کنترل صنعتی

Prepared by: Dr. Rajabi

فصل اوّل

کنترل چیست ؟

۱-۱ تعاریف اولیه

در زندگی روزمره ، واژه کنترل بسیار بکار برده می شود. اصطلاحاتی نظیر کنترل رشد جمعیت، کنترل قیمت ها ، کنترل ترافیک کنترل رفتارها و برخوردهای اجتماعی ، کنترل اتومبیل ، کنترل حرارت چراغ خوراک پزی ، کنترل ورود و خروج افراد به محل کار و ... در گفتگوهای روزمره بسیار شنیده می شوند. معمولاً کلمه کنترل وقتی بکار برده می شود که نوعی مهار کردن و تسلط بر یک پدیده مورد نظر باشد. علاقه انسان به تحت اختیار در آوردن و تسلط بر پدیده ها باعث پیدایش شاخه جدیدی از دانش ها به نام علم کنترل گردیده است علمی که امروزه حوزه نفوذ خود را به شاخه های دیگر علوم از صنعت و تکنولوژی گرفته تا اقتصاد و سیاست و علوم پزشکی ... گسترش داده است. از آنجائیکه هدف این آموزش بیان اصول و معرفی اجزائی است که در کنترل فرآیندهای صنعتی بکار برده می شوند. لذا بهتر است در ابتدای کار به تعریف پاره ای از مفاهیم و اصطلاحاتی که زیاد بکار خواهیم برد بپردازیم :

علم کنترل : علمی است که در مورد چگونگی تحت اختیار درآوردن و هدایت رفتارهای پروسه ها صحبت می کند.

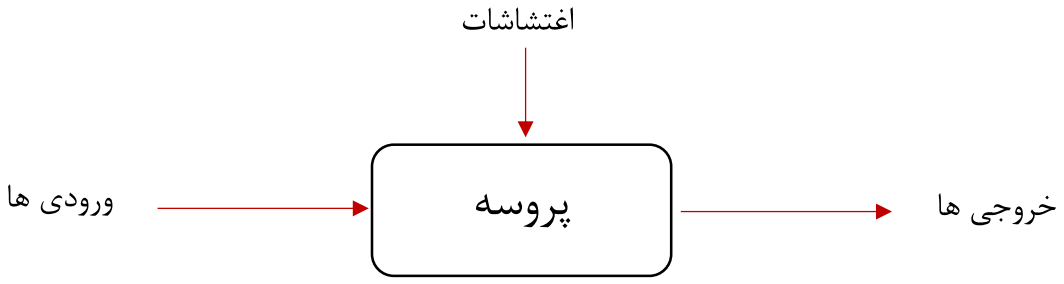
پروسه : فرآیند یا پدیده ای است که مایل به تحت اختیار درآوردن آن هستیم.

ورودی : فرمانی که برای هدایت پروسه به آن اعمال می شود را ورودی پروسه می گوئیم. بدیهی است که یک پروسه ممکن است دارای چندین ورودی باشد. ورودی را گاهی مقدار مطلوب نیز می گویند.

خروجی : رفتار یا رفتارهایی که مورد توجه ما هستند و مایل به تحت اختیار در آوردن آنها هستیم را خروجی یا خروجی های پروسه می گوییم.

اغتشاش : ورودی های مزاحم و ناخواسته ای که باعث انحراف خروجی از مقدار مطلوب می گردند و در امر کنترل اخلال ایجاد می کنند را نویز یا اغتشاش میگوئیم. اغتشاش ممکن است از طریق ورودی و یا طرق دیگر وارد پروسه گردد.

با توجه به تعاریف وضعیت یک فرآیند را در حالت کلی را مطابق با شکل (۱-۱) نمایش می دهیم :



شکل (۱-۱) - نمایش یک فرآیند در حالت کلی

اکنون هدف از کنترل فرآیند را بصورت زیر خلاصه می نمائیم.

"می خواهیم با استفاده از تدابیر و تجهیزات خاص بگونه ای عمل کنیم که علیرغم وجود ورودی های مزاحم (اغتشاشات) خروجی پروسه تنها از ورودی تبعیت کند و اثر اغتشاشات بر خروجی حتی الامکان ناچیز باشد . "

مجموعه تدابیر، قطعات و تجهیزات فوق بعنوان سیستم کنترل پروسه نام برده می شود.

سیستم : مجموعه ای از عناصر، اجزاء و قطعات که با همکاری و ارتباط با یکدیگر هدف مشترکی را دنبال می کنند.

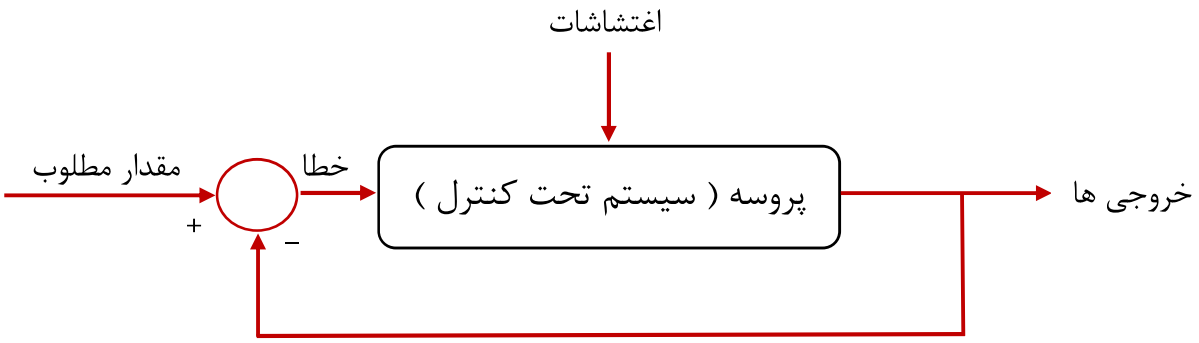
با توجه به تعریف فوق، سیستم کنترل در یک پروسه به مجموعه ای از عناصر و اجزاء اطلاق می گردد که هدف مشترک آنها مهار خروجی (خروجی های) پروسه می باشد. برای نمایش سیستم های کنترل معمولاً از نمایش جعبه ای استفاده میکنیم در نمایش جعبه ای هر جزء یا قطعه ای که دارای وظیفه مشخص وقابل تفکیک از سایر عناصر است را با یک مربع (بلاک) نمایش می دهیم و نحوه ارتباط و همکاری آن را با سایر اجزاء با خطوط جهت دار مشخص می کنیم.

۱-۲ انواع سیستم های کنترل :

سیستم های کنترل به دو دسته کلی تقسیم می شوند :

الف) سیستم های حلقه بسته (با فیدبک) :

شکل (۱-۲) بلاک دیاگرام یک سیستم کنترل حلقه بسته را نشان می دهد .



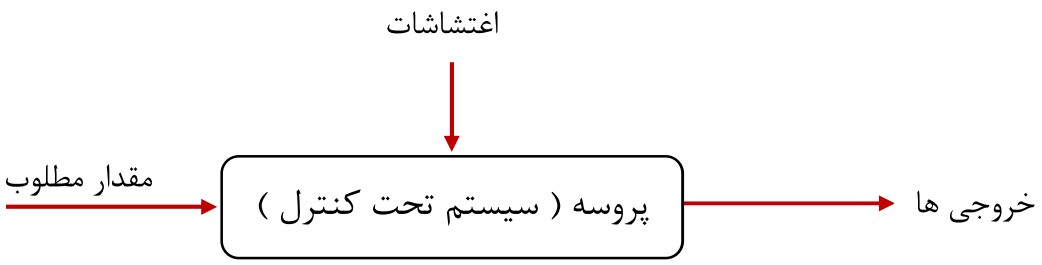
شکل (۱-۲) – سیستم کنترل حلقه بسته

در اینگونه سیستم ها یک (یا چند)مسیر برگشت از خروجی به ورودی سیستم وجود دارد. بنابراین ورودی به پروسه در هر لحظه، تحت تاثیر اختلاف خروجی با مقدار مطلوب می باشد. در سیستم های حلقه بسته حاصل مقایسه خروجی واقعی پروسه (آنچه که

هست) با مقدار مطلوب (آنچه که باید باشد) را سیگنال خطا می نامیم که تدابیر لازم برای کنترل پروسه بر اساس میزان خطا انجام می گردد.

ب، سیستم های حلقه باز (بدون فیدبک)

شکل (۱-۳) نمایش جعبه ای یک سیستم کنترل حلقه باز را نشان می دهد. در چنین سیستم هایی ورودی به فرآیند در هر لحظه از زمان بدون توجه به خروجی آن تعیین می گردد، به عبارت دیگرسیستم کنترل فاقد مسیر برگشت است.

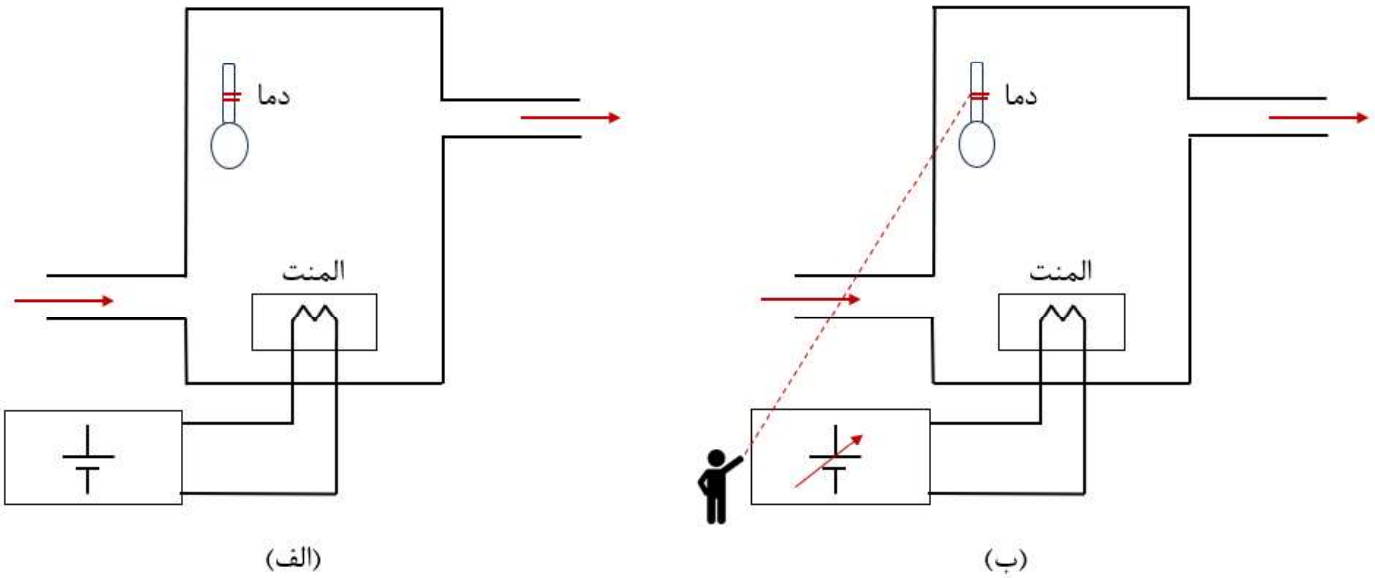


شکل (۱-۳) – سیستم کنترل حلقه باز

متلا دریک ماشین لباسشونی مراحل کارماشین بدون توجه به میزان تمیزی لباس ها(خروجی سیستم)، انجام می گردد و ماشین برنامه شستشو را بدون توجه به تمیز شدن یا تمیز نشدن لباس ها به پایان می رساند.

سیستم های حلقه باز و حلقه بسته هر یک کاربرد و اهمیت مخصوصی دارند و در پروسه های صنعتی بر حسب نیاز و ملاحظات اقتصادی مورد استفاده قرار می گیرند. اساسا سیستم های حلقه بسته گرانتر بوده و طراحی آنها پیچیده تر می باشند. در عمل بسیاری از سیستم های کنترل که ظاهرا حلقه باز به نظر می رسند، هرگاه عامل انسانی(اپراتور) را نیزدرنظر بگیریم بصورت حلقه بسته درمی آیند. در واقع حلقه تجهیزات طرح شده برای کنترل یک پروسه ممکن است از طریق اپراتور بسته شود و یا به بیان دیگر اپراتور در مسیر برگشت سیستم کنترل قرار گیرد. بعنوان مثال شکل(۱-۴ الف) را که چگونگی کنترل دمای یک آبگرمکن برقی را نشان می دهد درنظر بگیرید. فرض کنید در شرایط عادی هرگاه درجه تنظیم روی عدد ۲ باشد دمای آب روی مقدار قابل قبول باقی بماند. حال اگر در اثر مصرف غیر عادی و یا عوامل خارجی دیگر(اغتشاشات) دمای آب کم یا زیاد گردد، سیستم قادر به تنظیم مجدد حرارت نخواهد بود؛ چرا که انرژی گرمایی ورودی به سیستم از تغییرات مقدار دمای آبگرمکن (خروجی) مطلع نمی گردد و تنها از فرمان تنظیم شده قبلی تبعیت می کند. اکنون اگر مطابق شکل(۱-۴ ب) عامل انسانی را نیز وارد کنیم بگونه

ای که اپراتور به محض مشاهده کاهش یا افزایش دما، انرژی ورودی به المنت را زیاد یا کم کند، در اینصورت هر چند سیستم از نظر تجهیزات فنی فرقی با قبل نکرده است. اما اینبار بصورت یک کنترل حلقه بسته عمل می کند و به عبارت دیگر مسیر برگشت از طریق اپراتور برقرار می شود.



شکل (۱-۴) – کنترل دما به صورت حلقه باز و حلقه بسته

هنگام تجزیه و تحلیل یک سیستم هر چند حلقه باز باشد. در صورتیکه حلقه فیدبک توسط عامل انسانی بسته شود، بایستی آن را یک سیستم حلقه بسته دانسته و مسائل پایداری و سایر نکات لازم را در مورد آن مورد توجه قرار داد.

درعمل ودرکنترل کاربردی برای روشن کردن نقش عامل انسانی، سیستم های کنترل را به دو دسته خودکار(اتوماتیک) و غیر خودکار (دستی) تقسیم بندی می کنند.

کنترل خودکار (اتوماتیک) :

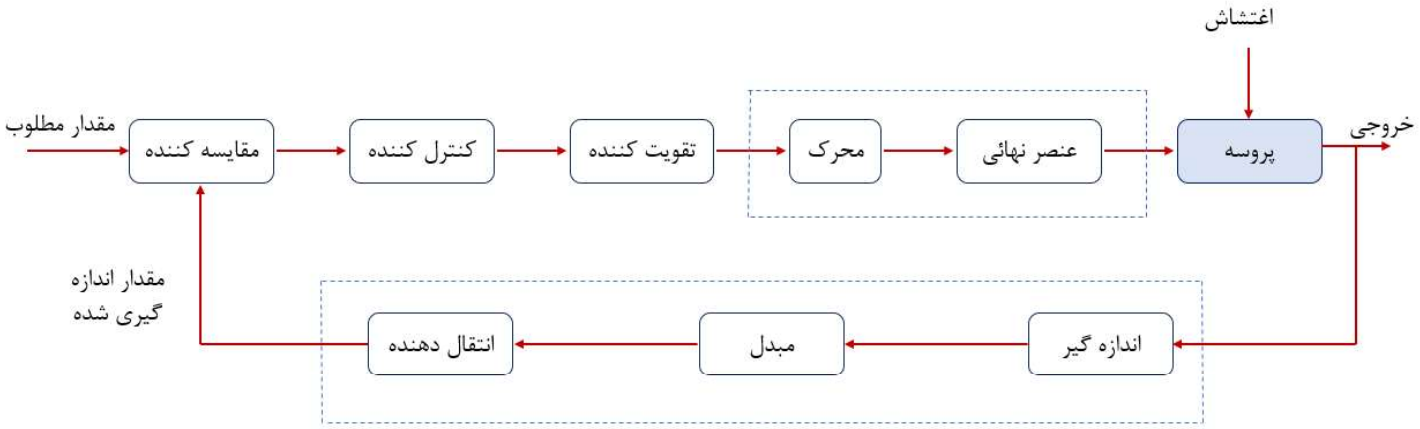
یک سیتم کنترل(معمولا حلقه بسته)که بدون دخالت عامل انسانی و خود بخود قادر به تنظیم خروجی باشد را سیستم کنترل خودکار(اتوماتیک) می نامیم.

کنترل غیرخودکار (دستی) :

یک سیستم کنترل که فقط با دخالت عامل انسانی قادر به تنظیم خروجی باشد را سیستم کنترل غیر خودکار (دستی) گوئیم.

۱-۳ سیستم های کنترل صنعتی

در دهه های اخیر بدنبال رشد و توسعه روز افزون صنعت، سیستم های کنترل صنعتی نیز رشد و توسعه فراوانی یافته اند و رقابت شدید بین تولید کنندگان برای تولید محصول بیشتر و مرغوب تر و لزوم بکارگیری تجهیزات پیشرفته و جدید را الزامی ساخته است و این امر به نوبه خود به تنوع و پیچیدگی سیستم های کنترل صنعتی منجر گردیده است. از آنجائیکه هدف این آموزش آشنائی مهندسین با اصول و اجزاء کنترل صنعتی بصورتی فراگیر و عام می باشد، لذا لازم است در ابتدای امر مدلی فراگیر و کلی برای اینگونه سیستم ها ارائه نمائیم. به علاوه چون در قسمت های قبل با مفاهیم ابتدائی و پایه لازم آشنا شده ایم اکنون آمادگی کافی جهت درک این مدل را داریم ارائه چنین مدلی با توجه به تنوع سیستم های کنترل صنعتی کمک بزرگی به شناخت هر سیستم دلخواه خواهد نمود. نمایش جعبه ای یا بلاک دیاگرام یک سیستم کنترل صنعتی در حالت کلی مطابق شکل (۱-۵) تعریف و تشریح هر یک از قسمت های آن می پردازیم :



شکل (۱-۵) – نمایش یک حلقه کنترل صنعتی در حالت کلی

فرآیند (Process) :

پدیده یا فرآیندی است که هدف کنترل آن می باشد. همانطور که قبلا اشاره شد پروسه های صنعتی بسیار متنوع می باشند با این وجود در فصل بعد خواهیم دید که رفتارهای آن ها از دیدگاه کنترل بسیارشبیه به یکدیگر می باشند.

اندازه گیر، مبدل، انتقال دهنده :

اندازه گیری خروجی پروسه توسط قسمت اندازه گیر انجام می شود و کمیت اندازه گیری شده معمولاً تبدیل به کمیتی دیگر می گردد و عمل تبدیل در قسمت مبدل انجام می شود.

مقایسه کننده معمولاً در فاصله ای دورتر از پروسه قرار دارد. بنابراین کمیت تبدیل شده می بایستی بگونه ای مطمئن به طرف مقایسه کننده منتقل شود این کار توسط واحد انتقال دهنده انجام می پذیرد. گاهی کار اندازه گیری تبدیل و انتقال تماماً توسط یک جزء انجام می پذیرد به همین دلیل این قسمت را داخل یک بلاک نقطه چین قرارداده ایم. به عنوان مثال یک ترموکوپل دما را اندازه گیری و به یک کمیت الکتریکی تبدیل می کند، بنابراین ترموکوپل یک اندازه گیر و در عین حال یک مبدل می باشد.

مقایسه کننده (Comparator) :

خروجی اندازه گیری شده پروسه می بایستی با مقدار مطلوب مقایسه گردد تا در صورت وجود خطا، تدابیر لازم بکار گرفته شوند کار مقایسه در قسمت مقایسه کننده انجام می پذیرد گاهی اوقات در صورتی که کمیت های مقایسه شونده از نظر جنس متفاوت باشند کار تبدیل یکی یا هر دوی آنها در قسمت مقایسه کننده انجام می شود.

کنترل کننده (Controller) :

کنترل کننده ها یکی از قسمت های مهم و حساس سیستم های کنترل صنعتی می باشند و طرح و تنظیم آنها از اهمیت و حساست ویژه ای برخوردار است. مهندسین طراح سیستم های کنترل صنعتی معمولا با پروسه هایی از پیش ساخته شده و تحمیلی روبرو هستند و بعلاوه استفاده از بعضی اجزاء و قطعات مانند اندازه گیرها و عناصر نهایی با مشخصاتی معین بر آنها تحمیل می گردد. بنابر این آخرین قسمتی که مهندسی طراح می تواند خواسته های را از طریق آن اعمال نموده و رفتار پروسه را بگونه ای مطلوب تحت اختیار درآورد، قسمت کنترل کننده می باشد. کنترل کننده سیگنال خطا را دریافت نموده و با توجه به تنظیمات انجام شده قبلی، فرمانی صادر می کند و این فرمان توسط قسمت های بعدی اجراء می شود.

تقویت کننده (Amplifier) :

فرمان ارسالی از کنترل کننده آنقدر قوی نیست که بتواند واحد محرک را به حرکت درآورد، بنابراین می باید قبلاً تقویت گردد کار تقویت فرمانهای کنترلی در قسمت تقویت کننده انجام می پذیرد.

محرک (Actuator) :

محرک عنصر نهائی را به حرکت وادار می کند مانند حرکت موتور در پروسه های صنعتی جهت باز و بسته کردن شیرهای بخار.

عنصر نهائی (Final - element) :

عنصر نهائی همانطور که از نامش پیداست آخرین قسمت سیستم کنترل می باشد و ورودی از طریق آن به پروسه اعمال می شود. معروفترین عناصر نهائی در کنترل صنعتی شیرها می باشند. به عنوان مثال در فرایند صنعتی کنترل دیگ آب گرم توسط شیر بخار، باز و بسته شدن شیر بخار انرژی حرارتی را که به پروسه وارد می شود راکنترل می کند. توجه نمائید آنچه که بعد از باز و بسته شدن شیر اتفاق می افتد مربوط به پروسه است. با توجه به توضیحات فوق اکنون می توان گفت که تجهیزات یک حلقه کنترل صنعتی با عنصر اندازه گیر آغاز و به عنصر نهایی ختم می شوند. بلوک دیاگرام ارائه شده در شکل (۱-۵) نمایشی کلی و پایه از سیستم های کنترل صنعتی است و بعنوان یک الگوی متداول در طراحی، عیب یابی، تعمیر و شناخت سیستم های کنترل صنعتی بکار می رود .

.

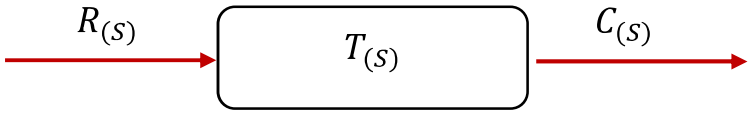
فصل دوم

فرآیند ها:

۴-۱ فرآیند های صنعتی :

در فصل قبل دیدی کلی در مورد کنترل و کنترل صنعتی بدست آوردیم و دریافتیم که کنترل یعنی تحت اختیار در آوردن پدیده ها و فرآیند ها و مراد از کنترل صنعتی ، تحت اختیار در آوردن فرآیندهای صنعتی به عنوان پدیده مورد نظر می باشد همچنین حلقه کنترل یک فرآیند صنعتی را مطابق شکل (۱- ۵) بیان نمودیم. اولین قدم در طراحی و ساخت یک حلقه کنترل شناخت فرآیند مورد نظر می باشد ، در واقع برای کنترل و مهار یک پدیده قبل از هر چیز می بایست آن پدیده را شناخت و با رفتارهای آن آشنا شد. رفتار یک فرآیند با تابع تبدیل آن کاملا مشخص می گردد. **تابع تبدیل یک پروسه نسبت خروجی به ورودی پروسه در حوزه لاپلاس می باشد** در شکل (۲-۱) مفهوم تابع تبدیل یک فرآیند نمایش داده شده است. در اینجا $R_{(S)}$ و $C_{(S)}$ به ترتیب ورودی و خروجی فرآیند در حوزه لاپلاس می باشند و $T_{(S)}$ نیز تابع تبدیل فرآیند است .

$$T_{(S)} = \frac{C_{(S)}}{R_{(S)}}$$

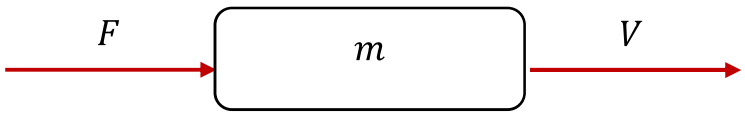


شکل (۲-۱) – نمایش مفهوم تابع تبدیل

به عنوان مثال هرگاه مطابق شکل (۲-۲)، هدف کنترل سرعت یک جرم (پروسه) توسط نیروئی که به آن اعمال می گردد باشد. رابطه بین ورودی (نیرو) و خروجی (سرعت) به صورت زیر بدست می آید :

$$\frac{V}{F} = \frac{1}{ms}$$

$$T_{(S)} = \frac{1}{ms}$$

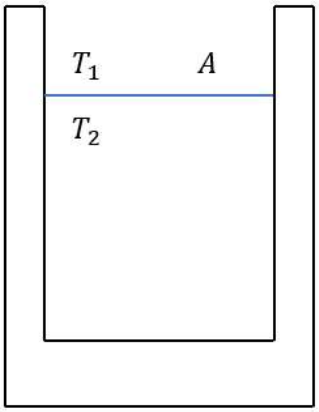


شکل (۲-۱) – رابطه نیرو – سرعت در جرم

در این بخش به معرفی چندین پروسه متداول و معمول در صنعت میپردازیم و توابع تبدیل آنها را با تقریب قابل قبول ، به گونه ای که پاسخگوی نیازهای طراحی در کنترل صنعتی باشند به دست خواهیم آورد.

۲-۱-۱ فرآیند های حرارتی

پروسه های حرارتی اصطلاحا به فرآیند هایی اطلاق می گردند که در آنها انرژی حرارتی از یک محیط به محیط دیگر منتقل می شود مانند کوره ها، خشک کن ها، دیگ های آبگرم و بخار، سردخانه ها و ... مدل کلی که برای اینگونه پروسه ها میتوان ارائه داد مطابق شکل (۲-۳) می باشد.



شکل (۲-۳) – فرآیند حرارتی در حالت کلی

در این مدل T_1 دمای محیط گرما دهنده و T_2 دمای محیط گرما گیرنده است و تبادل حرارتی فقط از طریق سطح A انجام می شود. بدیهی است که جریان حرارتی از محیط گرم به محیط سرد متناسب با اختلاف دمای دو محیط است و به ازای یک اختلاف دمای ثابت ، هر چه سطح تماس و ضریب انتقال حرارت از مرز بزرگتر باشند جریان حرارتی شدیدتر خواهد بود یعنی :

رابطه (۲-۱)

$$Q = h.A.(T_1 - T_2)$$

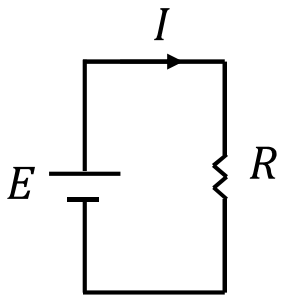
Q : اندازه جریان حرارت A : سطح انتقال h : ضریب انتقال حرارت

T_1 : دمای محیط گرم T_2 : دمای محیط سرد

رابطه (۲-۱) را به صورت زیر نیز می توان نوشت :

$$Q = \frac{1}{R_T}(T_1 - T_2)$$ رابطه (۲-۲)

در رابطه (۲-۲) R_T را مقاومت حرارتی معادل می گوییم. توجه کنید که R_T مشابه مقاومت الکتریکی است و در واقع رابطه (۲-۲) را می توان بصورت یک مدار الکتریکی مطابق شکل (۲-۴) نمایش داد.



شکل (۲-۴)

$$E \equiv (T_1 - T_2)$$
$$R \equiv R_T \quad \Longrightarrow \quad I = \frac{1}{R} E$$
$$I \equiv Q$$

جریان حرارتی به جسم سرد موجب افزایش دمای آن می گردد و بدیهی است هر چه جرم جسم سرد و یا گرمای ویژه آن بیشتر باشند، تغیر درجه حرارت آن نسبت به زمان، در اثر یک جریان حرارتی ثابت کمتر خواهد بود و یا به عبارت دیگر :

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{1}{MC} . Q \quad \Longrightarrow \quad Q = \frac{dT_2}{dt} . MC$$ رابطه (۲-۴)

رابطه (۲-۳)

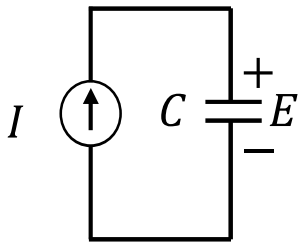
M : جرم محیط سرد C : گرمای ویژه محیط سرد

رابطه (۲-۴) را در حوزه لاپلاس می توان به صورت زیر نوشت :

$$Q = M.C.S.T_2 \xrightarrow{C_T = MC} Q_S = C_T . S.T_2$$ رابطه (۲-۵)

C_T : ظرفیت گرمایی محیط سرد

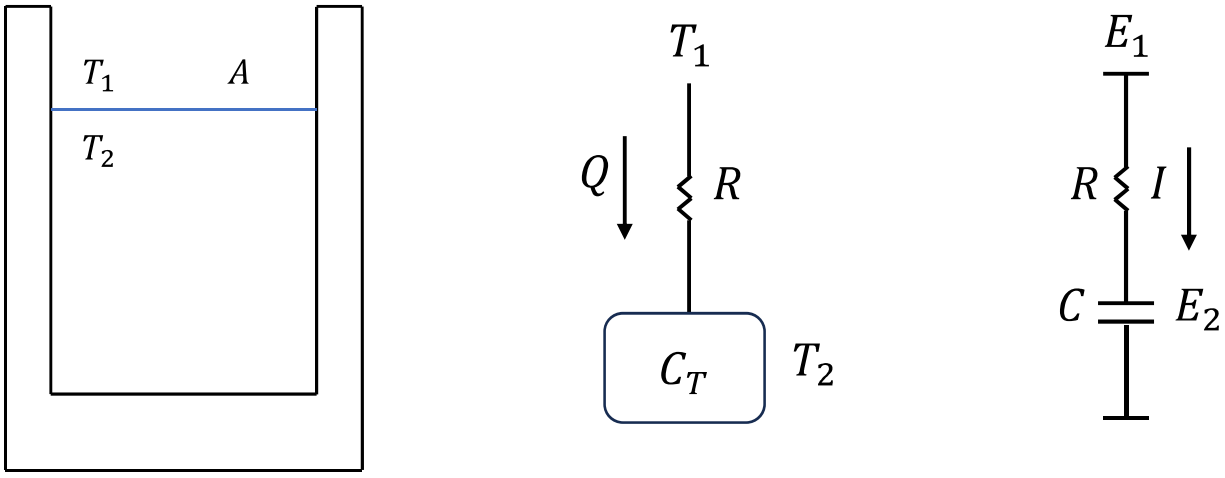
رابطه (۲-۵) شبیه به رابطه ای است که بین جریان و ولتاژ یک خازن وجود دارد مطابق شکل (۲-۵) همانطور که جریان جاری شده به داخل یک خازن موجب شارژ آن و افزایش پتانسیل دو سر خازن می گردد جریان حرارتی به داخل محیط سرد نیز موجب شارژ انرژی حرارتی به داخل محیط و افزایش دمای آن می شود.



شکل (۲-۵)

$$I = C.\frac{dE}{dt} \quad \Longrightarrow \quad I_{(S)} = C . SE_{(S)}$$
$$I \equiv Q$$
$$E \equiv T$$
$$C \equiv C_T$$

در واقع با در نظر گرفتن شکل های (۲-۴) و (۲-۵) می توان مدار الکتریکی معادل یک فرآیند حرارتی را مطابق با شکل (۲-۶) در نظر گرفت :



شکل (۲-۶) – مدارالکتریکی معادل فرآیند حرارتی

ولتاژ	$T = E$	دما
مقاومت الکتریکی	$R_T \equiv R$	مقاومت حرارتی
ظرفیت الکتریکی	$C_T \equiv C$	ظرفیت گرمایی
جریان الکتریکی	$Q \equiv I$	جریان حرارتی

اکنون اگر دمای محیط سرد (T_2) را به عنوان کمیت خروجی و دمای محیط گرم (T_1) را به عنوان ورودی در نظر بگیریم، با مساوی قراردادن روابط (۲-۲) و (۲-۵) داریم :

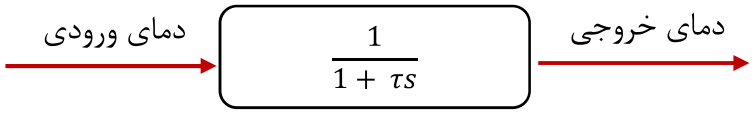
$$Q_S = \frac{(T_1 - T_2)}{R_T} = C_T \ .S.T_2$$

$$T_2 = \frac{1}{1+R_T C_T \ .S} \times T_1$$ رابطه (۲-۶)

رابطه (۲-۶) فرم کلی تابع تبدیل فرآیندهای انتقال حرارت می باشد.

عبارت $R_T\ C_T$ را ثابت زمانی حرارتی گویند پس به طور کلی یک پروسه حرارتی را می توان بصورت شکل (۲-۷) نمایش داد.

$$\tau = R_T\ C_T$$



شکل (۲-۷) – تابع تبدیل یک فرآیند حرارتی در حالت کلی

همانطور که ملاحظه می فرمائید یک پروسه حرارتی را با تقریب قابل قبول می توان بصورت یک پروسه درجه یک در نظر گرفت در عمل پروسه های حرارتی برحسب نوع و پیچیدگی آنها ممکن است دارای چندین ثابت زمانی مختلف باشند.

۲-۱-۲ فرآیندهای انتقال سیال :

یکی از انواع پروسه هایی که در صنعت زیاد با آنها روبرو هستیم فرآیندهای انتقال سیال می باشند. در این پروسه ها سیالات (آب، مواد نفتی محلول های شیمیائی، انواع گازها و .....) از یک محیط به محیط دیگر منتقل می شوند در این پروسه ها معمولاً هدف کنترل جریان (دبی) و یا کنترل ارتفاع و یا فشار سیال در یک مخزن می باشد. پروسه های انتقال سیال را معمولاً به دو دسته تقسیم بندی می کنند :

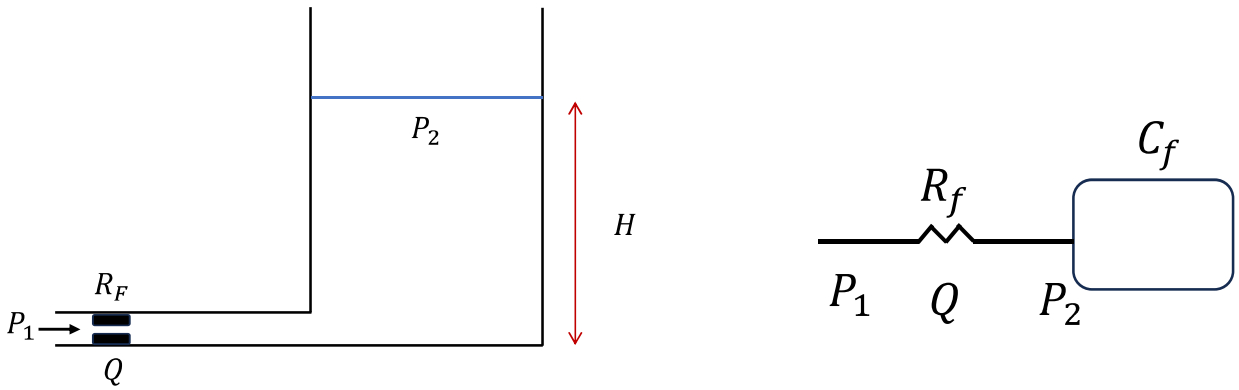
۱) پروسه های انتقال سیال تراکم ناپذیر

۲) پروسه های انتقال سیال تراکم پذیر

۲-۱-۲-۱ فرآیندهای انتقال سیال تراکم ناپذیر :

در اینجا جهت سهولت مایعاتی نظیر آب، محلول های شیمیائی، مایعات نفتی و ... را سیالات تراکم ناپذیر و گازها مانند هوا، گازهای سوختی و ... را به عنوان سیالات تراکم پذیر در نظر می گیریم.

