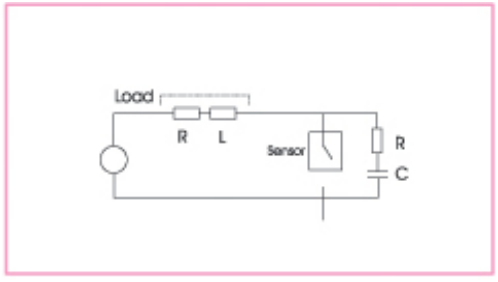
قسمت اساسي اسيلاتور از دو قطعه فلزي تشكيل شده،وضعيت قرارگيري اين قطعات فلزي نسبت به هم طوري است كه باعث ايجاد يک ظرفيت خازني مي شود.هر گاه قطعه اي با ضريب الكتريكي E به صفحه حساس نزديک گردد باعث تغيير ظرفيت خازني بين صفحات مي شود.اين تغيير ظرفيت خازني باعث تغيير دامنه خروجي اسيلاتور مي شود.

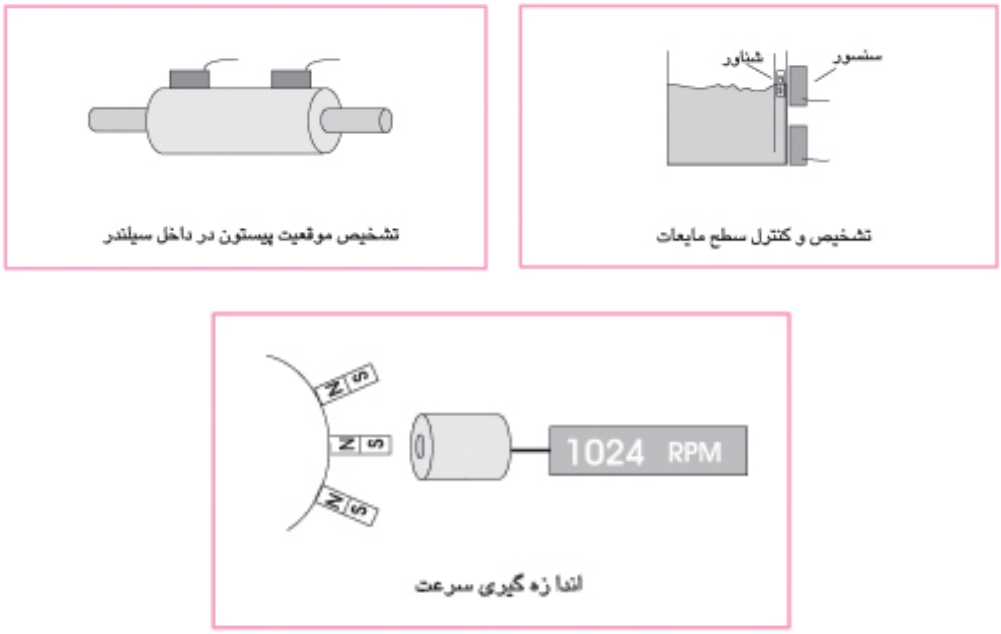
دمدولاتور دامنه اسيلاتور را آشكار مي كند و اين مقدار را با سطح مرجع مقايسه مي نمايد.هر گاه دامنه اين مقدار از دامنه مرجع بيشتر باشد،خروجي سنسور تحريک مي شود.آمپليفاير خروجي وظيفه تآمين جريان را بر عهده دارد.

سنسورهاي مغناطيسي

اين سنسورها در مجاورت ميدان مغناطيسي عمل مي نمايند.هر گاه يک قطعه آهنربا در مقابل اين سنسور قرار گيرد كنتاكت آن عمل خواهد كرد. هرگاه بار سلفي به اين نوع سنسورها وصل گردد،بمنظور حفاظت و عمر طولاني بهتر است از تركيب C وR طبق شكل زير استفاده كرد.



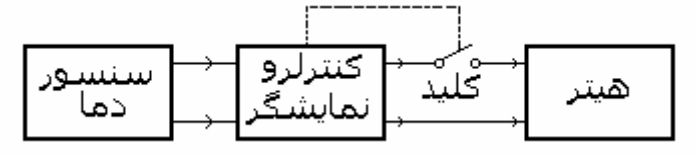




سنسورهای دما ***Temperature Transducers***

دما معياري است كه ميزان سردي و گرمي اجسام را مشخص مي كند . دما كميتي نسبي است . دماسنج يا ترمو متر وسيله اي براي اندازه گيري دما است . تقريبا تمام مواد در اثر گرما منبسط مي شوند و اين اصل اوليه تمام دماسنج ها است . دماسنج نياز به كاليبراسيون دارند . (مثل دما سنج جيوه اي) . گرما (دما) و فشار كميت هاي وابسته به يكديگر هستند و بايد در اندازه گيري به آن توجه شود . (گرما مقداري است كه به دليل اختلاف دما بين دو جسم مبادله مي شود . ($Q = MC\Delta\theta$)

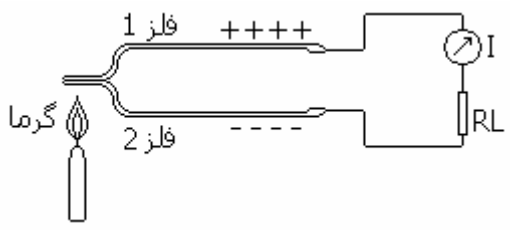
در بخش های صنعتی , نیروگاهها و بسیاری از بخش های تولیدی اندازه گیری و کنترل دما از اهمیت زیادی برخوردار است . این مسئله ضرورت استفاده و بکارگیری از سنسورها دما را اجتناب ناپذیر میسازد . چهار نوع مبدل دما رایج و کاربردی ترهستند که عبارتند از: 1- ترموکوپل 2- RTD 3- ترمیستور 4- سنسورهای مدار مجتمع



نمونه ای از یک سیستم کنترل دما

سنسور ترموکوپل

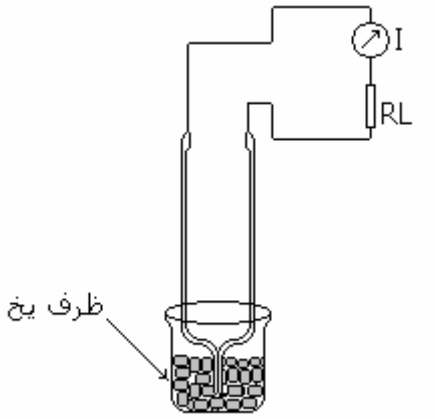
این سنسور بر اساس پدیده ترموالکتریک کار می کند . هرگاه دو فلز غیر همجنس تشکیل یک مدار بسته دهند با گرم شدن محل اتصال جریان در مدار برقرار می شود . این اثر را اثر سیبک یا ترموالکتریک می نامند .



پدیده ترمو الکتریک یا اثر سیبک

ترموکوپل ها دما را بطور نسبی (نسبت به نقطه مرجع) اندازه گیری می کنند . به همین دلیل با تعیین نقطه مرجع (رفرنس) در صفر درجه تعریف می شود . در دمای معمولی (محیط) ترموکوپل ولتاژی تولید نمی کند . (چون بر خلاف اصل بقای انرژی است .)

اگر یک طرف ترموکوپل را داخل یخ قرار دهیم می توان دمای صفر درجه را بعنوان نقطعه مرجع تعریف کرد و در اینصورت ترموکوپل قادر به اندازه گیری دمای محیط خواهد بود . نکته مهم در بحث ترموکوپل تعریف نقطه صفر است .



روش آزمایشگاهی در تعیین نقطه مرجع

در عمل استفاده از روش آزمایشگاهی و بکارگیری ظرف یخ امکان پذیر و دقیق نیست و از روش های دیگری باید استفاده کرد .

- یک روش ساده برای ایجاد نقطه مرجع , فرض کردن دمای خاصی برای محیط , مثلا 25 درجه سانتیگراد و جمع کردن خروجی ترموکوپل با دمای فرض شده است . ($10^{oc} \Rightarrow 1mw$) این روش , روشی ساده ولی غیر دقیق است .
- در روش دقیقتر میتوان با استفاده از یک سنسور دمای دیگر (کالیبراتور) دمای محیط را اندازه گیری کرد و آن را با خروجی ترموکوپل جمع کرد .

تذکر : خروجی سنسور LM35 به ازای 1^{oc} , $10\frac{mw}{oc}$ است . خروجی ترموکوپل به ازای 1^{oc} , $0.1\frac{mw}{oc}$ است .

جبران سازی حرارتی

یک سنسور , دمای محیط را اندازه گیری می کند و ترموکوپل دمای محل اتصال دو فلز را , به این ترتیب با جمع کردن خروجی ترموکوپل و سنسور می توان دما را اندازه گیری کرد .

جدول ترموکوپل ها

بر اساس جنس فلزات بکار رفته در ساخت ترموکوپل , فلزات را طبقه بندی و با علائم خاصی نشان می دهند .هر دو فلز غیر همجنس این خاصیت را دارند ولی بطور استاندارد و بر اساس ویژگی های فلزات , فلزات خاصی را بکار می برند . در جدول ذیل این ترکیب را مشاهده می کنید .

ترموکوپل	نوع فلزات	فرمول شیمیایی	توضیحات
J	آهن - کنستانتان	Fe - Con	دو نوع J و K معروف و کاربردی تر هستند
T	مس – کنستانتان	Cu - Con	
K	نیکل کروم - نیکل	Ni Cr - Ni	
E	نیکل کروم – کنستانتان	Ni Cr – Con	
N	نیکل سیلیکون – نیکل کروم سیلیکون	Ni Cr Si – Ni Si	

مزایای ترموکوپل

1- ارزان و اقتصادی هستند
2- نیازی به منبع تغذیه ندارند
3- ساده بوده و خرابی کمتری دارند
4- رنج اندازه گیری وسیع دارند

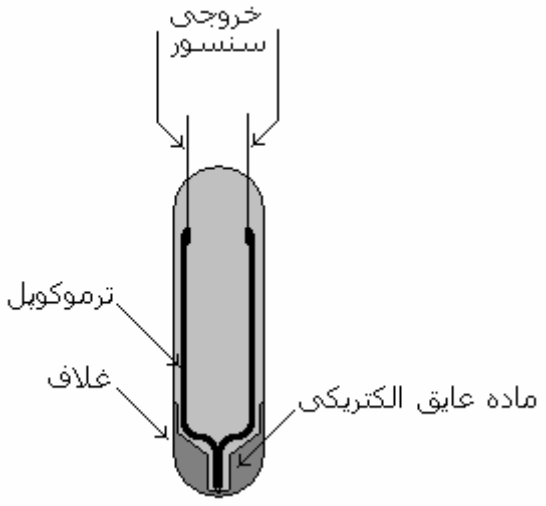
معایب ترموکوپل

1- کم بودن ولتاژ خروجی
2- نویز پذیر
3- حساسیت کم
4- دقت کم

یکی از مشکلات عمده ترموکوپل ها , امکان اکسید و خوردگی محل تماس فلز با مواد شیمیائی است . به همین دلیل ترموکوپل ها را بطور مستقیم در پروسه های صنعتی بکار نبرده و آنها را در داخل غلاف محافظ بکار می برند .
برای ساخت غلاف محافظ از سرامیک یا استیل استفاده می شود . غلاف باید :

1- حرارت را بخوبی منتقل کند
2- از نظر الکتریکی از ترموکوپل ایزوله باشد
3- با مواد شیمیائی ترکیب نشده و واکنش نشان ندهد

بین غلاف و محل اتصال از یک ماده عایق استفاده می شود . اشکال بکاربردن این است که باعث می شود زمان پاسخ دهی و انتقال حرارت را طولانی می سازد .



مقاومت های وابسته به دما (RTD)

هر فلزی تحت تاثیر گرما , مقاومت الکتریکی اش تغییر پیدا می کند . چون الکترون های آزاد در اثر حرارت دارای حرکت بی نظم و نوسان می شوند . $R = R_o(1+\theta T)$

اگر با افزایش دما مقدار مقاومت افزایش پیدا کند , مقاومت دارای ضریب حرارتی مثبت بوده (θ مثبت) و به آن PTC گفته می شود و اگر با افزایش دما مقدار مقاومت کاهش پیدا کند , مقاومت دارای ضریب حرارتی منفی بوده (θ منفی) و به آن NTC گفته می شود .

هر فلزی بعنوان سنسور استفاده نمی شود باید از فلزی استفاده شود که خاصیت تورق (ورق پذیری) داشته و تغییرات مقدار مقاومت آن در مقابل حرارت زیاد باشد . همچنین رابطه بین تغییرات دما و مقاومت خطی باشد . معمولا از پلاتین استفاده می شود . مثل سنسور PT100

اکثر فلزات ضریب حرارتی مثبت دارند و با افزایش دما مقدار مقاومت آنها بیشتر می شود و جزء دسته PTC ها هستند .

فلزاتی که برای ساخت سنسور استفاده می شوند دارای ویژگی های خاصی باید باشند :

1- تغییرات مقاومت – دما خطی باشد
2- حساسیت آن زیاد باشد
3- اکسید نشود
4- با مواد شیمیایی ترکیب نشود
5- خاصیت تورق بالائی داشته باشد

بهترین فلزی که این خصوصیات را دارد , فلز پلاتین است . سیم پلاتینی که برای ساخت سنسور استفاده می شود حدود چند میکرو متر است . سنسورهای ساخته شده از پلاتین جزء PTC ها هستند .

مشهورترین سنسور RTD که از پلاتین ساخته می شود PT100 است . (PT = پلاتین) این سنسور در دمای صفر درجه دارای مقاومت 100 اهم است . محدوده تغییرات آن از 200- oc تا 850 oc و تقریبا خطی است . سنسور PT500 در دمای صفر درجه دارای مقاومت 500 اهم است .

رابطه تغییرات مقاومت سنسور های ... PT با دما بصورت زیر است :

$$R = R_0(1+\theta T+\beta T^2)$$

$$\theta = 3.9083\times10^{-3}\ ,\beta = -5.775\times10^{-7}, R_0 = 100$$

چون β ضریب کوچکی است در دماهای پایین از آن صرفنظر می شود و رابطه بصورت خطی در می آید ولی در دماهای بالاتر (از 500 oc به بالا) چون T^2 عدد بزرگی می شود نمی توان از آن صرفنظر کرد و رابطه بصورت غیر خطی در می آید . مس حساسیت بیشتری نسبت به پلاتین دارد ولی پلاتین تغییرات خطی تری نسبت به مس دارد .

مثال – مقاومت سنسور PT100 در دمای محیط 25 oc چند اهم است ؟

الف – بدون درنظر گرفتن β :

$$R = R_0(1+\theta T) \rightarrow R = 100(1+3.9083\times10^{-3}\times25) = 109.7\Omega$$

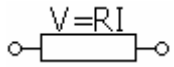
ب – با درنظرگرفتن β :

$$R = R_0(1+\theta T+\beta T^2) \rightarrow R = 100(1+3.9083\times10^{-3}\times25-5.775\times10^{-7}\times25^2\ ) = 109.8\Omega$$

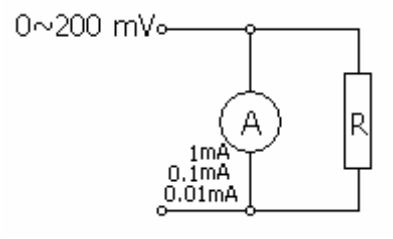
رابطه تقریبی مقاومت اهمی و دما در سنسورهای PT100 بصورت زیر تعریف می شود : $R = 100 + 3.9T$ یعنی شیب تغییرات سنسور PT100 برابر $3.9\frac{\Omega}{oc}$ است .
سنسورهای PT500 و PT1000 به ترتیب در دمای صفر درجه دارای مقاومت 500 و 1000 اهم هستند . شیب تغییرات مقاومت بر حسب دما در سنسور PT500 برابر $2\frac{\Omega}{oc}$ و در سنسور PT1000 برابر $4\frac{\Omega}{oc}$ است . بنابر این حساسیت و دقت سنسور PT1000 نسبت به سنسورهای PT500 و PT100 بیشتر است .
برای اندازه گیری مقاومت دو روش داریم :

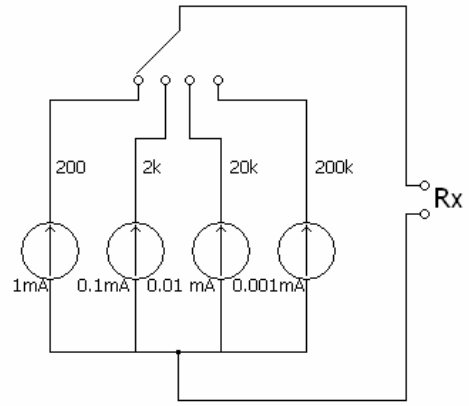
1- قانون اهم $R = \frac{V}{I}$ که در اهم متر آنالوگ استفاده می شود . چون تغییرات غیر خطی است روش مناسبی نیست .
2- در مولتی متر های دیجیتال با استفاده از منبع جریان این عمل صورت می گیرد .

برای خواندن مقاومت PT100 از روش مشابه اهم متر های دیجیتال استفاده می شود .

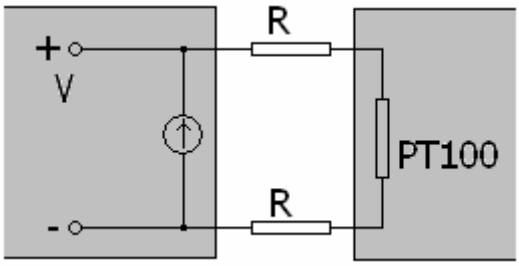


برای سنجش مقاومت در اهم متر های دیجیتال از منبع جریان استفاده می شود با عبور جریان ثابت از مقاومت و اندازه گیری ولتاژ دو سر مقاومت می توانیم مقدار مقاومت را بدست آوریم .





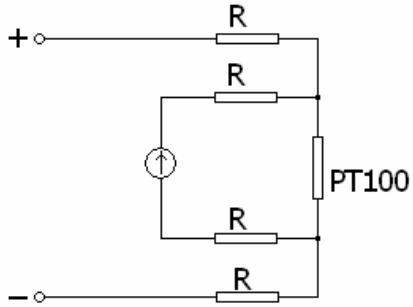
در اندازه گیری مقدار مقاومت سنسور , مقاومت سیم رابط هم با مقدار مقاومت سنسور جمع شده و ایجاد خطا می کند .



برای سنجش مقاومت سنسور PT100 می توانیم از منبع جریان استفاده کنیم. جریان ثابتی از سنسور عبور دهیم و ولتاژ دو سر منبع جریان متناسب با مقاومت سنسور PT100 خواهد بود . اگر فاصله بین سنسور PT100 و نمایشگر دما طولانی باشد مقدار مقاومت کابل با مقاومت سنسور جمع شده و نمایشگر دما جمع مقاومت PT100 و مقاومتهای کابل را اندازه گیری خواهد کرد و مقدار دمای نمایش داده شده بیشتر از دمای واقعی خواهد بود . برای رفع این مشکل روشهای مختلفی استفاده می شود :

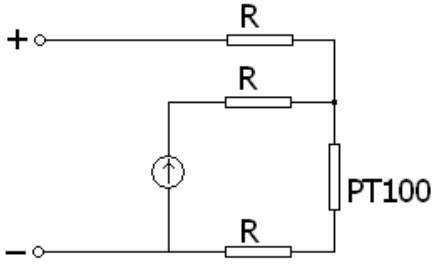
1- روش ساده آن است که بجاي يك مقاومت دقيق 100 اهم استفاده کنیم . در اینحالت نمایشگر باید عدد صفر را نشان دهد و اگر عدد نمایش داده شده عدد غیر صفر بود با Offset روي نمايشگر آن را روي صفر تنظيم مي كنيم . سپس سنسور را به نمایشگر متصل مي كنيم و تا زمانيكه مقاومت مسير تغيير نكند اين كاليبراسيون صحيح خواهد بود .

2- با استفاده از PT100 چهار سيمه مي توان اين خطا را جبران كرد . دو سيم براي عبور جريان و دو سيم براي قرائت ولتاژ دو سر سنسور بكار ميرود . به دليل عدم عبور جريان از سيم هاي قرائت ولتاژ ، افت ولتاژي روي اين سيم ها نداريم و ولتاژ قرائت شده دقيقا ولتاژ دو سر سنسور است . (چون جريان عبوري از دو سيمي كه براي اندازه گيري ولتاژ بكار مي رود صفر است مقدار مقاومت آن تاثيري ندارد .)



3- با استفاده از سنسور PT100 سه سيمه ، فقط مقاومت نصف مسير جبران شده و نصف مقاومت همچنان خطاط ايجاد خواهد كرد ولي با داشتن نصف خطا مي توان كل خطا را تشخيص داده و حذف كرد . استفاده از PT100 سه سيمه معمول تر از PT100 چهار سيمه است .

لازم به ذكر است در بحث سنسور تا فاصله 10 متر را فاصله كم فرض مي كنيم ولي بالاتر از آن بعنوان فاصله زياد در نظر گرفته مي شود .



خطاي خود گرمائي (Self heating)

عبور جريان از مقاومت باعث گرم شدن آن مي شود و طبق رابطه $P = RI^2$ تلفات حرارتي روي آن باعث خطا مي شود . بر اساس همين رابطه مي توان نتيجه گيري كرد كه خطاي خود گرمائي در سنسور PT1000 بيشتر از PT500 و در آن هم بيشتر از PT100 است . براي از بين بردن اين خطا دو روش پيشنهاد مي شود :

1- كم كردن مقاومت كه اين روش بعلت ثابت بودن مقاومت PT100 قابل استفاده نيست .

2- كم كردن جريان عبوري از سنسور تا حدامكان كه اين مسئله باعث كاهش خطا مي شود . ولي خطا از بين نمي رود .

با كاهش جريان ، توان حرارتي تا حد قابل توجهي كاهش پيدا مي كند . چون توان با مجذور جريان متناسب است .

ضريب خود گرمائي با رابطه زير مشخص مي شود : $E = \frac{\Delta t}{RI^2}$ و واحد آن $\frac{oc}{watt}$ است .

(Δt خطاي ايجاد شده ، R مقاومت سنسور و I جريان عبوري از سنسور است .)

مثال – در سنسور PT100 و در دماي 100 oc ، جريان عبوري 0.1 mA است . اگر خطاي خود گرمائي 2 oc باشد ، ضريب خود گرمائي چقدر خواهد بود ؟

$$R = R_o(1 + \theta T) = 100(1 + 0.39 \times 100) = 140$$

$$E = \frac{\Delta t}{RI^2} = \frac{2}{140 \times (0.0001)^2} = 1.4 \times 10^6 \frac{oc}{watt}$$

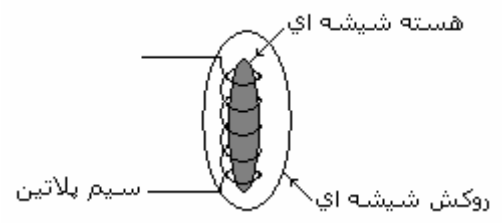
مثال – در سنسور PT100 در دماي صفر درجه با ضريب خود گرمائي $10^6 \frac{oc}{watt}$ چه جرياني از سنسور بايد عبور كند تا مقدار خطا كمتر از 1 oc شود ؟

$$E = \frac{\Delta t}{RI^2} \Rightarrow I^2 = \frac{\Delta t}{R \times E} \Rightarrow I = \sqrt{\frac{\Delta t}{R \times E}} = \sqrt{\frac{1}{100 \times 10^6}} = 10^{-4} A = 0.1 mA$$

اگر جريان عبوري كمتر از 0.1 mA باشد خطا كمتر از 1 oc خواهد بود .

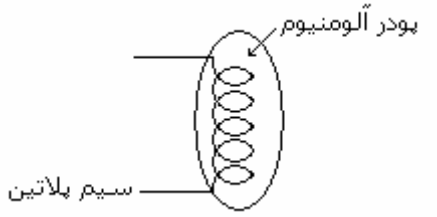
سنسور دماي پلاتين – شيشه

اين سنسور نوعي سنسور PT100 است . اين نوع سنسور از پيچيدن سيم پلاتين روي محفظه شيشه اي تشكيل مي شود و دو سيم جهت ارتباط با بيرون تعبيه شده است . پس از اينكه سيم پيچي پلاتين كاليبره و تنظيم شد . روكش روي آن كشيده شده و گرم مي شود تا سيم پيچ تثبيت و محكم شود . در اينجا از سيم پلاتين با قطري در حدود 17 تا 30 ميكرومتر و طولي حدود 8 تا 55 ميلي متر استفاده مي شود . سنسور پلاتين – شيشه در برابر شوك و لرزش استحكام زيادي دارد و مقاومت شيميائي آن بسيار بالاست . قادر به اندازه گيري دماهاي تا حدود 850 درجه سانتيگراد بوده و مي تواند با ماده اي كه دماي آن اندازه گيري مي شود در تماس مستقيم باشد .



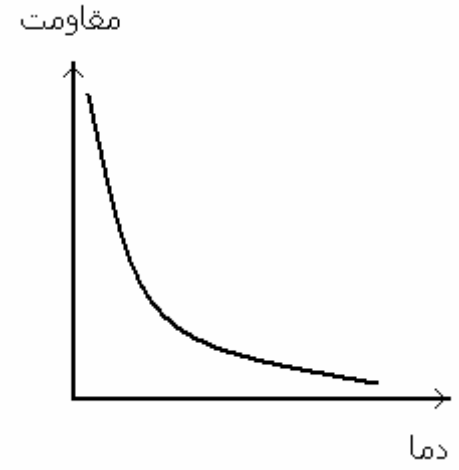
سنسور دماي پلاتين – سراميك

دراين سنسورسيم پيچ كاليبره شده داخل محفظه سراميكي قرارميگيرد و داخل محفظه با پودر آلومينيوم پر ميشود . به اين ترتيب سيم پيچ تثبيت شده و حرارت بهتر منتقل مي شود . پس از كاليبره كردن ، دو طرف محفظه محافظ سنسور با در پوش هاي شيشه اي مسدود مي شود . قطر اين سنسور بين 0.9 تا 4.9 ميلي متر و طول نهائي آن بين 6 تا 30 ميلي متر است . ساختمان داخلي اين سنسوراز تغيير مقاومت سنسور در اثر شوكهاي حرارتي جلوگيري مي كند .



ترميستورها

مقاومتهاي با ضريب حرارت منفي (NTC) كه از مواد نيمه هادي ساخته مي شوند ، ترميستور ناميده مي شوند . ترميستورها سنسورهاي دما با شيب منفي هستند كه با افزايش دما ، مقاومتشان كاهش پيدا مي كند . مشخصه اين سنسور ها غير خطي تر از فلزات است . از جمله كاربردهاي ترميستورها ، كنترل جريان عبوري از سيم پيچ موتورهاي الكتريكي است . اين سنسورها در دماهاي پايين حساسيت زيادي نسبت به تغييرات دما دارند ولي هر چه دما افزايش پيدا مي كند ، حساسيت آنها كمتر مي شود . از اين سنسورها براي اندازه گيري دماهاي پايين مي توان استفاده كرد .



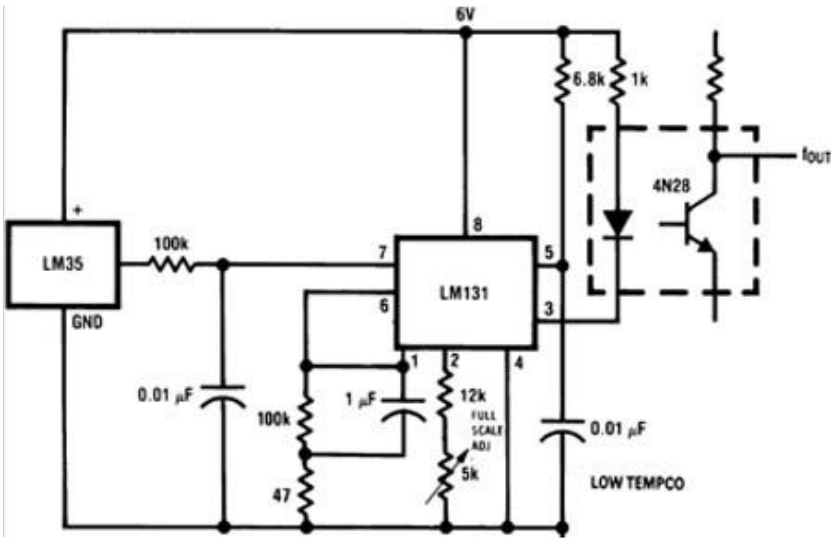
چون ترميستورها از مواد نيمه هادي ساخته مي شوند ، با افزايش دما تعداد الكترونهاي لايه ظرفيت آنها افزايش يافته و الكترونهاي آزاد رها شده و مقاومت الكتريكي كاهش مي يابد . از مزاياي ترميستورها ، حجم كم و قيمت مناسب آنها است . همچنين در ساخت اين سنسورها بر خلاف سنسورهاي PT100 ، محدوديت مقدار مقاومت سنسور وجود ندارد و رنج هاي مختلفي از آن ساخته مي شود . در جائيكه فضا كوچك و قيمت تمام شده مهم باشد از ترميستورها استفاده مي شود .
يكي از مشكلات ترميستورها تلرانس بالاي آنها است . بطوريكه ترميستورهاي ساخت يك شركت و تحت يك نام و شماره از نظر رفتار و مشخصه دقيقا يكسان نيستند و هنگام تعويض و جابجائي عناصر اندازه گيري ، ايجاد مشكل مي كنند .

آس سي هاي سنسور دما

سنسورهاي دماي ترموكوپل ، ترميستور و RTD داراي محدوديت هاي خاصي هستند . مثل جريان يا ولتاژ خروجي كم يا رفتار غير خطي آنها ، براي جبران اين محدوديت ها از مدارات الكترونيكي استفاده مي شود . در آي سي هاي سنسور قسمت احساس كننده و مدارات اصلاح كننده در داخل يك مجموعه قرار مي گيرند . LM34 ، AD592 و LM335 نمونه هايي از اين مدارات مجتمع هستند.

سنسور LM35 توليد شركت National Semiconductors يكي از سنسورهاي پر كاربرد در اندازه گيري و تعيين كننده مقدار دما است.اين سنسور داراي اين مشخصات است: عملكرد خطي سنسور كه براي هر 1 درجه افزايش دما 10 ميلي ولت تغيرات در خروجي دارد ،اندازه گيري دما بين منفي 55 تا مثبت 150 درجه سانتيگراد ولتاژ كاري 4 تا 30 ولت ،جريان كاري در حدود 60 ميكروآمپر

يك نمونه كاربرد اين سنسور به اين صورت است كه تغييرات ولتاژ در اين المان توسط آي سي LM131 به تغييرات فركانس تبديل ميشود مانند شكل زير:

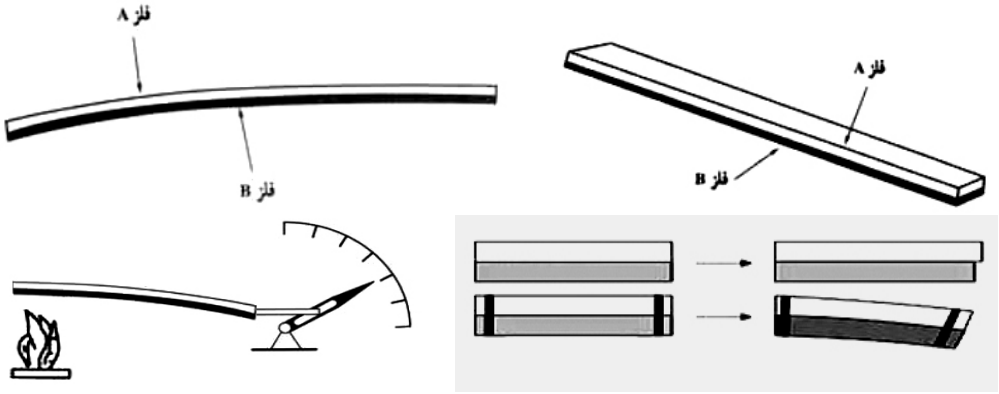


سنسورهاي حرارتي مادون قرمز

اين سنسورها بر اساس قابليت طيف نور منتشر شده عمل مي كنند . از آنجائيكه هر جسم در يك درجه حرارت ، رنگ نور بخصوصي را منتشر مي سازد مي توان از آن نور براي تعيين درجه حرارت استفاده كرد . اگر چه اين روش ، روش گران و در عين حال دقيقي نيست ولي در صنايع ريخته گري ، كوره ها و ذوب فلزات از آن استفاده مي شود .

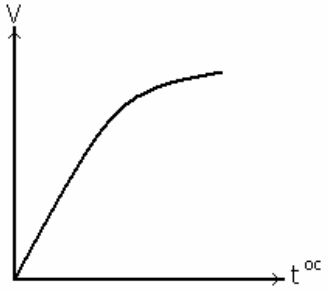
اندازه گيري دما با بي متال

با اتصال دو فلز با ضرايب انبساط طولي متفاوت ، بي متال ساخته ميشود . هنگاميكه حرارت به بي متال داده ميشود ، فلز با ضريب انبساط بالاتر خم بيروني و فلز با ضريب انبساط كمتر خم داخل پيدا ميكند به اين ترتيب مي توان با قرار دادن يك صفحه مدرج پشت عقربه متصل به بي متال ، تغييرات درجه حرارت را اندازه گيري كرد .



مقايسه سنسورهاي دما

ترموكوپل



مزايا

عدم نياز به منبع تغذيه سادگي عملكرد و ارزاني

محدوده اندازه گيري وسيع

معايب

رفتار غير خطي

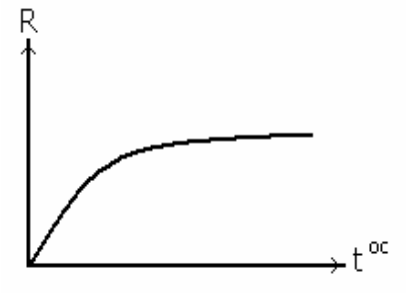
ولتاژپايين

نياز به نقطه مرجع

پايداري كم

حساسيت كم

RTD



مزايا

پايداري زياد

دقت بالا

رفتار خطي بهتر از ترموكوپل

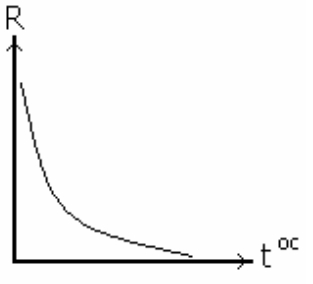
معايب

گراني قيمت

نياز به منبع جريان

مشكل خودگرمائي

ترميستور



مزايا

خروجي زياد

پاسخ سريع

دو سيمه براي اندازه گيري

معايب

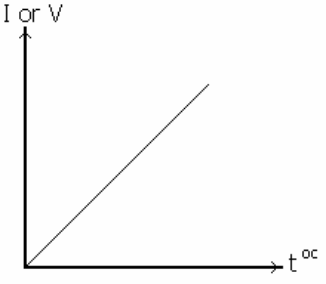
رفتار غير خطي

محدوده اندازه گيري كم

نياز به منبع جريان

خود گرمائي

آي سي هاي سنسور دما



مزايا

رفتار خطي

خروجي بالا

ارزان و اقتصادي

معايب

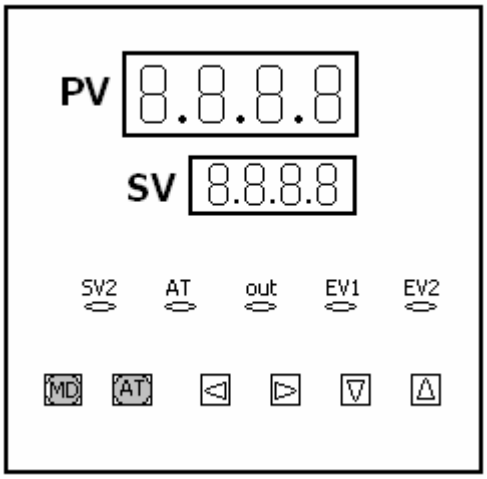
دماي كمتر از 200 درجه

سرعت كم

خودگرمائي

کنترلر دما

به وسیله کنترلر می توان خروجی سنسور را نمایش داد و مقادیر مختلف دما را تنظیم و بر اساس آن خروجی های مورد نظر را فعال یا غیر فعال کرد . کنترلر می تواند دارای خروجی ON/Off یا پیوسته باشد . بر روی کنترلر نمایشگری برای نشان دادن مقدار (PV Process Value) و نمایشگری برای نشان دادن (Set Value) SV در نظر گرفته میشود . به کمک کلیدهای مکان نمای روی کنترلر میتوان مقادیر PV و SV را تنظیم کرد . ترمینال هایی برای ورودی تغذیه و سیگنال های جریانی در نظر گرفته می شود . همچنین رله هایی در خروجی کنترلر تعبیه گردیده است که به کمک آنها می توان آلارم یا موتور یا هر خروجی مشابهی را اندازه گیری کرد . برای اطلاع از اتصالات ورودی , خروجی , منوها و جمپر تنظیمات کنترلر می توان به کتابچه راهنمای دستگاه مراجعه کرد .



