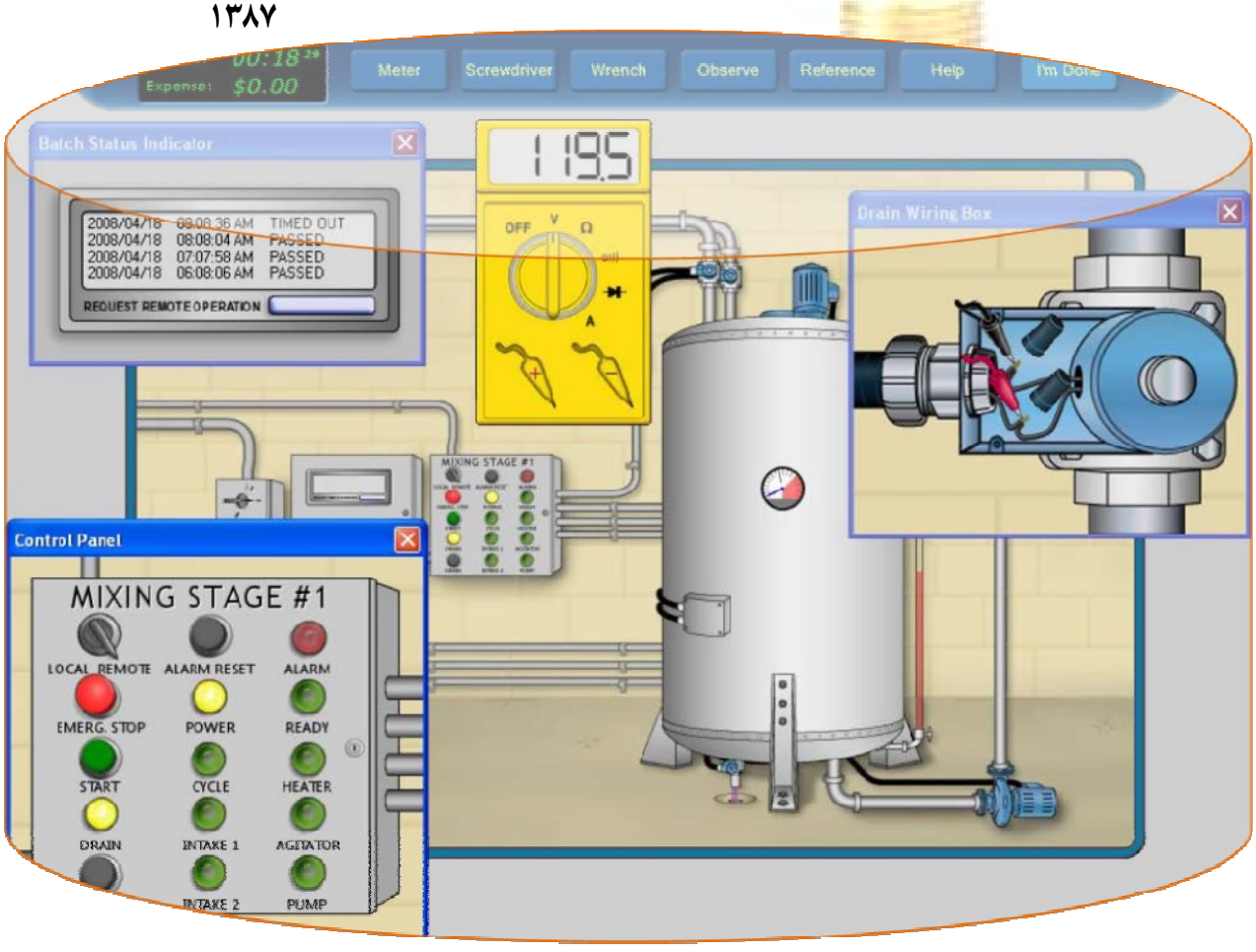
مرکز آموزش عالی فنی تبریز

کنترل صنعتی

مهندس احمد طهماسبی

۱۳۸۷



سر فصل ها

فصل اول : تعاریف و اصطلاحات در کنترل صنعتی

فصل دوم :

۱. اندازه گیرهای وضعیت (مقاومتی ، سلفی ، خازنی)

۲. روش های اندازه گیری دما

۳. روش های اندازه گیری فلو

۴. روش های اندازه گیری فشار

۵. روش های اندازه گیری سطح مایعات

فصل سوم :

۱. فرایند های صنعتی وبه دست آوردن تابع تبدیل آن ها

۲. ساده سازی نمودار جعبه ای

فصل چهارم:

سنسور های بدون تماس

فصل پنجم : کنترل کننده ها

۱.کنترل کننده های PLC

۲.کنترل کننده های ON/OFF و PID

سرفصل ارائه شده برای درس کنترل صنعتی رشته الکتروتکنیک از طرف شورای برنامه ریزی آموزشی و درسی تصویب شده در مورخه۱۳۸۳/۱۰/۱۲

هدفهای رفتاری	حیطه	طبقه	رئوس و ریز محتوای آموزش	زمان نظری	زمان عملی	زمان جمع
پس از پایان این درس از فراگیر انتظار می‌رود که:			فصل اول :آشنایی باسیستمهای کنترل			
مفاهیم فرآیند،کنترل کننده ، حسگر، عملگر، اغتشاش ، پایداری ، فیدبک ، حساسیت راتعریف کند	شناختی	دانش	الف - تعاریف اولیه ۱- فرآیند ۲- سیستمهای کنترل (کنترل کننده - حسگر - عملگر) ۳- مشخصات سیستم وکنترل	۱۰		۱۰
پروسه های الکتریکی ، مکانیکی ، پنوماتیکی ، هیدرولیکی ، تولیدوانتقال حرارت ، فشارودبی ، کنترل سطح وسرعت راتوضیح دهد			• مقدارمطلوب (Set Point) • اغتشاش ونویز • پایداری • فیدبک • حساسیت			
پروسه های الکتریکی،مکانیکی،پنوماتیکی،هیدرولیکی،تولیدوانتقال حرارت،فشارودبی،کنترل سطح وسرعت راتوضیح دهد.	شناختی	درک وفهم	۴- انواع پروسه های صنعتی • سیستمهای الکتریکی • سیستمهای مکانیکی			

هدفهای رفتاری	حیطه	طبقه	رئوس و ریز محتوای آموزش	زمان نظری	زمان عملی	زمان جمع
پس از پایان این درس از فراگیر انتظار می‌رود که:			• سیستمهای پنوماتیکی			
			• سیستمهای هیدرولیکی			
			ب - آشنایی بانموداربلوکی وتابع تبدیل سیستم‌ها			
نموداربلوکی راتعریف کند	شناختی	دانش	- نموداربلوکی			
اجزای نموداربلوکی رانام ببرد	شناختی	دانش	• اجزای نموداربلوکی			
نمودارهای بلوکی رابعنوان مثال رسم کند	شناختی	کاربرد	• رسم نموداربلوکی			
نمودارهای بلوکی رسم شده راساده نماید	شناختی	کاربرد	• ساده سازی نمودارهای بلوکی			
			فصل دوم :اجزای سیستم های کنترل صنعتی	۱۲		۱۲
تجهیزات‌ابزاردقیق(حسگرها، ترانسدیوسرها، ترانسمیترها)راتوضیح دهد	شناختی	درک وفهم	الف - ابزاردقیق			
			۱- مفاهیم اولیه			
			• حسگرها			
			• ترانسدیوسرها			
			• ترانسمیترها			
ساختمان داخلی وطرزکارسنسورهای دما، حرکت ، فشار، جریان راتوضیح دهد	شناختی	درک وفهم	۲- معرفی سنسورهاونحوه کارآنها			

هدفهای رفتاری	حیطه	طبقه	رئوس و ریز محتوای آموزش	زمان نظری	زمان عملی	زمان جمع
پس از پایان این درس از فراگیر انتظار می‌رود که:			• سنسوردما			
			• حرکت			
			• فشار			
			• جریان			
ابزارهای دقیق (لیزر-Ultra Sound) راشرح دهد	شناختی	درک وفهم	۳- ابزاردقیق نوین			
			• لیزر			
			• Ultra Sound			
انواع ترانسدیوسرهاومبدل هارانام ببرد	شناختی	دانش	۴- انواع ترانسدیوسرهاومبدل ها			
			ب -کنترل کننده ها			
کنترل کننده های مکانیکی وهیدرولیکی وپنوماتیکی راتوضیح دهد	شناختی	درک وفهم	۱- کنترلرهای مکانیکی وهیدرولیکی وپنوماتیکی			
کنترل کننده های الکترونیکی (آنالوگ ، دیجیتال) راشرح دهد	شناختی	درک وفهم	۲- کنترلرهای الکترونیکی آنالوگ			
			۳- کنترلرهای الکترونیکی دیجیتال			
مدارهای میکروپروسوری ،کنترل کننده های CNC , PLC راتوضیح دهد	شناختی	درک وفهم	• مدارهای میکروپروسوری			
			• کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی (PLC)			

فصل اول :

تعاریف و اصطلاحات:

سیستم کنترل اتوماتیک:اصولاً به وسایلی اطلاق می گردد که در هر لحظه به طور اتوماتیک و خود کار و بدون کمک خارجی یک سلسله اعمال مدار را بررسی و اگر اختلافی در نتیجه پیش بینی شده داشته باشد آن را اصلاح کند.

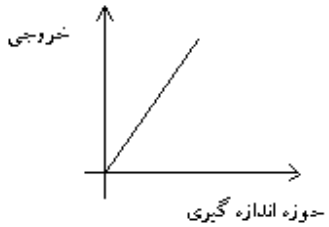
فرآیند :عبارت است از یک سری تحولات زنجیره ای که به سمت نتیجه مطلوب هدایت می شوند.

حوزه اندازه گیری (range): محدوده ای از دامنه تغییرات مورد اندازه گیری است که عنصر اندازه گیری قادر به اندازه گیری آن باشد.بنابر این همواره باید اندازه گیری را انتخاب نمود که حوزه اندازه گیری آن دامنه تغییرات احتمالی کمیت مورد کنترل را تحت کنترل قرار دهد.

صفر اندازه گیری : معمولاً نقطه مشخصی را در حوزه اندازه گیری به عنوان نقطه صفر در نظر می گیریم . مثلاً در اندازه گیری های حرارت نقطه صفر زمانی است که آب یخ می زند ، و در اندازه گیری فشار ،فشار اتمسفر به عنوان فشار صفر در نظر گرفته می شود.

انحراف صفر : معمولاً اندازه گیری را طوری تنظیم می کنند که خروجی آن در نقطه صفر مساوی صفر باشد،اما متأسفانه اندازه خروجی در نقطه صفر ممکن است با گذشت زمان تغییر کند ،این پدیده را انحراف صفر می گویند.

حساسیت : حساسیت یک دستگاه اندازه گیری عبارت است از تغییرات خروجی اندازه گیری به واحد تغییرات در کمیت مورد اندازه گیری . به بیان دیگر حساسیت شیب مشخصه عنصر اندازه گیر می باشد. اگر شیب مشخصه در حوزه اندازه گیری ثابت باشد، اندازه گیر را خطی می گوییم.



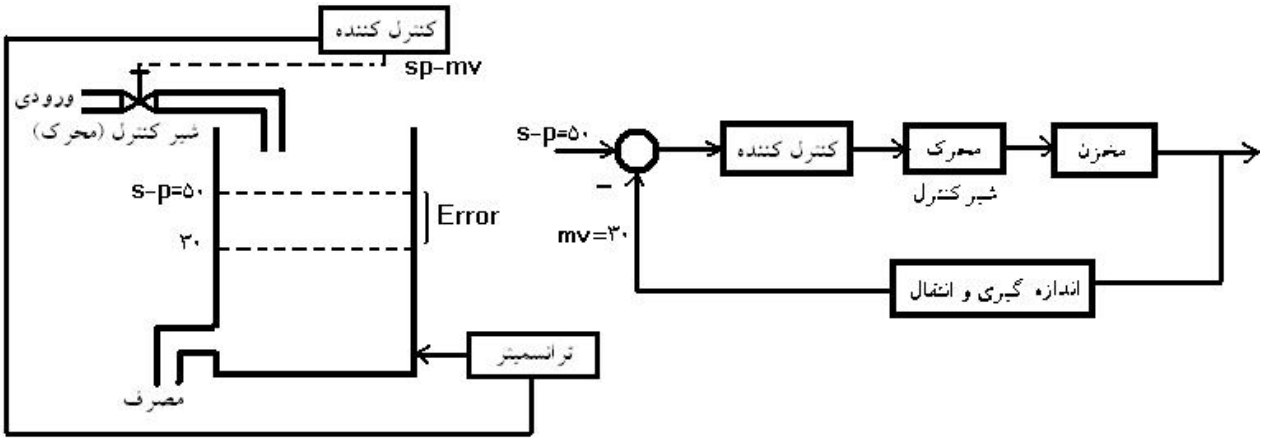
اغتشاش: عاملی است که بر روی خروجی تأثیر نامطلوب می گذارد ،و می تواند درونی یا بیرونی باشد .

پایداری : میزان ثبات یا تغییر ناپذیری یک خروجی در اثر اعمال اغتشاش را پایداری گویند.

فیدبک (feedback) : مقایسه خروجی یک سیستم با مقدار مطلوب و تولید یک سیگنال خطا را فیدبک گویند.

دستگاه تحت کنترل(plant) :هر وسیله ای که قرار است کنترل شود مثل کوره دما، مخزن فشار و ... نامیده می شوند.

مثال) کنترل سطح مایع یک مخزن :



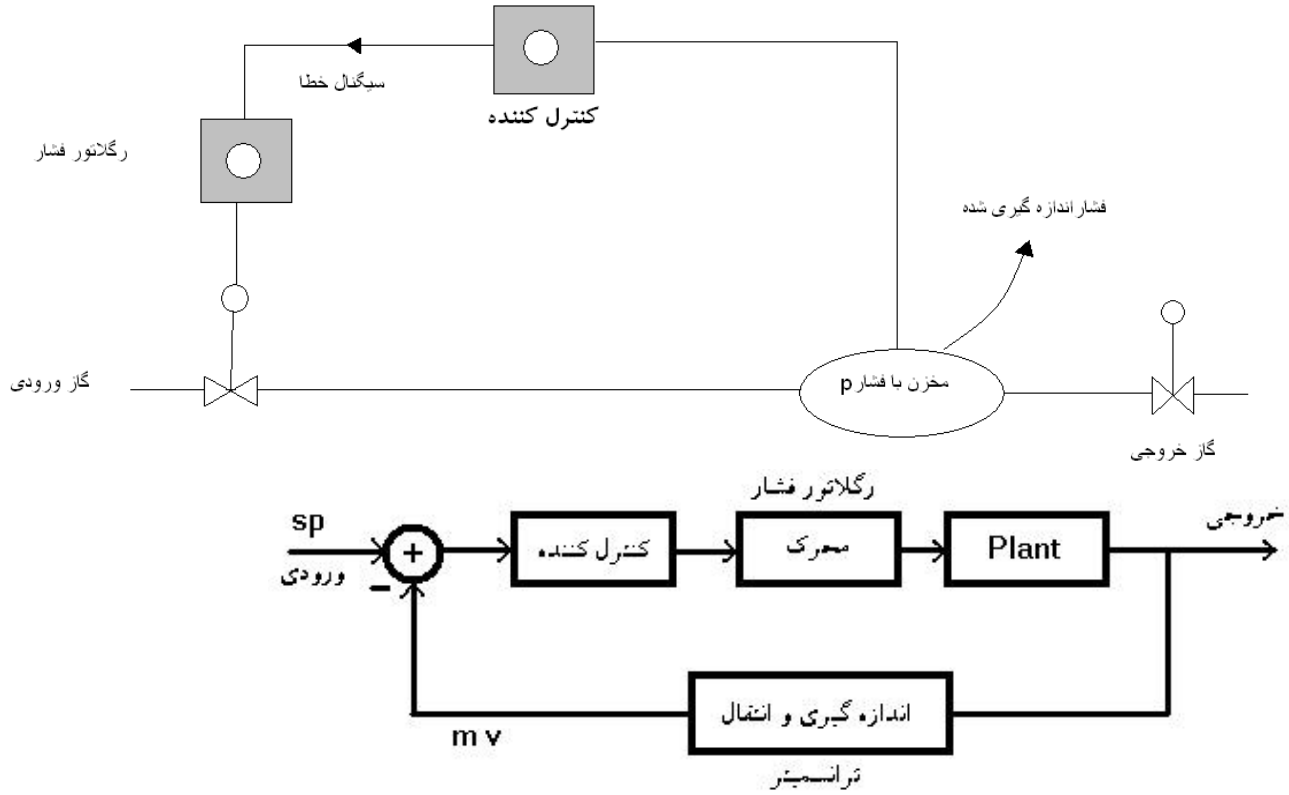
شکل ۱: کنترل سطح مایع یک مخزن

در این سیستم می خواهیم سطح آب در یک ارتفاع معین ثابت بماند، یعنی می خواهیم سطح آب در یک حد مطلوب که به آن (set point)می گوییم،پایدار شود.

این مخزن شروع به پر شدن می کند،هر ارتفاع این مخزن در هر لحظه به عنوان خروجی این سیستم می باشد که این خروجی در هر زمان توسط وسیله اندازه گیری سطح اندازه گیری شده و در قسمت دستگاه کنترل کننده با مقدار مورد نظر مقایسه می شود،که اختلاف مورد نظر به عنوان سیگنال خطا به شیر کنترل فرستاده می شود . مطابق آن و متناسب با اختلاف ،شیر آب ورودی باز و بسته می شود. این عمل تا زمانی که خروجی به مقدار مطلوب مورد نظر نرسیده ادامه می یابد.

وقتی اختلاف صفر شود سطح همواره ثابت خواهد ماند.لازم به ذکر است این سطح با تغییرات مصرف (خروجی) و ورودی آن تغییر می کند ،که در این صورت مجددا بایستی عمل کنترل صورت گیرد.

مثال) سیستم کنترل فشار مخزن:



شکل ۲: سیستم کنترل فشار مخزن

در این سیستم هدف کنترل فشار گاز درون یک مخزن می باشد.هرچه مصرف گاز زیاد تر باشد فشار گاز درون مخزن تغییر می کند.با تغییر میزان گاز ورودی سعی داریم تا فشار داخل مخزن را در نقطه ی مرجع نگهداریم.در این سیستم به غیر از تغییر مصرف در خروجی تغییرات دمای محیط نیز می تواند باعث تغییر فشار داخل مخزن شود که بعنوان اغتشاش یا نویز معروف است.

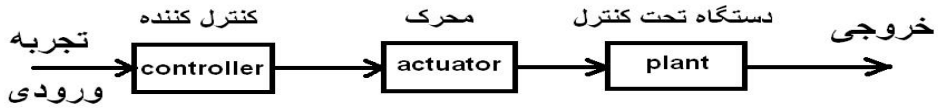
در سیستم کنترل اتوماتیک فشار داخل مخزن اندازه گیری شده و تبدیل به فشار یا سیگنال مورد نظر در دستگاه کنترل کننده و مقایسه کننده می شود وبا مقدار مطلوب مقایسه شده و در صورت خطا بطور مناسب روی رگلاتور شیر کنترل اعمال می شود تا با باز و بسته کردن شیر کنترل ورودی عمل تنظیم فشار داخل مخزن صورت گیرد. .در این سیستم ها ارتباط بین سیستمprocessو اتاق فرمان از طریق سیگنال ها و انرژی هایی چون (پنوماتیکی و هیدرولیکی در صنعت نفت و گاز و محل های قابل انفجار)و انرژی برق استفاده می شود.

تقسیم بندی سیستم های کنترل:

سیستم های کنترل به دو نوع حلقه باز و حلقه بسته تقسیم بندی می شوند.تغییرات ورودی ممکن است فقط بر اساس اطلاع از مدل سیستم و یا تجربه صورت گیرد و بدون اطلاع از خروجی باشد که در آن صورت سیستم را حلقه باز می نامند.

در صورتی که عملیات و تغییرات ورودی بر اساس اطلاع از خروجی صورت گیرد سیستم را حلقه بسته و به آن سیستم کنترل فیدبک دار گویند.

در کنترل حلقه باز ورودی بر اساس اطلاع قبلی از مدل سیستم به منظور ایجاد خروجی معین به سیستم اعمال می شود .کنترل کننده شکل سیگنال ورودی را به طور متناسب تغییر و تقویت می کند .قسمت محرک دارای توان زیاد بوده و بر اساس سیگنال دریافتی از کنترل کننده نیروی لازم را اعمال نموده و حرکات لازم انجام می دهد.



شکل ۳:بلوک دیاگرام کنترل حلقه باز

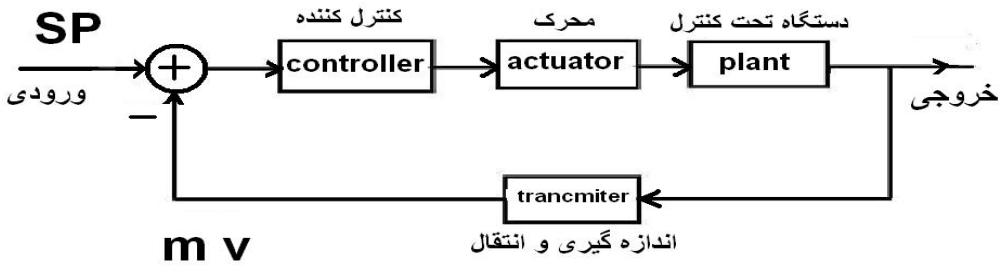
در سیستم حلقه باز اثر خطای موجود در مدل سیستم یا تحریکات موجود غیر قابل پیش بینی است.خروجی دستگاه معمولا دارای مقداری خطا نسبت به مقدار مورد نظر خواهد بود.

کنترل حلقه بسته :

در اینجا عمل کنترل بر اساس ورودی مرجع و خروجی صورت می گیرد.مقدار خروجی توسط اندازه گیر و مبدل به مقایسه کننده ارسال میشود و نتیجه ی مقایسه به عنوان سیگنال خطا به کنترل کننده اعمال می گردد.

مثال:

یک لباس شویی هوشمند که با مطلع شدن از میزان پاکی لباسها, آب و کف وارد ماشین می کند .

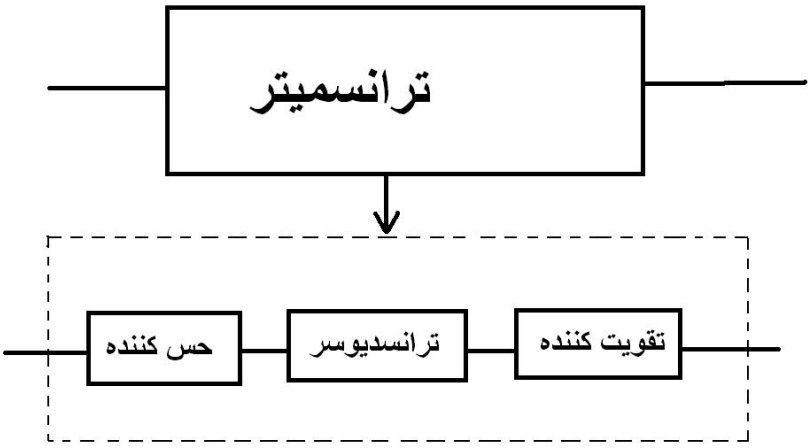


شکل ۴:بلوک دیاگرام کنترل حلقه بسته

انتقال دهنده های سیگنال(ترانسمیترها):

در واحد های صنعتی بزرگ که عملیات تولید در محوطه ی گسترده ای انجام می گیرد ادوات و دستگاه های کنترل و اندازه گیری بطور متمرکز در محلی به نام اتاق فرمان یا مرکز کنترل قرار دارند. بطوری که امکان اندازه گیری و کنترل کلی متغییر ها در سراسر کارخانه و محوطه آن توسط اپرا تور در هر لحظه فراهم آید.در چنین مواردی لازم است که سیگنال ها و فرمان ها از محوطه به اطاق کنترل و بر عکس منتقل شوند برای این منظور از دستگاه هایی بنام ترانسمیتر ها استفاده می شود.

ترانسمیترها روی لوله ها و مخازن در سراسر محوطه در نقاط اندازه گیری نصب می شوند. بطور کلی ترانسمیتر ها از سه قسمت اصلی حس کننده، مبدل(ترانسدیوسر) و تقویت کننده تشکیل می شود.



شکل ۵:بلوک تشکیل دهنده ترانسمیتر

شکل ۶: ترانسمیتر

ترانسمیتر ها در انواع الکتریکی و نیوماتیکی ساخته می شوند.

خروجی ترانسمیتر های الکتریکی بین ۴-۲۰میلی آمپر و ترانسمیتر های نیوماتیکی بینPSI ۳تا۱۵ بر حسب تغییرات کمیت ورودی می تواند تغییر کند. (PSI=POUND-SQUARE INCH)

لازم به ذکر است قسمت های مبدل و تقویت کننده برای انواع ترانسمیتر ها یکسان بوده و فقط قسمت حس کننده برای کمیت های مختلف متفاوت می باشد.مثلاً در مورد ترانسمیتر درجه حرارت قسمت حس کننده به درجه حرارت و درمورد ترانسمیتر های فشار قسمت حس کننده به درجه فشار حساس خواهند بود.

برای مدرج کردن و یا کالیبره کردن ترانسمیتر ها طبق دستور سازنده با دادن ورودی های معین و معلوم خروجی را تنظیم می کنیم.

مثلاً اگر ورودی صفر باشد خروجی ترانسمیتر نیوماتیکی باید 3 psi باشد و اگر ورودی حداکثر باشد خروجی باید ۱۵را نشان دهد.

تعریف ترانسدیوسر:

مبدل یا ترانسدیوسر به مجموعه ای از قطعات یا به دستگاهی گفته می شود که بتواند کمیتی را دریافت و متناسب با آن، کمیتی از جنس دیگر را تحویل دهد.

انواع ترانسدیوسر ها:

۱-ترانسدیوسر های کمیت های غیر الکتریکی به الکتریکی ۴-۲۰میلی آمپر

۲-ترانسدیوسر های کمیت های غیر الکتریکی به نیوماتیکی ۳-۱۵ psi

۳-ترانسدیوسر های علائم نیوماتیکی به الکتریکی

۴-ترانسدیوسر های علائم الکتریکی به نیوماتیکی

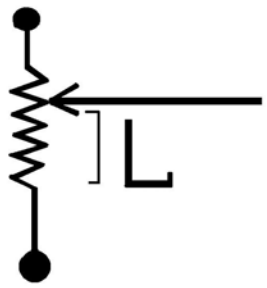
فصل دوم :

اندازه گیری های وضعیت(جابجایی):

۱-اندازه گیرهای مقاومتی : مقاومت الکتریکی یک جسم از رابطه زیر بدست می آید .

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

اگر اگر A و ρ ثابت باشند مقاومت متناسب با طول خواهند بود و بنابر این از آن می توان بعنوان یک اصل فیزیکی برای ساخت اندازه گیر های وضعیت استفاده نمود.ساده ترین نوع اندازه گیر های مقاومتی اندازه گیر های پتانسیومتری می باشد.

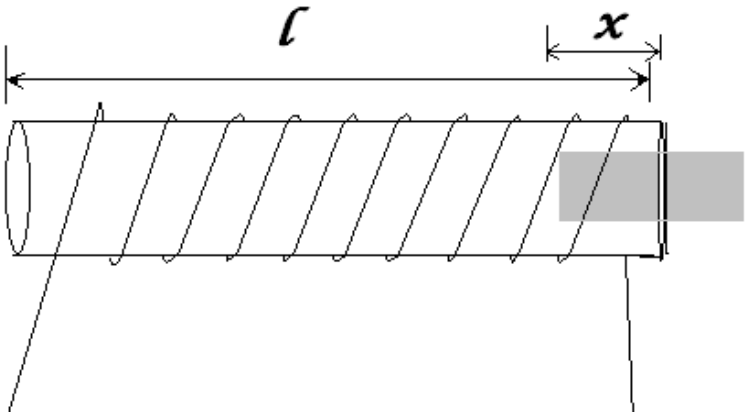


شکل ۷: پتانسیومتر

از مزایای اندازه گیر های مقاومتی میتوان به سادگی ارزانی و سهولت کاربرد اشاره کرد و از معایب آن نیز استهلاک مکانیکی و محدود بودن رنج اندازه گیری و ایزولاسیون ضعیف ورودی، خروجی اشاره کرد.