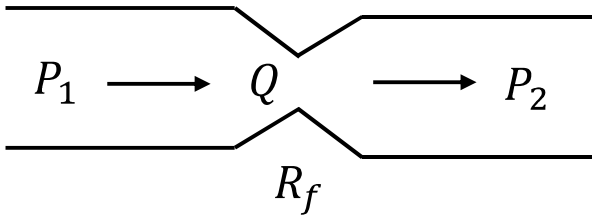
مدل کلی یک پروسه انتقال سیال تراکم ناپذیر مطابق شکل (۲-۸) می باشد. در این مدل سیال توسط فشار P_1 به داخل مخزن شارژ می گردد .پروسه های انتقال سیال تراکم ناپذیر را معمولا بر اساس دبی حجمی (مقدار جریان حجم در واحد زمان) مورد بررسی قرار می دهند در این مدل R_F مقاومت معادل کل مسیر در برابر عبور سیال می باشد .



شکل (۲-۸) – فرآیند انتقال سیال تراکم ناپذیر

در شکل (۲-۹) دبی عبوری سیال از مقاومت R_f متناسب با اختلاف فشار دو طرف مقاومت می باشد.

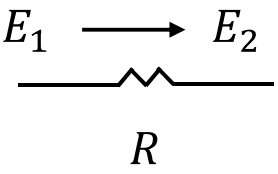
$$Q = \frac{(P_1 - P_2)}{R_f}$$



شکل (۲-۹) – بیان رابطه دبی با فشار

این اتفاق شبیه به عبور جریان الکتریکی از یک مقاومت الکتریکی است. مطابق شکل (۲-۱۰).

$$I = \frac{(E_1 - E_2)}{R}$$



شکل (۲-۱۰) – بیان رابطه جریان با ولتاژ در مقاومت الکتریکی

اندازه جریان الکتریکی متناسب با اختلاف پتانسیل بین دو سر مقاومت است و همچنین نسبت عکس با مقاومت الکتریکی دارد.
با این توضیحات اکنون با توجه به شکل(۲-۹) می توان نوشت :

$$Q = \frac{1}{R_f}(P_1 - P_2)$$ رابطه (۲-۷)

حجم وارد شده به داخل مخزن موجب افزایش ارتفاع سیال می گردد اگر سطح مقطع مخزن A باشد و دبی وارد شده را برای مدت زمان کوچک dt ثابت در نظر بگیریم و تغییر ارتفاع را در این مدت dH خواهیم داشت :

$$dH = \frac{1}{A} Q dt$$ رابطه (۲-۸)

$$Q = A \frac{dH}{dt}$$ رابطه (۲-۹)

$$P_2 = \rho H$$ رابطه (۲-۱۰)

در رابطه (۲-۱۰) ρ وزن مخصوص سیال می باشد. با جایگذاری (۲-۱۰) در (۲-۹) به دست می آید :

$$Q = \frac{A}{\rho} \ \frac{dP_2}{dt}$$ رابطه (۲-۱۱)

$$Q = C_f \ \frac{dP_2}{dt}$$ رابطه (۲-۱۲)

$$C_f = \frac{A}{\rho}$$

C_f را ظرفیت معادل پروسه گوئیم. اکنون با مساوی قرار دادن (۲-۷) با (۲-۱۲) بدست می آوریم :

$$Q = \frac{(P_1 - P_2)}{R_f} = C_f . S . P_2$$

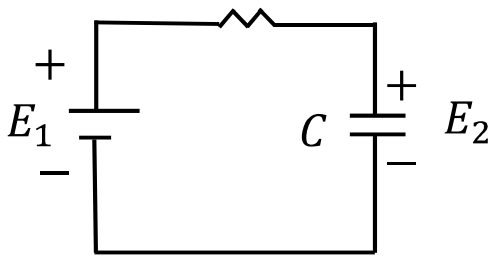
$$P_2 = \frac{1}{1 + (R_f C_f) S} \ P_1$$ رابطه (۲-۱۳)

همچنین با استفاده از رابطه (۲-۱۰) در رابطه (۲-۱۳) میتوان نوشت :

$$H = \frac{1/\rho}{1 + (R_f C_f) S} \ P_1$$

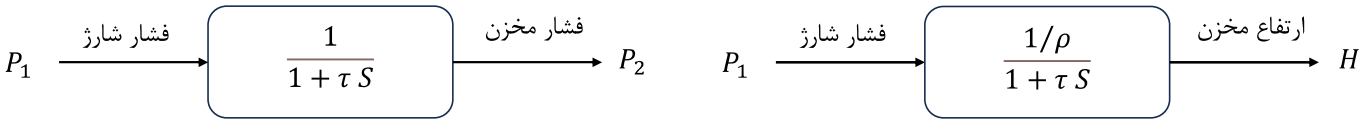
روابط (۲-۱۳) و (۲-۱۴) تابع تبدیل یک پروسه انتقال سیال را بیان می دارند. عبارت $R_f C_f$ را ثابت زمانی انتقال می نامند و با τ نشان می دهند.

مدل الکتریکی یک پروسه انتقال سیال تراکم ناپذیر در شکل (۲-۱۱) آمده است:



شکل (۲-۱۱) – مدار معادل الکتریکی فرآیند انتقال سیال

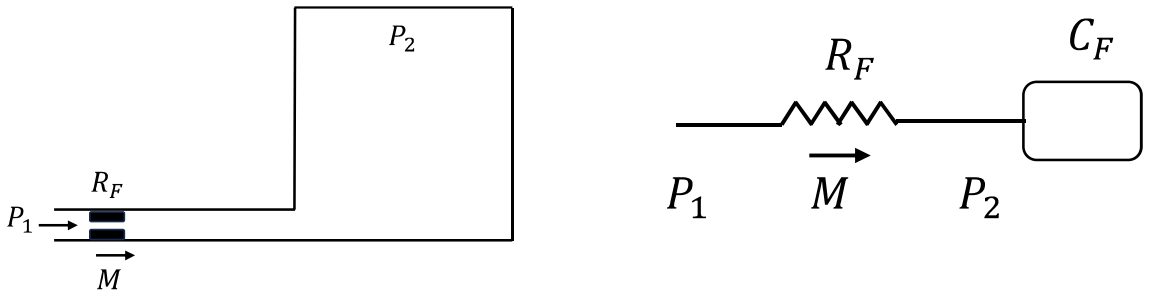
پس بطور خلاصه یک پروسه انتقال سیال تراکم ناپذیر را بر حسب آنکه خروجی مورد نظر ارتفاع سیال داخل مخزن یا فشار آن باشد، می توان مطابق شکل (۲-۱۲) نمایش داد.



شکل (۲-۱۲) – تابع تبدیل فرآیند انتقال سیال تراکم ناپذیر

۲-۱-۲-۲ فرآیندهای انتقال سیال تراکم پذیر :

در بسیاری از پروسه های صنعتی یک سیال تراکم پذیر مثل (هوا یا گاز) از محلی به محل دیگر منتقل می گردد در چنین پروسه هائی معمولاً هدف، پر کردن یک مخزن مسدود، با سیال مورد نظر می باشد. مانند شارژ هوا در یک مخزن هوای فشرده و یا شارژ محفظه فعل و انفعال شیمیائی با یک گاز بی اثر. مدل کلی چنین پروسه هائی مطابق شکل (۲-۱۳) می باشد :



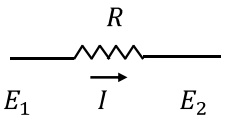
شکل (۲-۱۳) – فرآیند انتقال سیال تراکم پذیر

در بررسی پروسه های انتقال سیال تراکم پذیر، معمولاً دبی جرمی (جریان جرم در واحد زمان) را در نظر می گیریم در این مدل R_F ، مقاومت معادل کلی است که در مسیر شارژ مخزن وجود دارد، بدیهی است که شار جریان جرم به داخل مخزن با اختلاف فشار P_1 و P_2 نسبت مستقیم و با مقاومت R_F نسبت عکس دارد یعنی :

$$M = \frac{1}{R_F}\ (P_1 - P_2)$$

درست شبیه به جریان الکتریکی که از یک مقاومت الکتریکی می گذرد.

$$I = \frac{1}{R}\ (E_1 - E_2)$$



قانون عمومی گازها (سیال تراکم پذیر) رابطه بین حجم (V) جرم (m) فشار (P) و دمای (T) یک سال را بصورت زیر تعریف می کند :

$$PV = M.RT$$

در رابطه فوق R ثابت گاز است.

فرآیند ورود سیال به داخل مخزن را یک فرآیند دما ثابت در نظر می گیریم، بنابراین با مشتق گیری از دو طرفه رابطه خواهیم داشت :

$$V\frac{dp}{dt} = RT.\frac{dM}{dT}$$

$$\frac{dM}{dT} = \frac{V}{RT}.\frac{dp}{dt}$$

$$\frac{dM}{dT} = C_f.\frac{dp}{dt} \qquad C_f = \frac{V}{RT}$$

C_f را ظرفیت معادل پروسه می گوییم.

با توجه به تعریف دبی جرمی خواهیم داشت :

$$dM = M.dT$$

$$M = \frac{dm}{dt}$$

$$M = C_f.\frac{dp}{dt}$$

و یا در حوزه لاپلاس :

$$M(S) = C_f.S.P(S)$$

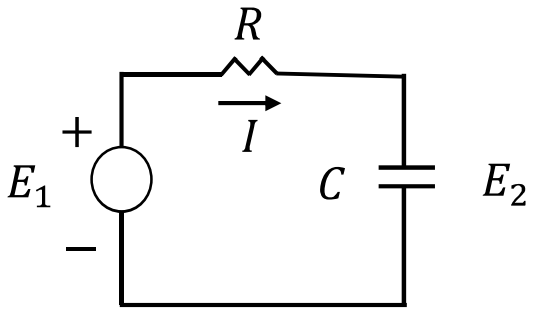
$$M(S) = \frac{1}{R_f}\,(P_1(S) - P_2(S))$$

$$P_2(S) = \frac{1}{1 + R_f C_f S}\,P_1(S)$$

$$P_2(S) = \frac{1}{1 + \tau\, S}\,P_1(S)$$

عبارت $R_f C_f$ را ثابت زمانی معادل پروسه می گوییم و با τ نشان می دهیم.

عبارت فوق نشان می دهد که پروسه شارژ یک مخزن با سیال تراکم پذیر یک پروسه درجه یک است و مدار الکتریکی معادل آن را می توان مطابق شکل (۲-۱۴) نمایش داد.



شکل (۲-۱۴) – مدار معادل الکتریکی فرآیند انتقال سیال تراکم پذیر

۲-۱-۲-۳ فرآیندهای مکانیکی :

پروسه های مکانیکی معمولاً از عناصری نظیر ،جرم فنر و دمپر (ویسکوز) ساخته شده اند و در این پروسه ها با کمیت هائی نظیر نیرو (گشتاور)، سرعت و جابجائی سر و کار داریم. بعنوان مثال آنتن بشقابی یک پروسه مکانیکی است که با استفاده از نیروی موتور وضعیت آن در جهت دلخواه تنظیم می شود.

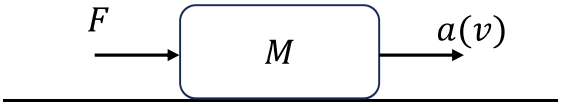
جهت آشنائی با پروسه های مکانیکی ابتدا سه عنصر مکانیکی متداول را معرفی می کنیم.

جرم : جرم یک عنصر ذخیره کننده انرژی است و هرگاه بر آن نیرو وارد شود شتاب خواهد گرفت.

$$F = M.a$$

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$F = M.\frac{dv}{dt}$$



اگر رابطه را در حوزه لاپلاس بنویسیم :

$$F = M.S.V$$

$$V = \frac{1}{ms}\ F$$

اگررابطه فوق را بر اساس جا به جایی جرم *(X)* بنویسیم خواهیم داشت :

$$V = \frac{dx}{dt} = \frac{1}{ms}\ F$$

$$X = \frac{1}{ms^2}\ F$$

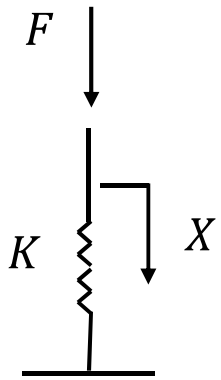
$$\frac{X}{F} = \frac{1}{ms^2}$$

بنابراین در پروسه مکانیکی شامل یک جرم ، هرگاه ورودی، نیروی اعمالی به جرم و خروجی، جابجایی جرم باشد تابع تبدیل پروسه مطابق رابطه فوق می باشد.

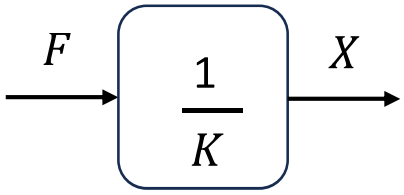
فنر:فنر نیز یک عنصر ذخیره کننده انرژی می باشد و هرگاه نیرو بر آن وارد شود کشیده و یا فشرده می شود که اندازه جابجایی آن طبق رابطه زیر بدست می آید:

$$F = K.X$$

$$X = \frac{1}{K}\ F$$



ضریب فنریت می باشد که عبارت است از مقدار نیروی لازم برای آنکه فنر به اندازه واحد طول کشیده و یا Kدر رابطه فوق فشرده گردد. بنابراین هرگاه نیروی وارد بر یک فنر را ورودی و جابجائی آن را خروجی در نظر بگیریم آن پروسه را می توان بصورت شکل (۲-۱۵) نمایش داد.

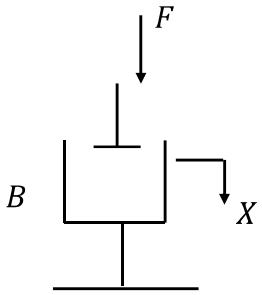


شکل (۲-۱۵) نمایش جعبه ای فرآیند مکانیکی (فنر)

دمپر (ویسکوز) : دمپر یا همان کمک فنر، یک عنصر تلف کننده انرژی است (اصطکاک)، سرعت جابجائی (V) در یک دمپر متناسب با نیروی وارد شده به آن است :

$$F = B.V$$

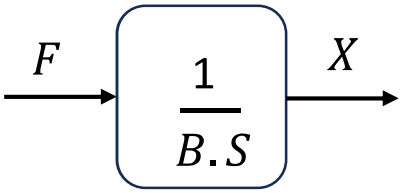
$$F = B\frac{dx}{dt}$$



بنابراین در یک پروسه شامل دمپر هرگاه ورودی را نیروی اعمالی و خروجی را جابجائی دمپر در نظر بگیریم با استفاده از رابطه فوق تابع تبدیل پروسه بدست می آید

$$F = B.S.X$$

$$\frac{X}{F} = \frac{1}{BS}$$



فصل سوم

اندازه گیرها:

۱-۳- معرفی اندازه گیرها

در فصل قبل گفتیم، اولین قدم برای کنترل یک فرآیند شناخت و درک دینامیک و رفتارهای آن فرآیند (تابع تبدیل) می باشد. بعد از شناخت پروسه می باید کمیت تحت کنترل را اندازه گیری نمائیم. به عبارت دیگر برای کنترل یک کمیت باید در هر لحظه اطلاعات دقیقی از آن داشته باشیم یعنی باید کمیت تحت کنترل را همواره اندازه گیری نمائیم. اندازه گیری و کسب اطلاع از کمیت تحت کنترل مطابق شکل (۱-۵) توسط عنصر اندازه گیر انجام می گردد. بنابراین اندازه گیر یکی از قسمت های مهم و حساس حلقه کنترل می باشد. امروزه ساخت و ابداع اندازه گیرهای جدید، یکی از زمینه های پر تحرک و پر رقابت بین کمپانی های سازنده می باشد و مراکز تحقیقاتی زیادی در این زمینه فعالیت می کنند و در واقع بسیاری از پیشرفت های چشمگیر در سیستم های پیچیده نظامی، صنعتی، پزشکی و جراحی و .... مرهون اختراع اندازه گیرهای جدید می باشد.

در صنعت از اندازه گیرها معمولاً با نام های دیگری نیز یاد می شود مانند سنورها (sensors) ، ترانسمیترها (transmiters) و یا ترانسدیوسرها (transducers) ، هر چند هر یک از اسامی فوق نام وسیله یا عنصری مستقل با طرز کاری بخصوص می باشد، اما یک اندازه گیر گاهی اوقات می تواند شامل هر سه عنصر یاد شده باشد بگونه ای که نتوان عملیات فوق را در آن از یکدیگر جدا نمود. در اینجا بهتر است قبل از ادامه بحث تعاریف دقیق تری از سه عنصر فوق ارائه نمائیم.

سنسور : عنصری است که به کمیت خاصی حساس می باشد و یا در برابر آن کمیت خاص از خود عکس العمل نشان می دهد مثلاً ترموکوپل یک سنسور دما است، چرا که با تغییرات دما خروجی آن (ولتاژ) تغییر می کند. ترموکوپل سنسور شتاب نیست چرا که در اثر تغییرات شتاب عکس العملی از خود نشان نمی دهد و خروجی آن تغییر نمی کند.

ترانسدیوسر : عنصری است که یک نوع انرژی را به نوع دیگر تبدیل می کند. بنابراین ترانسدیوسر را می توان مبدل انرژی یا بطور خلاصه مبدل نامید. با تعریف فوق یک سنسور گاهی اوقات می تواند در عین حال ترانسدیوسر نیز باشد مثلاً ترموکوپل علاوه بر آنکه یک عنصر حساس به دماست یک ترانسدیوسر نیز می باشد چرا که انرژی گرمائی (دما) را به انرژی الکتریکی (ولتاژ) تبدیل می کند. در سنسورها اگر تبدیل انرژی انجام شود، کل انرژی ناشی از کمیت تحت اندازه گیری می باشد مثلاً در ترموکوپل ها انرژی الکتریکی خروجی تماما ناشی از انرژی گرمائی دمای مورد اندازه گیری می باشد.

یک ترانسدیوسر صنعتی برای تبدیل انرژی ممکن است از منبع تغذیه خارجی نیز استفاده کند. مثلا یک ترانسدیوسر فشار به ولتاژ معمولاً دارای یک منبع تغذیه الکتریکی می باشد تا انرژی مکانیکی (فشار) را با مقیاس بزرگتری به انرژی الکتریکی (ولتاژ) تبدیل کند در این حالت ترانسدیوسر را بعضا ترانسمیتر نیز می توان نامید.

ترانسمیتر : اکثر وسایل و تجهیزاتی که برای کنترل یک پروسه بکار برده می شوند، معمولاً در اتاق فرمان و در فاصله ای دور از پروسه نصب می شوند از طرفی عنصر اندازه گیر معمولاً روی پروسه و یا در فاصله ای نزدیک به آن نصب می گردد بنابراین سیگنال ناشی از کمیت اندازه گیری شده می بایستی به گونه ای مطمئن به اتاق فرمان ارسال گردد این کار توسط ترانسمیتر انجام

می شود، ترانسمیترها سیگنال ناشی از سنسور را معمولاً تقویت و گاهی تبدیل به کمیتی دیگر می کنند مثلا در صنایع نفت اکثر کمیت های اندازه گیری شده تبدیل به سیگنال فشار هوا می شوند از دیدگاه تقویت کنندگی و تبدیل انرژی ممکن است نتوان یک ترانسدیوسر را از ترانسمیتر متمایز ساخت اما معمولاً ترانسدیوسرها به کمیت تحت اندازه گیری نزدیکترند و گاهی با آن تماس مستقیم دارند ولی ترانسمیترها با کمیت مورد اندازه گیری تماس ندارند و بعلاوه میزان انرژی و توان ترانسمیترها بسیار بیشتر از ترانسدیوسرها است.

از آنجائیکه در کنترل پروسه های صنعتی غالباً نیاز به سنسور، مبدل و انتقال دهنده می باشد کمپانی های سازنده نیز این سه عنصر را معمولاً یکجا و به صورت یک دستگاه می سازند و به همین دلیل ممکن است هر یک از نام هایی را که ذکر کردیم برای آن دستگاه به کار ببریم.

۲-۳ خواص و ویژگی های اندازه گیرها

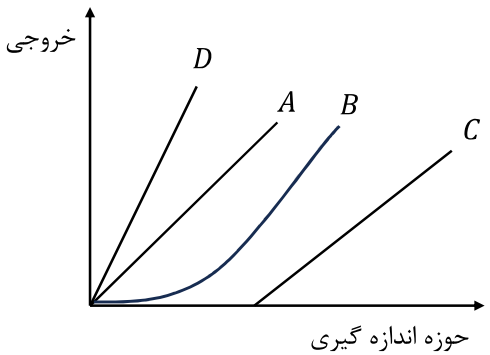
یک اندازه گیر خوب می بایستی دارای چه خواص و ویژگی هایی باشد و اساساً خواص و ویژگی های اندازه گیرها کدامند؟ ویژگی هایی که معمولاً برای یک اندازه گیر ذکر میگردند به شرح زیر می باشند :

۱) 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.

۲) صفر اندازه گیری (Zero) : 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.

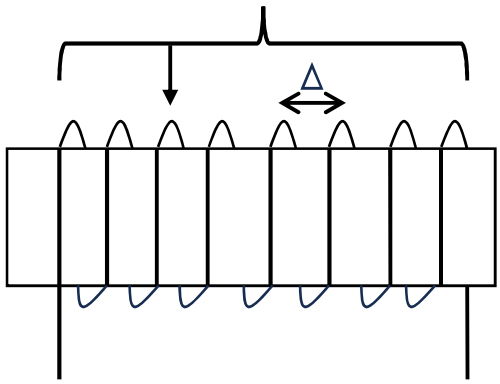
۳) انحراف صفر (Zero drift) : معمولاً اندازه گیر را طوری تنظیم می کنند که خروجی آن در نقطه صفر مساوی صفر باشد، اما متأسفانه اندازه خروجی در نقطه صفر ممکن است با گذشت زمان تغییر کند، این پدیده را انحراف صفر می گویند.

۴) حساسیت (Sensitivity) : 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. شکل (۱-۳) مشخصه چند اندازه گیر فرضی را نشان می دهد. اگر شیب مشخصه در حوزه اندازه گیری ثابت باشد، اندازه گیر را اندازه گیر خطی می نامیم.



شکل (۱-۳) – حالات ممکن برای مشخصه اندازه گیر

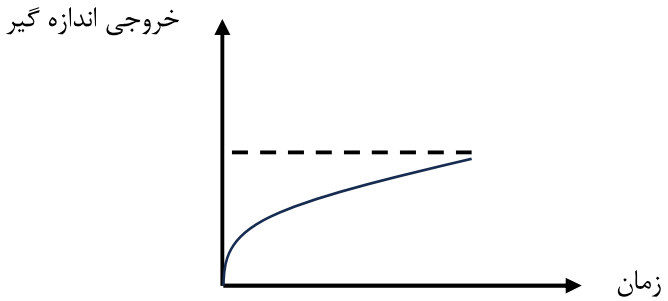
۵) حد تفکیک (resolution) : حد تفکیک عبارت اســت از کوچکترین اندازه تغییرات کمیت مورد نظرکه می تواند توســط عنصــر اندازه گیر، اندازه گیری شــود بعنوان مثال شــکل (۳-۲) که یک اندازه گیر وضــعیت (جابجائی) مقاومتی اســت را در نظر بگیرید :



شکل (۳-۲) بیان حد تفکیک در اندازه گیر وضعیت مقاومتی

اگر فاصله سیم بندی رئوستا Δ^{mm} ، باشد ، بنابراین سر وسط رئوستا قادر به اندازه گیری جابجا ئی های کوچکتر از Δ^{mm} نمی باشد یعنی حد تفکیک در این اندازه گیر Δ میلیمتر می باشد.

۶) پاســخ دهی (response) : یک اندازه گیر خوب باید کمیت مورد اندازه گیری را به ســرعت اندازه گیری نماید اما در عمل اندازه گیرها دارای ثابت زمانی و بعضــاً تأخیر خالص می باشــند اگر اندازه گیر دارای یک ثابت زمانی باشــد و کمیت مورد اندازه گیری بصورت پله واحد تغییر کند، شکل کلی تغییرات خروجی مطابق شکل (۳-۳) خواهد بود.

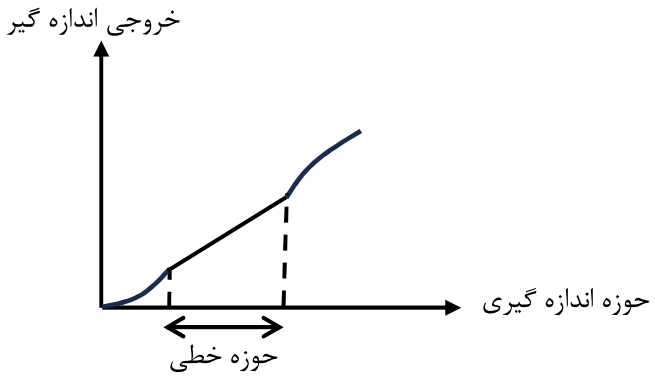


شکل (۳-۲) بیان پاسخ دهی اندازه گیر با ثابت زمانی

مشاهده می شود مدتی طول می کشد تا خروجی اندازه گیر به مقدار پایدار و نهایی خود برسد و بنابراین اندازه گیر قادر به دنبال کردن و اندازه گیری تغییرات سریع کمیت مورد نظر نخواهد بود. ثابت زمانی عنصر اندازه گیر باید از کوچکترین ثابت زمانی موجود در حلقه کنترل بسیار کوچکتر باشد، خوشبختانه در پروسه های صنعتی معمولاً ثابت زمانی پروسه و سایر قطعات حلقه کنترل بسیار بزرگتر از ثابت زمانی اندازه گیر است بنابراین مشکلی ایجاد نمی شود اما به هر حال هنگام استفاده از یک اندازه گیر می

بایست به ثابت زمانی و احتمالاً تأخیر خالص در آن توجه نموده و اثر احتمالی آنها را در پایداری و رفتار حلقه کنترل منظور نظر داشت.

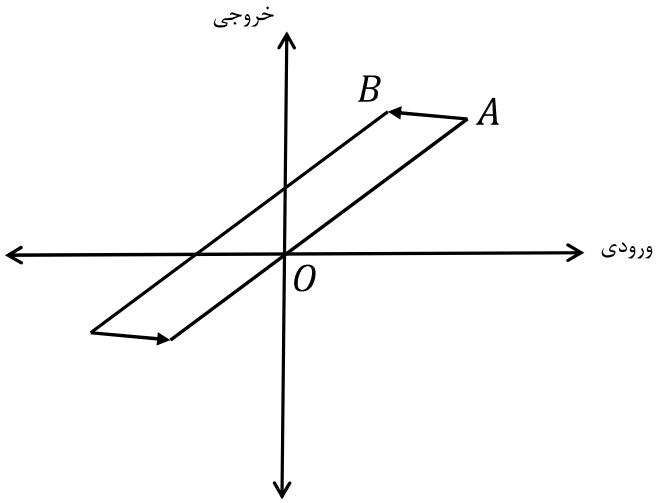
خطی بودن (linearity) : خطی بودن اندازه گیر به معنی ثابت بودن شیب مشخصه ورودی - خروجی آن می باشد. همانطور که قبلا نیز گفتیم غالباً مایل به استفاده از اندازه گیرهایی با مشخصه خطی می باشیم اما در عمل اکثر اندازه گیرها در تمام محدوده حوزه اندازه گیری خود مشخصه خطی ندارند در اینصورت حوزه اندازه گیری مطلوب مطابق شکل (۳-۴) به فاصله ای که مشخصه اندازه گیر خطی است محدود می گردد.



شکل (۳-۴) مشخصه اندازه گیر غیرخطی

گاهی اوقات بهترین خطی که مشخصه اندازه گیر را بیان می کند بعنوان مشخصه اندازه گیر، در نظر گرفته می شود.

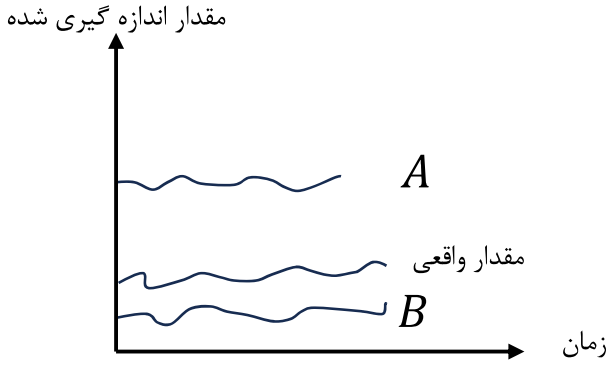
پسماند (hysteresis) : پسماند یا هیسترزیس نوعی رفتار غیر خطی در اندازه گیرها است. برای روشن تر شدن مطلب شکل (۳-۵) را در نظر بگیرید :



شکل (۳-۵) پدیده پسماند در اندازه گیر

ابتدا هنگامی که ورودی از صفر شروع به افزایش می کند مشخصه اندازه گیر روی خط OA می باشد. و بعد از رسیدن به نقطه A (حوزه اندازه گیری) هنگامی که ورودی مجدداً شروع به کاهش می کند، مشخصه به روی خط AB خواهد بود مشاهده می گردد که مشخصه اندازه گیر در مسیر افزایش ورودی با مشخصه اندازه گیر در مسیر کاهش ورودی تفاوت دارد. این پدیده را پسماند گوئیم.

۹) دقت (accuracy) : دقت به معنی تطابق مقدار اندازه گیری شده با مقدار واقعی کمیت د اندازه گیری می باشد. برای روشن تر شدن مطلب شکل (۳-۶) را در نظر بگیرید.



شکل (۳-۶) مقایسه دقت در دو اندازه گیر

در این شکل اندازه گیر B ، دقیق تر از اندازه گیر A است چرا که اندازه گیری آن به مقدار واقعی مورد اندازه گیری نزدیکتر است. دقت اندازه گیر را معمولاً بر حسب درصد خطا در تمام محدوده اندازه گیری بیان می کنند. مثلاً اندازه گیری که محدوده کار آن ۱۰۰ واحد است و در اندازه گیری ۱۰۰ واحد حداکثر یک واحد خطا دارد دقت آن ۱٪ می باشد. بدیهی است کاربرد اندازه گیرهایی با دقت بیشتر و یا خطای کمتر در امر کنترل دقت بیشتری را فراهم می آورد.

۱۰) تکرار پذیری : تکرار پذیری در اندازه گیرها ویژگی مهمی است و به معنی نتیجه یکسان در اندازه گیری یک کمیت در شرایط ثابت می باشد.

۳-۳ طراحی و ساخت اندازه گیرها

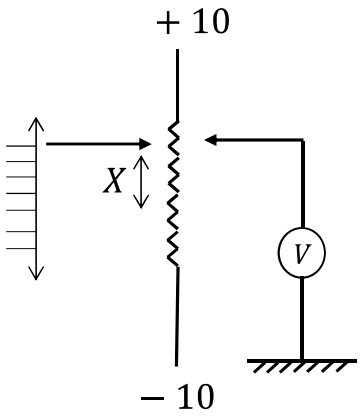
برای طراحی و ساخت اندازه گیرها دستور العمل یا فرمول خاصی وجود ندارد و این کار بیشتر به ذوق و ابتکار سازنده مربوط می شود. معمولا ابداع و اختراع یک اندازه گیر را با این سوال آغاز می کنیم که چگونه می توان کمیت مورد نظر را اندازه گیری نمود؟ آنگاه به جستجوی یک اصل فیزیکی می پردازیم تا از آن طریق کمیت مربوطه را اندازه گیری نماییم، سپس به مشکلات علمی و چگونگی استفاده از اجزاء و قطعات می پردازیم و نهایتا با حل مشکلات علمی، اندازه گیری با ویژگی های مطلوب می سازیم.

اندازه گیرهای وضعیت :

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

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

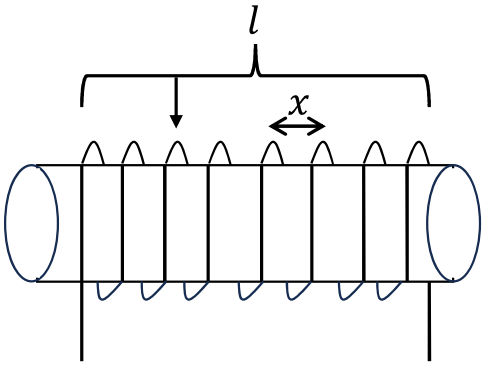
اگر ρ و A ثابت باشند مقاومت متناسب با طول خواهد بود. بنابراین از آن می توان بعنوان یک اصل فیزیکی برای ساخت اندازه گیر های وضعیت استفاده نمود. ساده ترین نوع اندازه گیر های مقاومتی اندازه گیر های پتانسیومتری می باشد.



شکل (۳-۷) اندازه گیر وضعیت مقاومتی

از مزایای اندازه گیر های مقاومتی می توان 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.

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.