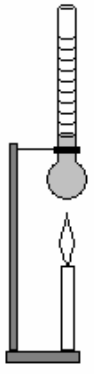
نمونه از یک دستگاه کنترلر

برخی از کنترلرها فقط برای کنترل یک پروسه , مثلا کنترل دما , فشار , فلو , تعیین سطح و امثال آن استفاده میشوند. ولی برخی از کنترلرها,چندمنظوره بوده و توانائی کنترل تمام پروسه ها را دارند. ورودی تغذیه کنترلر ممکن است DC یا AC باشد .

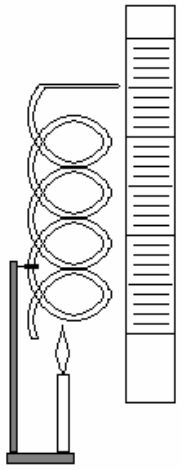
آزمایش – سنسورهای دما

اندازه گیری حرارت به دو روش الکتریکی و غیرالکتریکی انجام می شود . در روش غیر الکتریکی با استفاده از خاصیت انبساط فلزات , مایعات و گازها عمل اندازه گیری صورت می گیرد . در روش الکتریکی از ترموکوپل , ترمیستور , RTD یا مدارات مجتمع استفاده می شود .

آزمایش 1- در داخل یک ظرف شیشه ای استوانه ای شکل محلول الکل بریزید. یک شمع کوچک یا چراغ آزمایشگاهی را روشن و آن را زیر استوانه حاوی الکل قرار دهید. نتیجه مشاهدات خود را یادداشت کنید . چگونگی اندازه گیری و تعیین دما با این روش را توضیح دهید .



آزمایش 2 – یک مفتول فلزی (ترجیحا از جنسی که ضریب انبساط حرارتی آن بالا باشد) را انتخاب و آن را به شکل فنر درآورید . زیر قسمت انتهایی آن یک خط کش قرار دهید . با قرار دادن یک شمع کوچک , فلز را گرم کنید . اثر حرارت بر طول آن را بررسی کنید . توضیح دهید که چگونه به وسیله آن می توان یک دماسنج ساخت . آیا از این وسیله برای اندازه گیری طول هم می توان استفاده کرد ؟ توضیح دهید .



آزمایش 3- ترموکوپل های موجود در آزمایشگاه را در نظر بگیرید . نوع آنها را مشخص کنید . سیم های مثبت و منفی آنها را تعیین کنید . ولتاژ خروجی آنها را در دمای آزمایشگاه اندازه گیری و یادداشت کنید . نحوه تست و شناسائی ترموکوپل های مختلف چگونه صورت می گیرد ؟ توضیح دهید .
به هر کدام از ترموکوپل ها حرارت داده و به کمک ولت متر خروجی آنها را اندازه گیری و یادداشت کنید . با افزایش حرارت ولتاژ خروجی ترموکوپل ها چه تغییری پیدا می کند ؟ توضیح دهید .
آزمایش 4- ترمیستور NTC موجود در آزمایشگاه را در نظر بگیرید . به کمک اهم متر مقاومت آن را اندازه گیری و یادداشت کنید . ترمیستور فوق را به پل اندازه گیری متصل کنید . به کمک ولت متر ولتاژ خروجی پل را اندازه گیری و یادداشت کنید . به کمک هویه یا سشوار , ترمیستور را گرم کنید . گرم شدن ترمیستور چه تاثیری در خروجی پل دارد , توضیح دهید .
آزمایش 5- RTD موجود در آزمایشگاه را در نظر بگیرید . RTD فوق را به پل اندازه گیری متصل کنید . ولتاژ خروجی پل را اندازه گیری و یادداشت کنید . به کمک هویه یا سشوار , RTD را گرم کنید . گرم شدن RTD چه تاثیری در خروجی پل دارد , توضیح دهید .

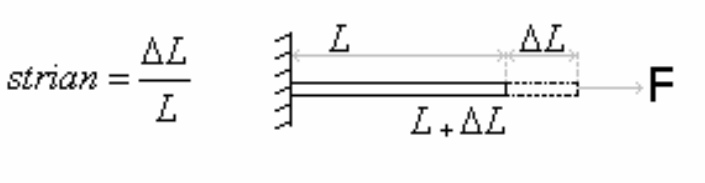
نتیجه حاصل از این آزمایشات را یادداشت کرده و توضیح دهید .

فشار

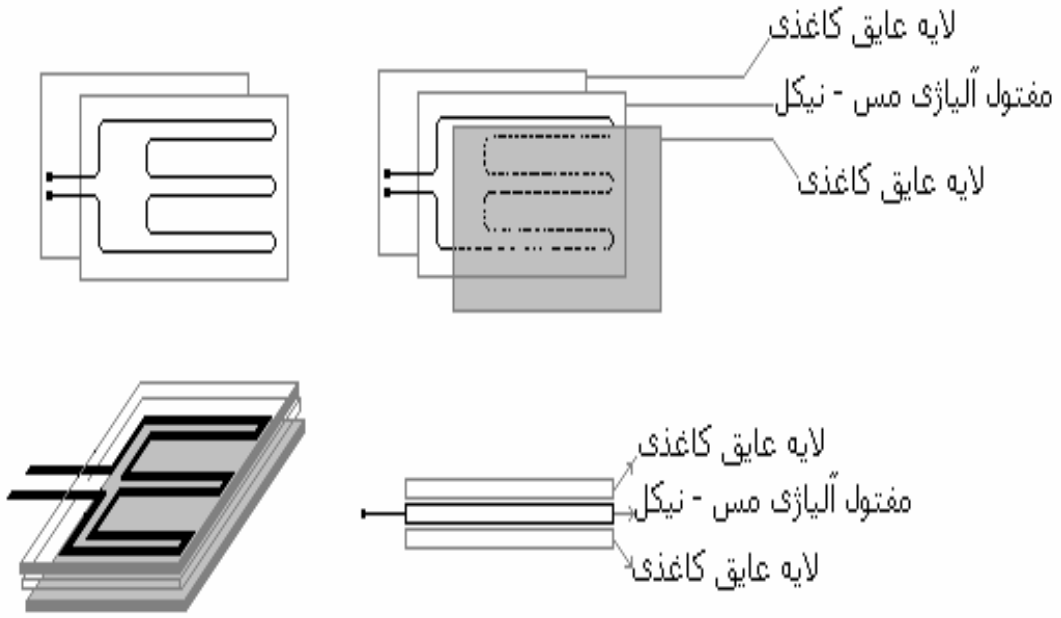
فشار عبارتست از نيروي وارد بر سطح و از رابطه $P=\frac{F}{A}$ بدست مي آيد . واحدهاي اصلي آن پاسكال ($\frac{N}{m^2}=Pa$) و Bar هستند .

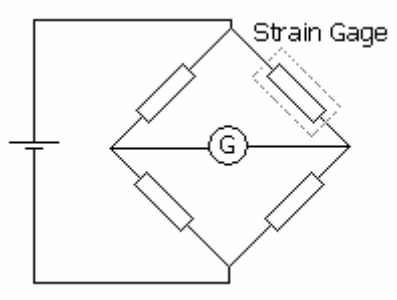
سنسورهای فشار Strain Gage

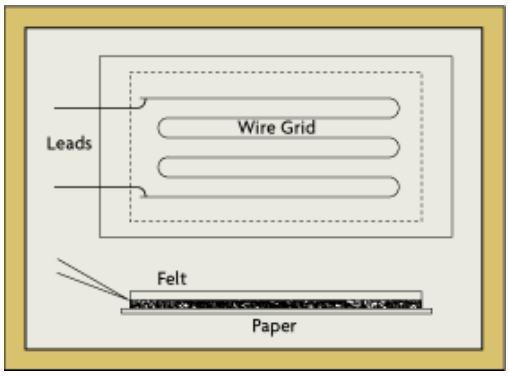
مقاومت الکتریکی یک جسم با طول آن رابطه مستقیم و با سطح مقطع آن رابطه معکوس دارد . یعنی : $R=\rho\frac{L}{A}$ (ρ ضریب مقاومت ویژه , L طول و A سطح مقطع) اساس کار سنسورهای استرین گیج و لودسل بر این پایه استوار است . هنگامیکه نیرو و فشار به ورق فلزی وارد شود , تغییر شکل داده و خم می شود , به این ترتیب طول آن تغییر کرده و مقدار مقاومتش نیز تغییر پیدا می کند .
استرین گیج از مهمترین سنسورهای فشار است . اگر به جسم نیرو وارد شود در جهت نیروی وارد شده تغییر طول می دهد . نسبت این تغییر طول به طول اولیه تنش یا Strain گفته می شود . $strian=\frac{\Delta L}{L}$



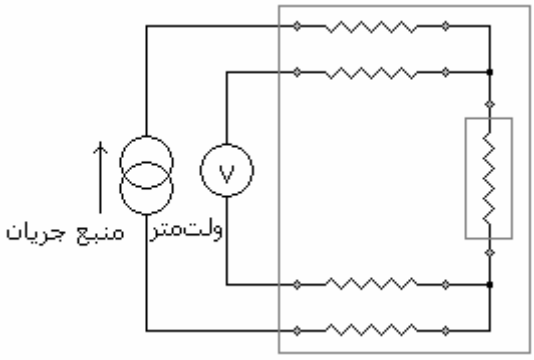
استرین گیج ها در دو نوع نیمه هادی و مقاومتی (آلیاژی) ساخته می شوند . در نوع مقاومتی از آلیاژ مس – نیکل با قطر 0.02 mm استفاده می شود . استرین گیج مقاومتی در یکی از بازو های پل وتستون قرار می گیرد . در حالت عادی پل در حالت تعادل بوده و جریان صفر است . با وارد شدن نیرو پل از تعادل خارج و متناسب با ان عمل اندازه گیری صورت می گیرد .







با استفاده از روش چهار سیمه می توان خطای اندازه گیری و مقاومت سیم را به صفر رساند . در داخل لود سل از استرین گیج استفاده می شود .



اندازه گیری تنش (وزن , نیرو و فشار)

استرین گیج ها معروف ترین ترانسدیوسرهای فشار هستند و معمولا برای اندازه گیری فشارهای بالا مورد استفاده قرار می گیرند . استرین گیج ها در واقع برای اندازه گیری تنش بکار می روند . تنش به معنای تغییر شکل در اثر نیروی وارد شده است . استرین گیج ها را معمولا از آلیاژ مس – نیکل می سازند . قطر این سیم ها در حدود 0.02 mm است و برای آنکه در اثر یک نیروی معین تغییر طول بیشتری داشته باشند معمولا آنها را به شکل زیگزاگ می سازند تا تغییر طول بیشتری داشته باشند .

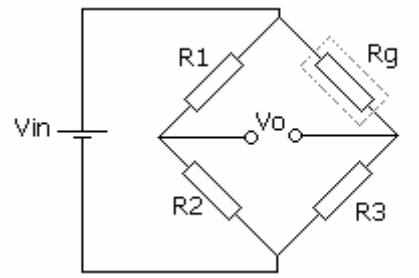
بر روی یک صفحه پایه ارتجاعی از جنس پلاستیکی مقاوم می چسبانند . (یک طرف استرین گیج به نقطه ای بسته شده و نیرو به جهت دیگر آن وارد می شود . لودسل ها به تغییر دما حساس هستند بنابراین خطای مربوط به دما در آنها باید لحاظ شود . با استفاده از چندین لودسل می توان خطای دما را کاهش داد (داخل لود سل چندین استرین گیج با زوایای مختلف قرار می گیرد تا هم قادر به اندازه گیری از چند جهت باشد و هم خطای دما کاهش پیدا کند .
برای اندازه گیری فشار از این طریق بایستی یک طرف استرین گیج را ثابت نگهداریم و با وارد کردن فشار به طرف دیگر باعث تغییر شکل استرین گیج شده و تغییرات مقاومت اهمی متناسب با فشار وارده را اندازه گیری کنیم . یکی از کاربردهای مهم استرین گیج ها اندازه گیری نیوری وزن است . استرین گیج هایی که در صنعت برای اندازه گیری وزن استفاده می شوند , لودسل (Load Cell) نامیده می شوند . یک لودسل عنصری است که از چند استرین گیج که با زوایای مختلف قرار گرفته اند تشکیل شده است . لودسل از پایداری حرارتی خوبی برخوردار است و خروجی آن بطور خطی متناسب با نیروی وزن تغییر می کند .

حساسیت SENSITIVITY (Gage Factor)

حساسیت لودسل (GF : Gage Factor) عبارتست از نسبت تغییرات مقاومت به تغییرات طول , یعنی :

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}}$$

$$Vout = Vin\left[\frac{R3}{R3+Rg} - \frac{R2}{R1+R2}\right]$$



با توجه به این رابطه می بینیم که ولتاژ خروجی پل وابستگی به ولتاژ تغذیه پل دارد پس می توانیم نتیجه گیری میکنیم که برای اندازه گیری دقیق نیاز به ولتاؤ ثابت و دقیق داریم . لودسل معمولا با ولتاژ 10 ولت تغذیه میشوند . خروجی استاندارد لودسل ها معمولا o تا 20 mV است .
اگر روی لودسل حساسیت بصورت $2\frac{mV}{V}$ تعیین شده باشد یعنی اینکه به ازای هر یک ولت ولتاژ تغذیه , تغییرات ولتاژ خروجی حداکثر 2 mV خواهد بود در این لودسل

اگـر ولتـاژ تغذیـه 10 ولـت باشـد ولتـاژ خروجـی حـداکثر mV 20 خواهـد بـود .

$$10v \times 2\frac{mV}{v} = 20mV$$

حداکثر ولتاژ خروجی لودسل زمانی بدست می آید که حداکثر نیرو به لودسـل اعمـال شود . تغییرات خروجی لودسل بصورت خطی است .

مثال – اگر یک لود سل با حساسیت $2\frac{mV}{V}$ و ولتاژ تغذیه 10 ولت داشته باشیم و حداکثر وزنی که این لود سل قادر به اندازه گیری آن است 100Kg می باشد . اگر وزنه 25 kg روی لودسل قرار داده شود خروجی چند میلی ولت خواهد بود ؟

$$10v \times 2\frac{mV}{v} = 20mV$$

100kg 20mv
25kg X $\Big/$ X=5mv

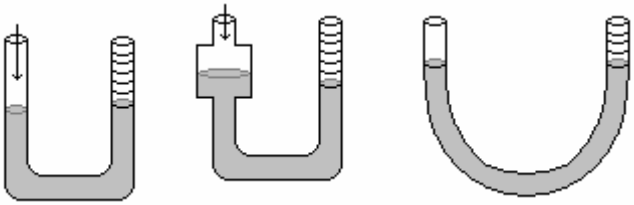
مثال – در یک لودسل با حساسیت 2.5 و ولتاژ تغذیه 12 V , اگر وزنه 10Kg روی آن قرار دهیم . ولتاژ خروجی mV 2 خواهد شد . حداکثر رنج اندازه گیری لودسل چقدر است ؟

$$V_{oMax} = 12 \times 2.5 = 30mV$$

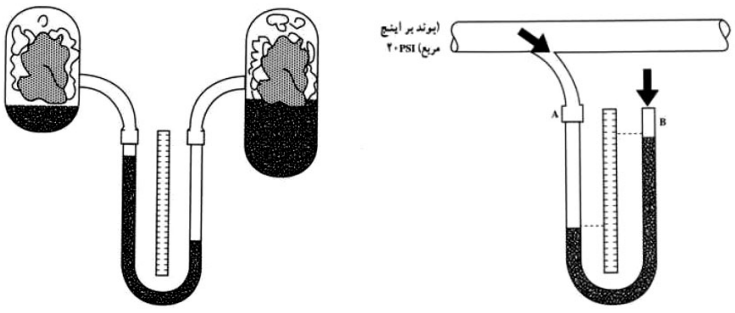
10 kg 2 mv
X 30 mv $\Big/$ X=150kg

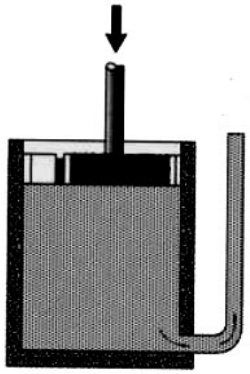
روش های مکانیکی اندازه گیری فشار

مانومتر U شکل یکی از قدیمی ترین روش های اندازه گیری فشار است . لوله شیشه ای بصورت شکل U ساخته می شود . مایع درون مانومتر و طول آن بستگی به مقدار فشاری دارد که می خواهیم اندازه گیری کنیم . اگر هدف اندازه گیری فشارهای پایین باشد از مایعات سبک مثل آب و اگر هدف اندازه گیری فشارهای بالاتر باشد از مایعات سنگین مانند جیوه استفاده می کنیم .



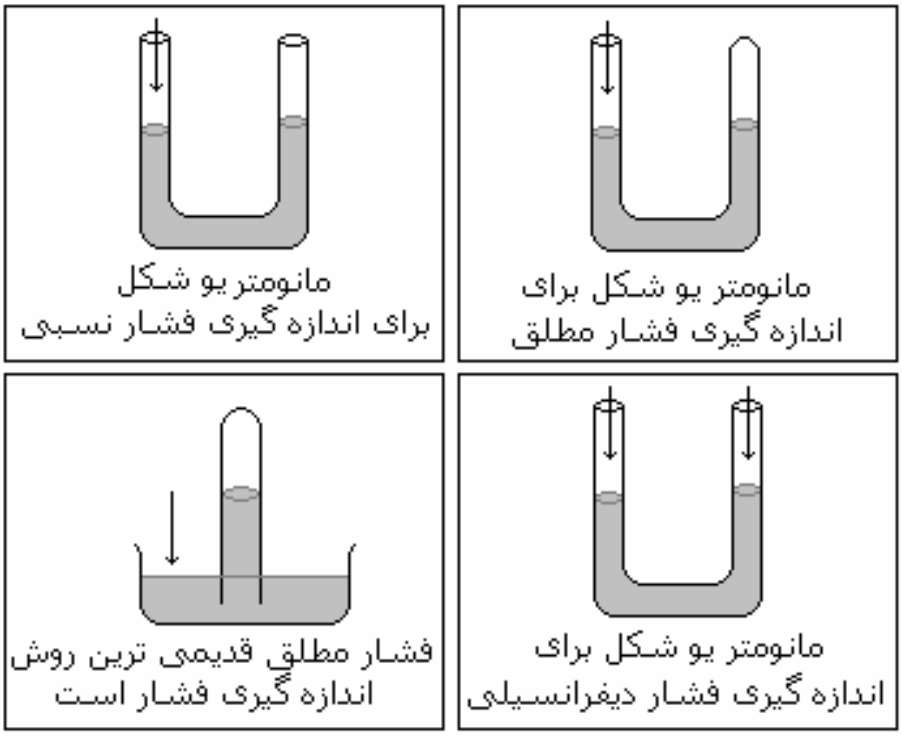
مانومتر با لوله مورب دقت بیشتری دارد و اگر دقت بیشتر و رنج اندازه گیری محدودتر مورد نظر باشد از مانومتر با سطح مقطع های متفاوت استفاده می کنیم .





در سیستم های اندازه گیری فشار معمولا فشار به شکل های متفاوتی مد نظر است از جمله "

1- فشار مطلق Absolute – در این جا فشار نسبت به خلاء مطلق اندازه گیری می شود . در این روش باید یک طرف ترانسدیوسر حتما به خلا وصل شود .
2- فشار نسبی Gage – در این ترانسدیوسر مقدار فشار اتمسفر برابر صفر در نظر گرفته می شود و کلیه فشارها نسبت به فشار محیط اندازه گیری می شود . (فشار محیط صفر در نظر گرفته می شود.) در این روش یک طرف فشارسنج باید به فشار اتمسفر متصل باشد .
3- فشار دیفرانسیلی DIFFERENTIAL - ترانسدیوسر دیفرانسیلی اختلاف , اختلاف فشار بین P1 و P2 را اندازه گیری می کند . برای اندازه گیری فلو هم از این روش استفاده می شود .



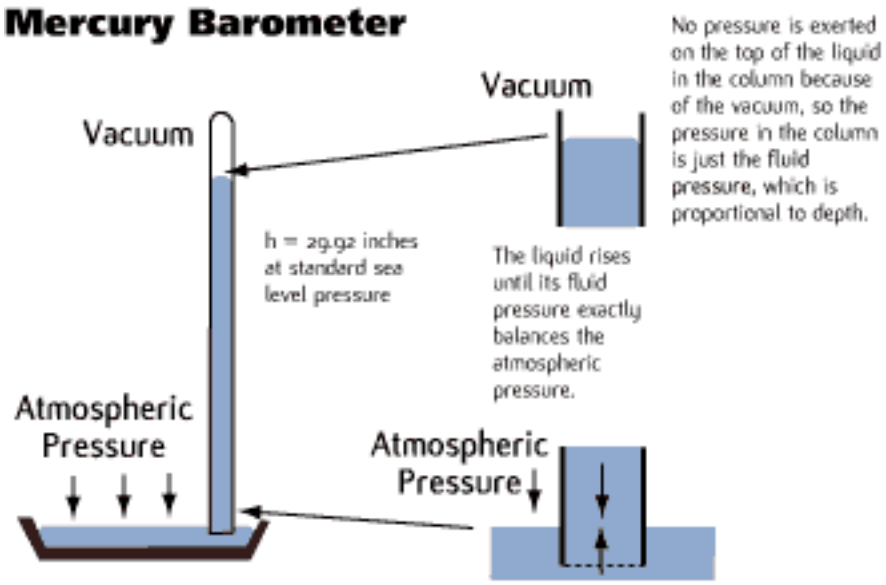
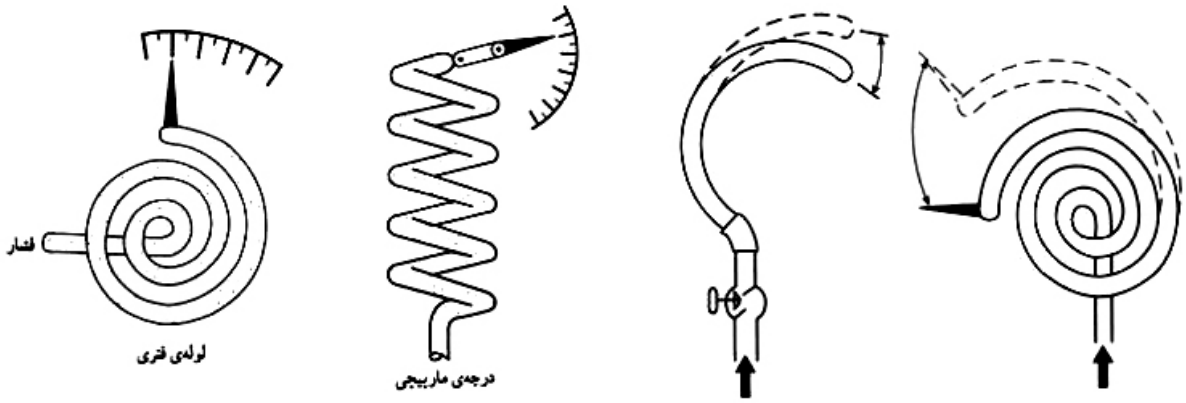
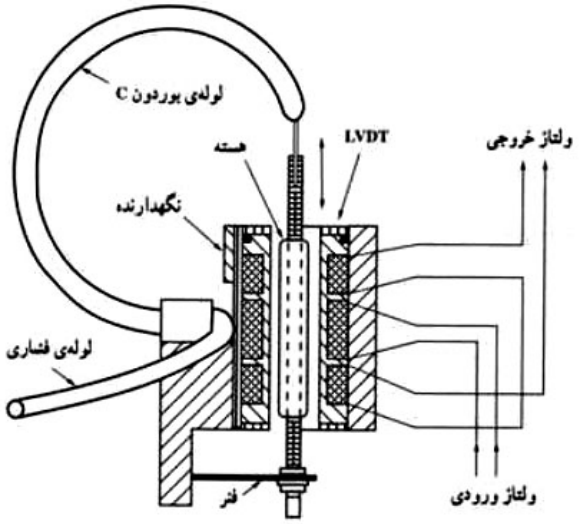
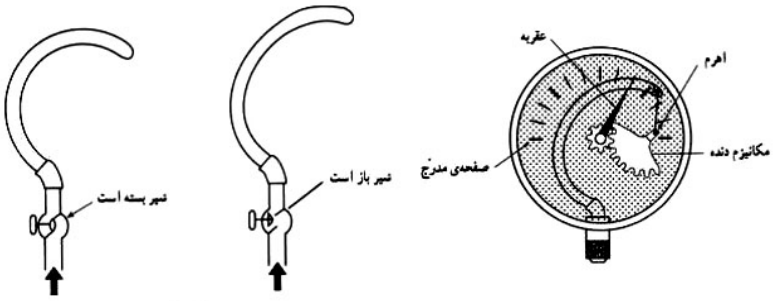


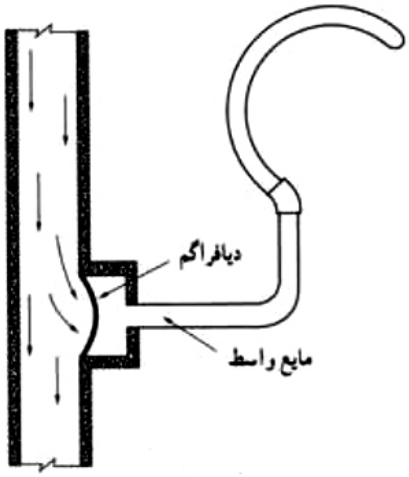
Figure 1: Mercury Barometer

لوله بوردون Borden Tube – با اعمال فشار به داخل یک لوله طول و وضعیت آن تغییر پیدا می کند . بر این اساس سه نوع لوله بوردون مورد استفاده قرار می گیرد . جنس , قطر و طول لوله متناسب با فشار انتخاب می شود . با قرار دادن صفحه مدرج در کنار لوله می توان فشار را اندازه گیری کرد . بر اساس شکل لوله , لوله بوردون در سه نوع C , حلزونی و مارپیچ ساخته می شود . نوع حلزونی و مارپیچ از حساسیت بیشتری نسبت به نوع C برخوردار هستند . لوله بوردون C شبیه به دسته عصا با زاویه تقریبی 250 درجه است . یک طرف لوله ثابت شده و طرف دیگر لوله بسته است , فشار وارده به داخل لوله باعث حرکت نوک دسته عصا می شود که این حرکت توسط چرخدنده ها تبدیل به حرکت عقربه روی صفحه مدرج خواهد شد . دقت لوله بوردون C نسبت به انواع دیگر کمتر است ولی رنج اندازه گیری آن معمولا بیشتر است و در اکثر نمایشگرهای فشار از نوع C استفاده می شود .



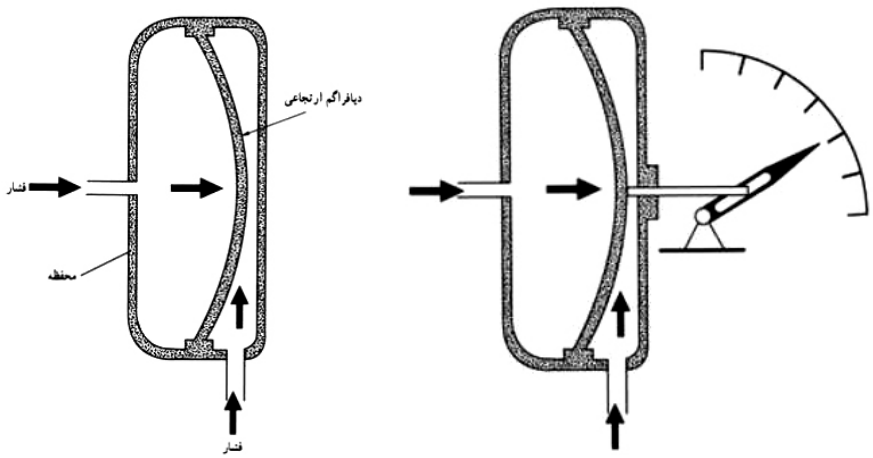






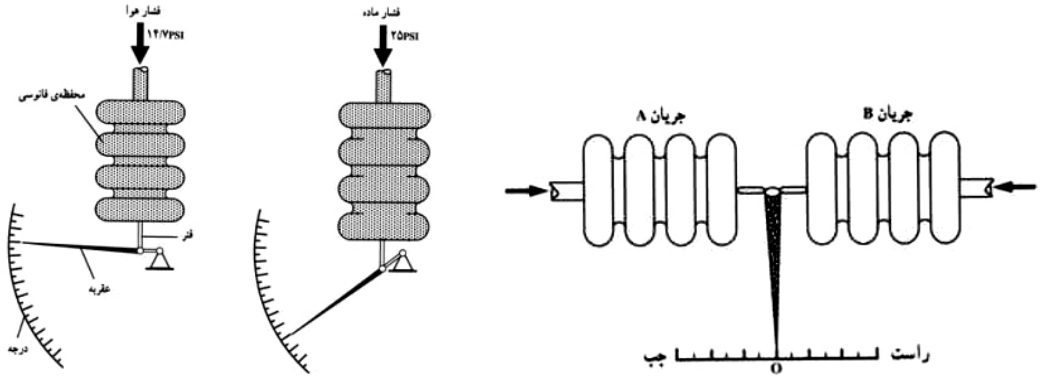
دیافراگم و کپسول Diaphragm & Capsule

دیافراگم معمولا از جنس فلزي استيل (Stainless Steel) ساخته مي شود . روي دیافراگم را بصورت موجدار مي سازند تا در برابر نیرویي كه به آن وارد مي شود جابجائي داشته باشد . $F = KX$ و $F = P A$ براي اندازه گيري فشارهاي زياد از دیافراگم كوچك و براي اندازه گيري فشارهاي كم از دیافراگم بزرگ استفاده مي شود . كپسول از دو دیافراگم تشكيل شده است كه محيط آنها به هم وصل مي شوند و بين آنها با يك مايع تراكم ناپذير پر مي شود . حساسيت كپسول بيشتر از دیافراگم است و به ازاي فشار مشخصي تغييرات X كپسول معادل دو برابر يك دیافراگم با مشخصات مشابه مي باشد .



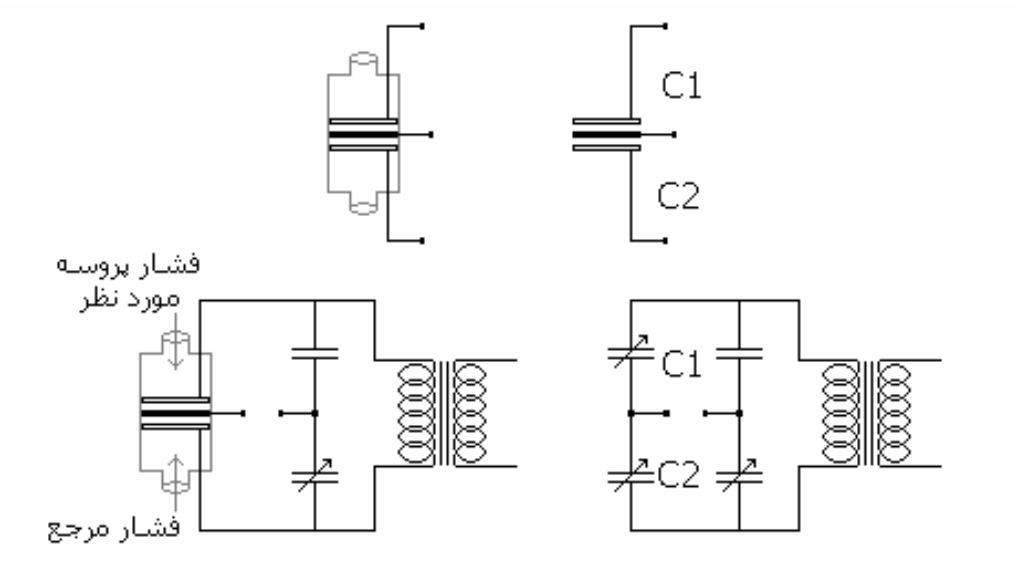
سري كردن كپسول ها

با سري كردن كپسول ها حساسيت افزايش پيدا مي كند . قانون فنر ها در مورد كپسول ها هم صادق است . اگر نيروي F به فنر وارد شود به اندازه X جابجا مي شود و مقدار جابجائي بستگي به ثابت فنر K دارد . لازم به ذكر است معمولا از كپسول بعنوان رابط ميان محيط و استرين گيج استفاده مي شود . (يعني اگر سه كپسول با هم سري شوند به ازاي يك نيروي ثابت ، جابجائي سه برابر مي شود .) با سري كردن كپسولها فشار سنج فانوسي ساخته مي شود .



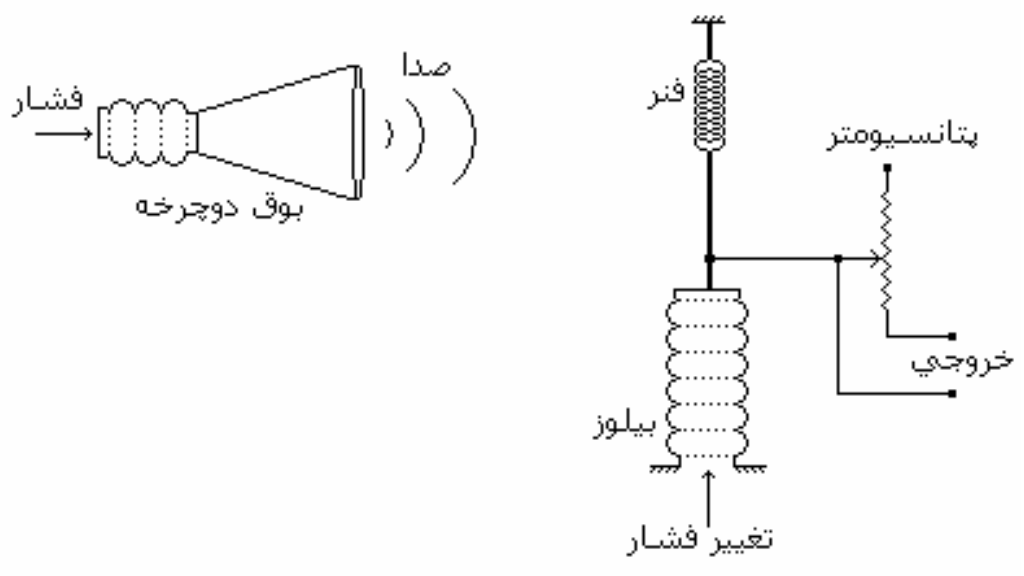
ترانس ديوسر خازني فشار

در اين ترانسديوسر از فاصله صفحات خازن براي سنجش فشار استفاده مي شود . در اين روش توسط نوسان ساز تغييرات ظرفيت خازن تبديل به تغييرات فركانس مي شود . اين ترانس ديوسرها براي اندازه گيري فشارهاي كم و معمولا در دستگاههاي آزمايشگاهي استفاده مي شوند.