۲-اندازه گیرهای سلفی : مشکل اساسی اندازه گیر های مقاومتی استهلاک آنها ست چرا که لغزش سر وسط پتانسیومتر بر روی آن موجب استهلاک و سایش می شود .بعلاوه لختی سر وسط ایجاد نویز و اختلال در اندازه گیری می نماید .همچنین گرد غبار و آلودگی هایی که در محیط های صنعتی وجود دارد نیز موجب کثیف شدن پتانسیومتر و انحراف مشخصات اولیه آن می شود.

عدم ایزولاسیون الکتریکی ورودی، خروجی نیز یکی از معایب عمده این اندازه گیرهای مقاومتی می باشد .در بسیاری از کاربرد ها برای رفع مشکلات فوق از اندازه گیر های سلفی استفاده می کنیم.

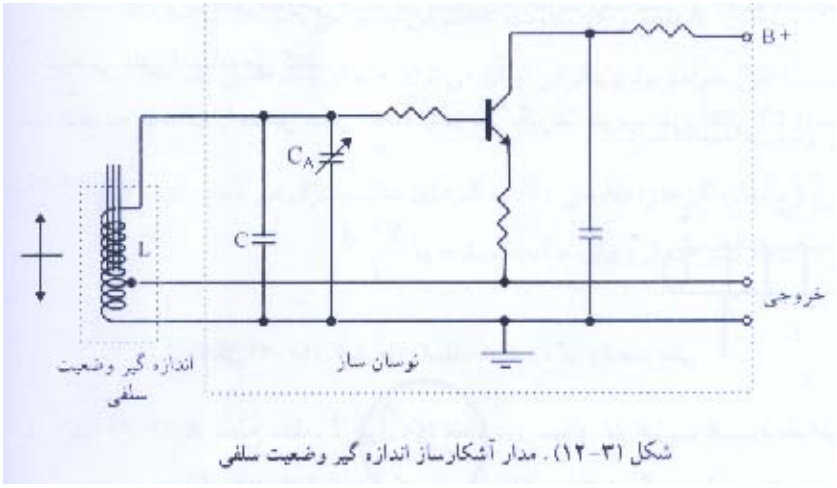


شکل ۸: اندازه گیر سلفی

اگر جابجایی مورد اندازه گیری را به هسته سلف متصل کنیم به گونه ای که مطابق شکل موجب خارج شدن یا وارد شدن هسته به داخل سیم پیچ گردد آنگاه ضریب خود القایی L که متناسب با μ است متناسب با جابجایی خواهد بود.

$$L=\frac{\mu AN^2}{l}$$

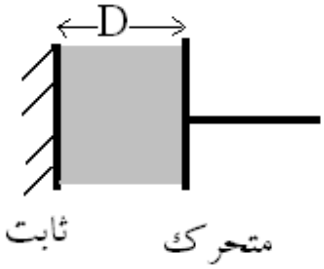
برای آشکار سازی L سیم پیچ را در یک مدار اوسیلاتور قرار میدهند.تغییرات L موجب تغییرات فرکانس اوسیلاتور میگردد.



شکل (۳-۱۲) . مدار آشکارساز اندازه گیر وضعیت سلفی

از مزایای اندازه گیری های سلفی می توان به کم بودن استهلاک و ایزولاسیون ورودی, خروجی و عدم حساسیت به گرد وغبار اشاره نمود و از معایب آن به محدود بودن رنج اندازه گیری و قیمت بالا و پیچیدگی مدارا ت جانبی اشاره کرد.

۳-اندازه گیر خازنی:



شکل ۱۰: اندازه گیر خازنی

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

با ثابت بودن ε و A ظرفیت خازن متناسب (معکوس)با فاصله D خواهد بود . اگر مطابق شکل یک صفحه خازنی را ثابت و صفحه دیگر را به جابجایی متصل کنیم جابجایی صفحه متحرک موجب تغییر D و در نتیجه تغییر C ظرفیت خازن می گردد.و بنابر این ظرفیت خازن متناسب (معکوس)با جابجایی خواهد بود.

تغییرات C در مدار اوسیلاتور (نوسان ساز)به تغییرات فرکانس تبدیل می شود.

اندازه گیر های خازنی در اندازه گیری جابجایی های بسیار کوچک ،دقت و حساسیت بهتری دارند.بعلاوه میدان های مغناطیسی که در محیط های صنعتی وجود دارند تأثیری بر کار آنها نخواهد گذاشت.

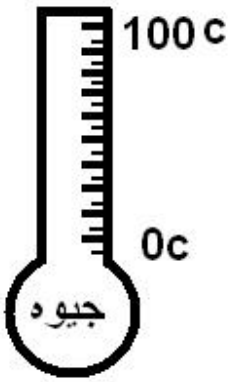
اندازه گیری دما :

۱-اندازه گیری درجه حرارت به روش غیر الکتریکی:

در این روش از انبساط مایعات و گازها وفلزات استفاده می شود.

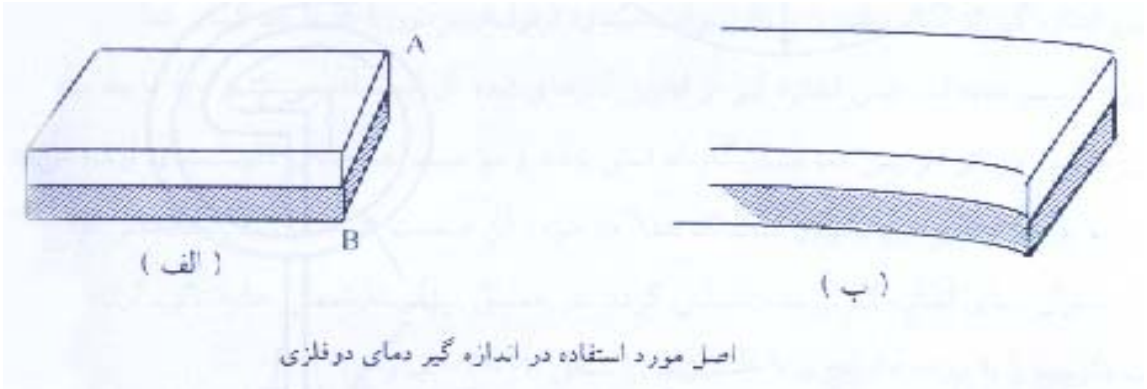
۱-۱ انبساط مایعات و گاز ها:

اگر مقداری جیوه و یا اتر و یا الکل در مخزن شیشه ای که دارای لوله ی مدرج است ریخته شود ،این دستگاه یک دماسنج یا ترمومتر را تشکیل می دهد که در اثر افزایش درجه حرارت محیط اطراف آن، حجم مایع افزایش می یابد و مقدار دما از روی آن خوانده می شود.



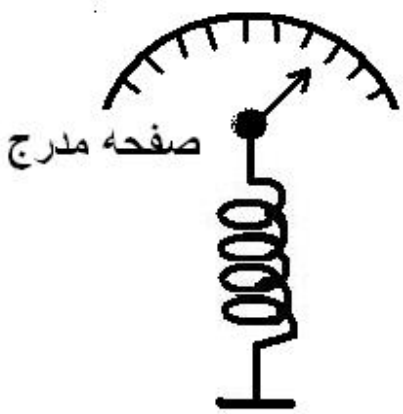
شکل ۱۱: ترمومتر

۱- ۲ انبساط فلزات بر اثر درجه حرارت:



اصل مورد استفاده در اندازه گیر دمای دوفلزی

اگر یک مفتول حرارت داده شود طول آن زیاد می شود ،از این خاصیت برای اندازه گیری درجه حرارت بهره می گیرند به این منظور دو نوار باریک ازدو فلز مختلف (بی متال) که ضریب انبساط یکی بیشتر از دیگری است به هم متصل کرده و یک طرف آنها را به محلی ثابت و سر دیگر آزاد را به عقربه مدرج متصل می کنیم.



شکل۱۲:بی متال از نوع مارپیچ

در عمل برای افزایش تغییر طول در اثر تغییرات دما بی متال را به صورت حلزونی یا مارپیچ می سازند .فلز های مورد استفاده معمولاً از آلیاژ های آهن ،نیکل می باشند .یک آلیاژ نیکل به نام invar دارای ضریب انبساط کوچکی است که معمولاً به عنوان فلز با ضریب انبساط کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

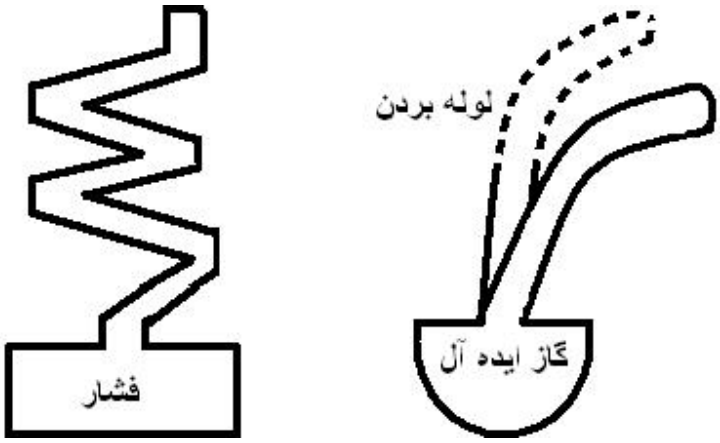
اندازه گیر های بی متال ارزان، ساده، محکم و بادوام می باشند و معمولاً برای کنترل های خاموش- روشن(on/ off) و حفاظت و آلارم مورد استفاده قرار می گیرند.

۳-۱ اندازه گیری دما از طریق فشار گاز:

این اندازه گیر از یک مخزن و یک لوله مسدود (لوله بردن)که با یک گاز کامل (نیتروژن) پرشده ، تشکیل یافته است.

این اندازه گیری از قانون گاز های ایده آل استفاده می کند ،با توجه به ثابت بودن حجم در اثر افزایش دما ،فشار گاز افزایش یافته و موجب جابجایی انتهای لوله می گردد.(این اثر به پدیده لوله بردن مشهور است)

جابجایی لوله ی بردن می تواند بعنوان دمای اندازه گیری شده مقیاس گردد، در عمل برای افزایش جابجایی لوله بردن را به صورت مارپیچ و یا شکل های دیگر می سازند .



شکل۱۳:لوله بوردن

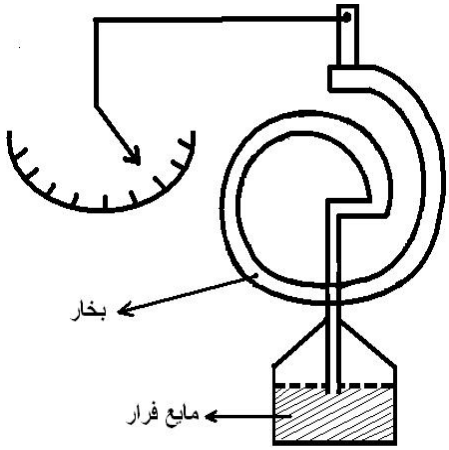
٤-١ اندازه گیری دما از طریق فشار بخار:

فشار بخار یک مایع تابعی از دمای آن است ،از این اصل می توان برای اندازه گیری دما استفاده نمود.اندازه گیری هایی که از این اصل استفاده می کنند ،دارای سرعت پاسخ دهی خوبی نسبت به نمونه قبل می باشند.این اندازه گیر ،از لحاظ ساختمان و قطعات شبیه نمونه قبل است ،با این تفاوت که به جای گاز از یک مایع فرار مانند اتر استفاده میشود و ثانیا تمام مخزن از مایع پر نمی شود،بلکه در شرایط عادی در بالای مخزن و در لوله ها بخار وجود دارد و در واقع فشار توسط بخار به قسمت انتهایی لوله بردن منتقل میشود.در انتخاب مایع برای اینگونه اندازه گیر ها باید به نکات زیر توجه کنیم.

۱-نقطه جوش مایع باید کمتر از کمترین دمایی باشد که می خواهیم اندازه گیری کنیم.

۲-مایع مورد استفاده بایستی از لحاظ شیمیایی بی اثر باشد تا موجب خوردگی لوله ها نشود.

تغییر حجم لوله ها با درجه حرارت، وکامل نبودن گاز مورد استفاده از مشکلات این نوع اندازه گیر می باشد.



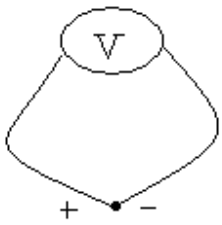
شکل۱۴: اندازه گیری دما از طریق فشار بخار

اندازه گیری الکتریکی دما :

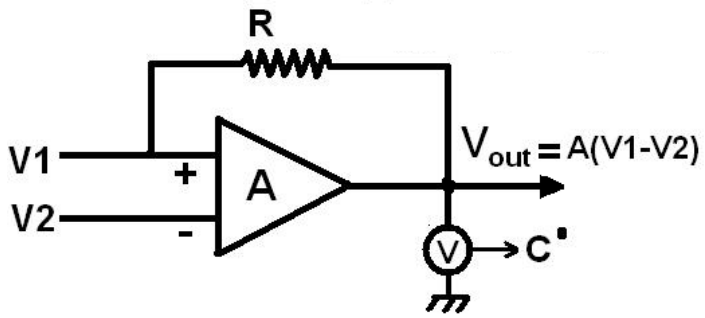
الف-استفاده از ترموکوپل :

هر گاه دو انتهای دو سیم غیر هم جنس را به یکدیگر وصل کنیم و نقطه اتصال را حرارت دهیم در دو سر آن اختلاف پتانسیل به وجود می آید ، (به علت الکترون آزاد یکی از فلز ها)که اگر به یک میلی ولتمتر وصل کنیم ولتاژ را نشان میدهد،و اگر صفحه میلی ولت متر را متناسب با حرارت مدرج نماییم ،بدین وسیله می توانیم درجه حرارت را اندازه گیری کنیم.

برای تقویت این ولتاژ می توانیم از یک میلی آمپر فایر استفاده نماییم.



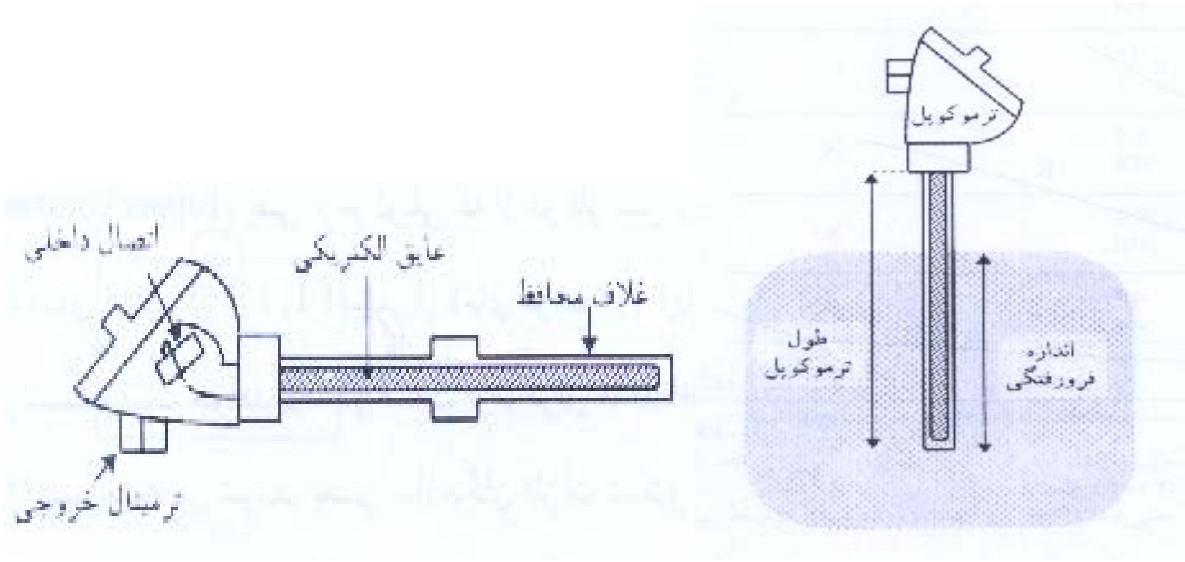
شکل۱۵:ترموکوپل



شکل۱۷:تقویت کننده

حوزه اندازه گیری ترموکوپل ها معمولاً بین ۲۰۰-تا۱۵۰۰درجه سانتی گراد می باشد.ترموکوپل ها دارای سرعت پاسخ دهی نسبتا خوب (ثابت زمانی کوچک) می باشند.اما به لحاظ رعایت مواردی در محل نصب آنها این سرعت پاسخ دهی تا حد زیادی پایین می آید ، برای جلوگیری از خوردگی و آلودگی که منجر به تغییر مشخصات ترموکوپل و اختلال در کار آن می شود و همچنین حفاظت مکانیکی آن معمولاً ترموکوپل را در یک غلاف محافظ قرار می دهند و همانطور که گفتیم،این کار موجب افزایش ثابت زمانی ترموکوپل می گردد.

ترموکوپل ها معمولاً در ترموول(termowell)قرار میگیرند ،جهت جلوگیری از خطای ناشی از تبادل حرارتی غلاف،باید اندازه فرورفتگی غلاف در ماده حداقل ۱۰برابر قطر غلاف باشد.



شکل۱۷:طرز قرار گرفتن ترموکوپل در ترموول

روش شناسایی سیم مثبت و منفی در ترموکوپل :

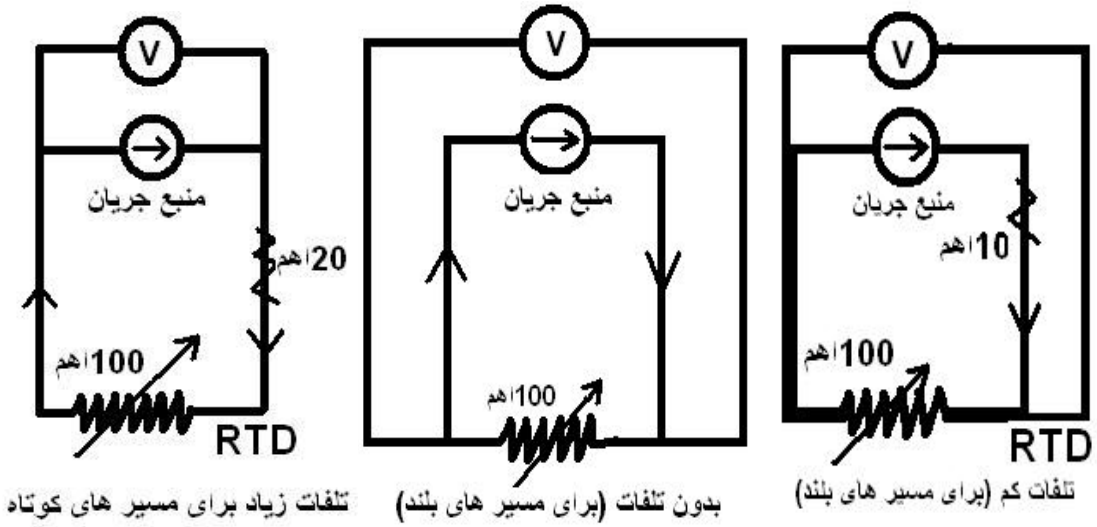
در ترموکوپل نوع T (مس-کنستانتین)رنگ سیم مسی مثبت کامل مشخص می باشد .بقیه ترموکوپل ها یعنی نوع (Ivan)نوع G ،چون رنگ هر دو سیم تیره هستند که در این حالت برای تشخیص سیم مثبت از آهن ربا استفاده می شود .در میان این ۳نوع،نوع k بیشترین رنج اندازه گیری یعنی ۱۱۰۰درجه را دارا ست.

ب-استفاده از (RTD) :

عبارت است از**R**esistance **T**emperature **D**etector به معنای حس گر های مقاومتی دما .مقاومت این نوع حس گرها از جنس نیمه هادی ها یا فلز ها می باشند ، حس گر های مقاومتی دما ی ساخته شده از جنس نیمه هادی ها اصطلاحا ترمیستور نامیده می شوند . با افزایش دما مقاومت RTD نیز افزایش می یابد،زیاد شدن فاصله بین محل نصب حس گرهای دما با کنترل کننده ،باعث افزایش طول سیم میشود به طوری که مقاومت سیم های رابط با مقاومت RTD قابل مقایسه میگردد و در نتیجه تغییرات مقاومت سیم های رابط با دما منجر به بروز خطاهای قابل توجه در اندازه گیری میشود .RTD ها مقاومت حدود چند ۱۰۰اهم دارند در حالی که ترمیستور ها با مقاومت حدود چند ۱۰۰کیلو اهم ساخته می شوند .بنابر این ، اثر سیم های رابط در ترمیستور ها منفی میگردد ،در حالی که در ترمیستور ها این اثر مشکل ساز است ،لذا برای حل این مشکل RTD ها را به صورت ۳سیمه یا ۴سیمه می سازند. به دلیل آنکه مقاومت داخلی ولتمتر بی نهایت است لذا از سیمهای اندازه گیری جریانی نمی گذرد، لذا اثر مقاومت سیمهای رابط منتفی می گردد.

از انواع مهم RTD ها می توان به نوع Pt100 اشاره کرد. جنس مقاومت این نوع RTD از پلاتنیوم بوده و در دمای صفر درجه مقاومت ۱۰۰ اهم دارد.

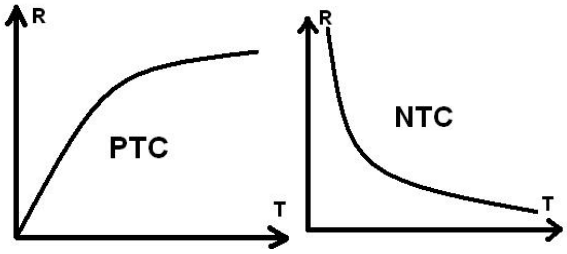
شکل۱۸:انواع مختلف RTD



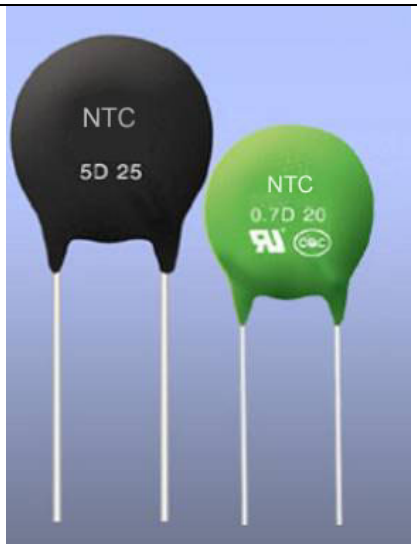
ج-استفاده از ترمیستور(Thermally sensitive resistor) :

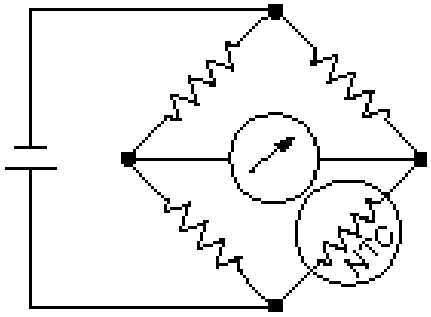
همانطور که گفته شد نیمه رساناهایی که به سبب ضریب مقاومت گرمایی زیادشان بکار می‌روند، به مقاومتهای حساس به دما یا ترمیستور thermistors که از عبارت temperature resistors sensitive گرفته شده معروفند. ترمیستور از مواد نیمه هادی ساخته می شود، ترمیستور از اکسید فلزاتی چون منگنز، نیکل، کبالت، مس و یا آهن همراه با سیلیکون ساخته می گردد. رنج دمای آن ۵۰- تا ۱۵۰ و نهایت ۳۰۰ درجه سانتیگراد می باشد، در بیشتر مصارف مقاومت آن در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد محاسبه می شودکه بین ۱۰۰ تا ۱۰۰ کیلو اهم می باشد، البته ترمیستورهایی با مقاومت اولیه پایین تر از ۱۰اهم و بالاتر از ۴۰مگا اهم نیز استفاده می شود. ترمیستور ها اغلب برای قطع در مسیر مدارهای الکتریکی به کار می روند.

ترمیستورها به دو نوع تقسیم می شوند (NTC(Negative Temperature Coefficient که با افزایش دما مقاومت آن کاهش می یابد و (Positive Temperature Coefficient (PTC که با افزایش دما مقاومت آن افزایش می یابد. از این مقاومتها در مدارها به صورت حسگر (Sensor)حرارتی در مسیر دستگاه های الکتریکی نظیر موتور های الکتریکی، کوره ها، سیستم های تهویه و تبرید استفاده می شود .معمولا ترمیستورهای PTC در مدارهای قدرت برای حفاظت در برابر جریان هجومی (In-Rush) به کار برده می شوند.



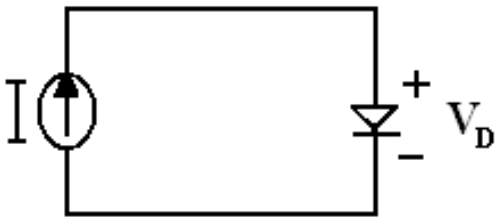
شیب مشخصه ی ترمیستورها بسیار بیشتر از عناصر PTC و ترموکوپل ها و RTD ها می باشد و این به معنی حساسیت بیشتر و امکان اندازه گیری دقیق تر می باشد. رصد تغییرات مقاومت یک ترمیستور در اثر یک درجه ی سانتی گراد تغییر ، چیزی در حدود ۳ تا ۵ درصد می باشد که درمقایسه با عدد ۰/۴ درصد برای فلزات ، عدد قابل توجهی است. ترمیستورها دارای اندازه ی خیلی کوچکی هستند و این باعث می شود که به تغییرات دمایی خیلی سریع پاسخ دهند. در برابر این مزایا ، ترمیستورها اشکالاتی هم دارند ، از جمله این که ترمیستورها در اثر عبور جریان الکتریسیته ، در خود تولید گرما می کنند. این سبب می شود که میزان مقاومت کم تر از مقدار صحیح آن نشان داده شود. همچنین مشخصه ی ترمیستور ها بسیار غیر خطی تر از فلزات است و از طرف دیگر حوزه ی اندازه گیری آن ها بسیار کوچک تر از فلزات می باشد.



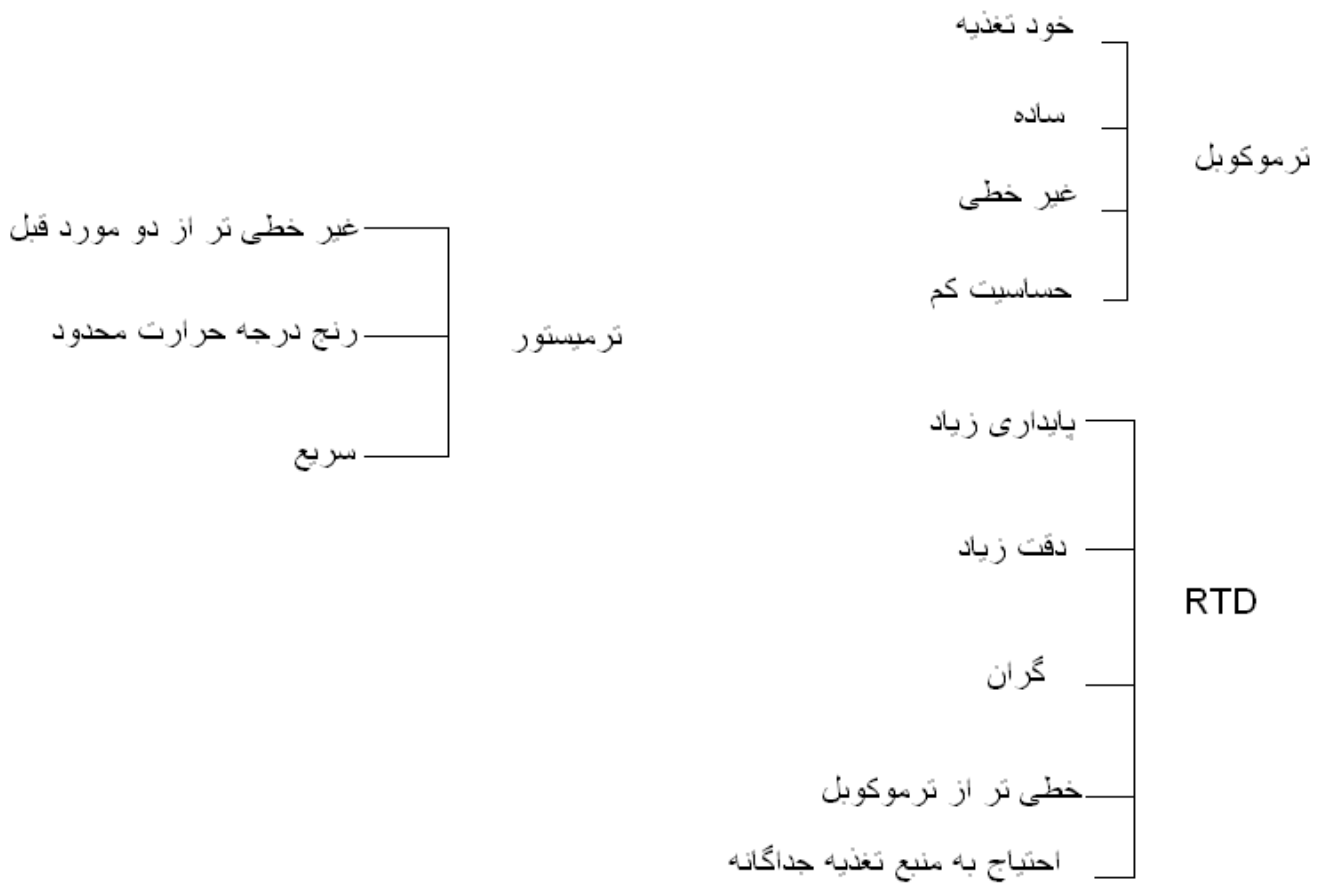


مثالی از کاربردNTC :در صورت داغ شدن ntc تعادل پل بهم می خورد و جریانی از آمپرمتر عبور می کند.