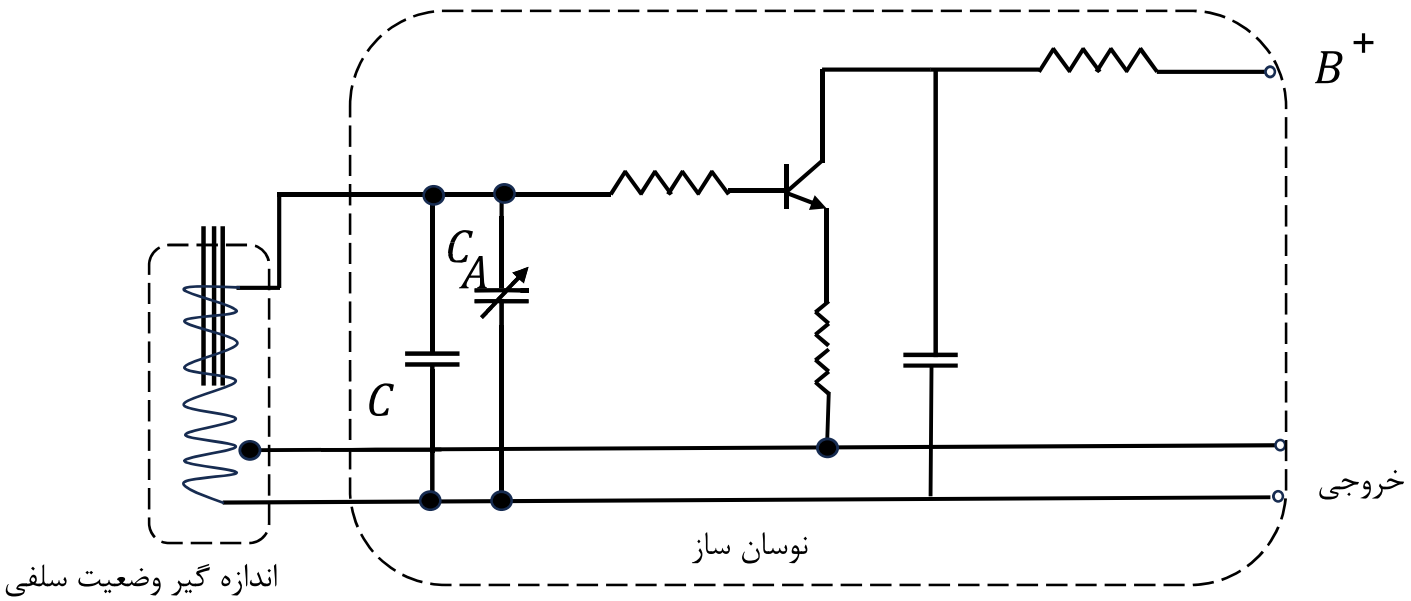
شکل (۳-۸) اندازه گیر وضعیت سلفی

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 .

$$L = \mu \frac{N^2 A}{l}$$

ضریب نفوذ مغناطیسی هسته سیم پیچ می باشد. تعداد دور سیم و N μ طول، l سطح مقطع، Aدر رابطه فوق

برای آشکار سازی L سیم پیچ را در یک مدار اوسیلاتور قرار می دهند تغییرات L موجب تغییرات فرکانس اوسیلاتور می گردد.

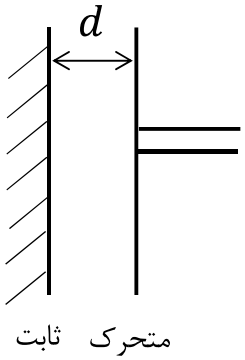


شکل (۳-۹) مدار آشکار ساز اندازه گیر وضعیت سلفی

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 مدارات جانبی اشاره کرد.

اندازه گیر خازنی: اصل فیزیکی مورد استفاده در اندازه گیری های خازنی به صورت زیر می باشد.

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



شکل (۳-۱۰) اصل مورد استفاده در اندازه گیر وضعیت خازنی

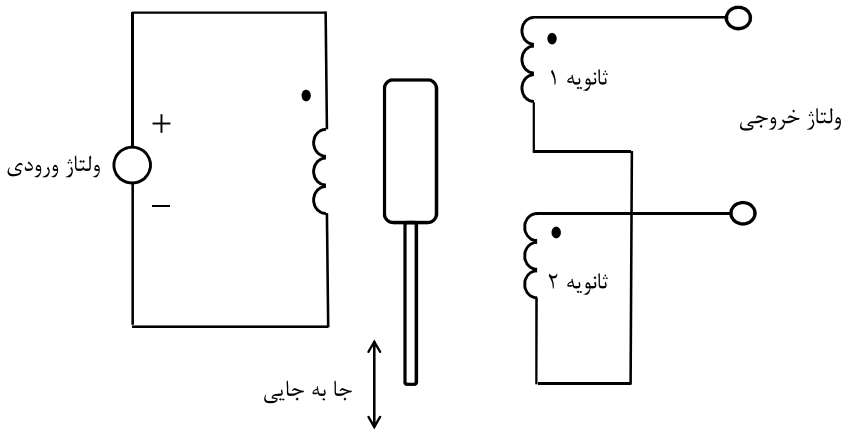
در این رابطه ε ضریب دی الکتریک، A سطح جوشن ها و d فاصله جوشن های خازن از یکدیگر می باشند. با ثابت بودن A و ε ظرفیت خازن متناسب (معکوس) با فاصله d خواهد بود. اگر مطابق شکل یک صفحه خازنی را ثابت و صفحه دیگر را به جابجایی متصل کنیم جابجایی صفحه متحرک موجب تغییر d و در نتیجه تغییر C می‌گردد و بنابر این ظرفیت خازن متناسب (معکوس) با جابجایی خواهد شد. تغییرات C را در مدار اسیلاتوری شبیه به شکل ۳-۹ به تغییرات فرکانس تبدیل می کنیم. اندازه گیری های خازنی در اندازه گیری جابجایی های کوچک، دقت و حساسیت بهتری دارند، بعلاوه میدان های مغناطیسی که معمولا در محیط های صنعتی وجود دارند، تاثیری بر روی کار آن ها نخواهد گذاشت.

ترانسفورمر تفاضلی خطی (*LVDT*)

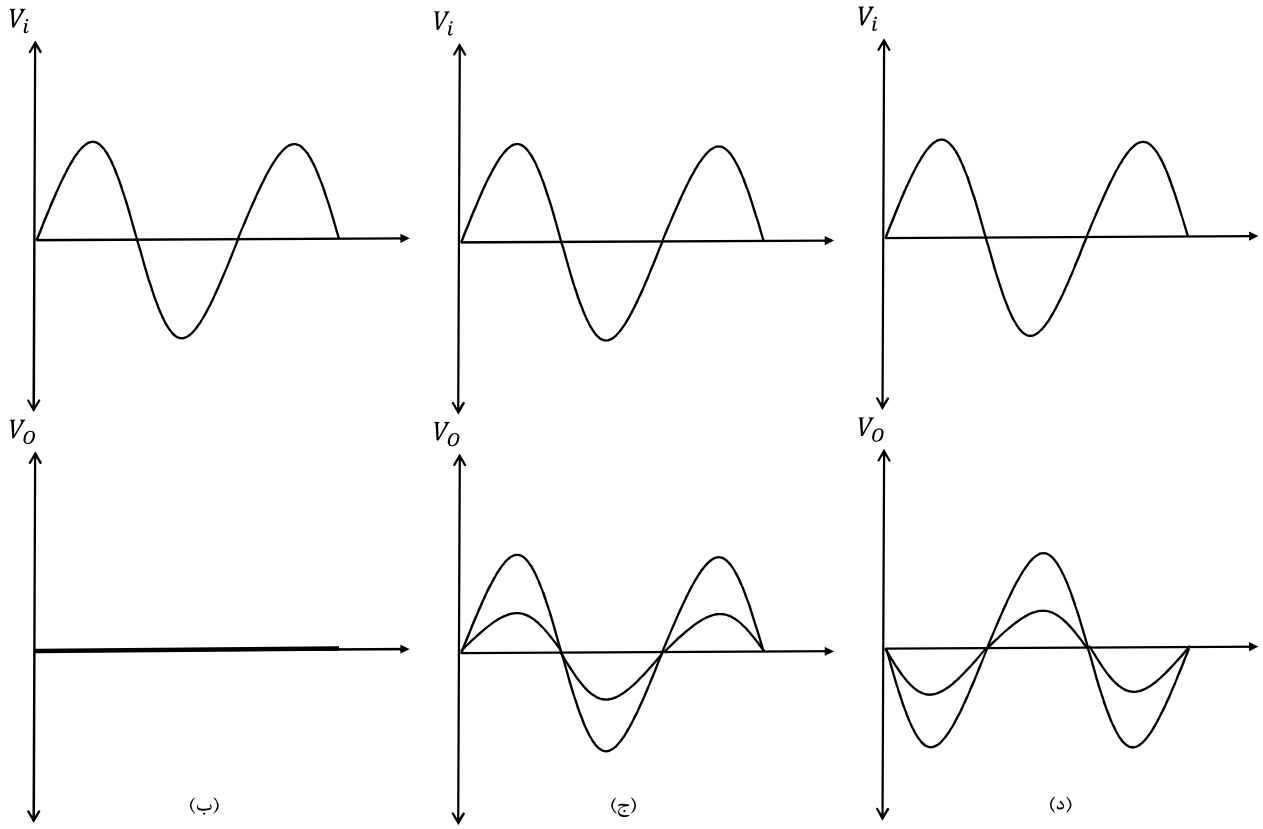
این اندازه گیرها بر اساس اصل کوپلاژ مغناطیسی بین سیم پیچ های اولیه و ثانویه یک ترانسفورمر کار می کنند. برای روشن شدن مطلب شکل (۳-۱۱) را در نظر بگیرید در صورتیکه هسته مغناطیسی در وسط باشد ، کوپلاژ بین سیم پیچ های ثانویه ۱ و ۲ با سیم پیچ اولیه یکسان بوده و با توجه به جهت سیم بندی ، ولتاژ خالص خروجی (V_O) صفر می باشد.

در صورتی که هسته به سمت بالا حرکت کند دامنه ولتاژ در ثانویه ۱ بیشتر از ثانویه ۲ گردیده، ولتاژ خروجی (V_O) مطابق شکل (۳-۱۲-ج) می گردد و اگر هسته به سمت پائین حرکت کند ، دامنه ولتاژ القانی در ثانویه ۲ بیشتر از ثانویه ۱ میگردد و ولتاژ خروجی مطابق شکل (۳-۱۲- د) می شود. با توجه به شکل های (۳-۱۱) فاز ولتاژ خروجی مبین جهت جابجائی (بالا یا پائین) و دامنه آن مبین اندازه جابجائی است.

LVDT ها علاوه بر مزایای اندازه گیرهای سلفی به مدارات جانبی ساده تر و ارزانتری نیاز دارند و پلاریته ولتاژ خروجی از آنها جهت حرکت نسبت به وضعیت صفر را مشخص می کند. حوزه اندازه گیری *LVDT* ها به حدود *cm* + محدود می گردد. *LVDT* ها بسیار محکم و با استقامت ساخته می شوند و در شرایط سخت به خوبی کار می کنند با استفاده از مکانیزم های مخصوص (اهرم با چرخ دنده) می توان حوزه اندازه گیری *LVDT* را افزایش داد.



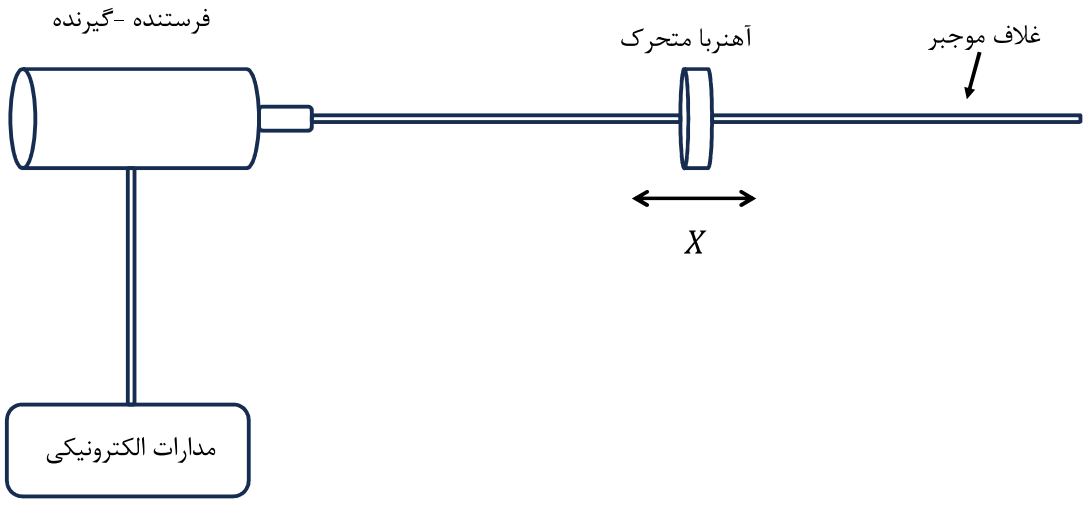
شکل (۳-۱۱) LVDT



شکل (۳-۱۲) شکل موج های ورودی و خروجی LVDT

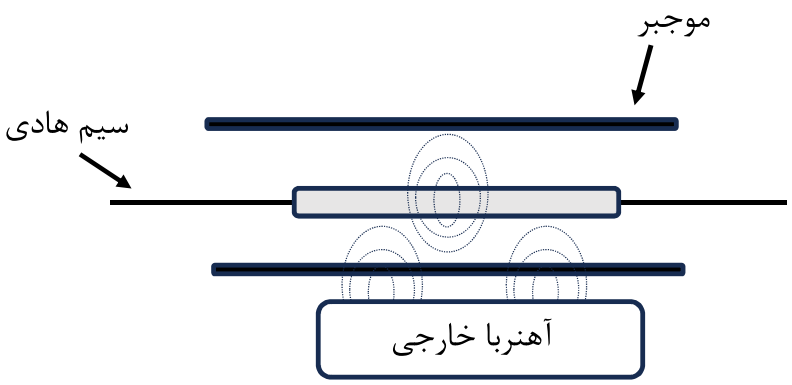
اندازه گیر وضعیت آلترسونیک :

اندازه گیرهای فراصوتی (ultrasonic) کاربرد های فراوانی در صنعت دارند. در این جا به شرح عملکرد یک اندازه گیر جابجائی فراصوتی ، ساخت کمپانی BALLUFF می پردازیم. طرح کلی این اندازه گیر مطابق شکل (۳-۱۳) می باشد.

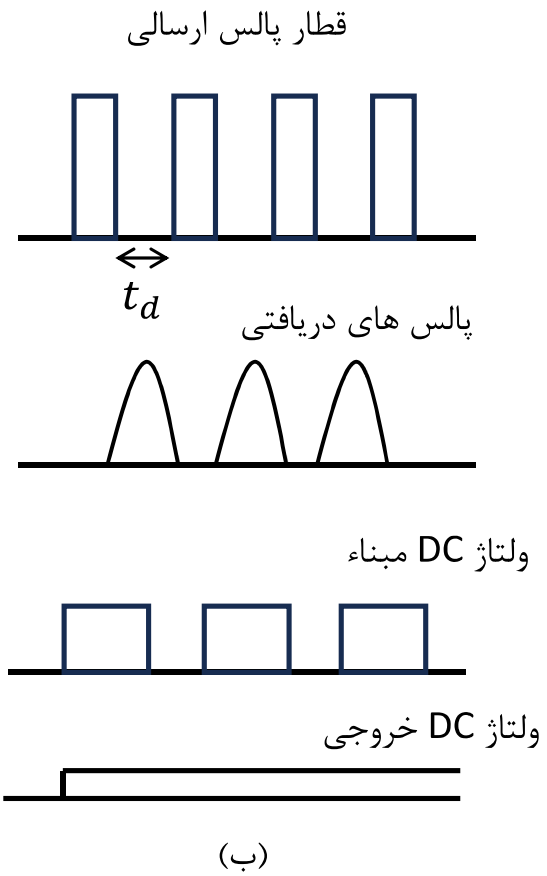


شکل (۳-۱۳) اندازه گیر وضعیت فراصوتی

داخل غلاف موجبر مطابق شکل (۳-۱۴- الف) یک سیم هادی به ضخامت ۰۵/۰ میلی متر که خود داخل لوله ای توخالی به قطر ۵۵ / . میلیمترقرارگرفته وجود دارد. لوله ازآلیاژهای مخصوص ساخته شده و طوری پرداخت گردیده که خاصیت ارتجاعی آن تا حد زیادی مستقل از درجه حرارت است و با گذشت زمان تغییر نمی کند. مواد تضعیف کننده امواج صوتی در اطراف لوله پر شده اند تا از انعکاس امواج و اثر نویزهای خارجی جلوگیری نمایند



(الف)



(ب)

شکل (۳-۱۴) ساختمان داخلی اندازه گیر وضعیت فراصوتی

قطاری از پالس های الکتریکی مطابق شکل (۳-۱۴- ب) در طول سیم هادی ارسال می گردند. جریان الکتریکی از سیم موجب ایجاد میدان مغناطیسی (شکل ۳-۱۷- الف) در اطراف آن می شود. برخورد این میدان با میدان ناشی از آهن ربای متحرک، ایجاد تنش چرخش می نماید که در طول با سرعت فراصوتی منتقل می شود پالسهای تنش توسط سیم پیچ های حساس، احساس می شوند با اندازه گیری زمان بین ارسال پالس الکتریکی و دریافت پالس مکانیکی ، موقعیت آهن ربا نسبت به انتهای لوله مشخص می شود این موقعیت با استفاده از مدارات الکترونیکی تبدیل به ولتاژی dc می گردد. شکل (۳-۱۴- ب) .

این اندازه گیرها با طول های مختلف و تا حدود ۱۰ متر نیز ساخته می شوند و از دقت و سرعت خوبی برخوردارند و حد تفکیک آنها حدود ۰.۱ میلی متر می باشد.

اندازه گیرهای دما

شاید دما اولین کمیتی باشد که انسان به کنترل آن فکر کرده است. در اکثر محیط های صنعتی ، دما یکی از کمیت هایی است که مایل به کنترل یا اندازه گیری آن می باشیم. صنایع فولاد و ریخته گری، صنایع غذائی و شیمیایی، صنایع نساجی و سیمان و همگی بگونه ای با دما و کنترل و اندازه گیری آن سر و کار دارند با توجه به اهمیت کنترل و اندازه گیری دما در صنایع مختلف در اینجا اندازه گیرهای دما را یا جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می دهیم.

اندازه گیرهای دما را می توان به سه دسته کلی تقسیم بندی نمود :

۱) اندازه گیرهای الکتریکی دما

۲) اندازه گیرهای مکانیکی دما

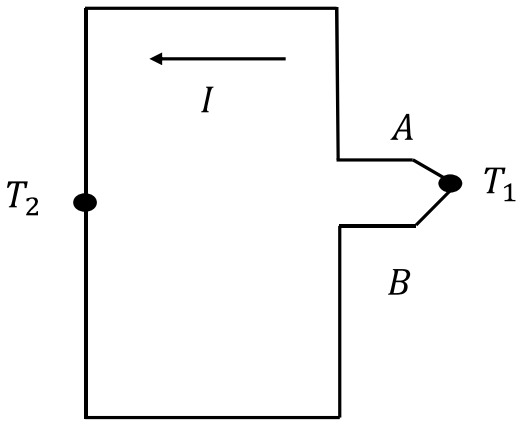
۳) اندازه گیرهای تشعشعی دما

اندازه گیرهای الکتریکی دما

اندازه گیرهای الکتریکی دما تجهیزاتی هستند که دما را به گونه ای تبدیل به کمیتی الکتریکی می کنند. این اندازه گیرها، متداول ترین نوع اندازه گیرهای دما می باشند که بر اساس اصول فیزیکی مختلف کار می کنند.

ترموکوپل ها :

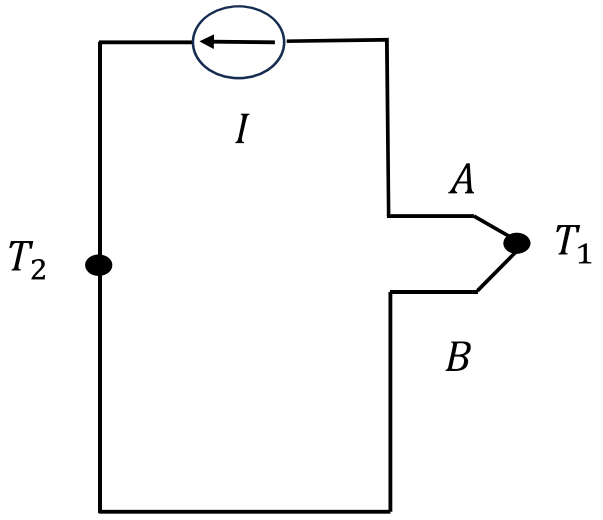
ترموکوپل ها متداول ترین اندازه گیرهای الکتریکی دما در صنعت می باشند. از مزایای آنها می توان به سادگی، ارزانی ، استحکام ، دوام و دقت مناسب اشاره نمود. از ترموکویل ها می توان در حوزه اندازه گیری نسبتاً وسیع (۱۵۰۰+ تا ۲۰۰- درجه سانتی گراد) در شرایط محیطی گوناگون استفاده نمود. ترموکوپل ها دارای سرعت پاسخ دهی نسبتاً خوب (ثابت زمانی کوچک) می باشند، اما به لحاظ رعایت مواردی در محل نصب آنها، این سرعت پاسخ دهی تا حد زیادی کاهش می یابد. ترموکوپل ها بر اساس پدیده ترموالکتریک (see back - effect) کار می کنند.



شکل (۳-۱۵) پدیده ترموالکتریک

مطابق شکل (۳-۱۵) هرگاه دو فلز غیر یکسان تشکیل یک مدار بسته دهند و دو محل اتصال آنها در دو دمای متفاوت نگه داشته شود، جریان الکتریکی در مدار ایجاد می شود. این اثر را اثر see back یا پدیده تر موالکتریک می گویند.

دمای T_1 را دمای اندازه گیری و دمای T_2 را دمای مبنا گوئیم. نکته جالب اینجاست که عکس این پدیده نیز امکان پذیر است یعنی اگر در مداری مطابق شکل (۳-۱۶) جریان الکتریکی ثابت I را برقرار کنیم دماهای متفاوتی در محل های اتصال مشاهده خواهیم کرد این پدیده اثر (Peltier) می گویند.



شکل (۳-۱۶) پدیده Peltier

یک ترموکویل مطابق شکل (۳-۱۵) از اتصال دو فلز غیر یکسان تشکیل شده است. این اتصال در محلی که مایل به اندازه گیری دمای آن (T_1) هستیم قرار داده می شود، اتصال مبنا (T_2) را نیز معمولاً در دمای صفر قرار می دهیم. که در این حالت جریان الکتریکی با ولتاژ ایجاد شده مستقیماً متناسب با دمای مورد اندازه گیری (T_1) می باشد.

نام ترموکویل	سم مثبت (P) سیم منفی (N)	جنس فلز	حوزه اندازه گیری
B	BP BN	روبیدیوم ۳۰ ٪ – پلاتین روبیدیوم ۶ ٪ – پلاتین	0 ----> 1800
E	EP EN	کروم – نیکل مس – نیکل	-190 ----> 1000
J	JP JN	آهن مس – نیکل	0 ----> 1000
K	KP KN	کروم – نیکل سیلیکن–آلومینیوم–نیکل	0 ----> 1200
R	RP RN	روبیدیوم ۱۳ ٪ – پلاتین پلاتین	0 ----> 1790
S	SP SN	روبیدیوم ۱۰ ٪ – پلاتین پلاتین	0 ----> 1790
T	TP TN	مس مس – نیکل	-190 ----> 380

جدول (۳-۱) اسامی ومشخصات ترموکوپل ها بر اساس استاندارد ISA

در کاربردهای دیگر ترموکوپل را مستقیماً توسط سیم های رابط به دستگاه اندازه گیری متصل می نمایند در این حالت دمای مبنا (T_2) همان دمای محیط یعنی دمای محل اتصال سیم های رابط به دستگاه اندازه گیری می باشد. در چنین مواردی اندازه گیری میبایستی بر اساس دمای محیط مقیاس شود و در صورتیکه تغییرات آن زیاد باشد مدارهایی جهت حذف اثر تغییرات دمای محیط در نظر گرفته شود.

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.

اندازه گیرهای دما، مقاومتی (RTD) :

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 ، حسگرهای RTD 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 حسگرهای دما با کنترل کننده، باعث افزایش طول سیم می شود به طوری که مقاومت سیم های رابط با مقاومت RTD قابل مقایسه می گردد و در نتیجه تغییرات مقاومت سیم های رابط با دما منجر به بروز خطاهای قابل توجه در اندازه گیری می شود. RTD ها مقاومت حدود چند صد اهم دارند در حالی که ترمیستور ها با مقاومت حدود چند صد کیلو اهم ساخته می شوند. بنابراین، اثر سیم های رابط در ترمیستور ها منفی می گردد، در حالی که در ترمیستورها 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 سیم های اندازه گیری جریانی نمی گذرد، لذا اثر مقاومت سیم های رابط منتفی می گردد.

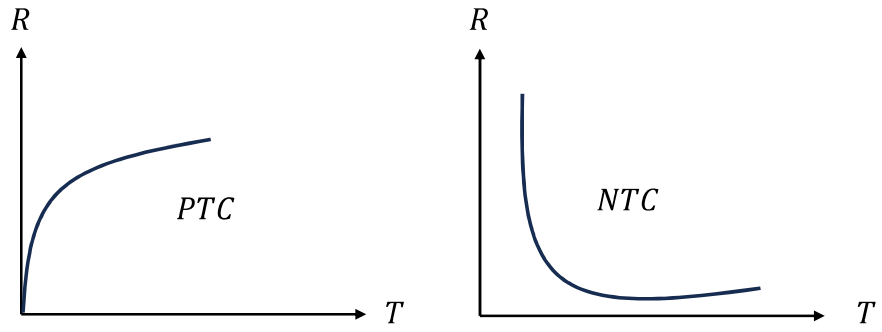
از انواع مهم RTD ها می توان به نوع PT100 اشاره کرد. جنس مقاومت این نوع RTD از پلاتنیوم بوده و در دمای صفر درجه مقاومت ۱۰۰ اهم دارد.

استفاده از ترمیستور (Thermally sensitive resistor) :

همانطور که گفته شد نیمه رساناهایی که به سبب ضریب مقاومت گرمایی زیادشان بکار می روند، مقاومت های حساس به دما یا ترمیستور(thermistors : temperature resistors sensitive) نامیده می شوند. ترمیستور از اکسید فلزاتی چون منگنز، نیکل، کبالت، مس و یا آهن همراه با سیلیکون ساخته می شود. 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 شود که مقدار آن بین ۱۰۰ تا ۱۰۰ کیلو اهم محاسبه می گردد. البته ترمیستورهایی با مقاومت اولیه پایین تر از۱۰ اهم و بالاتر از ۴۰ مگا اهم نیز استفاده می شود. ترمیستور ها اغلب برای قطع در مسیر مدارهای الکتریکی به کار می روند. ترمیستورها به دو نوع PTC (Positive Temperature Coefficient) که با افزایش دما مقاومت آن افزایش می یابد و NTC (Negative Temperature Coefficient) که با افزایش دما مقاومت آن کاهش می یابد تقسیم بندی می شوند. از این مقاومت ها در مدارها به صورت حسگر (Sensor) 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 ، ترموکوپل ها و RTD ها می باشد که این به معنی حساسیت بیشتر و امکان اندازه گیری دقیق تر ترمیستورها است. 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

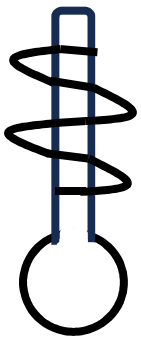
مقاومت کم تر از مقدار صحیح آن نشان داده شود. همچنین مشخصه ی ترمیستور ها بسیار غیر خطی تر از فلزات است و از طرف دیگر حوزه ی اندازه گیری آن ها بسیار کوچک تر از فلزات می باشد.



شکل (۳-۱۷) شیب مشخصه ترمیستور PTC,NTC

اندازه گیرهای مکانیکی دما :

قدیمی ترین نوع اندازه گیرهای دما، اندازه گیرهای مکانیکی می باشند. در این اندازه گیرها، دما به یک کمیت مکانیکی (معمولا جابجائی) تبدیل می گردد. ترمومتر جیوه ای مثال آشنای اندازه گیرهای مکانیکی است. این اندازه گیر دما را به جابجائی ستون جیوه در لوله، تبدیل می کند. در بسیاری از موارد برای استفاده از مزایای کمیت های الکتریکی، اندازه گیرهای مکانیکی را به اندازه گیرهای الکترومکانیکی تبدیل می کنند. بعنوان مثال اگر مطابق شکل (۳-۱۸) به دور لوله ترمومتر یک سیم پیچ بسته شود، تغییرات ارتفاع ستون جیوه را میتوان به تغییرات ضریب خود القانی سیم پیچ تبدیل نمود و با استفاده از مدارهای الکتریکی، دمای اندازه گیری شده را به یک کمیت الکتریکی تبدیل کرد.



شکل (۳-۱۸) تبدیل تغییرات دما به تغییرات ضریب خودالقائی

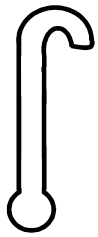
حوزه اندازه گیری اندازه گیر های مکانیکی از ۵۰- درجه سانتی گراد تا ۱۰۰۰+ درجه سانتی گراد محدودمی گردد. اصل فیزیکی مورد استفاده در اندازه گیرهای مکانیکی دما ، تغییر حجم اجسام در اثر تغییر دما می باشد. نوع ماده بکار برده شده و ساختمان پیشنهادی برای اندازه گیر می بایستی متناسب با نوع کاربرد و دامنه اندازه گیری باشد، که در زیر به نمونه هائی اشاره می شود.

اندازه گیرهای مانومتری :

ترمومترهای مدرج نمونه ای ازاین نوع می باشند. دراندازه گیرهای مانومتری معمولا ازیک مایع مناسب مانند الکل استفاده می شود، جیوه نیزکه یک فلز سیال است، به دلیل ویژگی های جالب آن بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. حد بالا و پائین حوزه اندازه گیری ، به حدود نقطه جوش و انجماد مایع مورد استفاده محدود می شود.

اندازه گیرهای دما از طریق فشار:

حوزه اندازه گیری اندازه گیرهای مانومتری دما محدود است. برای افزایش حوزه اندازه گیری می توان تغییرات دما را به تغییرات فشار تبدیل نمود. شکل (۳-۱۹) ساختمان کلی چنین اندازه گیری را نشان می دهد.

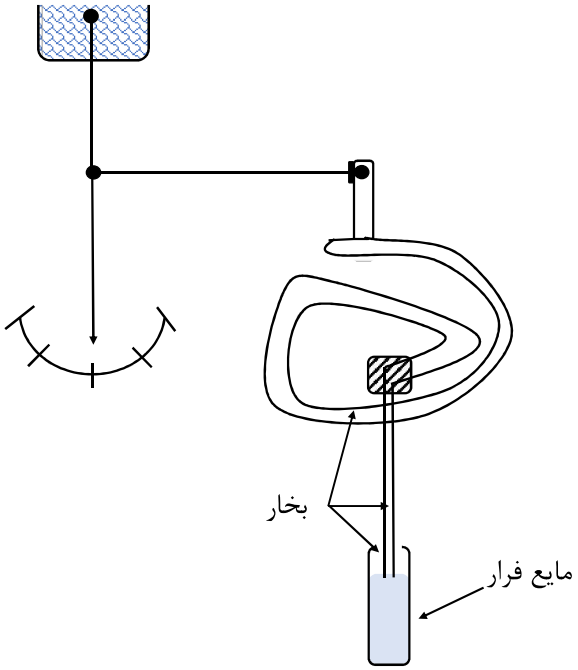


شکل (۳-۱۹) اندازه گیر دما لوله بردن

این اندازه گیر از یک مخزن و یک لوله مسدود (لوله بردون) که با یک گاز کامل (معمولا نیتروژن) پر شده اند ساخته می شود. این اندازه گیر از قانون گازهای ایده آل استفاده می کند. با توجه به ثابت بودن حجم , در اثر افزایش دما فشار گاز افزایش یافته و موجب جابجائی انتهای لوله می گردد. (این اثر به پدیده لوله بردون مشهور است). جابجائی لوله بردون می تواند به عنوان دمای اندازه گیری شده مقیاس گردد. در عمل برای افزایش جابجائی، لوله بردون را بصورت مارپیچ و یا شکل های دیگر می سازند.

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 گیرهانی که از این اصل استفاده می کنند دارای سرعت پاسخ دهی خوبی نسبت به دو نمونه قبل می باشند. این اندازه گیر از لحاظ ساختمان و قطعات شبیه به دو نمونه قبل است. با این تفاوت که اولا به جای مایع یا گاز از یک مایع فرار مانند اتر استفاده می شود و ثانیا تمام حجم 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 انتهانی لوله بوردن منتقل می گردد. شکل (۳-۲۰) ساختمان کلی چنین اندازه گیری را نشان می دهد.



شکل (۳-۲۰) طرح کلی اندازه گیری دما از طریف فشار

ملکول های یک مایع از طریق سطح آزاد آن به محیط خارج رفت و آمد می کنند، میزان خروج ملکول ها از سطح آزاد بستگی به دمای مایع دارد. در نقطه جوش مایع فشار ملکول های خروجی برابر فشار محیط است. اگر فضای بالای مایع مسدود باشد، فشار ملکول های خروجی قابل اندازه گیری خواهد بود، که این فشار متناسب با دمای مایع می باشد.

در انتخاب مایع برای اینگونه اندازه گیرها می بایستی به نکاتی چند توجه نمود :

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

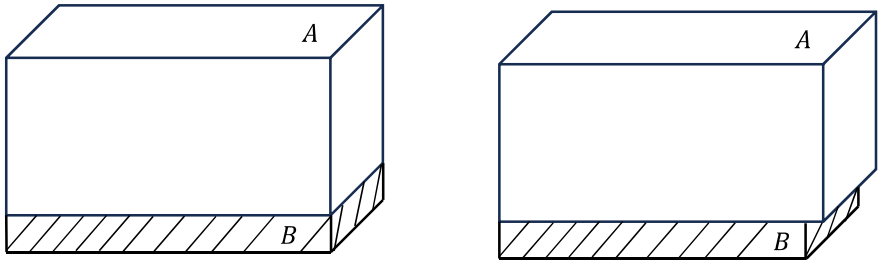
۲- مایع مورد استفاده می بایستی از لحاظ شیمیائی بی اثر باشد تا موجب خوردگی مخزن ولوله ها نشود.

اندازه گیرهای مانومتری و اندازه گیرهائی که دما را از طریق فشار اندازه گیری می کنند، مسائل و مشکلات مربوط به خود را دارند، که از جمله می توان به تغییر حجم لوله ها با درجه حرارت و کامل نبودن گاز مورد استفاده اشاره نمود. با این وجود سازندگان با تجربه با بکار بستن تدابیر ویژه تا حد زیادی بر این مشکلات فائق آمده اند و اندازه گیرهای استفاده شده در سیستم های قدیمی همچنان بکار خود ادامه می دهند.

اندازه گیرهای دما، دو فلزی (Bimetal) :

اجسام با تغییرات دما منبسط و منقبض می شوند. ضریب انبساط یک جسم به گونه ای نمایانگر افزایش دما است. مطابق شکل (۳-۲۱) دو فلز مختلف A و B را که در دمای محیط هم طول هستند به یکدیگر متصل می کنیم. فرض کنید ضریب انبساط فلز A بیشتر از B باشد، هرگاه دما را افزایش دهیم هر دو فلز افزایش طول می دهند اما چون ضریب انبساط A بزرگتر از B است تغییر طول A بیشتر بوده و مجموعه به شکل (۳-۲۰- ب) در می آید. از این پدیده در ساخت اندازه گیرهای دمای بی متال استفاده می کنیم . در عمل برای افزایش تغییرات طول در اثر تغیرات دما، بی متال را به صورت حلزونی و یا مارپیچ میسازند. تغییرات طول را

می توان مستقیماً به عنوان دمای اندازه گیری شده مقیاس نمود و یا آن را به سیگنال های الکتریکی تبدیل نمود. .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 و حفاظت و آلارم مورد استفاده قرار می گیرند.