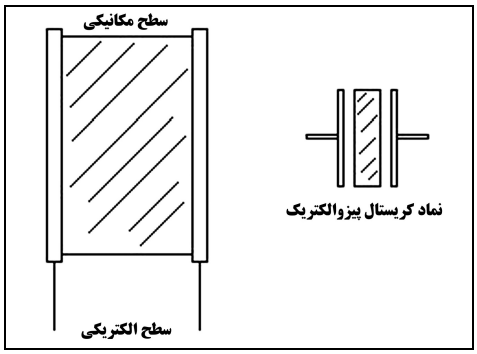
ترانس دیوسر پتانسیومتري فشار

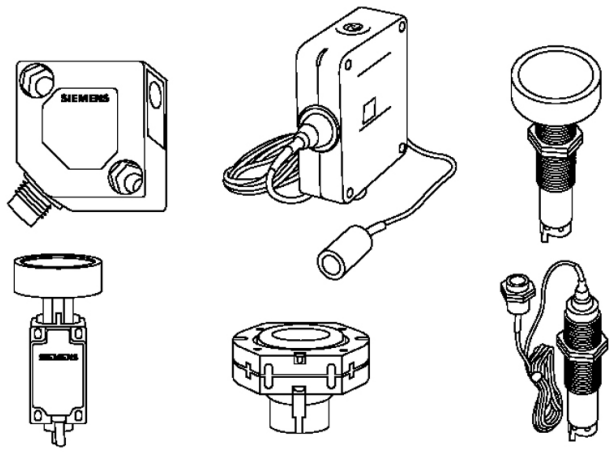
در اين روش از بيلوز جهت تبديل فشار پروسه به جابجائي استفاده مـي شـود . بيلـوز وسيله اي شبيه آكاردئون است كه در بوق دوچرخه يا دمنده ها باد آهنگـري اسـتفاده مي شود . با افزايش فشار طول بيلوز تغييـر كـرده و باعـث جابجـا شـدن اهـرم تنظـيم مقاومت متغيير و در نتيجه مي توان فشار را اندازه گيري كرد .

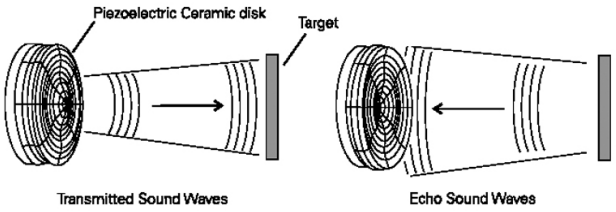


پيزوالكتريك

در پيزوالكتريك تغييـرات فـشار باعـث توليـد ولتـاژ مـي شـود . در حقيقـت ضـربات وارده باعث توليد ولتاژ مي شود . نمك راشل كه در ميكروفونهاي قديمي اسـتفاده ميـشد ، خاصيت پيزو الكتريك دارد . كوارتز از رايج ترين پيزوالكتريك ها است .



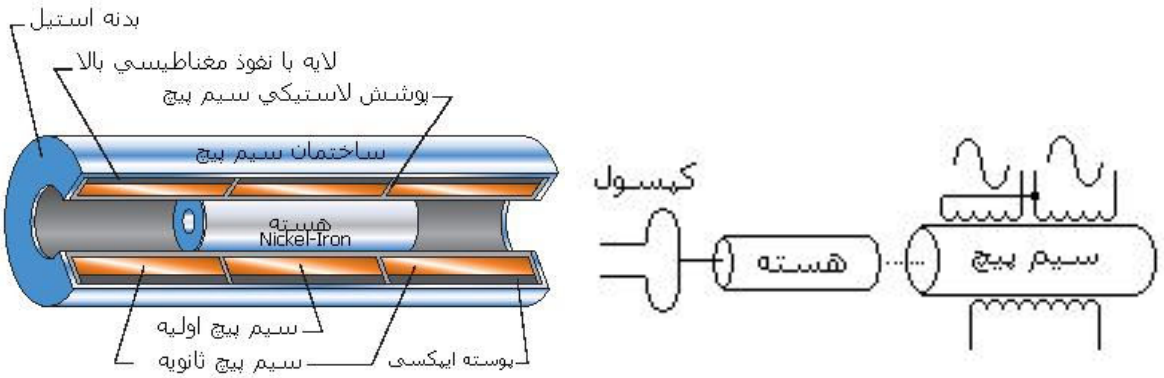


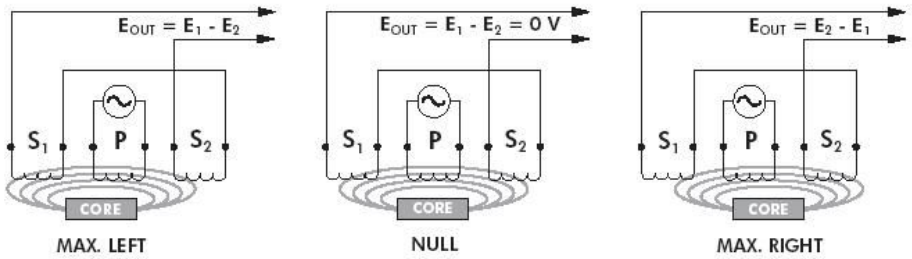


سنسورهاي پيزوالكتريك بخاطر دقت و حساسيت كاربردهاي فراواني دارند . هنگاميكه فشار به كريستال كوارتز اعمال مي شود در صفحات هادي ايجاد شارژ مي كند و زمانيكه به صفحات هادي ولتاژ متغيير اعمال مي شود ، كريستال كوارتز وادار به نوسان و توليد سيگنال مكانيكي مي شود . ميزان شارژ و نيروي مكانيكي متناسب با يكديگر هستند . تفاوت سنسورهاي پيزو الكتريك با استرين گيج در اين است كه سيگنال توليد شده توسط پيزوالكتريك سريعتر مي باشد . سنسورهاي پيزو براي اندازه گيري فشارهاي ديناميك و استرين گيج ها براي اندازه گيري فشارهاي استاتيك مناسب هستند . سنسورهاي پيزوالكتريك براي اندازه گيري فشار داخل سيلندر مورد استفاده قرار مي گيرند به اين ترتيب كه بجاي شمع قرار مي گيرند . ويژگي هاي عمده سنسورهاي پيزوالكتريك سختي ، سايز كوچك ، سرعت بالا و عدم نياز به منبع تغذيه هستند . با استفاده از خاصيت پيزوالكتريك مي توان سرعت و در نتيجه تغييرات شتاب را اندازه گيري كرد .

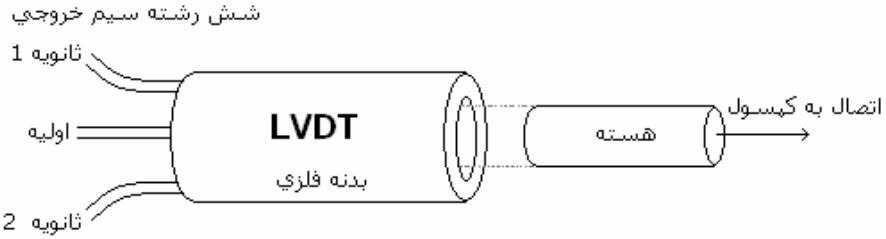
Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

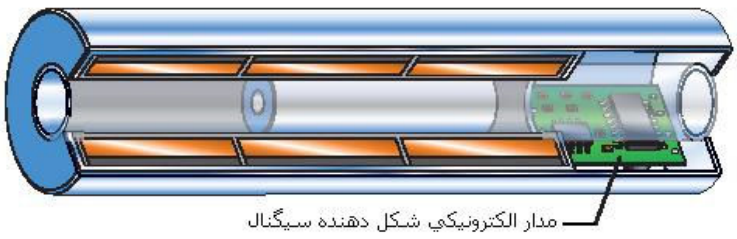
LVDT يا ترانسفورماتور تفاضلي خطي نوعي مبدل موقعيت است يعني با توجه به موقعيت هسته ، خروجي آن تغيير مي كند . LVDT شامل يك سيم پيچ اوليه و دو سيم پيچ ثانويه است كه سيم پيچ هاي ثانويه با هم سري شده اند بطوريكه ولتاژهاي آنها از يكديگر كم مي شود به همين دليل به آنها تفاضلي گفته مي شود .





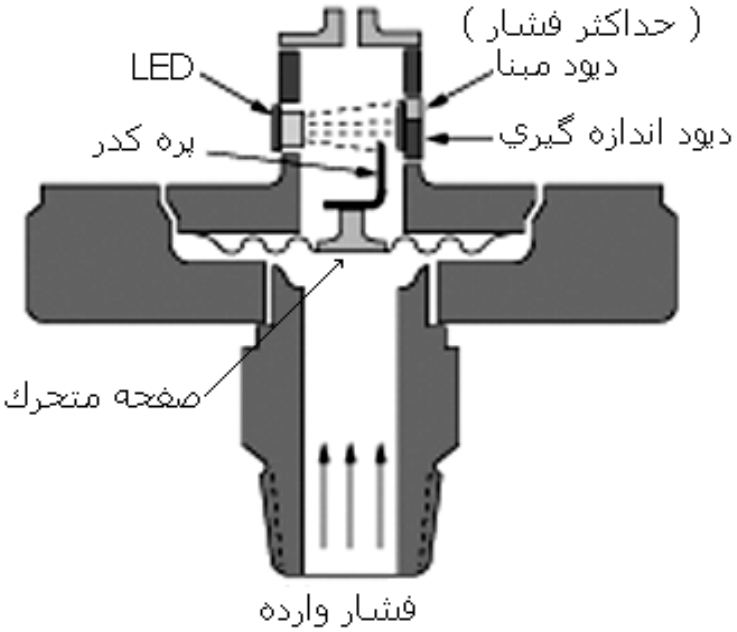
در حالت تعادل ولتاژ برآيند خروجي صفر است و با تغيير موقعيت هسته ، ولتاژ تفاضل تغيير م يكند و بر اساس آن عمل اندازه گيري صورت مي گيرد . به دليل تفاضلي بودن خروجي LVDT ، اگر هسته در موقعيت صفر باشد ولتاژ يكسان در دو ثانويه القاء مي شود و نهايتا خروجي LVDT صفر مي شود ولاي اگر هسته از موقعيت صفر جابجا شود متناسب با موقعيت هسته در يكي از سيم پيچ هاي ثانويه ولتاژ بيشتر و در ديگري ولتاژ كمتري القاء خواهد شد و در اينحالت خروجي LVDT صفر نبوده و نهايتا متناسب با موقعيت هسته تغيير مي كند . در اين ترانسديوسر فشار تغيير موقعيت كپسول كه در نتيجه تغيير فشار ايجاد شده است به LVDT اعمال شده و خروجي LVDT نيز بطور خطي متناسب با موقعيت هسته خواهد بود . از مزاياي LVDT مي توان به دقت بسيار بالا و مدارات جانبي كم براي تبديل سيگنال و از معايب آن نويزپذيري در محيط هاي صنعتي ، قيمت بالا و محدوده اندازه گيري كم اشاره كرد .





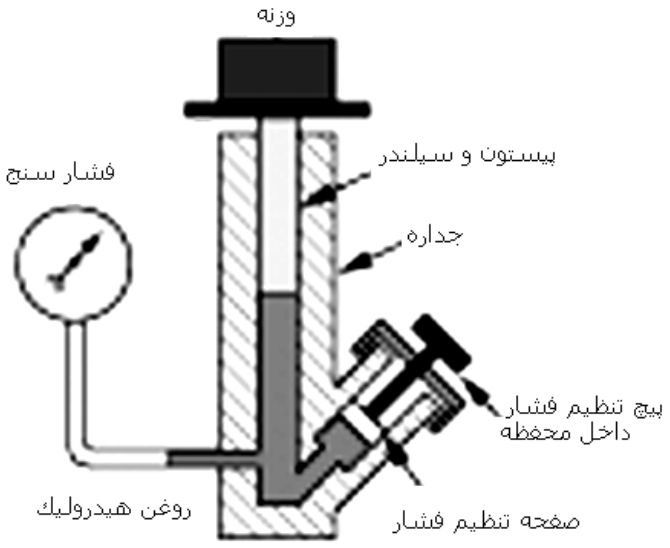
اندازه گيري فشار با روش نوري

در اين روش يك ديود نوراني و يك فتو ديود براي اندازه گيري فشار مورد استفاده قرار مي گيرند . در حالتيكه فشار صفر است پره كدر در پايين قرار داشته و كل نور به فتو ديود برخورد مي كند با وارد شدن فشار صفحه كدر به سمت بالا حركت كرده و مانع رسيدن نور به فتو ديود مي شود و اگر فشار از حد معيني بيشتر شود پره كدر بطور كامل جلوي ديود مبنا قرار گرفته و مشخص مي كند كه فشار به حداكثر مقدار رسيده است .



كاليبراتور فشار

اين دستگاه شامل يك پيستون با قطر مشخص مي باشد و داخل آن با روغن هيدروليك پر مي شود . توسط يك پيچ فشار داخل پيستون تنظيم مي شود . وزنه اي در قسمت بالاي پيستون قرار دارد و تا زمانيكه نيروي حاصل از فشار داخل با نيروي وزنه برابر شوند ، وزنه به سمت بالا حركت مي كند . با توجه به رابطه اي كه پيستون دارد هر وزنه فشار خاص متناظر است كه اگر فشار داخل پيستون با آن برسد وزنه به سمت بالا حركت خواهد كرد . گيج تحت تست نيز اگر فشار وارده را درست نشان دهد كاليبره است و در غير اينصورت از تنظيم خارج است .



سنسورهاي نوري

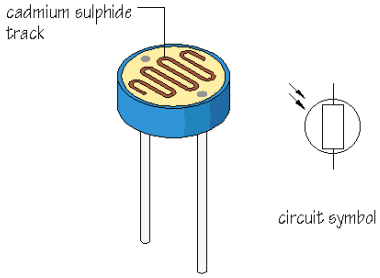
هنگاميكه نور به ماده اي تابيده شده و آن جسم از نظر الكتريكي تغيير ماهيت پيدا مي كند , پديده فتوالكتريک اتفاق مي افتد و بر سه نوع است:

1- فتو اميشن : اثر خروج الكترون از فلز در اثر تابش نور (Photo Emission)
2- فتو كانداكتيو : اثر هادي شدن جسم در اثر تابش نور (Photo Conductive)
3- فتو ولتيک : اثر توليد ولتاژ در اثر تابش نور (Photo Voltic)

فتو اميشن , اثر فتو الكتريک خارجي و فتو كانداكتيو و فتو ولتيک اثر فتوالكتريک داخلي ناميده مي شوند.لامپ هاي فتوالكتريک در گروه اول , سلول هاي مقاومت نوري در گروه دوم و فتو ديودها و فتو ترانزيستورها در گروه سوم جاي ميگيرند.

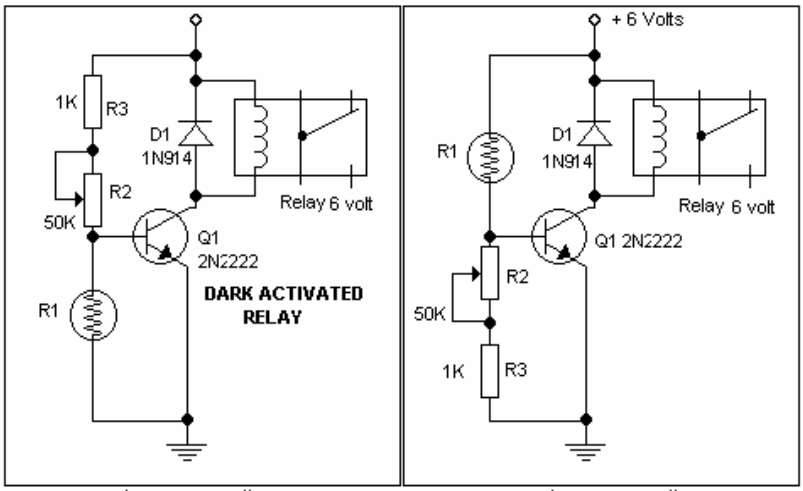
مقاومت هاي نوري از موادي مانند cds , cd se , pb s ساخته مي شوندو در اثر تابش نور مقاومت الكتريكي آنها تغيير مي كند.

LDRبه مقاومتهایی گفته میشود که در برابر شدت تابش نور حساس بوده و مقدار مقاومتشان تابع نور است به صورتی که با افزایش نور مقدار مقاومتشان کاهش یافته و با کاهش میزان نور تابشی مقدار مقاومتشان افزایش میابد.معمولا مقاومتهایی که در بازار موجود هستند در شدت نور عادی(محیط در روز)مقدار مقاومتشان در حدود 1 کیلو اهم و در تاریکی مطلق مقدار مقاومتشان بین یک تا دو مگا اهم است.



از جمله کاربردهای این مقاومت میتوان به تشخیص شب و روز جهت قطع و وصل کردن اتوماتیک لامپها،روش و خاموش کردن یک منبع تغذیه و هر جایی که مسئله حس کردن شدت نور در میان باشد اشاره کرد. به طور نمونه نمونه هایی از کاربرد این المان را در کنترل یک رله بر مبنای روشنایی یا تاریکی محیط مشاهده میکنید.

در شکل اول با روشن شدن محیط رله وصل خواهد شد و در شکل دوم با خاموش شدن محیط رله تحریک خواهد شد.



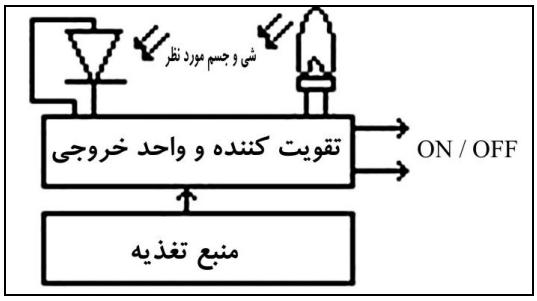
غير فعال شونده با نور فعال شونده با نور

كاربرد سلول هاي فتو الكتريک

1- پيدا كردن مسافت
2- تشخيص عبور شيء از خط انتقال
3- تشخيص لحظه اي اشياء
4- تشخيص وضعيت غير عادي
5- تشخيص اختلاف و ناهمواري در سطح
6- تشخيص ارتفاع

دامنه كاربرد سنسورهاي فتو الكتريک

اگر آي سي ها را بعنوان پر كاربردترين المان در صنعت بدانيم , بدون شک سنسورهاي فتوالكتريک پر كاربردترين المان حس كننده خواهند بود.
از ساده ترين ارزانترين و پركاربردترين سنسور نقطه اي مي باشند.فتوسل يا فتوالكتريک از نور بعنوان حامل استفاده مي كند. اين سنسورها سرعت بالايي داردوطول عمر آن طولانيو اتلاف توان آن كم است. اين سنسورها در صورت كثيفي, آلوده شدن به روغن و ساير مواد دچار مشكل شده چرا كه نور دچار شكستگي و پراكندگي خواهد شد.

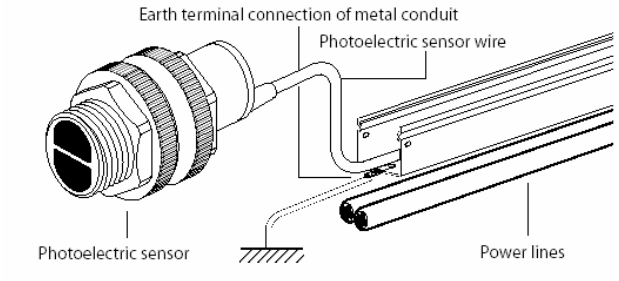


عملكرد سنسورهاي فتوالكتريك

در سلول هاي فتوالكتريک با پارامترهاي خاصي سروكار داريم برخي از اين پارامترها عبارتند از :

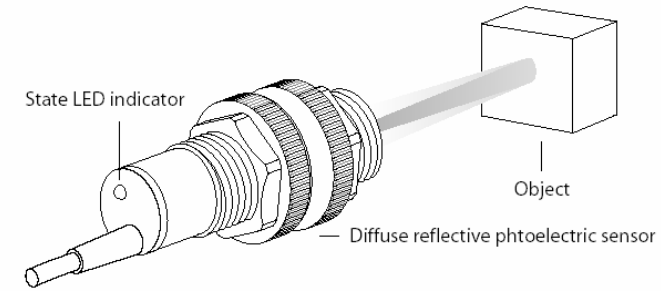
1- فاصله آشكارسازي : فاصله اي كه شيء در آن فاصله احساس و درک مي شود . (شرايط استاندارد ولتاژ تغذيه , رطوبت و انعكاس)
2- موضوع آشكارسازي : چيزي كه سنسور مي تواند آن را آشكار كند.
3- فاصله عمل : مسافتي كه بين سنسور و شيء متحرک روي محور نوري وجود دارد.
4- فاصله قطع : فاصله اي كه پس از آن سنسور نمي تواند شيء را آشكار كند.
5- محورنوري:محوري كه سلول فتوالكتريک درمركز آن قراردارددودرآن محدوده عمل ميكند.
6- زاويه هدايت : زاويه اي كه بين منتشر كننده و گيرنده و منعكس كننده نور وجود دارد.
7- سرعت آشكارسازي: تعداد عمل در ثانيه است.هنگامي كه زمان قطع و وصل واحدخروجي بيشتر از آن باشد , سنسور قادر به تفكيک و تشخيص نخواهد بود.

8- محيط عمل چراغ:به شعاع عملكردمنبع نورلامپ تحت شرايط استانداردگفته ميشود.
9- ولتاژ مجاز واحد خروجي : ولتاژي كه در واحد خروجي براي سنسور فتوالكتريک مورد استفاده قرار مي گيردو به جريان بستگي دارد.
10- جريان مجاز واحد خروجي ک جريان مورد استفاده در كنترل خروجي تحت شرايط استاندارد (ولتاژ مجاز , فركانس قطع و وصل و طول عمر) گفته مي شود.
11- واحدپرتاب نور:اين واحدشامل منبع توليد نوروعدسي هاي كانوني دهنده است.
12- قسمت گيرنده نور : شامل سيستم اپتيكي و مبدل فتوالكتريک است .
13- شعاع اختلاف عملكرد : مسافت ميان عملكرد و توقف عملكرد مجددرا نشان ميدهد.سلول فتوالكتريک ممكن است بصورت انعكاس هم عمل كند, يعني منبع نوروسلول گيرنده دركناريكديگر بوده و نور انعكاسي را احساس كند.

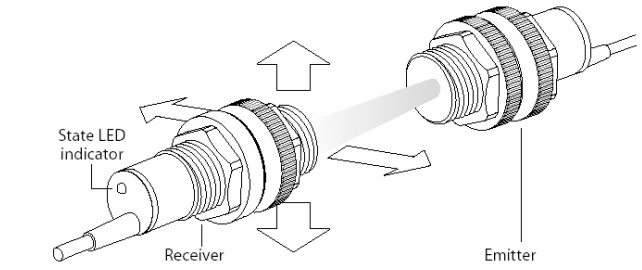


سنسورهاي نوري در سه نوع كلي طراحي و مورد استفاده قرار مي گيرند :

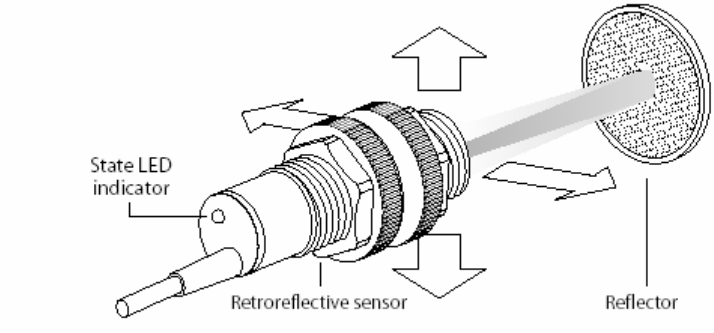
1- سنسور تشخيص يكطرفه

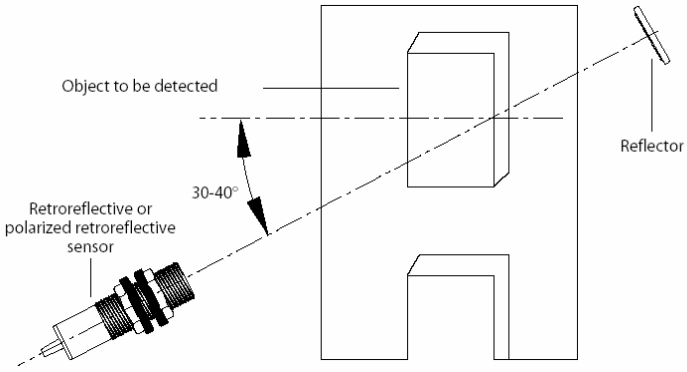


2- سنسور تشخيص دو طرفه

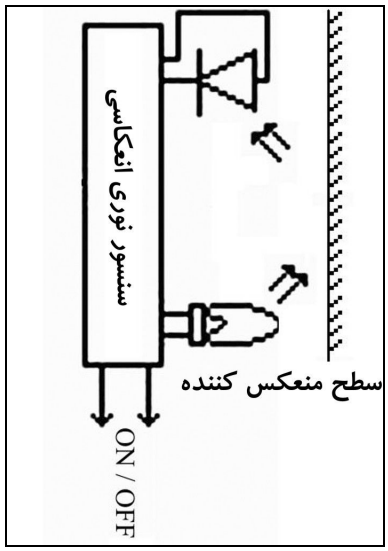


3- سنسور تشخيص رفلكتوري





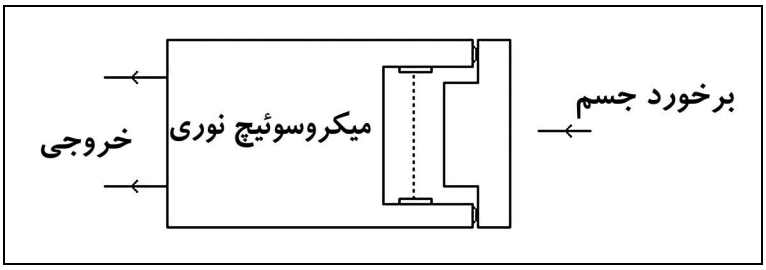
در سنسور نوري يكطرفه Diffuse توسط ديود مادون قرمز نور ارسال و توسط فتوترانزيستور نور دريافت مي شود . در اين سنسورها نور در فضا منتشر و هر گاه به مانعي برخورد نمايد منعكس شده و به گيرنده باز مي گردد . مقدار انعكاس بستگي به رنگ و جنس مانع دارد و به صورت مستقيم نمي باشد . انعكاس سطوح روشن بيشتر از سطوح تيره است و فاصله سوئيچينگ بستگي به ميزان انعكاس نور دارد . هر گاه مانعي در جلوي سنسور قرار گيرد و امواج منعكس شوند ، خروجي تغيير حالت خواهد داد . خروجي اين سنسورها نيز بصورت NO و NC مي باشد .
در سنسور هاي نوري رفلكتوري Retro – Reflective ، امواج مادون قرمز بصورت پلاريزه در محيط منتشر مي شوند . يك منعكس كننده در جلوي سنسور و در فاصله معيني از آن قرار مي گيرد . امواج ارسالي پس از برخورد به رفلكتور منعكس و با زاويه 90 درجه به سمت گيرنده ميروند . خروجي اين سنسورها بصورت Dark On و Light on ارائه مي شود .
در سنسورهاي نوري دوطرفه Thru – Beam فرستنده مادون قرمز در يك طرفه و سنسور گيرنده در طرف مقابل روبروي آن قرار داده مي شود .



سنسورهاي نوري انعكاسي

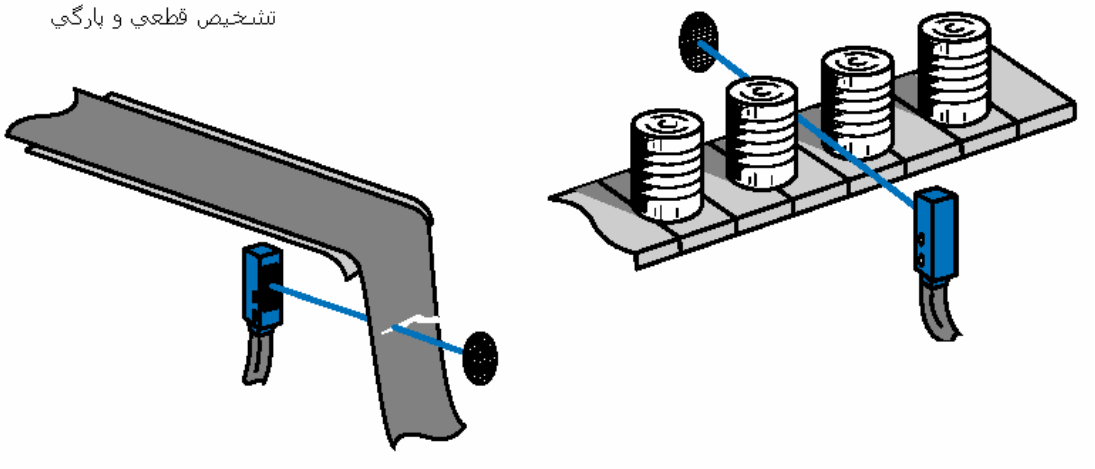
ميكروسوئيچ هاي نوري

اين سنسورها تركيبي از فتوترانزيستور و LED هستند كه در داخل يک مدار مجتمع ساخته مي شوند.

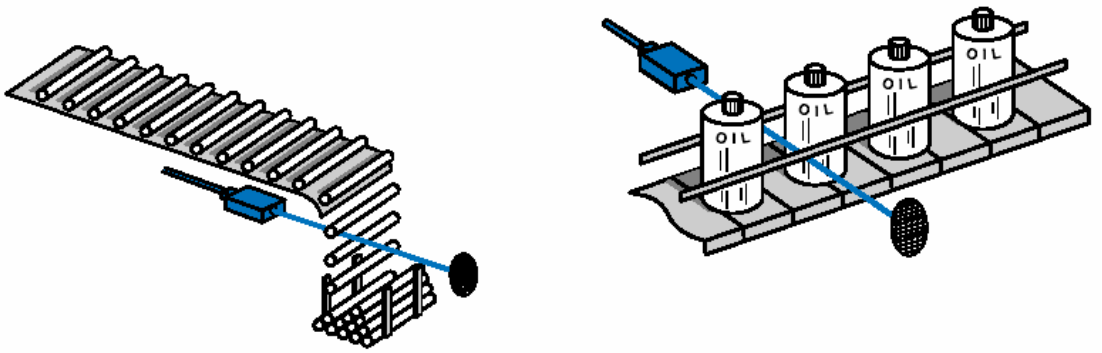


میکروسوئیچ نوري

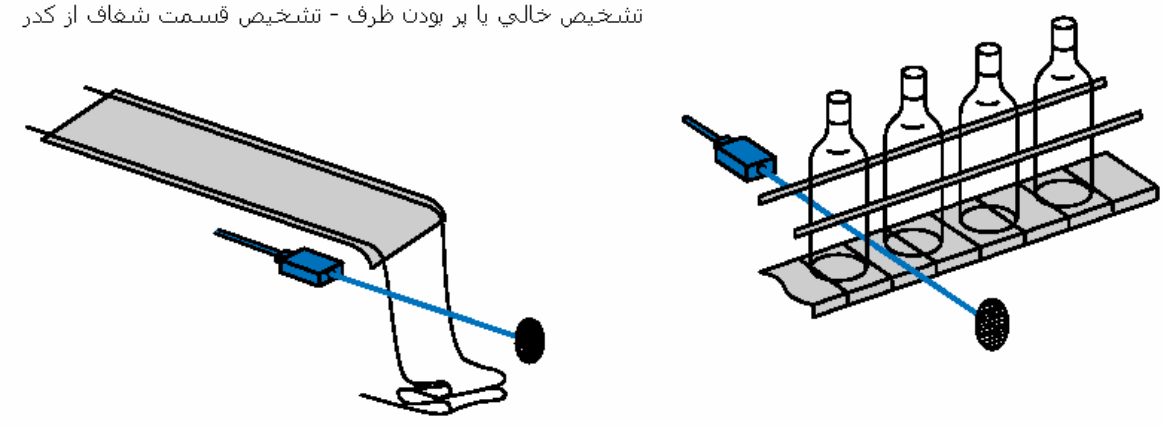
تشخيص قطعي و پارگي

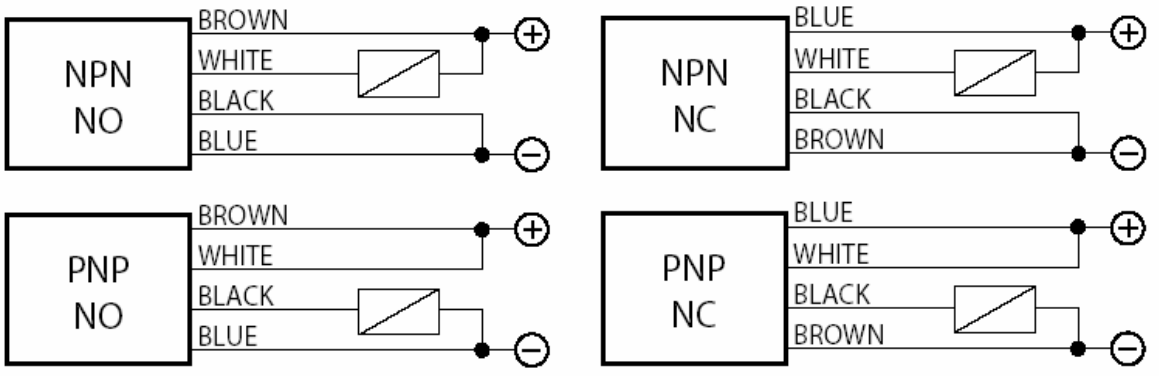


شمارش قطعات



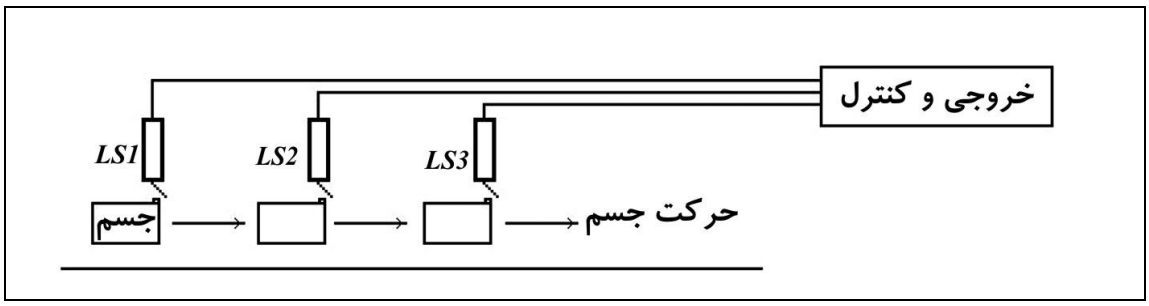
تشخيص خالي يا پر بودن ظرف - تشخيص قسمت شفاف از كدر





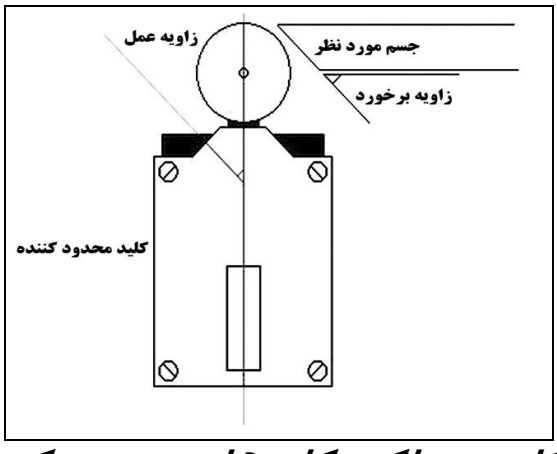
کلید محدود کننده (Limit Switch)

کلید محدود کننده (LS) یک نوع سنسور تماسي است که در مقابل نویز و ضربه مقاوم است . در درجه حرارتهاي بالا و رطوبت آسیب پذیر بوده و نیاز به حفاظت دارد. عامل باز دارنده در این کلیدها پاسخ کند و عمر کوتاه آنها است . زماني که از میکروسوئیچ براي تشخیص موقعیت استفاده مي شود یک سیستم ساده با دقت نسبتا" بالا براي کنترل دور موتور استفاده مي شود.