د:اندازه گیری دما با استفاده از سنسور مدار مجتمع درجه حرارت: حسگرهای دمای مدار مجتمع (Integrated Sensor Circuit Temperature) ابزارهای نیمه هادی هستند که با روشی شبیه به روش ساخت دیگر ابزارهای نیمه هادی از قبیل میکرو کنترلرها ساخته شده اند. یک دیود سیلیکون که با جریان ثابت تغذیه شود ، می تواند به عنوان اندازه گیر درجه حرارت مورد استفاده قرار گیرد و بنابراین حتما برای عملکرد نیاز به یک منبع تغذیه دارند. برتری این اندازه گیرها سادگی و ارزانی می باشد ، اما حوزه ی اندازه گیری آن ها به کم تر از $200^{\circ}C$ محدود می گردد ، این سنسورها در مقایسه با سنسورهای اندازه گیری دیگر مانند ترموکوپل ، RTD و ترمیستور دارای سیگنال خروجی بالا و با تغییرات خطی نسبت به درجه حرارت می باشند. غالبا این حسگرها ارتباط دمایی خوبی با محیط بیرونی ندارند ، بنابراین از آن ها بیشتر برای آشکار سازی حدود اندازه گیری و به کار انداختن مدارهای ایمنی و آلارم استفاده می شود. این حسگرها دارای اندازه ی فیزیکی نسبتا کوچکی هستند.



مقایسه ۳ نوع قبلی



اندازه گیری فشار:

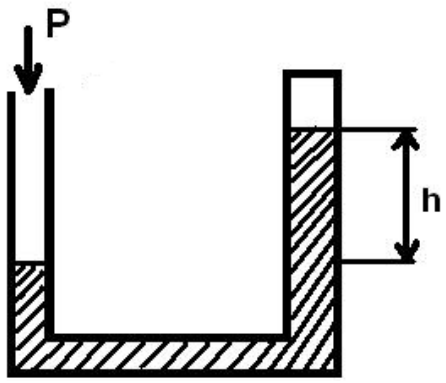
۱-اندازه گیری مانومتری :

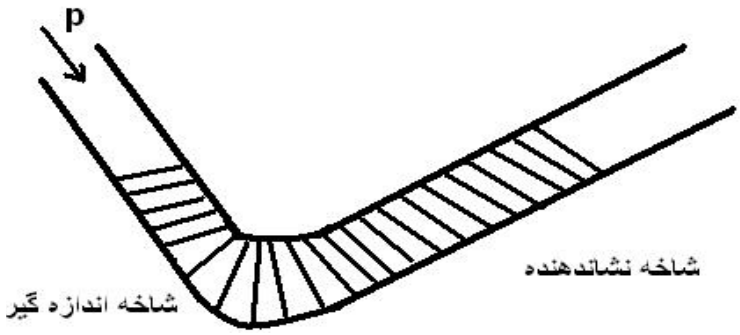
$$P=\rho g h$$

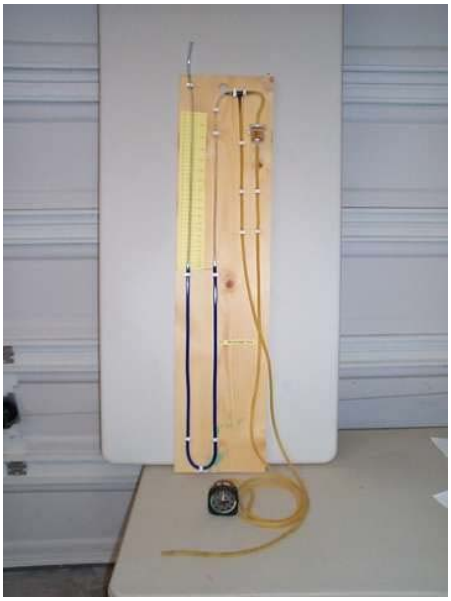
h:ارتفاع مایع در شاخه نشان دهنده:

g:شتاب جاذبه

ρ: *جرم مخصوص مایع*

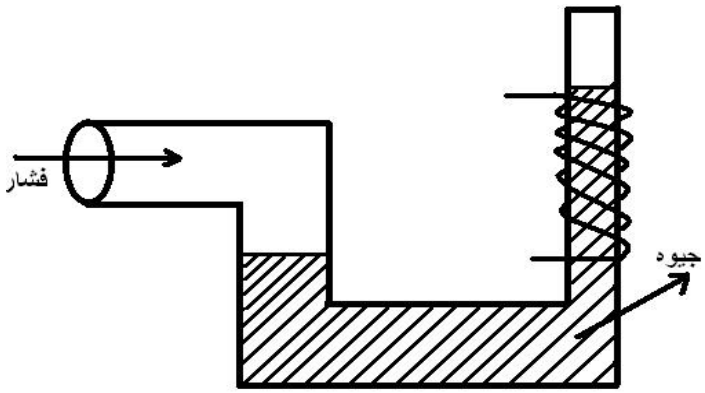






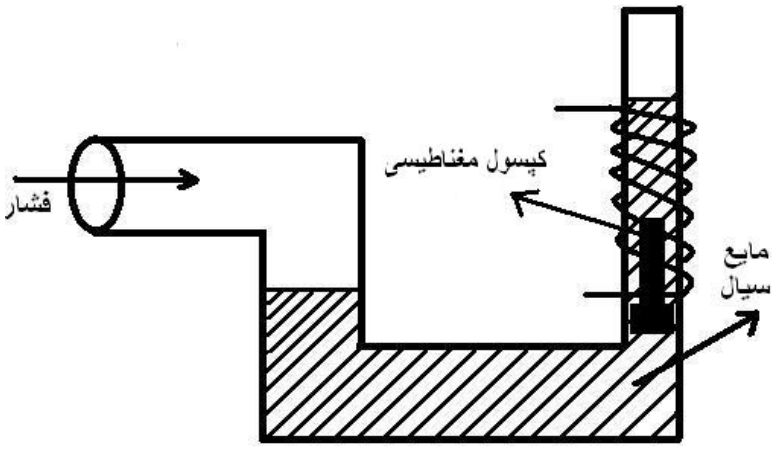
شکل۱۹:انواع مانومتر

برای اندازه گیری فشار های بالا معمولاً از سیّالی با جرم مخصوص بالا استفاده می کنند،مثل جیوه و برای اندازه گیری فشار های پایین از مایعات سبک تر استفاده می شود مثل آب.اما در کاربر د های کنترلی ،معمولاً فشار می بایستی به کمیت دیگر (معمولاً الکتریکی)تبدیل و به کنترل کننده ارسال شود .برای تبدیل روش های زیر پیشنهاد می شود:



شکل۲۰:مانومتربا سیال مغناطیسی

با ایجاد یک سیم پیچ به دور لوله نشان دهنده آنرا تبدیل به اندازه گیر فشار با استفاده از خاصیت سلفی می نماییم ،در این حالت سیال مانومتر می بایستی دارای خواص مغناطیسی باشد(مثل جیوه).با افزایش فشار ،ارتفاع سیال در داخل سلف بیشتر می شود و این به معنی داخل شدن هسته مغناطیسی به سلف می باشد که موجب افزایش ضریب خود القایی می گردد ،در این اندازه گیر تغییرات فشار را به تغییرات ضریب خود القایی تبدیل می نماییم ،عیب این اندازه گیری آن است که ،سیال مانومتر باید مغناطیسی باشد. برای رفع این مشکل میتوان از طرح زیر استفاده کرد .



شکل۲۱:مانومتر با کپسول مغناطیسی

در این طرح به جای سیال مغناطیسی از یک کپسول مغناطیسی شناور به روی سیال غیر مغناطیسی استفاده می کنیم.در اثر تغییرات فشار شناور داخل سلف بالا و پایین رفته و ضریب خود القایی آن تغییر می دهد.

ویژگی ها:

اندازه گیر های فشار مانومتری ساده و ارزان هستند و معمولاً فشار نسبی را اندازه گیری می نمایند ،به عبارت دیگر،فشار اندازه گیری شده را نسبت به فشار محیط می سنجد.

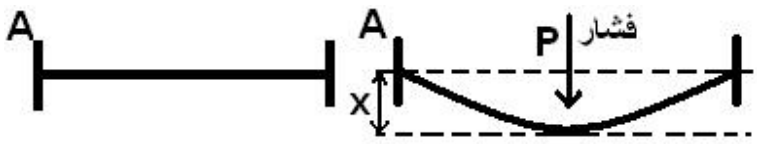
برای اندازه گیری فشار مطلق بایستی فضای بالای لوله نشان دهنده را از هوا تخلیه و مسدود نمود .

از آنجایی که اندازه گیر های مانومتری معمولاً از شیشه ساخته می شوند ،خطر شکستگی ،کار با آنها را در محیط های صنعتی دشوار می کند بعلاوه ،تبخیر مایع مانومتر و تغییر خواص آن در شرایط آب و هوایی و دما های مختلف ممکن است موجب بروز خطا در اندازه گیری شود .در صورتی که از جیوه به عنوان مایع مانومتر استفاده شود ،بایستی به خاصیت سمی آن دقت کرد.

۲-اندازه گیر های ارتجاعی فشار:

مواد در مقابل فشار تغییر شکل میدهند،از این خاصیت برای ساخت فشار سنج های ارتجاعی استفاده می شود.این گونه فشارسنج ها،با توجه به شکل ماده ارتجاعی به چندین دسته تقسیم می شوند که در اینجا به انواع آن اشاره می کنیم.

الف:اندازه گیری فشار دیافراگمی:



اصول کار:

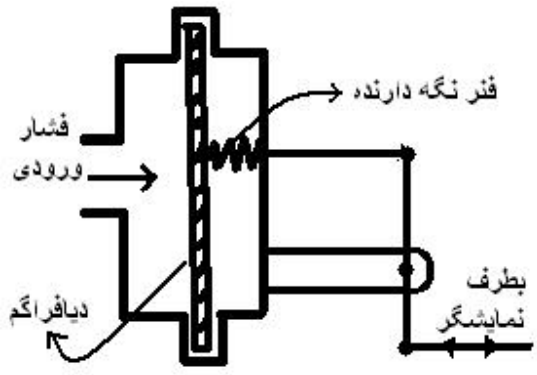
در اثر اعمال فشار به صفحهA سطح A تغییر شکل داده و به شکل خمیده در می آید.سطح A را می توان به اندازه ای دلخواه گرفت که تغییرات X به نوبه ی خود بزرگ باشد و اندازه گیر خاصیت دلخواه را داشته باشد .

جنس دیافراگم را می توان فلز یا غیر فلز انتخاب نمود.لاستیک و چرم از انواع متداول دیافراگم های غیر فلزی هستند،دیافراگم های غیر فلزی معمولاً در ابعاد بزرگ ساخته می شوند و برای اندازه گیری فشار های پایین مورد استفاده قرار می گیرند .

برای اندازه گیری فشار های بالا تر از دیافراگم های فلزی استفاده می شود.دیافراگم های فلزی از فلز های همچون برنز،آلیاژ های مس،برلیم و آلیاژ های مخصوص دیگر ساخته می شوند.

از آنجایی که دیافراگم های غیر فلزی در ابعاد بزرگ ساخته می شوند ،معمولاً نیاز به یک فنر نگه دارنده دارند تا از خمیدگی آنها در حالت تعادل جلو گیری شود. اما دیافراگم های فلزی چون محکم تر هستند و در ابعاد کوچکتر ساخته می شوند،نیاز به فنر ندارند.

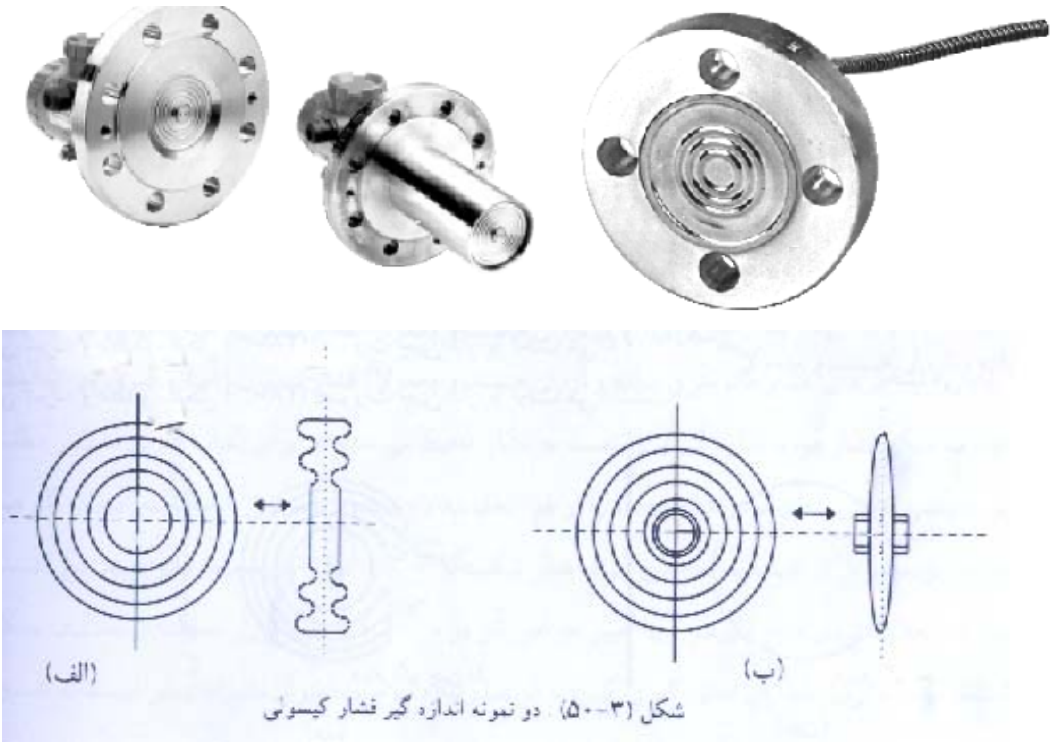
برای آشکار سازی فشار و تبدیل جابجایی دیافراگم ،به کمیتی قابل ارسال به کنترل کننده روش های گوناگونی وجود دارد که همان روش های معمول اندازه گیری جابجایی می باشد.



شکل۲۲:اصول کار اندازه گیر فشار دیافراگمی

ب:اندازه گیر فشار کپسولی:

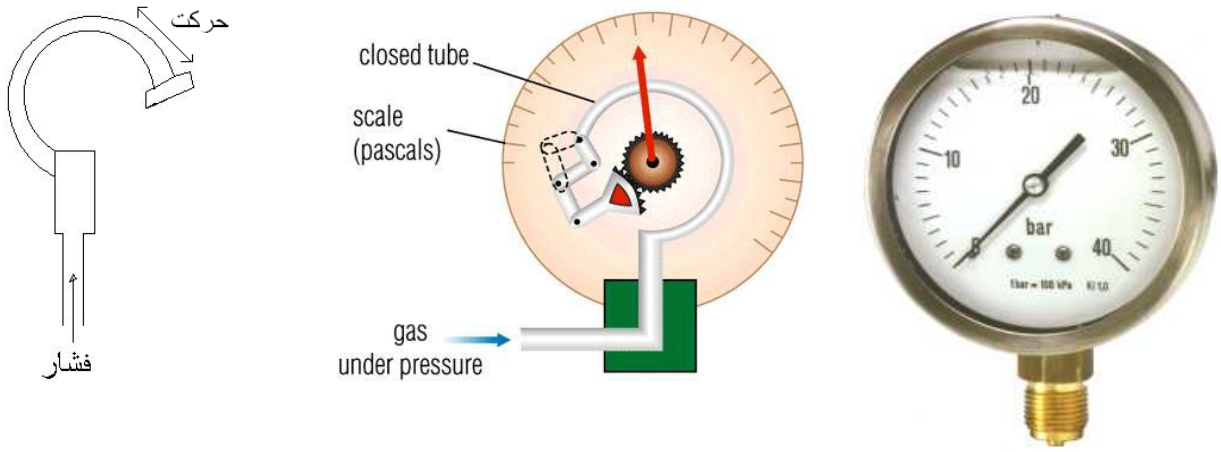
یک کپسول از دو دیافراگم فلزی تشکیل شده که در محیط به هم جوش خورده اند، فضای بین ۲دیافراگم با سیالی با ویژگی های مخصوص پر شده است .



شکل۲۳:کپسول

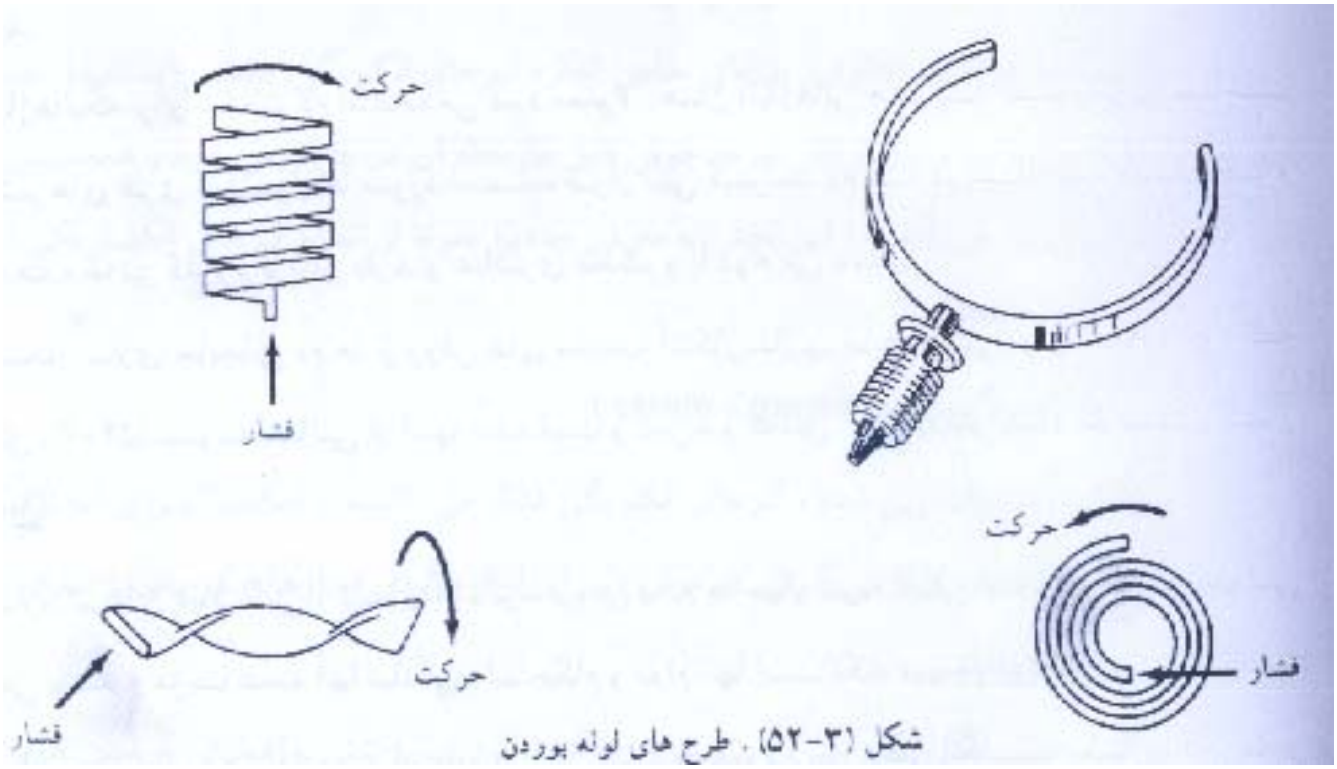
ج:اندازه گیر لوله بردن:

این اندازه گیر در سال ۱۸۵۲میلادی توسط بردن اختراع شد،اساس کار این اندازه گیر در شکل زیر آمده است.



شکل۲۴:لوله بوردن جهت اندازه گیری فشار

لوله بردن یک لوله مسدود به شکل دسته عصا می باشد.وقتی به آن فشار اعمال می شود تمایل به راست شدن پیدا می کند ،در این حالت، اندازه تغییر وضعیت لوله متناسب با فشار لوله قابل اندازه گیری است.حوزه اندازه گیری لوله بردن بیشتر از دیافراگم و کپسول می باشد و معمولاً برای اندازه گیری فشار های بالا مورد استفاده قرار می گیرد .

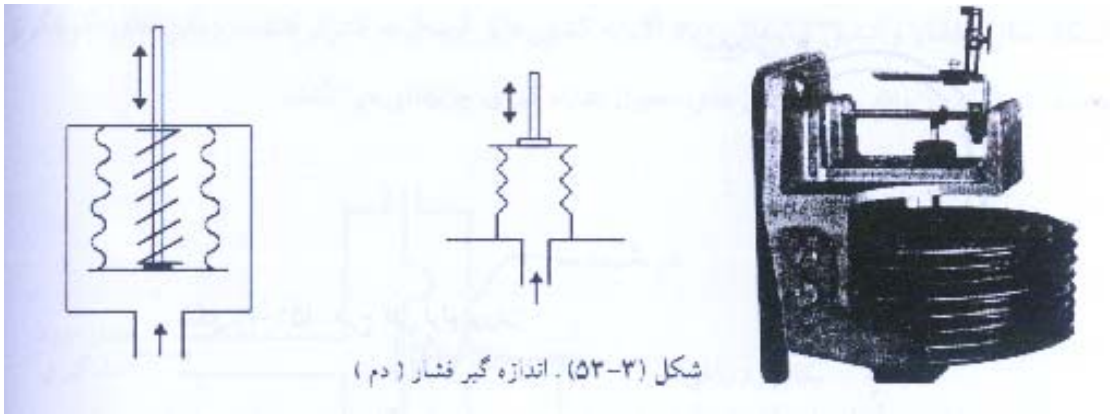


د:اندازه گیر دم یا بلوز:

دم یا بلوز ساختمانی شبیه به آکاردیون دارد .ساختمان آکاردیونی بلوز موجب انبساط آن در اثر اعمال فشار می شود و اندازه جابجایی متناسب با فشار اندازه گیری شده است .رابطه فشار با باز و بسته شدن بلوز شبیه رابطه ای است که در یک فنر وجود دارد و آن را می توان به صورت زیر نوشت :

$$x = k \times p \times a \rightarrow p = \frac{x}{k \times a}$$

در این رابطه p فشار مورد اندازه گیری و Aسطح بلوز kرا ضریب فنری یا ضریب بلوز گویند،معمولاً حوزه جابجایی دم حدود ۵الی ۱۰ درصد طول کل آن می باشد.



شکل۲۵:دم

آلیاژ هایی که برای ساخت بلوز مورد استفاده قرار می گیرد ،همان آلیاژ هایی هستند که برای ساخت دیافراگم های فلزی و کپسول ها مورد استفاده قرار می گیرد .بلوز بیشترین کاربرد را در ترانسمیتر دارد ظرفیت اندازه گیری آنها معمولا از صفر تا ۱۵ psi می باشد.

ویژگیها:

اندازه گیری های دیافراگمی ،کپسول، لوله بردن و دم،چهار نمونه اصلی اندازه گیر های ارتجاعی فشار می باشند و مزیت عمده آنها،سادگی ،استحکام و دوام آنها می باشد .نکته مهم در این اندازه گیر ها ،کیفیت آلیاژی است که در ساخت آن مورد توجه قرار می گیرد و معمولاً سازنده های انگشت شماری تجربه و مهارت کافی برای ساخت آن را دارند و مشخصات این آلیاژ جزء اسرار این کمپانی ها می باشد.

اندازه گیر های فوق ،به صورت گسترده در صنایع تفت و گاز ،کشتی ها ،هواپیما ها وسایر صنایع کاربرد دارند.

۳-اندازه گیر های الکتریکی فشار :

در اندازه گیری های مانومتری و ارتجاعی معمولاً بایستی فشار اندازه گیری شده به کمیتی الکتریکی تبدیل شود .این عمل استفاده از قطعات و ابزار اضافی و افزایش هزینه را به دنبال دارد و همچنین احتمال وارد شدن نویز و ایجاد خطا می شود .

اندازه گیر های الکتریکی فشار علاوه بر مزایای خاص اندازه گیری الکتریکی ،فشار را مستقیماً به کمیتی الکتریکی تبدیل میکنند و از این نظر صرفه جویی قابل ملاحظه ای در هزینه می شود و همچنین دقت اندازه گیری نیز افزایش می یابد.

۳-الف)استرین گیج(strain gage)**:**

استرین گیج ها، معروف ترین اندازه گیر های الکتریکی فشار می باشند و اساسا برای اندازه گیری فشار بالا مورد استفاده قرار می گیرند .استرین گیج در اصل اندازه گیر استرین یا تنش می باشد.استرین یا تنش به عبارتی به معنی تغییر شکل اجسام در اثر نیروی اعمالی به آنها می باشند .هر گاه به جسمی نیرو وارد شود ،جسم در جهت نیرو تغییر شکل می دهد نسبت این تغییر طول به طول اولیه را تنش می گویند .

$$\text{تنش} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

هر گاه طول جسم افزایش یا مقطع آن کاهش یابد ،مقاومت الکتریکی جسم افزایش می یابد.در استرین گیج ها برای اینکه نشان دهیم در اثر تغییر طول چه تغییر مقاومتی در آن حاصل می شود،ضریبی به نام فاکتور گیج تعریف می شود:

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

نام فاکتور گیج در استرین گیج های صنعتی حدود ۲می باشد به این معنی که اگر طول جسم به اندازه ی ۱٪تغییر کند ،مقاومت آن به اندازه ۲٪تغییر خواهد کرد .