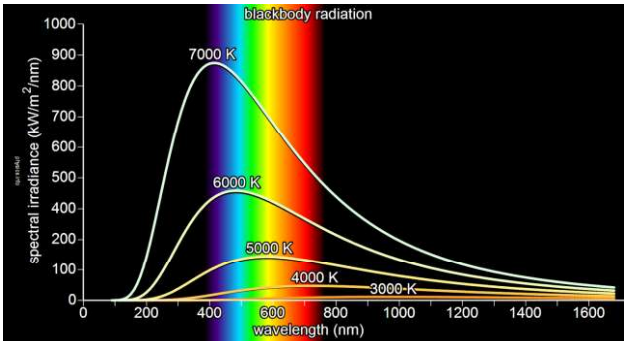


(الف) (ب)

شکل (۳-۲۱) اصل مورد استفاده در اندازه گیر دمای دوفلزی

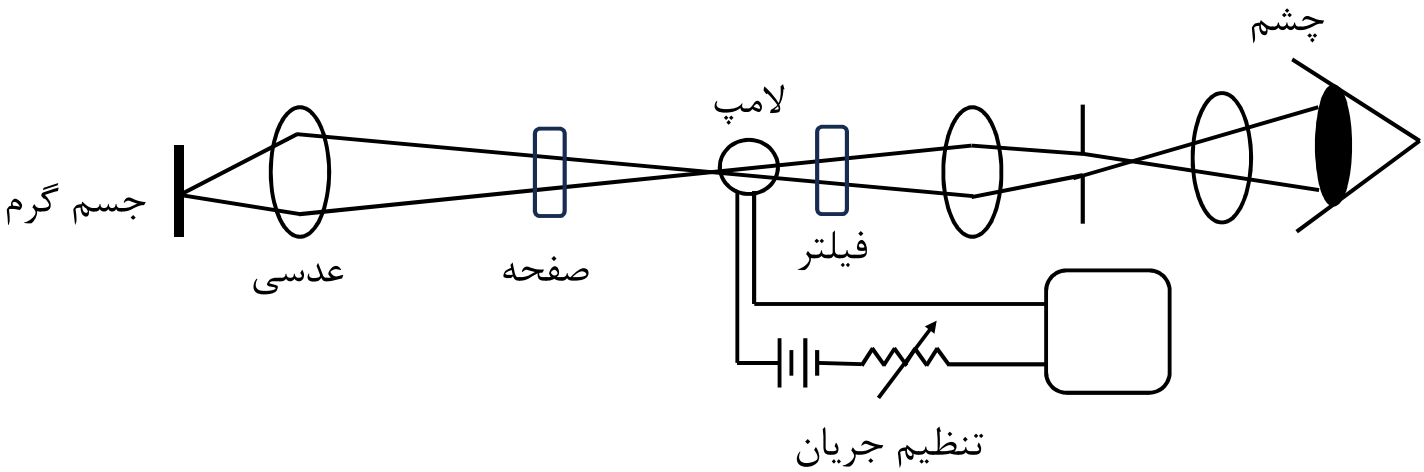
اندازه گیرهای تشعشعی دما :

اندازه گیرهایی که قبلا به آنها اشاره شد در تماس مستقیم یا غیر مستقیم با پروسه دما را اندازه گیری می کنند. در مواردی تماس اندازه گیر با پروسه امکان پذیر نیست. مثلا هنگامی که پروسه متحرک است و یا دمای آن بسیار بالا است به گونه ای که هر گونه تماس موجب ذوب شدن و خرابی اندازه گیر می شود و یا هنگامی که پروسه دارای مواد مخرب و زیان بار است. نمونه هایی از اینگونه موارد را می توان در صنایع ریخته گری و فولاد و همچنین صنایع چینی و سرامیک و صنایع شیمیایی پیدا کرد. برای اندازه گیری دما بدون تماس مستقیم یا غیر مستقیم با پروسه از اندازه گیرهای تشعشعی و نوری استفاده می کنیم. حد بالای دمای قابل اندازه گیری با اندازه گیرهای تشعشعی از کلیه اندازه گیرهایی که به آنها اشاره کردیم بیشتر است و مقدار آن به حدود ۴۰۰۰ درجه سانتیگراد می رسد. اندازه گیرهای تشعشعی دما را پیرومتر (pyrometer) گویند. اصل فیزیکی مورد استفاده در پیرومترها این است : اجسام از خود انرژی تشعشع می کنند. این انرژی به صورت امواج الکترومغناطیسی است که طول موج آن ها از حوزه امواج مرئی (۰.۳۵ الی ۰.۷۵ میکرومتر) تا حوزه امواج مادون قرمز (۰.۷۵ الی ۲۰ میکرومتر) گسترده شده است. در حوزه امواج مرئی انرژی تشعشع شده بصورت رنگ نمایان می شود. مثلا یک قطعه فولاد گداخته رنگ قرمز شدید و فیلامان یک لامپ تنگستن، رنگ سفید ساطع می کنند. یک جسم گرم ممکن است بیشتر انرژی خود را در حوزه امواج مادون قرمز ساطع کند. مثلا یک قطعه فولاد گداخته در دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد مقدار انرژی که در حوزه مادون قرمز ساطع می کند ۱۰۰۰۰۰ بار بیشتر از انرژی است که در حوزه نور مرئی صادر می کند. برای بیان رابطه بین دمای جسم با طول و شدت موج ساطع شده مفهومی بنام جسم سیاه black-body را تعریف می کنیم. جسم سیاه جسمی است که هیچ اشعه ای را از خود عبور نداده و منعکس نمی کند و در واقع یک ساطع کننده کامل است و به بیان دیگر هر گونه گرمایی که به آن داده می شود را جذب نموده و بصورت امواج تشعشع میکند. رابطه بین دما، طول موج و شدت تشعشع توسط رابطه پلانک بیان می گردد. این رابطه بصورت نمودار در شکل (۳-۲۱) آمده است. در حالت کلی می توان گفت انرژی ساطع شده از جسم سیاه متناسب با توان چهارم درجه حرارت آن است. یعنی اگر دمای جسم سیاه دو برابر شود انرژی تشعشع شده توسط آن 2^4 یعنی شانزده برابر می شود.



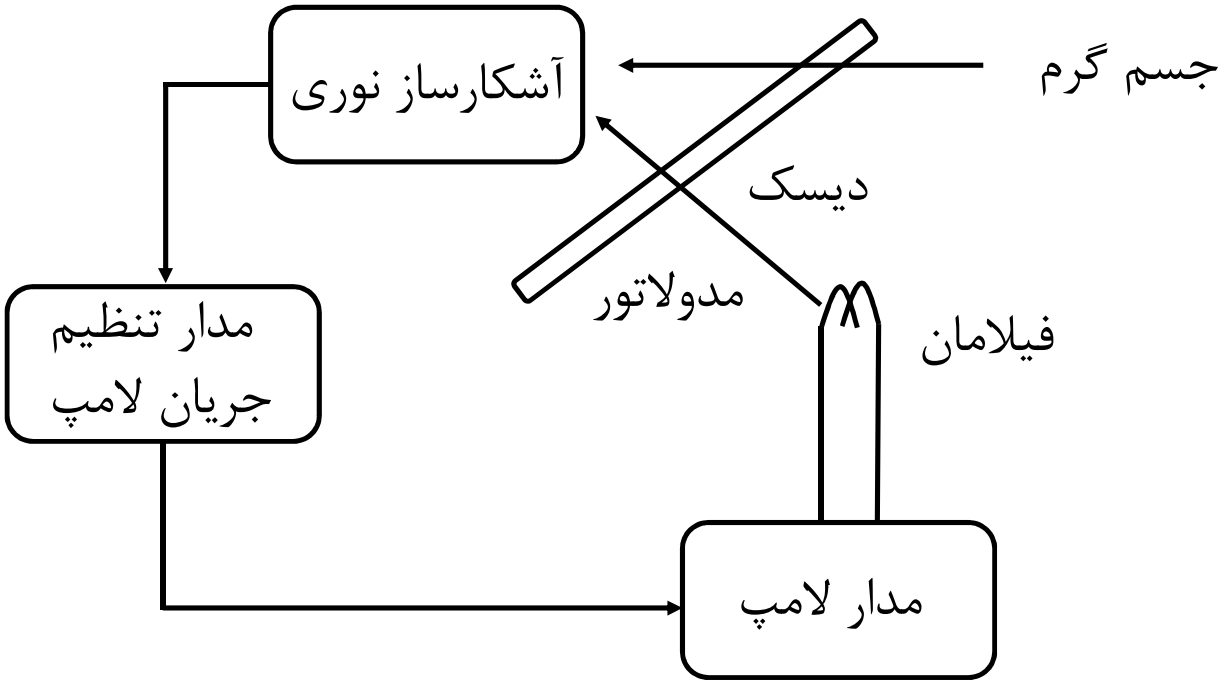
شکل (۳-۲۱) نمودار قانون پلانک برای جسم سیاه

در عمل جسم سیاه به معنای واقعی آن وجود ندارد. بنابراین انرژی که یک جسم عادی در یک دمای مشخص ساطع می کند، بسیار کمتر از انرژی است که یک جسم سیاه در همان دما ساطع می کند. شکل (۳-۲۲) ساختمان کلی یک پیرومتر نوری را نشان می دهد.



شکل (۳-۲۲) ساختمان کلی یک پیرومتر نوری

نور ساطع شده توسط جسم گرم بعد از فیلتر شدن به وسیله عدسی بر روی صفحه به صورت یک زمینه رنگی متمرکز می گردد. از طرف دیگر نور ناشی از یک منبع نورانی قابل تنظیم (لامپ) نیز بر روی صفحه متمرکز شده و جریان لامپ به گونه ای تنظیم می شود که رنگ زمینه با رنگ ناشی از فیلامان لامپ یکسان شوند. در این صورت جریان لامپ که قبلاً با دمای فیلامان مقیاس شده است نشان دهنده دمای جسم گرم خواهد بود. پیرومترهای نوری اگر به خوبی کالیبره و تنظیم گردند نتایج دقیق و خوبی خواهند داد. از آنجائیکه حساسیت چشم انسان محدود بوده و تنها قادر به تشخیص رنگ های (امواج) مرئی است برای افزایش دقت پیرومترها می توان از آشکار سازهای نور الکترونیکی به جای چشم انسان استفاده نمود.



شکل (۳-۲۳) پیرومتر نوری اتوماتیک

در این دستگاه آشکار ساز نوری، نور ناشی از جسم گرم را با نور ناشی از فیلامان مقایسه و جریان فیلامان را به گونه ای تنظیم می کند که شدت دو نور یکسان شوند در این حالت جریان فیلامان با مقیاس مناسب نشان دهنده دمای جسم گرم است.

امروزه پیرومترهای صنعتی به آشکار سازهایی مجهز هستند که قادر به اندازه گیری تشعشع در حوزه مرئی و مادون قرمز (نامرئی) می باشند، بنابراین از دقت بالائی در اندازه گیری دما برخوردار هستند. هنگام استفاده از پیرومترهای نوری باید دقت نمود که گرد و غبار و یا موانعی بین جسم گرم و دوربین اندازه گیری نباشد، چرا که وجود گرد و غبار و بخار موجب نوعی فیلترینگ و حذف یا تضعیف تشعشعات در بعضی طول موج ها می گردد. همچنین تمیز بودن عدسی پرومتر از اهمیت زیادی برخوردار است.

اندازه گیرهای فشار

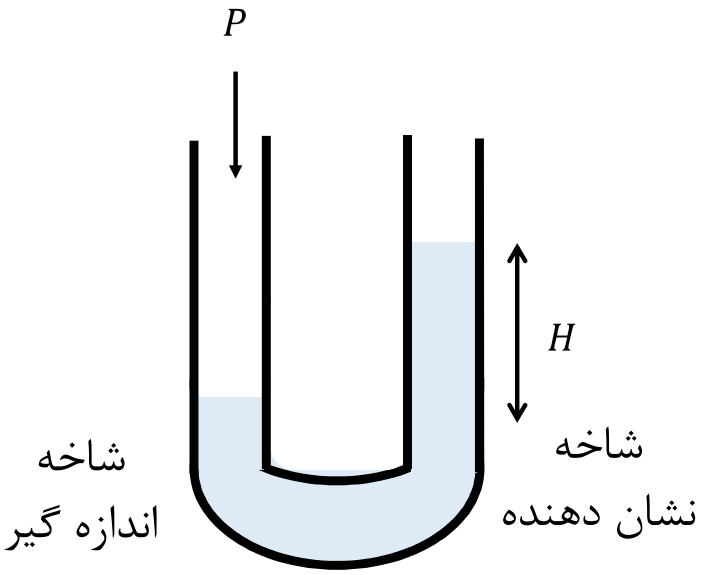
فشار یکی دیگر از کمیت هایی است که در بسیاری از پروسه های صنعتی مایل به اندازه گیری و کنترل آن می باشیم. فشار یعنی مقدار نیروی وارد شده بر واحد سطح :

$$P = \frac{F}{A}$$

در رابطه فوق، F نیرو و A سطحی است که نیرو بر آن اعمال می گردد. همانطور که مشاهده می شود فشار یک کمیت اصلی نیست و حاصل تقسیم کمیت اصلی نیرو بر سطح (مجذور طول) می باشد. با این وجود اندازه گیری فشار بیشتر از اندازه گیری نیرو (وزن) مطرح می گردد و در بسیاری موارد اندازه گیری نیرو از طریق اندازه گیری فشار انجام می شود.

اندازه گیرهای مانومتری

یک اندازه گیر فشار مانومتری در حالت کلی مطابق شکل (۳-۲۴) می باشد.

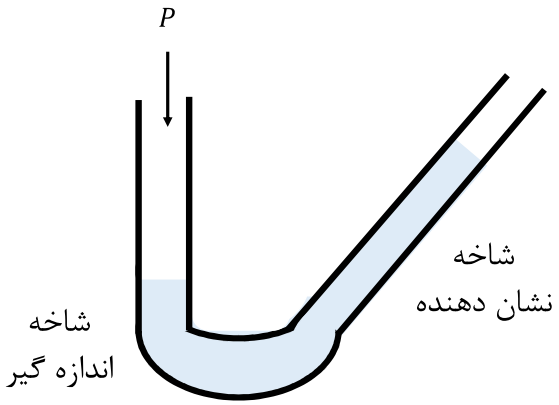


شکل (۳-۲۴) اندازه گیر فشار مانومتری

اصل فیزیکی مورد استفاده در اینجا رابطه زیر است :

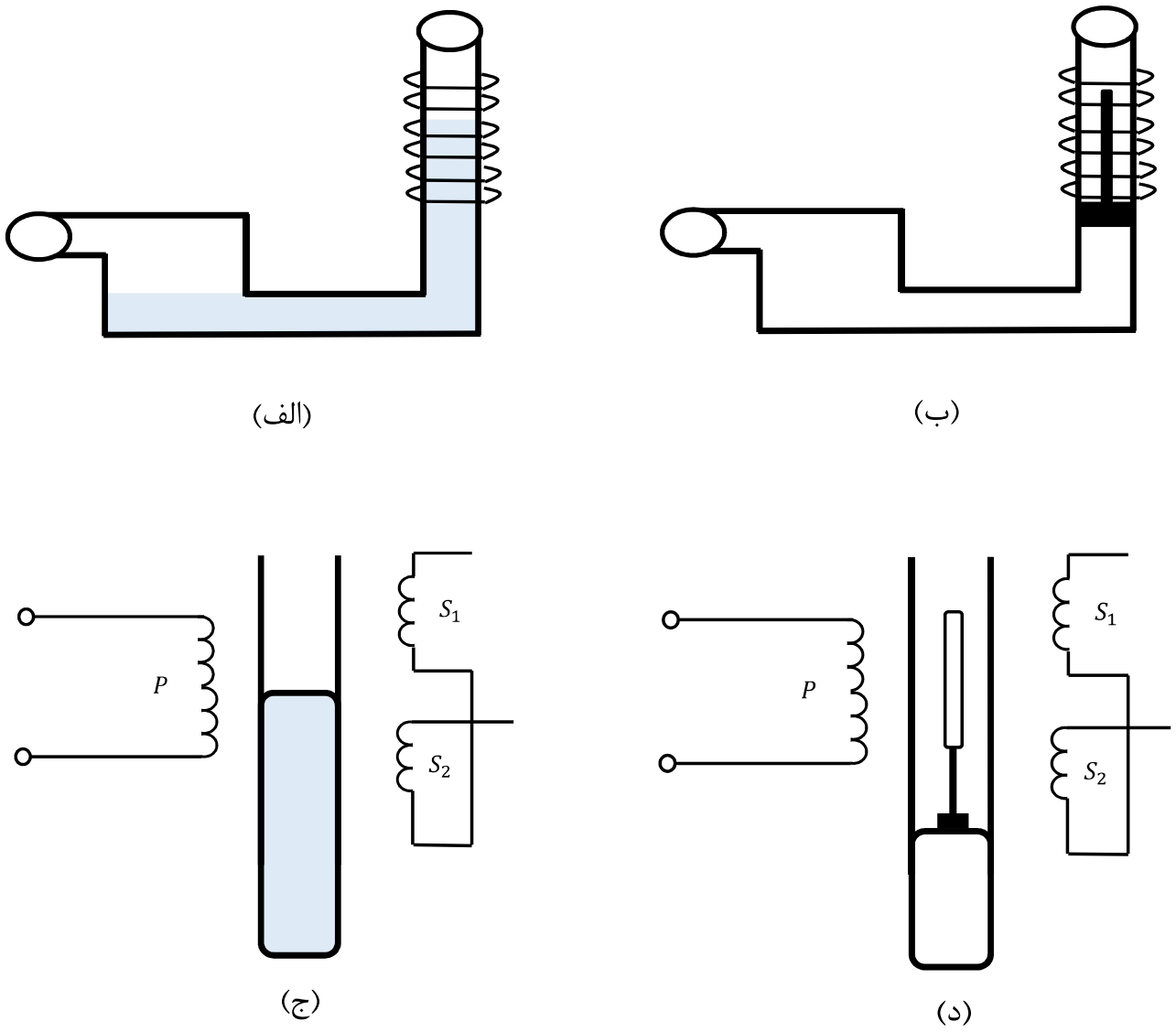
$$P = \rho\, gh$$

در رابطه فوق، ρ جرم مخصوص مایع مانومتر، g شتاب جاذبه و h ارتفاع مایع در شاخه نشان دهنده می باشد برای سهولت در خواندن تغییرات کوچک فشار مانومتر را می توان بصورت شکل (۳-۲۵) ساخت :



شکل (۳-۲۵) اندازه گیر فشار مانومتری با حد تفکیک بهتر

برای اندازه گیری فشارهای بالا معمولاً از سیالی با جرم مخصوص بزرگ مثل جیوه استفاده می شود و برای اندازه گیری فشارهای پائین و به منظور ایجاد حساسیت بیشتر می توان از مایعات سبک تر مثل آب استفاده نمود. اندازه گیرهای نشان داده شده در شکل های (۳-۲۴) و (۳-۲۵) صرفاً نشان دهنده های فشار می باشند اما در کاربردهای کنترلی معمولاً فشار می بایستی به کمیتی دیگر (معمولا الکتریکی) تبدیل و به کنترل کننده ارسال گردد. برای تبدیل طرح کلی نشان دهنده فشار شکل (۳-۲۴) به یک اندازه گیر صنعتی می توان هر یک از طرح های شکل (۳-۲۶) را پیشنهاد نمود :



شکل (۳-۲۶) چند طرح اندازه گیر مانومتری الکتریکی فشار

در شکل (۳-۲۶-الف) با ایجاد یک سیم پیچ به دور لوله نشان دهنده آن را تبدیل به یک اندازه گیر فشار با استفاده از خاصیت سلفی نموده ایم. توجه نمائید که 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 القانی می گردد. در این اندازه گیر، تغییرات فشار را به تغییرات ضریب خود القائی تبدیل می نمائیم. عیب این اندازه گیر آن است که سیال مانومتر باید مغناطیسی باشد. برای رفع این مشکل می توان از طرحی مطابق شکل (۳-۲۶- ب) استفاده نمود. در این طرح به جای سیال مغناطیسی از یک کپسول مغناطیسی شناور بر روی سیال غیر مغناطیسی استفاده می کنیم. در اثر تغییرات فشار، شناور داخل سلف بالا و پائین رفته و ضریب خود القانی آن را تغییر می دهد. برای استفاده از مزایای LVDT می توان از فشار سنج های مانومتری با طرح هایی شبیه به اشکال (۳-۲۶- ج) و (۳-۲۶- د) استفاده نمود. در شکل (۳-۲۶-ج) بالا و پائین رفتن جیوه، کوپلاژ بین سیم پیچ اولیه با سیم پیچ های ثانویه را تغییر می دهد. شکل (۳-۲۶- د) نیز به همین گونه عمل می کند، منتها هسته مغناطیسی خود سوار بر شناور دیگری است و مایع مانومتر نیز لزوما مغناطیسی نمی باشد. این طرح موجب افزایش حوزه اندازه گیری فشار سنج شده و به علاوه امکان استفاده از هسته های مغناطیسی مختلف و تنظیم راحت تر فشار سنج را فراهم می آورد.

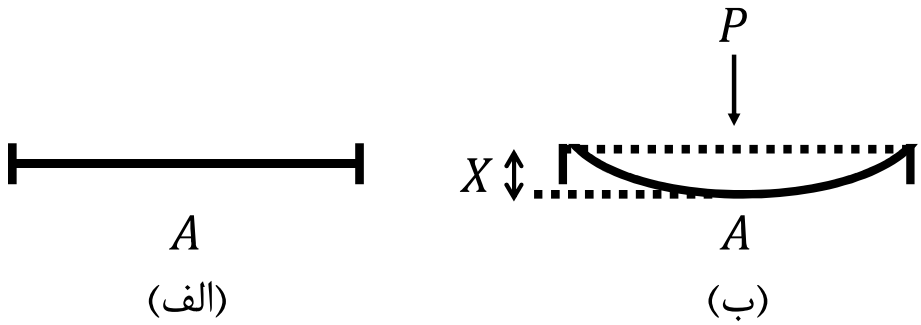
اندازه گیرهای فشار مانومتری ساده و ارزان هستند و معمولاً فشار نسبی را اندازه گیری می نمایند. به عبارت دیگر فشار مورد اندازه گیری را نسبت به فشار محیط می سنجند. برای اندازه گیری فشار مطلق می بایستی فضای بالای لوله نشان دهنده را از هوا تخلیه و مسدود نمود. از آنجائیکه اندازه گیرهای مانومتری معمولاً از شیشه ساخته می شوند خطر شکستگی کار با آنها را در محیط های صنعتی دشوار می کند به علاوه تبخیر مایع مانومتر و یا تغییر خواص آن در شرایط آب و هوائی و دماهای مختلف ممکن است موجب بروز خطا در اندازه گیری گردد. در صورتیکه از جیوه بعنوان مایع مانومتر استفاده شود می بایستی به خاصیت سمی آن نیز توجه نمود.

اندازه گیرهای با خاصیت ارتجاعی در برابر فشار :

مواد در برابر فشار تغییر شکل می دهند از این خاصیت در ساخت فشار سنج های ارتجاعی استفاده می شود. اینگونه فشار سنج ها با توجه به شکل ماده ارتجاعی به چندین دسته تقسیم بندی می شوند که در اینجا به انواع معروف آنها اشاره می کنیم.

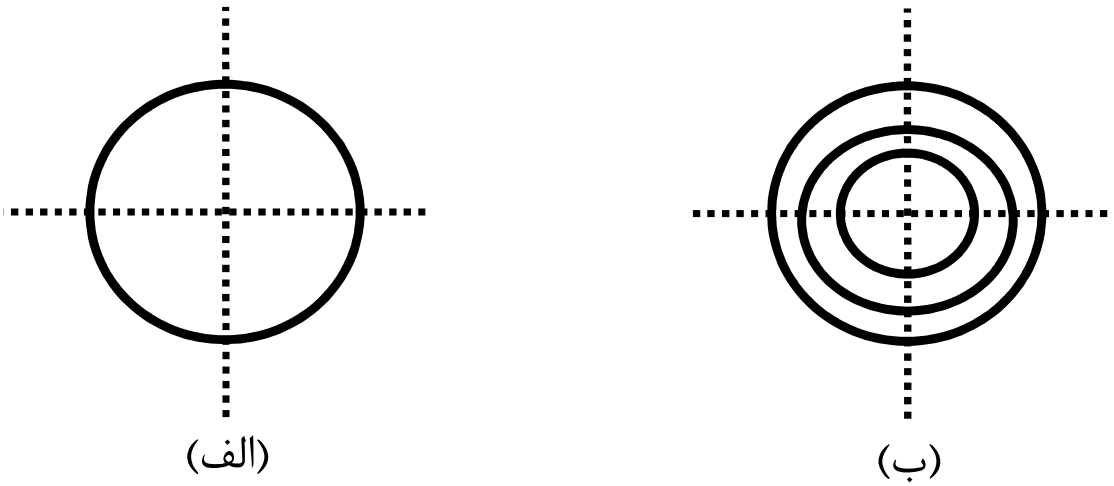
اندازه گیر فشار دیافراگمی

اصول کار یک اندازه گیر فشار دیافراگمی مطابق شکل (۳-۲۷) می باشد :



شکل (۳-۲۷) اصل مورد استفاده در اندازه گیر فشار دیافراگمی

در اثر اعمال فشار بر صفحه A ، سطح A تغییر شکل داده و به شکل (۳-۲۷- ب) در می آید. سطح را می توان به اندازه ای گرفت تا تغییرات X نیز به نوبه خود بزرگ بوده و اندازه گیر حساسیت 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 فشارهای پایین تر مورد استفاده قرار می گیرند. برای اندازه گیری فشارهای بالاتر از دیافراگم های فلزی استفاده می کنیم. دیافراگم های فلزی از فلزاتی نظیر برنز، برنج، آلیاژهای مس، فولاد ضد زنگ، برلیوم و آلیاژهای مخصوص دیگر ساخته می شوند و مطابق شکل (۳-۲۸) بصورت چین دار یا تخت می باشند.



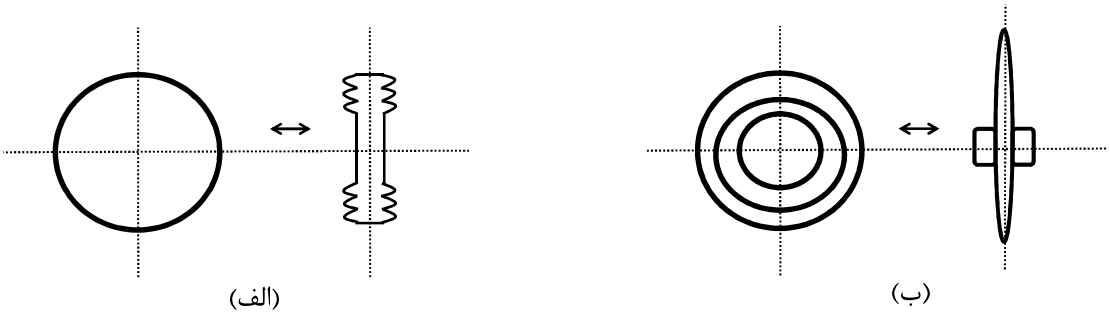
شکل (۳-۲۸) چند نمونه دیافراگم

دیافراگم های فلزی چون با فشارهای بالاتر کار می کنند معمولاً کوچکتر ساخته می شوند و ابعاد آنها به ضخامت فلز مورد استفاده، مدول الاستیسیته، شکل و تعداد چین های دیافراگم بستگی دارد. دیافراگم ها از هر جنس که باشند به گونه ای ساخته می شوند که اندازه تغییر شکل آنها متناسب با فشار اعمالی باشد. از آنجائیکه دیافراگم های غیر فلزی در ابعاد بزرگتر ساخته می شوند معمولاً نیاز به یک فنر نگهدارنده دارند تا از خمیدگی آنها در حالت تعادل جلوگیری شود. اما دیافراگم های فلزی چون محکم تر هستند و در ابعاد کوچکتر ساخته می شوند نیاز به فنر نگهدارنده ندارند برای آشکار سازی فشار و تبدیل جابجائی دیافراگم به کمیتی قابل ارسال به کنترل کننده، روش های گوناگونی وجود دارند که در واقع همان روش های معمول اندازه گیری جابجایی می باشند.

اندازه گیر فشار کپسولی :

یک کپسول از دو دیافراگم فلزی تشکیل شده که در محیط به یکدیگر جوش شده اند. فضای بین دو دیافراگم با سیال تراکم ناپذیری با ویژگیهای مخصوص پر شده است شکل (۳-۲۹) یک کپسول را نشان می دهد.

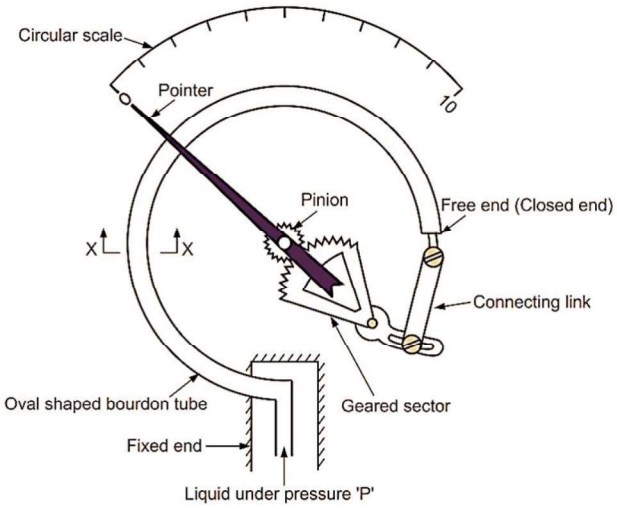
در بعضی طرح ها می توان چندین کپسول را با یکدیگر سری نمود. در این حالت جابجایی ناشی از فشار برابر مجموع جابجائی های کپسول ها می باشد و بدین ترتیب شیب اندازه گیر افزایش می یابد.



شکل (۳-۲۹) دو نمونه اندازه گیر فشار کپسولی

اندازه گیر لوله بوردن :

این اندازه گیر در سال ۱۸۵۲ توسط بوردن اختراع گردید. اساس کار این اندازه گیر در شکل (۳-۳۰) آمده است.

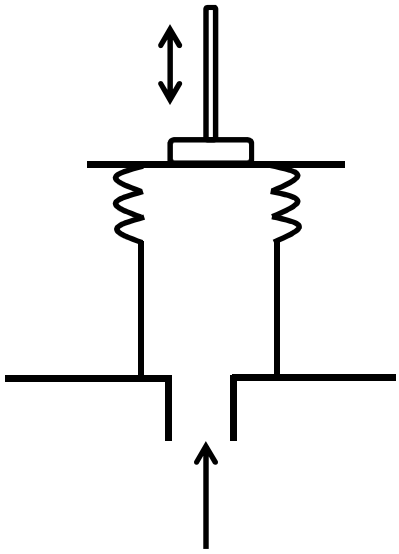


شکل (۳-۳۰) اندازه گیر فشار لوله بوردن

لوله بوردن یک لوله مسدود با شکل دسته عصا میباشد (حدود ۲۵۰ درجه) که وقتی فشار به آن اعمال شود به دلیل تفاوت اندازه محیط بیرونی و درونی تمایل به راست شدن پیدا می کند. در این حالت اندازه تغییر وضعیت لوله متناسب با فشار مورد اندازه گیری است. حوزه اندازه گیری لوله بوردن بیشتر از دیافراگم و کپسول می باشد و معمولاً برای اندازه گیری فشارهای بالا مورد استفاده واقع می شود. در عمل ممکن است لوله بوردن بر حسب کاربرد به صورت های دیگر نیز ساخته شود.

۳ اندازه گیر دم (بلوز) :

دم یا بلوز ساختمانی شبیه به آکاردئون با دم آهنگری دارد. شکل (۳-۳۱) ساختمان کلی یک دم را نشان می دهد.



شکل (۳-۳۱) اندازه گیر فشار دم

ساختار آکاردئونی دم موجب انبساط آن در اثر اعمال فشار می شود و اندازه جابجائی متناسب با فشار مورد اندازه گیری است. رابطه فشار با باز و بسته شدن دم شبیه به رابطه ای است که در یک فنر وجود دارد و می توان آن را به صورت زیر نوشت :

$$X = K_S\,(PA)$$

در رابطه فوق، P فشار مورد اندازه گیری و A سطح دم است و K_S را ضریب دم (ضریب فنری) می گوئیم. معمولاً حوزه جابجائی دم حدود ۵ الی ۱۰٪ کل طول آن می باشد. توجه نمائید از آنجائیکه فشار محیط خارج دم فشار اتمسفر می باشد، بنابراین دم، فشار نسبی را اندازه گیری می نماید.

آلیاژهایی که برای ساخت دم استفاده می شود معمولاً همان آلیاژهایی هستند که برای ساخت دیافراگم های فلزی و کپسول ها مورد استفاده قرار می گیرند. دمها در ساخت مبدل ها و انتقال دهنده ها نیز کاربرد فراوان دارند و عناصری محکم و با دوام می باشند. برای آشکار سازی جابجایی دم ها از روش های مختلف آشکار سازی جابجائی می توان استفاده نمود.

اندازه گیرهای دیافراگمی، کپسول ها، لوله بوردن و دم ها چهار نمونه اصلی اندازه گیرهای ارتجاعی فشار می باشند و مزیت عمده آنها سادگی، استحکام و دوام آنها است. نکته مهم در این اندازه گیرها کیفیت آلیاژی است که در ساخت آن مورد استفاده قرار می گیرد و معمولاً سازندگان انگشت شماری تجربه و مهارت کافی برای ساخت آن را دارند و مشخصات این آلیاژها جزء اسرار کمپانی سازنده می باشد. اندازه گیرهای فوق بطور گسترده در صنایع نفت و گاز، کشتی ها و هواپیماها و سایر صنایع مورد استفاده قرار می گیرند.

اندازه گیرهای الکتریکی فشار :

در اندازه گیرهای مانومتری و ارتجاعی معمولاً فشار اندازه گیری شده می بایستی تبدیل به کمیتی الکتریکی گردد. این امر استفاده از قطعات و اجزای اضافی و افزایش هزینه را به دنبال دارد و همچنین احتمال وارد شدن نویز و ایجاد خطا را افزایش می دهد. اندازه گیرهای الکتریکی فشار علاوه بر مزایای خاص اندازه گیرهای الکتریکی، فشار را مستقیما به کمیتی الکتریکی تبدیل می نمایند و از این نظر صرفه جوئی قابل ملاحظه ای در هزینه می شود و همچنین دقت اندازه گیری نیز افزایش می یابد.