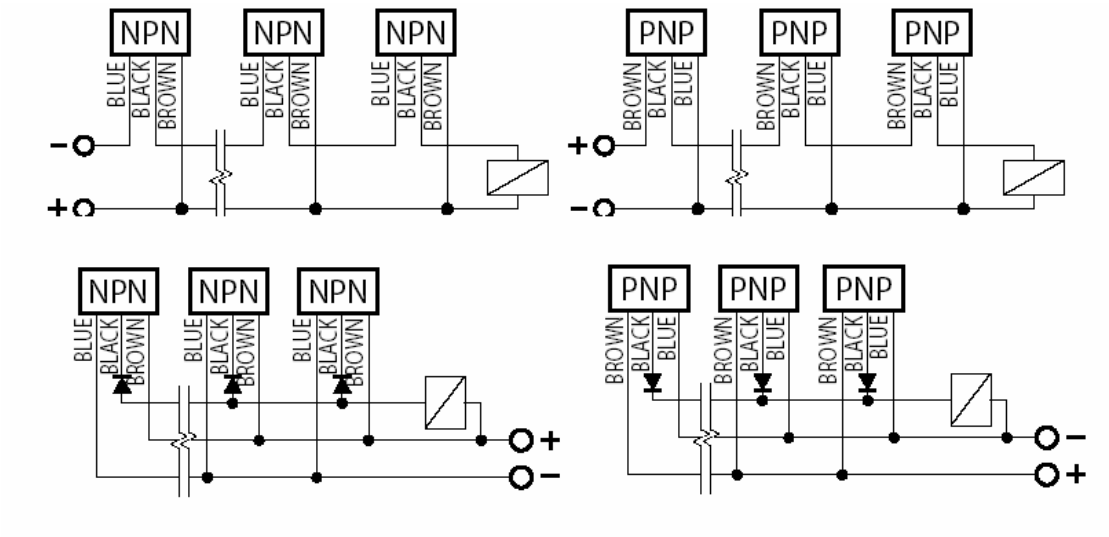


نمونه ساده اي از کاربرد کلیدهاي محدود کننده

کلیدهاي محدود کننده در جریانهاي مختلف 5,10,15 آمپر و بصورت تک و یا چند اتصالي ساخته مي شوند.از آنجائیکه کلیدهاي LS در نزدیکي اشیا ء متحرک نصب مي شوند و احتمال آسیب دیدگي آنها وجود دارد , هنگام سیم کشي و نصب آنها دقت لازم را مبذول دارید این سنسورها در عملکردهاي سریع و قطع و وصل هاي زیاد همچنین جریانهاي بالا مناسب براي استفاده نمي باشند.

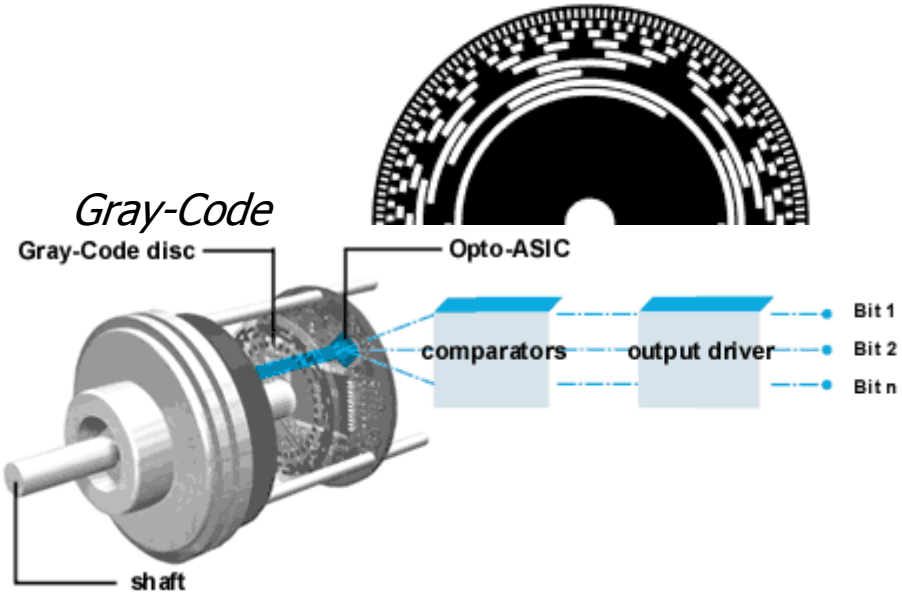


شکل و عملکرد کلیدهاي محدود کننده



3-2 مبدلهاي نوري

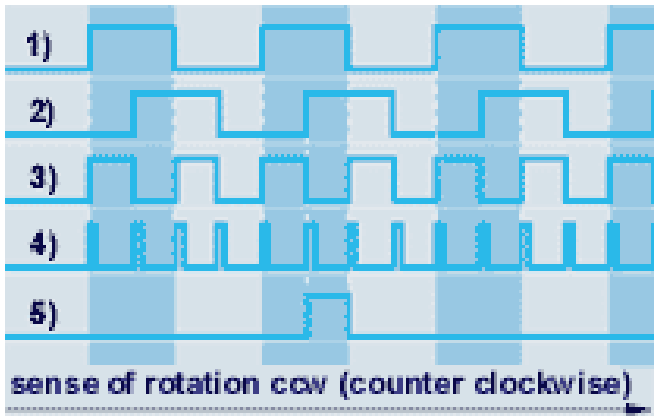
- دو نوع اصلي از مبدلهاي نوري: افزايشي[1] و مطلق[2] وجود دارد.
- مبدل نوري مطلق براي هر وضعيت (مو قعيت) از شفت يك جمله (كد) منحصر بفرد توليد ميكند. كد خروجي با توجه به پاترن موجود بر روي ديسك و تعداد ذوج آشكار كننده نوري ايجاد ميگردد.

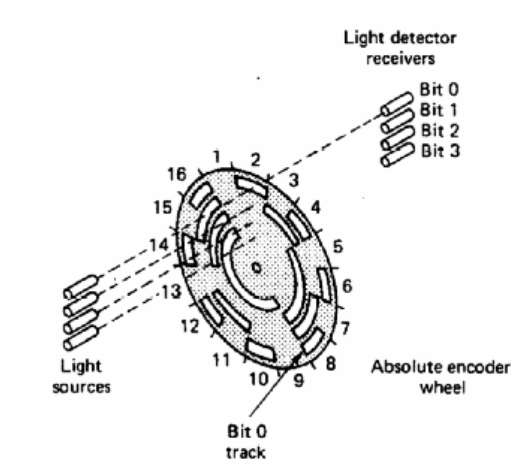


- خروجي آشكار كننده هاي نوري بسته به كد موجود برروي ديسك روشن (صفر) يا خاموش (يك) ميباشد. معمولاً مبدلهاي نوري از نوع مطلق براي مواردي كه وسيله مورد اندازه گيري براي مدت طولاني بيحركت و يا با سرعت كم (مثل تلسكوپ، جرثقيل و يا آنتن) ميباشد، بكار ميرود.

[1] Incremental
[2] Absolute

- مبدلهاي نوري مطلق ميتوانند با بسياري از كدهاي مختلف بكار روند اما متداولترين كدها كد گري كد باينري و يا كد BCD ميباشند. شكل زير يك نمونه از كد گري را نشان ميدهد.



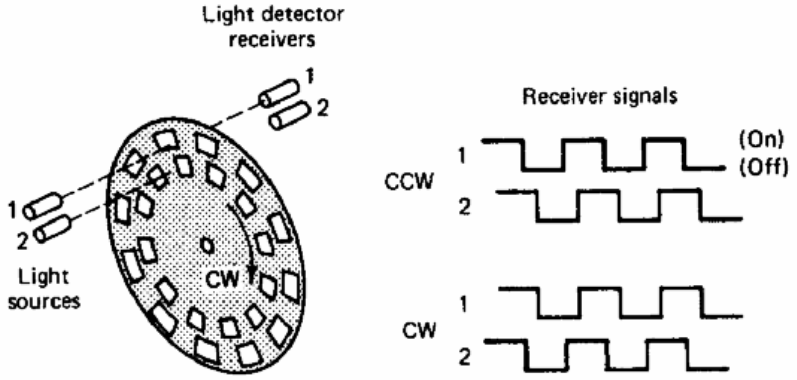


Code chart

Segment	Bit pattern			
	Bit 0	Bit 1	Bit 2	Bit 3
1	Off	Off	Off	Off
2	On	Off	Off	Off
3	Off	On	Off	Off
4	On	On	Off	Off
5	Off	Off	On	Off
6	On	Off	On	Off
7	Off	On	On	Off
8	On	On	On	Off
9	Off	Off	Off	On
10	On	Off	Off	On
11	Off	On	Off	On
12	On	On	Off	On
13	Off	Off	On	On
14	On	Off	On	On
15	Off	On	On	On
16	On	On	On	On

- مبدلهاي نوري افزايشي هر وقت كه شفت به مقدار تعيين شده اي مي چرخد يك پالس توليد ميكند.
- اين مبدل يك سري از پالس با فواصل مكانيكي مساوي و مشخص كه توسط حد تشخيص (رزولوشن) مورد نياز تعيين ميگردد، توليد ميكند.
- بعنوان مثال با يك مبدل كه دارا ي 1000 قسمت ميباشد ميتوان با دقت 0/36 درجه وضعيت شفت را تشخيص داد. در اين مبدل 100 پالس معادل 36 درجه و 150 پالس معادل 54 درجه خواهد بود. تعداد پالس در هر دور محدود به فواصل خطوط فيزيكي و كيفيت نور فرستنده ميباشد.
- يك نوع ساده تر از مبدل نوري افزايشي مبدل تاكومتر ميباشد. گاهي اوقات مبدل تاكومتر را مبدل نوري تك فاز يا تك شيار مينامند چون فقط يك خروجي دارد و با آن نميتوان جهت را تشخيص داد. يك نمونه از شكل موج خروجي و شيار هاي مربوطه در شكل زير نشان داده شده است.

- اطلاعات مربوط به سرعت را ميتوان با توجه به فاصله زماني بين پالسها و يا تعداد پالسها در يك محدوده زماني مشخص بدست آورد. وقتيكه فاصله زماني بين پالسها را مورد استفاده قرار ميدهيم مبدل بايد بتواند دقت خوبي در فاصله بين لبه تا لبه توليد كند.
- اغلب مبدلهاي افزايشي دو كانال خروجي دارند بطوريكه سيگنال خروجي اين دو كانال 90 درجه با يكديگر اختلاف فاز دارند. شكل زير يك نمونه از اين نوع مبدل را نشان ميدهد.



- اين مبدل خاصيت تشخيص جهت حركت را با توجه به تقدم و يا تاخر اين دو كانال به يكديگر را دارد. اگر مبدل يك كاناله در روي لبه بايستد خطا در شمارش اتفاق ميافتد.
- بدليل اينكه لرزش باعث عقب و جلو رفتن اين لبه ميگردد شمارنده با هر لبه بطور افزايشي خواهد شمرد اگرچه سيستم ثابت بنظر ميرسد. با استفاده از مبدل دو كاناله حتي در چنين حالتي با ملاحظه وضعيت كانال ديگر مي توانيم از خطا جلوگيري و جهت صحيح را نيز تشخيص دهيم.
- بمحض اينكه سيگنال كوادراچر آشكار شود مي توانيم پالس با پهناي ثابت و مشخص و تغيير لبه معين در خلال يك سيكل ايجاد نماييم. اين پالسها مي توانند توسط دو خط خروجي در خلاف يكديگر به يك شمارنده بالا-پايين و يا پورت ورودي قابل برنامه ريزي داده شوند. خيلي از سازندگان شمارنده و يا كامپيوترهاي شخصي يك مدار آشكار كننده (antijitter) اين نوع مبدلهاي نوري دو كاناله را نيز فراهم نموده اند. اين امكان استفاده از مبدل دو كاناله بدون نياز به مدارات اضافي را ميدهد.

يك نمونه از مدار آنتي جيتر در شكل زير نشان داده شده است. وضعيت A وقتيكه B اتفاق بيافتد مشخص ميكند كه آيا B باعث افزايش و يا كاهش شمارنده شود. ورودي Z براي ري ست كردن شمارنده به صفر بعد از هر دور كامل ميباشد.

- قبل از استفاده و يا هر گونه اتصال به مبدل نوري بايستي دقيقاً اطلاعات تهيه شده توسط سازنده را مطالعه نمود. براي اتصال نياز به ورودي جريان مستقيم DC و اتصال زمين ميباشد. خروجي انكودر معمولاً بصورت كلكتور باز (open collectgor) ميباشد. منطق پايين (صفر) بمعني اتصال كوتاه به زمين ميباشد و

منطق بالا (يك) باز ميباشد. پس بايد بنحو مناسب مقاومت pull-up از هر خروجي به ولتاژ منطبق با ولتاژ شمارنده و يا ميكرو كنترلر متصل نمود.

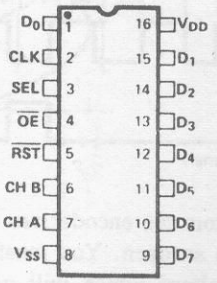
HEWLETT PACKARD

QUADRATURE DECODER/ COUNTER INTERFACE IC

HCTL-2000

Description

The HCTL-2000 is an HCMOS IC that performs the quadrature decoder, counter, and bus interface function. The HCTL-2000 is designed to improve system performance in digital closed loop motion control systems and digital data input systems. It does this by shifting time intensive quadrature decoder functions to a cost effective hardware solution. The HCTL-2000 consists of a 4x quadrature decoder, 12 bit binary up/down state counter, and 8 bit bus interface. The use of Schmitt triggered CMOS inputs and a 3 bit state delay filter allows reliable operation in noisy environments. The HCTL-2000 provides LSTTL compatible tri-state output buffers. Operation is specified for a temperature range from -40 to +85° C at clock frequencies up to 3.9 mHz.



PINOUT

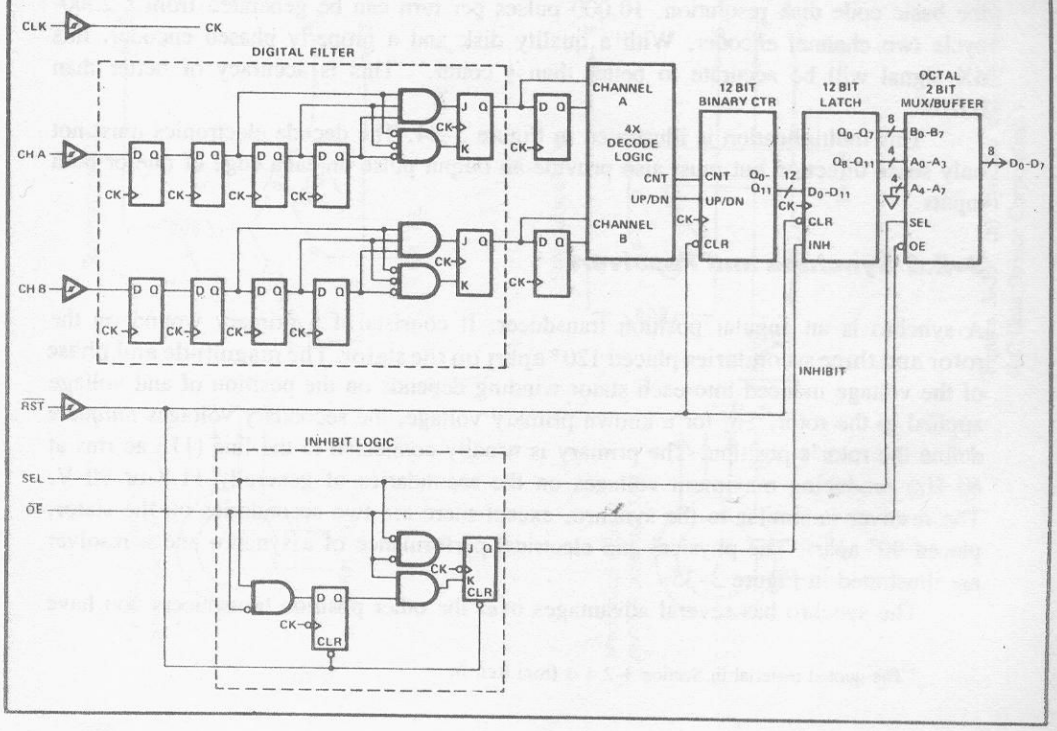
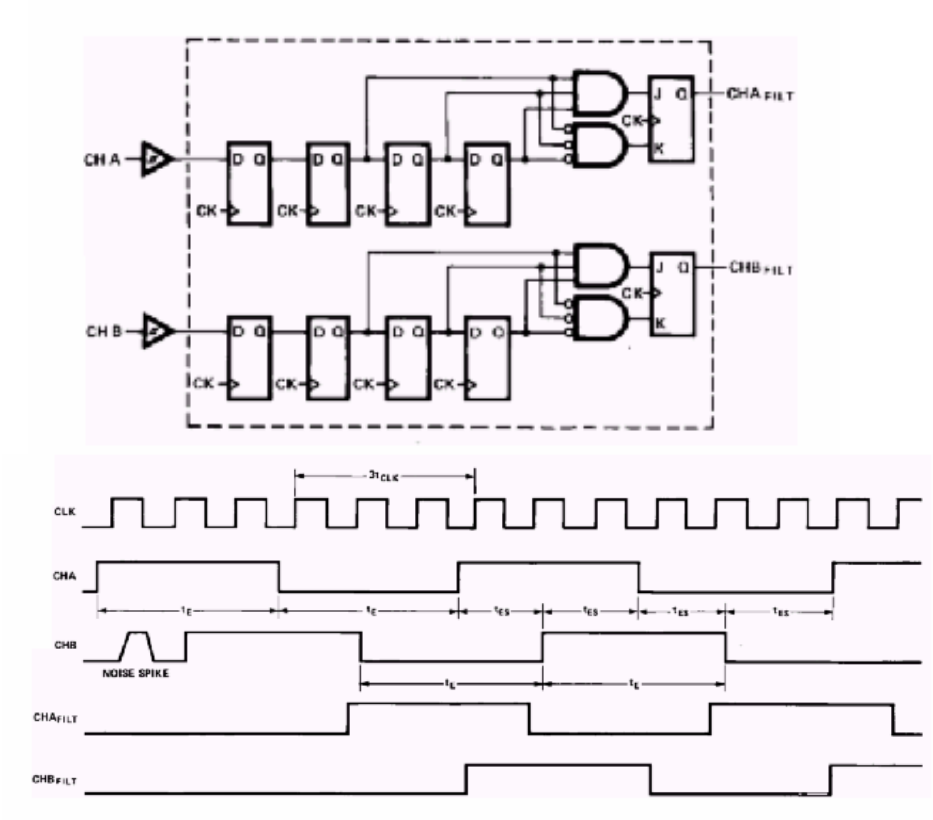


Figure 3–33 Antijitter circuit for quadrature encoder. (Courtesy of Hewlett-Packard.)

- عمل ضرب در شمارش شمارنده نيز توسط سيگنال خروجي و يا داخلي فراهم شده است. با آشكارسازي سيگنال quadrature مي توانيم مضارب 1 يا 2 يا 4 از تعداد شيارهاي موجود برروي ديسك را توليد نماييم. 10000 پالس را مي توانيم با استفاده از يك مبدل نوري 2500 پالس توليد نماييم. قابل ذكر است كه صحت اين سيگنال چهار

برابر شده معادل 0/5 شمارش است بطوريكه اين صحت بهتر از 0/018 درجه ميباشد.
شكل زير مدار مربوط حذف نويز در سيگنالهاي خروجي مبدل نوري را نشان ميدهد.

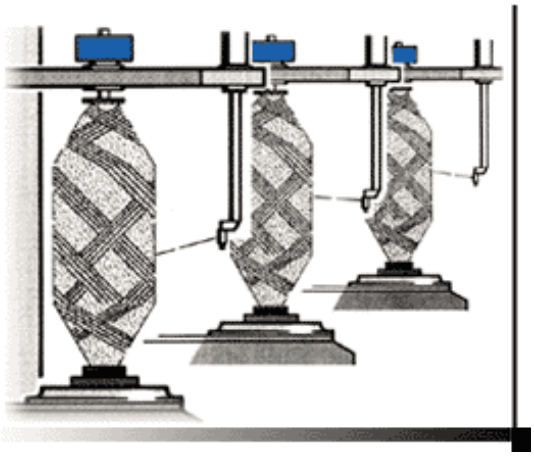


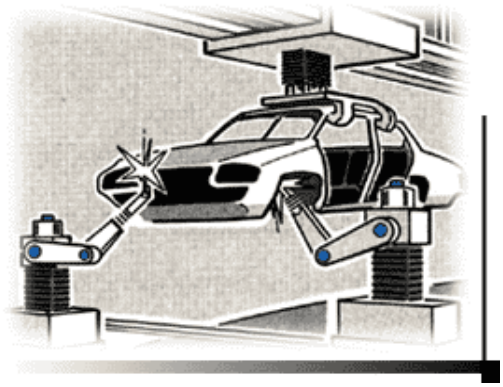
مزايا	معايب
دقت و صحت بيشتر	قيمت بالا
از دست نرفتن دقت درعمل تبديل جهت اتصال به كامپيوتر	ابعاد بزرگتر (مبدل مطلق با دقت بيشتر)
عدم خرابي بدليل اندازه گيري غير تماسي	

- قابل ذكر است كه در كاربرد هاي عملي انواع و اقسام بيشتري از مبدلهاي نوري متناسب با نيازهاي مختلف وجود دارد كه با مراجعه به سايتهاي اينترنتي سازندگان اين نوع مبدلها ميتوان اطلاعات خوبي رابدست آورد.
- بعنوان نمونه در بعضي از موارد نياز به مبدل نوري است كه بصورت مياني (راه در رو) به شفت سرو مكانيسم وصل شود كه اصطلاحاً به اين نوع مبدل Hollow Shaft Encoder ميگويند. شكل زير يك نمونه از اين نوع مبدل را نشان ميدهد.

- يكي ديگر از انواع مبدلهاي نوري نوع چند دور Multiturn ميباشد كه در شكل زير نشان داده شده است.

- كاربردهاي مختلف و بسيار زيادي براي مبدلهاي نوري در صنايع مختلف وجود دارد كه در ذيل فقط تعدادي از آنها بتصوير كشيده شده است.





5- مبدلهاي سيالات Fluid Transducers

مبدلهاي سيالات بر اساس پارامتر قابل اندازه گيري به سه دسته تقسيم مي شوند:

- فشار
- سطح
- جريان

كارخانجاتي كه به نوعي با سيالات سرو كار دارند بايستي قادر باشند حداقل يكي از اين سه مورد را اندازه گيري كنند.
مبدلهاي سيالات در كارخانجات مواد غذايي، دارويي، بهداشتي، شيميايي و در تمامي مراحل توليد نفت از مرحله اكتشاف، حفر چاه، تلمبه، خطوط انتقال و تصفيه، فروش كاربرد فراواني دارد.
مشاهد پارامترهاي مختلف و كنترل تمامي موتورها (engines) متكي به مبدلهاي سيالات ميباشند.

تمامي سيستمهاي هيدروليك كه در صنعت اتوماسيون وخطوط توليد بكار ميروند نيازمند كنترل فشار، جريان و سطح ميباشند.
مبدلهاي سيالات بطور گسترده اي در تمامي صنايع جهان بكار رفته است.

1-5 مبدلهاي فشار Pressure Transducers

فشار عبارتست از نيروي ايجاد شده توسط يك سيال در مقابل يك سطح مشخص. بنابراين واحد آن بصورت نيرو بر واحد سطح بيان ميگردد.

- فشار معمولاً در مقايسه با يك مرجع اندازه گيري ميشود. يك مرجع ميتواند خلاء كامل باشد. در يك خلاء كامل، فشار صفر است. بنابر اين فشار اندازه گيري شده نسبت به خلاء فشار مطلق ناميده ميشود. در اين حالت مبدل فشار بگونه اي طراحي شده است كه يك محفظه خلاء كامل تهيه و بطور كاملا از محيط بيرون ايزوله (آببندي) ميگردد.
- روش عمده ديگر بر اي بيان فشار استفاده از گيج فشار (*gage pressure*) ميباشد. گيج فشار، فشار را نسبت به فشار محيط اندازه گيري ميكند. در اين نوع فشار سنج ها محفظه مرجع با فضاي بيرون ارتباط كامل دارد.
- در روش سوم اندازه گيري فشار امكان استفاده از يك محفظه با فشار ديگر بعنوان فشار مرجع ميباشد. از آنجاييكه اختلاف فشار در سيستم مورد نظر اهميت دارد اغلب در سيستمهاي كنترلي از فشار سنج اختلافي (*differential pressure*) استفاده ميگردد.
- فشار در انتهاي يك ستون از مايع بستگي به ارتفاع آن ستون و چگالي مايع دارد.

$$p = \rho g h$$

بطوريكه ρ چگالي مايع
g ثابت تبديل جرم به وزن $981\ cm/s^2$
h ارتفاع ستون مايع

به اين فشار، فشار سر *head Pressure* ميگويند.
همانطور كه گفته شده فشار عبارتست از نيرو بر واحد سطح. واحد آن در سيستم متريك عبارتست ازنيوتن بر متر مربع N/m^2 كه به آن نيز پاسكال (*Pa*) گفته ميشود. واحد انگليسي عبارتست از پوند بر اينچ مربع $lb/in.^2$ كه بطور اختصار آنرا با *psia* براي فشار مطلق و *psig* براي فشار گيج يا *psid* براي فشار تفاضلي نشان ميدهند. براي تبديل خواهيم داشت:

$$1\ psi = 6.8948 \times 10^3\ Pa$$

ارتفاع ستون جيوه يا آب نيز بيانگر يك فشار مشخص است كه بعنوان واحد اندازه گيري فشار بكار ميرود.

$$1\,in.\,\text{of mercury (Hg)} = 3.386\times10^{3}\ Pa$$

$$1\,mm\ Hg = 133.32\ Pa$$

فشار سر ايجاد شده توسط يك ميليمتر جيوه نيز *torr* ناميده ميشود. اين واحد بطور گسترده اي در اندازه گيري فشار خلاء بكار ميرود.

$$1\,torr = 1\,mm\ Hg = 133.32\ Pa$$

از آنجاييكه آب داراي چگالي كمتري از جيوه است، فشار سر كمتري ايجاد ميكند.

$$1\,\text{in. of water (}H_2O\text{)} = 2.491\times10^{2}\ Pa$$

فشار استاندارد اتمسفري بنام ارتفاع از سطح دريا معروف است:

$$1\,atm = 760\,mm\ Hg = 1.01325\times10^{5}\ Pa$$

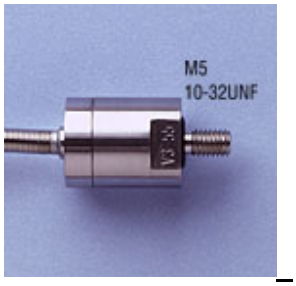
فشار بارو متري با واحد بار *bar* يا ميلي بار *millibar* اندازه گيري ميشود.

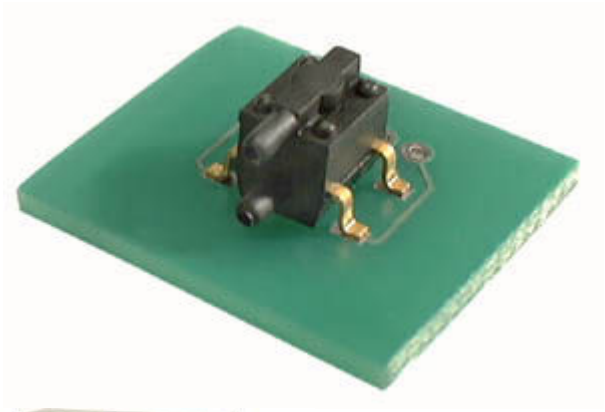
$$1\,bar = 1\times10^{5}\ Pa$$

روابط مربوط به واحدهاي ارائه شده در جدول زير خلاصه شده است:

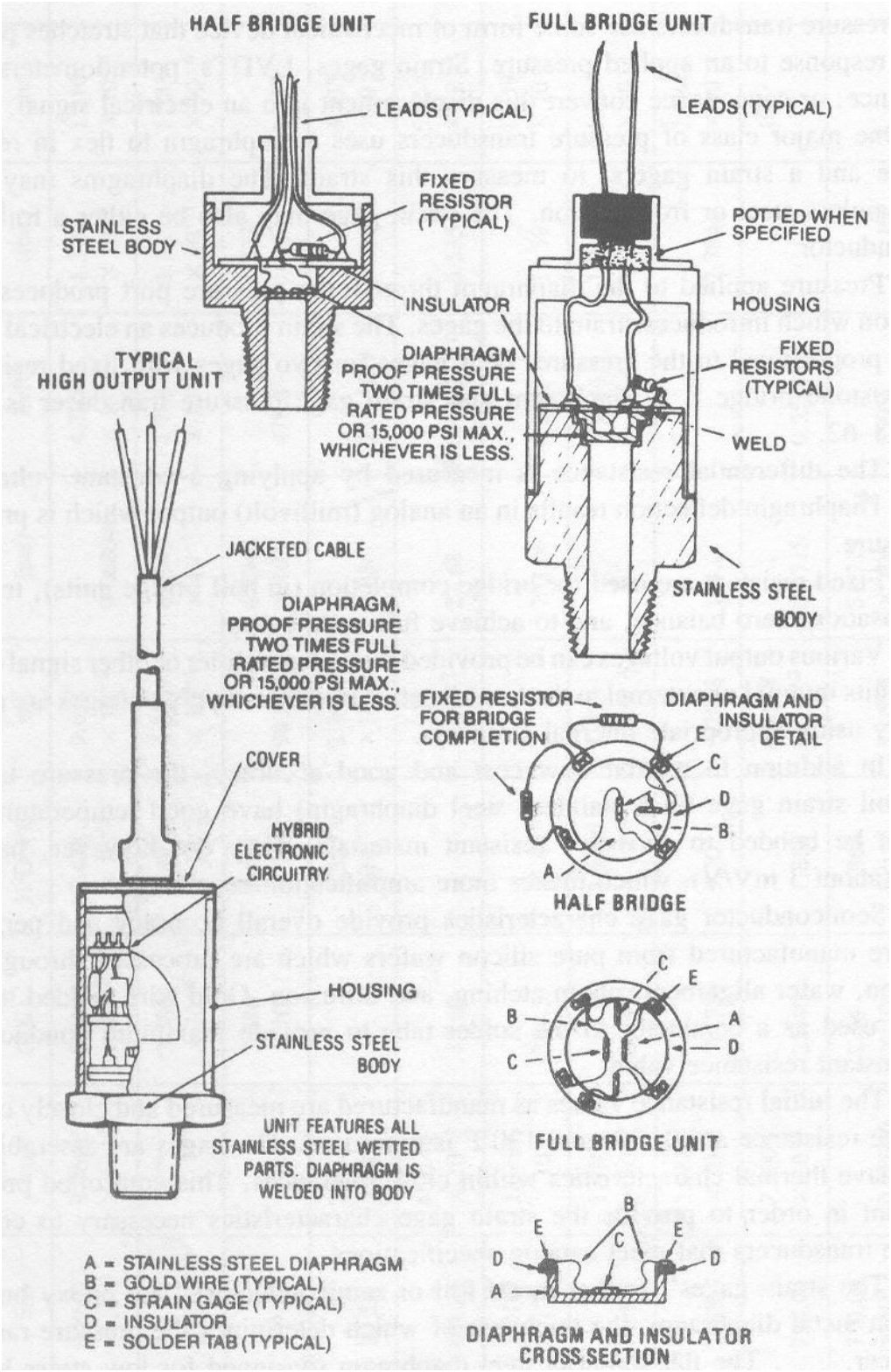
- در مبدلهاي فشار يك شكلي از وسايل مكانيكي كه بطور نسبي با فشار اعمالي كشش پيدا ميكنند بكار رفته است.

تنش سنج، LVDT ، پتانسيومتر، اندوكتانس متغير يا خازن اين كشش و در اصل جابجايي را تبديل به سيگنال الكتريكي ميكنند.

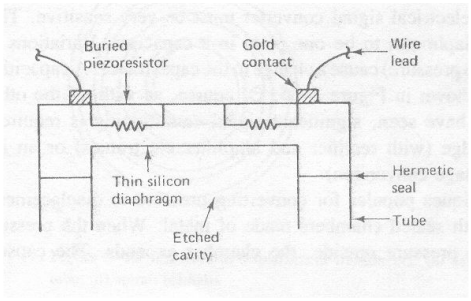




يك دسته اصلي از مبدلهاي فشار از يك ديافراگم كه در برابر فشار قابليت ارتجاعي دارد و به يك كرنش سنج متصل است، استفاده مي شود. اين ديافراگم ميتواند از جنس فولادي يا سيليكوني باشد. كرنش سنج نيز ميتواند از جنس شبكه فويل يا يك نيمه هادي باشد.
فشار وارده به ديافراگم يك تغيير و يا انحراف كوچكي در آن ايجاد مينمايد كه اين تغيير توسط كرنش سنج آشكار ميگردد. ميتوان از چهار و يا دو كرنش سنج و دو مقاومت ديگر در پل وتستون استفاده نمود. شكل زير يك ديافراگم و كرنش سنج را نشان ميدهد.

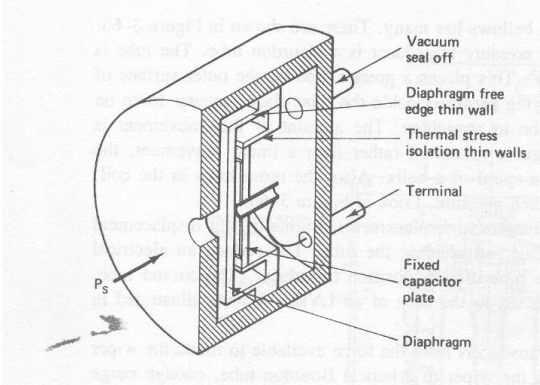


- مقاومت هاي ثابت براي تكميل پل بكار ميروند در اين حالت جبران حرارتي و تعادل صفر براي دستيابي به رنج كامل حتماً بايستي صورت پذيرد.
- چون خروجي اين نوع مبدلهاي معمولا در حدود چند ميلي ولت ميباشد لذا سيگنال خروجي بايستي تقويت گردد كه بهمين دليل در برخي از مبدلهاي فشار مدارات داخلي براي تقويت سيگنال و پردازش سيگنال بكار ميرود.
- گيج هاي نيمه هادي داراي دقت و كارآيي به نسبت خوبي هستند. آنها از ويفر خالص سيليكون ساخته ميشوند. جهت ساخت آنها از مراحل Oxidation, wafer alignment, photo etching, and diffusion تشكيل ميگردد. در اين نوع مبدلها سيمهايي از جنس طلا به دليل هدايت بالا و ضريب مقاومتي ثابت به انتهاي كرنش سنج لحيم ميگردد.
- كرنش سنج هاي فويل فلزي و يا نيمه هادي بطريقه ريختگي بر روي يك ديافراگم فلزي كه ضخامت آن ميزان رنج فشار را تعيين ميكند قرار ميگيرند.
- مواد بكار رفته در بدنه مبدل و ديافراگم بايستي داراي يك ضريب حرارتي باشند تا در مقابل تغيير دماي محيط كرنش حرارتي ايجاد نگردد.
- د رصورت استفاده از ديافراگم از نوع piezoresistive و ديفيوز نمودن كدنش سنج نيمه هادي در آن حساسيت يا گيج فاكتور بالاتر (تقريباً 100 برابر)خواهيم داشت. سيليكون هر گز بصورت دائمي كشش پيدا نميكند. پس از اعمال نيرو به حالت اول خود بر ميگردد. شكل زير مقطع يك مبدل فشار پيزو رزيستيو رانشان ميدهد.

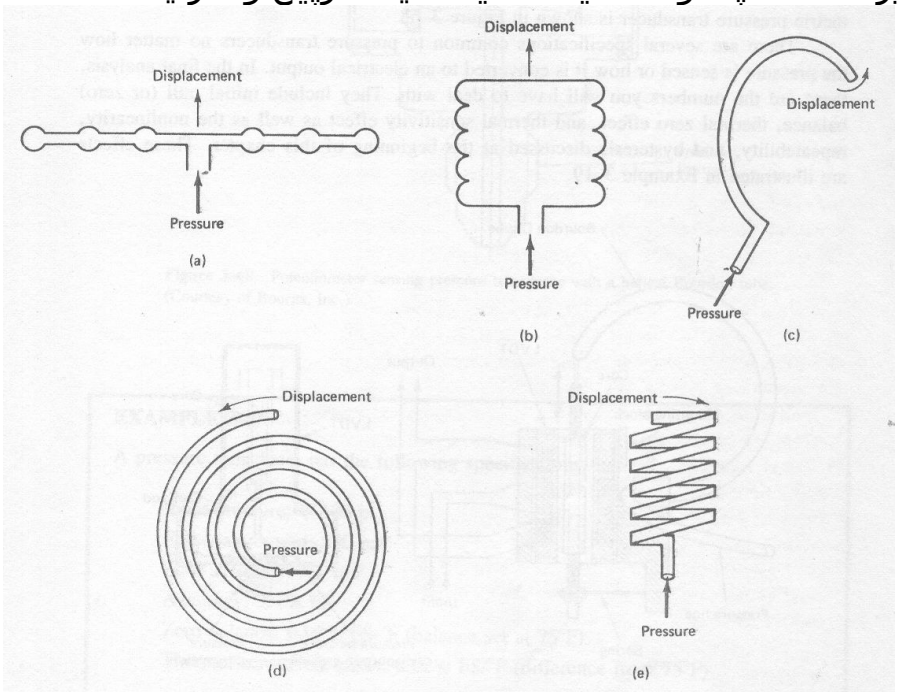


روشهاي ديگر اندازه گيري فشار كه در اصل فشار تبديل به تغيير مكان ميگردد.