مثال:یک استرین گیج با ضریب $G_f=4$ برای اندازه گیری تنش به یک میله فلزی متصل شده است. اگر طول میله در اثر تنش از ۰.۲۵متر به ۰.۲۵۵متر تغییر کند .درصد تغییر مقاومت استرین گیج چقدر خواهد بود؟

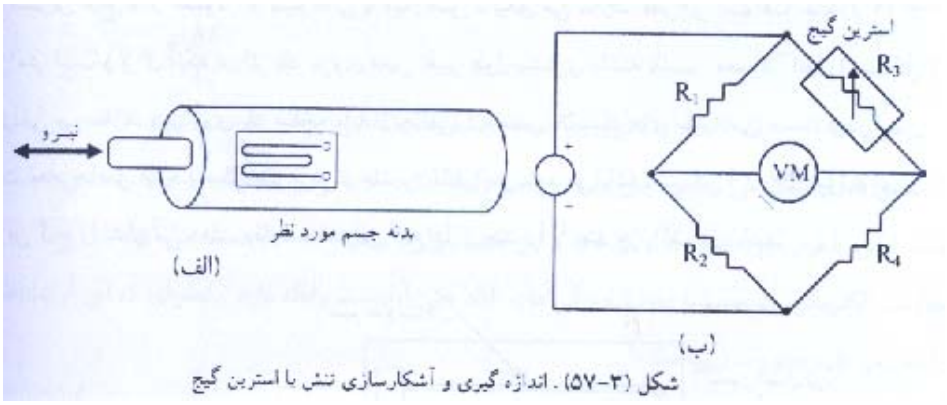
اگر مقاومت بدون تنش ۱۲۰Ωباشد ،مقاومت بعد از تنش چقدر است؟

$$R_0 = 120\Omega \quad \Delta L = L' - L_0 = 0.255 - 0.25 = 0.005m \quad \Delta R = R' - R_0$$

$$G_F = \frac{\frac{\Delta R}{R_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{L_0.\Delta R}{\Delta L.R_0} = \frac{0.25 \times \Delta R}{0.005 \times 120} = 4 \Rightarrow 0.4166 \times \Delta R = 4 \Rightarrow \Delta R = 9.6$$

$$\Delta R = R' - R_0 \Rightarrow 9.6 = R' - 120 \Rightarrow R' = 129.6$$

استرین گیج ها را معمولاً از سیم هایی با آلیاژ مس و نیکل می سازند .برای تغییرات مقاومت الکتریکی به سیگنال الکتریکی ،معمولاً از اشکال متفاوت مدار پل وتستون استفاده می کنند.معمولاً پل به گونه ای تنظیم می گردد که در حالت بدون فشار



شکل (۳-۵۷) . اندازه گیری و آشکارسازی تنش با استرین گیج

متعادل باشد. مقاومت استرین گیج ها از چند ۱۰ اهم تا چند هزار اهم می باشند.یکی از کاربرد های مهم استرین گیج ها اندازه گیری نیروی وزن می باشد.استرین گیج هایی که برای اندازه گیری وزن استفاده می شوند ،در صنعت به نام سلول های اندازه گیری بار یا *Loadcell* معروفند.

۳-ب)اندازه گیرهای ظرفیتی(خازنی)فشار:

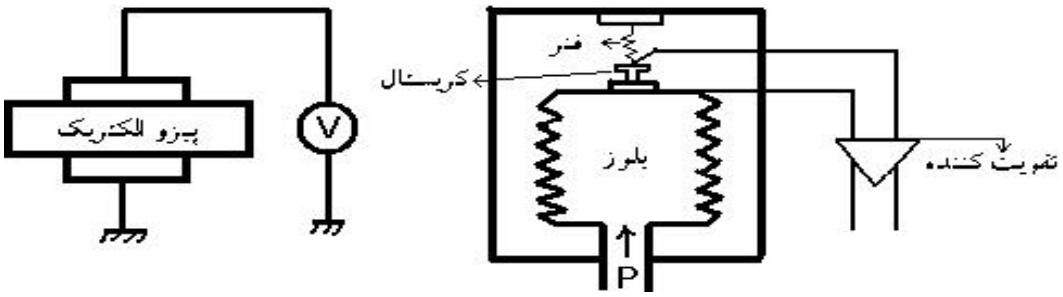
$$C=\frac{\varepsilon A}{x}$$

در اندازه گیری خازنی اغلب فشار مورد اندازه گیری به جابجایی و تغییر فاصله جوشن ها تبدیل می شود و تغییر فاصله جوشن ها منجر به تغییر ظرفیت خازنی می گردد. تغییر ظرفیت خازنی را نیز معمولاً توسط یک پل یا یک مدار اسیلاتور تبدیل به ولتاژ یا فرکانسی متناسب با فشار می کنند.

۳-ج)اندازه گیری پیزو الکتریکی فشار:

عناصر پیزو الکتریکی ،عناصری با قابلیت تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی می باشند،هر گاه یک عنصر پیزو الکتریکی مثل کوارتز تحت فشار قرار می گیرد ،میلی ولتمتر ولتاژی متناسب با فشار را نشان می دهد،از این خاصیت برای اندازه گیری فشار می توان استفاده نمود.

عملکرد اندازه گیری پیزو الکتریک: فشار مورد اندازه گیری از طرف بلوز موجب اعمال تنش مکانیکی به عنصر پیزو الکتریک می شود و این تنش تولید ولتاژ متناسب می کند.



شکل۲۷:پیزو الکتریک

اندازه گیری فلو:

در بسیاری از پروسه های صنعتی مایل به اندازه گیری و کنترل فلو یا دبی می باشیم .صنایع نفت،گاز ،صنایع پترو شیمی ،شیمیایی ،غذایی مثال های معروف از این موارد هستند از طرف دیگر گاهی کنترل فلو به عنوان یکی کمیت اولیه منجر به کنترل کمیت دیگری به عنوان کمیت ثانویه می باشد.

به عنوان مثال: می توان از کنترل دبی سوخت (کمیت اولیه)به منظور کنترل درجه حرارت (کمیت ثانویه)نام برد .فلو یا دبی به صورت حجمی یا جرمی در نظر گرفته می شود .دبی حجمی مقدار حجم سیال است که در واحد زمان از یک مقطع لوله عبور می کند و بطور مشابه دبی جرمی مقدار جرمی است که در واحد زمان از آن مقطع عبور می نماید،اگر سرعت سیال (V)جرم مخصوص آن (ρ)باشد،دبی حجمی و جرمی به سادگی از روابط زیر بدست می آیند .

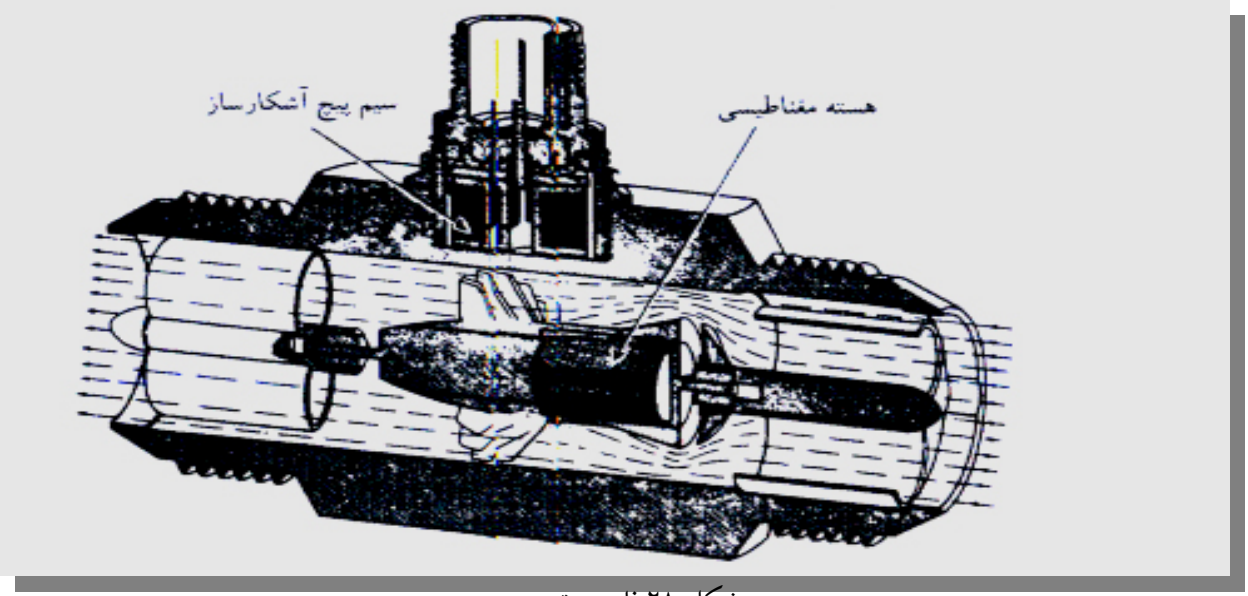
دبی جرمی $Q = \rho \cdot V \cdot A$ ← مقطع لوله

سرعت سیال → ← جرم مخصوص

دبی حجمی $Q = V \cdot A$

در اغلب پروسه ها A و ρ معلوم هستند بنا بر این اندازه گیری فلو حجمی یا جرمی مترادف با سرعت سیال می باشد، چرا که با اندازه گیری سرعت و داشتن A و ρ می توان با استفاده از روابط فوق دبی مربوطه را بدست آورد، بنابراین اکثر فلومتر ها در واقع نوعی اندازه گیری سرعت سیال می باشد.

فلو متر توربینی:



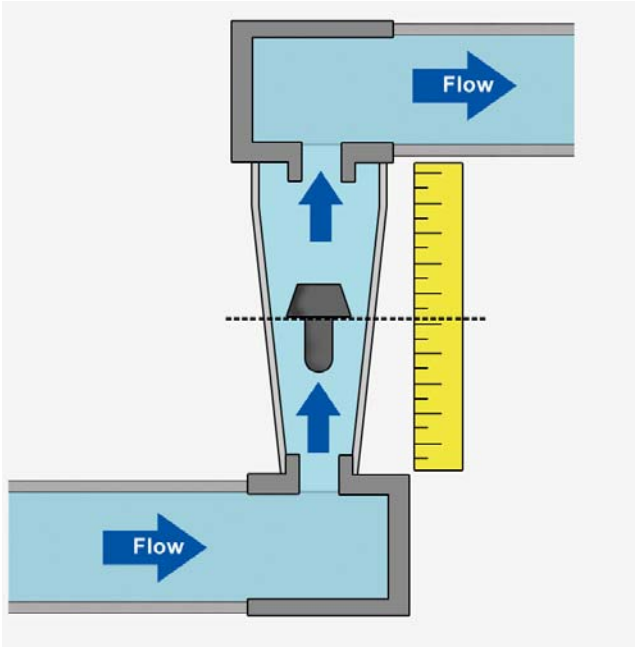
شکل ۲۸:فلومتر توربینی

مطابق شکل یک توربین در مسیر سیال درحال حرکت قرار گرفته است،طرف دیگر توربین متصل به یک هسته مغناطیسی است،در مقابل هسته و در پوسته خارجی فلو متر ،سیم پیچ آشکار ساز قرار دارد.عبور هسته مغناطیسی از مقابل سیم پیچ موجب القاء نیرو محرکه در آن می شود ،هر چه سرعت سیال بیشتر باشد ،چرخش توربین و در نتیجه سرعت چرخش هسته مغناطیسی بیشتر می شود،و نیروی محرکه بزرگتری در سیم پیچ القا می گردد ،سرعت سیال تبدیل به فرکانس پالس می شود و با شمارش پالس ها و میانگین گیری آنها توسط مدار مربوطه سرعت سیال و به دنبال آن فلو تعیین می شود.این فلومتر ها برای اندازه گیری فلوی سیالات بسیار تمیز مناسب می باشد و در صورتی که سیال دارای ذرات ناخالص معلق و چسبنده باشد،اندازه گیری با مشکلاتی روبه رو خواهد بود. اشکال عمده این فلو متر ها ایجاد مزاحمت در حرکت طبیعی سیال می باشد و ممکن است خود باعث تغییر فلوی مورد اندازه گیری شود.

خوردگی و نیاز به تعمیرات از معایب دیگر آنها می باشد،همچنین این فلو متر ها برای اندازه گیری جریان های کم مناسب نمی باشند.

فلو متر با مقطع متغییر (rotameter)**:**

این طرح از یک محفظه که مقطع آن از پایین به بالا بیشتر می شود تشکیل شده،هرچه مقدار جریان سیال بیشتر باشد شناور در قسمت بالاتری قرار می گیرد،بنابراین محل قرار گرفتن شناور و نشان دهنده متصل به آن متناسب با دبی مورد اندازه گیری است.از این روش برا ی اندازه گیری گاز ها می توان استفاده کرد.طرح زیر ساده بوده و قطعات و متعلقات کمتری دارد ، بعلاوه استهلاک آن نیز ناچیز است.



شکل ۲۹:روتامتر

اندازه گیری فلو از طریق فشار :

با اندازه گیری فلو از طریق فشار می توان اجزاء و قطعات متحرک را حذف نموده و دوام استحکام و اندازه گیری را بالا برد،بعلاوه چنین طراحی معمولا ساده و ارزان میباشد.

یک سیال تحت فشار و در حرکت در یک لوله دارای ۳ نوع انرژی است ، ۱-انرژی پتانسیل ۲-انرژی جنبشی ۳-انرژی فشاری .

انرژی پتانسیل سیا ل نسبت به یک سطح مبنا سنجیده می شود و اگر لوله افقی باشد ثابت است .

انرژی جنبشی ناشی از حرکت و جریان سیال است،و متناسب با مجذور جریان می باشد.انرژی فشار نیز ناشی از فشار سیاال است و به صورت فشار در سیال ذخیره می شود.

قانون برنولی که در واقع اصل بقای انرژی در سیالات است،رابطه انرژی ها را به صورت زیر بیان می کند:

این که (جمع انرژی جنبشی ،انرژی پتانسیل و انرژی فشار در یک سیال ثابت است)

بنابر این با ثابت بودن انرژی پتانسیل ،اگر انرژی جنبشی افزایش یابد انرژی فشاری کاهش خواهد یافت. به بیان دیگر اگر سرعت سیال (انرژی جنبشی)را افزایش دهیم،انرژی فشاری کاهش می یابد.روابطی که در اندازه گیری فلو از طریق فشار مورد استفاده قرار می گیرد:

$$V = K\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \xrightarrow{\times A} Q = KA\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \xrightarrow{\times \rho} M = KA\sqrt{\rho \cdot \Delta P}$$

دبی جرمی

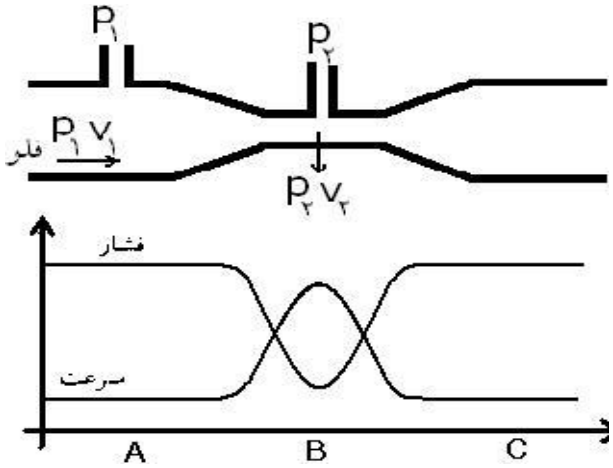
اختلاف فشار

چگالی سیال

ضریب ثابت

سطح لوله ای که سیال از آن عبور میکند

۱-فلومتر لوله ونتوری (venture tube):



شکل ۳۰:فلومتر لوله ونتوری

در این طرح در مسیر عبور سیال در داخل لوله یک مانع به صورت روزنه (orifice)ایجاد می کنند .فشار و سرعت سیال در قبل از روزنه ،عادی و به ترتیب برابر P_1 ، V_1 می باشند به محض رسیدن به روزنه مقطع عبور کوچک می شود و به ازای ثابت ماندن دبی سرعت می بایستی افزایش یابد و این امر طبق قانون برنولی منجر به افت فشار در مجاورت سمت راست روزنه می شود.

در نقطه ای مانند B سرعت سیال ماکزیمم و فشار آن مینیمم است .مطابق نمودار در فاصله دور تر از نقطه B در سمت راست روزنه (نقطه C) فشار و سرعت مجددا به حوالی سرعت عادی در سمت چپ می رسد.

با اندازه گیری P_1 و P_2 ومحاسبه $\Delta=P_1-P_2$ می توان دبی سیال را تعیین نمود .تلفات انرژی در این روش کمتر است اما هزینه ی بالایی دارد.

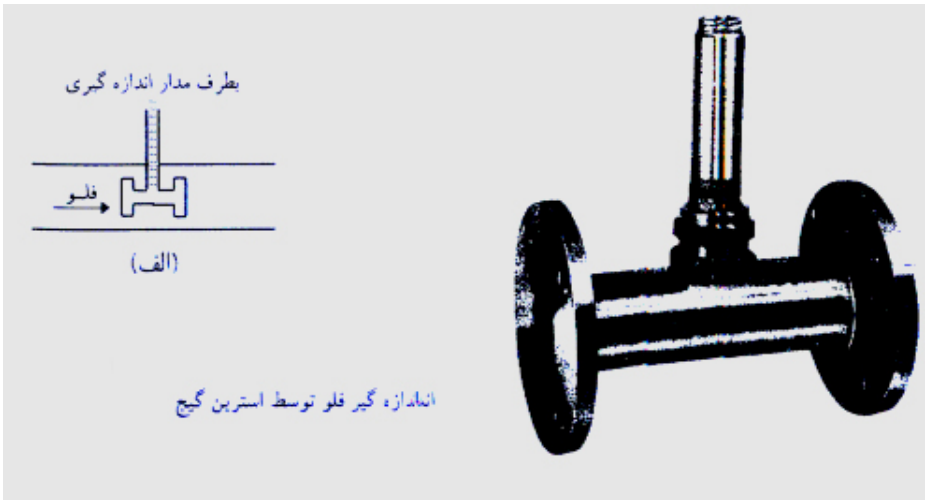
۲-اندازه گیری فلو توسط استرین گیج:

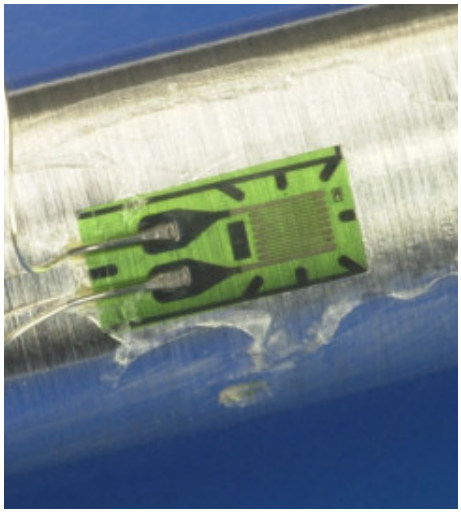
در این طرح صفحه کوچکی در مقابل جریان سیال قرار می گیرد،نیروی وارد شده بر صفحه از روابط زیر به دست می آید:

$$F= k A \rho V^{۲} \quad \Longrightarrow \quad P= \frac{f}{A} \quad \Longrightarrow \quad P= k \rho V^{۲}$$

V : سرعت سیال A : سطح صفحه

فشار وارد بر صفحه توسط استرین گیج ها اندازه گیری می شود،به این ترتیب می توان سرعت و سپس دبی را بدست آورد.این روش برای اندازه گیری فلوی سیال هایی با فشار بالا و با ذرات معلق مورد استفاده قرار گیرد.

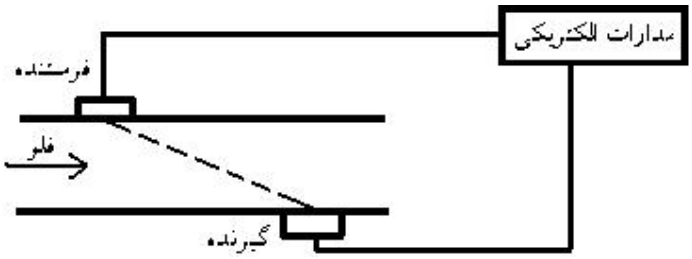




مدار استرین گیج بروی لوله

شکل۳۱:اندازه گیری فلو توسط استرین گیج

۳-اندازه گیری فلو از طریق آلتراسونیک:



شکل۳۲: اندازه گیری فلو از طریق آلتراسونیک

در این طرح فرستنده موج در یک طرف و گیرنده آن در طرف دیگر قرار می گیرد، مدت زمان عبور امواج از لوله بستگی به سرعت سیال در لوله دارد، با اندازه گیری فاصله زمانی بین ارسال موج توسط فرستنده و دریافت آن توسط گیرنده می توان سرعت سیال و در نتیجه میزان فلو را بدست آورد.

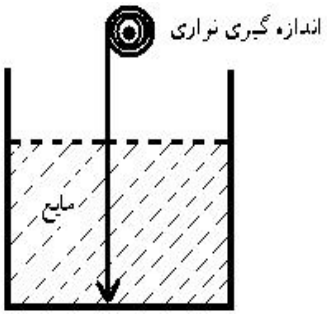
مزیت عمده این گونه اندازه گیری ها این است که هیچ گونه اثری بر روی کمیت مورد اندازه گیری ندارد و بعلاوه از سرعت و دقت بالایی برخوردار است،البته این مزیت، در مقابل، پیچیدگی وهزینه بالایی دارد.

اندازه گیری سطح مایعات:

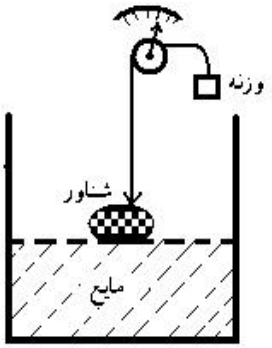
در اکثر عملیات صنعتی اطلاع از وضعیت سطح مایعات درون مخازن ضروری است،در عمل این خواسته به طور مستقیم امکان پذیر نبود زیرا پوشش مخازن فلزی بوده و وضع داخلی آنها از بیرون قابل رویت نیست.

در صنعت روش های مختلفی برای اندازه گیری سطح مایعات مخازن وجود دارد که با آنها آشنا می شویم:

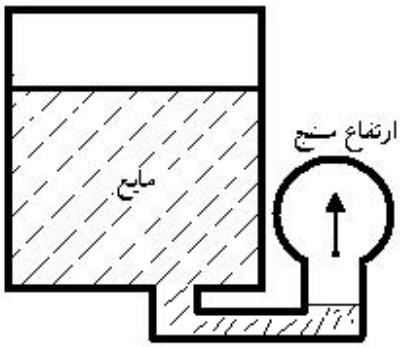
۱-با استفاده از عمق سنج ها که به صورت متری و سانتی متری مندرج شده اند:



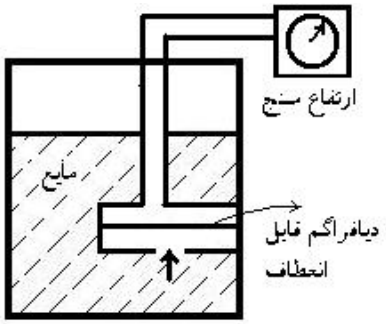
۲-با استفاده از شناور ها یا فلوتر ها :



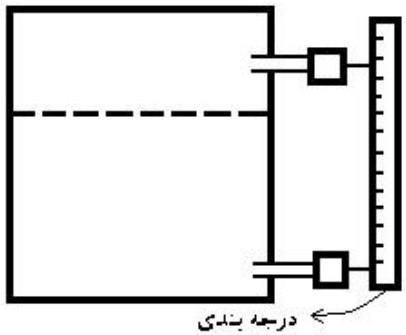
۳-با استفاده از فشار سنج ارتفاع مایعات:



٤-با استفاده از خاصیت دیافرگمی :



٥-اندازه گیری با استفاده از سطح سنج شیشه ای:

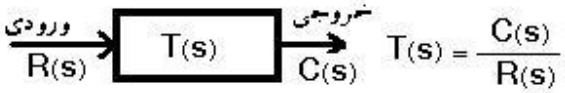


فصل سوم :

تابع تبدیل سیستم ها:

فرآیند ها و بدست آوردن تابع تبدیل آنها در حوزه لاپلاس :

رفتار یک فرایند با تابع تبدیل آن مشخص می گردد.تابع تبدیل یک پروسه نسبت خروجی به ورودی پروسه در حوزه لاپلاس می باشد.



عناصر	امپدانس	ادمیتانس
R	R	$\frac{1}{R}$
C	$\frac{1}{cs}$	cs
L	Ls	$\frac{1}{Ls}$

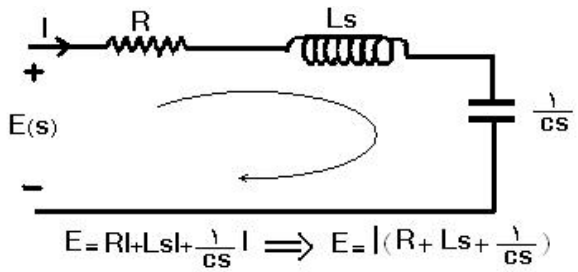
تبدیل لاپلاس مشتق اول $\quad \frac{dv}{dt} \longleftrightarrow Sv(s)$

تبدیل لاپلاس مشتق دوم $\quad \frac{d^2}{dt^2} \longleftrightarrow S^2v(s)$

تبدیل لاپلاس انتگرال $\quad \int V(t)\ d(t) \xleftrightarrow{d} \frac{dV(s)}{ds}$

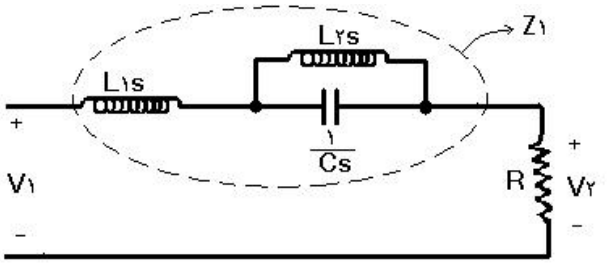
فرآیند های الکتریکی :

مثال)تابع تبدیل مدار های زیر را بدست آورید:



$$\frac{I(s)}{E(s)}=\frac{cs}{CSR+CLs^2+1}$$

مثال)تابع تبدیل مدار زیر را بدست آورید:

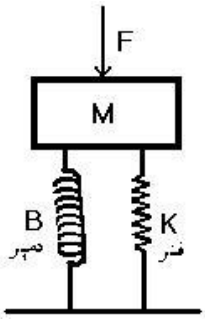


$$T(s)=\frac{V_2}{V_1} \longrightarrow Z_1=L_1s+\frac{L_2s}{L_2Cs^2+1}$$

تقسیم ولتاژ $\longleftarrow V_2=\frac{R}{Z_1+R}\cdot V_1$

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{R(1+L_2Cs^2+1)}{R(1+L_2Cs)^2+L_1L_2Cs^3+L_2s+L_1s}$$

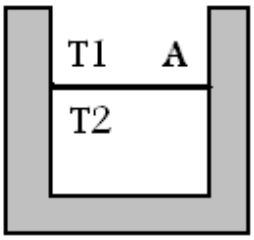
مثال)تابع تبدیل **سیستم مکانیکی** زیر را بدست آورید:



$$T=\frac{X(s)}{F(s)}=? \qquad F=B\frac{d(x)}{d(t)}+kx+ma \qquad F=B\frac{d(x)}{d(t)}+kx+m\frac{d^2(x)}{d(t)^2}$$

$$F=Bsx+Kx+Ms^2x \qquad F=X(Bs+K+Ms^2) \longrightarrow T=\frac{X(s)}{F(s)}=\frac{1}{Ms^2+Bs+K}$$

مثال)فرآیند حرارتی:در این مدلT_1دمای محیط گرما دهنده است، T_2دمای محیط گرما گیرنده است.تبادل حرارتی فقط از طریق سطح A انجام می گیرد.بدیهی است که جریان حرارتی از محیط گرم به سرد متناسب با اختلاف دمای دو محیط است و به ازاء یک اختلاف دمای ثابت هرچه سطح تماس و ضریب انتقال حرارت از مرز بزرگتر باشد جریان حرارتی بزرگتر خواهد بود.