استرین گیج ها (strain - gages)

استرین گیج ها معروف ترین اندازه گیرهای الکتریکی فشار می باشند و اساسا برای اندازه گیری فشارهای بالا مورد استفاده قرار می گیرند در مواردی برای اندازه گیری فشارهای کوچک نیز ممکن است از استرین گیج استفاده نمائیم.

استرین گیج ها در اصل اندازه گیر استرین یا تنش می باشند. استرین یا تنش به عبارتی به معنی تغییر شکل اجسام در اثر نیروی اعمالی به آنها می باشد.

هرگاه بر جسمی نیرو وارد شود (کشش یا فشار) جسم در جهت نیرو تغییر طول می دهد. نسبت این تغییر طول به طول اولیه جسم را تنش میگوییم.

$$\sigma = \frac{\Delta L}{L_0}$$

در رابطه فوق ΔL تغییر طول، L_0 طول اولیه و σ تنش است. قانون هوک رابطه تنش با نیروی اعمالی (فشار) را بیان می دارد :

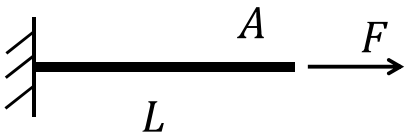
$$P = \frac{F}{A} = Y\sigma = Y.\frac{\Delta L}{L_0}$$

در این رابطه P فشار، F نیرو و A سطح جسم است که نیرو بر آن وارد می شود. Y ضریبی است که به آن مدول یانگ می گوئیم. پس بطور خلاصه این رابطه بیان می دارد که هرگاه جسمی تحت فشار (نیرو) قرار گیرد تغییر طول می دهد و این تغییر طول از رابطه فوق به دست می آید.

مقاومت الکتریکی یک جسم با ابعاد و ویژگی های الکتریکی آن جسم رابطه دارد. رابطه ای که این ارتباط را بیان میدارد به صورت زیر است :

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

در این رابطه، L طول جسم، A مقطع آن و ρ ضریبی است که مقاومت مخصوص جسم نامیده می شود رابطه فوق نشان می دهد که هرگاه طول جسم افزایش یا مقطع آن کاهش یابد مقاومت الکتریکی جسم افزایش می یابد.



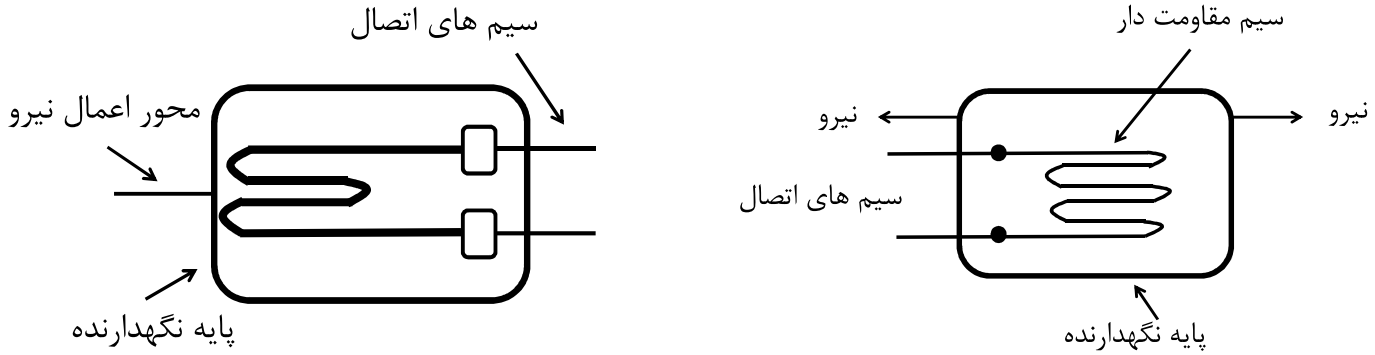
شکل (۳-۳۲) اصل مورد استفاده در استرین گیج ها

مطابق شکل (۳-۳۲) سیمی به طول L و مقطع A را در نظر بگیرید ، هرگاه سیم تحت نیروی کشتی F قرار گیرد طول آن افزایش و مقطع آن کاهش می یابد که هر دو باعث افزایش مقاومت الکتریکی می شوند. اگر طول سیم بسیار بزرگتر از مقطع آن باشد افزایش طول به مراتب بیشتر از کاهش مقطع است و عملا می توان از تغییرات مقطع صرف نظر نمود. افزایش طول به نوبه خود موجب افزایش مقاومت الکتریکی سیم می گردد بنابراین در اینجا با دو اثر روبرو هستیم یکی افزایش طول در اثر نیروی کششی و دوم افزایش مقاومت در اثر افزایش طول. در استرین گیج ها برای آنکه نشان دهیم در اثر یک تغییر طول چه تغییر مقاومتی در آن حاصل می شود، ضریبی به نام فاکتور گیج را تعریف می کنیم که بصورت زیر بیان می شود :

$$Gf = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

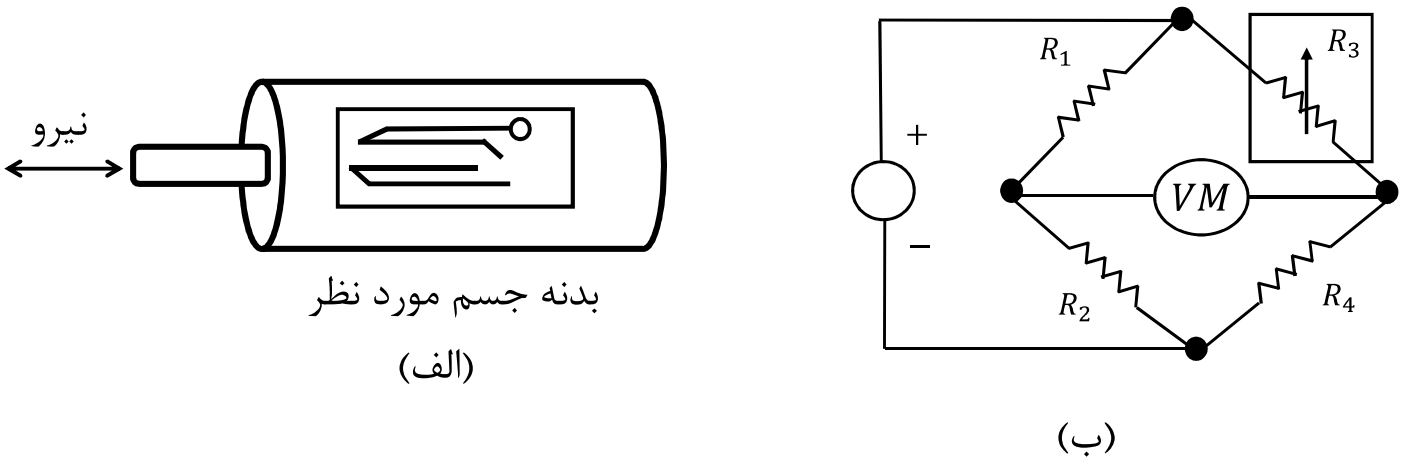
در رابطه فوق R و L به ترتیب مقاومت و طول جسم در حالت آزاد (بدون اعمال نیرو) می باشند. فاکتور گیج در استرین گیج های صنعتی حدود ۲ می باشد به این معنی که اگر طول جسم به اندازه ۱٪ تغییر کند. مقاومت آن به اندازه ۲٪ تغییر خواهد کرد.

استرین گیج ها را معمولاً از سیم هایی با آلیاژ مس - نیکل می سازند. قطر این سیم ها حدود ۰.۰۲ میلی متر است و برای آنکه در اثر یک نیروی معین تغییر طول بیشتری داشته باشیم، معمولاً آنها را به شکل زیگزاگی می سازند و بر روی یک صفحه پایه ارتجاعی از جنس پلاستیک های مقاوم می چسبانند. در این حالت ابعاد حاصل از چند میلی متر مربع تا چندین سانتی متر مربع می باشد شکل (۳-۵۶) نمونه ای از استرین گیج را نشان می دهد. مقاومت استرین گیج ها از چند ده تا چند هزار اهم می باشد.



شکل (۳-۳۳) نمای کلی استرین گیج ها

استرین گیج ها به دو دسته باند شده و باند نشده تقسیم می شوند. شکل (۳-۳۲) نوعی استرین گیج باند نشده است، چرا که یک طرف آن به جایی متصل و محکم شده و طرف دیگر آن آزاد است. از استرین گیج های باند نشده معمولاً فقط برای اندازه گیری کشش استفاده می کنیم. استرین گیج های باند شده مطابق شکل (۳-۳۴) بر روی پایه خود کاملا محکم چسبانده شده اند. برای اندازه گیری تنش پایه را نیز محکم بر روی جسم مورد نظر می چسبانیم. مطابق شکل (۳-۳۴) استرین گیج ، پایه و جسم به طور یک پارچه به یکدیگر متصل و محکم شده اند و هادی های استرین گیج مجبور به تبعیت از تغییرات طول جسم در جهت نیرو می باشند. به همین دلیل به آن استرین گیج باند شده می گوئیم استرین گیج های باند شده برای اندازه گیری کشش و فشار مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل (۳-۳۴) اندازه گیری و آشکارسازی تنش با استرین گیج

مثال: یک استرین گیج با ضریب $Gf = 4$ برای اندازه گیری تنش به یک میله فلزی متصل شده است. اگر طول میله در اثر تنش از ۰.۲۵ متر به ۰.۲۵۵ متر تغییر کند .درصد تغییر مقاومت استرین گیج چقدر خواهد بود؟ اگر مقاومت بدون تنش $۱۲۰\,\Omega$ باشد ،مقاومت بعد از تنش چقدر است؟

$R_O = 120\ \Omega$

$\Delta L = L' - L_0 = 0.255 - 0.25 = 0.005m$

$\Delta R = R' - R_0 = 0.255 - 0.25 = 0.005m$

$Gf = \frac{\Delta R/R_0}{\Delta L/L_0} = \frac{L_0 . \Delta R}{\Delta L . R_0} = 4$

$0.4166 \times \Delta R = 4$

$\Delta R = 9.6$

$\Delta R = R' - R_0 = 0.255 - 0.25 = 0.005m$

$9.6 = R' - 120 ----> R' = 129.6$

اندازه گیرهای ظرفیتی(خازنی) فشار:

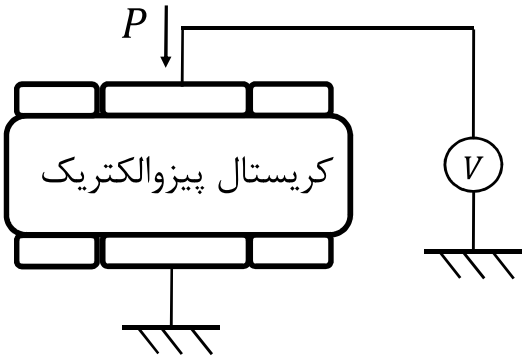
ظرفیت یک خازن در حالت کلی از رابطه زیر به دست می آید :

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

در این رابطه ε ضریب دی الکتریک، A سطح جوشن ها و d فاصله جوشن های خازن از یکدیگر می باشند که تغییر هریک از این اجزاء موجب تغییر ظرفیت خازن می گردد. 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.

اندازه گیری پیزو الکتریکی فشار:

عناصر پیزو الکتریکی، عناصری با قابلیت تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی و برعکس می باشند. مطابق شکل (۳-۳۵) هر گاه یک عنصر پیزو الکتریکی مثل کوارتز تحت فشار P قرار گیرد، میلی ولتمتر، ولتاژی متناسب با فشار را نشان می دهد. از این خاصیت برای اندازه گیری فشار می توان استفاده نمود.



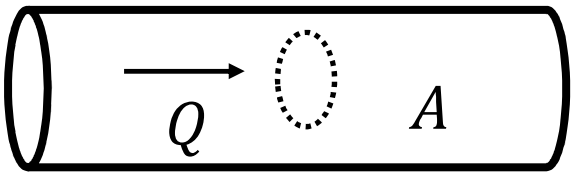
شکل (۳-۳۵) اندازه گیر پیزوالکتریکی فشار

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.

اندازه گیرهای فلو :

در بسیاری از پروسه های صنعتی مایل به اندازه گیری و کنترل فلو یا دبی می باشیم. صنایع نفت و گاز، صنایع شیمیائی و پتروشیمی و صنایع غذائی مثال های معروفی از این موارد می باشند. از طرف دیگر گاهی کنترل فلو به عنوان یک کمیت اولیه منجر به کنترل کمیت دیگری بعنوان کمیت ثانویه می شود. به عنوان مثال می توان از کنترل دبی سوخت (کمیت اولیه) به منظور کنترل درجه حرارت (کمیت ثانویه) نام برد. همچنین در مواردی کنترل سطح سیال در مخزن و یا کنترل فشار از طریق کنترل فلو انجام می گردد. به دلایل فوق اندازه گیری فلو در کنترل صنعتی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

فلو یا دبی بصورت حجمی یا جرمی در نظر گرفته می شود. برای روشن تر شدن مطلب شکل (۳-۳۶) را در نظر بگیرید :



شکل (۳-۳۶) بیان دبی حجمی از میان یک لوله

در این شکل سیال از لوله ای به مقطع A در حال عبور است. 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 و جرم مخصوص آن ρ باشد، دبی حجمی و جرمی به سادگی از روابط زیر بدست می آیند :

$Q = V \,.\, A$ دبی حجمی

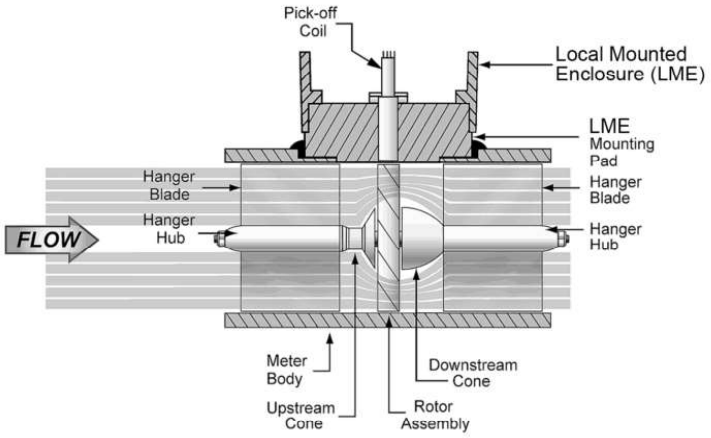
$Q = \rho \,.\, V \,.\, A$ دبی جرمی

در اغلب پروسه ها ρ و A معلوم هستند و بنابراین اندازه گیری فلو حجمی یا فلو جرمی مترادف با اندازه گیری 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 فلومترها در واقع نوعی اندازه گیر سرعت سیال می باشند.

فلومتر توربینی :

شکل (۳-۳۷) یک فلومتر توربینی را نشان می دهد. مطابق شکل یک توربین در مسیر سیال در حال حرکت قرار گرفته است. طرف دیگر توربین متصل به یک هسته مغناطیسی است. در مقابل هسته و در پوسته خارجی فلومتر سیم پیچ آشکارساز قرار دارد. عبور هسته مغناطیسی از مقابل سیم پیچ موجب القاء نیروی محرکه در آن میشود. 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 القاء می گردد. در طرح های جدید هسته و سیم پیچ آشکار ساز را به گونه ای می سازند که سرعت سیال تبدیل به فرکانس پالس می شود و با شمارش پالس ها و میانگین گیری توسط مدارات مربوطه ، سرعت سیال و به دنبال آن فلو حجمی یا جرمی را بدست می آورند. این فلومترها

برای اندازه گیری فلوی سیال های تمیز مناسب می باشند و در صورتیکه سال دارای ذرات و ناخالصی های معلق و چسبنده باشد اندازه گیری با مشکلاتی روبرو خواهد شد. همچنین این فلومتر می بایستی در مسیر لوله های مستقیم نصب گردد.



شکل (۳-۳۷) اندازه گیر فلومتر توربینی

اشکال عمده این فلومترها ایجاد مزاحمت و اخلال در حرکت طبیعی سیال می باشد و ممکن است خود باعث تغییر فلوی مورد اندازه گیری شوند. خوردگی و نیاز به تعمیرات از معایب دیگر آن ها می باشد. همچنین این فلومترها برای اندازه گیری جریان های کم مناسب نمی باشند.

فصل چهارم

کنترل کننده ها

۴-۱- کنترل کننده ها :

در فصل اول گفتیم که کنترل کننده ها یکی از قسمت های مهم و حساس در حلقه کنترل صنعتی باشند. زیرا عملکرد حلقه کنترل، نهایتا از طریق کنترل کننده تعیین و تنظیم می شود.

در نمایش جعبه ای شکل (۱-۵) مقایسه کننده و کنترل کننده را به صورت دو بلوک مجزا نشان داده ایم اما در عمل، مقایسه کننده و کنترل کننده به طور یک جا و به صورت یک واحد ساخته می شوند و عمل مقایسه خروجی با رفتار مطلوب نیز در کنترل کننده انجام می گردد. ما نیز در این فصل کار مقایسه کنندگی و کنترل کنندگی را به طور یکجا تحت نام کنترل کنندگی مورد بررسی قرار می دهیم. بدین ترتیب وظیفه کنترل کننده در یک حلقه کنترل صنعتی را به صورت زیر بیان می نمائیم : " کنترل کننده با توجه به خطای موجود (اختلاف رفتار پروسه با رفتار مطلوب) با در نظر گرفتن قوانین (استراتژی کنترل) که طراح به آن یاد داده است، دستوری را جهت اصلاح خطا به قسمتهای بعدی (محرک ، عنصر نهائی) ارسال می دارد "

کنترل کننده ها را از دو نظر می توان دسته بندی نمود :

الف) از نظر نیرو یا انرژی محرکه

ب) از نظر قانون کنترل یا عملیاتی که بر روی سیگنال خطا انجام می دهند .

۴-۲- کنترل کننده ها از نظر نیرو و انرژی محرکه :

کنترل کننده ها را از نظر نیرو و انرژی محرکه به سه دسته اصلی تقسیم بندی می کنند :

۱) کنترل کننده های الکتریکی و الکترونیکی
۲) کنترل کننده های پنوماتیکی (بادی)
۳) کنترل کننده های هیدرولیکی (روغنی)

تقسیم بندی فوق از آنجا ناشی می گردد که اساسا سیستم های صنعتی نیز از نظر نوع نیروی محرکه به سه دسته الکتریکی، پنوماتیکی و هیدرولیکی تقسیم بندی می شوند. معمولا هر سیستم ، کنترل کننده نظیر خود را مورد استفاده قرار می دهد. بدیهی است حالت های ترکیبی نیز می توانند وجود داشته باشند، مثلا یک کنترل کننده می تواند الکتروپنوماتیک یا الکتروهیدرولیک و ... باشد. سیستم های الکتریکی ، پنوماتیکی و هیدرولیکی هر یک مزایا و کاربرد مخصوص به خود را دارند. در مواردی که به نیروهای عظیم با نسبت نیرو به وزن بزرگ احتیاج باشد از سیستم های هیدرولیک استفاده می کنیم مانند پرس های سنگین و کشتی های بزرگ. در محل هایی که خطر آتش سوزی وجود دارد ویا در محیط های تمیز و بهداشتی معمولا از سیستم های پنوماتیکی استفاده می کنیم، مانند صنایع نفت و گاز و صنایع غذائی. در کاربردهای عادی و مواردی که برای انتقال نیرو نیاز به مکانیزم های پیچیده و زیاد نباشد، از سیستم های الکتریکی و معمولا موتورهای الکتریکی استفاده می کنیم.

۴-۳ کنترل کننده ها از نظر قانون کنترل :

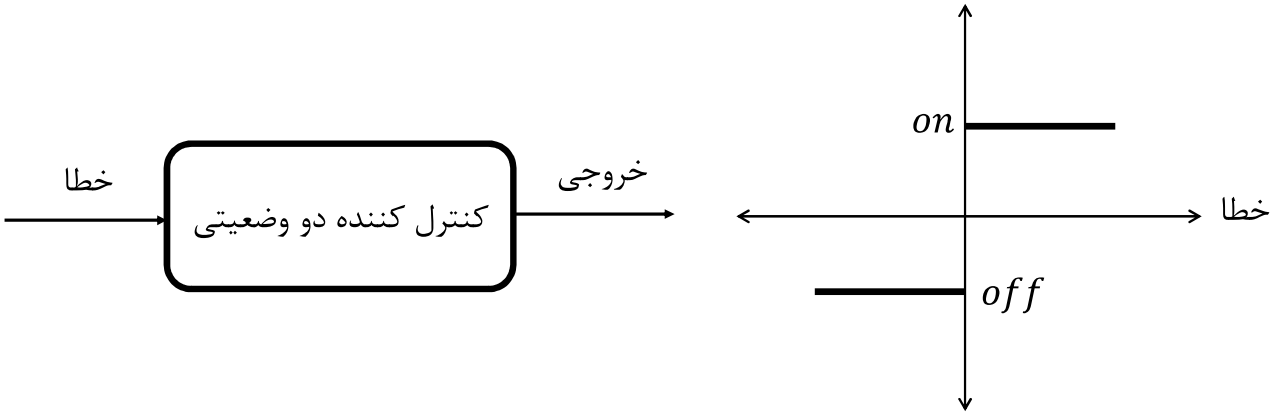
کنترل کننده ها را از نظر قانون کنترل یا عملی که بر روی سیگنال خطا انجام می دهند به چند دسته زیر تقسیم بندی می کنند.

۱) کنترل کننده های دو وضعیتی
۲) کنترل کننده های تناسبی (proportional)
۳) کنترل کننده های انتگرالی (integral)
۴) کنترل کننده های مشتق گیر (derivative)
۵) کنترل کننده های تناسبی - انتگرالی (PI)
۶) کنترل کننده های تناسبی - مشتق گیر (PD)
۷) - کنترل کننده های تناسبی - انتگرالی - مشتق گیر (PID)

درک عملکرد هر یک از انواع فوق از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا این سوال همواره برای مهندسین وجود دارد که برای کنترل یک پروسه خاص از چه کنترل کننده ای می باید استفاده نمود و چگونه آن را تنظیم کرد؟ بدیهی است که انتخاب و تنظیم کنترل کننده ها منوط به شناخت و درک خواص آن ها است.

۴-۳-۱- کنترل کننده های دو وضعیتی (off/on) :

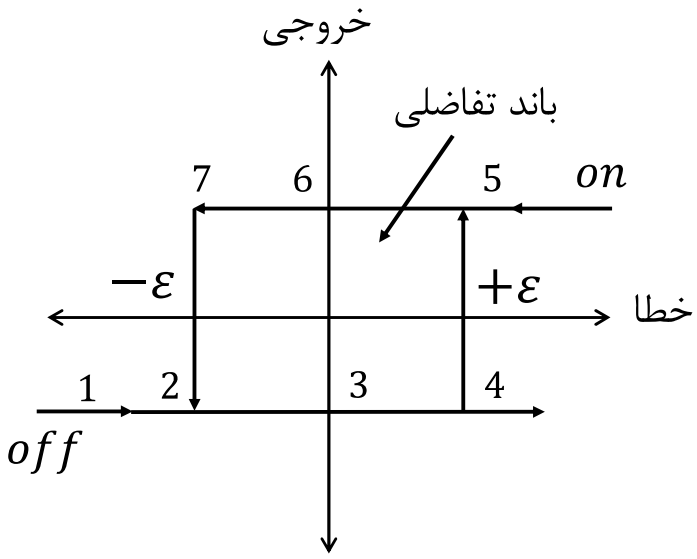
مشخصه و عملکرد این کنترل کننده در شکل (۴-۱) نمایش داده شده است.



شکل (۴-۱) مشخصه کنترل کننده دو وضعیتی

همانطور که از نام آن پیدا است، خروجی این کنترل کننده تنها دو حالت روشن یا خاموش (on / off) می تواند داشته باشد. مطابق مشخصه (۴-۱) 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 نماید و در صورتی که مقدار کمیت تحت کنترل بیشتر از مقدار مطلوب باشد (خطای منفی) کنترل کننده فرمان خاموش شدن (off) را به محرک و عنصر نهائی ارسال می دارد.

نمونه ساده و متداول کنترل کننده های دو وضعیتی را می توان ترموستات سماور برقی مثال زد. در سماور برقی با یک حلقه کنترل دما روبرو هستیم و همانطور که می دانید اگر دمای آب کمتر از مقدار مطلوب باشد، ترموستات وصل (on) و المنت (عنصر نهائی) تولید گرما می نماید و در صورتی که دمای آب بیشتر از مقدار مطلوب شود، ترموستات قطع (off) و المنت خاموش می گردد. مشخصه (۴-۱) دارای یک اشکال عملی مهم می باشد و آن اینکه بدلیل اثر اغتشاشات مختلف (هر چند تا چیز) بر پروسه ، که به هر حال همیشه وجود دارند، خطای سیستم هیچگاه صفر نشده و کنترل کننده همواره در حال قطع و وصل (off / on) است و این امر موجب استهلاک کنترل کننده و عناصر محرک و نهائی می گردد. در عمل کنترل کننده دو وضعیتی را با هیسترزیس و باند مرده یعنی با مشخصه ای مطابق شکل (۴-۲) می سازند. باند مرده (Dead Band) را باند تفاضلی (differential - gap) نیز می نامند. در این مشخصه مادامی که خطا از باند تفاضلی تجاوز نکند کنترل کننده در وضعیت قبلی خود باقی می ماند.



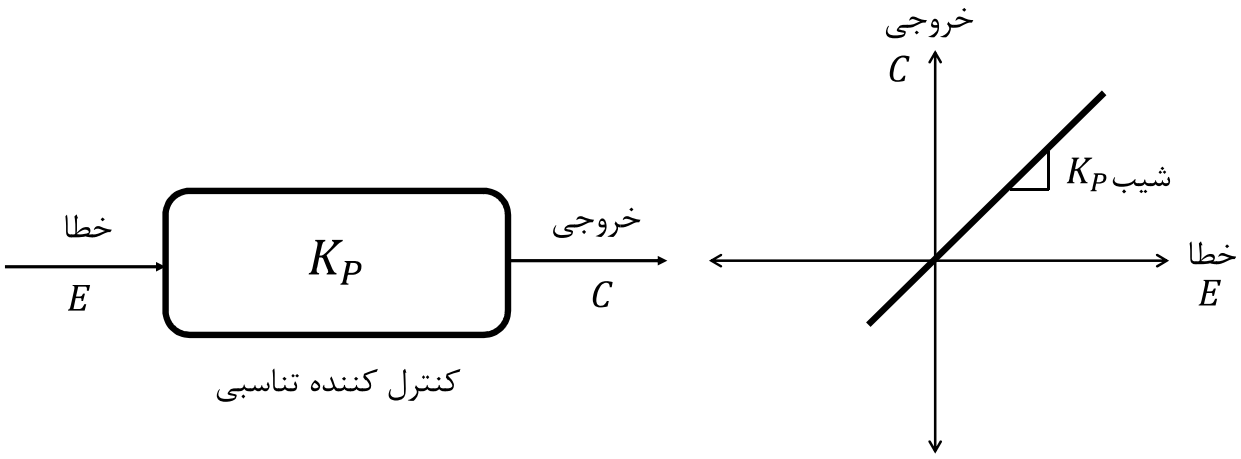
شکل (۴-۲) مشخصه کنترل کننده دو وضعیتی با باند تفاضلی

برای تشریح عملکرد این کنترل کننده فرض کنید خطا مقداری منفی و کنترل کننده در وضعیت قطع (off) در نقطه (۱) قرار گرفته باشد. با قطع بودن کنترل کننده اندازه خطا کم کم کاهش یافته و به نقطه (۲) و سپس به نقطه (۳) یعنی جایی که خطا صفر است می رسیم. در این حالت کنترل کننده همچنان قطع بوده و خطا کم کم مثبت می گردد تا به مقدار $\varepsilon+$ (نقطه ۴) می رسد. در اینجا کنترل کننده وصل شده (نقطه ۵) و موجب تصحیح خطا و حرکت به سمت نقطه ۶ و ۷ می شود. همانطور که ملاحظه می فرمائید کنترل کننده برای خطاهای مثبت تا $\varepsilon+$ و خطاهای منفی تا $\varepsilon-$ عکس العملی نشان نداده و در حالت قبلی خود باقی می ماند. این امر موجب جلوگیری از قطع و وصل مداوم کنترل کننده می شود.

باند تفاضلی در کنترل کننده های دو وضعیتی معمولاً قابل تنظیم می باشد و استفاده کننده بر حسب نیاز مقدار آن را تنظیم می نماید. مثلا در یک کنترل دو وضعیتی دما هرگاه باند تفاضلی را روی ۱۰ درجه تنظیم نمائیم، در صورتی که دمای مطلوب ۸۰ درجه سانتیگراد تعیین شود، دمای پروسه عملا ممکن است بین ۷۵ تا ۸۵ درجه تغییر نماید. از مزایای مهم کنترل کننده های دو وضعیتی می توان به سادگی و ارزانی آنها اشاره نمود و عیب اصلی آنها عدم دقت و وجود خطای همیشگی در حلقه کنترل می باشد با این وجود در کنترل پروسه هایی که نیاز به دقت بالا نداریم کنترل کننده های دو وضعیتی بهترین انتخاب می باشند.

۴-۳-۲- کنترل کننده های تناسبی (proportional) :

عملکرد و مشخصه یک کنترل کننده تناسبی مطابق شکل (۳-۴) می باشد .



شکل (۴-۳) مشخصه کنترل کننده تناسبی

در اینجا خروجی کنترل کننده، ضریبی از خطای سیستم می باشد. این ضریب را ضریب تناسب می گوئیم و با K_P نمایش می دهیم.

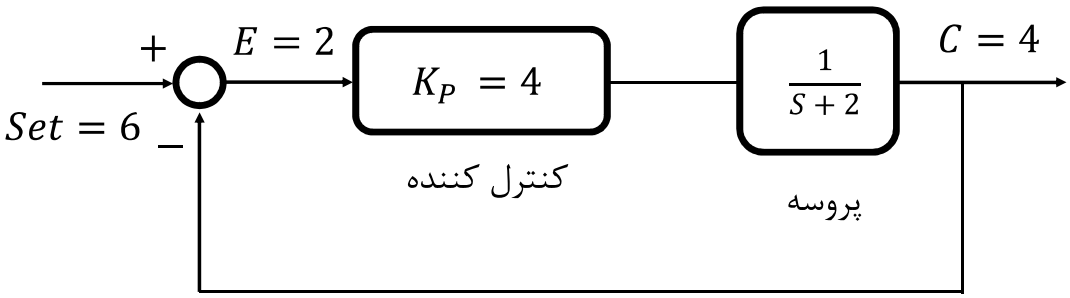
کنترل کننده های تناسبی برای رفع مشکل قطع و وصل های مکرر در کنترل کننده های دو وضعیتی ساخته شده اند. گین کنترل کننده های تناسبی قابل تنظیم می باشد و گاهی به جای گین از اصطلاح باند تناسبی (PB) که طبق رابطه زیر با گین مربوط می شود استفاده می کنیم :

$$\% \text{ PB} = \frac{100}{K_P}$$

با استفاده از کنترل کننده های تناسبی و تنظیم درست گین، می توان دقت و حساسیت بیشتری در کنترل یک پروسه نسبت به کنترل کننده های دو وضعیتی به وجود آورد، اما این امر از طرفی منجر به پرداخت هزینه بیشتری جهت عناصر بعد از کنترل کننده یعنی محرک و عنصر نهائی می گردد.

گاهی برای استفاده توامان از مزایای 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 نهائی در یک فاصله زمانی ثابت، مدتی باز و مدتی بسته می باشد اما نسبت مدت باز بودن به مدت بسته بودن متناسب با اندازه خطا می باشد. با توجه به شکل (۴-۳) 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 پروسه و مقدار مطلوب (set - point) اختلاف وجود دارد. برای روشن شدن مطلب شکل (۴-۴) را در نظر بگیرید.



شکل (۴-۴) مشخصه کنترل کننده تناسبی

مطابق شکل در حالت ماندگار، در حالی که مقدار مطلوب ۶ می باشد، خروجی پروسه روی ۴ تنظیم می گردد و حلقه کنترل دارای خطای ماندگار 2E می باشد.

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

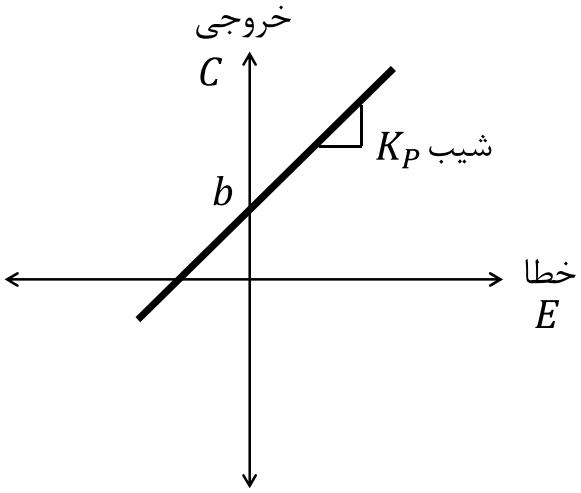
$$E = (Set) - C = 6 - C$$

$$E = 6 - 2E$$

$$E = 2$$

$$C = 2 \times 2 = 4$$

این خطا را آفست (offset) می گوئیم. آفست را می توان با افزایش بهره کاهش داد، اما این افزایش به نوبه خود مشکلاتی را بوجود می آورد. گاهی کنترل کننده های تناسبی را بطور بایاس دار می سازند به این معنی که خروجی کنترل کننده به ازای خطای صفر مقداری ثابت (bias) دارد . مشخصه این گونه کنترل کننده ها مطابق شکل (۵-۴) می باشد.



شکل (۴-۵) مشخصه کنترل کننده تناسبی بایاس دار

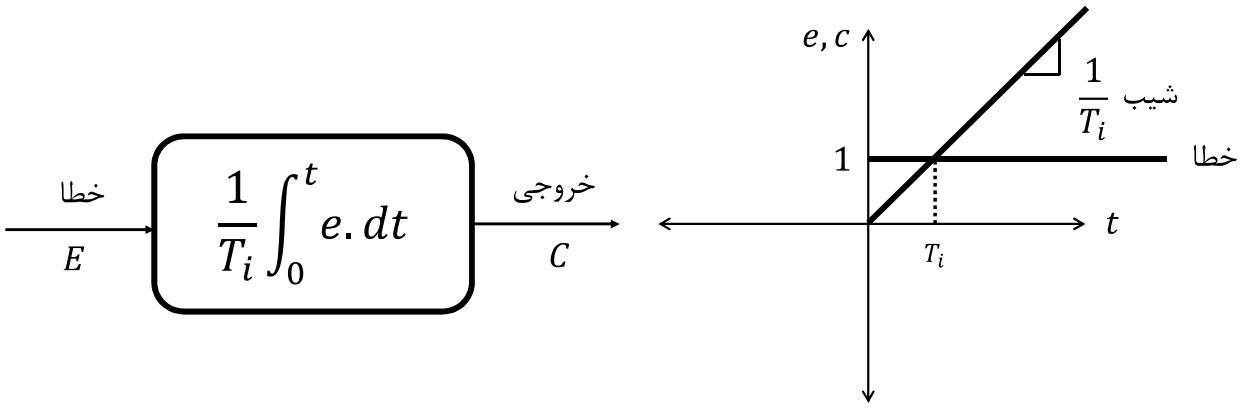
رابطه ورودی – خروجی در اینجا به صورت زیر نوشته می شود :

$$C = K_P . E + b$$

در رابطه فوق، K_P را بهره و b را بایاس کنترل کننده می گوئیم .