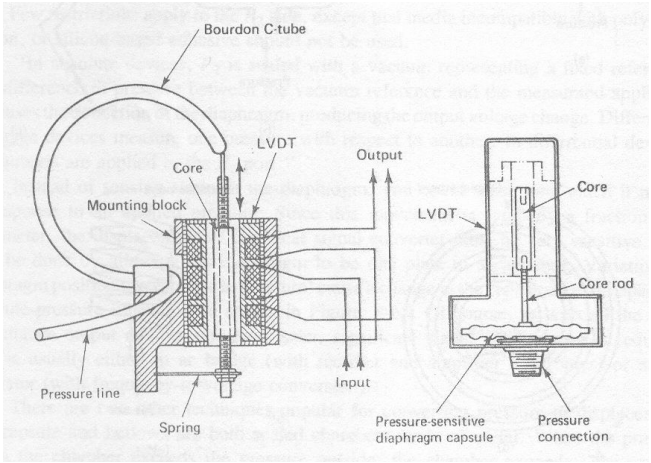
- روش خازني



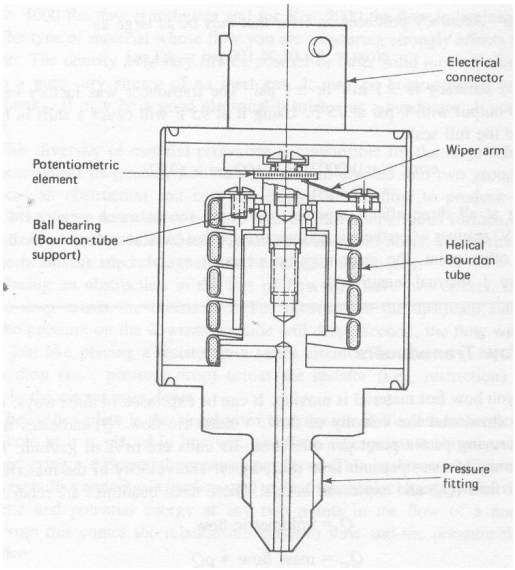
روشهاي تغيير مكان: كپسول، دميدن، ميله اي، مارپيچ و فنري



بعنوان مثال در روش ميله اي ميتوان با استفاده از يك LVDT تغيير مكان را اندازه گيري نمود.



در فشارهاي بالاتر بگونه ايكه فشار اعمال شده قابليت به چرخش در آوردن يك پتانسيومتر را دارد ميتوان از پتانسيومتر استفاده نمود.



در مبدلهاي فشار مشخصات استاتيكي مشتركي وجود دارد كه ربطي به روش اندازه گيري فشار ندارد و آنها عبارتند از: مقدار اوليه صفر، حساسيت به حرارت، غير خطي بودن قابليت تكرار (دقت)، و هيستريزيس كه در مثال 19-3 بحث خواهد شد.

مثال 19-3

EXAMPLE 3–19

A pressure transducer has the following specifications:

Input pressure: 0–100 psi
Full-scale output: 100 mV
Zero accuracy: ±1 mV
Accuracy: ±1% FS
Zero balance: 0.02% FS/°F (balance set at 75°F)
Thermal sensitivity effect: 0.02% FS/°F (difference from 75°F)

Assuming that the transducer is used at 95°F, calculate the error introduced by accuracies, thermal zero effect, and the thermal sensitivity effect.

Solution Accuracy produces an error that *may* be as large as

$$\text{error} = \pm 0.01 \times 100\ \text{psi} = \pm 1\ \text{psi}$$

The zero accuracy is ±1 mV or ±1 psi. The transducer was factory calibrated for zero output with 0 psi at 75°F. Using it at 95°F will cause a shift in both the zero and the full scale.

$$\text{error} = \pm 0.0002/°\text{F} \times 100\ \text{psi} \times (95°\text{F} - 75°\text{F})$$
$$= \pm 0.4\ \text{psi}$$

Looking at all three effects together, you may see as much as a ±1.4 psi (or ±1.4 mV) reading when there is no pressure applied (zero accuracy + zero balance). At any other point, the error may be as much as ±1.4 psi (or ±1.4 mV) off (accuracy + thermal sensitivity).

مبدل نيرو يكي از مهمترين مبدلهاي مورد نياز در كاربردهاي سرومكانيسم و پروسس كنترل ميباشد. بطوريكه يك شاخه كاملاً مجزا مهندسي جهت تعيين ميزان نيروهاي اعمالي به قسمتها و قطعات مختلف يك ماشين صنعتي و يا وسيله نقليه تاسيس شده است.

- اندازه گيري دقيق نيروها اجازه طراحي ماشينهاي مختلفي از جمله خودرو و فضا پيما كه

1. سبكتر،
2. كارآتر،
3. قابل اطمينان تر، و
4. ارزانتر كه در مجموع داراي راندمان بالاتري ميباشند را بما ميدهد.

- همچنين قابليت اندازه گيري نيرو اين اجازه را ميدهد تا مقادير پارامترهايي را كه اندازه گيري مستقيم آنها سخت ميباشد، اندازه گيري نمود.

در يك ميدان با شتاب ثقل ثابت، اندازه گيري نيرو عبارت است از اندازه گيري كميت مواد موجود يا جرم آن. بنابراين مبدلهاي نيرو مي توانند هم براي اندازه گيري وزن و يا مقدار مواد موجود در يك مخزن (سطح) بكاررود.
فشار يك پارامتر كليدي در سيستمهاي بادي و هيدروليكي ميباشد و عبارت است از نيرو بر واحد سطح. بنابراين روشهاي اندازه گيري نيرو اغلب براي اندازه گيري فشار بكار ميروند.
مبدلهاي نيرو نيز براي اندازه گيري جريان (فلو) نيز بكار ميروند.
تعيين ميزان نيروي بكاررفته به يك جرم معين، مشخص كننده شتابي است كه به جرم وارد ميگردد. بنابراين اندازه گيري نيرو مشخص كننده شتاب يك وسيله نقليه خواهد بود.

$$F = ma$$

$$v = \int a dt \qquad \text{يا} \qquad a = \frac{dv}{dt}$$

سرعت انتگرال شتاب است و نيز موقعيت انتگرال سرعت است.

$$x = \int v dt \qquad \text{يا} \qquad v = \frac{dx}{dt}$$

پس با داشتن يك شتاب سنج و يك كامپيوتر، مي توان شتاب، سرعت و نيز موقعيت وسيله نقليه را بدست آورد.
نيروي اعمال شده به يك فنر مستقيماً متناسب است با ميزان فشردگي فنر يا تغير مكان آن.

$$F = kx$$

بطوريكه k ثابت فنر ميباشد. اندازه گيري نيرو وارده به يك فنر و يا ايجاد شده توسط فنر به نوعي اندازه گيري تغيير مكان در يك سيستم جرم فنر ميباشد.

1-3 تنش و كرنش *Stress and Strain*

- رابطه بين تنش و كرنش يكي از مفاهيم اصلي علم مكانيك و مواد است و بسيار مورد توجه تحليل گران تنش ميباشد.
- وقتيكه نيرويي به يك جسم وارد ميگردد، آن جسم تغيير شكل ميدهد. بطور كلي اين تغيير شكل كرنش يا Strain ناميده ميشود.

پس بنابراين واژه كرنش strain را بمعناي تغيير شكل در واحد طول يا تغييرات جزيي در طول ميگيريم و آنرا با ε نمايش ميدهيم.

- كرنش مي تواند
  - انبساطي tensile / positive و يا
  - انقباضي compressive / negative باشد.

با توجه به شكل زير خواهيم داشت:

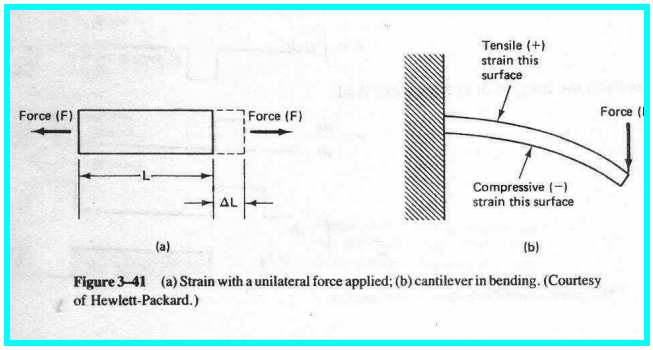


Figure 3–41 (a) Strain with a unilateral force applied; (b) cantilever in bending. (Courtesy of Hewlett-Packard.)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

مشاهده ميگردد كه كرنش يك نسبت است و بنابراين بدون ديمانسيون ميباشد. اما گاهي اوقات با واحد in./in. نمايش داده ميشود. براي اغلب فلزات كرنش بروشهاي عملي اندازه گيري شده و نوعاً در حد in./in. 0/005 ميباشد. از آنجاييكه مقادير عملي كرنش خيلي كوچك هستند، با واحد ميكرو كرنش microstrain كه عبارتست از $\varepsilon * 10^6$ و بصورت με نشان داده مي شود بيان ميگردد(دقت داشته باشيد كه اين معادل يك قسمت در يك ميليون يا ppm ميباشد).
بعنوان مثال: in./in. 0/005 برابر است با 5000με ويا 0/5%

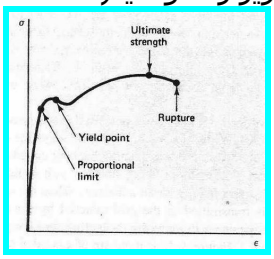
- نيرو و كرنش كه مقادير قابل اندازه گيري است توسط طراحان و تحليل گران تنش بكار ميرود بگونه ايكه واژه تنش براي مقايسه بار هاي اعمالي به مواد مختلف و قابليت آنها در مقابل تحمل آن بار بكار ميرود. از آنجاييكه معمولاً كوچك و سبك نگاه داشتن ماشين ها و ساختار آنها مورد نياز است، قطعات و قسمتهاي مختلف ماشين ميبايستي تا نهايت توان تحملي خود كرنش را تحمل نمايند.
- تنش Stress اشاره به نيرو بر واحد سطح در يك جسم مسطح دارد.

و واحد آن نيرو بر واحد سطح ميباشد.

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad 3\text{-}9$$

حال كه تعريف كرنش و تنش مشخص شده است ميبايستي رابطه بين تنش و كرنش را مورد مطالعه قرار دهيم.
با استفاده از رابطه بين كرنش و تنش ميتوان با اندازه گيري كرنش ميزان تنش را محاسبه نمود.

- اگر ميله اي از جنس فولاد نرم داشته باشيم و آنرا تحت بار تك محوره قرار دهيم و بطور تدريجي بار آنرا افزايش دهيم و منحني كرنش را نسبت به تنش stress-strain در جهت بار اعمال شده رسم نماييم شكل زير را خواهيم داشت



دياگرام كرنش – تنش در يك ميله فولادي

بطوريكه مشهود است تا نقطه ايكه حد نسبي *proportional limit* ناميده ميشود تقريباً يك رابطه خطي بين كرنش و تنش وجود دارد. اين رابطه توسط قانون هوك Hook's law تعريف ميگردد.

- شيب اين قسمت از خط مستقيم عبارتست از ماجول الاستيسيتي *modulus of elasticity (E)* يا ماجول يانگ براي مواد.

E واحدي شبيه به واحد تنش (نيرو بر واحد سطح) دارد و بطور تجربي وعملي براي مواد مختلف تعيين ميگردد. اين شيب خط را ميتوان بصورت رابطه زير بيان نمود.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \qquad 3\text{-}10$$

دو نقطه مورد توجه ديگر در دياگرام تنش - كرنش وجود دارد:

1. نقطه تسليم *Yield point* و
2. مقدار قدرت نهايي تنش *ultimate strength*.

- نقطه حصول ميزان سطح تنشي است كه در آن نقطه، كرنش شروع به افزايش شديد پيدا ميكند در حاليكه كمي و يا هيچ افزايشي در تنش نخواهد بود. اگر ماده ايكه تحت تنش زير نقطه حصول قرار گرفته و اين تنش رها شود، ماده به حالت و اندازه اصلي خود برنخواهد گشت اما در خود يك مقدار كرنش را حفظ ميكند.
- نقطه توان نهايي تنش، ماگزيمم تنشي است كه ماده تا قبل از خرابي تحمل ميكند.

3-5 مبدلهاي سطح مايعات

- دانستن ميزان مواد موجود در يك مخزن يكي از پر كاربردترين مصارف صنعتي ميباشد.
- سرريز يك مخزن ميتواند باعث حادثه خيلي خطرناك و يا پر هزينه اي شود. و يا بالعكس، در موقع پمپ از يك مخزن خالي ممكن است خسارت جبران ناپذيري به پمپ وارد آيد. و يا حتي ممكن است باعث خرابي در موقع خالي بودن يك لوله كه عمل جذب حرارت را انجام ميدهد، شود.
- همچنين در كاربردهاي مواد غذايي و دارويي كه ميبايستي يك مقدار مشخصي از مواد مختلف با هم تركيب شوند تشخيص دقيق ميزان مواد موجود در مخازن بسيار مهم ميباشد.

بعضي مواقع سيالي كه سطح آن در يك مخزن اندازه گيري ميشود هموژن نميباشد. بعنوان مثال ميتواند پودر، ذرات ريز و يا غلات باشد. موادي كه سطح آنها در مخزن مورد نظر است، ممكن است براي مصارف غذايي و يا مواد شيميايي خورنده و خطرناك باشند. مواد ميتوانند در موقع ريختن در مخزن بصورت مخروطي در آيند و يا در موقع ريزش ايجاد موج نمايند. در اينصورت بايستي در انتخاب روش اندازه گيري سطح دقت خاصي صورت پذيرد.

- مبدلهاي سطح به دو دسته عمده پيوسته و ناپيوسته تقسيم ميشوند.
- در مبدلهاي پيوسته اندازه گيري سطح بطور دقيق و در تمام ارتفاع مخزن مورد نظر ميباشد.

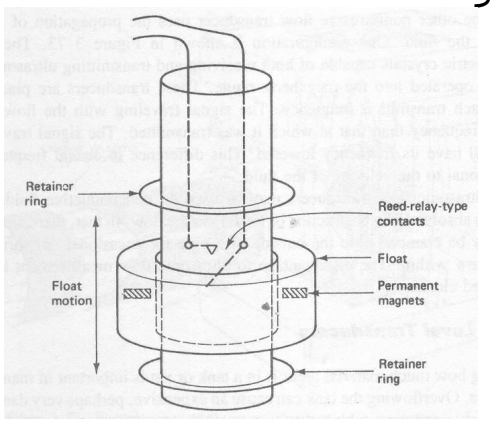
مبدلهاي ناپيوسته:

- اما در بعضي مواقع فقط مشخص نمودن يك حدي از ارتفاع كه ميتواند خطر ساز شود مورد نظر است كه معمولاً در اين مواقع از نوعي سوئيچ استفاده ميگردد. اين نوع ارتفاع سنجي كه در اصل ناپيوسته ميباشد بسيار ساده تر از نوع پيوسته ميباشند.

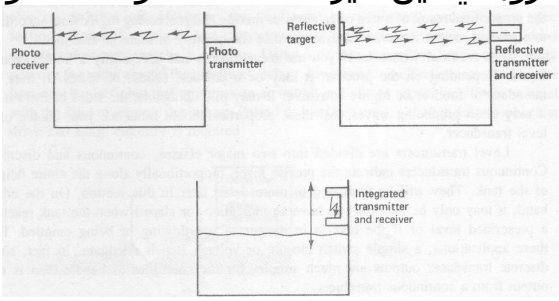
در شكل زير سوئيچ شناور كه بعضي مواقع NO و بعضي مواقع NC ميباشد، نشان داده شده است. اتصالات شبيه به اتصالات درون رله ها ميباشند. آنها ضمن اينكه توسط فنر حمايت ميشوند، از جنس مغناطيسي ميباشند و وقتي يك مغناطيس به سمت بالاي آنها حركت ميكند، ميدان مغناطيسي با كشيدن اتصالات باعث بسته شدن و يا باز شدن آنها ميگردد. اين اتصالات درون يك لوله غير آهني آببندي شده اند. يك مغناطيس دائم درون شناور قرار داده شده كه متناسب با حركت سطح نيز بالا و

پايين ميرود. دو حلقه retainer جهت محدود كردن حركت شناور به سمت بالا و پايين بكار رفته است.
اتصالات اين كنترل كننده ارتفاع ميتوانند

- به ولتاژ مستقيم جهت تحريك كنترل كننده هاي قابل برنامه ريزي و يا
- ولتاژ غير متناوب 220 ولت جهت بصدا در آوردن زنگ اخبار يا فعال نمودن عمل كننده ها متصل شوند.



- آشكار سازي نوري ميتواند در صورتيكه خواص مواد درون مخزن مانع از انتشار نور گردد مورد استفاده قرار گيرد. چندين نوع ساختار ممكن ارتفاع سنج با استفاده از آشكار كننده هاي نوري در شكل زير نشان داده شده است.
- فرستنده نوري اغلب از نوع ديود مادون قرمز با لنز و امكانات مناسب جهت برقراري ارتباط با گيرنده ميباشد.
- گيرنده متشكل از يك ترانزيستور حساس به نور و فيلتر نوري كه فقط طول موج نور ارسالي را دريافت ميكند، ميباشد. اين فيلتر باعث كاهش خطاي ناشي از نور محيط ميگردد. وقتي كه سطح پايين تر از سنسور است، نور به گيرنده ميرسد و ترانزيستور نوري اشباع ميگردد كه در خروجي صفر منطقي خواهيم داشت. وقتي كه سطح در مخزن نور فرستنده را مانع شود، ترانزيستور نوري به حالت قطع رفته و در نتيجه در خروجي يك منطقي خواهيم داشت.
- علاوه بر ولتاژ مستقيم تغذيه ميتوان با استفاده از مقاومت پول آپ بين ترانزيستور نوري (در حالت كلكتور باز) و هر ولتاژ دلخواه ديگر براي يك منطقي داشته باشيم.
- گيرنده هايي نيز وجود دارد كه بجاي ترانزيستور نوري از تريستور حساس به نور استفاده ميكنند. خروجي اين گيرنده ها 220 ولت متناوب ميباشد.



- نصب گيرنده و فرستنده متمركز كه از يك صفحه انعكاس دهنده استفاده ميكند ساده تر ميباشد يعني اگر صفحه انعكاس دهنده به اندازه كافي بزرگ باشد تنظيم گيرنده و فرستنده آسانتر خواهد بود. در اين نوع از نظر سيم كشي نيز راحتتر خواهد بود.

- استفاده از فرستنده و گيرنده بصورت مجتمع قابليت انعطاف بيشتري را فراهم ميكند. اگر آنها رابر روي يك نگهدارنده وصل كنيم براحتي ميتوان در قسمتهاي مختلف مخزن نصب و در صورت نياز بدون نياز به تنظيمات مجدد آنرا جابجا نمود.
- بطور كلي آشكاركننده هاي نوري سطح داراي طول عمر بيشتري نسبت به سوئيچ ها دارند چون در آنها هيچ قسمت مكانيكي وجود ندارد. اما يك اشكال اساسي با اين نوع ارتفاع سنج ها اين است كه مايع حتماً بايستي مانع از عبور نور گردد كه اين مسئله كاربرد آنها را محدود ميكند.

- اندازه گيري انتقال حرارت نيز ميتواند جهت آشكار نمودن وجود مواد درون يك مخزن بكاررود. يك سنسور دماي مقاومتي كه تحريك شده است و انتقال حرارت فقط از طريق هوا منتقل مي شود گرماي بيشتري را حس ميكند نسبت به موقعي كه مايعي اطراف سيم حرارت را گرفته باشد كه انتقال حرارت سريعتر و راحتتر و در نتيجه اثر خود گرمايي كمتر خواهد بود.

مبدلهاي پيوسته:

- در بعضي كاربردها تنها كافيست كه بدانيم كه مايع بالاتر و يا پايين تر از يك سطح مورد نظر است. اما در بعضي موارد نياز است كه بطور دقيق ارتفاع مواد داخل مخزن را بدانيم كه اين مسئله نياز به مبدل پيوسته را مشخص ميكند. راههاي مختلف و بسار متنوعي براي اندازه گيري دقيق ميزان مواد موجود در يك مخزن وجود دارد كه در اين قسمت به پنج مورد آن اشاره خواهيم نمود.

1. فشار در قسمت تحتاني يك مخزن بطور مستقيم بستگي به ارتفاع مواد سيال داخل مخزن دارد.
2. اما وزن مخزن مستقل از جنس مواد (سيال يا جامد) درون آن بستگي به ارتفاع مواد دارد.
3. ميتوان از سيستم شناور براي دنبال كردن سطح سيال استفاده نمود و از آنطريق پتانسيومتر و يا شيري را بحركت در آورد.
4. براي مواد عايق الكتريكي يا جامد، ميتوان با استفاده از مخزن و يك الكترود يك خازن بزرگ بسازيم.
5. آشكاركننده هاي اولتراسونيكي، شبيه آنچه كه در اندازه گيري طول و سيستم تنظيم خودكار دوربين هاي عكاسي بكار ميرود، ميتوانند براي آشكار سازي فاصله سطح مايع بكار روند.

در بخشهاي قبلي ديديم كه فشار در انتهاي يك ستون از مايع متناسب است با ارتفاع آن ستون:

$$p = \rho g h$$

بطوريكه ρ چگالي مايع

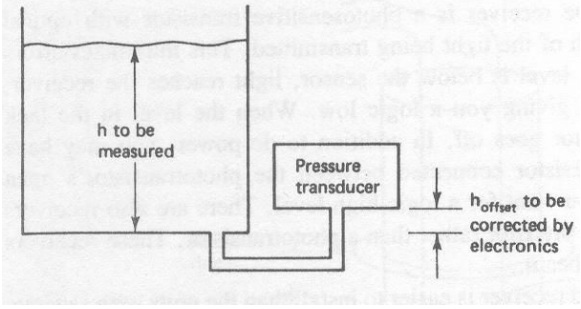
g ثابت تبديل جرم به وزن $981\ cm/s^2$

h ارتفاع ستون مايع

به اين فشار، فشار سر *head Pressure* ميگويند.

بنابراين با اندازه گيري فشار انتهاي يك مخزن ميتوان سطح مايع داخل مخزن را اندازه گيري نمود. اما بايد توجه نمود كه در اين روش چندين فرض موجود است كه بايستي مورد توجه قرار بگيرند.

- اول اينكه، براي گرفتن نتيجه ثابت و پايدار مايع بايستي داراي شكل واحد (uniform) باشد. به عبارت ديگر چگالي بايست ثابت باشد.
- دوم اينكه، فشار قرائت شده مربوط به ارتفاع بالاي مبدل فشار ميباشد. بنابراين اگر به هر دليلي قادر به نصب سنسور در انتهاي مخزن نيستيد بايستي در مدارات الكترونيكي و يا محاسبات كامپيوتري مقدار آفست را نيز منظور كنيم. اين مسئله در شكل زير نشان داده شده است.

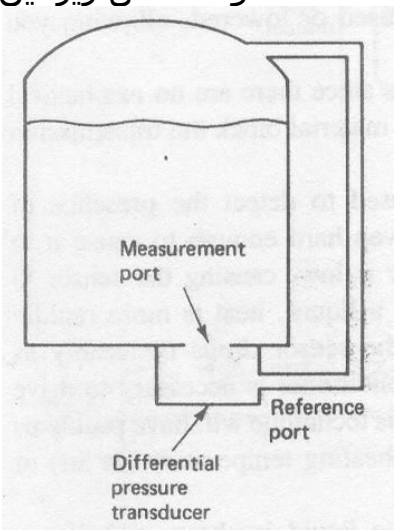


- بالاخره، آخري چيزي كه بايست دقت نمود در صورت استفاده از فشار سنج براي اندازه گيري سطح، ميزان فشار بالاي مخزن ميباشد. اگر مخزن باز است و فشار آن فشار اتمسفر است فرمول بالا صحيح است و ميتوان از يك مبدل فشار كه فشار نسبت به محيط را اندازه گيري ميكند استفاده نمود. اما اگر مخزن بسته است، فشار انتهاي مخزن نه تنها بستگي به فشار سر دارد بلكه به فشار بالاي مخزن نيز بستگي دارد يعني:

$$p_{bottom} = \rho g h + p_{top}$$

$$h = \frac{p_{bottom} - p_{top}}{\rho g}$$

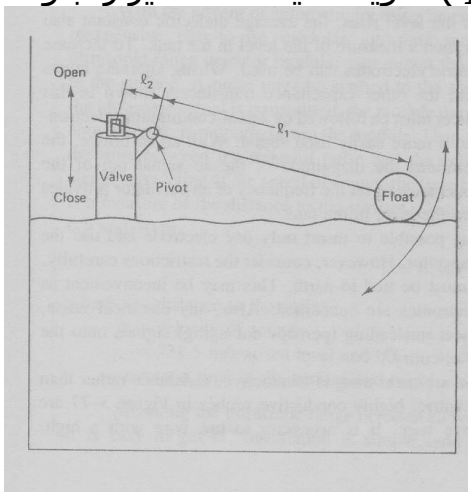
براي انجام اين محاسبه بطور اتوماتيك، ميتوان از يك فشار سنج تفاضلي با فشار مرجع متصل به بالاي مخزن استفاده نمود. شكل زير اين روش را نشان ميدهد.



- يك اندازه گيري واقعي از ميزان مواد موجود داخل مخزن، اندازه گيري وزن مواد درون مخزن ميباشد. اين روش براي انواع مواد، مايع، جامد و يا تركيبي از آنها

هيچ فرقي نميكند و كارآيي خوبي دارد. در اين روش مخزن ميبايستي بطور كامل و تنها به يك و يا تعدادي لودسل متصل گردد.

- در حالتي كه از چند لودسل استفاده ميگردد بايستي مطمئن شد كه وزن بطور يكسان بين لود سل ها تقسيم شده است يا از يك مدار الكترونيكي جهت جمع مقادير اندازه گيري شده توسط لود سل ها استفاده نمود.
- همچنين نياز به يكسري پردازش سيگنال جهت تنظيم خروجي به صفر براي وقتيكه مخزن خالي است ميباشد.
- در بعضي از پياده سازيها در كنار كرنش سنج فعال و واقعي بايستي از يك كرنش سنج مجازي (dummy) استفاده نمود كه جهت كاليبراسيون ميتوان با پر كردن و خالي كردن مخزن منحني مورد نياز را بدست آورد.
- شايد يكي از شايع ترين استفاده از ارتفاع سنج استفاده از يك سيستم كنترلي متشكل از شير و شناور داخل مخزن سيفون توالتها ميباشد. اساس كاركرد چنين سيستمي در شكل زير نشان داده شده است. يك شناور همراه با سطح آب داخل مخزن سيفون بسمت بالا و پايين حركت ميكند. اين حركت شناور توسط يك لولا شير را كنترل مينمايد.
- وقتيكه سطح آب پايين است، شناور نيز پايين بوده و در نتيجه شير بسمت بالا يعني وضعيت باز حركت ميكند. بمحض اينكه سطح آب بالا ميآيد بهمان نسبت شير بسته تر ميگردد. بازوي شناور بگونه اي طراحي شده است كه نيروي شناور را با نسبت (l_1/l_2) تقويت ميكند تا شير را بتوان براحتي باز و بسته نمود.



- براي يك سيستم كنترلي پيچيده تر ميتوان بجاي شير از يك پتانسيومتر خطي لغزشي استفاده نمود و يا با استفاده از يك مكانيزم گيربكسي ميتوان حركت بالا و پايين را تبديل به حركت چرخشي نمود تا بتوان يك پتانسيومتر دوراني را به چرخش در آورد. در چنين سيستمي سيگنال خروجي متناسب با سطح، داراي ولتاژ مستقيم بالايي ميباشد كه براي نمايش و يا كنترل سطح بسيار مناسب و راحت ميباشد.
- بعلاوه چنين سيستمي ساده، ارزان و قابل اطمينان نيز ميباشد.
- اما از معايب اين سيستم محدود بودن رنج حركتي شناور، و نصب در درون مخزن ميباشد. كه در بعضي مواقع و كاربردهاي خاصي نصب آن داخل مخزن غير ممكن است. همچنين پتانسيومتر ميبايستي بخوبي آببندي و از نفوذ مايع به آن جلوگيري نمود.

- ظرفيت خازني يك خازن با صفحات موازي برابر است با:

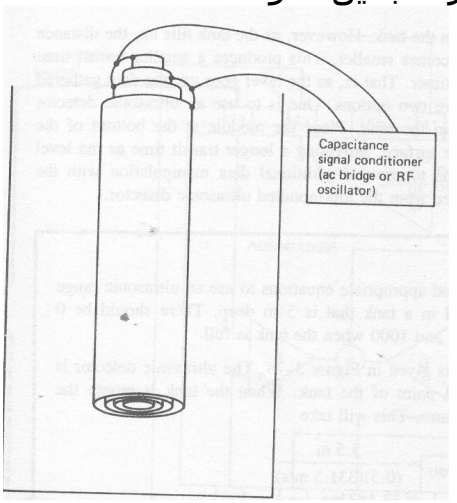
$$C = \frac{A\varepsilon}{d}$$

كه C = ظرفيت خازن
A = سطح مقطع صفحات
ε = ثابت دي الكتريك
d = فاصله صفحات از يكديگر

- ضريب دي الكتريك هوا تقريباً يك ميباشد، در حاليكه ضريب دي الكتريك آب بيشتر از 80 و يا بعضي مواد جامد داراي ضريب دي الكتريك 10000 ويا بالاتر ميباشند. اين تغيير شديد ضريب دي الكتريك در مواد مختلف ميتواند جهت اندازه گيري ارتفاع بكار رود.

به پروب بكار رفته در مخزن در شكل زير دقت كنيد. هرچه مايع داخل مخزن بالاتررود متوسط ضريب دي الكتريك نيز متناسب با ارتفاع تغيير ميكند. براي بالا بردن خاصيت خازني ميتوان از پروب با چندين لايه هم مركز بطوريكه صفحات يك در ميان به يكديگر متصل شده اند (بدينترتيب سطح بيشتري حاصل ميگردد) استفاده نمود.
مثل ديگر مبدلهاي خازني، سيگنال خروجي اين مبدل نيز بايستي با استفاده از مدارات پردازشگر الكترونيكي به شكلي مناسبتر و قابل استفاده تر تبديل گردد.

- با استفاده از يك پل متناوب اندازه ظرفيت خازن تعيين كننده دامنه سيگنال متناوب خروجي پل خواهد بود.
- با استفاده از مدار اسيلاتور ميتوان تغيير ظرفيت خازن را به فركانس متناسب با ارتفاع مايع داخل مخزن تبديل نمود.



- اگر مخزن از نظر الكتريكي هادي باشد ميتوان از آن بعنوان يك پروب استفاده نمود و پروب ديگر را داخل مخزن قرار داد. كه در اينصورت مخزن ميبايستي بدلايل ايمني به زمين متصل گردد كه اين مسئله ممكن است از نقطه نظر مدارات پردازشگر الكترونيكي مورد علاقه نباشد. همچنين هر نويز الكتريكي، حلقه زمين يا اتصالات تصادفي صدماتي را به تانك و يا مدارات پردازشگر و سيستم هاي كنترلي وارد كند.

- اگر مايعي كه ارتفاع آن مورد نظر ميباشد از نظر الكتريكي هادي باشد، از اثر مقاومت به جاي خازن ميتوان استفاده نمود. در شكل زير پروب هاي با قابليت هدايت بالا با دو سيم مقاومتي با مقاومت بالا تعويض شده اند. لازم است كه سيم داراي پايداري بالا و مقاومت دقيق در واحد طول باشد. هر قدر كه سطح بالا ميآيد، طول اتصال كوتاه شده سيم هاي درون مخزن بيشتر ميگردد كه خود

باعث كاهش مقاومت سيم ميگردد. پس بنابراين مقاومت بطور معكوس متناسب با سطح خواهد بود. اين روش در تعيين ارتفاع جيوه در يك مانومتر يا دستگاه فشار سنج خون معمول است.

- با اختراع تنظيم خودكار لنز دوربين عكاس توسط فاصله يابهاي اولتراسونيكي و كاربرد وسيع آنها اين ابزار بطور ماجولار قابل تهيه و استفاده راحت ميباشد. براي اندازه گيري سطح با استفاده از يك ماجول فاصله ياب اولتراسونيكي، بايستي اين دستگاه در بالاي مخزن بطوريكه به سمت پايين هدف گيري شده است نصب شود.

- جهت اندازه گيري بايستي ابتدا از يك پالس آماده سازي جهت ارسال توسط فرستنده اولتراسونيك استفاده نمود. پس از ارسال پالس و برگشت اكو و دريافت آن توسط گيرنده، پالس ديگري توسط فرستنده فرستاده خواهد شد. با استفاده از يك شمارنده بايستي زمان بين ارسال پالس و دريافت اكو آنرا اندازه گيري نمود. چون سيگنال اولتراسونيك با سرعت صوت حركت ميكند، زمان بين ارسال و دريافت به نوعي معادل فاصله سطح ميباشد. فاصله قابل اندازه گيري به اين روش بايستي در حد 0/5 تا 10 متر باشد.

$$d = \frac{1}{2} vt$$

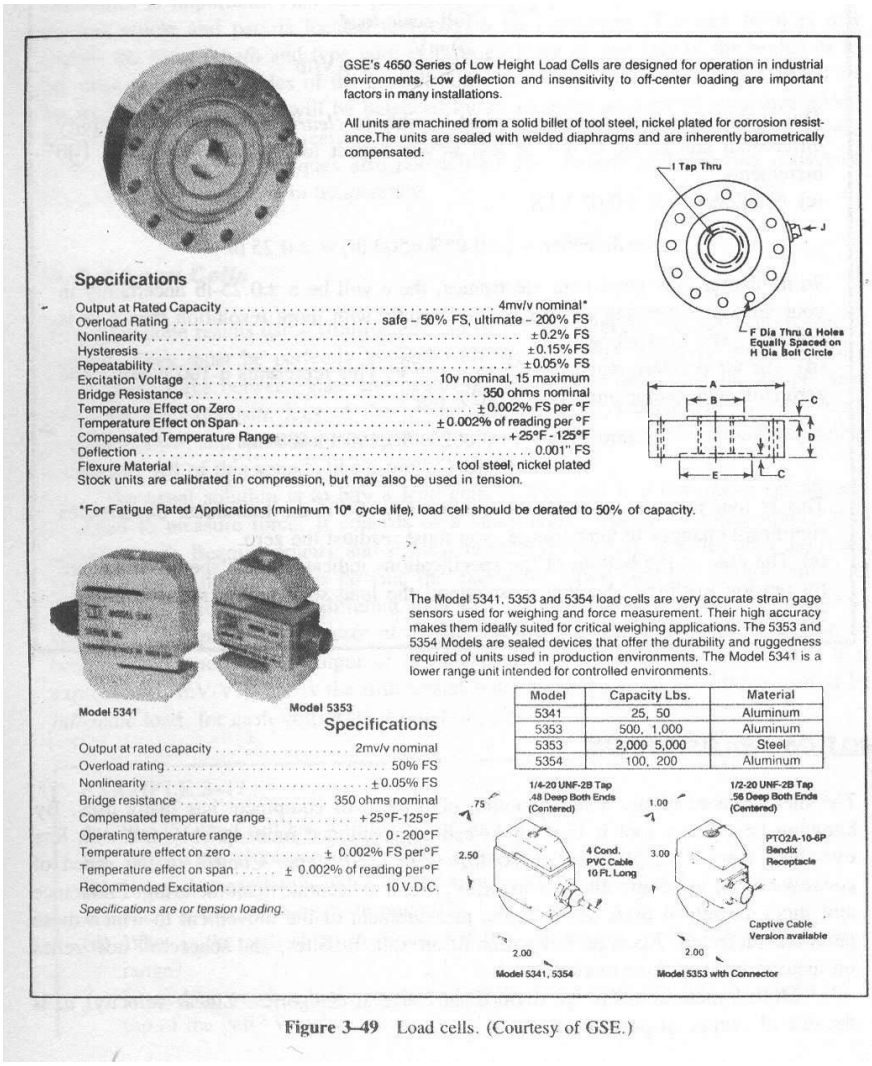
بطوريكه d = فاصله سطح
v = سرعت صوت = 331/5 متر بر ثانيه
t = زمان رفت و برگشت سيگنال

نصب سيستم اولتراسونيك در بالاي مخزن كار بسيار ساده ايست و نيازي به آببندي آن در مقابل اثرات ناشي از مواد داخل مخزن نميباشد. اما، وقتيكه مخزن پر ميشود فاصله بين سطح و سنسور كمتر ميگردد. اين موضوع باعث زمان كوچكتر و در نتيجه شمارش كمتر شمارنده ميگردد كه اين خود ميتواند باعث خطاي بيشتر در فاصله هاي كمتر گردد.