$Q=\frac{1}{R_T}(T_1-T_2)$ (1)

$Q(s)=\frac{1}{R_T}(T_1(s)-T_2(s))$ (1)

$T(s)=\frac{T_2(s)}{T_1(s)}=?$

Q: اندازه جریان هدایت

A: سطح انتقال

R_T: مقاومت حرارتی

آهنگ تغییر دمای محیط سرد: $\frac{dT_2}{dt}=\frac{1}{Mc}.Q$

ظرفیت گرمایی محیط سرد ← جرم محیط سرد

$Q=Mc\frac{dT_2}{dt} \xleftrightarrow{\text{Laplas}} Q(s)=Mcs.T_2(s)$ (2)

$1=2 \Rightarrow \frac{T_1-T_2}{R_T}=Mcs.T_2 \Rightarrow T_1=(1+R_TcMs)T_2$

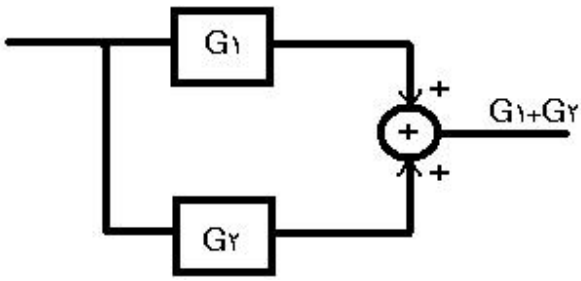
$T_1-T_2=\overbrace{R_Tc}^{\tau_c} MsT_2 \Rightarrow T_1=(1+\tau_c Ms)T_2 \Longrightarrow$

$\frac{T_2(s)}{T_1(s)}=\frac{1}{\tau_c Ms+1}$

پس تابع تبدیل یک فرآیند حرارتی درجه اول است

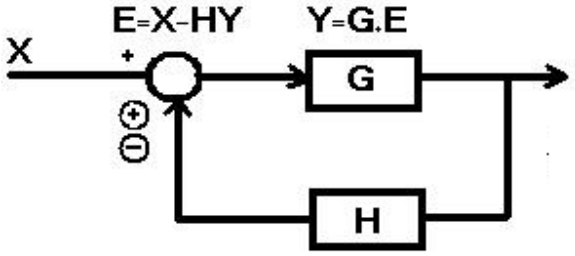
ساده سازی نمودار جعبه ای:

۱-موازی:



۲-سری:

۳-فیدبک:

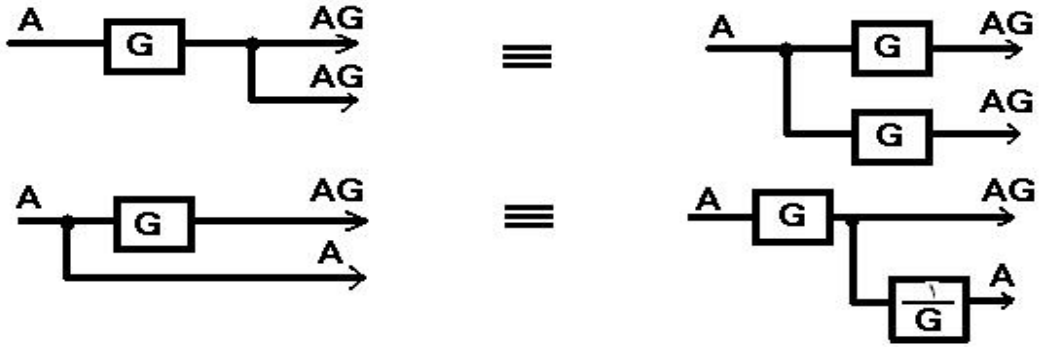


فیدبک منفی $\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{G}{1+GH}$

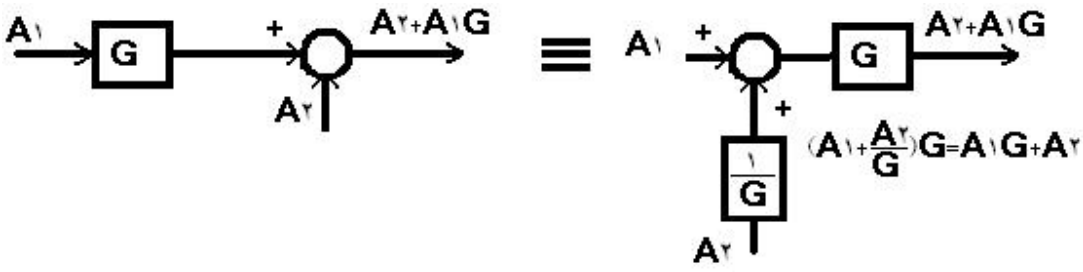
فیدبک مثبت: $\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{G}{1-GH}$

قاعده جابجایی گره و جمع کننده:

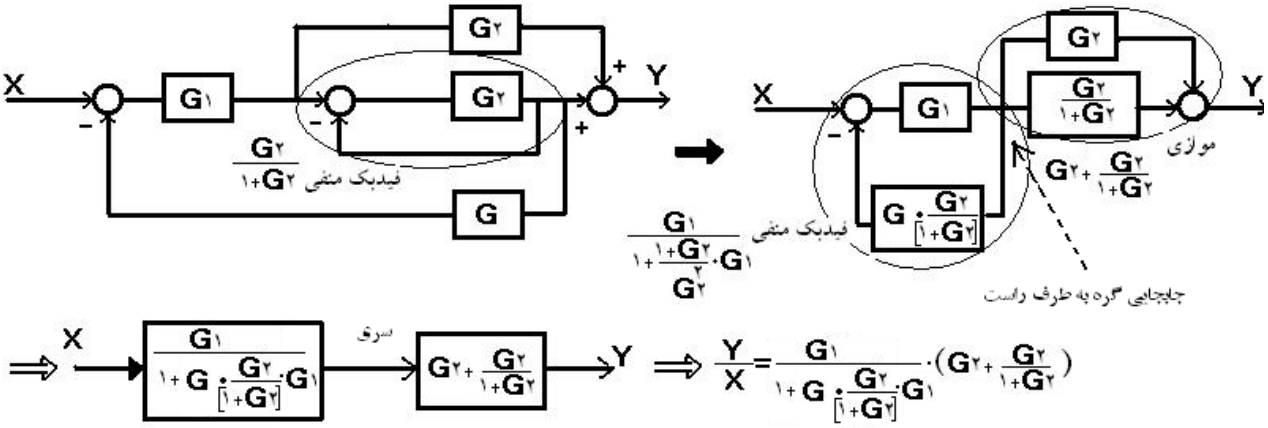
الف)قاعده جابجایی گره:



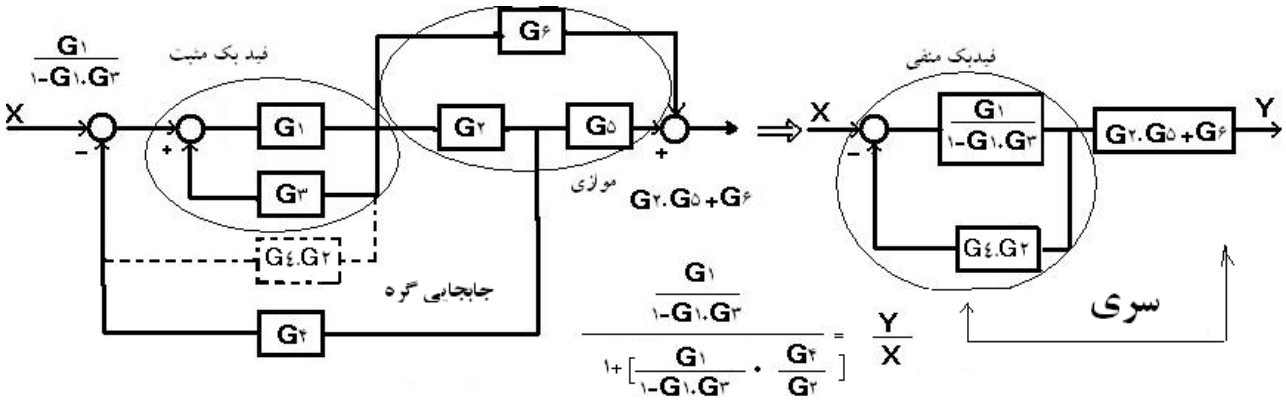
ب)قاعده جابجایی جمع کننده:



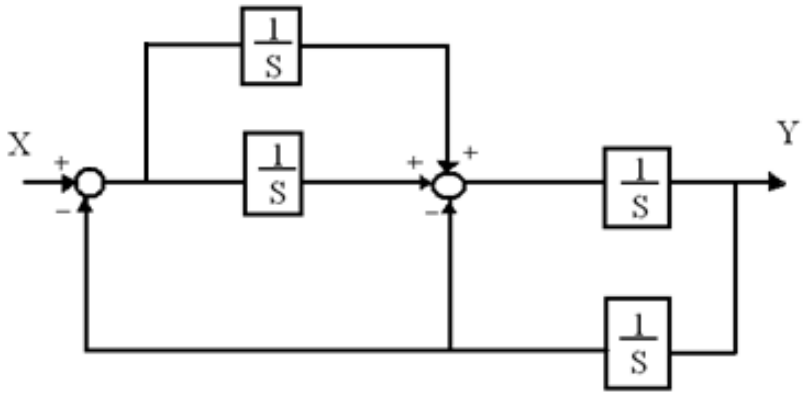
مثال)نمودار جعبه ای زیر را ساده کرده و نسبتY/Xرا محاسبه کنید.



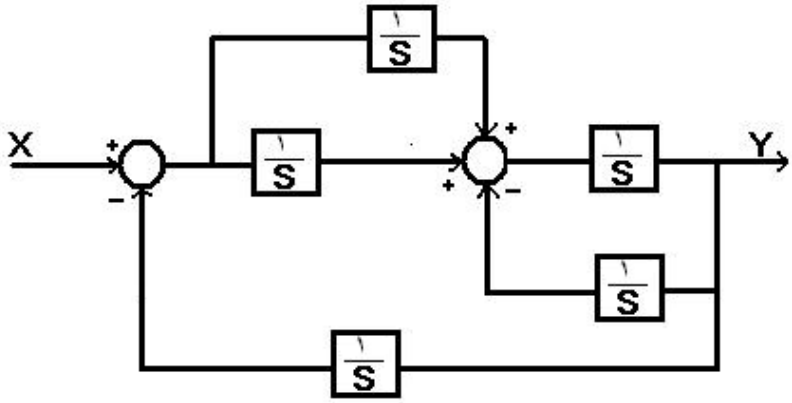
مثال:نمودار جعبه ای زیر را ساده کرده و نسبتy/xرا بیابید.



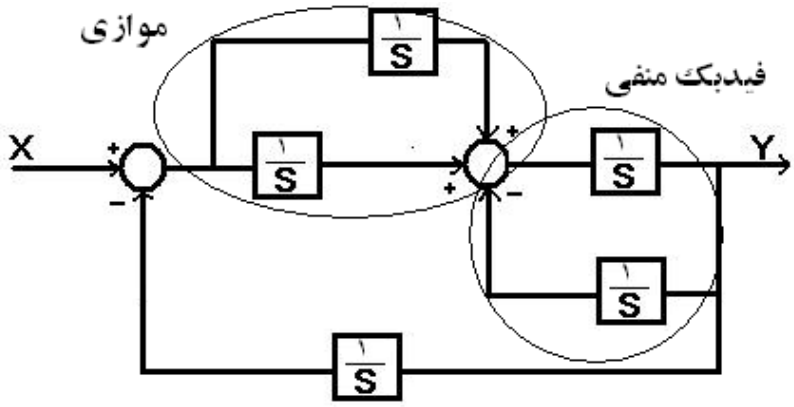
مثال:Y/Xرا بیابید؟



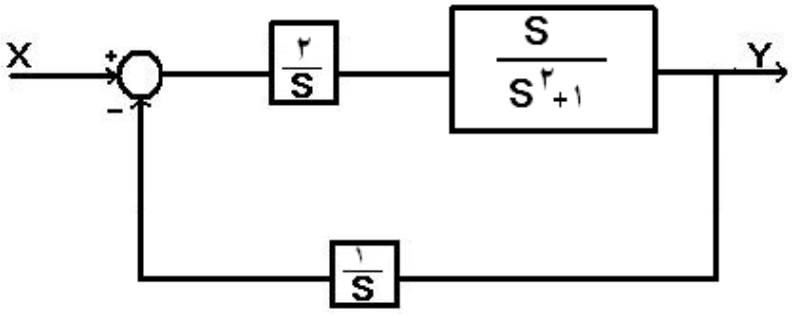
در **مرحله اول** نمودار را به صورت ساده زیر نشان می دهیم:



مرحله دوم:فیدبک منفی در سمت راست–موازی بودن در سمت چپ

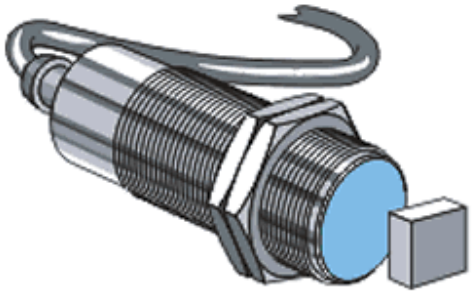


مرحله سوم:فیدبک کلی



$$\frac{Y}{X} = \frac{2\,S}{S^3 + S + 2}$$

فصل چهارم:



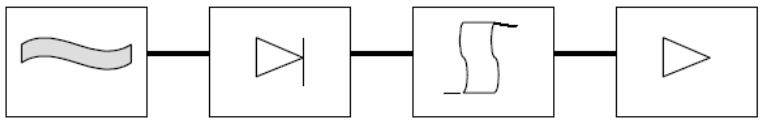
Target Smaller Than Standard

انواع سنسورهای بدون تماس

۱) سنسور القایی (حساس در مقابل فلزات)
۲) سنسور خازنی (حساس در مقابل همه چیز)
۳) سنسور نوری (حساس در مقابل همه چیز)
٤) سنسور مغناطیسی (حساس در مقابل آهنربا)
۵) سنسور کد رنگ (تشخیص نوار رنگی کاغذهای بسته بندی)

۵-۱) سوئیچهای القایی

سوئیچ القایی، سنسور بدون تماس می باشد که در مقابل فلزات عکس العمل نشان میدهد و میتواند فرمان مستقیم به رله ها، شیر برقی، سیستمهای اندازه-گیری و مدارات کنترل الکترونیکی مانند PLC ارسال نماید. این سوئیچها از چهار قسمت تشکیل می شوند.



قسمت اساسی این سوئیچ ها از یک اسیلاتور با فرکانس بالا تشکیل یافته که میتواند توسط قطعات فلزی تحت تاثیر قرار گیرد. این اسیلاتور باعث بوجود آمدن میدان الکترومغناطیسی در قسمت حساس سنسور میشود. نزدیک شدن یک قطعه فلزی باعث بوجود آمدن جریانهای گردابی در قطعه گردیده و این عمل سبب جذب انرژی میدان می شود و در نتیجه دامنه اسیلاتور کاهش می یابد. از آنجا که طبقه دمدولاتور، آشکار ساز دامنه اسیلاتور است، در نتیجه کاهش دامنه اسیلاتور توسط این قسمت به طبقه اشمیت تریگر منتقل میشود.

کاهش دامنه اسیلاتور باعث فعال شدن خروجی اشمیت تریگر گردیده و این قسمت نیز بنوبه خود باعث تحریک طبقه خروجی می شود.

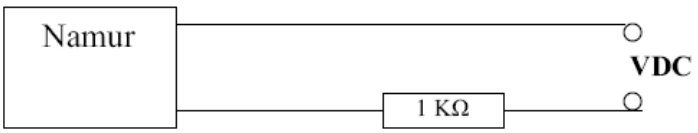
سنسورهای القایی از نظر تعداد سیم، ولتاژ تغذیه و نوع خروجی به انواع زیر تقسیم می شوند:

- دو سیمه AC
- سه سیمه NPN
- سه سیمه AC
- سه سیمه PNP
- دو سیمه DC
- چهار سیمه NPN
- دو سیمه نامور(Namur)
- چهار سیمه PNP

برخی از سنسورهای القایی خاص عبارتند از:

- سنسور القایی نامور

سنسورهای دو سیمه هستند که مقاومت داخلی آنها بر حسب فاصله قطعه از سنسور تغییر می کند. معمولا اتصال این سنسورها به منبع تغذیه ازطریق یک مقاومت ۱ K Ω صورت می گیرد.



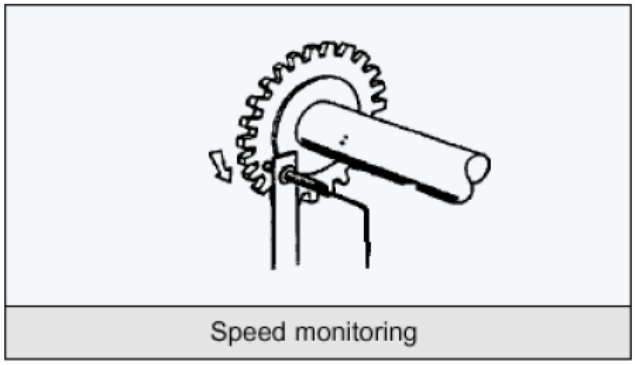
با توجه به سیم بندی مدار، جریان اتصال کوتاه در دو سر سنسور محدود می باشد،لذا بدلیل این محدودیت در محیطهای قابل انفجار میتوان از این سنسور استفاده کرد.

- سنسور القایی آنالوگ

سنسورهای القایی آنالوگ، سنسورهایی هستند که عکس العمل مقابل فلزات، بصورت ولتاژ و یا جریان خطی در خروجی آنها ظاهر می شود. کاربرد این سنسورها در اندازه گیری فاصله، جدا سازی قطعات با ابعاد مختلف، اندازه- گیری ضخامت قطعات فلزی و غیره می باشد.

- سنسور القایی سرعت (Speed Monitor)

از این سنسور بمنظور اندازه گیری سرعت استفاده می شود.



Speed monitoring

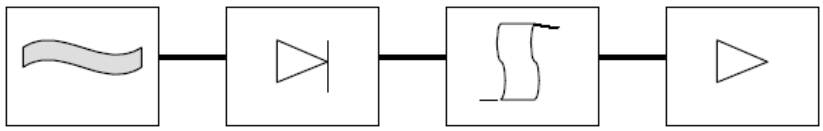
در قسمت حساس این سنسورها میدان مغناطیسی وجود دارد و این میدان در اثرحرکت چرخ دنده ها تغییر میکند. از آنجا که خروجی این سنسورها سلفی میباشد، لذا این تغییرات میدان بصورت پالسهایی در خروجی ظاهر میشوند.

برخی از این سنسورها احتیاج به تقویت کننده دارند.

کاربرد این سنسورها در اندازه گیری سرعت موتور، لوکوموتیو، چرخ دنده، پمپ، توربین وغیره می باشد.

۵-۲) سنسورهای خازنی

سنسورهای خازنی، سنسورهای بدون تماس و کنتاکت الکتریکی هستند که در مقابل فلزات و اغلب غیرفلزات عمل می نمایند. این سوئیچها برای کنترل سطوح مخازنی که از مواد پودری، مایع و یا دانه دانه پر شده اند، مناسب می باشند. همچنین از آنها میتوان بعنوان مولد پالس بمنظور کنترل وضعیت برنامه ماشین آلات، برای شمارنده ها و آشکارسازی تقریبا تمام مواد فلزی و غیر فلزی استفاده نمود. ساختمان اساسی این سنسورها از چهار قسمت تشکیل شده است.



OSCILATOR DEMODULATOR TRIGGER OUTPUT DRIVE

قسمت اساسی اسیلاتور میباشد که از دو قطعه فلزتشکیل شده است.وضعیت قرارگیری این قطعات فلزی نسبت بهم طوریست که باعث ایجاد یک ظرفیت خازنی میشود.هرگاه قطعه ای با ضریب الکتریکیε به صفحه حساس نزدیک گردد باعث تغییر ظرفیت خازنی بین صفحات می شود. این تغییر ظرفیت خازنی باعث تغییر دامنه خروجی اسیلاتور می شود.دمدولاتور دامنه اسیلاتور را آشکار می کند و این مقدار را با سطح مرجع مقایسه می کند. هرگاه دامنه این مقدار از دامنه مرجع بیشتر باشد، خروجی سنسور تحریک می شود.

در عملکرد سنسورهای خازنی عواملی مانند رطوبت هوا، گرد و غبار و ... برفاصله سوئیچینگ تاثیر میگذارند.فاصله سوئیچینگ به نوع قطعه نیز بستگی دارد.فاصله سوئیچینگ با استفاده از پتانسیومتر روی سنسور قابل تنظیم است.

۵-۳) سنسورهای نوری

این سنسورها به سه نوع یکطرفه، رفلکتوری و دوطرفه تقسیم می شوند.

- سنسور نوری یکطرفه (Diffuse)

این سنسور بر اساس ارسال امواج مادون قرمز مدوله شده توسط دیود مادون قرمز و دریافت این امواج بوسیله فتو ترانزیستور عمل می کند.

دراین سنسورها امواج مدوله شده توسط فرستنده بطورمستقیم در فضا پخش می شود. هرگاه این امواج به مانعی برخورد کنند، منعکس می شوند که مقدار انعکاس این امواج بستگی به رنگ و جنس سطح مانع دارد و به صورت خط مستقیم نمی باشد. انعکاس سطوح روشن بیش از سطوح تیره بوده و فاصله سوئیچینگ این سنسورها بستگی به میزان انعکاس نور دارد. هرگاه در جلوی سنسور مانعی قرارگیرد و امواج انعکاس یافته به سنسور منتقل شود، خروجی تغییر حالت خواهد یافت.

در حالت کلی این سنسورها بدو نوع زیر تقسیم می شوند:

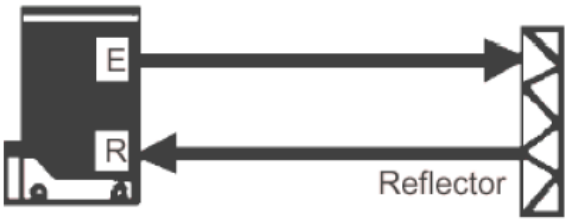
نرمال باز (Light ON)

نرمال بسته (Dark ON)

کاربرد این قطعه در آشکار سازی وجود اشیا، تشخیص پارگی ورق، کنترل انحراف ورق و ... می باشد.

-سنسور نوری رفلکتوری (Retro-Reflective)

این سنسور بر اساس ارسال امواج مادون قرمز مدوله شده توسط دیود مادون قرمز و انعکاس این امواج به وسیله رفلکتور و دریافت این امواج بوسیله فتو ترانزیستور عمل می کند.



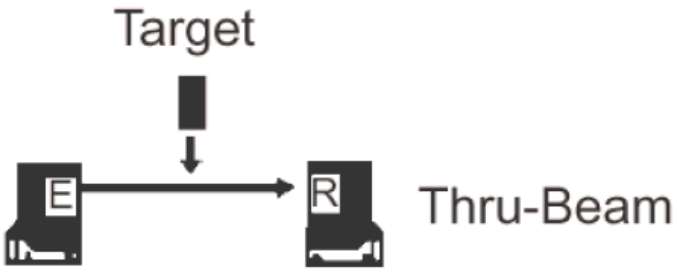
در این سنسور امواج مادون قرمز بصورت پلاریزه شده درفضا پخش میشوند. یک منعکس کننده در جلوی سنسور در فاصله معینی قرار می گیرد و امواج ارسال شده پس از برخورد به این منعکس کننده با زاویه ۹۰ درجه نسبت به امواج پخش شده بطرف گیرنده برمی گردند. این سنسورها نیز به دو صورت Light ON و Dark ON ارائه می شوند.

کاربرد این سنسورها در شمارش تولید، تشخیص پارگی ورق، کنترل حرکت ورق و ... می باشد.

-سنسور نوری دوطرفه (Thru-Beam)

این سنسور بر اساس ارسال امواج مادون قرمز مدوله شده توسط دیود مادون قرمز در قسمت فرستنده و دریافت این امواج توسط فتوترانزیستور در طرف گیرنده که در مقابل فرستنده نصب می شود، عمل می نماید.

در این نوع سنسورها، فرستنده وگیرنده مجزا ازهم میباشند. امواج مدوله شده مادون قرمز توسط فرستنده ارسال می شود و گیرنده در مقابل فرستنده نصب می شود. هرگاه مابین گیرنده و فرستنده مانعی وجود نداشته باشد، این امواج به گیرنده میرسند و درصورت وجود مانع این امواج دیگر به گیرنده نخواهند رسید. این سنسورها نیز به دو صورتLight ON وDark ON ارائه میشوند.



۵-٤) سنسور مغناطیسی

این سنسورها در مجاورت میدان مغناطیسی عمل می کنند. هرگاه یک قطعه آهنربا در مقابل این سنسور قرار گیرد، کنتاکت آن عمل خواهد کرد.

کاربرد این نوع سنسور در تشخیص و کنترل سطح مایع (با نصب یک آهنربا بر روی یک شناور)، تشخیص موقعیت پیستون درون سیلندر، اندازه گیری سرعت (با نصب آهنربا بر روی چرخ دنده ها) و غیره می باشد.

۵-۵) سنسورهای تشخیص رنگ

در ماشین آلات صنایع غذایی، بسته بندی وغیره اغلب از سنسورهایی استفاده میشودکه علائم رنگی چاپ شده روی کاغذهای بسته بندی را تشخیص داده و فرمان لازم مانند قطع کاغذ را صادر کند.

حساسیت به رنگ های مختلف توسط پتانسیومتر این سنسورها قابل تنظیم می باشد. این سنسورها به صورت چهار سیمه و با خروجی NPN یا PNP تولید می شوند.

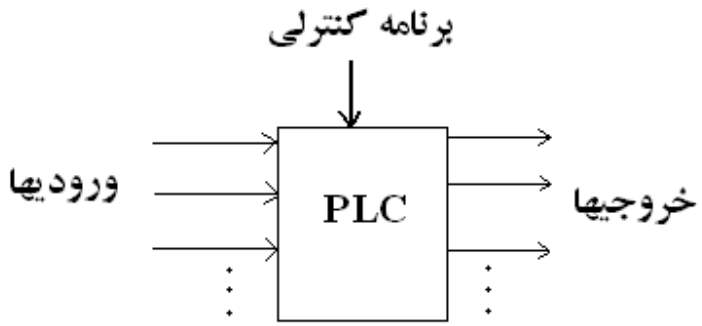
فصل پنجم :

کنترل کننده های برنامه پذیر(Programmable Logic Controller)-PLC

PLC: به معنای کنترل کننده منطقی برنامه پذیر می باشد. اولین سیستم های PLCبا استفاده از رایانه های معمولی در اواخر دهه ۱۹۶۰ودر اوایل دهه ۱۹۷۰پدید آمدند.

از شرکت های سازنده PLC می توان Siemens . Allen Bradley,اشنایدر ، LG ،Omronو... را نام برد. در این میان PLCهای زیمنس از محبوبیت بیشتری بر خور دار هستند.

PLC دارای تعدادی ورودی و تعدادی خروجی است . ورودی های PLCمی تواند سنسور ها ،میکرو سوئیچ ها ،شستی های استوپ استارت ،ترانسمیتر ها باشند و خروجی های آن موتور ها ،کنتاکتور ها و لامپ ها و ... باشند.برای یک PLC یک برنامه کنترلی نوشته می شود و PLCبر اساس دستورات ورودی وبرنامه نوشته شده برای آن خروجیها را فعال یا غیر فعال می کند.



وظیفه PLC قبلا برعهده مدارهای فرمان رله ای بود که استفاده از آنها در محیطهای صنعتی جدید منسوخ گردیده است. اولین اشکالی که در این مدارها ظاهر می شود آن است که با افزایش تعداد رله ها حجم و وزن مدار فرمان ، بسیار بزرگ می شود، همچنین باعث افزایش قیمت آن می گردد. برای رفع این اشکال، مدارهای فرمان الکتریکی ساخته

شدند ولی با وجود این هنگامی که تغییری در روند یا عملکرد ماشین صورت می گیرد لازم است تغییرات بسیاری در سخت افزار سیستم کنترل داده می شود. به عبارت دیگر اتصالات و عناصر مدار فرمان باید تغییر کند.

هر کس که با مدارهای فرمان الکتریکی رله ای کار کرده باشد به خوبی می داند که پس از طراحی یک تابلو فرمان، چنانچه نکته ای از قلم افتاده باشد، مشکلات مختلفی ظهور نموده ، هزینه و بخصوص زمان زیادی اتلاف می گردد. به علاوه گاهی افزایش و کاهش چند قطعه در تابلوی فرمان به دلایل مختلف مانند محدودیت فضا، عملا غیر ممکن و یا مستلزم انجام سیم کشی های مجدد و پرهزینه می باشد.

اما با استفاده از PLCتغییر در روند تولید یا عملکرد ماشین به آسانی صورت می پذیرد ، زیرا دیگر لازم نیست سیم کشی و سخت افزار سیستم کنترل تغییر کند و تنها کافی است چندین خط برنامه نوشت و به PLC ارسال کرد تا کنترل مورد نظر تحقق یابد. از طرف دیگر قدرت PLC در انجام محاسباتی ، منطقی، مقایسه ای و نگهداری اطلاعات به مراتب بیشتر از تابلوهای فرمان معمولی است. ر PLC به طراحان سیستم های کنترل این امکان را می دهد که انچه را در ذهن دارند در اسرع وقت بیازمایند و به ارتقای محصول خود بیندیشند، کاری که در سیستم های قدیمی مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی بود.