۴-۳-۳- کنترل کننده انتگرالی (integral) :

خروجی این کنترل کننده ، انتگرال خطای ورودی به آن می باشد. عملکرد و مشخصه یک کنترل کننده انتگرالی هنگامی که خطای ورودی پله واحد باشد مطابق شکل (۴-۶) می باشد.



شکل (۴-۶) مشخصه کنترل کننده انتگرالی

کنترل کننده انتگرالی یک کنترل کننده حافظه دار است، یعنی خروجی آن در هر لحظه تحت تأثیر خطاهای سیستم در زمان های گذشته می باشد. T_i را زمان انتگرال گیری می گوئیم و آن مدت زمانی است که طول می کشد تا خروجی انتگرال گیر هنگامی که ورودی آن پله واحد است از صفر به مقدار واحد برسد شکل (۴-۶).

کنترل کننده های انتگرالی را کنترل کننده ریست (reset) نیز می گویند که در اینصورت T_i را زمان ری ست می گوئیم .

برای درک بهتر کنترل کننده های انتگرالی ، رابطه زیرکه قانون یا استراتژی کنترل در آن ها می باشد را در نظر بگیرید.

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

رابطه فوق را می توان به صورت زیر نیز نوشت :

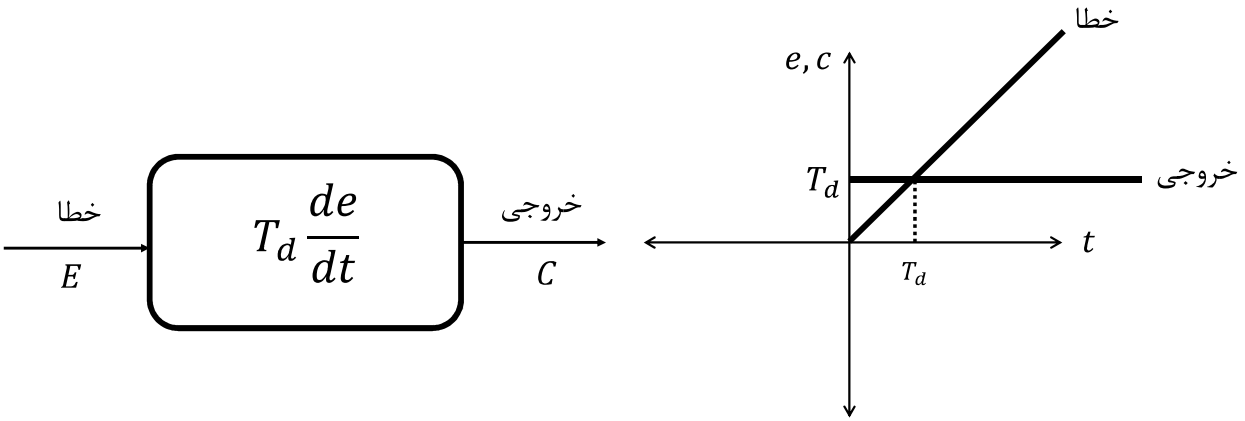
$$\frac{dc(t)}{dt} = \frac{e(t)}{T_i}$$

مطابق این رابطه، تغییرات خروجی در هر لحظه یعنی $\frac{dc(t)}{dt}$ ، متناسب با خطای ورودی $e(t)$ در آن لحظه است و ضریب تناسب $\frac{1}{T_i}$ می باشد. بنابراین مادامی که خطا مخالف با صفر باشد، خروجی تغییر می کند و تغییرات خروجی در جهت اصلاح خطا بکار

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 بایاس در کنترل کننده تناسبی بایاس دار می باشد و یا به عبارت دیگر کنترل کننده های انتگرالی با توجه به خواص کنترل کننده های تناسبی بایاس دار ابداع گردیده اند. با این مزیت که مقدار بایاس در آنها ، با توجه به سوابق قبلی سیگنال خطای ورودی بطور خودکار تنظیم می شود، در حالیکه در کنترل کننده های تناسبی بایاس دار برای هر مقدار مطلوب می بایستی مقدار بایاس را مجددا تنظیم نمود. کنترل کننده های انتگرالی معمولاً به تنهایی مورد استفاده قرار نمی گیرند و معمولاً بصورت تناسبی- انتگرالی استفاده می شوند که بعدا در مورد آنها صحبت خواهیم کرد. با این وجود در بعضی از پروسه های کنترل سطح مایع ، یا کنترل دما و یا کنترل PH که بدلیل ماهیت پروسه نیاز به تصحیح بطئی و آهسته پروسه داریم، ممکن است از کنترل کننده های انتگرالی به تنهایی استفاده شود. مزیت کنترل کننده های انتگرالی عدم آفست و توانایی در کاهش خطای ماندگار می باشد و عیب آنها کند بودن و ایجاد تأخیر در پاسخ دهی است که احتمال ناپایداری را به دنبال دارد.

۴-۳-۴- کنترل کننده مشتق گیر (derivative) :

قانون کنترل و مشخصه یک کنترل کننده مشتق گیر در شکل (۴-۷) نشان داده شده است :



شکل (۴-۷) مشخصه کنترل کننده مشتق گیر

خروجی کنترل کننده را هنگامی که خطا شیب واحد باشد نشان می دهد. T_d را اصطلاحاً زمان مشتق گیری می گوییم. ملاحظه می گردد که یک کنترل کننده مشتق گیر، تنها به تغییرات خطا حساس است و نه به مقدار آن. به عبارت دیگر اگر خطا مقداری ثابت باشد و تغییر نکند، کنترل کننده عکس العملی نسبت به آن نشان نخواهد داد و به همین دلیل معمولا از عمل مشتق گیری به تنهایی استفاده نمی شود. عمل مشتق گیری برای پروسه های تأخیردار ویا با ثابت زمانی بزرگ مناسب است، زیرا معمولا تغییرات خطا مقدمه ای برای افزایش آن است وکنترل کننده مشتق گیراز این نظرآمادگی لازم برای تصحیح خطا های آتی را فراهم می آورد، یعنی کنترل کننده دیدی آینده نگر و پیش بین دارد، 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.

پروسه هایی 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 و اشباع آن

و همچنین اشباع عنصر نهایی می شود. در چنین مواردی از فیلترهای مخصوص برای حذف کردن نویز استفاده می گردد. همچنین تغییرات شدید خطا هنگام تنظیم مقدار مطلوب (set - point) نیز ممکن است موجب بروز مشکل فوق گردد، برای رفع این مشکل بعضی از سازندگان، کنترل کننده را به گونه ای می سازند که عمل مشتق گیری بر روی سیگنال اندازه گیری شده انجام می گردد و نه سیگنال خطا، بنابراین تغییرات set - point خروجی کنترل کننده را تحت تأثیر قرار نمی دهد.

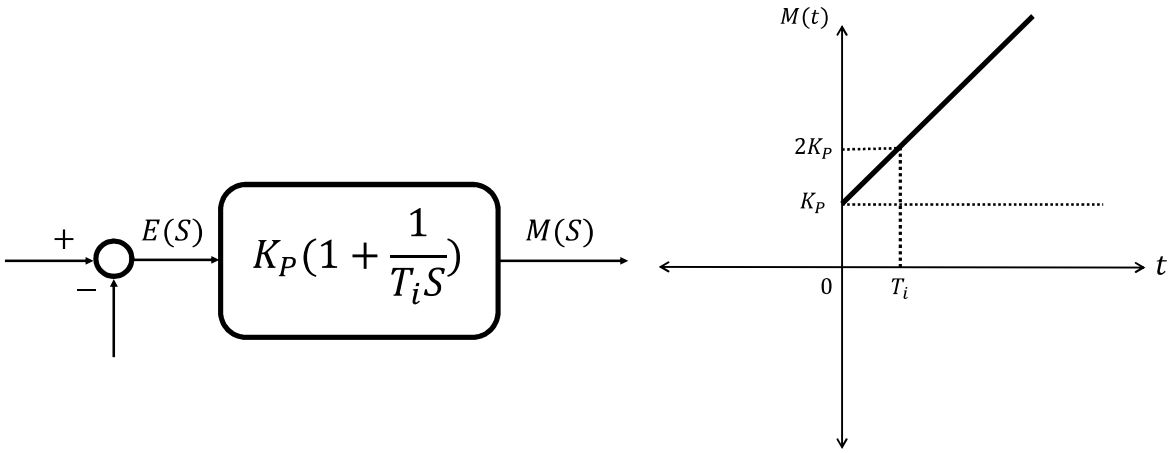
استفاده از عمل مشتق گیری در یک حلقه کنترل را می توان به صورت چند قانون سر انگشتی خلاصه نمود :

۱) تنظیم عمل مشتق گیری بعد از تنظیم سایر عملیات انجام می شود.
۲) در پروسه های کند، به عمل مشتق گیری بیشتری نیاز است.
۳) درپروسه هایی باگین کم وتغییرات نادر مقدارمطلوب، معمولا ازعمل مشتق گیری نیزدر 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 اساسا پایداری حلقه کنترل را افزایش می دهد.
۵) در حلقه های کنترل با تأخیر زیاد در اندازه گیری، استفاده از عمل مشتق گیری مطلوب می باشد.
۶) درکنترل پروسه هایی با چندین ثابت زمانی، معمولا ازعمل مشتق گیری استفاده می کنیم. تجربه نشان می دهد که در این حالت بهتر است زمان مشتق گیری حدود دومین یا سومین ثابت زمانی بزرگ پروسه انتخاب گردد.

هنگام معرفی کنترل کننده های تناسبی، انتگرالی و مشتق گیر گفتیم که معمولا این عملیات به تنهایی استفاده نمی شوند. اکنون به معرفی کنترل کننده هایی می پردازیم که از ترکیب عملیات سه گانه فوق به دست می آیند. بدیهی است که اگر هر کدام از این عملیات را به درستی درک کرده باشیم، درک کنترل کننده های ترکیبی با استفاده از اصل جمع آثار بسیار آسان می باشد.

۴-۳-۵-کنترل کننده تناسبی - انتگرالی (PI) :

عملی که این کنترل کننده بر روی سیگنال خطا انجام می دهد همانطور که از نام آن پیداست شامل عملیات تناسب و انتگرال می باشد که آن را به صورت زیر نمایش می دهیم :



شکل (۴-۸) مشخصه کنترل کننده PI

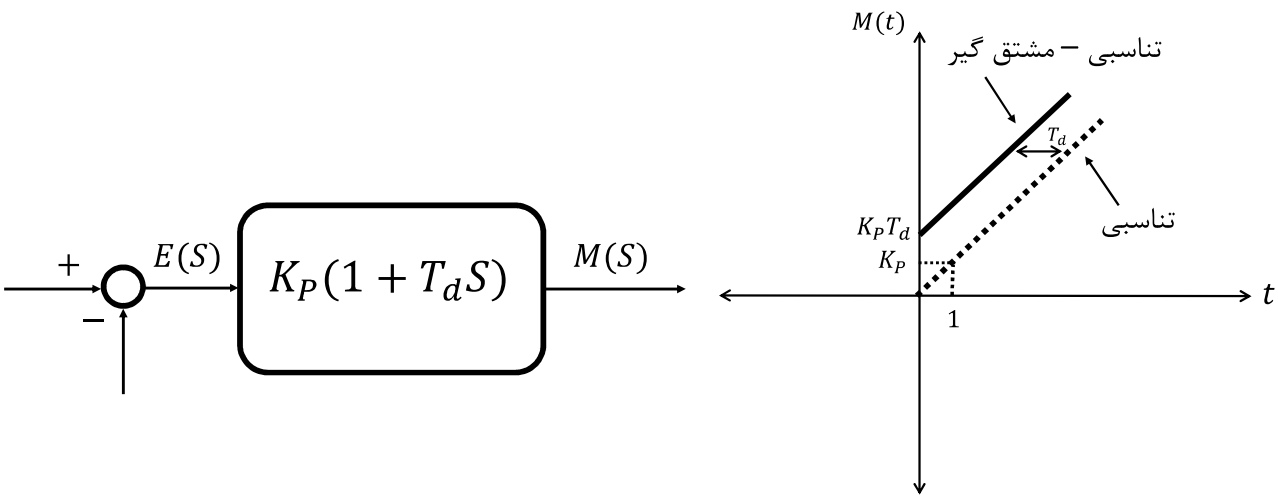
$$m(t) = K_P\, e(t) + \frac{K_P}{T_i}\int_0^t e(t).\,dt$$

$$\frac{M(S)}{E(S)} = K_P\left(1 + \frac{1}{T_i S}\right)$$

در یک کنترل کننده PI ، ضرایب K_P و T_i قابل تنظیم می باشند. با توجه به روابط فوق تنظیم T_i قسمت انتگرال و تنظیم K_P هر دو قسمت انتگرالی و تناسبی را تحت تأثیر قرار می دهد. این کنترل کننده خواص کنترل کننده های تناسبی و انتگرالی را دارا می باشد و پاسخ آن به خطای پله واحد مطابق شکل (۴-۸) است. با توجه به شکل (۴-۸) خروجی کنترل کننده با گذشت هر زمان T_i به اندازه یک K_P افزایش می یابد. ۴-۳-۶

۴-۳-۶-کنترل کننده تناسبی - مشتق گیر (PD) :

عملیات این کنترل کننده بر روی سیگنال خطا شامل تناسب و مشتق می باشد که بصورت زیر نمایش داده می شود :



شکل (۴-۹) مشخصه کنترل کننده PD

$$m(t) = K_P\, e(t) + K_P\, T_d \frac{de(t)}{dt}$$

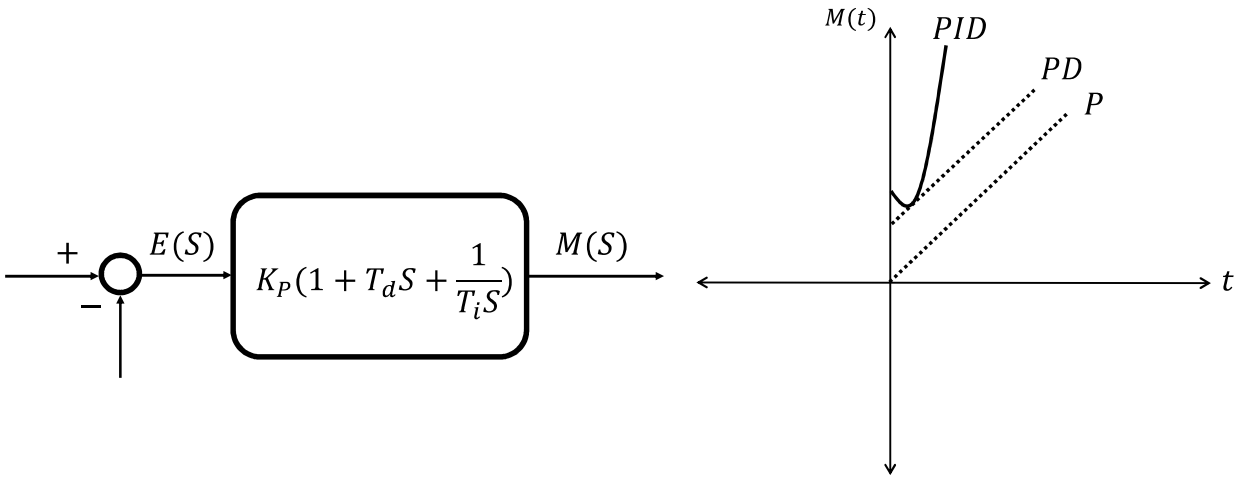
$$\frac{M(S)}{E(S)} = K_P\left(1 + T_d\, S\right)$$

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

این کنترل کننده دارای هر دو خواص کنترل کننده های تناسبی و مشتق گیر می باشد و پاسخ آن به خطای شیب واحد مطابق شکل (۴-۹) است.

۴-۳-۷-کنترل کننده تناسبی - انتگرالی - مشتق گیر (PID) :

این کنترل کننده عملیات تناسب ، انتگرال و مشتق را بر روی سیگنال خطا انجام می دهد. نمایش جعبه ای و روابط مربوطه به صورت زیر ارائه می گردند :



شکل (۴-۱۰) مشخصه کنترل کننده PID

$$m(t) = K_P\, e(t) + K_P\, T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_P}{T_i} \int_0^t e(t).dt$$

$$\frac{M(S)}{E(S)} = K_P(\, 1 + \, T_d\, S + \frac{1}{T_iS})$$

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

در شکل (۴-۱۰) پاسخ یک کنترل کننده PID به ورودی شیب واحد به طور کیفی آمده است.

یک کنترل کننده PID دارای کلیه خواص کنترل کننده های P ، I و D می باشد و با تنظیم ضرایب مربوطه می توان به ترکیبی از خواص هر یک از آنها رسید. در مواردی که تفاوت چندانی در قیمت کنترل کننده های PD و PI با کنترل کننده های PID باشد، (مثلا در کنترل کننده های الکترونیکی) بهتر است کنترل کننده PID خریداری و در صورت نیاز از آن بعنوان PI یا PD استفاده شود. این امر دست طراح را در استفاده از انواع کنترل کننده ها باز می گذارد و در هر شرایطی امکان بهترین تنظیم را فراهم می سازد. روابطه فوق شکل استاندارد (ISA) کنترل کننده های PID را بیان می دارد. در عمل بسیاری از سازندگان به دلایل تاریخی و مسائل تولید طرح های دیگری را بکار می برند. مثلا طرحی به نام ساختار سری کوپلاژدار (Interacting form) که در کنترل کننده های بادی اولیه مورد استفاده قرار می گرفت هنوز هم توسط بسیاری از سازندگان معروف به کار برده می شود. تابع تبدیل کنترل کننده در این طرح به صورت زیر بیان می شود :

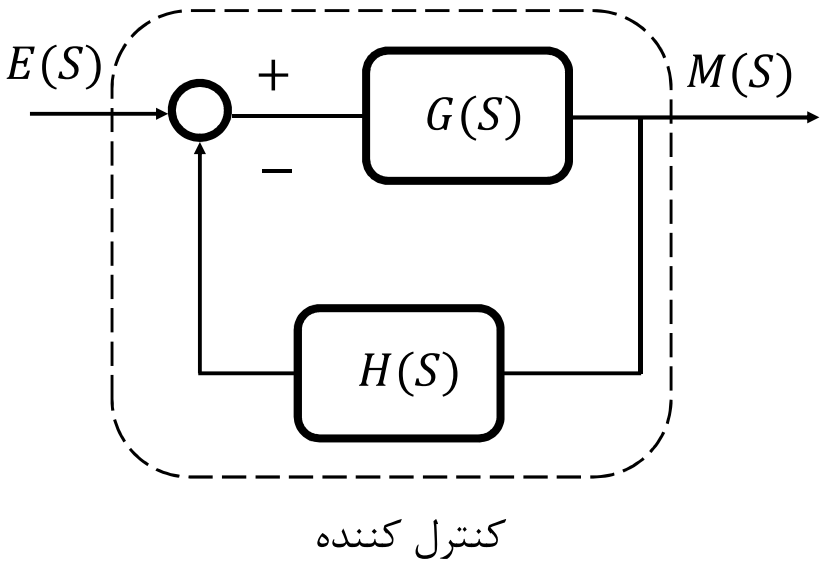
$$G'(C) = K'_P\, (1 + \frac{1}{T'_iS})\, (1 + T'_dS)$$

با توجه به رابطه فوق، دلیل این نام گذاری کاملا روشن می گردد چرا که در اینجا تنظیم هر یک از ضرایب مشتق یا انتگرال بر روی دیگری اثر می گذارد.

هنگام تنظیم کنترل کننده می بایست به این نکته توجه شود که سازنده از کدام طرح استفاده نموده است. کنترل کننده های PID برای کنترل فرآیند های عادی بسیار مناسب می باشند. مخصوصا هنگامی که دینامیک غالب سیستم درجه دو باشد یا به عبارت دیگر سیستم دارای دو قطب مسلط باشد. با این وجود برای کنترل بعضی فرآیندها نیاز به کنترل کننده های پیچیده تری می باشد و یا در بعضی موارد اساسا استفاده از کنترل کننده های PID امکان پذیر نمی باشد.

۴-۴- اصل کلی ایجاد عملیات در کنترل کننده ها :

در بخش های گذشته به معرفی انواع کنترل کننده ها به لحاظ عملیات کنترلی پرداختیم. اکنون در مورد نحوه ایجاد یک یا چند عمل دلخواه در یک کنترل کننده (الکتریکی ، بادی ، هیدرولیکی) صحبت می کنیم. نمایش جعبه ای یک کنترل کننده در حالت کلی مطابق شکل (۴-۱۱) می باشد :



شکل (۴-۱۱) نمایش جعبه ای کنترل کننده در حالت عادی

تابع تبدیل کنترل کننده به دست می آید :

$$T_C(S) = \frac{M(S)}{E(S)} = \frac{G(S)}{1 + G(S)H(S)}$$

در ساخت کنترل کننده ها بهره مسیر رفت $G(S)$ را بسیار بزرگ انتخاب می کنیم ، بطوری که در همه فرکانس های کار بهره حلقه $G(S)H(S)$ بسیار بزرگتر از واحد باشد. به عبارت دیگر :

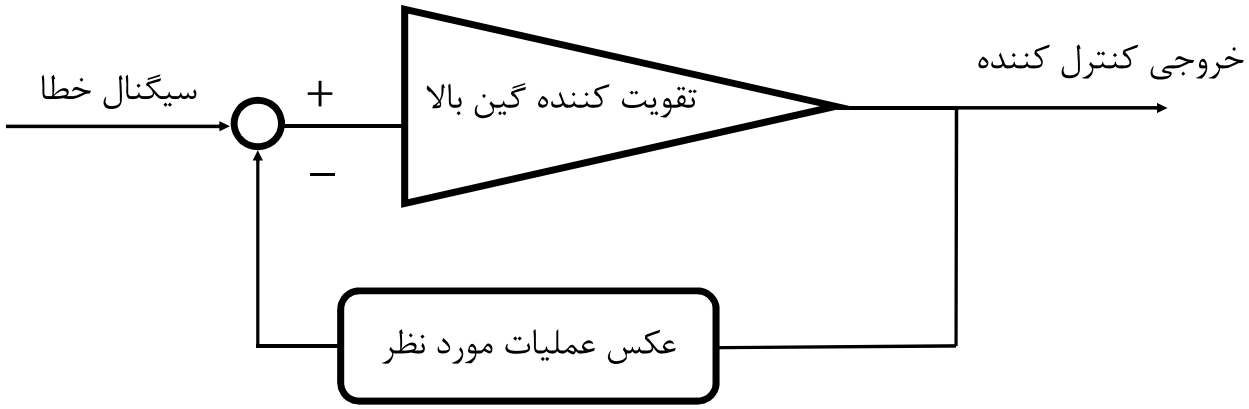
$$|G(S)H(S)| \gg 1$$

$$T_C(S) \approx \frac{G(S)}{G(S)H(S)} \quad \dashrightarrow \quad T_C(S) = \frac{1}{H(S)}$$

رابطه فوق بیان می دارد که تحت این شرایط :

برای ساخت یک کنترل کننده با عملیاتی دلخواه کافی است عکس آن عملیات را در مسیر برگشت قرار دهیم.

همانطور که گفتیم برای تحقق شرایط مطرح شده، معمولاً $G(S)$ را یک تقویت کننده با گین بسیار بالا انتخاب می کنیم. بنابراین ساختمان یک کنترل کننده در حالت کلی مطابق شکل (۴-۱۲) خواهد بود :



شکل (۴-۱۲) طرح کلی کنترل کننده

۴-۵- انتخاب کنترل کننده ها :

در بخش های گذشته با انواع کنترل کننده ها به لحاظ نوع عملیات و انرژی محرکه آشنا شدیم. انتخاب و تنظیم کنترل کننده، آخرین مرحله در طراحی و آزمایش یک سیستم کنترل می باشد و بدین لحاظ از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

انتخاب کنترل کننده برای یک حلقه کنترل شامل دو مرحله است :

الف) انتخاب کنترل کننده به لحاظ نوع انرژی محرکه

ب) انتخاب کنترل کننده به لحاظ نوع عملیات (P,PI,…)

انتخاب کنترل کننده به لحاظ انرژی محرکه با توجه به نوع پروسه محیط کار، مسائل ایمنی، مسائل اقتصادی و ... صورت می پذیرد. مثلا هرگاه با توجه به ملاحظات فوق برای کنترل یک پروسه، اجزاء بادی انتخاب شوند در واقع کنترل کننده متناسب با آن نیز انتخاب گردیده است.

مرحله انتخاب کنترل کننده به لحاظ نوع عملیات اندکی دشوارتر از مرحله قبل است و نیاز به اطلاعات تئوری و تجربی بیشتری دارد.

گاهی با توجه به تجارب و انتظاراتی که از حلقه کنترل داریم نوع کنترل کننده بطور یقینی مشخص می گردد. مثلا برای کنترل ارتفاع آب در یک مخزن با خطای حدود یک متر استفاده از کنترل کننده دو وضعیتی (ON/OFF) کفایت می کند. اما در بسیاری موارد نمی توان نوع کنترل کننده را با این قطعیت تعیین نمود. در چنین مواردی اگر از نظر هزینه مشکلی نباشد بهتر است کنترل

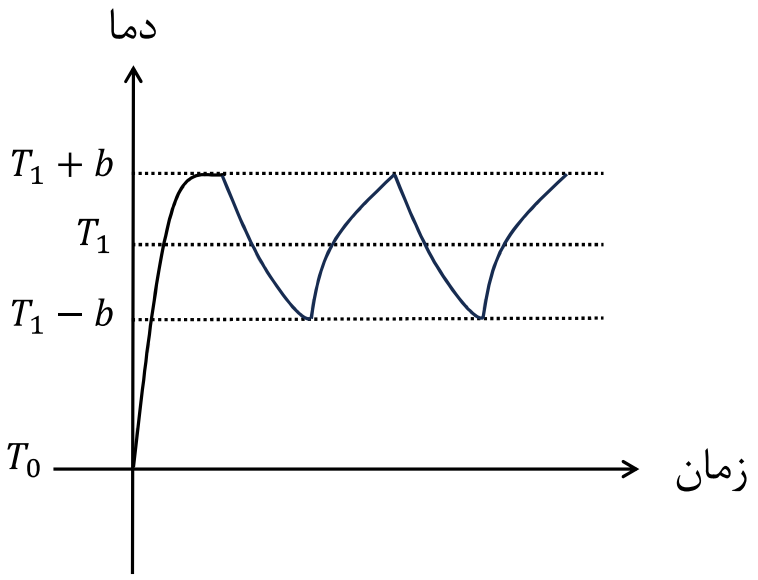
کننده PID خریداری گردد و در عمل از عملیاتی که مورد نیاز است استفاده گردد. این امر در مورد کنترل کننده های الکترونیکی بیشتر صادق است چراکه یک کنترل کننده PI یا PD الکترونیکی با یک کنترل کننده PID از نظر قیمت تفاوت چندانی ندارد.

در کنترل کننده های بادی و هیدرولیکی با عملیات مختلف تفاوت قیمت قابل توجه است و این تفاوت در کنترل کننده هایی با کیفیت عالی و کاربردهای مخصوص (مثلا سیستم های پرنده) بیشتر می باشد. همچنین در پروسه های بزرگ که تعداد زیادی کنترل کننده به کار برده می شوند، اگر مثلا به جای همه کنترل کننده های دو عملیاتی (PI،PD) از کنترل کننده های سه عملیاتی (PID) استفاده کنیم، تفاوت هزینه چشمگیر خواهد بود. بنابراین در اینگونه موارد بهتر است قبلا در مورد نوع کنترل کننده مناسب(PID, PD, PI, P, ON/OFF) بررسی و تصمیم گیری نماییم و سپس مناسب ترین آنها را انتخاب کنیم.

۴-۵-۱- انتخاب کنترل کننده ها به لحاظ نوع عملیات :

موارد انتخاب کنترل کننده دو وضعیتی :

اگر در کنترل پروسه ای وجود خطای همیشگی در یک باند اشکالی نداشته باشد. از کنترل کننده دو وضعیتی می توانیم استفاده نماییم. همانطور که قبلا نیز اشاره گردید، مثال آشنای این کنترل کننده ترموستات سماور برقی است. در سماور برقی دمای آب هیچگاه بر روی مقدار مشخصی ثابت باقی نمی ماند، بلکه همواره در یک باند تغییر می کند. مثلا هرگاه سماور در دمای اولیه T_0 روشن شود و دمای مطلوب آن T_1 باشد ، منحنی تغییرات دما مطابق شکل (۴-۱۳) خواهد بود.



شکل (۴-۱۳) حالت کلی تنظیم دما در سماور برقی

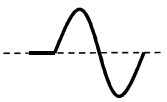
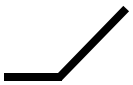
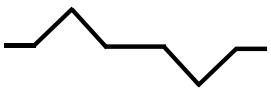
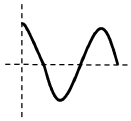
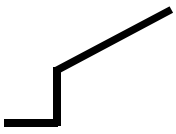
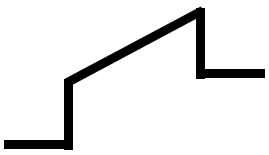
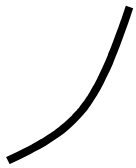
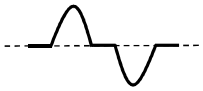
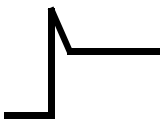
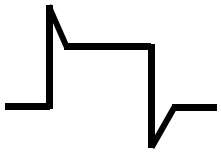
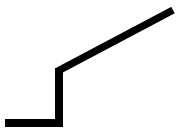
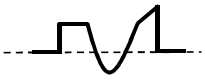
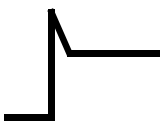
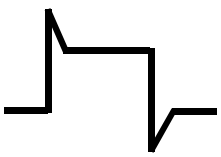
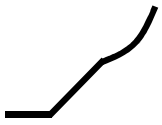
همانطور که ملاحظه می گردد، دمای آب بین مقادیر $T_1 + b$ و $T_1 - b$ در نوسان است. مقدار $2b$ را باند تفاضلی میگوییم. هر چه باند تفاضلی بزرگتر باشد، مقدار ماکزیمم خطا در اطراف مقدار مطلوب بیشتر است. توجه نمایید که در حالت کلی باند تفاضلی می تواند متقارن نباشد. کنترل کننده دو وضعیتی یک کنترل کننده غیر خطی است و تحت شرایطی می تواند موجب بروز نوعی ناپایداری بنام سیکل حدی (Limit - Cycle) در حلقه کنترل شود. با این وجود در اکثر پروسه های صنعتی بدون نگرانی می توان از آن استفاده نمود.

موارد انتخاب کنترل کننده تناسبی :

عیب عمده کنترل کننده های تناسبی وجود انحراف از تنظیم (افست) در پاسخ ماندگار آنها است و به همین دلیل معمولاً از آنها به تنهایی استفاده نمی شود. در موارد نادری که مقدار تنظیم (مطلوب) ثابت است و پروسه تحت اغتشاشات شدید و مداوم نمی باشد و یا مقدار و محل ورود اغتشاشات مشخص می باشد، می توان از کنترل کننده تناسبی بایاس دار استفاده نمود. با این وجود استفاده از این کنترل کننده به تنهایی به ندرت مشاهده گردیده است. اساسا استفاده از کنترل کننده های تناسبی در پروسه هایی با درجه بالاتر از یک معمول نمی باشد.

موارد انتخاب کنترل کننده های PID, PD, PI :

قبل از هر چیز بهتر است دانش های قبلی خود را مرور نماییم. برای کمک به انجام این کار اطلاعات خود را در جدول (۴-۱) خلاصه می نماییم سعی کنید این جدول را همیشه به خاطر داشته باشید.

ورودی / عملیات کنترل کننده	پله	پالس	شیب	سینوسی
P				
I				
D				
PI				
PD				
PID				

کنترل بازخورد (Feedback) :

منظور از 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 اغتشاش های پیش بینی نشده مد نظر است، زیرا اغتشاش های معلوم را همیشه می توان در داخل سیستم جبران کرد. کنترل دمای اتاق، نمونه ای از کنترل با 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.

سیستم های کنترل دارای Feedback را غالباً سیستم های کنترل حلقه بسته می نامند. یکی از مزیت های سیستم های کنترل دارای Feedback این است که Feedback 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 سیستم های حلقه باز، ناممکن است.

از دیدگاه پایداری ، ساختن سیستم های کنترل حلقه باز ساده تر است. زیرا در این سیستم ها مشکل ناپایداری وجود ندارد . در حالی که این موضوع در سیستم های کنترل حلقه بسته، یک مشکل اساسی است و باعث می شود سیستم با دامنه ای ثابت یا متغیر نوسان کند. 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 اغتشاش های پیش بینی نشده یا تغییرات غیر قابل پیش بینی در اجزای سیستم وجود داشته باشد.

پایداری مطلق :

مهمترین مشخصه رفتار دینامیکی سیستم های 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 سیستم های کنترل واقعی، انرژی ذخیره می شود، خروجی سیستم هنگام اعمال مقدار مطلوب، 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، نوسان های 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 وجود دارد، خطای حالت ماندگار نامیده می شود.

مشخصات پاسخ گذرا :

در عمل، پاسخ گذرای سیستم های 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 تاخیر $(\text{Delay Time} : t_d)$:

زمانی است که طول می کشد تا پاسخ برای بار اول به نصف مقدار نهایی اش برسد.

۲) زمان صعود $(\text{Rise Time} : t_r)$:

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 $(\text{Peak Time} : t_p)$:

زمان لازم برای رسیدن به اولین فراجهش است.

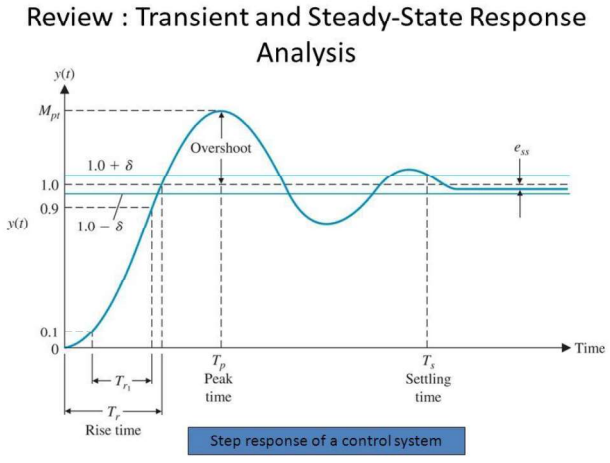
۴) حداکثر فراجهش $(\text{Over Shoot} : M_p)$:

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 کار می رود. این مقدار به صورت زیر تعریف می شود :

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

۵) زمان قرار $(\text{Settling Time} : t_s)$:

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.