4-3 نيرو سنج Load Cells

در موقع استفاده از كرنش سنج وقتي ميتوان بهترين نتيجه را گرفت كه آنها را بنحو صحيح و مناسبي مورد استفاده قرار دهيم.

- كرنش سنجها بايستي دقيقاً در راستاي نيروي اعمالي نصب شوند.
- چسب بكار رفته بايستي بتواند بطور كامل نيروي وارد بر ميله يا قسمت فلزي را به كرنش سنج منتقل كند.
- بدنه فلزي بايستي بگونه اي باشد تا نيروي فشاري و كرنشي در دو طرف آن ايجاد كند
- مشخصه هاي فيزيكي بدنه فلزي ميبايستي كاملاً شناخته شده باشد.
- اتصال لحيم به دو سر كرنش سنج بايستي داراي مقاومت يكسان و قابل صرفنظر كردن باشد.
- در نتيجه راحتترين روش استفاده از كرنش سنج هاي جهت نيرو سنجي خريد لودسل ميباشد.



GSE's 4650 Series of Low Height Load Cells are designed for operation in industrial environments. Low deflection and insensitivity to off-center loading are important factors in many installations.

All units are machined from a solid billet of tool steel, nickel plated for corrosion resistance.The units are sealed with welded diaphragms and are inherently barometrically compensated.

I Tap Thru

J

F Dia Thru G Holes Equally Spaced on H Dia Bolt Circle

A B C D E C

Specifications

Output at Rated Capacity	4mv/v nominal*
Overload Rating	safe – 50% FS, ultimate – 200% FS
Nonlinearity	±0.2% FS
Hysteresis	±0.15%FS
Repeatability	±0.05% FS
Excitation Voltage	10v nominal, 15 maximum
Bridge Resistance	350 ohms nominal
Temperature Effect on Zero	±0.002% FS per °F
Temperature Effect on Span	±0.002% of reading per °F
Compensated Temperature Range	+25°F - 125°F
Deflection	0.001" FS
Flexure Material	tool steel, nickel plated

Stock units are calibrated in compression, but may also be used in tension.

*For Fatigue Rated Applications (minimum 10^8 cycle life), load cell should be derated to 50% of capacity.

Model 5341 Model 5353

The Model 5341, 5353 and 5354 load cells are very accurate strain gage sensors used for weighing and force measurement. Their high accuracy makes them ideally suited for critical weighing applications. The 5353 and 5354 Models are sealed devices that offer the durability and ruggedness required of units used in production environments. The Model 5341 is a lower range unit intended for controlled environments.

Model	Capacity Lbs.	Material
5341	25, 50	Aluminum
5353	500, 1,000	Aluminum
5353	2,000 5,000	Steel
5354	100, 200	Aluminum

Specifications

Output at rated capacity	2mv/v nominal
Overload rating	50% FS
Nonlinearity	±0.05% FS
Bridge resistance	350 ohms nominal
Compensated temperature range	+25°F-125°F
Operating temperature range	0 - 200°F
Temperature effect on zero	± 0.002% FS per°F
Temperature effect on span	± 0.002% of reading per°F
Recommended Excitation	10 V.D.C.

Specifications are ror tension loading.

1/4-20 UNF-2B Tap .48 Deep Both Ends (Centered)

1/2-20 UNF-2B Tap .56 Deep Both Ends (Centered)

.75 1.00 2.50 3.00

4 Cond. PVC Cable 10 Ft. Long

PTO2A-10-6P Bendix Receptacle

Captive Cable Version available

2.00 2.00

Model 5341, 5354 Model 5353 with Connector

Figure 3–49 Load cells. (Courtesy of GSE.)

يك لودسل مبدلي است با طراحي خاص و ويژه جهت اندازه گيري نيرو. لودسل شامل بدنه فلزي ميباشد كه تعدادي كرنش سنج (معمولاً چهار تا) به آن متصل شده است.

- جهت استفاده از لودسل تنها ميبايست منبع تغذيه مناسب آنرا تهيه و خروجي آنرا با استفاده از تقويت كننده هاي ابزاردقيق تفاضلي تقويت تا جهت ذخيره در حافظه كامپيوتر و يا نمايش بر روي نمايشگر آماده گردد.
- همانطوريكه در شكل بالا مشاهده ميگردد مشخصات مختلفي براي لودسل ارائه شده است اما مهمترين آنها ميزان ولتاژ خروج به ازاء بار قابل تحمل لودسل (Output at rated capacity) ميباشد به اين مشخصه باختصار نيز حساسيت گفته ميشود كه با واحد ميل ولت بر ولت *mV/V* نمايش داده ميشود.
- اين ولتاژ خروجي تفاضلي بوده كه توسط پل و با اعمال بار كامل براي هر ولت ولتاژ تغذيه ايجاد ميگردد.

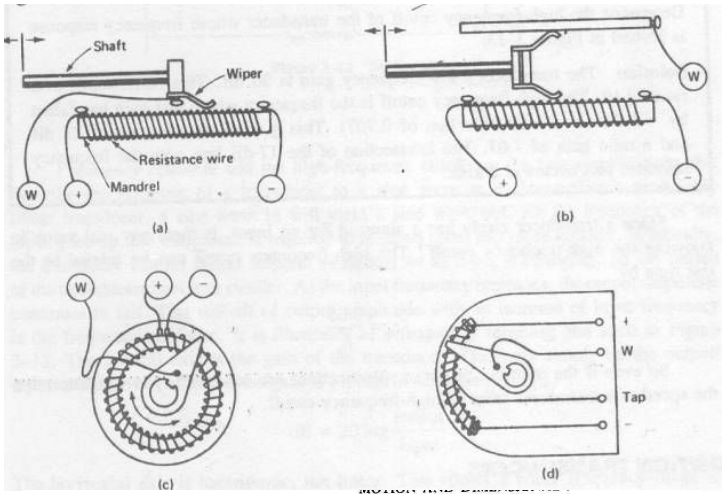
2 مبدلهاي موقعيت

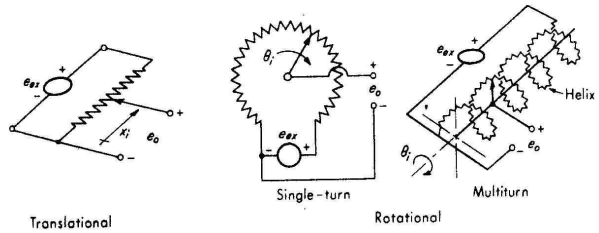
- موقعيت يك جسم يكي از موارد مهم در سيستمهاي كنترلي سرو مكانيسم ميباشد. در مونتاژ اتوماتيك توسط ربات و در سوراخكاري قسمتهاي مختلف ماشين و نيز حركت قسمتهاي متحرك در يك سيستم ديسك خوان كامپيوتري و يا قلم در يك پلاتر نياز به كنترل و در نتيجه اندازه گيري دقيق موقعيت ميباشد.
- در كنترل ضخامت و يا اثر حرارت در انبساط اجسام نياز به اندازه گيري موقعيت با دقت كسري از ميليمتر ميباشد.

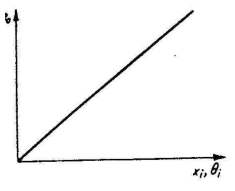
- روشهاي مختلفي براي اندازه گيري موقعيت وجود دارد. در اين درس سه روش را مشاهده خواهيد نمود.
  - پتانسيومتر از ارزانترين و ساده ترين آنها ميباشد.
  - ترانسفورماتورهاي متغير خطي تفاضلي(LVDT) به شما اجازه اندازه گيري جابجايهاي خيلي كوچك را ميدهد.
  - مبدلهاي نوري، خيلي مقاوم و اتصال آنها به كامپيوتر خيلي ساده ميباشد.

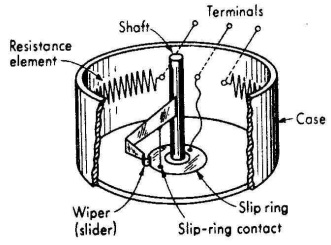
1-2 پتانسيومتر

- پتانسيومترهايي كه جهت اندازه گيري جابجايي مورد استفاده قرار ميگيرند خيلي شبيه به پتانسيومترهايي هستند كه در مدارات الكتريكي و الكترونيكي جهت تنظيم مقدار مقاومت مورد نياز بكار ميروند. اما قابل ذكر است كه سازندگان اين نوع پتانسيومترها دقت و تلاش بيشتري را در جهت ساخت اين نوع مبدلها بكار ميبرند.
- پتانسيومترهاي خطي براي اندازه گيري جابجايي در راستاي يك خط مستقيم و پتانسيومترهاي دوار (زاويه اي) براي اندازه گيري جابجايهاي چرخشي بكار ميروند.
- در شكل زير شماي كلي اين نوع پتانسيومترهاي نشان داده شده است.









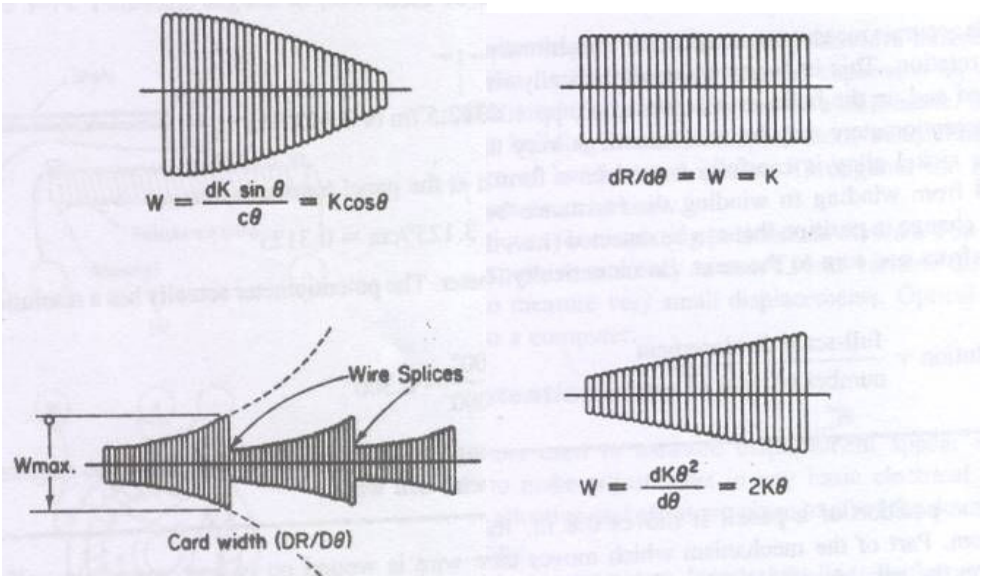
بطوريكه مشاهده ميگردد، اندازه گيري يك دور كامل و يا كماني از يك دايره قابل اندازه گيري ميباشد.

- يك پتانسيومتر تك دور كامل ميتواند اندازه گيري دقيق تا حد 357 درجه را انجام دهد. در حاليكه پتانسيومترهاي چند دور (10 دور) ميتوانند تا 3500 درجه را نيز اندازه گيري كنند.
- بدنه مقاومتي پتانسيومتر ممكن است بصورت سيم پيچ باشد كه در اينصورت از يك سيم خيلي نازك (0.01 ميليمتر) از جنس پلاتينيوم يا آلياژ نيكل كه با دقت بسيار زيادي پيچيده شده است استفاده ميشود.
- بمحض اينكه قسمت لغزان بر روي سيم پيچ حركت ميكند و از يك قسمت به قسمت ديگري حركت ميكند مقاومت پتانسيومتر تغيير ميكند. كوچكترين تغيير يا جابجايي در موقعيت كه ميتواند اندازه گيري شود (حد تفكيك) وقتي اتفاق ميافتد كه قسمت لغزان از يك دور به دور ديگر حركت كند. بنابراين حد تفكيك از رابطه زير قابل محاسبه ميباشد.

$$\text{Resolution} = \frac{\text{Full-scale displacement}}{\text{Number of turns of wire}}$$

مثال 10

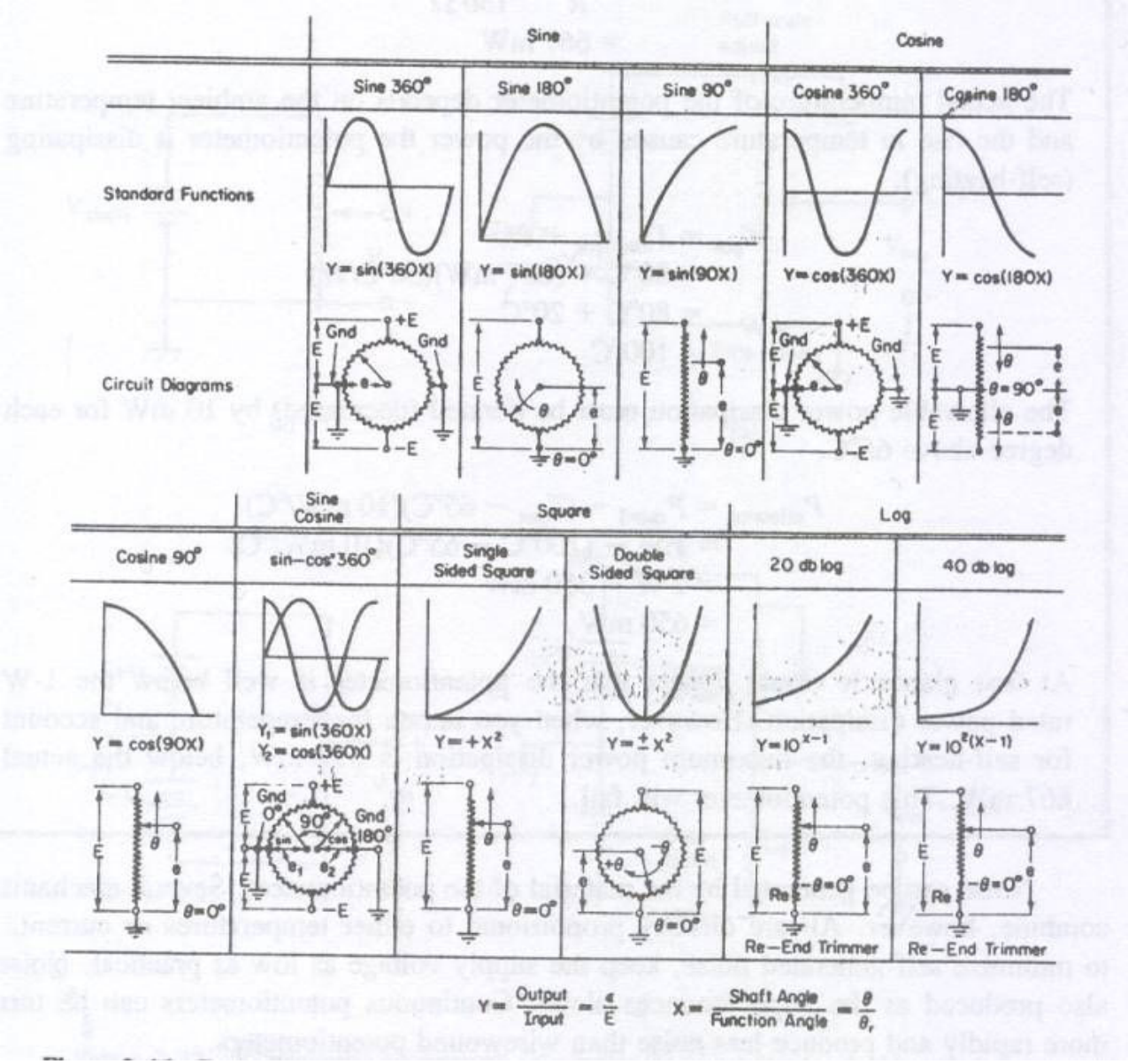
- اگر شكل بدنه سيم پيچ بطور دقيقي شكل داده شده باشد يك رابطه خطي بين وضعيت قسمت لغزنده و ولتاژ خروجي برقرار خواهد بود. اما تغيير شكل بدنه باعث يك رابطه غير خطي مورد دلخواه خواهد شد. شكل زير اين موضوع را نشان ميدهد.



توابع استاندارد بسيار زيادي يا روابط تبديل وضعيت به ولتاژ مورد دلخواه در بازار وجود دارد.

اين روابط غير خطي ممكن است براي جبران و يا كنترل يك عامل غيرخطي در يك سيستم كنترلي بدون اينكه نياز به انجام محاسبات رياضي باشد و يا حتي بدون نياز به كامپيوتر و يا مدارات آنالوگ كامپيوتر بكار رود.

توابع استاندارد در شكل زير نشان داده شده است. شكلهاي ارائه شده به اين معني است كه اگر پتانسيومتر بطور پيوسته از ابتدا تا انتها حركت كند چنين ولتاژهايي را توليد ميكند.



پتانسيومترهاي پيوسته داراي بدنه اي از جنس فيلم كربني يا فلزي، پلاستيكهاي هدايتي و يا از سراميكهاي فلزي ميباشند. اين نوع پتانسيومترها چندين مزايا نسبت به پتانسيومترهاي سيم پيچ دارند.

- اول اينكه قدرت تفكيك آنها بيشتراست چون محدوديتي مربوط به تعداد دور سيم پيچ ها ندارند. چون قسمت متحرك برروي يك سطح صاف حركت ميكند پرش وجود ندارد و نيز ميزان خرابي آنها كمتر است.

- سرعت ماگزيمم يك پتانسيومتر سيم پيچ در حدود 300 دور بر دقيقه ميباشد. در حاليكه يك پتانسيومتر پيوسته ميتواند تا سرعت 2000 دور بر دقيق نيز مورد استفاده قرار بگيرد.

لازم است كه چند مشخصه هاي الكتريكي را در مورد پتانسيومترها بشناسيم. از آنجمله

- حد يا قدرت تفكيك،
- خطي بودن،
- حركت بيش از حد الكتريكي[3] ،
- شكل ترمينال،
- تلرانس مقاومت،
- موقعيت سر وسط،
- ميزان توان و حرارت قابل تحمل،
- نويز،
- گشتاور شروع و در حال گردش،
- اينرسي و نيز
- مشخصه هاي ac آن ميباشند.

<u>مثال 11:</u>

- نويز در پتانسيومتر ميتواند ناشي از جنس آن باشد. در اصل عامل اصلي ايجاد نويز حرارت يا جريان عبوري از پتانسيومتر ميباشد كه بهمين دليل ميبايستي سعي نمود ولتاژ تغذيه آن را تا حد ممكن پايين نگهداشت.
- نويز نيز در اثر پرش هاي قسمت لغزان بوجود ميآيد.
- پتانسيومترهاي از نوع سيم پيچ نيز خاصيت سلفي و خازني سري با مقاومت از خود نشان ميدهند.

راكتانس ناشي از اين عوامل در فركانس 50 هرتز حدود مگا اهم ميباشد.

- اما اگر پتانسيومتر با يك سيگنال سينوسي 10 كيلو هرتزي تغذيه شود اين راكتانس تا حد كيلو اهم كاهش پيدا ميكند.

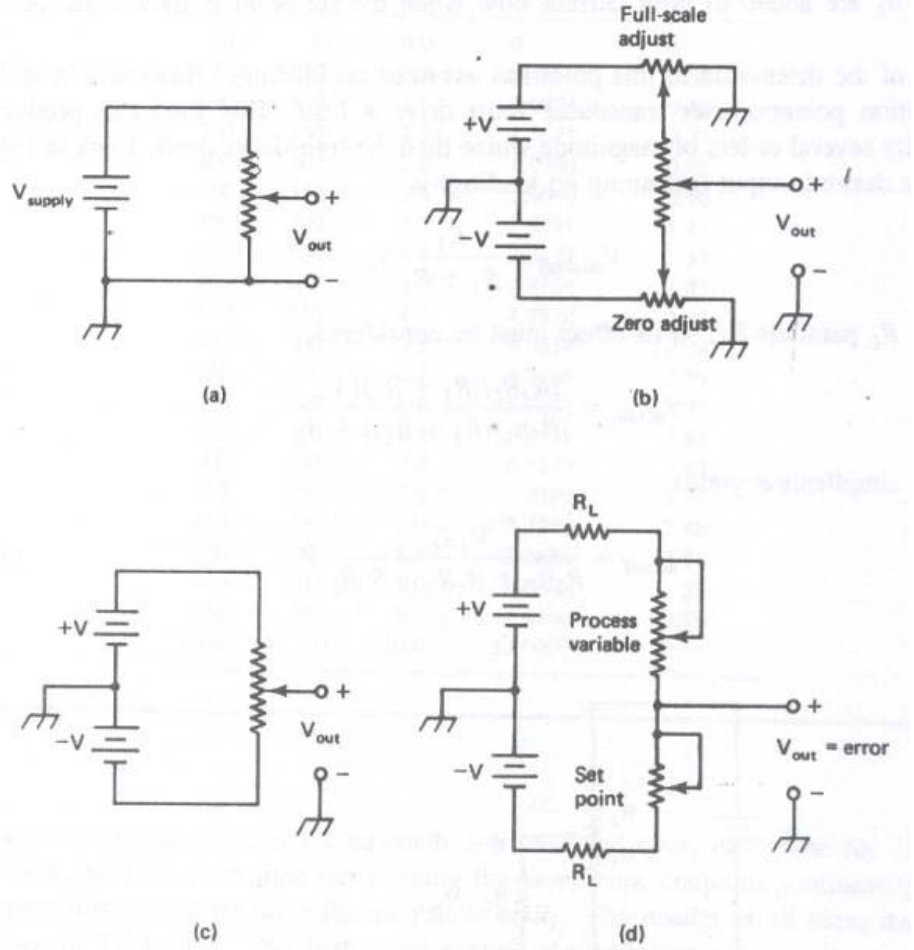
در موقع استفاده سيگنال متناوب ميبايستي هم فركانس و مقدار مقاومت پتانسيومتر در حد امكان پايين انتخاب شوند.

- حركت بيش از حد الكتريكي اشاره به اين واقعيت دارد كه ترمينال ممكن است دقيقاً در قسمت انتهايي خود نباشد. يعني اينكه وقتي قسمت لغزان به ترمينال ميرسد شفت ممكن است بيشتر بچرخد اما ولتاژ خروجي هيچ تغييري نكند.

- چندين روش جهت اتصال يك پتانسيومتر به يك سيستم كنترلي ميباشد.
  - ساده ترين راه اينستكه آنرا با ولتاژتغذيه در يك سر و اتصال زمين در سر ديگر تغذيه نمود. در اين روش وقتي قسمت لغزان به قسمت انتهايي ميرسد ولتاژ خروجي صفر خواهد شد و بر عكس وقتي قسمت لغزان به بالاتري قسمت پتانسيومتر ميرس ولتاژ تغذيه خارج خواهد شد.

[3] Electrical overtravel

- با توجه به شكل زير قسمت b روشي است كه اگر قسمت لغزان كاملاً تا قسمت انتهايي حركت نكند مناسب ميباشد.



تنظيم صفر اين قابليت را ميدهد تا ولتاژ صفر را درهر موقعيت مورد دلخواه تنظيم نمود. بهمين طريق نيز ميتوان ولتاژ رنج نهايي يا بالا را نيز تنظيم نمود.

- قابل ذكر است كه براي تنظيم اين دو حد بالا و پايين چندين دور متوالي نياز به تنظيم دقيق ميباشد چون اين دو تنظيم بر روي يكديگر اثر ميگذارند.
- با اعمال تغذيه دوبل به يك پتانسيومتر ميتوان ولتاژ صفر خروجي را در وسط پتانسومتر قرار داد. بطوريكه مشاهده ميگردد اين روش در قسمت c شكل فوق نمايش داده شده است.

البته نوع كاملتر اين روش در قسمت d نمايش داده شده است. در اين روش يك سيگنال خطا نسبت به زمين براي استفاده كنترل كننده نيز فراهم شده است. متغير پروسه مورد كنترل توسط پارامتر مورد اندازه گيري تحريك ميگردد. و خطا به شكل زير تعريف ميگردد.

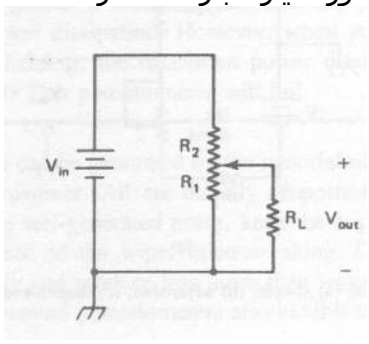
Error = SP - PV

اگر نقطه مرجع و متغير مورد كنترل هردو در يك وضعيت قرار بگيرند خطايي وجود نداشته و ولتاژ خروجي صفر ميباشد. اگر قسمت لغزان در نقطه مرجع به سمت بالا حركت كند مقاومت آن

افزايش پيدا ميكند. كه اين باعث ميشود ولتاژ خروجي مثبت گردد. بنابراين پروسه ميبايستي با حركت خود پاسخ مناسب داده و به همان اندازه بسمت بالا حركت كند تا اينكه ولتاژ خروجي صفر گردد.

مقاومت R_L به اين روش اضافه شده است تا وقتيكه نقطه مرجع تا پيايين تري قسمت خود حركت ميكند ميزان جريان عبوري را محدود نمايد.

- تمامي بحث تا اينجا با فرض اين است كه هيچگونه باري وجود ندارد. اما در حقيقت هر مبدل موقعيت پتانسيومتري به يك بار متصل ميگردد. اين بار ميتواند باعث غير خطي شدن مبدل گردد. به شكل زير نگاه كنيد. خروجي مورد نياز عبارتست از



$$V_{desired} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{in}$$

در حاليكه R_L موازي با R_1 ميباشد وبايد اثر آن در نظر گرفته شود

$$V_{Actual} = \frac{\left[R_1 R_L \Big/ (R_1 + R_L) \right] V_{in}}{\left[R_1 R_L \Big/ (R_1 + R_L) \right] + R_2}$$

با ساده نمودن خواهيم داشت:

$$V_{Actual} = \frac{R_1 R_L}{R_1 R_L + R_1 R_2 + R_2 R_L} V_{in}$$

<u>مثال 12:</u>

با استفاده از يك كامپيوتر ميتوان براي مقادير مختلف R_1 و R_2 معادله فوق را حل نمود و بدترين حالت را به عنوان بدترين حالت غير خطي نقطه پاياني در نظر گرفت و همين كار را براي مقادير مختلف R_L نيز انجام داد. نتيجه چنين عملياتي در جدول زير نشان داده شده است.

TABLE 3–5
LOADING EFFECTS ON THE NONLINEARITY OF A POTENTIOMETER

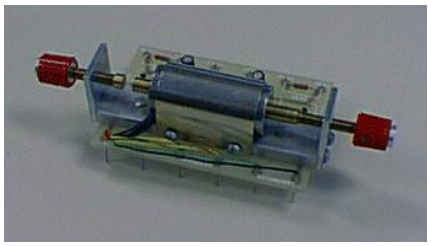
Error (%)	$\frac{R_L}{R_p}$
10	1.263
5	2.742
1	14.59
0.5	29.41
0.1	147.9
0.05	296.1

مثال 13:

چند مثال بيشتر از سنسورهاي موقعيت

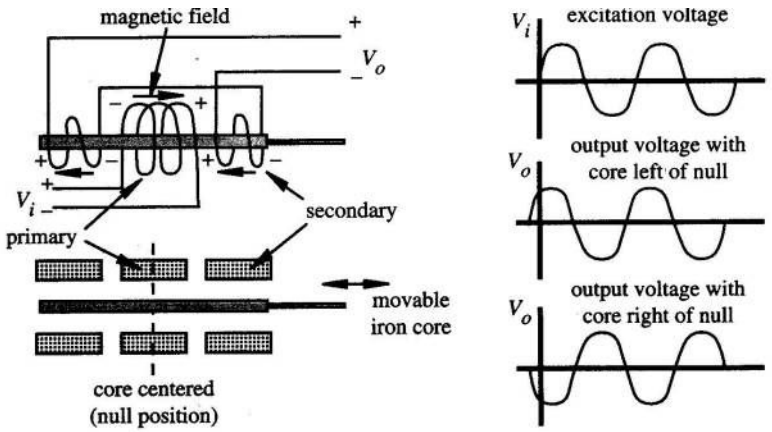
2-2- ترانسفور موتور تفاضلي متغير طولي و چرخشي LVDT–RVDT

- LVDT يك وسيله الكترونيكي است كه يك سيگنال الكتريكي خروجي متناسب با حركت هسته توليد مي كند.



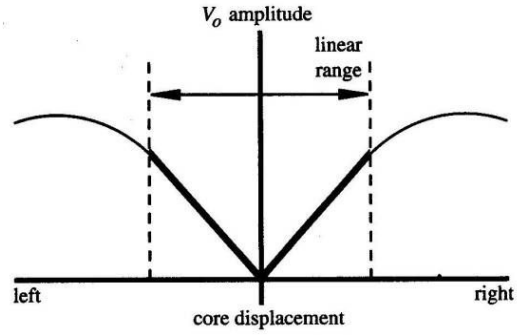
- آن متشكل از يك سيم پيچ اوليه و دو سيم پيچ ثانويه متقارن كه در دو طرف سيم پيچ اوليه و به شكل استوانه اي قرار گرفته اند ميباشد.

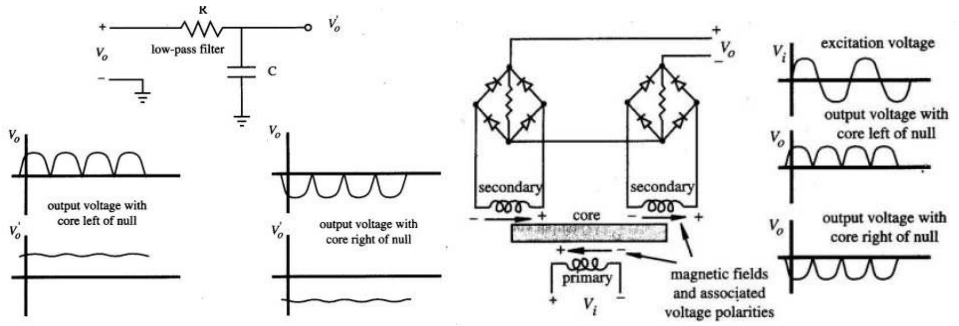
- يك هسته مغناطيسي با قابليت حركت آزاد داخل سيم پيچ مسير بسته اي را براي فلوي مغناطيسي از درون سيم پيچ ها فراهم مي كند. مقطع يك LVDT و ترسيمي از چگونگي كار كرد آن در شكل زير نشان داده شده است. وقتي كه هسته اوليه توسط يك منبع ac خارجي تحريك مي گردد، ولتاژهايي در سيم پيچ ثانويه القا مي گردد.



- توجه به شكل 3-22 داشته باشيد در سيم پيچ ثانويه بطورسري و 180^o اختلاف به يكديگر متصل مي باشند بطوريكه در ولتاژ در پلاريته مخالف مي باشند.بنابراين ، خروجي نهايي مبدل تفاوت بين اين دو ولتاژ مي باشد ، كه در حالتيكه هسته در وسط (موقعيت صفر)قرار دارد اين ولتاژ صفر مي باشد.

- وقتيكه هسته از وضعيت صفر حركت مي كند، ولتاژ القايي در سيم پيچي كه حركت به سمت آن است افزايش مي يابد در حاليكه ولتاژ القايي در سيم پيچ مقابل كاهش مي يابد . اين عمل يك ولتاژ خروجي متفاوتي كه بطور خطي نسبت به تغيير وضعيت هسته تغيير مي كند، توليد مي نمايد . فاز اين ولتاژ خروجي بطور ناگهاني وقتي كه هسته از وضعيت صفر عبور مي كند 180^oاختلاف پيدا مي كند.





- مشخصات عمومي يك LVDT همه منظوره در شكل زير نشان داده شده است.

HR SERIES—GENERAL APPLICATIONS

- OPTIMUM PERFORMANCE FOR THE MAJORITY OF APPLICATIONS
- LARGE CORE-TO-BORE CLEARANCE – 1/16 INCH (1.6 mm) RADIAL

The HR high reliability series of LVDT's is suitable for most general applications. The HR series features large core-to-bore clearance, high output voltage over a broad range of excitation frequencies, and a magnetic stainless steel case for electromagnetic and electrostatic shielding.

GENERAL SPECIFICATIONS

Input Voltage ..... 3 V rms (nominal)
Frequency Range ... 50 Hz to 10 kHz
Temperature Range .. -65°F to +300°F (-55°C to +150°C)
Null Voltage ..... Less than 0.5% full scale output
Shock Survival ..... 1000 *g* for 11 milliseconds

Vibration Tolerance . 20 *g* up to 2 kHz
Coil Form Material .. High density, glass- filled polymer
Housing Material ... AISI 400 series stainless steel
Lead Wires ..... 28 AWG, stranded copper, Teflon-insulated, 12 inches (300 mm) long (nominal)

PERFORMANCE SPECIFICATIONS AND DIMENSIONS (2.5 kHz)

LVDT MODEL NUMBER	NOMINAL LINEAR RANGE	LINEARITY ±PERCENT FULL RANGE				SENSITIVITY mV Out/ Volt In Per	IMPEDANCE Ohms		PHASE SHIFT	WEIGHT Grams		DIMENSIONS A (Body)	DIMENSIONS B (Core)
	Inches	50	100	125	150	.001 In.	Pri.	Sec.	Degrees	Body	Core	Inches	Inches
050 HR	±0.050	0.10	0.25	0.25	0.50	6.3	430	4000	–1	32	4	1.13	0.80
100 HR	±0.100	0.10	0.25	0.25	0.50	4.5	1070	5000	–5	48	6	1.81	1.30
200 HR	±0.200	0.10	0.25	0.25	0.50	2.5	1150	4000	–4	60	8	2.50	1.65
300 HR	±0.300	0.10	0.25	0.35	0.50	1.4	1100	2700	–11	77	10	3.22	1.95
400 HR	±0.400	0.15	0.25	0.35	0.60	0.90	1700	3000	–18	90	15	4.36	2.95
500 HR	±0.500	0.15	0.25	0.35	0.75	0.73	460	375	–1	109	18	5.50	3.45
1000 HR	±1.000	0.25	0.25	1.00	1.30*	0.39	480	320	–3	126	21	6.63	4.00
2000 HR	±2.000	0.25	0.25	0.50*	1.00*	0.24	330	330	+5	168	27	10.00	5.30
3000 HR	±3.000	0.15	0.25	0.50*	1.00*	0.27	115	375	+11	225	28	12.81	5.60
4000 HR	±4.000	0.15	0.25	0.50*	1.00*	0.22	275	550	+1	295	36	15.64	7.00
5000 HR	±5.000	0.15	0.25	1.00*	—	0.15	310	400	+3	340	36	17.88	7.00
10000 HR	±10.00	0.15	0.25	1.00*	—	0.08	550	750	–5	580	43	30.84	8.50

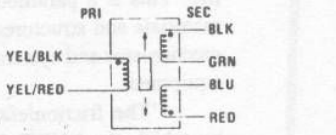
*Requires reduced core length

ORDERING INFORMATION

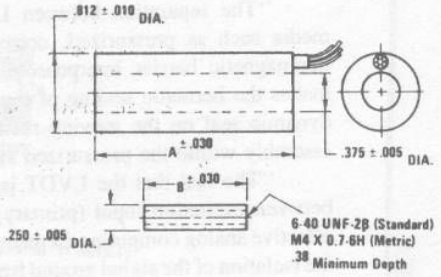
(Fold out page 32 for instructions on how to use this chart.)