مزایای PLC نسبت به مدارهای فرمان رله ای:

۱-امکان کاهش حجم تابلوی فرمان:زیرا مدار فرمان حذف می شود و برنامه آن در PLCنوشته می شود.

۲- انرژی کمتری مصرف می کنند.

۳- انعطاف پذیری بیشتری دارند . شما می توانید براحتی از طریق نرم افزار در برنامه کنترلی plc تغییرات ایجاد کنید حال آنکه این مسئله قدری درمورد مدار فرمان با مشکل مواجه است.

۴- امکان شبیه سازی فرایند قبل از اجرای آن ،

۵- امکان بالا بردن امنیت برنامه از طریق رمز گذاری به آن

۶) استفاده از PLC مخصوصا در فرآیند های عظیم موجب صرفه جویی قابل توجهی در هزینه لوازم و قطعات می گردد.
۷)PLC ها استهلاک مکانیکی ندارند، بنابر این علاوه بر عمر بیشتر، نیازی به تعمیرات و سرویس های دوره ای نخواهند داشت.
۸) PLCها بر خلاف مدارات رله کنتاکتوری، نویزهای الکتریکی و صوتی ایجاد نمی کنند.
۹) طراحی و اجرای مدارهای کنترل و فرمان با استفاده از PLC ها، بسیار سریع و آسان است.
۱۰) برای عیب یابی مدارات فرمان الکترومکانیکی، الگوریتم و منطق خاصی را نمی توان پیشنهاد نمود . این امر بیشتر تجربی بوده ، بستگی به سابقه آشنایی فرد تعمیر کار با سیستم دارد. در صورتی که عیب یابی در مدارات فرمان کنترل شده توسط PLC به آسانی و با سرعت بیشتری انجام می گیرد .
۱۱)PLC ها می توانند با استفاده از برنامه های مخصوص، وجود نقص و اشکال در پروسه تحت کنترل را به سرعت تعیین و اعلام نمایند.

امروزه در بین کشورهای صنعتی ، رقابت فشرده و شدیدی در ارائه راهکارهایی برای کنترل بهتر فرآیندهای تولید ، وجود دارد که مدیران و مسئولان صنایع در این کشورها را بر آن داشته است تا تجهیزاتی مورد استفاده قرار دهند که سرعت و دقت عمل بالایی داشته باشند. بیشتر این تجهیزات شامل سیستم‌های استوار بر کنترلرهای قابل برنامه‌ریزی (Programmable Logic Controller) هستند. در بعضی موارد که لازم باشد می‌توان PLCها را با هم شبکه کرده و با یک کامپیوتر مرکزی مدیریت نمود تا بتوان کار کنترل سیستم‌های بسیار پیچیده را نیز با سرعت و دقت بسیار بالا و بدون نقص انجام داد.
قابلیت‌هایی از قبیل توانایی خواندن انواع ورودی‌ها (دیجیتال ، آنالوگ ، فرکانس بالا...) ، توانایی انتقال فرمان به سیستم‌ها و قطعات خروجی (نظیر مانیتورهای صنعتی ، موتور، شیربرقی ، ...) و همچنین امکانات اتصال به شبکه ، ابعاد بسیار کوچک ، سرعت پاسخگویی بسیار بالا، ایمنی ، دقت و انعطاف پذیری زیاد این سیستم‌ها باعث شده که بتوان کنترل سیستم‌ها را در محدوده وسیعی انجام داد.
در یک سیستم اتوماسیون، PLC بعنوان قلب سیستم کنترلی عمل می‌کند. هنگام اجرای یک برنامه کنترلی که در حافظه آن ذخیره شده است، PLC همواره وضعیت سیستم را بررسی می‌کند. این کار را با گرفتن فیدبک از قطعات ورودی و سنسورها انجام می‌دهد. سپس این اطلاعات را به برنامه کنترلی خود منتقل می‌کند و نسبت به آن در مورد نحوه عملکرد ماشین تصمیم‌گیری می‌کند و در نهایت فرمانهای لازم را به قطعات و دستگاههای مربوطه ارسال می‌کند.

انواع سیستم PLC

در صنعت PLC بیش از یکصد کارخانه با تنوع بیش از هزار مدل از انواع مختلف PLC فعالیت می نمایند. این نمونه های مختلف دارای سطوح مختلفی از کارآیی می باشند. PLC ها را می توان از نظر اندازه حافظه یا تعداد ورودی / خروجی دسته بندی نمود. نمونه ای از این تقسیم بندی را در جدول زیر مشاهده می کنید.

PLCهای کوچک:

این PLCها معمولا به منظور جایگزینی کنترل کننده های سنتی استفاده می گردند و به خاطر کوچکی در کنار تجهیزات کنترل شونده نصب می شوند. قابلیت گسترش این PLC ها محدود و حداکثر یک یا دو مدول I/O است. در این PLCها یک پردازنده وجود دارد و برنامه نویسی آنها به صورت مقدماتی است واغلب با استفاده از دیاگرام نردبانی و دستورات نمادی صورت می گیرد . PLC مدل F20 شرکت میتسو بیشی از این نمونه است.

PLC های متوسط:

این PLC ها ساختار مدولار دارند. در نتیجه توسعه یا تغییر آنها ساده است و تنها با اضافه نمودن یا تغییر مدولها صورت می گیرد. مدولها به گونه ای محلم ساخته می شوند تا در محیط های صنعتی کارکرد مطمئن داشته باشند. از این PLC ها در مواردی استفاده می شود که تعداد خطوط I/O زیاد و توسعه سیستم در آینده محتمل باشد. امکانات ارتباطی این PLCها زیاد است و می توان از آنها در کنترل گسترده استفاده نمود. برنامه ریزی این PLC ها به صورت گرافیکی نیز میسر است

PLC های بزرگ:

در مواردی که تعداد ورودی/ خروجی بسیار زیاد است و یا عملیات کنترلی پیچیده است از PLC های بزرگ استفاده می گردد. از این PLC ها برای هدایت تعدادی PLC کوچک نیز استفاده می گردد.

از بارز ترین ویژگیهای این PLC های می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- پردازنده ۱۶ بیتی برای انجام عملیات محاسباتی
- پردازنده یک بیتی برای انجام عملیات موازی و تسریع در شمارش و ذخیره
- حافظه زیاد
- عیب یابی و نمایش وضعیت
- ارتباط با اجزای کنترل گسترده
- کنترل حلقه بسته

و موارد دیگر...

برنامه نویسی PLCهای بزرگ معمولا با استفاده از زبانهای سطح بالا صورت می گیرد
البته برای ارزیابی یک PLC باید به ویژگی های دیگر نظیر پردازنده، زمان اجرای یک سیکل، سادگی زبان برنامه نویسی، قابلیت توسعه و غیره را در نظر گرفت.

در یک تقسیم بندی PLC ها در دوغالب PLC های با کاربرد محلی و PLC های با کاربرد وسیع تقسیم می گردند.

PLC ها با کاربرد محلی:

این نوع PLC ها برای کنترل سیستم های با حجم کوچک با تعداد ورودی و خروجی های محدود استفاده می گردند. به علت قابلیت محدودتر ، این نوع PLC ها برای کنترل همزمان تعداد کمتری از فرایند ها یا کنترل دستگاه های مجزای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند. اغلب شرکت های سازنده، این نوع PLC ها را به همراه سایر PLC به بازار ارائه نموده اند ولی برخی از شرکت های سازنده آن را با نام میکرو PLC به بازار ارائه می نمایند ، از جمله این نوع PLC می توان به نمونه زیر اشاره کرد:

۱- مینی PLC ساخت کارخانه زیمنس آلمان با نام LOGO
۲- مینی PLC ساخت کارخانه تله مکانیک فرانسه با نام Zelio
۳- PLC مولر آلمان
۴- PLC، LG کره
۵- .....

PLC ها با کاربرد گسترده:
این نوع PLC ها برای کنترل سایت کارخانجات بزرگ استفاده می شود. معمولا در این کارخانجات ؛ PLC ها در قسمت های مختلف سایت کارخانه وجود داشته و کنترل محلی بر قسمت های تحت پوشش خود انجام می دهند و اطلاعات مورد نیاز را با استفاده از روشهای گوناگون به اتاق کنترل مرکزی منتقل می کنند که در آن محل با استفاده از روش های مختلف مونیتورینگ صنعتی ، اطلاعات به شکل گرافیکی تبدیل کرده و بر روی صفحه مونیوتور نمایش می

دهند. در این حال اپراتور تنها با دانستن روش کار با کامپیوتر و بودن نیاز به اطلاعات تخصصی می تواند سیستم را کنترل کند.

از جمله این PLC ها می توان به نمونه های زیر اشاره کرد:

۱- خانواده PLC های S5 و S7

۲- خانواده PLC های OMRON ژاپن

۳- خانواده PLC های تله مکانیک فرانسه

۴- خانواده PLC میتسوبیشی ژاپن

۵- خانواده PLC های LG کره

۶- خانواده PLC آلن برادلی امریکا

۷- .....

در این دسته بندی می توان محصولات PLC شرکت کنترونیک ایران را نیز طبقه بندی کرد. در ادامه به معرفی شرکت کنترو نیک ایران می پردازم.

این شرکت ۲۴ سال پیش توسط سازمان گسترش ونوسازی صنایع ایران تأسیس گردید ودرسال ۱۳۷۲ به بخش خصوصی واگذارشد. زمینه فعالیت شرکت اتوماسیون صنعتی بوده ودراین سالها همواره درجهت گسترش درزمینه های مختلف گام برداشته است.

انواع PLC های زیمنس

LOGO

LOGOکنترل کننده ساده وارزان قیمتی است که برای کنترل های کوچک مثل ساختمان و دستگاه های کوچک و دربرخی موارد آموزشی کاربرد دارد.این PLC هم COMPACT است و برنامه ریزی آن توسط کلید های روی آن انجام می شود .البته می توان برای ورودی یا خروجی های بیشتر از اسلات های اضافی که در بازار وجود دارد استفاده کرد.

برای برنامه نویسی این PLC از نرم افزار logo!soft comfort استفاده می شود.

SIMATIC S5

کنترل کننده SIMATIC S7 که یکی از کنترل کننده های نسبتا قدیمی است در انواع مختلف مثل S5-90U یا S5-95Uبه صورت (COMPACT) بوده و حوزه عملکرد مخصوص دارند، اما انواع دیگری مثل S5-100U یا S5-115U به صورت مدولار بوده و برای کنترل های وسیع تر استفاده می شود که ورودی و خروجی های بیشتری دارند و می توانند عملیات منطقی بیشتری را انجام بدهند.

در S5 می توان PLC هایی را استفاده کرد مثل S5-135U یا S5-155U که بتوانند حوزه عملکرد بسیار وسیعی داشته باشند.

نوع PLC S5 در تمام انواع آن را که ذکر شد می توان توسط نرم افزار STEP 5 برنامه نویسی یا PROGRAM کرد.

SIMATIC S7

این PLC ها بعد از S5 عرضه شده اند و خود به سه خانواده مختلف تقسیم می شود :

S7-200:که به صورت COMPACT است و برای سیستم های کنترلی کوچک به کار می رود .

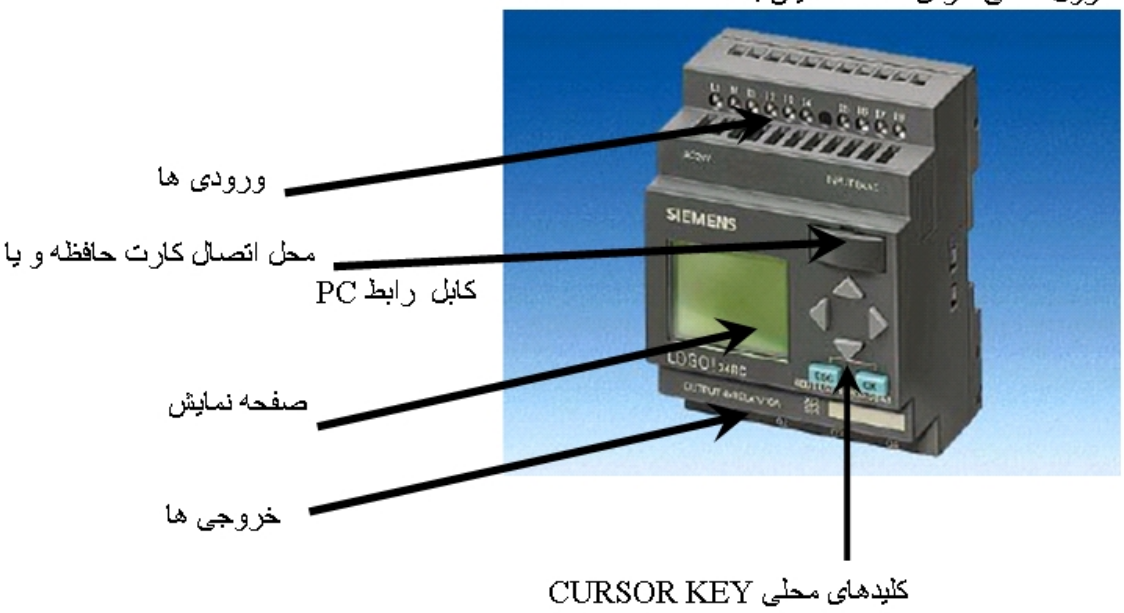
S7-300: که خود به سه نوعS7-300F , S7-300C و S7-300 تقسیم می شود، به صورت MODULAR است و عملکرد متوسط دارد .

S7-400:که خود به سه نوعS7-400FH , S7-400H , S7-400 تقسیم می شود، MODULARاست ولی می تواند حوزه عملکرد وسیع داشته باشد .

این PLC ها با نرم افزار STEP7 برنامه نویسی و پیکر بندی می شوند .

شکل زیر مربوط به LOGO از PLC های ساخت شرکت زیمنس می باشد. بر روی ماجول اصلی این کنترل کننده ۸ ورودی و۴ خروجی وجود دارد که جمعا تا ۲۴ ورودی دیجیتال(I1…24) و ۱۶ خروجی دیجیتال(Q1…Q16) قابل افزایش است.

ماژول اصلی دارای صفحه نمایش :



انواع زبان های برنامه نویسی:

FBD: Function Block Diagram دیاگرام تابع بلوکی

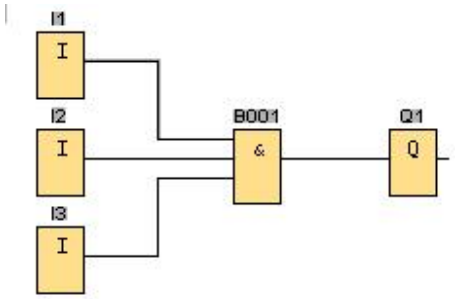
LAD: Ladder Diagram دیاگرام زبانی

STL: Statement List عبارتی

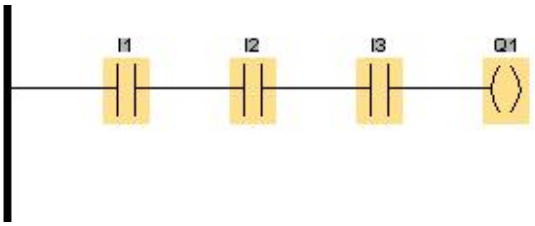
آشنائی با چند دستور ساده وابتدائی از نرم افزار !LOGO

مثال :دستگاهی زمانی کار می کند که هر سه کلید ورودی آن همزمان فعال باشد.برنامه مربوطه را با زبان FBDوLADبنویسید.

(FBD)



(LAD)

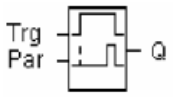


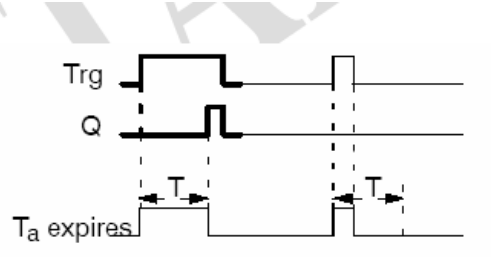
لازم به یادآوری است که معمولا برنامه مدارات فرمان به روشLAD نوشته می شوند.

*زبان برنامه نویسی STL مختص S7,S5 می باشد.

در زیر به معرفی چند تابع ساده LOGO می پردازیم. برای توضیحات بیشتر و مطالب تکمیلی به" **جزوه آموزشی LOGO** "تالیف اینجانب مراجعه کنید.

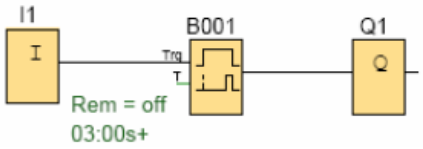
تایمر تاخیر در وصل On-delay





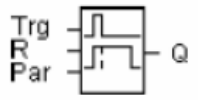
در این تابع خروجی زمانی فعال می شود که زمان تعریف شده Ta بعد از فعال شدن Trg سپری شده باشد.همچنین خروجی با لبه پایین رونده ورودی غیر فعال می شود.

مثال : با برنامه ای بنویسید که Q2، ۳ثانیه بعد از فعال شدن ورودی I2 روشن شود.



تمرین :با زدن Start , ابتدا Q1روشن و پس از 2S , Q2 نیز روشن و پس از 2S , Q3نیز روشن می شود.هرگاه Stop زده شد همگی خاموش می شوند.

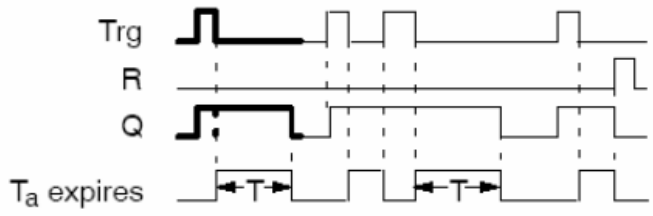
تایمر تاخیر در خاموشی off-delay



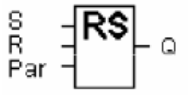
در این تابع،خروجی با لبه بالا رونده ورودیTrgروشن می شود زمانT نیز با لبه پایین رونده Trg شروع به شمارش می کند. خروجی تا زمانیکه زمان تنظیم شده Ta سپری نشده روشن باقی می ماند.شکل زیر دیاگرام عملکرد این تابع را نشان می دهد.

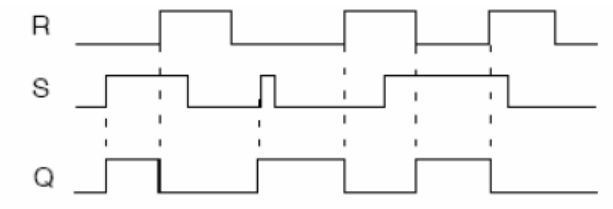
خروجی با لبه بالا رونده **R** خاموش می شود.

Timing diagram



رله نگهدارنده Latching Relay





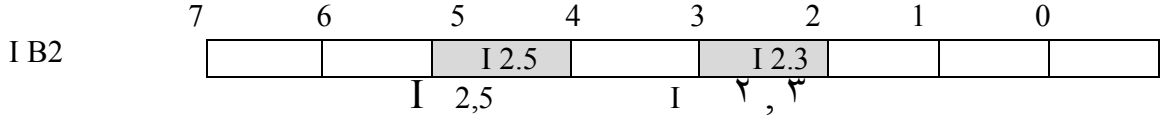
خروجی با لبه بالا رونده S فعال می شود وبا لبه پایین رونده S خاموش نمی شود مبادا اینکه ورودی R فعال شود.اگر گزینه Retentivity را فعال کنیددر این صورت وقتی برق قطع شد با وصل مجدد برق ،وضعیت رله در همان حالت قبلی باقی می ماند.

اگر هردو ورودی با هم فعال شونددر این حالت R برS ارجحیت خواهد داشت.

آدرس دهی در(7) STEP: آدرس دهی در STEP 5, STEP 7 به صورت بیت وبایتی است.

بیت صفرم از بایت صفر ورودی I0.0

بیت صفرم از بایت صفر خروجی Q0.2

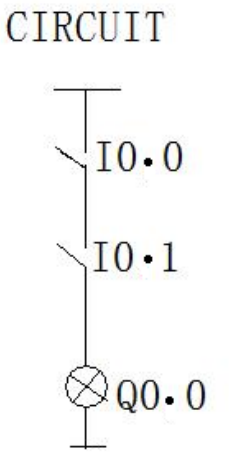


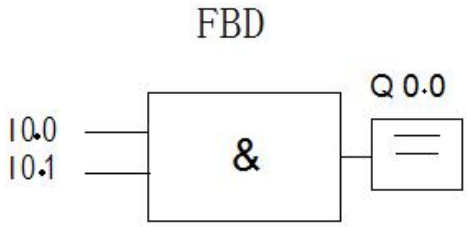
نکته:●هربایت هشت بیت دارد.

●هر Word شانزده بیت دارد

زبان STL در7 STEP:

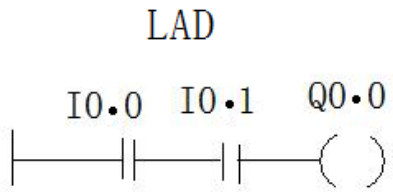
دستور AND در STEP 7:



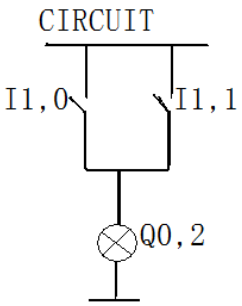


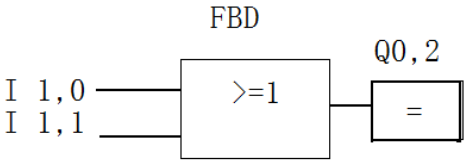
STL

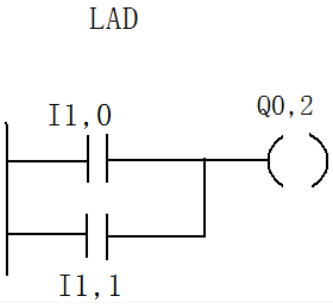
عملگر	عملوند	
	شناسه عملوند	آدرس عملوند
A	I	0.0
A	I	0.1
=	Q	0.0



دستور OR در STEP 7:







STL

عملگر	عملوند	
	شناسه عملوند	آدرس عملوند
O	I	**1.0**
O	I	**1.1**
=	Q	**0.2**

کنترل کننده های PID(Proportional-Integral-Derivative)

یکی از اجزای مهم و حساس حلقه ی کنترل صنعتی ، کنترل کننده ها می باشند . یک کنترل کننده با توجه به خطای موجود (اختلاف رفتار فرآیند با رفتار مطلوب) و با در نظر گرفتن قوانین کنترل (استراتژی کنترل) ، دستوری را جهت اصلاح خطا به قسمتهای بعدی (محرک – Actuator و عنصر نهایی – Final Element) ارسال می دارد . کنترل کننده ها از نظر قانون کنترل یا عملی که بر روی سیگنال خطا انجام می دهند به چند دسته تقسیم می شوند که یکی از آنها کنترل کننده های PID(Proportional-Integral-Derivative) می باشند .

از آنجا که بیش از نیمی از کنترل کننده های صنعتی که امروزه به کار می روند از طرحهای کنترل PID یا PID اصلاح شده استفاده می کنند ، شناخت و یادگیری نحوه ی تنظیم پارامترهای این نوع از کنترل کننده ها ضروری به نظر می رسد .

چون اغلب کنترل کننده های PID(Proportional-Integral-Derivative) ، در محل تنظیم می شوند ، قواعد تنظیم متفاوتی پیشنهاد شده اند . با ستفاده از این قواعد می توان کنترل کننده ها را در محل ، با دقت و ظرافت تنظیم کرد . روشهای تنظیم خودکار (Auto-tuning) نیز ابداع شده اند و بعضی از کنترل کننده های PID دارای قابلیت تنظیم خودکار می باشند .

مزیت کنترل کننده های PID در قابلیت اعمال آنها به اکثر سیستمهای کنترل است . در زمینه سیستمهای کنترل فرآیند ، طرحهای کنترل PID و شکلهای اصلاح شده آن کارایی خود را در ایجاد یک فرآیند کنترل رضایت بخش به اثبات رسانده اند .

کنترل کننده های PID(Proportional-Integral-Derivative) ، توسط PLC نیز قابل پیاده سازی می باشند. از آنجا که به یادگیری این دسته از کنترل کننده ها و تنظیم پارامترهای آنها مستلزم شناخت و درک عمیق خواص آنهاست ؛ در این فصل سعی شده است تا مطالب و مفاهیم اولیه مورد نیاز در مورد این کنترل کننده ها به گونه ای ارائه شوند که نیاز چندانی به مراجعه به کتابهای دیگر وجود نداشته باشد .

در این فصل ، ابتدا یک سری از تعاریف و مفاهیم پایه ارائه می شوند و سپس با انواع کنترل کننده ها و مزایا و معایب هر یک ازآشنا می شویم . پس از آشنایی با مفاهیم پایه و شناخت کنترل کننده ها ، به توضیح چگونگی انتخاب و تنظیم کنترل کننده ها می پردازیم .

تعاریف اولیه

پیش از شروع بحث درباره ی کنترل کننده ها لازم است برخی اصطلاحات پایه را معرفی کنیم :

اغتشاش (Disturbance) : ورودیهای مزاحم و ناخواسته ای را که باعث انحراف خروجی از مقدار مطلوب می شوند و در امر کنترل اختلال ایجاد می کنند نویز یا اغتشاش می گوییم . اغتشاش ممکن است از راه ورودی یا راههای دیگر وارد فرآیند شود .

کنترل بازخورد (Feedback) : منظور از کنترل با بازخورد (Feedback) ، عملی است که می کوشد با وجود اغتشاش ، اختلاف بین خروجی سیستم و ورودی مرجع را به کمترین میزان کاهش دهد. این کوشش بر اساس اختلاف مذکور صورت می گیرد . در اینجا ، تنها اغتشاشهای پیش بینی نشده مد نظر است ؛ زیرا اغتشاشهای معلوم را همیشه می توان در داخل سیستم جبران کرد . کنترل دمای اتاق ، نمونه ای از کنترل با بازخورد (Feedback) است . ترموستات با اندازه گیری دمای اتاق و مقایسه آن با یک درجه حرارت مرجع (دمای مطلوب) وسیله گرمایشی یا سرمایشی را به کار می اندازد یا قطع می کند تا دمای اتاق برخلاف درجه حرارت بیرون ، مقدار مطلوبی داشته باشد .

سیستمهای کنترل دارای بازخورد را غالباً سیستمهای کنترل حلقه بسته می نامند .

یکی از مزیتهای سیستمهای کنترل دارای بازخورد این است که بازخورد پاسخ سیستم را نسبت به اغتشاش خارجی و تغییر پارامترهای داخلی سیستم تقریباً تأثیرناپذیر می کند . بنابراین می توان با استفاده از اجزای ارزان و نه چندان دقیق دستگاه را به خوبی کنترل کرد ؛ کاری که در سیستمهای حلقه باز ،ناممکن است .

از دیدگاه پایداری ، ساختن سیستمهای کنترل حلقه باز ساده تر است ؛ زیرا در این سیستمها مشکل ناپایداری وجود ندارد . در حالی که این موضوع در سستمهای کنترل حلقه بسته ، یک مشکل اساسی است و باعث می شود سیستم با دامنه ای ثابت یا متغیر نوسان کند .

تأکید می کنیم که اگر در سیستمی ، ورودی از قبل معلوم است و اغتشاش وجود ندارد بهتر است کنترل به صورت حلقه باز انجام شود . سیستم کنترل حلقه بسته ، تنها هنگامی برتری خود را نشان می دهد که اغتشاشهای پیش بینی نشده یا تغییرات غیر قابل پیش بینی در اجزای سیستم وجود داشته باشد .