شکل (۴-۱۴) پاسخ گذرا یک سیستم کنترلی

بررسی های تئوری و عملی و جدول (۴-۱) نتایج تجربی زیر را جهت انتخاب کنترل کننده ها نشان می دهد :

اگر درجه پروسه بالاتر از یک باشد می توان مطمئن به استفاده از یک کنترل کننده دو عملیاتی (PI, PD) و یا سه عملیاتی PID به شرحی که خواهد آمد بود. همچنین برای کنترل پروسه های درجه یک با تأخیر خالص می توان به استفاده از کنترل کننده دو عملیاتی مطمئن و در مورد کنترل کننده سه عملیاتی بررسی نمود.

در مورد پروسه های ذاتا ناپایدار میتوان به انتخاب کنترل کننده PD مطمئن و در مورد کنترل کننده PID بررسی نمود.

در جایی که اصطلاح خطای ماندگار در اولویت باشد می باید از کنترل کننده PI استفاده نمود. با این وجود کنترل کننده PI به دلیل ایجاد تأخیر فاز به ناپایداری سیستم کمک می کند. در جایی که به افزایش سرعت پاسخ سیستم علاقمند باشیم و تکان دادن یا عکس العمل سریع سیستم مهم تر از رفتارهای دیگر آن باشد از کنترل کننده PD استفاده می نماییم در حالی که هم سرعت پاسخ دهی و هم اصلاح خطای ماندگار مورد نظر باشد می باید از کنترل کننده PID استفاده شود. در جدول (۴-۲) به ازای مشخصات فرآیند، نوع کنترل کننده پیشنهاد شده است.

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
P	Small	Small	Moderate	Slow	Small	---
PI	Moderate	Moderate	Moderate	Any	Any	---
PID	Any	Any	Any	Any	Any	---

جدول (۴-۲) انتخاب کنترل کننده با توجه به مشخصات فرآیند

باید دقت شود که تمام کنترل کننده ها می توانند برحسب مشخصات عملکرد سیستم، بر روی یکی از دو حالت مستقیم یا معکوس 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 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. 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.

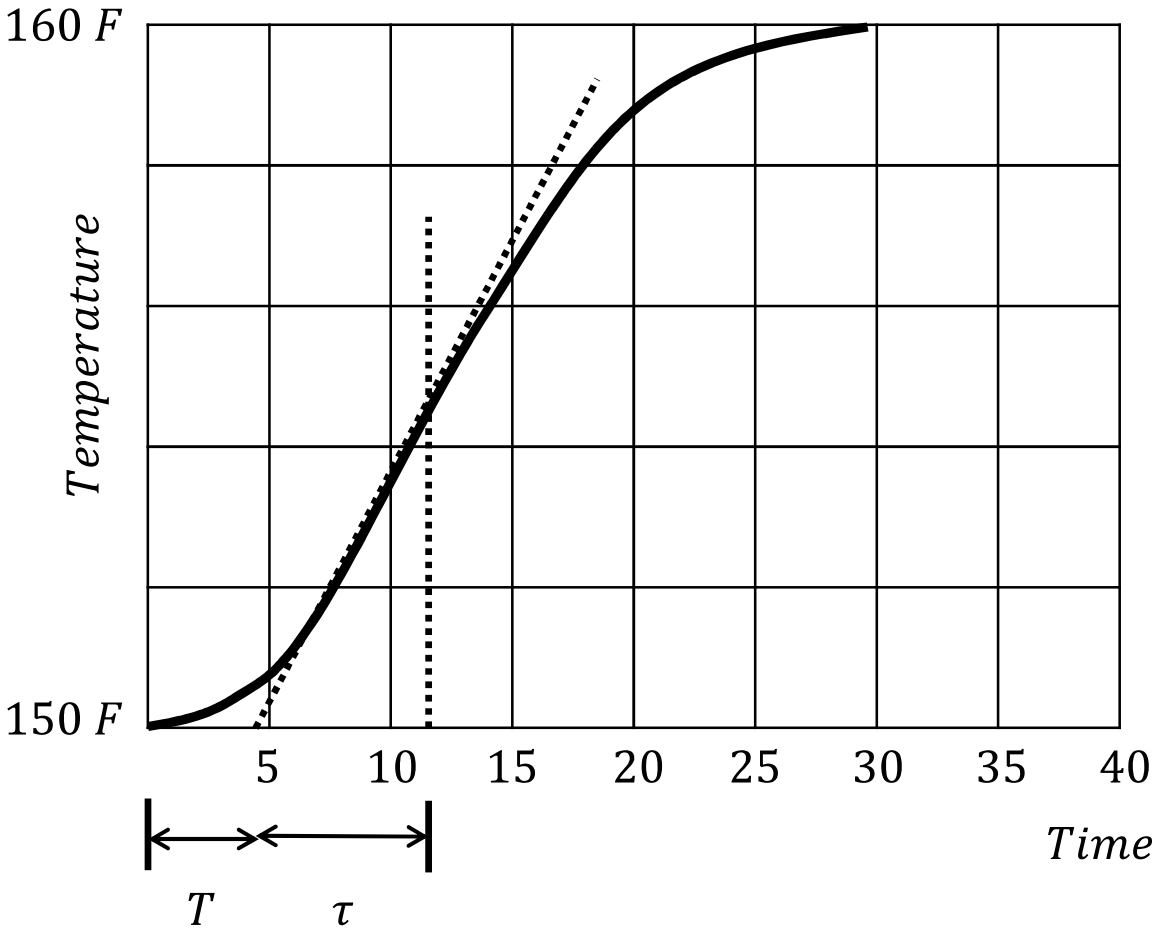
حال، فرض کنید پاسخ زمانی سیستم به صورت(شکل ۴-۱۵) باشد. در صورتی که از نقطه ای که بیشترین شیب را در روی منحنی پاسخ دارد، خط مماسی به این منحنی رسم کنیم و محل برخورد این مماس با محور زمان را T و فاصله ی زمانی نقطه شیب حداکثر و نقطه T را τ بنامیم، آنگاه اگر $\tau > T$ باشد، وجود مشتق گیر در طرح کنترل کننده در اصلاح پاسخ، مؤثر خواهد بود. معمولاً اگر $\frac{\tau}{T} > 10$ باشد از کنترل کننده نوع P استفاده می شود.

اگر $5 < \frac{\tau}{T} < 10$ (که معمولاً درصد بالایی از فرآیندها این چنین اند) از کنترل کننده ی PI استفاده می شود.

اگر $2 < \frac{\tau}{T} < 5$ باشد از کنترل کننده ی PID استفاده می شود.

اگر $1 < \frac{\tau}{T} < 2$ استفاده از کنترل کننده پیش تغذیه یا متوالی استفاده می شود.

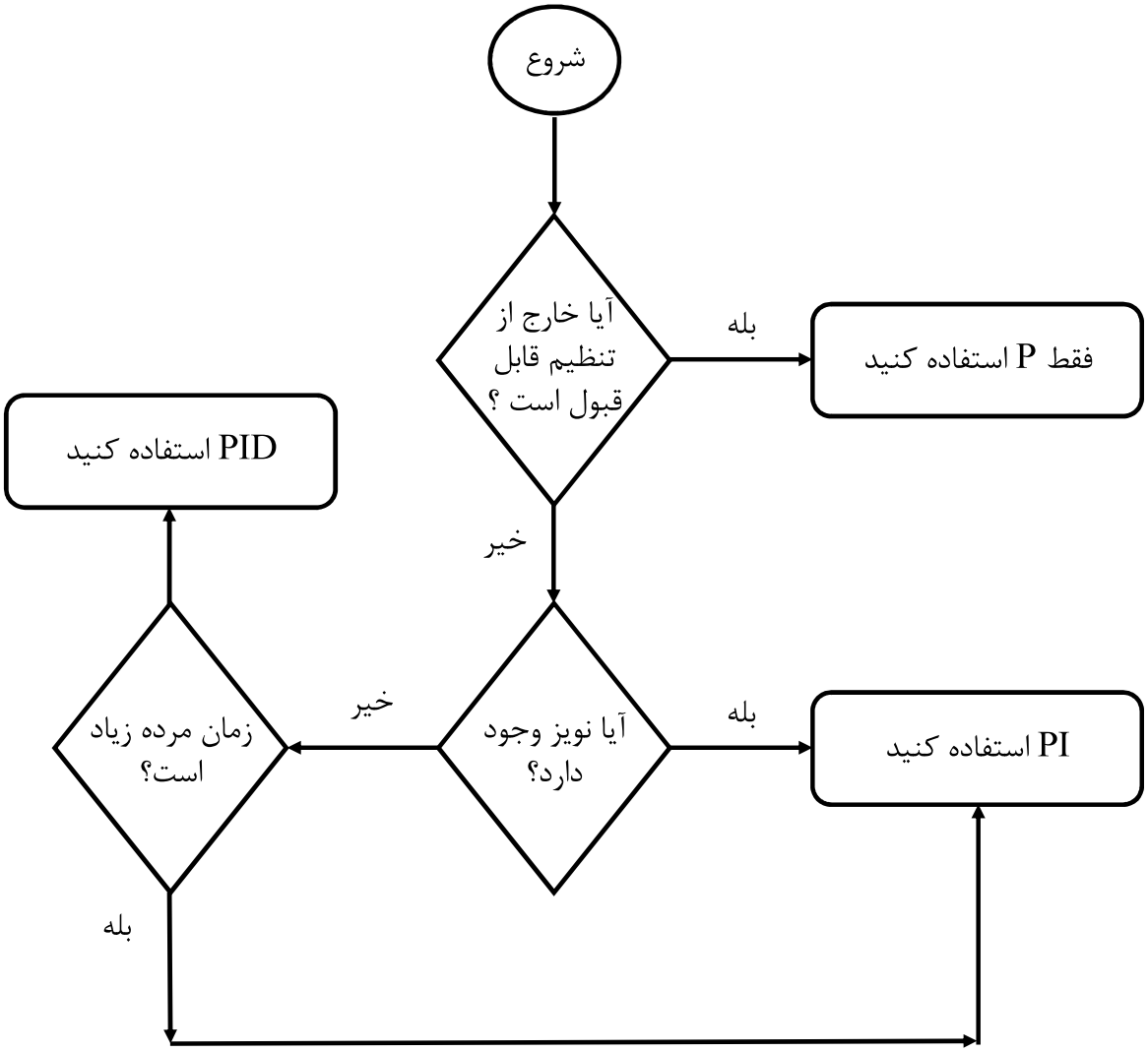
و در صورتی که $\frac{\tau}{T} < 1$ باشد، استفاده از کنترل کننده ی دیجیتالی توصیه می شود.



شکل (۴-۱۵) پاسخ زمانی یک فرآیند حرارتی نمونه

حال با توجه به شکل پاسخ زمانی سیستم مبدل حرارتی (شکل ۴-۱۵) در صورتی که منظور استفاده از کنترل کننده ی کلاسیک باشد، استفاده از کنترل کننده PID برای این سیستم توصیه می شود.

فلوچارت تعیین نوع کنترل کننده مطابق(شکل ۴-۱۶) می باشد.



شکل (۴-۱۶) فلوچارت پیشنهادی انتخاب نوع کنترل کننده

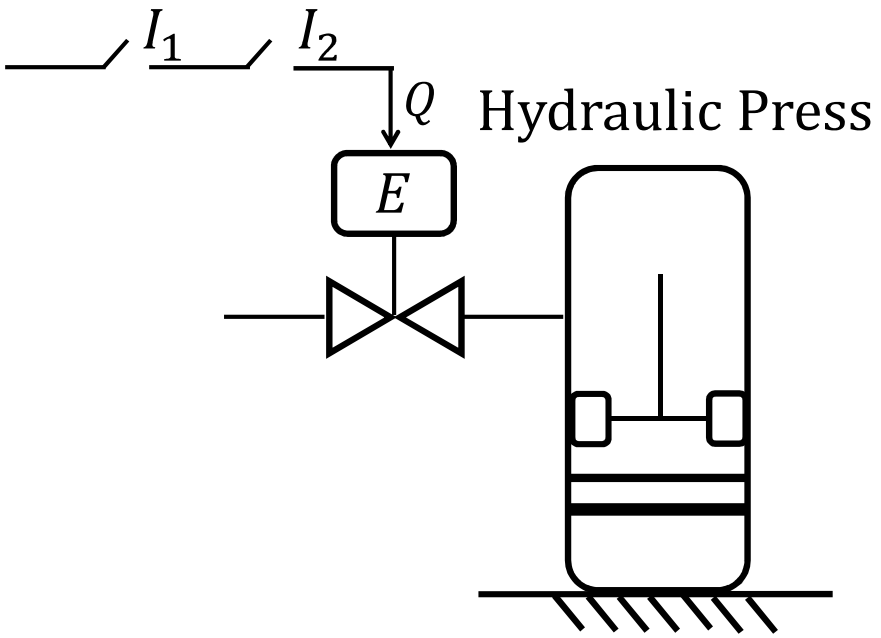
۴-۶- کنترل کننده های منطقی برنامه پذیر (PLC) :

کنترل منطقی یک از انواع روش های کنترل می باشد. کنترل کننده ای که پروسه را به روش منطقی کنترل می کند را کنترل کننده منطقی میگوییم. کنترل کننده های منطقی امروزی قابل برنامه ریزی نیز می باشند، یعنی می توان منطق کنترل را بر اساس نیازهای پروسه برنامه ریزی و در صورت نیاز تغییر داد.

به همین دلیل آنها را کنترل کننده منطقی برنامه پذیر(Programable Logic Controller) یا به اختصار PLC می نامیم.

امروزه کاربرد PLC ها بسیار متنوع و وسیع گردیده است و در اکثر ماشین آلاتی که در سیکل کاری خود نیاز به کنترل منطقی دارند از آنها استفاده می شود. همچنین علاوه بر کارخانجات و مراکز صنعتی در انواع قطارها و کشتیها و بسیاری از ماشین های ابزار نیز از PLC استفاده می گردد. جهت شناخت روش کنترل منطقی مسئله زیر را در نظر بگیرید :

یک پرس هیدرولیک با فرمان دو اپراتور حرکت می کند به گونه ای که برای حرکت پرس فرمان هر دو اپراتور لازم است و در غیر این صورت پرس نباید حرکت کند مدار کنترل لازم را طرح نمایید. "



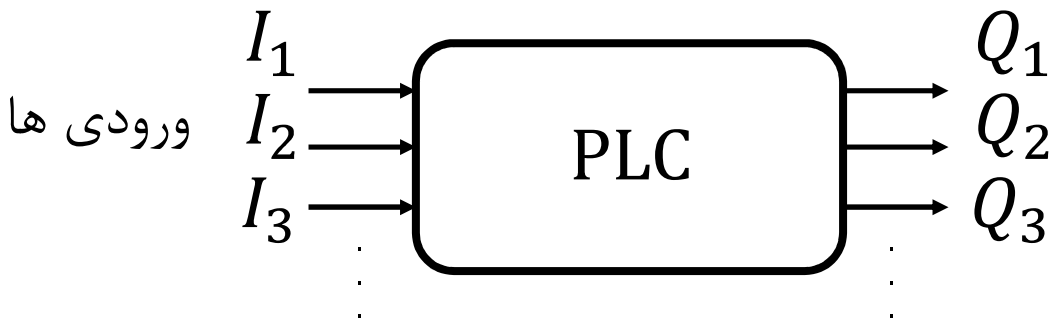
شکل (۴-۱۷) کنترل منطقی یک پرس هیدرولیک

در این مدار اپراتور اول از طریق پوش باتون I_1 و اپراتور دوم از طریق پوش باتون I_2 فرمان حرکت را صادر می کنند.

دقت نمایید مادامی که هر دو اپراتور فرمان حرکت را صادر ننمایند عنصر نهائی تحریک نخواهد شد و به عبارت دیگر فرمان حرکت Q ناشی از تابع منطقی " و " (And) ورودی های I_1 و I_2 می باشد، یعنی می توانیم بنویسیم :

$$Q = I_1(And)I_2$$

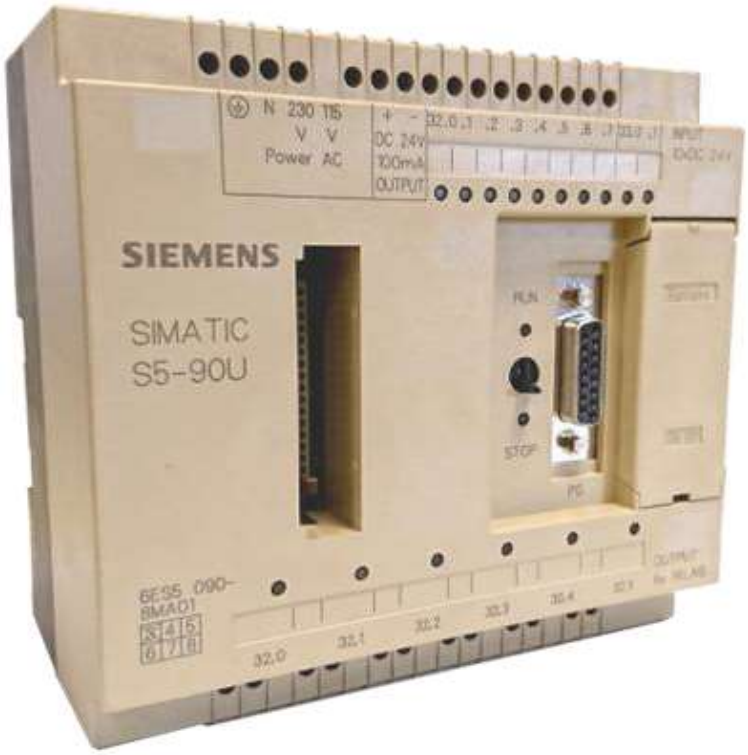
از آنجایی که فرمان حرکت Q تابعی منطقی (And) از ورودی های I_1 و I_2 می باشد، این کنترل را کنترل منطقی می گوییم.
با این توضیحات یک PLC امروزی را می توان مطابق شکل (۴-۱۸) نمایش داد :



شکل (۴-۱۸) نمایش کلی یک PLC

برنامه کنترل به صورت یک سری دستورالعمل های منطقی در حافظه PLC ضبط می گردد. PLC در حین کار ورودی ها را خوانده و بر اساس برنامه موجود فرمان های خروجی ها را محاسبه و به عناصر نهایی ارسال می دارد. شکل (۴-۱۹) یک کنترل

کننده منطقی ساخت کمپانی زیمنس را نشان می دهد. این کنترل کننده دارای ۱۰ ورودی و ۶ خروجی است و حافظه آن گنجایش ۴ کیلوبایت دستور العمل منطقی را دارد.



شکل (۴-۱۹) کنترل کننده منطقی S5-90U ساخت زیمنس

شروع ساخت پی ال سی ها توسط شرکت زیمنس با سری S5 آغاز شد. این سری در محیط های صنعتی عملکرد خوبی داشت و در برابر رطوبت و گرد و غبار ایمن بود. سری S5 به عنوان اولین خانواده PLC ای زیمنس دیگر تولید نمی شوند. در ادامه آن ها جایگاه خود را به سری های بعدی دادند. هم اکنون زیمنس در حال تولید پی ال سی های خانواده S7 می باشد.

PLC های شرکت زیمنس را می توان به سه دسته زیر تقسیم کرد:

۱) مینی پی ال سی لوگو (LOGO)
۲) پی ال سی های کمپکت (Compact PLC)
۳) پی ال سی های ماژولار (Modular PLC)

مینی پی ال سی های لوگو برای کاربردهای کوچک صنعتی استفاده می شوند. تعداد ورودی و خروجی در آنها نسبت به بقیه محدود تر است. برای پروژه های کوچک نیز اقتصادی تر می باشند.

شکل (۴-۲۰) یک کنترل کننده منطقی مینی پی ال سی لوگو (LOGO) ساخت کمپانی زیمنس را نشان می دهد. این کنترل کننده ها در مدل های مختلفی توسط کمپانی زیمنس ساخته می شوند و تفاوت مدل های آن در تفاوت تعداد ورودی و خروجی های آن است. LOGO های شرکت زیمنس دارای ۴ الی ۸ ورودی و خروجی است.

شکل (۴-۲۰) کنترل کننده منطقی Siemens LOGO

پی ال سی های کامپکت زیمنس (Compact) نوع دیگری از PLC ها هستند که منبع تغذیه، ماژل های ورودی و خروجی و CPU در کنار یکدیگر به صورت کامپکت عرضه می شوند. در زمان تهیه پی ال سی های کامپکت یک واحد کامل از تمام نیاز های یک PLC به شما ارائه می شود.

دسته سوم نیز ماژولار (Modular) هستند. بر خلاف نوع کامپکت در نوع ماژولار طراح می تواند بر اساس نیاز خود کارت های توسعه را انتخاب نماید. بطور کل PLC های زیمنس علاوه بر لوگو را میتوان به چهار خانواده زیر تقسیم نمود :

Simatic S5

به عنوان اولین گروه از انواع پی ال سی های زیمنس می باشند. انواع مختلفی دارند که برخی مانند S5-90U یا S5-95U به صورت Compact بوده و حوزه ی عملکرد محدود دارند. برخی دیگر S5-100U و S5-115U ماژولار بوده و برای سیستم های کنترلی با ابعاد متوسط بکار می روند.

برای حوزه های عملکرد وسیع PLC های دیگری با نام های S5-135U و S5-155U از این خانواده عرضه شده اند. البته برنامه نویسی PLC های فوق با نرم افزار Step5 انجام می گیرد. در حال حاضر دستیابی به این سری در بازار مشکل می باشد و طراحان از آن ستفاده نمی کنند.

Simatic S7

این گروه از PLC های زیمنس بعد از S5 عرضه شد و خود به پنج خانواده سیماتیک مختلف تقسیم می شوند. این PLC ها با نرم افزار STEP7 و Step 7 TIA Portal برنامه نویسی و پیکر بندی می شوند. با توجه به اهمیت گروه Simatic S7 در ادامه به معرفی انواع آن می پردازیم.

PLC S7-200 Siemens

پی ال سی S7 سری 200 اولین محصول از سری S7 می باشد. پی ال سی S7200 به صورت کامپکت (Compact) یا یکپارچه می باشد. در بازار PLC S7200 را به عنوان میکرو پی ال سی می شناسند. کنترلر S7200 را برای سیستم های ساده تر به کار می برند. اکنون پی ال سی S7 سری 200 توسط شرکت زیمنس تولید نمی شود و پی ال سی S7 سری ۱۲۰۰ را جایگزین این

کنترلر کرده اند. این نوع پی ال سی ها ورودی و خروجی های بیشتری نسبت به مینی پی ال سی ها دارند و می توان به صورت خلاصه آن ها را به صورت زیر معرفی کرد.

- یک میکرو PLC ارزان قیمت زیمنس است.
- برای مقاصد ساده کنترلی کاربرد دارد.
- نصب، برنامه نویسی و کار با آن ساده است.
- بصورت Compact عرضه میشود و I/O های آن On-Board است.
- انواع مختلف دارد و در برخی از انواع آن می توان ماژول اضافی نیز در کنار CPU قرار داد.
- برنامه نویسی آن با نرم افزار Step7-Micro/Win زیمنس انجام می شود.

PLC S7-1200 Siemens

در سال ۲۰۰۸ میلادی تولید پی ال سی S7 سری ۱۲۰۰ آغاز شد. با توسعه و رفع مشکلات S7-200 زیمنس محصول جدید و جایگزین آن یعنی S7-1200 را معرفی کرد. PLC S7 1200 جزء سری پی ال سی های جدید و به روز تجهیزات اتوماسیون صنعتی خانواده SIMATIC S7 زیمنس می باشند که برای کاربردهای سبک و پروسه های کوچک طراحی شده اند.

PLC های سری S7 زیمنس بر اساس قابلیت، محدوده کاربرد و به روز بودن، امروزه در صنعت و اغلب تجهیزات و پروسه های قدیمی و جدید مورد استفاده قرار می گیرند. به نظر میرسد پی ال سی ۱۲۰۰ محبوب ترین سری در بین انواع پی ال سی های زیمنس باشند که می توان به صورت خلاصه آن ها را به صورت زیر معرفی کرد.

- نسل جدید PLC های شرکت زیمنس است.
- جایگزین S7-200 بوده و برای کاربرد های کوچک طراحی شده است.
- در این CPU ها به صورت Compact پورت PROFINET نیز وجود دارد که از شبکه های نسبتاً جدید می باشد.

شبک PROFINET در دو نسخه ی I/O و CBA ارائه شده که نسخه ی I/O آن شبیه PROFIBUS-DP و نسخه CBA آن شبیه Industrial Ethernet است.

- در پنج مدل CPU1211C ، CPU1212C، CPU1214C، CPU1215C، CPU1217C ارائه شده است.
- در CPU های 1212 حداکثر دو ماژول و در CPU های 1214، 1215 و 1217 حداکثر تا هشت ماژول ورودی و خروجی می توان در کنار CPU اضافه نمود.

PLC S7-300 Siemens

سری S7-300 یکی از پرکاربرد ترین و پرطرفدارترین سری پی ال سی هایی که توسط شرکت زیمنس به بازار عرضه شده است. S7-300 زیمنس یک PLC ماژولار است. ماژول های آن تنوع زیادی دارند و به سهولت قابل دسترسی و توسعه می باشند. تا ۲۰۰۰ ورودی و خروجی را ساپورت می کنند. CPU این پی ال سی هم به صورت کامپکت وهم بصورت ماژولار ارائه می شود. در این سری محصولات PLC زیمنس پردازشگر انتخاب شده (CPU) تعیین کننده حداکثر تعداد ورودی و خروجی می باشد.

پی ال سی S7300 زیمنس در مقایسه با پی ال سی S7-200 که به صورت کامپکت می باشد دارای مزایای زیر می باشد :

- اضافه کردن ماژول
- اضافه کردن ورودی و خروجی
- پشتیبانی از کارت سخت افزاری مختلف
- سرعت پرازش بالاتر
- قابلیت شبکه شدن از طریق پورت اترنت
- و ...

در واقع پی ال سی ۳۰۰ زیمنس برای کارهای بزرگتر استفاده می شود که می توان به صورت خلاصه آن را به صورت زیر معرفی کرد.

- یکی از PLC های پرکاربرد زیمنس است.
- حوزه ی عملکرد آن متوسط است.
- ماژولار است.
- ماژول های آن تنوع زیادی دارند.
- به سهولت قابل توسعه است.
- برنامه نویسی آن با نرم افزار STEP7 انجام می شود.

PLC S7-300C Siemens

- شبیه S7-300 معمولی زیمنس است، با این تفاوت که CPU همراه با برخی ماژول های دیگر مانند ورودی/خروجی بصورت Compact عرضه شده است.
- در انتهای کد CPU حرف C معرف این نوع است مانندCPU 314C

- برای کاربردهای معمولی و نسبتاً ساده قابل استفاده است.
- نسبت به S7-300 زیمنس مقرون به صرفه تر است.
- قابلیت اضافه کردن ماژول های دیگر به این نوع PLC وجود دارد و این کار به راحتی امکان پذیر است.

PLC S7-400 Siemens

این مدل قدرتمند پی ال سی زیمنس S7 سری ۴۰۰ شامل تنوع بالای CPU می باشد. استفاده از ماژول های متنوع و متعدد از مزایای این نوع پی ال سی محسوب می شود. پی ال سی های S7 سری ۴۰۰ مناسب برای پروژه های بزرگ صنعتی همچون فولاد می باشند. تفاوت آن با دیگر پی ال سی های ماژولار نصب به صورت عمودی می باشد و ماژول مرکزی در قسمت پشت پی ال سی قرار دارد. بقیه کارت ها از طریق رک بهم متصل می شوند و رک سری ۴۰۰ نسب به بقیه سری ها متفاوت است. تعداد ورودی و خروجی نهایی در پی ال سی ۴۰۰ زیمنس ۵۰۰۰ واحد می باشد.

شکل (۴-۲۰) کنترل کننده منطقی Siemens S7400

S7-400 زیمنس را می توان به صورت خلاصه به صورت زیر معرفی کرد :

- حوزه ی عملکرد وسیع دارد.
- ماژولار است.
- حجم زیادی از سیگنال ها را می تواند پوشش دهد.

- به راحتی قابل توسعه است.
- در مقایسه با S7-300 زیمنس سرعت پردازش بالاتر، حافظه بیشتر و امکانات وسیع تری دارد.
- برنامه نویسی آن با نرم افزار STEP7 زیمنس انجام می شود.

PLC S7-400H Siemens

پایه ی آن همان S7-400 زیمنس است، ولی در جایی که High Availability مورد نیاز است، به کار می رود. مانند پروسه ای که در صورت توقف، منجر به خسارت زیاد می شود. مثلاً محصول گران قیمتی از بین می رود جایی که هزینه راه اندازی مجدد سیستم پس از رفع عیب بالاست. جایی که بهره برداری از پروسه بدون مانیتورینگ و با حداقل پرسنل تعمیراتی انجام می شود. به این سیستم Redundant نیز گفته می شود. که در آن دو عدد CPU زیمنس به عنوان رزرو گرم یکدیگر (Hot-Standby) قرار می گیرد. در صورت بروز خطا روی یکی از CPU ها یا ماژول های مربوط به آن، سیستم به طور اتوماتیک در زمان بسیار کوتاهی به CPU زیمنس دیگر سوئیچ می شود. در طول مدت سوئیچ شدن، خروجی ها ثابت می مانند تا مشکلی در فرآیند پیش نیاید. پس از عملیات سوئیچ میتوان ماژول معیوب را تعویض یا رفع عیب کرد. برای برنامه ریزی و پیکر بندی این سیستم، علاوه بر Step7 باید پکیج H-System نیز نصب شود.

PLC S7-400FH Siemens

- از خانواده S7-400 زیمنس است.
- توانایی های S7-400H را داراست.
- توانایی های F-system را نیز دارد، یعنی برای کاربرد هایی که به درجه ایمنی بالا نیاز دارند نیز مناسب است.

PLC S7-1500 Siemens

پی ال سی S7-1500 زیمنس، برای دستگاه های با سایز متوسط تا بالا با نیازهای عملکردی بالای ارتباطات، انعطاف پذیری و توابع تکنولوژی، حداکثر عملکرد را فراهم می سازند. واحد پردازش مرکزی پی ال سی های سری S7-1500 ، برنامه کاربر را اجرا می کند و کنترلر را با سایر بخش های اتوماسیون شبکه می کند.PLC های سری S7-1500 در مقایسه با سری S7-300 و S7-400دارای مزایایی همچون سرعت تا ۴۰ برابر بالاتر، کارایی و کیفیت بیشتر، برخورداری از پورت ارتباطی پروفی نت، نرم افزار برنامه نویسی با قابلیت های افزونتر، دارای نمایشگر و خطایابی ساده تری می باشند. با استفاده از نرم افزار مربوطه می توان برنامه های نوشته شده برای مدل های S7-200/300/400 را بدون نیاز به تغییر در برنامه به S7-1500 تبدیل کرد. مشخصه ظاهری پی ال سی ۱۵۰۰ زیمنس وجود صفحات نمایشگر بر روی CPU آنهاست.

S7-1500 زیمنس را می توان به صورت خلاصه به صورت زیر معرفی کرد :

- از جدیدترین سری CPU های شرکت زیمنس است.
- روی CPU های آن LCD وجود دارد که امکان برنامه نویسی و مانیتورینگ را به کاربر می دهد.
- برای برنامه نویسی توسط PC باید نرم افزار (Step7 TIA Portal) نصب شود.
- در سه مدل با ظرفیت های مختلف به شرح زیر ارائه شده است :

- CPU-1511-1PN: برای کاربرد های کوچک تا متوسط
- CPU-1513-1PN: برای کاربرد های متوسط تا بزرگ
- CPU-1516-3PN/DP: کامل ترین نوع سری ۱۵۰۰، دارای دو پورت PROFINET و یک پورت PROFIBUS

Simatic C7 Siemens

Simatic C7 ترکیبی از S7-300 و Operator Control است و علاوه بر اینکه کار کنترلی را انجام می دهد، بر روی نمایشگر آن می توان پیغام ها، رخدادها و مقادیر مربوط به فرآیند را دید و دستوراتی را نیز توسط صفحه کلید روی آن اعمال نمود. Simatic C7 زیمنس نسبتاً قدیمی و Compact بوده و انواع مختلف دارد که توانایی آنها با هم متفاوت است.

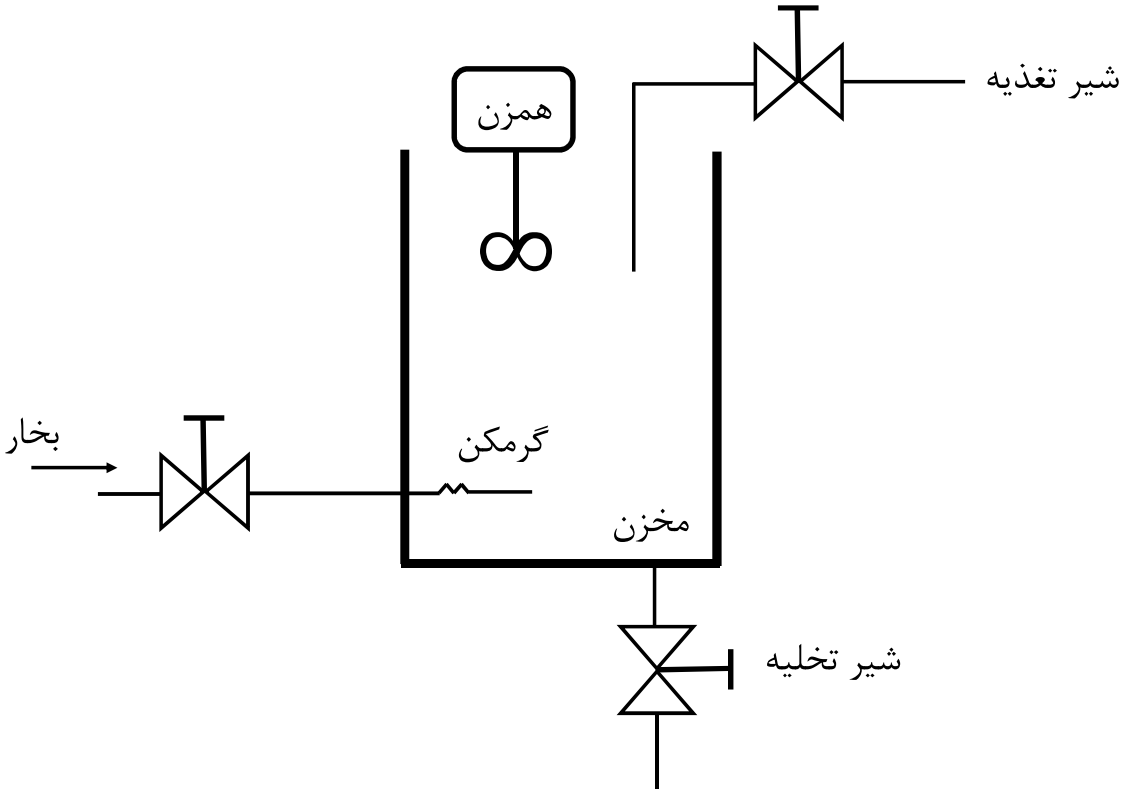
برای برنامه نویسی این PLC ها علاوه بر STEP7 زیمنس نرم افزار WinCC Flexible زیمنس نیز مورد نیاز است که با استفاده از آن می توان پیکر بندی و تنظیمات پنل مانیتورینگ زیمنس را انجام داد. قبلاً این کار توسط نرم افزار Protocol انجام می شد.