OPTION NO.	002	003	005	010	020	120	200
	5.8 kHz FREQUENCY	10.8 kHz FREQUENCY	METRIC THREAD CORE (NOTE 1)	TEFLON BORE LINER	SMALL DIAMETER CORE (NOTE 2)	10 FOOT (3m) LEADS MILDLY RADIATION RESISTANT (NOTE 3)	0.1% LINEARITY
MODEL NO.							
050 HR	A	A	N	B	B	E	F
100 HR	A	A	N	B	B	E	F
200 HR	A	A	N	B	B	E	F
300 HR	X	X	N	B	B	E	X
400 HR	A	A	N	B	B	E	F
500 HR	A	A	N	B	B	E	F
1000 HR	A	A	N	B	B	E	F
2000 HR	D	D	N	B	X	E	F
3000 HR	X	X	N	B	X	E	X
4000 HR	X	X	N	B	X	E	X
5000 HR	D	D	N	B	X	E	F
10000 HR	D	D	N	B	X	E	F

Note 1: See outline drawing for metric thread size
Note 2: Consult factory for mass, dimensions, and thread size
Note 3: Withstands 10^{12} NVT total integrated flux



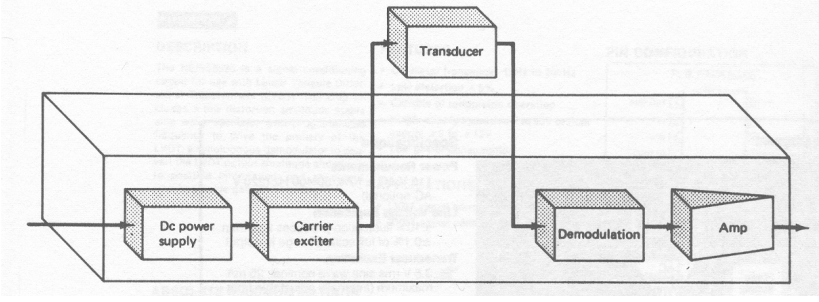
CONNECT GRN TO BLU FOR DIFFERENTIAL OUTPUT



- دقت داشته باشيد كه انواع مختلف آن با رنج كامل از0/05 تا 10 اينچ با 25% خطي رنج كامل ارائه شده است . بطوريكه مبدل 0/05 اينچي بما اجازه مي دهد تا 0/000125 اينچ را اندازه گيري كنيم . اگر چه ، پاسخ ديناميكي آن بطور واضح مشخص نشده است بايستي بطور قابل توجهي كمتر از سيگنال تحريك 2/5 KHZ باشد .
- LVDT داراي ويژگيهاي بارزي است كه آنرا براي كاربرد هاي متنوعي قابل استفاده مي سازد. برخي از آن ويژگيها براي LVDT منحصر بفرد مي باشند و در هيچ مبدل ديگري يافت نمي شوند . ويژگيهايي كه سبب اين اصل كه LVDT يك ترانسفورموتور الكتريكي با هسته جدا شدني و غير تماسي است ، بوجود مي آيند .
- بطور معمول ، تماس فيزيكي بين هسته متحرك و ساختمان سيم پيچ ها وجود ندارد اين بدان معني است كه LVDT يك وسيله بدون اصطكاك مي باشد . اين خاصيت

اجازه استفاده از LVDT را دراندازه گيريهايي كه مي تواند اضافه شدن وزن هسته راتحمل نموده اما تحمل اصطكاك را ندارند ، را بما مي دهد.
دو مثال از چنين كاربردي را مي توان از تغيير شكل ديناميكي يا تست لرزه مواد ظريف و نازك و tensile يا تست creep بر روي الياف يا مواد با خاصيت الاستيكي بالا را نام برد .

- عدم حضور اصطكاك و تماس بين هسته و سيم پيچهاي يك LVDT به معني عدم خراب شدن چيزي درآن مي باشد . اين ويژگي عمر مكانيكي بينهايت به LVDT مي دهد. اين يك نياز بسيار مهم در كاربردهايي نظير تست عمر خستگي (fatigve-life) مواد ساختمان ها مي باشد . عمر مكانيكي بينهايت نيز در مكانيزم ها و سيستمهايي با قابليت اطميتان بالا كه در هوا پيما ،موشك و فضاپيما استفاده دارند مفيد مي باشد.
- خاصيت عملكرد بدون اصطكاك LVDT توام با اصل القا باعث مي گردد كه LVDT با قدرت تفكيك بينهايت عمل نمايد . اين بدين معناست كه LVDT مي تواند به جزيي ترين حركتها پاسخ دهد و يك خروجي متناسب با آن فراهم نمايد. در واقع قدرت نمايش لوازم الكترونيكي بعنوان تنها محدود كننده هاي قدرت تفكيك LVDT بحساب مي آيند.
- ويژگي جدايي بين هسته و سيم پيچ هاي LVDT اجازه جداسازي (ايزولاسيون) محيط مورد اندازه گيري مثل مايعهاي خورنده ، يا تحت فشار از ساختمان سيم پيچ با استفاده از يك ميله ارتباطي غير مغناطيسي متصل به هسته و درون ساختمان سيم پيچ ها را بما مي دهد. اين ويژگي همچنين امكان آب بندي (hermatic sealing) ساختمان سيم پيچ را مي دهد و نيازي به آب بندي ديناميكي قسمتهاي متحرك نخواهد بود. تنها يك آب بندي ايستا جهت آب بندي ساختمان سيم پيچ ها در درون سيستم تحت فشار مورد نياز مي باشد. اين اصل كه LVDT يك ترانسفورماتور است بدين معني است كه يك ايزولاسيون كامل بين تحريك ورودي و خروجي وجود دارد.
- اين ويژگي LVDT را يك المان محاسباتي موثر آنالوگ بدون نياز به آمپلي فاير جداكننده (بافر)مي سازد. اين همچنين باعث ايزولاسيون زميني سيگنال(ground) از زمين سيگنال تحريك مي گردد كه در اندازه گيريهاي با كيفيت بالا و حلقه هاي كنترلي مورد استفاده دارد.
- اگر بخواهيم يك مبدل LVDT درست عمل نمايد، بايستي ابزار دقيق بكار رفته در آن چندين عمل را به طور همزمان انجام دهد. در شكل زير بلوك دياگرام نشان داده شده، اين اعمال را كه در مبدل LVDT مورد نياز است مشخص نموده است.



- يك LVDT نياز به يك ولتاژ ac (متناوب) با فركانس و دامنه اي كه معمولآ براحتي در دسترس نمي باشد، دارد. يعني يك نوسانساز با فركانس مناسب بايستي به يك تقويت كننده با تنظيم دامنه در خروجي آن متصل باشد.
- سطح خروجي يك LVDT معمولاً خيلي پايين است بطوريكه براي فعال نمودن قسمت قرائت عدد انداره گيري شده نياز به يك تقويت كننده دارد.
- بعضي مواقع اين قسمت در دو مرحله انجام مي گردد: يك تقويت كننده حامل ac (carrier amplified) قبل از دي مدولاسيون و يك تقويت كننده dc بعد از دي مدولاسيون. اغلب دستگاههاي قرائت خروجي dc ميباشند، پس خروجي ac تقويت

شده بايستي تبديل به خروجي dc شود علاوه بر اين ، جهت استفاده از مزيت پلاريته فاز يك LVDT نياز به استفاده از دي مدولاتور سنكرون مي باشد.
اغلب مدولاتورها توسط يك يا دو مرحله فيلتر پايين گذر خروجي كار ميكنند . تمام مدارات الكترونيك نياز به يك ولتاژdc پايدار براي كار كرد مناسب LVDT دارند.

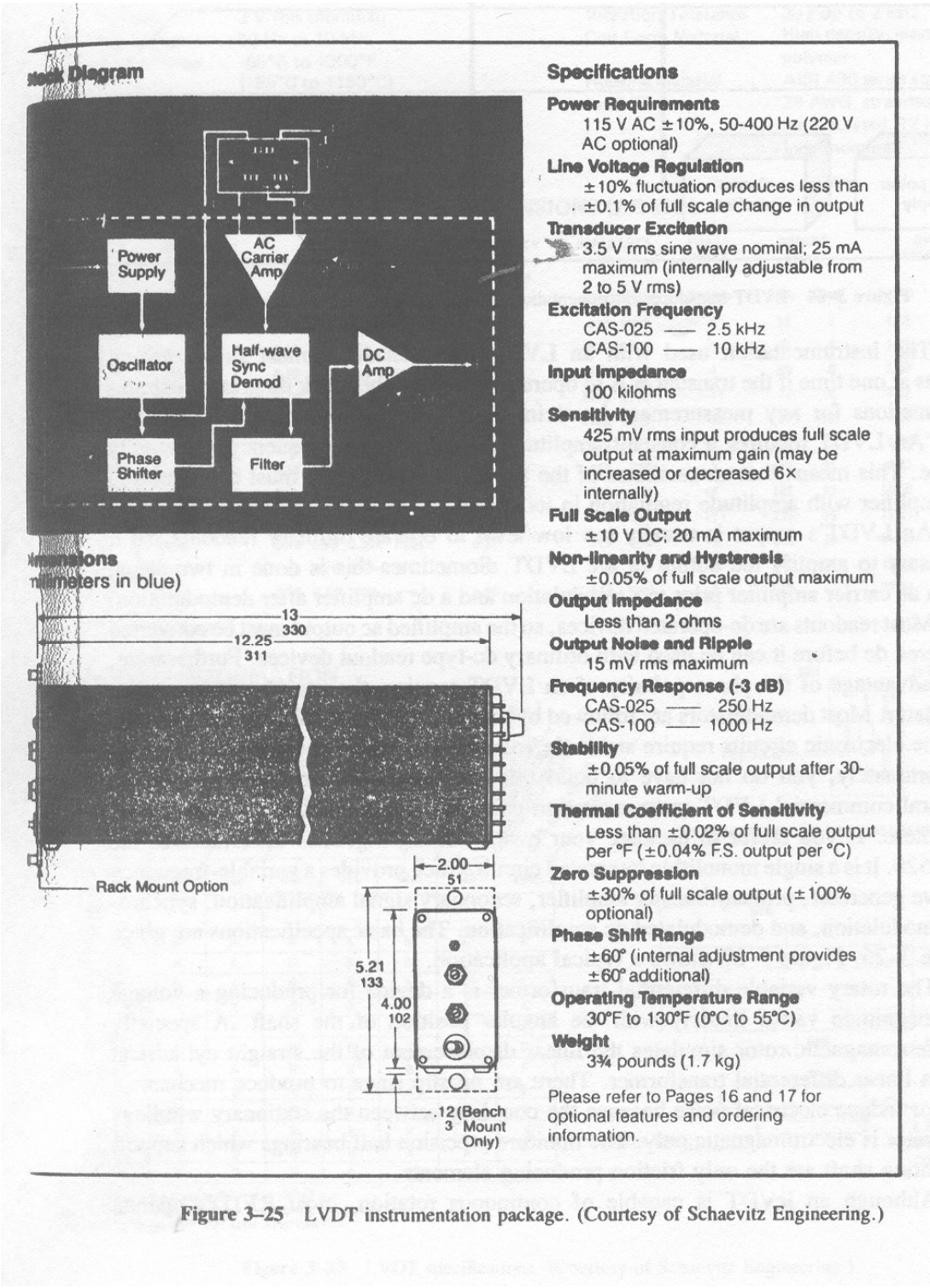


Figure 3–25 LVDT instrumentation package. (Courtesy of Schaevitz Engineering.)

خوشبختانه، نيازي به ساخت تمامي مدارات ابزار دقيق از ابتدا نيست. چندين مدار مجتمع ابزار دقيق LVDT بصورت تجاري موجود مي باشد. شكل زير يك مثال از اين مدارات مجتمع مي باشد NE/SE5520 ساخت كارخانهSigneics ميباشد.

Preliminary

DESCRIPTION

The NE/SE5520 is a signal conditióning circuit for use with Linear Variable Differential Transformers (LVDT). The chip includes a low distortion amplitude stable sine wave oscillator with programmable frequency to drive the primary of the LVDT; a synchronous demodulator to convert the LVDT output amplitude and phase to position information; and an output amp to provide gain and filtering.

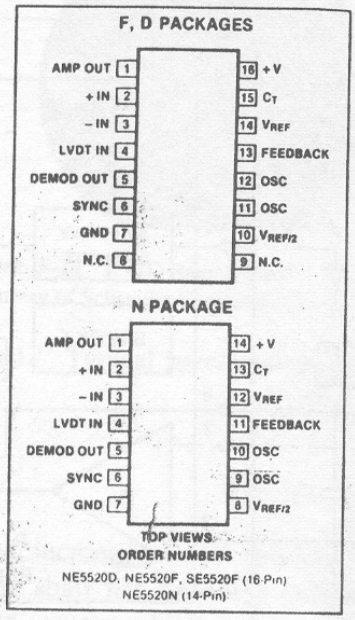
FEATURES

- Oscillator frequency: 1kHz to 20kHz
- Low distortion <5%
- Capable of ratiometric operation
- Single supply operation 5 to 25V or dual supply ±5 to ±12V
- Low power consumption

APPLICATIONS

- LVDT signal conditioning
- RVDT signal conditioning

PIN CONFIGURATION



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

PARAMETER	RATING	UNIT
Supply voltage	+30	V
Split supply voltage	(±15)	V
Operating temperature range		
SE5520	−55 to +125	°C
NE5520	0 to +70	°C
Storage temperature range	−65 to 150	°C

BLOCK DIAGRAM

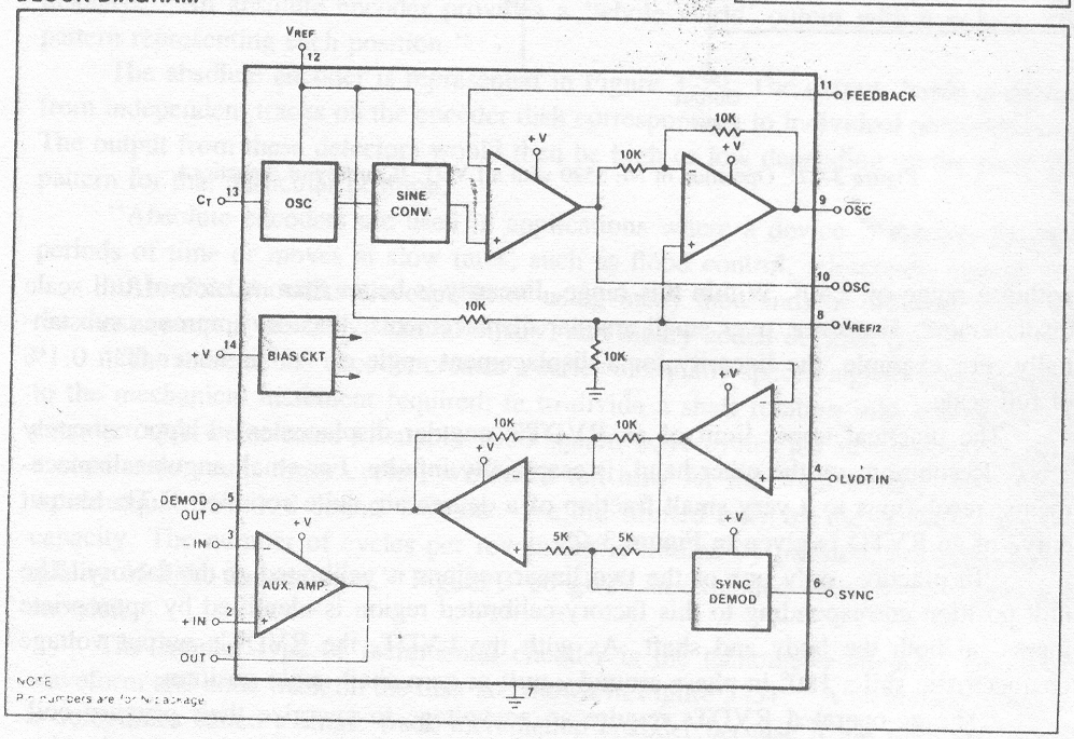


Figure 3–26 Signetics NE/SE 5520 with a LVDT. (Courtesy of Signetics.)

اين IC داراي يك سيگنال سينوسي با فركانس متغير، تقويت كننده ابتدايي، تقويت كننده ثانويه، مدولاسيون سنكرون، و يك تقويت كننده دي مدولاتورdc مي باشد. مشخصات اصلي اين IC در شكل 3-26 ارائه گرديده است. شكل 3-27 يك نمونه از كار برد آنرا نشان مي دهد.

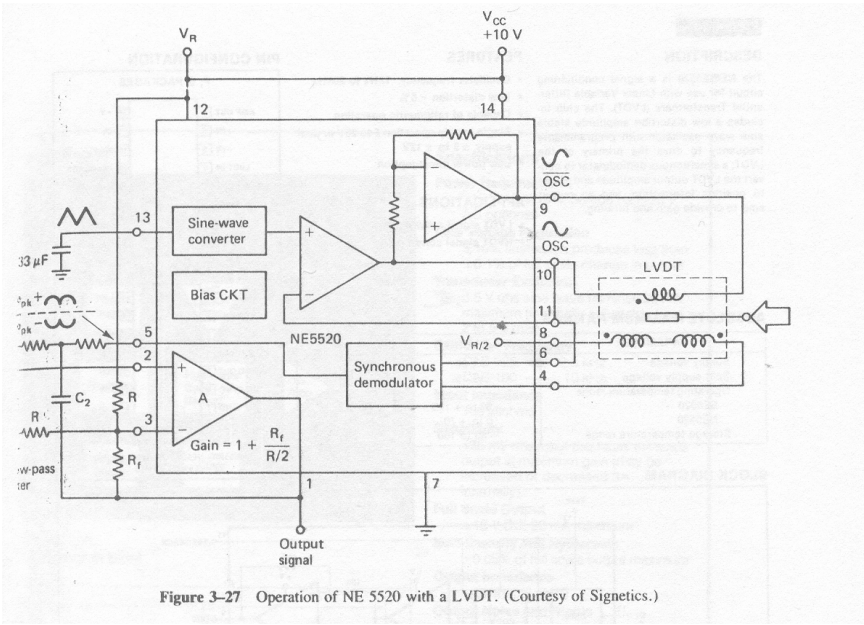
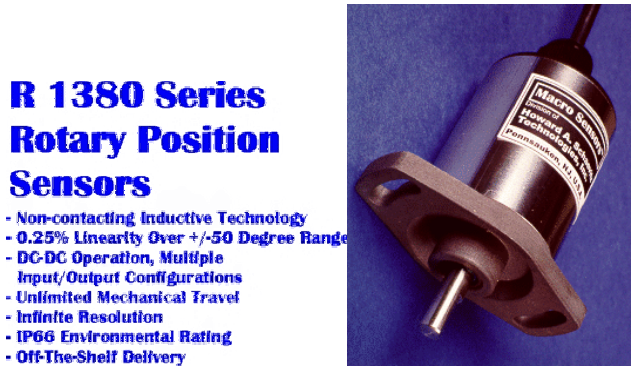


Figure 3–27 Operation of NE 5520 with a LVDT. (Courtesy of Signetics.)

RVDT

- ترانسفورماتور تفاضلي متغير چرخشي وسيله ايست كه براي توليد ولتاژي كه دامنه آن بطور خطي متناسب با موقعيت زاويه اي شفت تغيير ميكند.
- يك روتور مغناطيسي با شكل خاص جابجايي طولي يك هسته استوانه اي شكل مستقيم را شبيه سازي ميكند.
- در RVDT حلقه لغزشي كه اصطكاك مكانيكي و نويز الكتريكي ايجاد ميكند وجود ندارد. اين بدين دليل است كه سيم پيچ ثابت و روتور چرخشي فقط بطور الكترومغناطيسي مرتبط هستند.
- بال برينگ دقيق مينياتوري كه شفت را نگهداري ميكند تنها المان توليد كننده اصطكاك ميباشد.
- با اينكه RVDT قادر به چرخش پيوسته ميباشد اغلب RVDT ها در يك رنج 40-/+ درجه كار ميكنند.



- در اين رنج ميزان خطي بودن مبدل بهتر از 0/5%-/+ رنج كامل تغيير مكان ميباشد.
- در يك محدوده كوچكتر تغيير مكان زاويه اي خطي بودن بنحو قابل ملاحظه اي بهبود پيدا ميكند. بعنوان مثال خطي بودن تغيير مكان زاويه اي 5-/+ درجه بهتر از 0/1% رنج كامل ميباشد.
- عملاً حد بالاي تغيير مكان زاويه اي يك RVDT بطور تقريب 60 -/+ درجه ميباشد در حاليكه بطور تئوري بينهايت ميباشد.

منحني خروجي يك RVDT در شكل 3-28 نشان داده شده است.

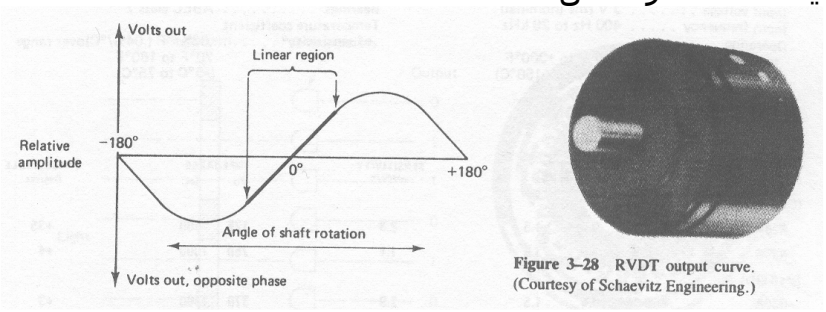
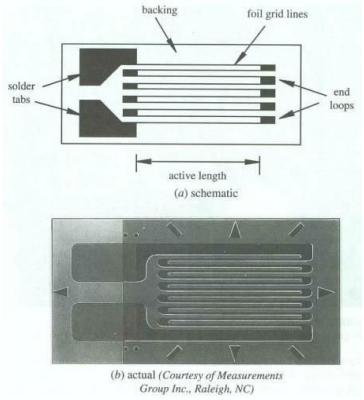


Figure 3–28 RVDT output curve. (Courtesy of Schaevitz Engineering.)

- در عمل فقط يكي از دو ناحيه خطي آن در كارخانه كاليبره ميگردد. وضعييت صفر متناسب با اين كاليبراسيون توسط يك علامت در بدنه و شفت RVDT مشخص ميگردد.
- مثل يك LVDT ولتاژ خروجي RVDT حول نقطه صفر 180 درجه اختلاف فاز دارد.
- RVDT هايي كه با ولتاژ ac كار ميكنند نياز به يك ولتاژ ac دارند تا سيم پيچ اوليه را تحريك كنند. در اين نوع RVDT يك ولتاژ ac در سيم پيچ ثانويه كه متناسب با وضعييت شفت ميباشد توليد ميگردد.
- RVDT هايي كه با ولتاژ dc كار ميكنند ولتاژ ورودي dc را قبول ميكنند كه عملاً بطور داخلي اين ولتاژ تبديل به ولتاژ ac ميگردد. بهمين ترتيب ولتاژ ac ايجاد شده در سيم پيچ ثانويه تبديل به يك ولتاژ dc صاف كه نسبتاً نيز تقويت شده است ميگردد.



2-3 كرنش سنج *Strain Gage*

يكي از مهمترين مشخصه هاي الكتريكي كه متناسب با كرنش تغيير ميكند مقاومت الكتريكي است. اداواتي كه خروجي آنها بر اساس اين مشخصه الكتريكي است شامل:

- مقاومتهاي پيزو piezoresistive يا
- گيج هاي نيمه هادي semiconductor gage،
- گيج هاي مقاومت كربني carbon-resistor gage،
- سيم درهم پيچيده فلزي bonded metallic wire gage و
- گيج هاي مقاومتي فويلي bonded foil resistance ميباشند.

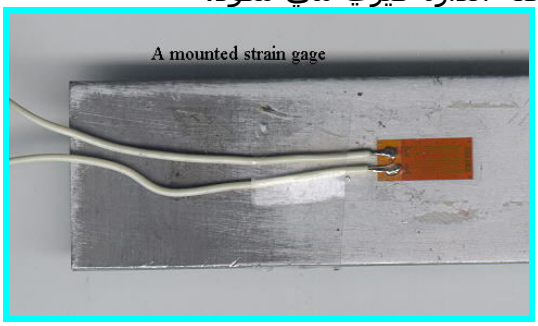
گيج هاي كربني و مقاومتي پيشرو گيج هاي سيم پيچيده مقاومتي ميباشند. آنها كم قيمت و بسيار حساس به كرنش هستند. اما شديداً حساس به دما و رطوبت محيط هستند. كه اين موضوع از معايب گيج هاي كربني و مقاومتي ميباشد.
گيج هاي نيمه هادي بر اساس اثر پيزو در برخي مواد نيمه هادي مثل سيليكون و ژرمانيوم هستند. اين گيج ها داراي خاصيت الاستيكي هستند و ميتوانند بگونه اي ساخته شوند كه وقتي تحت نيروي كرنش قرار گيرد تغيرا ت هم مثبت و منفي در مقاومت آن ايجاد شود.
آنها ميتوانند در ابعاد بسيار كوچك ساخته شوند در حاليكه مقاومت نامي بالايي داشته باشند.
رنج كرنش اين نوع گيج ها در محدوده 100 تا 10000 με ميباشد.

حساسيت اين نوع گيج ها در مقابل كرنش بسيار زياد ميباشد اما غير خطي ميباشد و در مقابل دماي محيط حساس ميباشد. خروجي بالا اين نوع گيج در اثر تغييرات بالاي مقاومت در حد 10 تا 20 در صد وقتي كه در يك پل مقاومتي مورد استفاده قرار گيرد، باعث ايجاد مشكل ميگردد.

- كرنش سنج هاي مقاومت باند شده از عمده ترين نوع و رايج ترين نوع كرنش سنج ها ميباشد كه امروزه در كاربرد هاي عملي مورد استفاده قرار ميگيرد.

آنها شامل يك شبكه از سيم هاي خيلي ظريف و يا ورقهاي فويل فلزي (معمولتر) كه به يك ورقه نازك عايق بنام ماتريس حمل كننده (carrier matrix) متصل شده است، هستند.

- مقاومت الكتريكي اين نوع كرنش سنج بطور خطي با كرنش تغييرميكند.
- هنگام استفاده از كرنش سنج، ماتريس حمل كننده توسط چسب به بدنه مورد آزمايش متصل ميگردد. وقتيكه بدنه مورد آزمايش تحت بار قرار ميگيرد، كرنش در سطح آن از طريق چسب به ماتريس حمل كننده منتقل ميگردد. اين كرنش با استفاده از تغيير مقاومت الكتريكي در مواد بكار رفته اندازه گيري مي شود.



شكل زير تصويري از يك كرنش سنج مقاومت باند شده با فويل كنستانتان و ماتريس حمل كننده از جنس پلي آميد ميباشد.

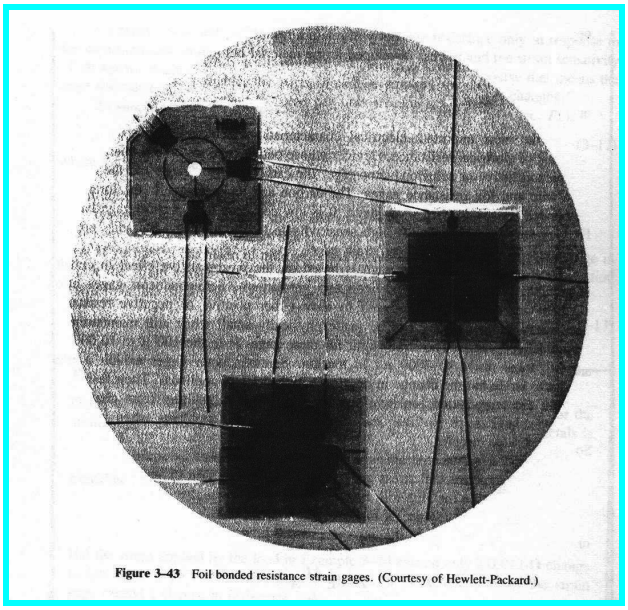


Figure 3–43 Foil bonded resistance strain gages. (Courtesy of Hewlett-Packard.)

كرنش سنج هاي مقاومت باند شده داراي مشخصات زير ميباشد:

- ارزانقيمت
- طول كوتاه گيج
- كمي حساس به دما
- ابعاد كوچك
- جرم كم و
- حساسيت بالا به كرنش
- مناسب براي اندازه گيري كرنشهاي استاتيك و ديناميك

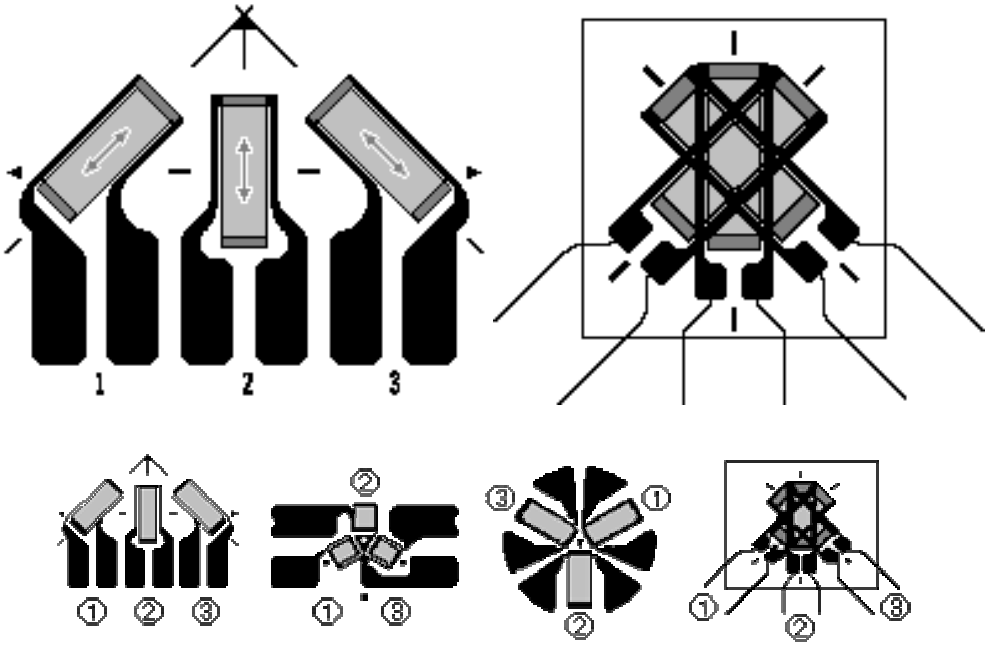
وقتيكه يك هادي فلزي تحت كرنش قرار گيرد مقاومت آن تغيير ميكند و اين تغيير مقاومت است كه در كرنش سنج مورد استفاده قرار ميگيرد. اندازه گيري اين تغيير مقاومت با كرنش *گيج فاكتور* Gage Factor ناميده مي شود.

- *GF* عبارتست از نسبت تغييرات جزيي مقاومت به تغييرات جزيي طول (كرنش) در راستاي محور كرنش سنج. يك كميت بدون ديمانسيون ميباشد و هر قدر بزرگتر باشد نشان دهنده حساسيت بيشتر كرنش سنج ميباشد و با رابطه زير بيان مي شود.

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}$$

3-11

شكلهاي زير نمونه هاي مختلفي از انواع كرنش سنج ها را نشان ميدهد.

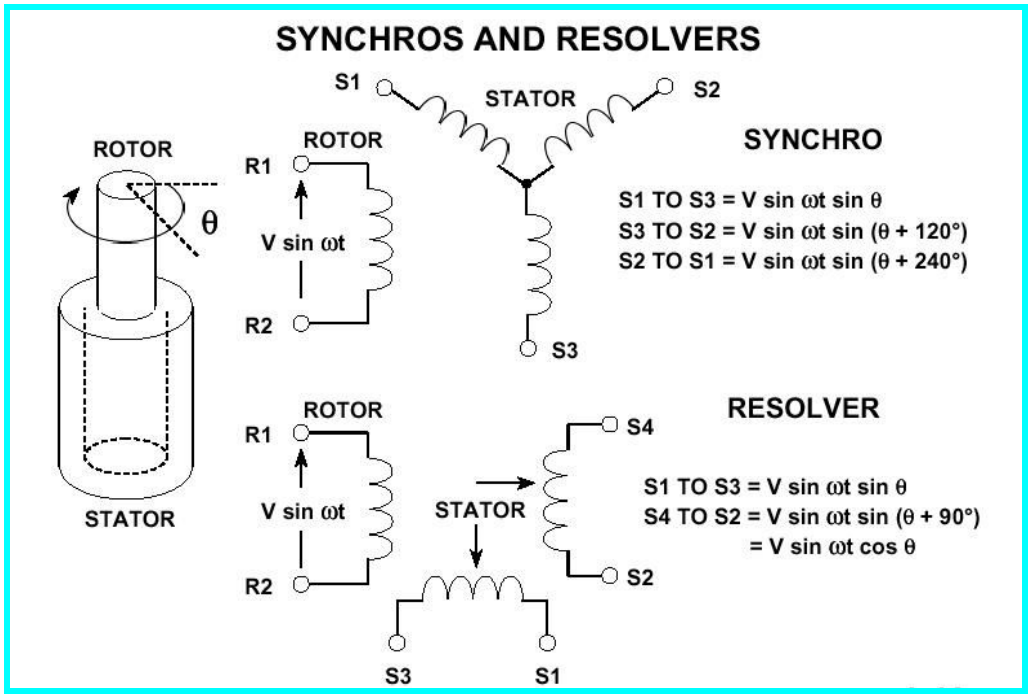


بمنظور اطلاعت بيشتر در باره كرنش سنج ميتوانيد از مراجع موجود در اينترنت استفاده نماييد.

4-2 سينكرو[4] و ريزولور[5]

- يك سينكرو، مبدل وضعيت زاويه اي ميباشد. سينكرو شامل يك سيم پيچ اوليه بر روي روتور و سه سيم پيچ ثانويه با اختلاف فاز 120 درجه نسبت به يكديگربرروي استاتور ميباشد.
- دامنه و فاز ولتاژ القايي بر روي سيم پيچ هاي استاتور بستگي به وضعيت فيزيكي و ولتاژ بكار رفته براي روتور ميباشد.
- بنابراين با يك ولتاژ معلوم در سيم پيچ اوليه، و لتاژ سيم پيچ ثانويه وضعيت واحد و منحصر بفردي را براي روتور تعيين مينمايد.
- سيم پيچ اوليه سينكرو معمولاً به ولتاژ برق شهر (220 ولت و فركانس 50 هرتز) وصل ميشود و در خروجي ولتاژ ماكزيممي در حدود 20 تا 180 ولت ايجاد ميكند.
- ريزولور شبيه سينكرو ميباشد و تنها فرق آن اينستكه در استاتور دو سيم پيچ كه با 90 درجه اختلاف از يكديگر قرار دارند وجود دارد.
- مشخصه فيزيكي والكتريكي سينكرو و ريزولور در شكل زير نمايش داده شده است.