پایداری مطلق : مهمترین مشخصه رفتار دینامیکی سیستمهای کنترل پایداری مطلق است ، بدین معنی که آیا سیستم پایدار یا ناپایدار است . یک سیستم کنترل را در حال تعادل می نامیم اگر خروجی در صورت نبودن ورودی و اغتشاش ، در یک حالت باقی بماند . یک سیستم کنترل خطی مستقل از زمان در صورتی پایدار است که هنگام اعمال یک شرط اولیه جدید به آن ، به حالت تعادل خود بر می گردد . سیستم کنترل خطی مستقل از زمان ، پایدار بحرانی است اگر نوسانات خروجی برای همیشه ادامه یابد . این سیستم ، ناپایدار است اگر هنگام اعمال یک شرط اولیه جدید به آن خروجی اش به طور بی کران واگرا شود . البته در عمل ، خروجی یک سیستم فیزیکی فقط تا حد مشخصی می تواند زیاد شود ؛ چرا که یا عوامل مکانیکی آن را محدود می کنند یا سیستم پس از رسیدن خروجی اش به حد خاصی خراب یا غیر خطی می شود ، به نحوی که دیگر معادله های دیفرانسیل خطی در مورد آن صادق نخواهند بود .

پاسخ گذرا و پاسخ حالت ماندگار : پاسخ زمانی یک سیستم کنترل ، از دو بخش پاسخ گذرا و پاسخ ماندگار تشکیل می شود . منظور از پاسخ گذرا ، عبور از حالت ابتدایی و رسیدن به حالت نهایی است . از آنجا که در سیستمهای کنترل واقعی ، انرژی ذخیره می شود ، خروجی سیستم هنگام اعمال مقدار مطلوب (Set Point) نمی تواند فوراً آن را دنبال کند و قبل از رسیدن به حالت ماندگار ، یک پاسخ گذرا وجود دارد . پاسخ گذرای یک سیستم کنترل واقعی ، غالباً قبل از رسیدن به حالت ماندگار ، نوسانهای میرا دارد . منظور از پاسخ حالت ماندگار ، چگونگی رفتار خروجی سیستم به ازای $t \to \infty$ است .

خطای حالت ماندگار : اختلافی که در حالت ماندگار بین خروجی سیستم و مقدار مطلوب (Set Point) وجود دارد ؛ خطای حالت ماندگار نامیده می شود .

تعریف مشخصات پاسخ گذرا

در عمل ، پاسخ گذرای سیستمهای کنترل ، غالباً قبل از رسیدن به حالت ماندگار نوسان میرا دارد . به منظور تعیین مشخصات پاسخ گذرای یک سیستم کنترل به ورودی پله ای باید موارد زیر مشخص شوند :

۱- زمان تأخیر (Delay Time-t_d)

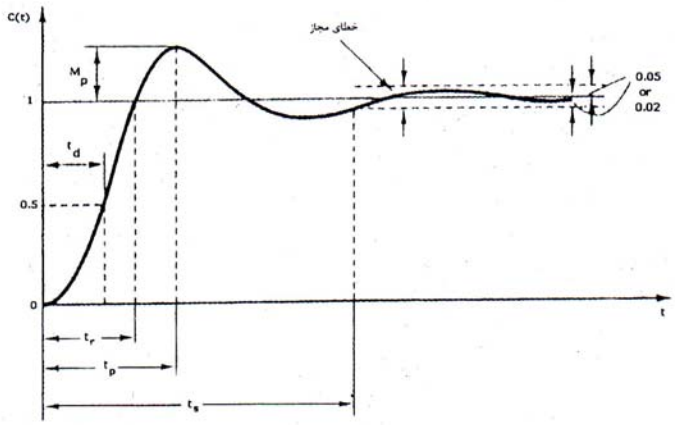
۲- زمان صعود (Rise Time-t_r)

۳- زمان اوج (Peak Time-t_p)

۴- حداکثر فراجهش (Overshoot-M_p)

۵- زمان قرار (Settling Time-t_s)

در ادامه ، به تعریف هر یک از این مشخصات می پردازیم **(شکل ۱)**



(شکل ۱)

۱- زمان تأخیر (t_d) : زمانی است که طول می کشد تا پاسخ برای بار اول به نصف مقدار نهایی اش برسد .

۲- زمان صعود (t_r) : زمانی است که طول می کشد تا پاسخ از ۱۰٪ به ۹۰٪ یا از ۵٪ به ۹۵٪ یا از ۰٪ به ۱۰۰٪ مقدار نهایی اش برسد . t_r ، سرعت پاسخ را مشخص می کند .

۳- زمان اوج (t_p) : زمان لازم برای رسیدن به اولین فراجهش است .

٤- حداکثر (درصد) فراجهش (M_p) : مقدار اوج فراجهش است که نسبت به مقدار یک اندازه گیری می شود .

معمولاً در مواردی که مقدار حالت ماندگار پاسخ ، یک نیست درصد فراجهش به به کار می رود . این مقدار به صورت زیر تعریف می شود :

$$\text{ماکزیمم درصد } \textbf{فراجهش} = \frac{C(t_p) - C(\infty)}{C(\infty)} \times 100\%$$

اندازه حداکثر (درصد) فراجهش ، به طور مستقیم ، پایداری سیستم را نشان می دهد .

۵- زمان قرار (t_s) : زمانی است که طول می کشد تا منحنی پاسخ به محدوده ی معینی حول مقدار نهایی اش برسد و در آن محدوده باقی بماند . این محدوده معمولاً برحسب درصد مطلقی از مقدار نهایی (معمولاً ۲ تا ۵٪) بیان می شود .

زمان قرار با بزرگترین ثابت زمانی سیستم کنترل مرتبط است .

پارامترهای کنترل کننده را باید طوری تنظیم کرد که پاسخ گذرای آن رضایت بخش شود .

طبقه بندی کنترل کننده های صنعتی

طبقه بندی کنترل کننده های صنعتی از نظر قانون کنترل یا عملی که بر روی سیگنال خطا انجام می دهند عبارت است از :

۱- کنترل کننده های دو وضعیتی (on/off)

۲- کنترل کننده های تناسبی (Proportional)

۳- کنترل کننده های انتگرالی (Integral)

٤- کنترل کننده های مشتق گیر (Derivative)

٥- کنترل کننده های تناسبی – انتگرالی (PI)

٦- کنترل کننده های تناسبی – مشتق گیر (PD)

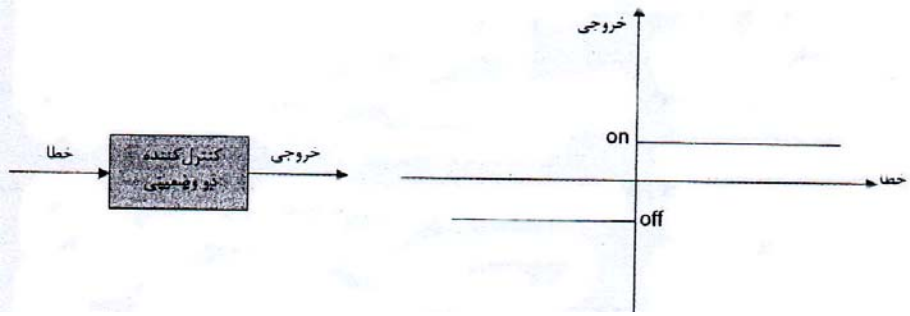
٧- کنترل کننده های تناسبی – انتگرالی – مشتق گیر (PID)

در بسیاری از کنترل کننده های صنعتی ، سیال تحت فشار مانند روغن یا هوا ، یا برق به عنوان انرژی محرکه به کار می رود . کنترل کننده ها را می توان برحسب انرژی محرکه آنها نیز طبقه بندی کرد ، به عنوان مثال ، کنترل کننده های پنوماتیکی (بادی) ، کنترل کننده های هیدرولیکی (روغنی) و کنترل کننده های الکترونیکی .

درک عملکرد هر یک از انواع کنترل کننده از اهمیت زیادی برخوردار است ؛ زیرا این سوال همواره برای مهندسین وجود دارد که برای کنترل یک فرآیند خاص باید ازچه کنترل کننده ای استفاده نمود و چگونه آن را تنظیم کرد ؟ بدیهی است که انتخاب و تنظیم کنترل کننده ها منوط به شناخت و درک خواص آنهاست . از این رو ، سعی می کنیم با معرفی هر یک از کنترل کننده ها و بررسی معایب و مزایای آنها زمینه شناخت آنها را فراهم سازیم .

کنترل کننده های دو وضعیتی (on/off)

مشخصه و عملکرد این نوع کنترل کننده ها در شکل ۲ نشان داده شده است .

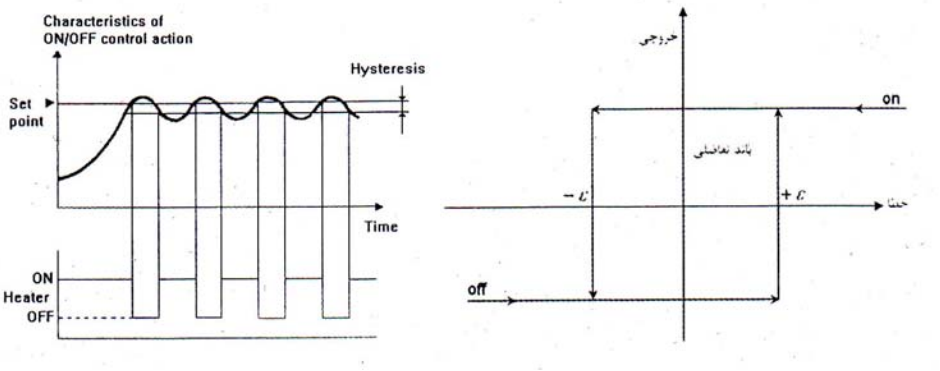


(شکل ۲)

خروجی این کنترل کننده ، همان طور که از نام آن پیداست ، می تواند تنها دو حالت روشن یا خاموش (on یا off) داشته باشد . مطابق مشخصه شکل ۲ در صورتی که خطا مثبت باشد، یعنی مقدار کمیت اندازه گیری شده از مقدار مطلوب کمتر باشد ، کنترل کننده فرمان روشن شدن (on) را صادر می کند و در صورتی که مقدار کمیت کنترل بیشتر از مقدار مطلوب باشد (خطای منفی) ، کنترل کننده فرمان خاموش شدن (off) را به محرک و عنصر نهایی ارسال می کند . یک نمونه ساده و متداول کنترل کننده های دو وضعیتی ، ترموستات سماور برقی است .

مشخصه شکل ۲ دارای یک اشکال عملی مهم است و آن اینکه به دلیل اثر اغتشاشهای مختلف در فرآیند (هر چند ناچیز) ، که به هر حال همیشه وجود دارند ، خطای سیستم هیچ گاه صفر نمی شود و کنترل کننده همواره در حال قطع و وصل (off و on) است . این امر سبب استهلاک کنترل کننده و عناصر محرک و نهایی می شود . در عمل ، کنترل کننده دو وضعیتی را با هیسترزیس و باند مرده (Dead-band) یعنی با مشخصه ای مطابق شکل الف- ۳ می سازند . باند

مرده (Dead-band) را ، باند تفاضلی (Differential-gap) نیز می نامند . در این شکل ، مادامی که خطا از باند تفاضلی تجاوز نکند ، کنترل کننده در وضعیت قبلی خود باقی می ماند .



(الف) **(ب)**

(شکل ۳)

باند تفاضلی (Differential-gap) در کنترل کننده های دو وضعیتی ، معمولاً قابل تنظیم است و کاربر برحسب نیاز مقدار آن را تنظیم می نماید . به عنوان مثال هرگاه در یک کنترل دو وضعیتی دما ، باند تفاضلی را روی ۱۰ درجه تنظیم کنیم و دمای مطلوب نیز $80^{\circ}C$ تعیین شود ؛ ممکن است عملاً دمای فرآیند بین ۷۵ تا ۸۵ درجه تغییر کند .

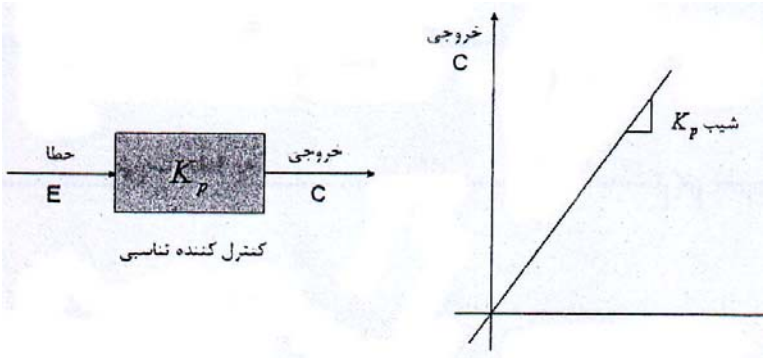
از کنترل کننده های دو وضعیتی در تأسیسات حرارتی و برودتی و نظایر آنها ، همین طور در بسیاری از تأسیسات و سیستمهای کنترل به عنوان وسیله حفاظتی استفاده می شود . این نوع کنترل کننده زمانی که سیستمهای اصلی کنترل به

عللی نتوانند کار خود را انجام دهند ، برای جلوگیری از صدمات و خطرات احتمالی وارد عمل می شود . عملکرد کنترل کننده های دو وضعیتی بسیار مطمئن است .

از مزیتهای مهم کنترل کننده های دو وضعیتی می توان به سادگی و ارزانی آنها اشاره نمود . عیب اصلی آنها ، عدم دقت و وجود خطای همیشگی در حلقه کنترل است ؛ با وجود این در کنترل فرآیندهایی که نیاز به دقت بالایی نداریم کنترل کننده های دو وضعیتی بهترین انتخاب می باشند .

کنترل کننده تناسبی (Proportional)

چگونگی عملکرد و مشخصه یک کنترل کننده ی تناسبی ، مطابق شکل ۴ است .



(شکل ٤)

در اینجا خروجی کنترل کننده ، ضریبی از خطای سیستم به شمار می رود که آن را ضریب تناسب می گوییم و با K_p نمایش می دهیم . کنترل کننده های تناسبی برای رفع مشکل قطع و وصلهای مکرر در کنترل کننده های دو وضعیتی

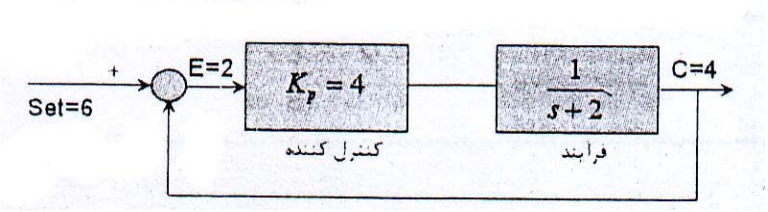
ساخته شده اند . بهره (GAIN) کنترل کننده تناسبی قابل تنظیم است. گاهی به جای بهره از اصطلاح باند تناسبی (Proportional Band-PB) ، که طبق رابطه ی ۱ با بهره مرتبط است ، استفاده می شود :

$$\%PB = \frac{100}{K_P} \qquad (۱)$$

با استفاده از کنترل کننده های تناسبی و تنظیم درست بهره ، می توان دقت و حساسیت بیشتری در کنترل یک فرآیند نسبت به کنترل کننده های دو وضعیتی به وجود آورد و البته این امر منجر به پرداخت هزینه بیشتر جهت عناصر بعد از کنترل کننده ، یعنی محرک و عنصر نهایی می شود .

گاهی برای استفاده توأم مزیتهای کنترل کننده های دو وضعیتی و تناسبی ، از کنترل کننده ای به نام کنترل کننده تناسبی زمانی (Time-proportional) استفاده می کنند . در این روش ، عنصر نهایی در یک فاصله زمانی ثابت ، مدتی باز و مدتی بسته است که نسبت مدت باز بودن به مدت بسته بودن متناسب با اندازه خطاست .

با توجه به شکل ۴، یک کنترل کننده تناسبی را می توان یک آمپلی فایر با بهره قابل تنظیم دانست . کنترل کننده های تناسبی قادر به اصلاح کامل خطا نیستند و در حالت ماندگار بین خروجی فرآیند و مقدار مطلوب (Set Point) اختلاف وجود دارد . برای روشن شدن مطلب شکل ۵ را در نظر بگیرید .



(شکل ۵)

مطابق شکل در حالت ماندگار ، هنگامی که مقدار مطلوب ۶ است ، خروجی فرآیند روی ۴ تنظیم می شود و حلقه کنترل دارای خطای ماندگار ۲= E است .

$$C = E \times 4 \times \frac{1}{2} = 2E$$

$$E = (Set) - C = 6 - C$$

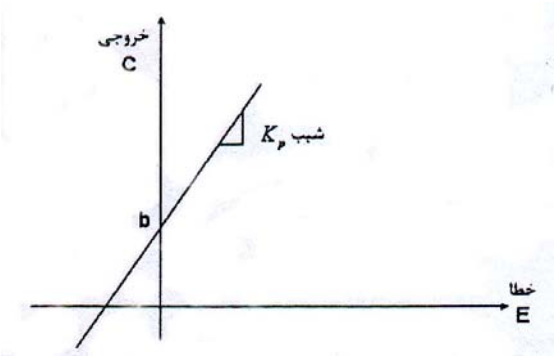
$$E = 6 - 2E$$

$$E = 2 \qquad \textbf{خطا}$$

$$C = 2 \times 2 = 4 \qquad \textbf{خروجی}$$

این خطا را اُفست (Offset) می گوییم . اُفست را می توان با افزایش بهره کاهش داد ؛ البته این افزایش به نوبه خود مشکلاتی را به وجود خواهد آورد .

گاهی برای اینکه خروجی فرآیند در حالت ماندگار روی مقدار مطلوب تنظیم شود یا به عبارت دیگر خطای حلقه کنترل صفر شود ، کنترل کننده های تناسبی را به طور بایاس دار می سازند؛ به این معنی که خروجی کنترل کننده به ازای خطای صفر مقدار ثابت (Bias) دارد . مشخصه این گونه کنترل کننده ها مطابق شکل ۶ است .



(شکل ٦)

در اینجا ، رابطه ورودی – خروجی (رابطه ۲) به صورت زیر نوشته می شود :

$$C = K_P E + b \qquad (۲)$$

در این رابطه ، Kp را بهره و b را بایاس کنترل کننده می نامیم .

بدیهی است با تغییر مقدار مطلوب (Set Point) ، مقدار بایاس را نیز باید مجدداً تنظیم کرد این امر مشکلاتی را به دنبال دارد . بهترین راه از بین بردن خطا در حالت ماندگار استفاده از عمل انتگرال گیری است .

به طور خلاصه ویژگیهای کنترل کننده تناسبی به شرح زیر می باشد :

♦ نسبتاً سریع می باشد .

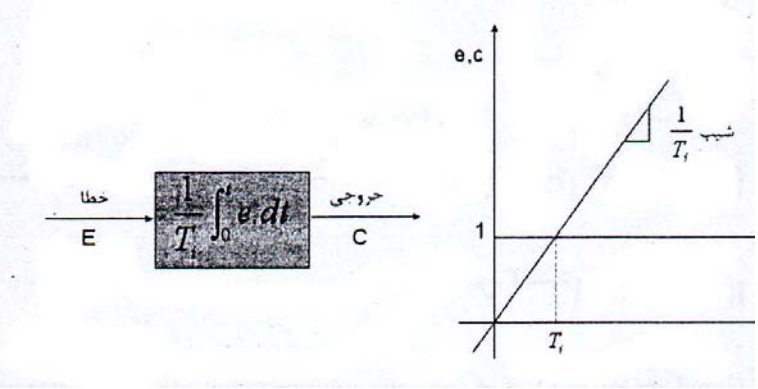
♦ خطای حالت ماندگار دارد .

♦ با افزایش مقدار مطلوب میزان خطای حالت ماندگار افزایش می یابد .

♦ با افزایش مقدار K_P خطای حالت ماندگار کاهش می یابد ولی امکان نوسانی شدن سیستم وجود دارد .

کنترل کننده های انتگرالی

خروجی این کنترل کننده ، انتگرال خطای ورودی به آن است . عملکرد و مشخصه یک کنترل کننده انتگرالی هنگامی که خطای ورودی ، پله واحد باشد مطابق شکل ۷ است .



(شکل ۷)

کنترل کننده انتگرالی ، یک کنترل کننده حافظه دار است بدین معنی که خروجی آن در هر لحظه تحت تأثیر خطاهای سیستم در زمانهای گذشته است . T_i را زمان انتگرال گیری می گوییم و آن مدت زمانی است که طول می کشد تا خروجی انتگرال گیر، هنگامی که ورودی آن پله واحد است از مقدار صفر به مقدار واحد برسد (شکل ۷) .

کنترل کننده های انتگرالی را کنترل کننده Reset نیز می گویند که در این صورت T_i را زمان Reset می گوییم .

برای درک بهتر کنترل کننده های انتگرالی ، رابطه ۳ را که قانون یا استراتژی کنترل در آنهاست در نظر بگیرید :

$$c(t) = \frac{1}{T_i}\int_0^t e(t).dt \qquad (۳)$$

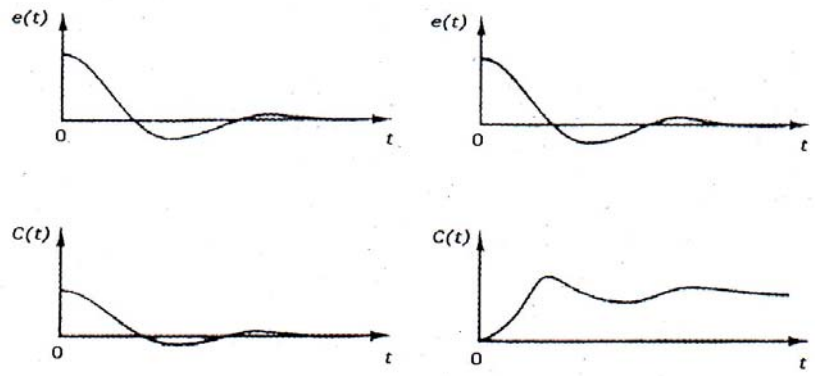
رابطه فوق را می توان به صورت رابطه ۴ نیز نوشت :

$$\frac{dc(t)}{d(t)} = \frac{e(t)}{T_i} \qquad (۴)$$

مطابق رابطه ۴ تغییرات خروجی در هر لحظه یعنی $\frac{dc(t)}{d(t)}$ ، متناسب با خطای ورودی e(t) در آن لحظه می باشد و ضریب تناسب ، $\frac{1}{T_i}$ است . به این ترتیب ، تا زمانی که خطا مخالف با صفر باشد خروجی تغییر می کند و تغییرات خروجی جهت اصلاح خطا به کار گرفته می شود . هنگامی که خطا صفر شود خروجی در مقدار ثابتی تثبیت می گردد . این مقدار ثابت ، در واقع به گونه ای معادل اندازه ی بایاس در کنترل کننده ی تناسبی بایاس دار است . به عبارت دیگر ، کنترل کننده های انتگرالی با توجه به خواص کنترل کننده های تناسبی بایاس دار ابداع شده اند . با این مزیت که مقدار

بایاس در آنها ، با توجه به سوابق قبلی سیگنال خطای ورودی به طور خودکار تنظیم می شود ؛ در حالی که در کنترل کننده های تناسبی بایاس دار ، برای هر مقدار مطلوب باید مقدار بایاس را مجدداً تنظیم نمود .

در کنترل انتگرالی ، خروجی در هر لحظه با مساحت زیر منحنی سیگنال خطا تا آن لحظه برابر است . همان طور که در شکل ۸ (الف) نشان داده شده ، خروجی c(t) حتی در زمانی که سیگنال خطا e(t) صفر است ، می تواند مقداری غیر صفر داشته باشد . چنین چیزی در کنترل کننده ی تناسبی ممکن نیست ؛ زیرا برای غیر صفر بودن خروجی باید سیگنال خطا غیر صفر باشد (وجود خطای غیر صفر در حالت ماندگار نشانه وجود اُفست است) . شکل ۷ (ب) ، منحنی e(t) و منحنی c(t) متناظر با آن را در کنترل کننده ی تناسبی نشان می دهد .



(شکل ۸)

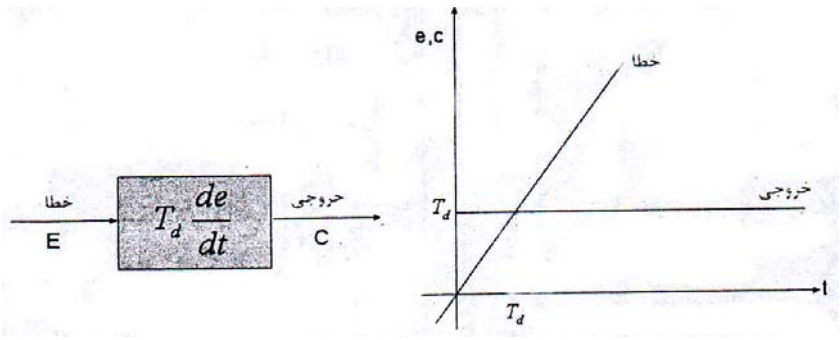
کنترل کننده های انتگرالی ، معمولاً به تنهایی مورد استفاده قرار نمی گیرند و به صورت تناسبی – انتگرالی (PI) استفاده می شوند که بعداً در مورد آنها صحبت خواهیم کرد . با وجود این در بعضی از فرآیندهای کنترل سطح مایع یا کنترل

دما یا کنترل PH ، که به دلیل ماهیت فرآیند نیاز به تصحیح آهسته فرآیند داریم ، ممکن است از کنترل کننده های انتگرالی به تنهایی استفاده شود .

مزیت کنترل کننده های انتگرالی عدم آفست (Offset) و توانایی در کاهش خطای ماندگار است و عیب آنها کند بودن و ایجاد تأخیر در پاسخ دهی است که احتمال ناپایداری را به دنبال دارد . در این نوع کنترل کننده ها با افزایش مقدار T_i سیستم کندتر می شود و در صورتی که T_i کوچک باشد امکان نوسانی یا ناپایدار شدن سیستم وجود دارد .

کنترل کننده مشتق گیر (Derivative)

قانون کنترل و مشخصه یک کنترل کننده مشتق گیر در شکل ۹ نشان داده شده است



(شکل ۹)

شکل فوق ، خروجی کنترل کننده را هنگامی که خطا شیب واحد داشته باشد نشان می دهد . T_d را اصطلاحاً زمان مشتق گیری می گوییم . ملاحظه می شود که یک کنترل کننده مشتق گیر ، تنها به تغییرات خطا و نه به مقدار آن حساس است . به عبارت دیگر اگر خطا مقداری ثابت باشد و تغییری نکند ، کنترل کننده عکس العملی نسبت به آن نشان نخواهد داد و به همین دلیل معمولاً از عمل مشتق گیری به تنهایی استفاده نمی شود . عمل مشتق گیری برای فرآیندهای تأخیردار یا با ثابت زمانی بزرگ مناسب است ؛ زیرا معمولاً تغییرات خطا مقدمه ای برای افزایش آن است و کنترل کننده مشتق گیر از این نظر آمادگی لازم برای تصحیح خطاهای آتی را فراهم می آورد ، یعنی کنترل کننده دیدی آینده نگر و پیش بینی دارد و به همین دلیل گاهی آن را کنترل کننده پیش فاز نیز می گویند . کنترل کننده مشتق گیر در صنعت، به نام کنترل کننده میزان (Rate) مشهور است .

یکی از مزیتهای کنترل کننده مشتق گیر این است که به آهنگ تغییر سگنال خطا پاسخ می دهد و می تواند قبل از بزرگ شدن بیش از اندازه ی خطا ، اصلاح قابل توجهی را به وجود آورد . پس کنترل کننده مشتق گیر خطا را پیش بینی می کند ، عمل تصحیح زود هنگام را انجام می دهد و به این ترتیب بر پایداری سیستم می افزاید .

فرآیندهایی که تحت تأثیر نویزهای شدید هستند و در کنترل آنها از عمل مشتق گیری نیز استفاده می شود ، در معرض خطر اشباع کنترل کننده و عنصر نهایی می باشند ؛ چرا که تغییرات شدید ناشی از نویز باعث افزایش خروجی کنترل کننده ، اشباع آن و همچنین اشباع عنصر نهایی می شود . در چنین مواردی ، برای حذف نویز از فیلترهای مخصوص

استفاده می گردد . همچنین تغییرات شدید خطا هنگام تنظیم مقدار مطلوب نیز ممکن است موجب بروز مشکل فوق گردد . به منظور رفع این مشکل بعضی از سازندگان کنترل کننده را به گونه ای می سازند که عمل مشتق گیری بر روی سیگنال اندازه گیری شده و نه سیگنال خطا انجام می شود ؛ بنابراین تغییرات مقدار مطلوب خروجی کنترل کننده را تحت تأثیر قرار نمی دهد .