[4] Synchro
[5] Resolver



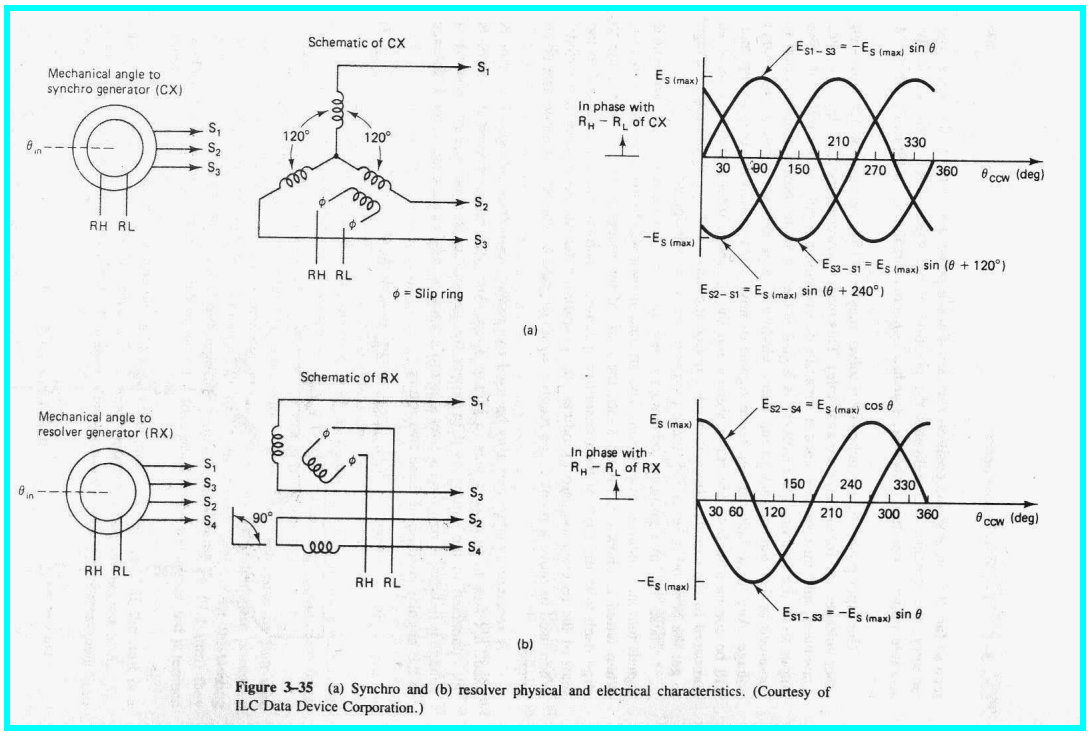


Figure 3–35 (a) Synchro and (b) resolver physical and electrical characteristics. (Courtesy of ILC Data Device Corporation.)

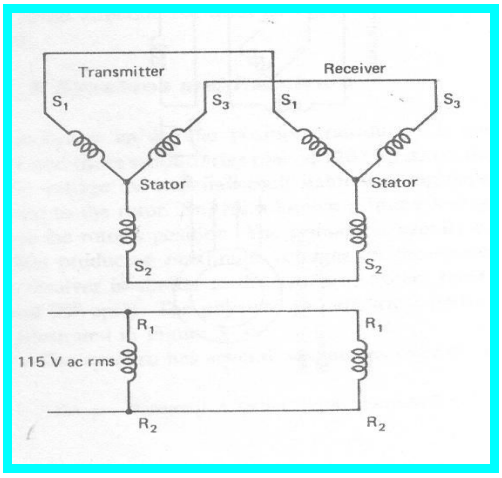
- سينكرو چندين مزيت نسبت به ديگر مبدلهاي وضعيت كه تا بحال مورد بررسي قرار داده ايم، دارد.

مزايا و معايب سينكرو و ريزولور در مقايسه با مبدلهاي نوري

مزايا	معايب
براي بدست آوردن دقت وضعيت مبدل نوري بيشتر وابسته به دقت مكانيكي است در حاليكه ريزولور بيشتر متكي به مدارات الكترونيكي است.	ريزولور از يك مبدل نوع افزايشي گران قيمت تر ميباشد مخصوصاً در دقتهاي بالاتر

چون در ريزولور مدارات الكترونيك نسبت به آن دورتر واقع شده است نسبت به نويز مصون تر ميباشد.	ريزولور نياز به منبع ولتاژ متناوب دارد
كمتر در معرض خطر ميباشد چون قسمتهاي حساسي مثل ديسك شيشه اي (شكننده) و يا منبع نوري (امكان سوختن) ندارد.	ريزولور به مدارات تبديل الكترونيكي گران تري نياز دارد.
اندازه فيزيكي كوچكتري در دقتهاي بالا تر	
ريزولور نياز به سيمهاي كمتري نسبت به مبدل نوري مطلق دارد.	
ريزولور هميشه از نوع مطلق است.	

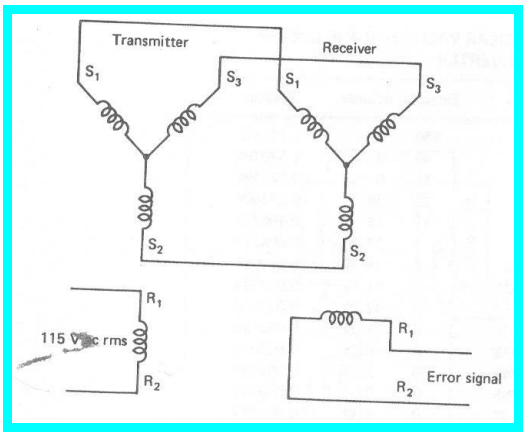
- سينكرو در واقعيت يك مبدل وضعيت از نوع مطلق ميباشد.
- امكان اتصال مستقيم سينكرو به برق شهر، استفاده از سينكرو را آسانتر، راحتترو ارزانتر مي نمايد چون يك سيگنال جريان مستقيم براي راه اندازي سينكرو يا ريزولور مورد نياز نميباشد.
- خروجي سينكرو متناوب و ولتاژ آن بالا ميباشد و اطلاعات مربوط به وضعيت محور در نسبت ولتاژ هر سيم پيچ ثانويه نسبت به ولتاژ اوليه مستطر ميباشد.
- نويز موجود در اين سيگنالها و يا هرگونه تلفات از جمله تلفات بدليل طول سيم پيچ در هر دو طرف اوليه و ثانويه يكسان و نيز نسبت به سيگنال كوچك ميباشد. و چون ميبايست ولتاژ استاتور را به ولتاژ روتور تقسيم كنيم تا اطلاعات مربوط به وضعيت را بدست آوريم اين خطاهاي مشترك حذف ميگردند.
- چگونه ميتوان سيگنالهاي سينوسي را جهت بدست آوردن اطلاعات موقعيت تبديل نمود؟
- اولين پاسخي كه بنظر ميرسد استفاده از سينكرو گيرنده ميباشد. براي اين منظور از يك سينكرو به عنوان گيرنده استفاده ميشود بطوريكه محور گيرنده مطابق با چرخش سينكرو فرستنده ميچرخد تا وضعيت آنرا نشان دهد. شكل زير اين روش را نشان ميدهد. ميتوان يك نشانگر، به محور سينكرو گيرنده وصل نمود تا وضعيت محور سينكرو فرستنده را نشان دهد.



- يك سينكرو گيرنده نيز ميتواند جهت توليد ولتاژ خروجي مورد استفاده قرار گيرد. براي اينكار در شكل بالا روتور را ثابت ميكنند تا حركتي نداشته باشد. همچنين روتور سينكرو گيرنده به ولتاژ منبع ورودي كه براي اتصال به روتور سينكرو فرستنده استفاده شده است، وصل نمي شود. در عوض يك ولتاژ در روتور سينكرو گيرنده القاء ميشود، بطوريكه متناسب با اختلاف زاويه بين اين دو روتور ميباشد.

$$v_{receiver\,rotor} = (E_{\max} \sin \omega t)\cos\theta \qquad (7)$$

شكل زير اين نوع اتصال دو سينكرو را نشان ميدهد.



- در حقيقت، اگرشما محور سينكرو گيرنده را به يك نقطه موقعيت دلخواه محور تحت كنترل حركت دهيد، ولتاژ خروجي روتور نشانگر خطا خواهد بود يعني:
(وضعيت واقعي – وضعيت دلخواه) = سيگنال خطا
- همانطوريكه از معادله (7) مشاهده ميگردد، خروجي سينكرو دريافت كننده منحصر بفرد نميباشد يعني در يك دور چرخش كامل دو زاويه وجود دارد كه سيگنال خروجي يكسان توليد ميكند.

- روش بعدي كه راحتتر نيز ميباشد استفاده از مبدل سينكرو به ديجيتال (S/D) يا ريزولور به ديجيتال ميباشد. مبدل سينكرو به ديجيتال يك مدار مجتمع هيبريد ميباشد. اين مدار مجتمع سيگنالهاي S_1، S_2، S_3، R_1 و R_2 را از سينكرو فرستنده مورد استفاده قرار ميدهد نا يك عدد باينري توليد نمايد.

ارتباط زاويه با تعداد بيتهاي عدد باينري در جدول زير نشان داده شده است.

TABLE 3–7 ANGULAR VALUE FOR THE BINARY BITS OF A S/D CONVERTER

Bit no.	Degrees	Degrees, minutes		Radians
1	180	180	0	3.141593
2	90	90	0	1.570796
3	45	45	0	0.785398
4	22.5	22	30	0.392699
5	11.25	11	15	0.196349
6	5.625	5	37.5	0.098175
7	2.8125	2	48.75	0.049087
8	1.40625	1	24.38	0.024544
9	0.70312	0	42.19	0.012272
10	0.35156	0	21.09	0.006136
11	0.17578	0	10.55	0.003068
12	0.08789	0	5.27	0.001534
13	0.04395	0	2.64	0.000767
14	0.02197	0	1.32	0.000383
15	0.01099	0	0.66	0.000192
16	0.00549	0	0.33	0.000096

Source: Analog Devices.

مدارات مجتمع SDC1740، SDC1741، و SDC1742 سه نمونه از مدارات مجتمع هيبريد ميباشند كه بعنوان مبدل سينكرو يا ريزولور به ديجيتال بكار ميروند. شكل زير طريقه استفاده آنها را در يك حلقه كنترلي نشان ميدهد.

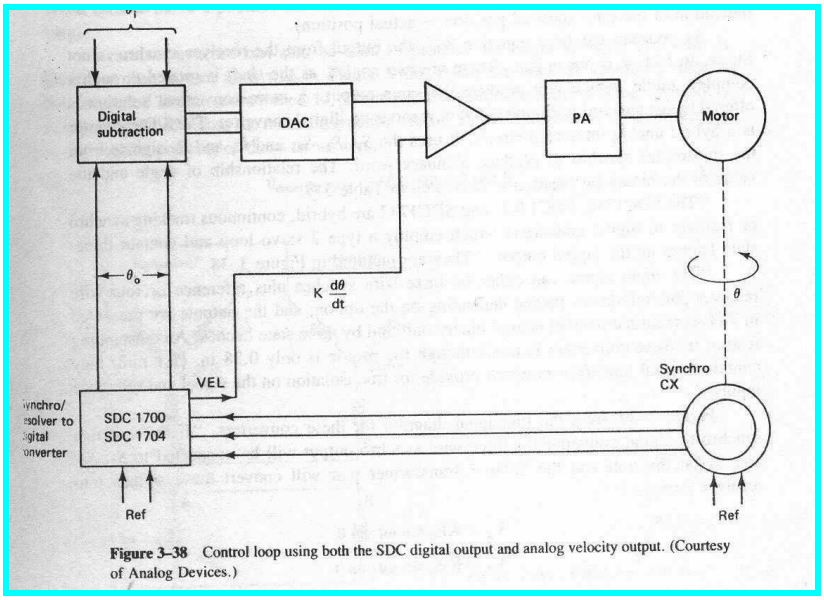


Figure 3–38 Control loop using both the SDC digital output and analog velocity output. (Courtesy of Analog Devices.)

سيگنالهاي ورودي ميتوانند سينكرو سه سيمه بعلاوه مرجع يا ريزولور چهار سيمه بعلاوه مرجع باشند و سيگنالهاي خروجي بفرم باينري بافر شده و نگهدارنده سه حالته (latches Three-state) و TTL ميباشند. يك ويژگي اين مبدلها با اينكه در ابعاد 7 ميليمتري ميباشند اينستكه شامل ترانسفورماتور داخلي كه ايزولاسيون واقعي بين سيگنال و مرجع ورودي ايجاد ميكند، ميباشند. شكل زير بلوك دياگرام عملياتي اين مبدل را نشان ميدهد.

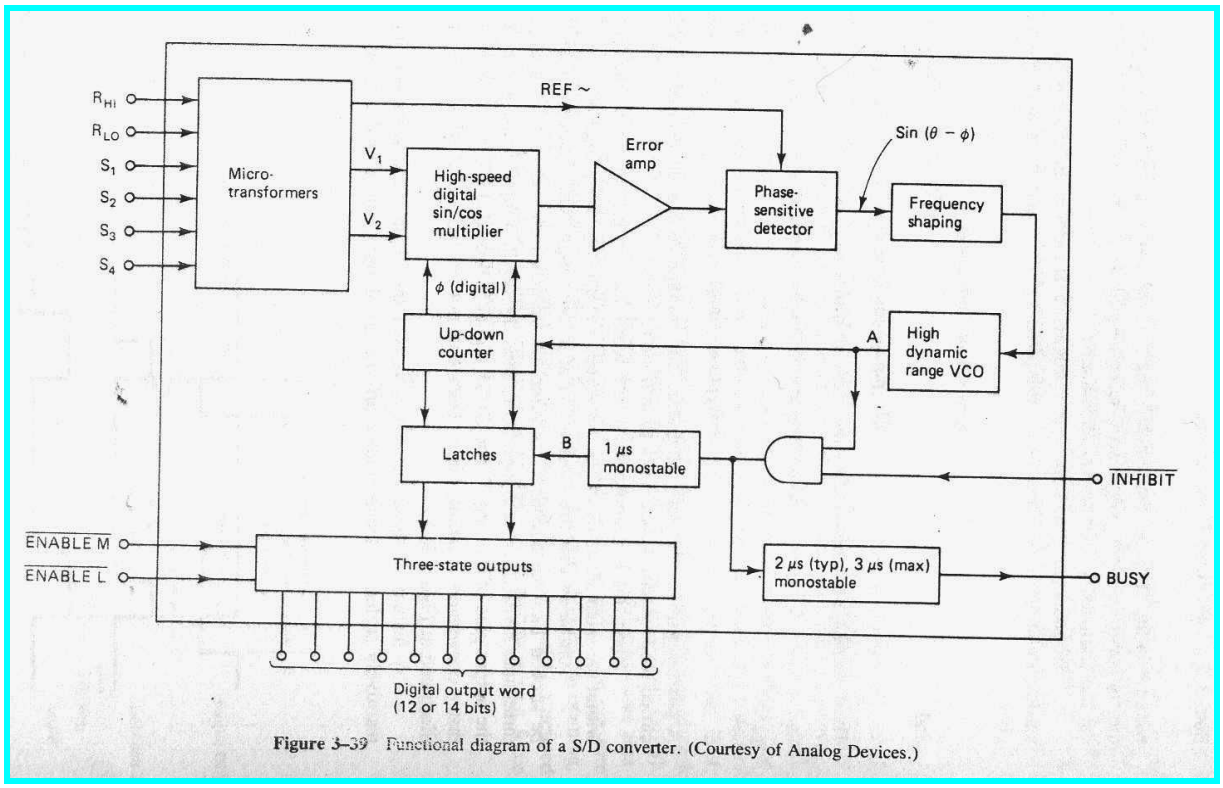


Figure 3–39 Functional diagram of a S/D converter. (Courtesy of Analog Devices.)

اگر اين IC بعنوان يك مبدل سينكرو به ديجيتال مورد استفاده قرار گيرد سه سيم خروجي سينكرو به ورودیهاي S_1، S_2،S_3 وصل ميگردد. ترانسفورمر Scott T اين سه سيگنال را به فرمت دو سيگنال ريزولور تبديل مينمايد.

$$V_1 = KE_0 \sin \omega t \sin \theta$$

$$V_2 = KE_0 \sin \omega t \cos \theta$$

بطوريكه θ زاويه محور سينكرو ميباشد.
اگر اين IC بعنوان مبدل ريزولور به ديجيتال مورد استفاده قرار بگيرد چهار سيم خروجي ريزولور به ورودیهاي S_1، S_2، S_3 و S_4 متصل مي شوند و ترانسفورمر بعنوان يك ايزولاتور محض عمل مينمايد.

براي فهم عمل تبديل ميتوان فرض كرد كه خروجي شمارنده در حال حاضر ϕ است. سپس ولتاژ V_1 با cosϕ ضرب و V_2 با sinϕ ضرب ميگردد يعني

$$KE_0 \sin \omega t \sin \theta \cos \phi$$

$$KE_0 \sin \omega t \cos \theta \sin \phi$$

اين سيگنالها توسط آمپلي فاير خطا تفاضل ميگردد و در نتيجه خواهيم داشت:

$$KE_0 \sin \omega t (\sin \theta \cos \phi - \cos \theta \sin \phi)$$

يا

$$KE_0 \sin \omega t \sin(\theta - \phi)$$

يك آشكار ساز حساس به فاز، انتگرالگير و نوسانساز كنترل شده با فركانس يك سيستم حلقه بسته را تشكيل ميدهند بطوريكه سعي ميكند تا $\sin(\theta - \phi)$ را صفر نمايد. وقتيكه اين حالت اتفاق بيافتد خروجي شمارنده (ϕ) برابر با زاويه محور سينكرو θ خواهد شد.
با فرض اينكه INHIBIT در وضعيت بالا (يك) قرار دارد، سپس جمله خروجي در نگهدارنده باندازه يك ميكروثانيه بعد از اينكه شمارنده به روز شد (تازه شد) لچ خواهد شد. اگر سيگنال تري استيت ENABLE در وضعيت پايين (صفر) باشد، سپس خروجي ديجيتال در پايه هاي خروجي IC قرار خواهد گرفت. سيگنال BUSY توسط مبدل جهت مشخص شدن اينكه مبدل كارش را انجام داده است فراهم گرديده است. اطلاعات تا وقتيكه اين سيگنال به وضعيت صفرنرود معتبر نيست. شكل زير اين موضوع را تشريح مي نمايد.

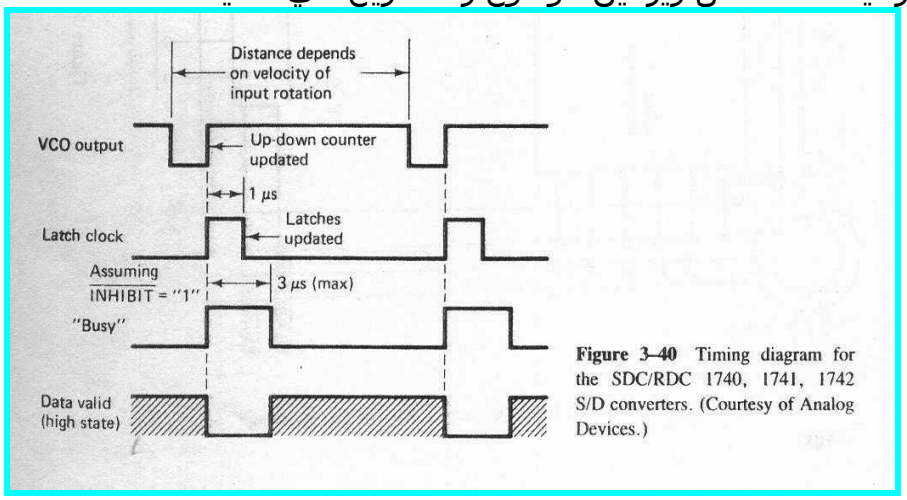


Figure 3–40 Timing diagram for the SDC/RDC 1740, 1741, 1742 S/D converters. (Courtesy of Analog Devices.)

- يكي از خاصيتهاي اين مبدل اين است كه سيگنالهاي ورودي و مرجع مي توانند با استفاده از مقاومت تغيير سطح داده شوند تا مبدل بتواند هر رنجي از سيگنالهاي ورودي و مرجع را تحمل نمايد.
- همچنين ماجولهاي ديگري نيز وجود دارد كه مربوط به سينكرو يا ريزولور ميشوند. مثلاً ماجولهايي هستند كه بجاي باينري خروجي BCD دارند كه راحتتر ميتوان آنهارا نمايش داد. ماجولهاي تكميلي ديگري نيز وجود دارد كه ورودي ديجيتال را گرفته و سيگنالهاي سينكرو ريزولور را با آن توليد ميگرداند (مبدل ديجيتال به آنالوگ).
- SAC1763 سيگنالهاي ورودي سينكرو را قبول ميكند اما خروجي آن ولتاژ آنالوگ كه بطور خطي متناسب با موقعيت محور (شفت) ميباشد توليد ميكند.

سنسورهاي اثر هال

يك سنسور هال از لايه نازك ماده هادي با اتصالات عمود بر مسير جريان ساخته شده است . وقتي اين عنصر تحت تاثير عامل خارجي قرار مي گيرد ، ولتاژي متناسب با تغييرات خارجي ايجاد مي كند كه از آن در حسگرهاي دما ، فشار ، موقعيت و ... استفاده مي شود . مشخصات سنسورهال عبارتند از :

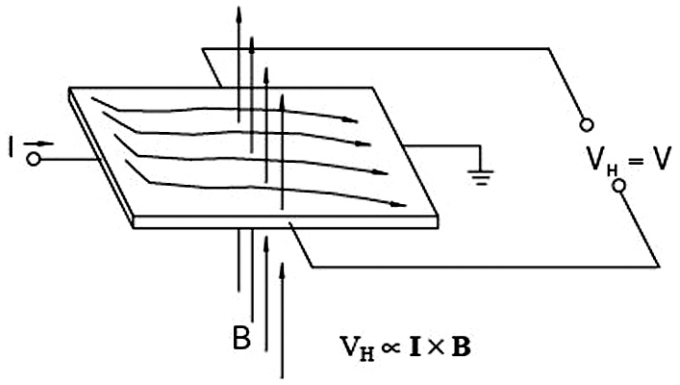
1- از قطعات نيمه هادي ساخته مي شود
2- عمر طولاني
3- سرعت عمل بسيار بالا
4- پاسخ استاتيك
5- اجزاء غير متحرك
6- ورودي و خروجي سازگار با منطق ديجيتال
7- تكرارپذيري بالا

از آنجائيكه اين سنسورها تحت تاثير ميدان مغناطيسي خارجي قرار مي گيرند ، حساس و نويز پذير هستند و بايد براي آنها از شيلد مخصوص استفاده شود .

تئوري هال

هال در سال 1879 پديده اي را كشف كرد كه به نام وي ثبت گرديده است. بر اساس اين تئوري اگر به يك صفحه هادي يا نيمه هادي نازك و مستطيل شكل اختلاف پتانسيل الكتريكي متصل شود از آن جريان طولي عبور مي كند ، با اعمال ميدان مغناطيسي خارجي عمود بر اين صفحه هادي يا نيمه هادي ولتاژي عرضي در هادي ايجاد مي شود . در اثر اعمال ميدان مغناطيسي و عبور جريان طولي ، در يك طرف صفحه بارهاي مثبت و در طرف ديگر بارهاي منفي تجمع پيدا مي كنند ، اين اختلاف پتانسيل عرضي

باعث ايجاد جريان عرضي و عمود بر جهت جريان اصلي مي شود . اگر اختلاف پتانسيل طولي و جريان طولي ثابت نگهداشته شود ، شدت و ميزان جريان عرضي متناسب با پارامترهاي فيزيكي محيط تغيير پيدا مي كند . از اين پديده براي آشكارسازي پارامترهاي فيزيكي محيط و بعنوان سنسور استفاده مي شود .

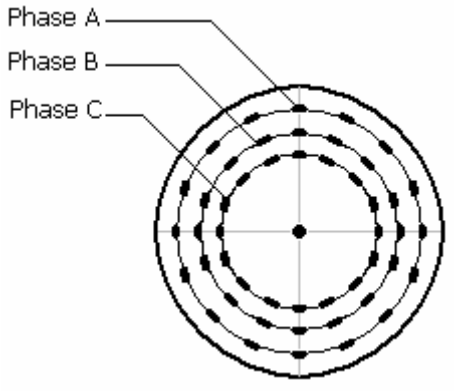


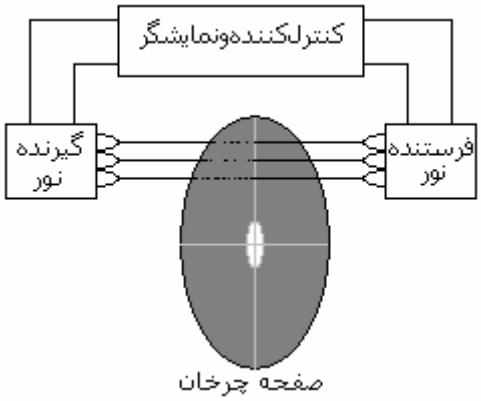
جنس صفحه ، شدت ميدان مغناطيسي و مقدار اختلاف پتانسيل طولي از عوامل موثر در اختلاف پتانسيل عرضي و شدت جريان هال هستند .

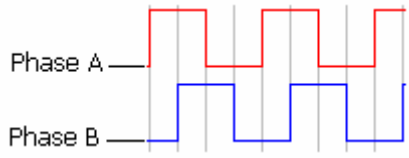
شفت انكودر Shaft Encoder

نوعي سنسور با فرستنده و گيرنده نوري است كه براي اندازه گيري زاويه چرخش و سرعت چرخش در سيتم هاي صنعتي استفاده مي شود . داراي دو نوع افزايشي و مطلق است . نوع افزايشي به ازاي چرخش انكودر با زاويه مشخص ، پالس توليد مي كند ، تعداد پالس هاي توليد شده بستگي به به دقت و وضوح سنسور دارد . معمولا در هر دور حداقل 200 پالس و حداكثر 300 پالس توليد مي شود . توسط اين سنسور علاوه بر زاويه چرخش ، جهت چرخش نيز بدست مي آيد . در اين نوع انكودر نقطه اي بنام نقطه صفر وجود دارد كه انكودر روي يكي از پايه هايش در اين نقطه يك پالس مي دهد . كاربرد عمده انكودر در سنجش زاويه چرخش است ولي از آن براي اندازه گيري طول هم ميتوان استفاده كرد . براي تعيين جهت چرخش در انكودر افزايشي ، دو رديف شيار روي صفحه دايره اي شكل تعبيه مي شود كه اين دو رديف نسبت به هم 90 درجه اختلاف فاز دارند (فازهاي A و B) اگر خروجي در A نسبت به B پيش فاز داشته باشد انكودر در جهت راست مي چرخد و اگر B نسبت به A پيش فاز داشته باشد ، يعني انكودر در جهت چپ مي چرخد . در يك رديف فقط يك شيار وجود دارد كه به آن فاز Z مي گويند . در هر دور يك پالس مي دهد كه نقطه صفر را مشخص مي كند . با استفاده از PLC يا آي سي 4017 مي توان خروجي را روي صفحه نمايش نشان داد . عيب بزرگ اين نوع انكودر ها آن است كه با قطع برق نمي تواند موقعيت خود را تشخيص

دهد و بايد مجددا در موقعيت صفر قرار گيريد تا تعداد چرخش يا جهت راستگرد يا چپگرد آن مشخص شود . انكودر گشتاور بالايي دارند . اگر هر سيستم مكانيكي با سروو اتصال پيدا كند دقت آن پايين مي آيد به همين دليل براي اتصال آنها از گيربكس استفاده مي شود .







در انكودر مطلق با توجه به موقعيتي كه صفحه دارد ، پالس هاي خروجي ايجاد مي شود . اين نوع انكودر بصورت باينري ، گري و .. در خروجي ظاهر مي شود . هنگام تهيه اين نوع انكودر بايستي به كدي كه توسط آن ايجاد مي شود توجه كرد . كاربرد عمده آن در سروو موتورهاست كه بعنوان فيدبك موقعيت و سرعت استفاده مي شود . قيمت تمام شده اين نوع انكودر بسيار بالاست و از افزايشي گرانتر است . مزيت عمده اين نوع

انكودر مطلق بودن آن است يعني در هر نقطه خاص يك پالس بخصوص توليد مي كند كه از روي آن مي توان موقعيت دقيق آن را مشخص كرد .

سنسورهاي فلو Flow meter

فلو به دو صورت جرمي و حجمي تعريف مي شود . فلوي حجمي عبارتست از مقدار حجمي از سيال كه در واحد زمان از سطح مقطع لوله عبور مي كند . واحدهاي مختلفي براي آن تعريف مي شود كه صورت آن حجم و مخرج آن زمان است . ($\frac{cc}{\sec},\frac{lit}{\min},\frac{m^3}{h}$)

فلوي جرمي ، مقدار جرمي از سيال است كه در واحد زمان از سطح مقطع لوله عبور مي كند . در واحدهاي آن صورت جرم و مخرج زمان است . ($\frac{gr}{\sec},\frac{kg}{\min},\frac{ton}{h}$)

با داشتن يكي از فلوهاي حجمي و جرمي ميتوان فلوي ديگر را بدست آورد. ($\rho=\frac{m(mass)}{V(volume)}$) براي آب چون $\rho=1$ است فلوي حجمي و جرمي برابر هستند .

مثال–اگردريك سيال باچگالي $\rho=3\frac{gr}{cm^3}$ مقدارفلوي حجمي $100\frac{litr}{\min}$ باشد، فلوي جرمي را بر حسب $\frac{ton}{h}$ بدست آوريد .

فلوي حجمي $100\frac{lit}{\min}=100\times60\frac{lit}{h}=\frac{6000}{1000}=6\frac{m^3}{h}$

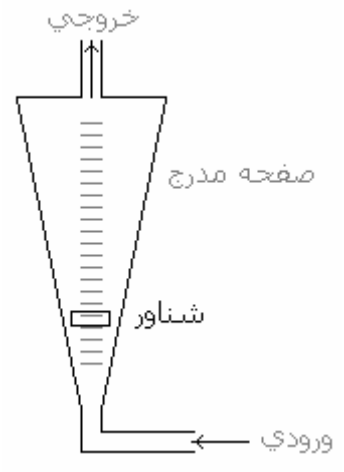
چگالي $\rho=3\frac{gr}{cm^3}=3000\frac{kg}{m^3}=3\frac{ton}{m^3}$

فلوي جرمي $m=\rho V=3\times6=18\frac{ton}{h}$

روتامتر

يكي از ساده ترين نمايشگرهاي فلو است از يك لوله مخروطي مدرج و يك شناور داخل آن تشكيل شده است . در اين نمايشگر فلو ، موقعيت شناور مقدار فلو را نشان مي دهد . مكانيسم عمل به اين شكل است كه نيرويي از طرف سيال به شناور وارد شده و آن را به سمت بالا مي برد و از طرفي نيروي وزن شناور آن را به سمت پايين مي كشد . هر چقدر شناور بالاتر برود سيال از اطراف آن خارج شده و نيروي كمتري از طرف

سيال به آن وارد خواهد شد ولي نيروي وزن شناور هميشه ثابت است . پس در نقطه مشخصي اين دو نيرو با هم برابر خواهند شد و شناور ثابت خواهد ايستاد . اين نقطه بستگي به مقدار سيال دارد كه هر چقدر بيشتر باشد نقطه تعادل بالاتر خواهد بود .



روتامتر معمولا براي سيال مشخصي كاليبره مي شود و اگز نياز باشد براي سيال ديگري بايد مجددا كليبره شود و صفحه مدرج آن تغيير يابد و يا اينكه ضريبي بنام ضريب كاليبراسيون براي ان در نظر گرفته شود . براي كاليبره كردن فلومتر معمولا يك فلومتر استاندارد كاليبره را با آن سري قرار مي دهند . مقدار فلويي كه فلومتر استاندارد نشان مي دهد بعنوان مرجع در نظر گرفته مي شود و با توجه به آن فلومتر كاليبره مي شود . روتامترها در ابعاد و رنج هاي مختلف ساخته مي شوند و نمايشگر آن نيز براي واحدهاي مختلفي مدرج مي شود . در واقع طول روتامتر نشان دهنده حساسيت آن است . اگر هر چه طول روتامتر بيشتر شود درجه بندي آن با دقت بيشتري انجام خواهد شد و براي تغييرات مشخص فلو جابجائي شناور بيشتر خواهد بود . واحدهايي كه بطور معمول در روتامتر ها استفاده مي شوند بايد بطور مشخص بر روي روتامتر ذكر شوند . مثل

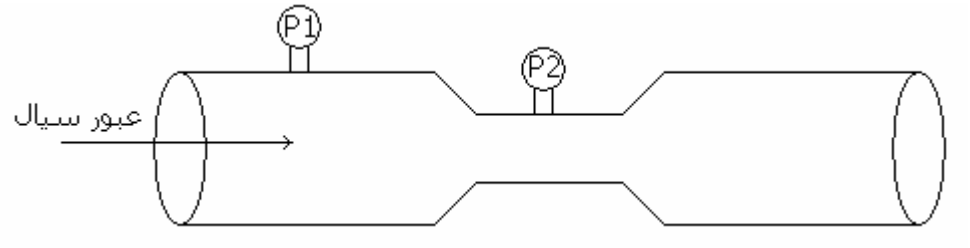
$$\frac{cc}{\sec},\frac{lit}{\min},\frac{m^3}{h}$$

فلو متر اختلاف فشار

معمولا براي اندازه گيري فلو به اين روش از سنسور اختلاف فشار به اضافه يك واحد بزرگتر استفاده مي شود .

DPT در واقع ترانسميتر تفاضلي فشار است كه اختلاف فشار P1 و P2 را اندازه گيري مي كند و واحد جذر گير در واقع جذر ΔP را مي گيرد و روي نمايشگر نيز ضريب k اعمال مي شود تا مقدار نمايش داده شده فلوي واقعي سيال باشد . از مزاياي اي فلومتر مي توان به عمر زياد بعلت

نداشتن قطعات مكانيكي متحرك اشاره كرد و از معايب آن اين است كه قادر به اندازه گيري فلوهاي كم نمي باشد .



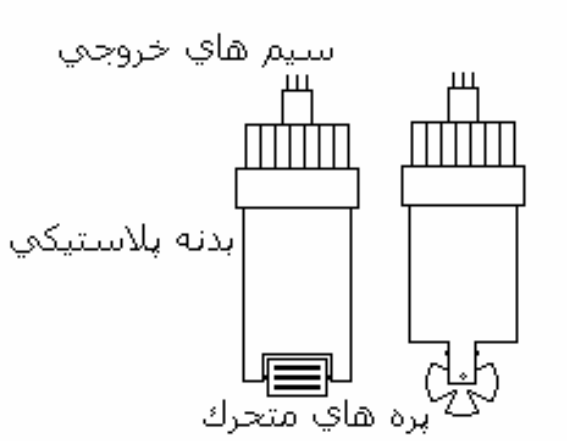
قانون برنولي

با كم كردن سطح مقطع لوله سرعت سيال زياد مي شود تا فلو ثابت باشد . (درلوله هاي سري باسطح مقطع هاي مختلف،فلوثابت است.)

اگر در قسمتي از لوله تنگي ايجاد كنيم به دليل اينكه فلو در كل مسير ثابت است در قسمت هاي با سطح مقطع كمتر سيال با سرعت بيشتري حركت مي كند و اين مسئله باعث افت فشار در آن قسمت مي شود در واقع فشار P2 كمتر از فشار P1 خواهد بود . اختلاف فشار P1 و P2 متناسب با مقدار فلوي عبوري تغيير مي كند . در واقع فلومتر اختلاف فشار يكي از پركاربردترين سيستم هاي اندازه گيري فلو است . رابطه بين اختلاف فشار و فلو به شكل زير است : $\phi = k\sqrt{\Delta P}$ در اين رابطه k ضريب ثابت و $\Delta P = P1 - P2$ است .

فلومتر توربيني

در اين فلومتر توربين در مسير سيال قرار داده مي شود و متناسب با سرعت سيال سرعت توربين نيز تغيير مي كند . خود فلومتر در واقع از سنسور مجاورتي تشكيل شده است . هر پره توربين كه از مقابل سنسور عبور مي كند يك پالس ايجاد مي كند حال اگر تعداد پالس ها در واحد زمان شمارش شوند مبناي سنجش فلو فراهم مي گردد . اين نوع فلو متر براي سنجش فلوهاي سيال بسيار تميز مناسب است ولي اگر سيال داراي ذرات معلق چسبنده باشد ، اين ذرات به مرور زمان بر روي پره هاي توربين رسوب كرده و باعث مسدود شدن مسير عبور سيال مي شوند . اين فلو متر دقت و حساسيت بالايي ندارد چون پره مانع مكانيكي ايجاد مي كند و باعث خطا مي گردد .



فلو متر مغناطيسي

فقط براي سنجش سيال هاي هادي الكتريسيته و الكتروليت مثل آب معمولي مناسب است . اين فلومتر بر اساس قانون فارادي كار مي كند ($e = BLV$ v سرعت ، L طول و B شدت ميدان مغناطيسي است). حركت سيال باعث قطع خطوط ميدان مغناطيسي شده و ولتاژ القاء شده روي هادي بستگي به سرعت سيال خواهد داشت . در واقع با اين فلومتر سرعت سيال اندازه گيري مي شود . به دليل ثابت بودن ميدان و ثابت بودن طول ، فلوي سيال فقط به سرعت سيال هادي بستگي خواهد داشت . در اينجا لوله حامل سيال بايد از مواد غير مغناطيسي و الكتريكي باشد .