استفاده از عمل مشتق گیری در یک حلقه کنترل را می توان به صورت چند قانون سرانگشتی خلاصه کرد :

۱- تنظیم عمل مشتق گیری بعد از تنظیم سایر عملیات انجام می شود .

۲- در فرآیندهای کند ، به عمل مشتق گیری بیشتری نیاز است .

۳- در فرآیندهایی با بهره کم و تغییرات نادر مقدار مطلوب ، معمولاً از عمل مشتق گیری نیز در کنترل کننده استفاده می شود .

۴- در حلقه های غیر خود تنظیم (Non-self-regulating) استفاده از عمل مشتق گیری مطلوب است ؛ چرا که مشتق گیری اساساً پایداری حلقه کنترل را افزایش می دهد

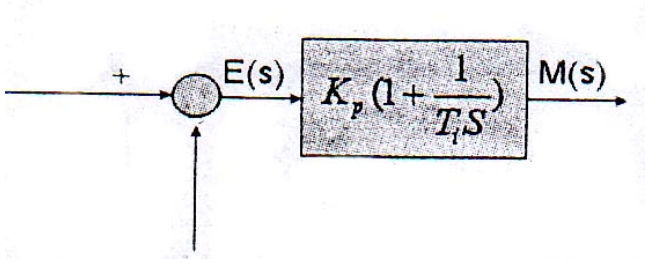
۵- در حلقه های کنترل با تأخیر زیاد در اندازه گیری ، استفاده از عمل مشتق گیری مطلوب است .

۶- معمولاً از عمل مشتق گیری ، در کنترل فرآیندهایی با چندین ثابت زمانی استفاده می کنیم . تجربه نشان می دهد که در این حالت ؛ بهتر است زمان مشتق گیری حدود دومین یا سومین ثابت زمانی بزرگ فرآیند انتخاب شود .

تا اینجا با کنترل کننده های مستقل تناسبی ، انتگرالی و مشتق گیر آشنا شدیم . اکنون ، به معرفی کنترل کننـده هـایی مـی پردازیم که از ترکیب عملیات سه گانه فوق به دست می آیند .

کنترل کننده تناسبی – انتگرالی Proportional-Integral (PI)

عملی که این کنترل کننده بر روی سیگنال خطا انجام می دهد ، همن طور که از نام آن پیداست، شامل عملیات تناسب و انتگرال است که آن را مطابق شکل ۱۰ و رابطه های ۵ و ۶ نمایش می دهیم .



(شکل ۱۰)

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_P}{T_i}\int_0^t e(t).d(t) \qquad (۵)$$

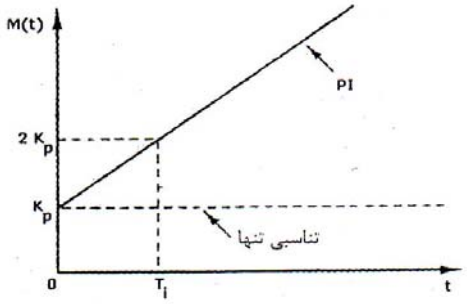
$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_P(1+\frac{1}{T_i s}) \qquad (۶)$$

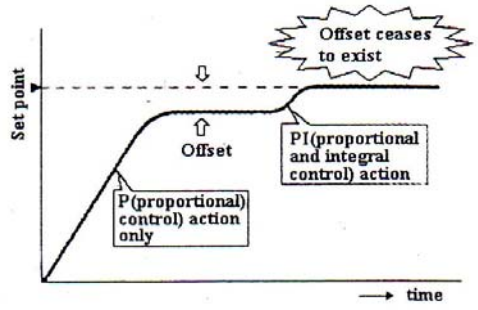
در یک کنترل کننده ی PI ، ضرایب K_p و T_i قابل تنظیم می باشند . با توجه به روابط فوق ، تنظیم T_i قسـمت انتگرالـی و تنظیم K_p هر دو قسمت انتگرالی و تناسبی را تحت تأثیر قرار می دهد .

این کنترل کننده دارای خواص کنترل کننده های تناسبی و انتگرالی است . به دلیل وجود عنصر P سرعت نسبتاً خوبی دارد و به دلیل وجود عنصر I خطای حالت ماندگار ندارد . پاسخ این کنترل کننده به خطای پله واحد مطابق شکل ۱۱ است .

با توجه به شکل ۱۱ خروجی کنترل کننده با گذشت هر زمان T_i، به اندازه یک K_p افزایش می یابد .

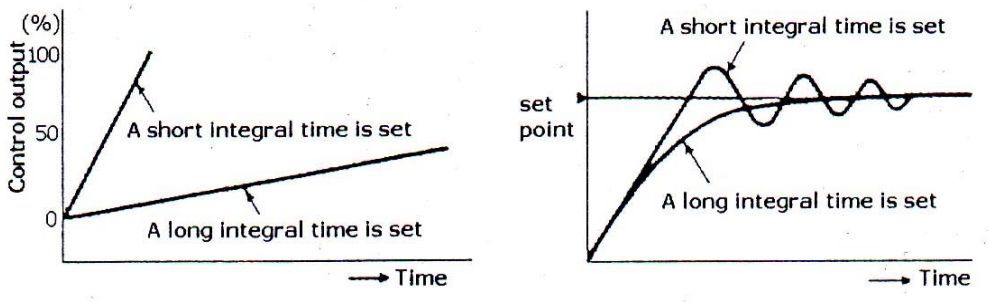
در شکل ۱۲ ، نتیجه افزودن عملگر انتگرالی به یک کنترل کننده ی تناسبی نشان داده شده است . همان طور که مشاهده می شود افزودن عملگر I ، باعث از بین رفتن خطای حالت ماندگار شده است .





(شکل ۱۱) **(شکل ۱۲)**

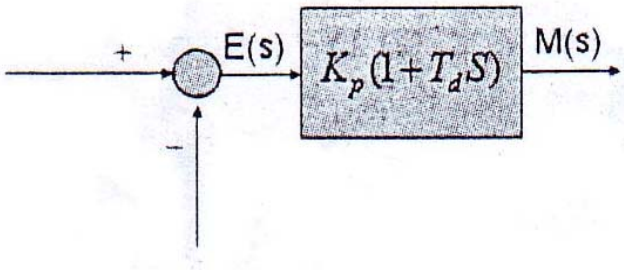
در شکل ۱۳ اثر تغییر زمان اتگرال گیری (T_i) در پاسخ پله سیستم نشان داده شده است . همان طور که می بینید با کوچکتر شدن این زمان ، اعوجاج (Hunting) ایجاد شده است .



(شکل ۱۳)

کنترل کننده تناسبی – مشتق گیر Proportional-Derivative (PD)

عملیات این کنترل کننده بر روی سیگنال خطا ، شامل تناسب و مشتق است که مطابق شکل ۱۴ و رابطه های ۷و ۸ نمایش داده می شود .



(شکل ١٤)

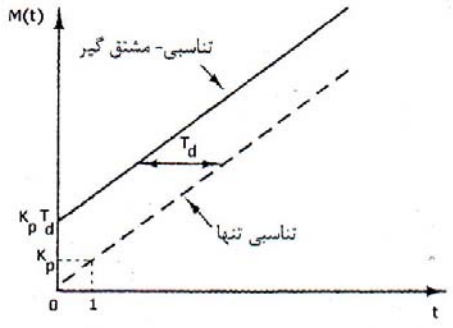
$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \qquad (۱۷-۷)$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s) \qquad (۱۷-۸)$$

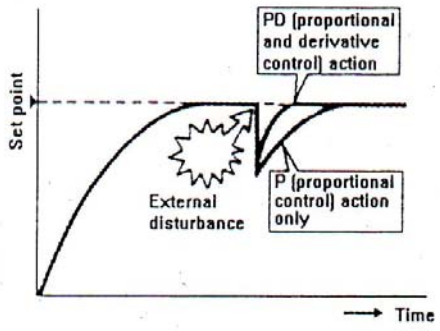
در یک کنترل کننده PD ، ضرایب K_p و T_d قابل تنظیم می باشد . تنظیم T_d ، بر روی عمل مشتق و تنظیم K_p ، بر روی عملیات تناسب و مشتق تأثیر می گذارد .

این کنترل کننده ، دارای خواص کنترل کننده های تناسبی و مشتق گیر است . عمل مشتق اثر مستقیمی در خطای حالت ماندگار ندارد ؛ ولی با افزودن میرایی به سیستم اجازه می دهد بهره K_p بزرگتری انتخاب شود و این بهره بزرگتر ، دقت حالت ماندگار را بهتر می کند . پاسخ کنترل کننده ی PD به خطای شیب واحد مطابق شکل ۱۵ است .

عملگرهای P و I باعث تصحیح مقدار خروجی می شوند ؛ اما به موازات آن باعث کندی پاسخ سیستم نیز می گردند . به منظور افزایش سرعت پاسخ ، از عملگر مشتق گیر D استفاده می شود . با اضافه نمودن عملگر D ، اغتشاشهای بزرگ خارجی ، با سرعت بالایی کنترل و تثبیت می شوند (شکل ۱۶) .

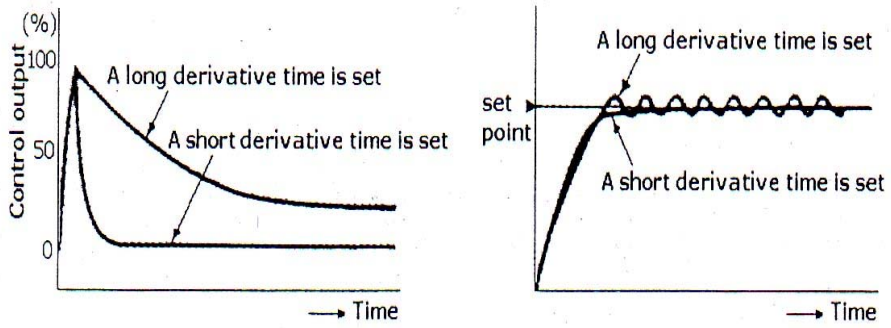


(شکل ۱۵)



(شکل ١٦)

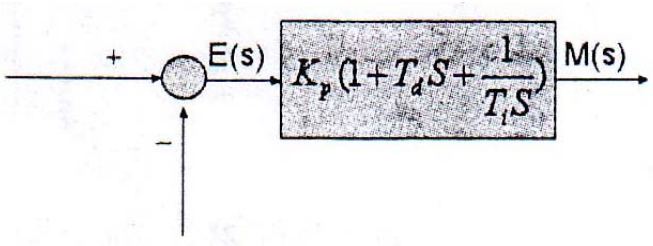
در شکل ۱۷ ، اثر تغییر زمان مشتق گیری روی پاسخ سیستم نشان داده شده است .



(شکل ۱۷)

کنترل کننده تناسبی – انتگرالی – مشتق گیر (PID)

این کنترل کننده ، عملیات تناسب ، انتگرال و مشتق را بر روی سیگنال خطا انجام می دهد . بلوک دیاگرام و روابط مربوط ، مطابق شکل ۱۸ و رابطه های ۹ و ۱۰ ارائه می شوند .



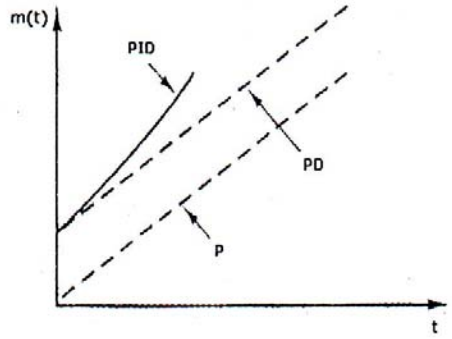
(شکل ۱۸)

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_p}{T_i}\int_0^t e(t).dt \qquad (۹)$$

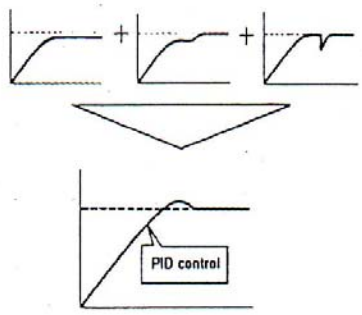
$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p(+T_d s + \frac{}{T_i s}) \qquad (۱۰)$$

در این کنترل کننده نیز ، T_i ، T_d و K_p قابل تنظیم می باشند و تنظیم K_p بر عملیات مشتق و انتگرال نیز تأثیر می گذارد .

در شکل ۱۹ ، پاسخ یک کنترل کننده ی PID به ورودی شیب واحد به طور کیفی نشان داده شده است .یک کنترل کننده PID دارای کلیه خواص کنترل کننده های P ، I و D است و با تنظیم ضرایب مربوط به آن می توان به ترکیبی از خواص هر یک از آنها رسید (شکل ۲۰) .



(شکل ۱۹)



(شکل ۲۰)

در جدول ۱ ، تأثیر افزایش ضرایب K_p ، $K_I = \frac{1}{T_i}$ و $K_D=T_d$ روی مشخصات پاسخ گذاری کنترل کننده ی PID آورده شده است .

	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Steady State Error
افزایش K_p	کاهش	افزایش	تغییر اندک	کاهش
افزایش K_I	کاهش	افزایش	افزایش	حذف
افزایش K_D	تغییر اندک	کاهش	کاهش	تغییر اندک

(جدول ۱)

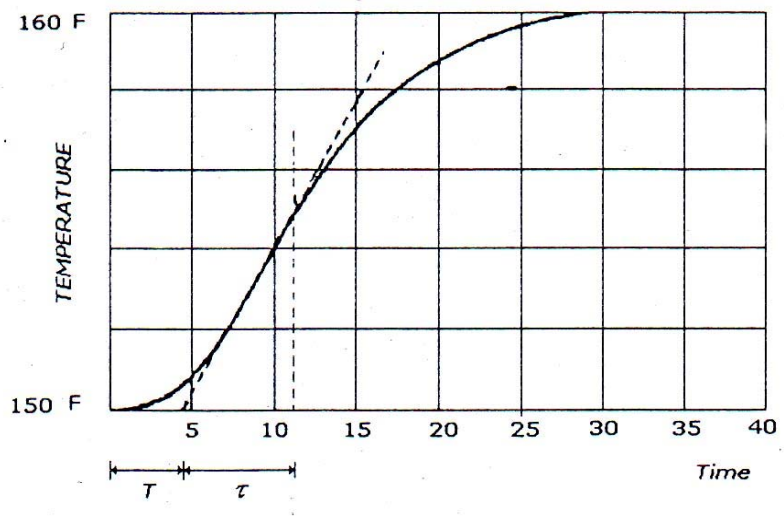
انتخاب نوع کنترل کننده

در این بخش ، چگونگی انتخاب نوع کنترل کننده مناسب برای یک فرآیند ، مورد بحث و بررسی قرار می گیرد . در جدول ۲ ، به ازای مشخصات فرآیند ، نوع کنترل کننده مناسب پیشنهاد شده است . باید دقت شود که تمام کنترل کننده ها می توانند برحسب مشخصات عملکرد سیستم ، یکی از دو حالت مستقیم یا معکوس را قبول کنند و عمل نمایند . واضح است که حالت مستقیم به معنای افزایش خروجی کنترل کننده به هنگام افزایش ورودی آن است . فرض کنید بخواهیم برای یک سیستم مبدل حرارتی ، کنترل کننده ای انتخاب کنیم . اگر سیستم به صورت سیستمی با ظرفیت کم عمل نماید یا به عبارت دیگر تغییر کوچکی در دبی بخار باعث تغییر زیادی در درجه حرارت شود ، معمولاً چنین سیستمی با کنترل کننده ی on/off مطلوب نیست و باید کنترل کننده تناسبی را انتخاب نمود . از طرف دیگر ، تغییرات سرعت آب باعث تغییرات بار می شود که این خود انحراف از تنظیم را به وجود می آورد .

(جدول ۲)

Control Mode	Transfer Lag	Dead Time	Capacitance	Reaction Rate	Load Change	Self Regulation
On/Off	Min	Min	High	Slow	Any	_
Floating	Small	Min	Low	High	Slow	Must have
Proportional	Small	Small	Moderate	Slow	Small	-
Proportional+ Integral	Moderate	Moderate	Moderate	Any	Any	-
Proportional+ Integral+ derivative	Any	Any	Any	Any	Any	-

با توجه به مطالب فوق ، نیاز به کنترل کننده ی PI مسجل می شود . امکان استفاده از کنترل کننده مشتق گیر در سیستم فوق نیاز به بررسی بیشتری درباره ی مشخصات فرآیند دارد . حال ، فرض کنید پاسخ زمانی سیستم به صورت(شکل ۲۱) باشد .

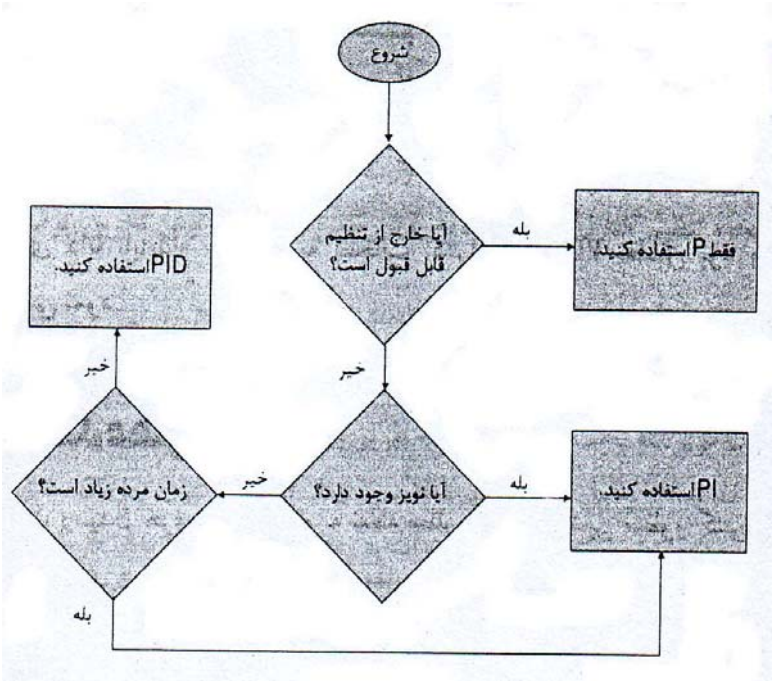


(شکل ۲۱)

در صورتی که از نقطه ای که بیشترین شیب را در روی منحنی پاسخ دارد ، خط مماسی به این منحنی رسم کنیم و محل برخورد این مماس با محور زمان را T و فاصله ی زمانی نقطه شیب حداکثر و نقطه T را τ بنامیم ، آنگاه اگر $\tau > T$ باشد ، وجود مشتق گیر در طرح کنترل کننده در اصلاح پاسخ ، مؤثر خواهد بود . معمولاً اگر $\frac{\tau}{T} > 10$ باشد ، از کنترل کننده نوع P و اگر $۱۰ > \frac{\tau}{T} > ۵$ باشد (که معمولاً درصد بالایی از فرآیندها این چنین اند) از کنترل کننده ی PI و اگر $۵ > \frac{\tau}{T} > ۲$ باشد ، از کنترل کننده ی PID استفاده می شود . اگر $۲ > \frac{\tau}{T} > ۱$ باشد ، استفاده از کنترل کننده ی پیش تغذیه یا متوالی و در صورتی که $۱ > \frac{\tau}{T}$ باشد ، استفاده از کنترل کننده ی دیجیتالی توصیه می شود .

حال با توجه به شکل پاسخ زمانی سیستم مبدل حرارتی (شکل۲۱) در صورتی که منظور استفاده از کنترل کننده ی کلاسیک باشد ، استفاده از کنترل کننده ی PID برای این سیستم توصیه می شود .

فلوچارت تعیین نوع کنترل کننده مطابق(شکل ۲۲) است .



(شکل ۲۲)

در ادامه ، با موارد انتخاب کنترل کننده ها آشنا می شویم :

موارد انتخاب کنترل کننده ی دو وضعیتی

اگر در کنترل فرآیندی ، وجود خطای همیشگی در یک باند اشکالی نداشته باشد ، می توانیم از کنترل کننده های دو وضعیتی استفاده کنیم .

کنترل کننده دو وضعیتی ، یک کنترل کننده ی غیر خطی است و تحت شرایطی می تواند موجب بروز نوعی ناپایداری به نام سیکل حدی (Limit-Cycle) در حلقه کنترل شود . با وجود این در اکثر فرآیندهای صنعتی می توان بدون نگرانی از آن استفاده نمود

موارد انتخاب کنترل کننده تناسبی

عیب عمده کنترل کننده های تناسبی ، وجود انحراف از تنظیم (آفست) در پاسخ ماندگار آنهاست و به همین دلیل معمولاً از آنها به تنهایی استفاده نمی شود . در موارد نادری که مقدار مطلوب ثابت است و فرآیند تحت اغتشاشهای شدید و مداوم نیست یا مقدار و محل ورود اغتشاشهای آن مشخص است می توان از کنترل کننده تناسبی بایاس دار استفاده نمود . با وجود این استفاده انفرادی از این کنترل کننده به ندرت مشاهده شده است . اساساً استفاده از کنترل کننده های تناسبی در فرآیندهایی با درجه بالاتر از یک ، معمول نیست .

موارد انتخاب کنترل کننده های PI ، PD و PID

در جایی که اصطلاحاً خطای ماندگار در اولویت است باید از کنترل کننده ی PI استفاده کرد . با وجود این ، کنترل کننده ی PI به دلیل ایجاد تأخیر فاز به ناپایداری سیستم کمک می کند . در جایی که به افزایش سرعت پاسخ سیستم علاقه مند باشیم و عکس العمل سریع سیستم مهمتر از رفتارهای دیگر آن باشد ، از کنترل کننده ی PD استفاده می

کنیم . در حالی که هم سرعت پاسخ دهی و هم اصلاح خطای ماندگار مورد نظر باشد باید از کنترل کننده ی PID استفاده شود .

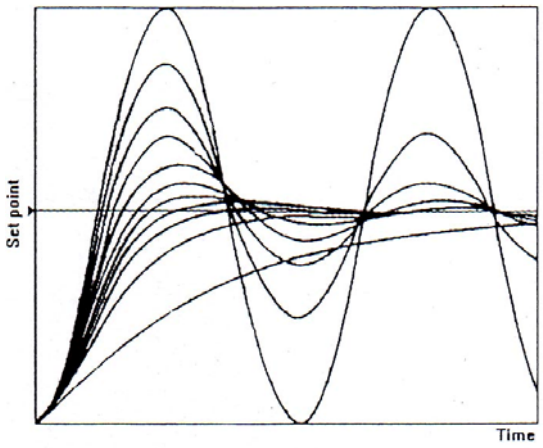
در مورد فرآیندهای ذاتاً ناپایدار می توان به انتخاب کنترل کننده ی PD مطمئن بود و در مورد انتخاب کنترل کننده ی PID بررسی نمود .

تنظیم کنترل کننده های PID

هدف کنترل کننده ها ، رسیدن خروجی دستگاه به نقطه مطلوب است . بدین منظور کنترل کننده مقدار واقعی خروجی دستگاه را با ورودی مرجع (مقدار مطلوب) مقایسه ، انحراف از آن را تعیین و یک سیگنال کنترل را برای رساندن انحراف به صفر یا مقدار کوچک ایجاد می کند .

در یک کنترل کننده ، تعقیب نقطه مطلوب باید به گونه ای باشد که حالت گذرا و ماندگار مورد نظر برآورده شود . این امر ، بستگی به چگونگی تنظیم پارامترهای کنترل کننده دارد . اگر تنظیم به درستی انجام شده باشد ، خروجی دستگاه با سرعت مناسب و خطای ماندگار صفر یا ناچیز به نقطه مطلوب می رسد ؛ ولی اگر تنظیم به درستی صورت نگرفته باشد مشکلاتی نظیر فراجهش بیش از حد ، خطای حالت ماندگار ، کندی سیستم یا نوسانی شدن آن وجود خواهد داشت .

در شکل ۲۳ ، تأثیر مقادیر مختلف پارامترهای یک کنترل کننده ی نمونه در چگونگی تعقیب نقطه ی مطلوب نشان داده شده است .



(شکل ۲۳)

کنترل کننده	K_p	T	T_d
P	$0.5\ K_0$		
PI	$0.45\ K_0$	$0.825\ T_0$	
PID	$0.6\ K_0$	$0.5\ T_0$	$0.125\ T_0$

(جدول ۳)

معیارهای تنظیم کنترل کننده ها

تنظیم کنترل کننده ها براساس انتظاراتی که از حلقه کنترل داریم انجام می شود . این انتظارات از یک فرآیند به فرآیند دیگر تغییر می کنند ؛ به همین دلیل برای تنظیم کنترل کننده ها معیارهای مختلفی ارائه شده اند که می توان براساس نیاز و تجربه ی خود از آنها استفاده نمود.

انتخاب معیارها با توجه به اهمیتی که به نوع خطا داده می شود انجام می شود . به عنوان مثال، معیار (Integral Square Error) ISE یا انتگرال مربع خطا که به صورت رابطه ۱۱-۱۷ تعریف می شود روی خطاهای بزرگ تأکید دارد ، ضمن اینکه خطاهای مثبت و منفی به علت مجذور بودن خطا ، یکسان در نظر گرفته می شوند .

$$ISE \Rightarrow J_1 = \int_0^\infty e^2(t)dt \qquad (۱۱)$$

معیار انتگرال قدر مطلق خطا یا IAE (Integral Absolute Error) در مورد خطاهای مثبت و منفی ، تأکید یکسان دارد و به همین ترتیب در مورد خطاهای بزرگ و کوچک یکسان عمل می نماید .

$$IAE \Rightarrow J_2 = \int_0^\infty |e(t)|dt \qquad (۱۲)$$

به علت حالت گذرا ، خطا در ابتدای تغییرات بسیار است و عملکرد سیستم باید به طریقی باشد که پس از مدت کوتاهی خطا را به حداقل ممکن برساند . شاید با توجه به این مطلب ، معیارهای انتگرال زمان در مربع خطا (Integral Time

(Integral Time Absolute Error – ITAE) و انتگرال زمان در قدر مطلق خطا (Square Error – ITSE) که خطـا را

در زمانهای شروع بی اهمیت می دانند و تنها زمانی که خطا با گذشت زمان هم باقی مانده باشد روی ان تأکید می کننـد ،

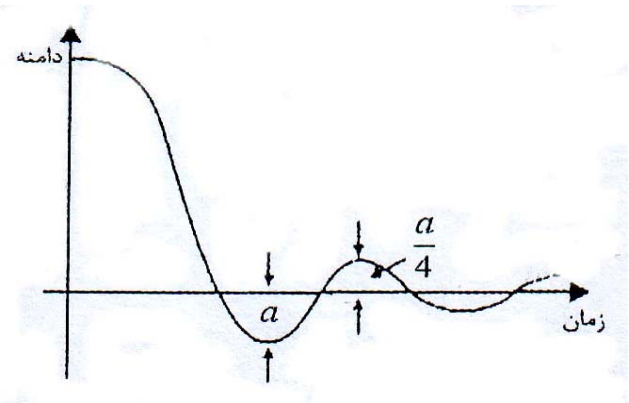
نتیجه ی منطقی تمایل به داشتن خطای کم در حالت دائمی باشد .

$$ITSE \Rightarrow J_3 = \int_0^\infty te^2(t)dt \qquad (۱۳)$$

$$ITAE \Rightarrow J_4 = \int_0^\infty t|e(t)|dt \qquad (۱۴)$$

ZN(Ziegler-Nichols) معیار دیگری است که تجربی می باشد دامنه هر جهـش را ، $\frac{1}{4}$ دامنـه ی جهـش پـیش از خـود

قرار می دهد (شکل ۲۴) .



(شکل ٢٤)

منابع:

۱-کنترل صنعتی..... .....تالیف حجت سبزپوشان
۲-ابزار دقیق وکنترل فرآیند.....تالیف محسن تقوی
۳-راهنمای جامع PLC.....تالیف سعید غریبی
۳-جزوه آموزشیLOGO..... احمد طهماسبی

DIGITAL PRESSURE GAUGE
OMEGA
1000
ZERO
ON/OFF
1206
32.000