Simatic 505 Siemens

سری ۵۰۵ انواع مختلفی دارد که برای کاربرد در حوزه های کوچک و متوسط طراحی شده است. همه اعضای این خانواده بصورت Compact عرضه شده و برنامه نویسی آنها با نرم افزار TISOFT زیمنس انجام می شود . سخت افزار و نرم افزار مربوط به شرکت Texas Instruments می باشد.

۴-۷- سیستم های کنترل توزیع شده (Distributed Control System) :

کنترل پروسه های بزرگ و پیچیده مسائل و مشکلات مخصوص به خود را دارد. به عنوان مثال شمار حلقه های کنترل در یک مجتمع پتروشیمی گاهی به بیش از یک هزار حلقه می رسد و در این حال رقم اندازه گیرها و عناصر نهایی از چند ده هزار نیز فراتر می رود. همچنین هر یک از این حلقه ها علاوه بر ارتباطات داخلی ممکن است با حلقه های دیگر نیز ارتباطاتی داشته باشند. در چنین مواردی حجم سیم کشی و مدارهای ارتباطی حلقه ها با یکدیگر (Interlocks) بسیار بالا می رود و هزینه زیادی را به خود اختصاص می دهد. به عنوان مثالی ساده، پروسه ای مطابق شکل (۴-۲۱) را در نظر بگیرید :



شکل (۴-۲۱) یک فرآیند نمونه در صنایع شیمیایی با خواسته های کنترلی مربوطه

خواسته های کنترلی در این پروسه به شرح زیر می باشند:

الف) گرم کن

۱) در صورتی که ارتفاع ماده در مخزن کمتر از حد مجاز باشد گرم کن نباید روشن شود.

ب) همزن

۱) با رسیدن دما به T_1 همزن شروع به کار کند.
۲) بعد از تخلیه کامل تانک همزن خاموش شود.

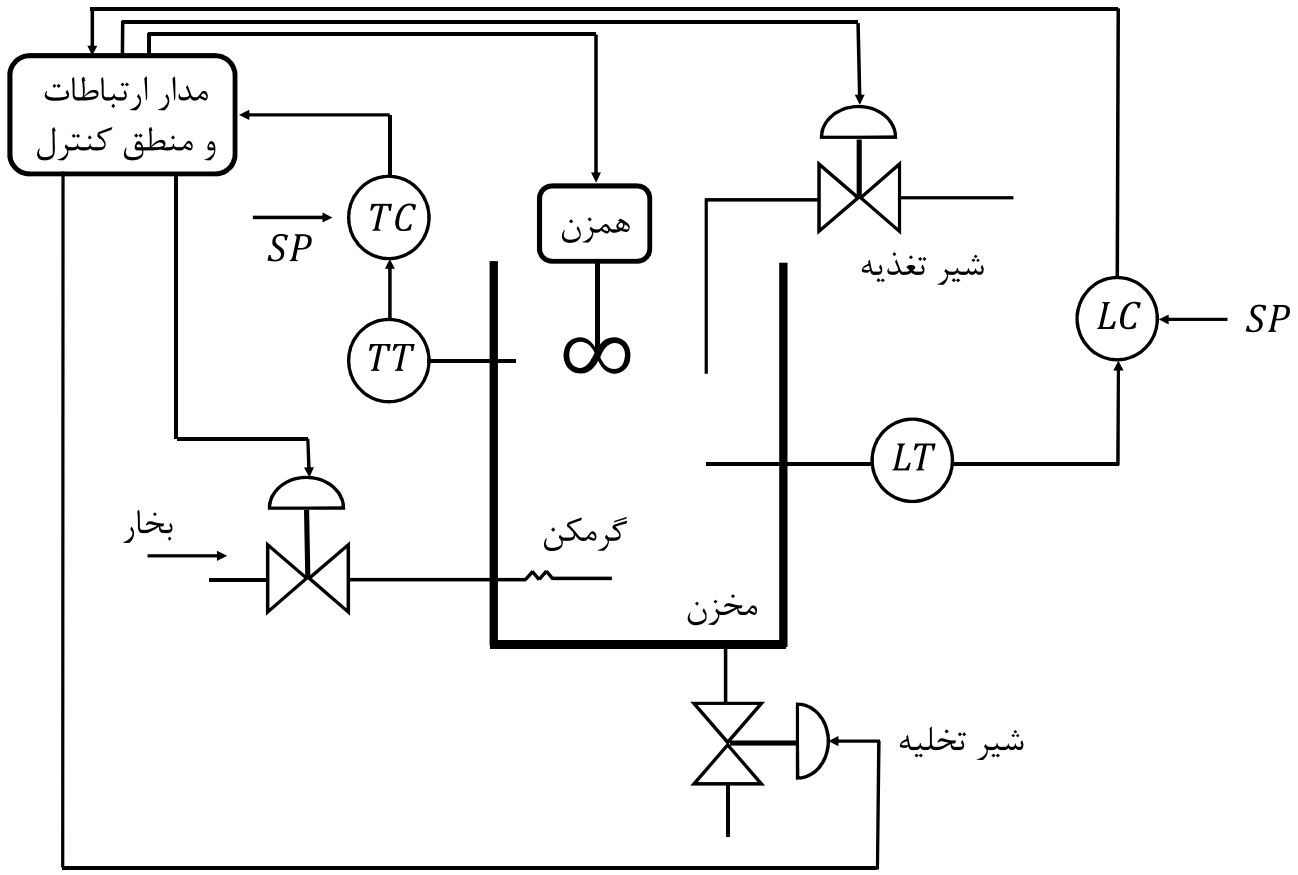
ج) پر و خالی کردن مخزن

۱) در شروع کار ابتدا مخزن پر شود.
۲) سپس گرم کن روشن گردد.
۳) آنگاه با رسیدن به دمای T_1 همزن شروع بکار کند.
۴) با رسیدن به دمای T_2 تخلیه تانک آغاز شود.
۵) تا تخلیه کامل مخزن همزن روشن بماند.
۶) در صورت نیاز سیکل دیگری آغاز گردد.

در پروسه فوق با سه حلقه کنترل روبرو هستیم :

۱) حلقه کنترل گرم کن (دما)
۲) حلقه کنترل ارتفاع ماده
۳) حلقه کنترل همزن.

طرح تجهیزاتی کنترل پروسه بصورت شکل (۴-۲۲) می تواند باشد.



شکل (۴-۲۲) طرح تجهیزاتی کنترل فرآیند نمونه

در شکل (۴-۲۲) قسمتی که با نام مدار ارتباطات و منطق کنترل مشخص گردیده خود شامل تعدادی رله یا مدارهای الکترونیکی است. به گونه ای که ارتباطات خواسته شده بین حلقه های کنترل را بر آورده می سازد. به جای این قسمت از یک PLC نیز می توان استفاده نمود. حال فرض کنید علاوه بر خواسته های فوق بخواهیم تغییرات دما و ارتفاع ماده در مخزن را به طور روزانه و یا در هر شیفت کاری ثبت کنیم. همچنین ممکن است مخزن توسط مواد مختلف پر و خالی شود و خواسته باشیم آمار فوق را برای هر ماده به طور جداگانه ثبت نماییم. برای اینکار نیاز به تعدادی ثبات (Recorder) و مدارات ارتباطی جدیدی می باشد.

ملاحظه می فرمائید که تأمین خواسته های فوق حتی در پروسه ای چنین کوچک تا چه اندازه پیچیده و پر هزینه خواهد بود. با توجه به این مثال می توان تصوری از پیچیدگی و هزینه کنترل یک مجتمع با ده ها هزار اندازه گیر و عنصر نهائی به دست آورد.

سیستم های توزیع شده (DCS) با توانایی های جالب خود مشکل پیچیدگی و هزینه مجتمع های بزرگ را حل می کنند. یک سیستم DCS را به عبارتی می توان یک شبکه کامپیوتری تصور نمود که با جمع آوری اطلاعات از اندازه گیرهای محلی و استفاده از مدول های کنترل کننده به طریق نرم افزاری ارتباطات و منطق کنترل را تأمین می نماید و فرمان های لازم را به عناصر نهایی ارسال می دارد. توجه نمایید که استفاده از نرم افزار به جای سیم کشی و مدارهای ارتباطی (interlocks) صرفه جویی عظیمی در هزینه به دنبال خواهد داشت. همچنین استفاده از مدول های کنترل کنند با سرعت های بالا امکان استفاده از یک مدول جهت چندین حلقه کنترل را فراهم می سازد که این امر نیز به نوبه خود صرفه جویی اقتصادی و کاهش پیچیدگی سخت افزاری را به دنبال خواهد داشت. سیستم های توزیع شده با به کارگیری مدول های هوشمند و میکروپروسسورهای قوی امکان تنظیم دقیق و سریع حلقه های کنترل در مراحل مختلف تولید یک محصول را فراهم می آورند و بدینوسیله می توان ضایعات تولید را تا حد زیادی کاهش داد. معماری (architecture) یک سیستم توزیع شده امر مهمی است و کمپانی های سازنده بر حسب پروسه های تحت کنترل معماری های گوناگون را ارائه می نمایند. انتخاب یک معماری مناسب در هزینه و مرغوبیت محصول تولید شده نقش بسزائی دارد. سیستم های توزیع شده همچنین به نرم افزارهای مورد استفاده حساسیت زیادی دارند و استفاده از نرم افزار مناسب سرعت، دقت و توانایی های سیستم را تحت تأثیر قرار می دهد. در شکل (۴-۲۳) یک نمونه معماری ابتدایی از سیستم های توزیع شده نمایش داده شده است. وظایف قسمت های مختلف در این معماری به شرح زیر می باشد :

مدول های I,O

وظیفه این قسمت گرفتن اطلاعات از ورودی ها یا ارسال آن به خروجی ها می باشد. برای اینکار گاهی لازم است اطلاعات از حالت آنالوگ به دیجیتال و یا بر عکس تبدیل شود که این کار نیز در این قسمت صورت می پذیرد. کار دیگر مدول های I,O عمل بافر کردن و ایزولاسیون ورودی ها و خروجی ها نسبت به سیستم DCS می باشد.

باس های I,O محلی

اتصال مدول های I,O به کنترل کننده ها از طریق این باس ها انجام می شود. باس های I,O محلی امکان اتصال گروه های ورودی - خروجی را به یک یا چند کنترل کننده فراهم می سازند و به بیان دیگر با مالتی پلکس کردن گروه های ورودی - خروجی با یک کنترل کننده می توان تعداد و هزینه کنترل کننده ها را پایین آورد.

مدول های کنترل کننده

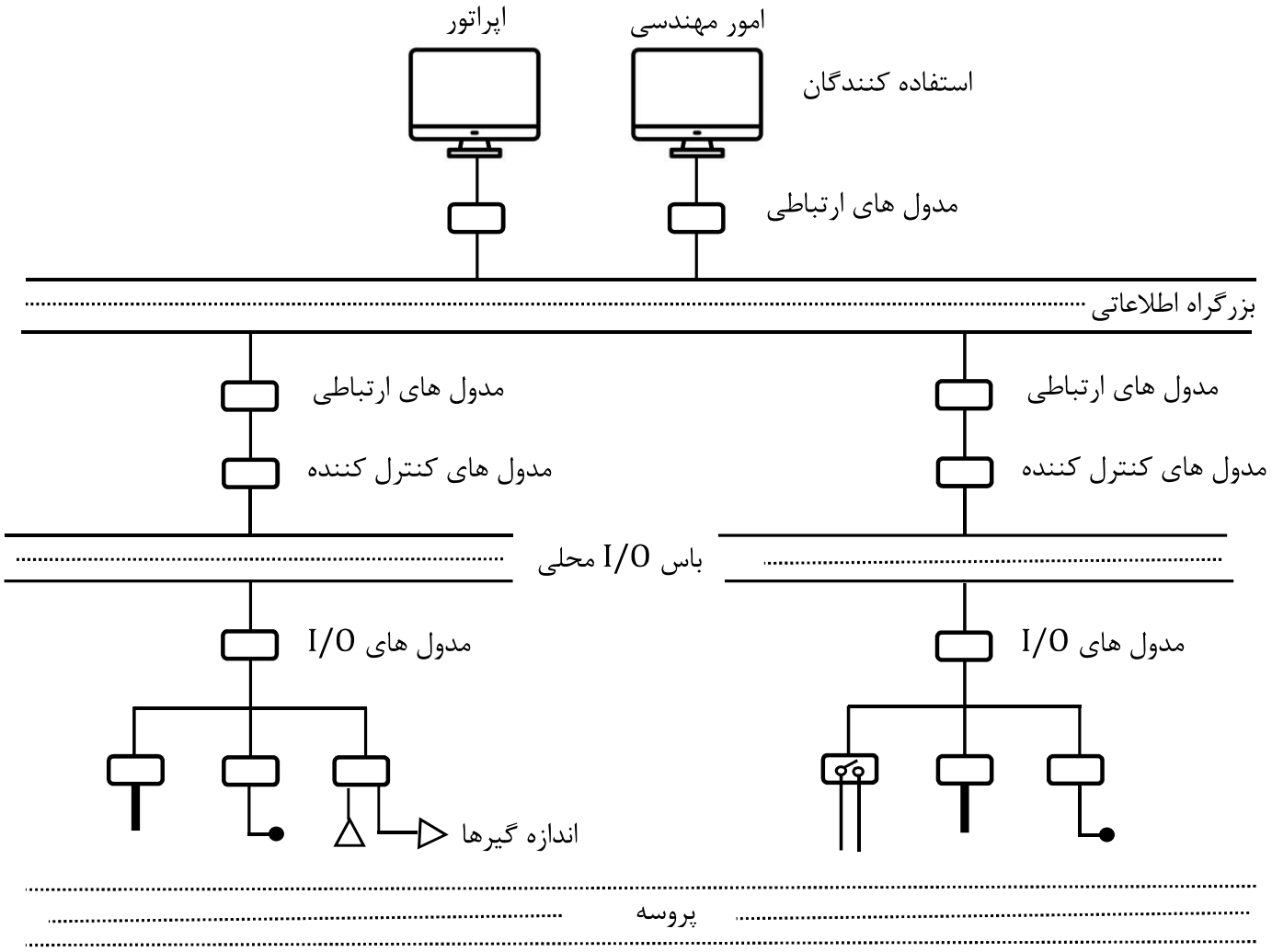
این مدول ها وظیفه متداول و معمول کنترل کننده ها در حلقه های کنترل را بر عهده دارند و از آنجایی که معمولا" دیجیتالی هستند، تنظیم و تصحیح آنها به صورت نرم افزاری انجام می گردد که این امر امکانات جالبی را فراهم می سازد. این کنترل کننده ها علاوه بر انواع کلاسیک می توانند از نوع منطقی (PLC) و یا فازی (Fazzy) و .... نیز باشند.

بزرگراه اطلاعاتی

کلیه قسمت های یک سیستم DCS می توانند از طریق این بزرگراه (BUS) به قسمت های دیگر دسترسی و کسب اطلاع داشته باشند. این بزرگراه در واقع یک شبکه ارتباطی گسترده می باشد .

ارتباطات استفاده کننده با سیستم

ارتباط استفاده کننده (user) با DCS می تواند به صورت اپراتوری یعنی جهت نظارت و کنترل باشد و یا به صورت ارتباطات مهندسی جهت تنظیم بررسی های کنترل کیفی، تهیه آمار و ارقام و یا تعمیر و نگهداری باشد. این کار نیز از طریق ترمینال های استفاده کننده صورت می پذیرد. معماری فوق همانطور که گفتیم طرحی ابتدایی است و در سیستم های جدید به ندرت مورد استفاده قرار می گیرد.



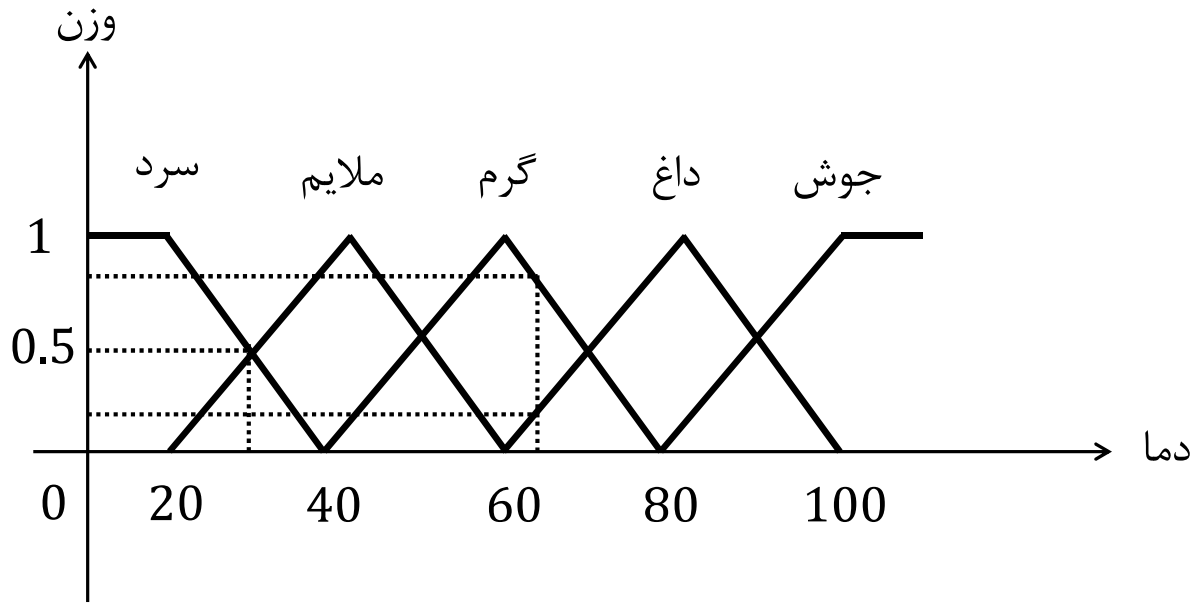
شکل (۴-۲۳) یک نمونه معماری ابتدایی از سیستم های DCS

۴-۸-کنترل فازی (Fazzy-Control) :

کنترل فازی بر پایه منطق فازی استوار است. نظریه منطق فازی نخستین بار توسط دانشمند ایرانی آقای لطفی زاده ارائه گردید. منطق فازی یکی از سه منطق (منطق ارسطویی، منطق دیالتیک و منطق فازی) شناخته شده برای انسان امروزی است.

در منطق فازی یک شیء یا یک کمیت می تواند با ضرائب وزنی گوناگون، شیء و یا کمیت دیگری نیز باشد. مثلا هرگاه مجموعه انسان های با قد بیش از دو متر را انسان های بلند قد و مجموعه انسان های کمتر از ۱/۵ متر را انسان های کوتاه قد تعریف کنیم، آنگاه در مورد یک شخص با قد ۱/۷۵ متر چه می توان گفت؟ در منطق فازی این شخص با یک ضریب عضویت، جزء مجموعه بلند قدها و با ضریب دیگری عضو مجموعه کوتاه قدها می باشد.

در کنترل فازی کمیت ها به صورت عبارات دقیق بیان می شوند، نه بصورت مقادیر. به عنوان مثال فرض کنید دمای یک مخزن آبگرم بین مقادیر صفر تا ۱۰۰ درجه تغییر کند. نمایش فازی این کمیت (دما) می تواند به صورت شکل (۴-۲۴) باشد :

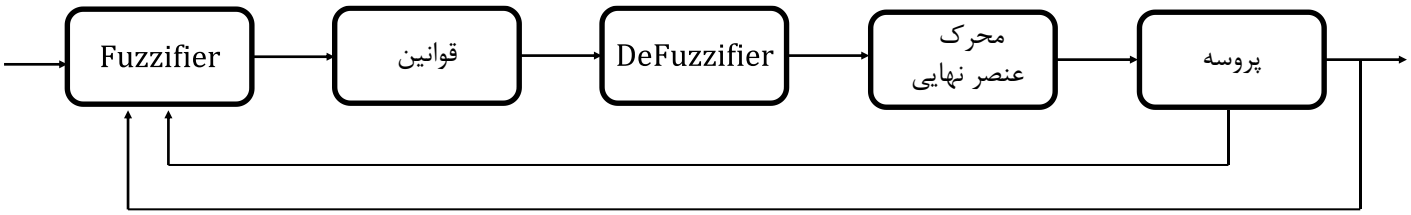


شکل (۴-۲۴) بیان کمیت دما به روش فازی

در اینجا دمای صفر تا صد درجه را به پنج مجموعه سرد، ملایم، گرم، داغ و جوش تقسیم کرده ایم. فرض کنید در یک لحظه از زمان دمای دیگ ۳۰ درجه باشد. در نگرش فازی به جای آنکه بگوییم دمای آب ۳۰ درجه است باید بگوییم دما با ضریب ۰.۵ ملایم و با ضریب ۰.۵ سرد است. همچنین دمای ۶۵ درجه کمیتی با ضریب ۰.۷۵ گرم و با ضریب ۰.۲۵ داغ می باشد. نمایش جعبه ای کلی یک سیستم کنترل به روش منطق فازی مطابق شکل (۴-۲۵) می باشد.

در قسمت fuzzifier اطلاعات (ورودی ها، خروجی ها، مقادیر اندازه گیری شده و .....) به عبارات و قضاوت های فازی تبدیل می شوند. سپس در قسمت قوانین (Rules) تصمیمات بر اساس قوانین مورد نظر اتخاذ می گردند. آنگاه این تصمیمات مجددا در قسمت Defuzzifier به فرمان های آنالوگ یا دیجیتال تبدیل شده و به محرک و عنصر نهایی اعمال می گردند. امروزه کشور

ژاپن در استفاده از کنترل فازی پیشتاز می باشد و از این روش در ساخت لوازم خانگی، سیستم های پرنده (مخصوصاً هلی کوپترها) و نیروگاه های گازی استفاده می کند. استفاده از کنترل فازی در ماشین های لباس شویی موجب صرفه جویی قابل توجه ای در مصرف آب و زمان شستشو می گردد. یک کمپانی آلمانی از روش کنترل فازی در PLC های کنترل کننده نیروگاه های بادی استفاده می نماید و بالاخره یک شرکت سازنده اتومبیل در آمریکا نیز از این روش در ساخت سیستم های دنده اتوماتیک استفاده می کند. امروزه مدارات مجتمع و کامپیوترهای دیجیتال انجام عملیات فازی را به صورت عملیات جبری امکان پذیر ساخته اند و انتظار می رود در آینده نزدیک استفاده از کنترل فازی در صنعت توسعه بیشتری یابد.



شکل (۴-۲۵) طرح کلی یک سیستم کنترل به روش فازی

۴-۹- کنترل با شبکه های عصبی (Neural Networks) :

امروزه شبکه های عصبی در کنترل، پردازش سیگنال ها، شناسایی سیستم ها، پردازش اطلاعات آماری و ..... کاربرد فراوان یافته است. قابلیت ها و سرعت بالای پردازش در شبکه های عصبی موجب کاربرد وسیع آنها در کنترل مخصوصاً کنترل سیستمهای غیر خطی شده است.

۴-۱۰-کنترل آماری و اتفاقی :

بسیاری از سیستم هایی که در صنعت با آنها سر و کار داریم ماهیتی اتفاقی دارند. مثلا اغتشاشات اساسا ورودی هایی اتفاقی هستند که می توان خواص آماری آنها را (میانگین، واریانس و ...) تعیین نمود. در کنترل اتفاقی اصول و اجزاء کنترل با توجه به خواص آماری سیگنال ها و فرامین، تعیین می شود. کنترل اتفاقی در سیستم های پرنده و موشک های پیشرفته کاربرد فراوان دارد.

۴-۱۱-واحد پایانه کنترل از راه دور (Remote Telecontrol Unit-RTU) :

RTU یک سیستم دیجیتالی است که برای خودکار کردن فرآیندهای الکتریکی و مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گاهی اوقات، واحد تله متری ریموت یا Remote Telecontrol Unit نیز نامیده می‌شود.

Remote

کلمه Remote به معنای از راه دور نشان می‌دهد که RTU دستگاهی است که در یک مکان مشخص نصب شده و از راه دور کنترلی را انجام می‌دهد. این دستگاه قادر است چندین دستگاه و سیستم‌های مختلف را در فرآیندهای اتوماسیون صنعتی کنترل کند.

Telecontrol

یک RTU به عنوان پایانه‌ای عمل می‌کند که داده‌ها را جمع‌آوری کرده و آنها را به فرم داده‌های قابل انتقال در می‌آورد؛ سپس، مجددا آنها را به ایستگاه مرکزی ارسال می‌کند. داده‌هایی که به ایستگاه مرکزی ارسال می‌شوند، **تله متری** نامیده می‌شوند.

Unit

یکRTU ، واحد یا دستگاهی است که قادر به انجام عملیات ذکر شده در موارد قبلی است. این دستگاه می‌تواند یک سیستم نظارت شبکه بسیار پایدار و قابل اعتماد ارائه نماید.

۴-۱۱-۱-اصطلاحات پایه کاربردی درRTU

در این بخش ۴ اصطلاح پایه‌ای را توضیح خواهیم داد. شناختن این اصطلاحات کمک می‌کند تا درک بهتری از RTU بدست آورید. این اصطلاحات عملاً بخشی از ویژگی‌های کاربردی RTU نیز هستند.

۱) سرور پایانه سریال(Serial Terminal Server)

شرکت‌های مختلف معمولا، چندین تکنولوژی از نسل‌های مختلف را مورد استفاده قرار می‌دهند. این کار ممکن است به دلیل قدمت شروع به کار شرکت یا با هدف صرفه‌جویی باشد. این تفاوت نسل‌های تکنولوژی‌های مختلف ممکن است مسئله‌ساز باشد اما RTU به حل این مشکل کمک می‌کند. برای مثال، اگر تجهیزات مبتنی بر شبکه LAN داشته باشید، و همچنین تجهیزاتی که تنها از طریق اتصال سریال ارتباط برقرار کنند، یک RTU می‌تواند به عنوان رابط بین آنها عمل کند.

۲) ورودی‌ها و خروجی‌های رله کنترلی

یکی از بزرگ‌ترین مزیت های واحد پایانه کنترل از راه دور یا همان RTU این است که عملکرد آن نسبت به تجهیزات راه دورِ نظارت، بسیار بهتر است. تکمیل پاسخ با خروجی‌های رله کنترلی نیز آسان‌تر است. زیرا می‌توانید از داده‌هایی جمع‌آوری شده توسط نظارت راه دور استفاده نمایید. برخی کارهای دیگر مانند باز کردن قفل درها، فعال‌سازی ژنراتورها، تنظیم آنتن و موارد دیگر می‌تواند توسط RTU انجام شود. یک RTU اساسا به عنوان یک سوئیچ فیزیکی معمولی عمل می‌کند که باعث صرفه‌جویی بسیار در زمان و انرژی شما می‌شود.

۳) ورودی برق دوگانه

برای اطمینان از عملکرد RTU هنگام مشکلات برقی باید یک منبع برق اضافی در دسترس باشد. اگر دو منبع برق داشته باشید، حتی در صورت از کار افتادن یکی از آنها، RTU همچنان به کار خود ادامه می‌دهد.

۴) ورودی ولتاژ/ جریان آنالوگ

برخی از داده‌ها، برخلاف داده‌های دودویی و باینری (صفر/یک)، به مقادیر دقیق عددی/درصدی نیاز دارند. به همین دلیل، بهتر است ورودی‌ای داشته باشید که ولتاژ یا جریان را از طریق پایه‌های آنها اندازه‌گیری کند. به کمک یک RTU می‌توانید این مقادیر را وارد کنید. بدین صورت که واحد پایانه کنترل از راه دور، ولتاژ یا جریان را به مقادیر قابل درک سنسور تبدیل می‌کند.

یکی از مزیت‌های بزرگ RTU این است که به شما این امکان را می‌دهد که شبکه خود را به طور موثرتری مدیریت کنید. از آنجایی که RTU یک دستگاه کنترلی از راه دور است می‌تواند تجهیزات را از را دور مدیریت کند. تصور کنید که این کار تا چه اندازه موثر و کارآمد است. استفاده از این دستگاه نه تنها باعث صرفه‌جویی در زمان می‌شود، بلکه می‌تواند دلیل کاهش بسیار زیاد هزینه‌های انتقال نیز شود. سیستم‌های جمع‌آوری داده‌ها و کنترل نظارت (SCADA) برای نظارت و کنترل تجهیزات و پردازش‌ها در سایت‌های راه دور مورد استفاده قرار می‌گیرند. RTU ها جزء ضروری این سیستم‌ها هستند. RTU ها اطلاعات را به روش‌های مختلفی جمع‌آوری نموده تا اطمینان حاصل کنند که بهترین عملکرد خود را ارائه می‌دهند.

۴-۱۱-۲- انواع RTU بر اساس اندازه

یکی از موارد ضروری هنگام انتخابRTU ، در نظر گرفتن اندازه آن متناسب با واحد صنعتی مورد نظر است. برای انجام این انتخاب گزینه‌های متفاوتی وجود دارد و با در نظر گرفتن معیارهای خاصی که چند مورد از آنها در ادامه ذکر شده است، می‌توانید RTU مناسبی را برگزینید.

- **RTU های کوچک**

برای برج‌های سلولی، واحدهای صنعتی کوچک و کابین‌های بسته باید واحد پایانه کنترل از راه دور کوچک را انتخاب کنید.

- **RTU های متوسط**

RTU های متوسط مناسب سوئیچ‌های راه دور هستند.

- **RTU های بزرگ**

برای دفاتر مرکزی و هاب‌های منطقه‌ای، RTU های بزرگ را باید انتخاب کنید.

اغلب دو مفهوم PLC و RTU با هم مقایسه شده و این دو دستگاه کنترلی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. میخواهیم از جنبه های مختلف به مقایسه این دو بپردازیم. از نظر قیمت، برنده در حال حاضر PLC است.PLC ها دارای قیمت پایین‌تری هستند اما بسیاری RTU را یک سیستم بسیار مقاوم می‌دانند چرا که موجب می‌شود به این باور برسید که صرفِ هزینه‌های بیشتر در ابتدای کار برای پیکربندی یک PLC، در نهایت برابر با هزینه انتخاب RTU خواهد بود.

از نظر کنترل یک فرآیند، RTU به احتمال زیاد در موقعیت برابری با PLC قرار می‌گیرد. هر دو کنترل کننده می‌توانند از چندین نوع مختلف کارت I/O استفاده کنند، ماژول‌های ارتباطی مختلف را به کار گیرند و فرآیندها را برنامه‌نویسی کنند که امر برنامه‌نویسی ممکن است نیاز به مداخله از طرف اپراتور داشته باشد. RTU دارای مزایایی همچون تحمل شرایط محیطی، واحد تغذیه پشتیبان و استقلال داخلی است.

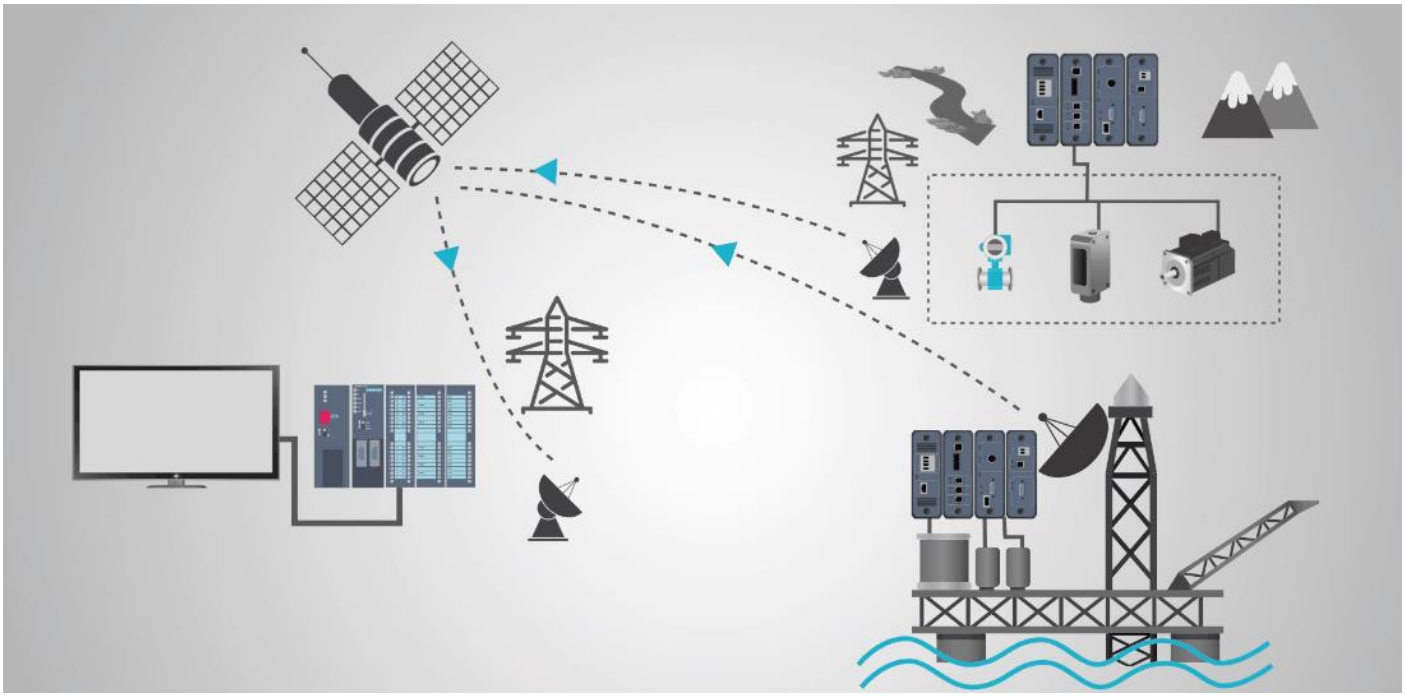
شخصی که با PLC کار می‌کند، به نرم‌افزار خاص، مهارت‌ها و دانش خاصی در زمینه Logic ladder ، Structured Text Block Function نیاز دارد. اما RTU گاهی اوقات می‌تواند از طریق یک رابط وب ساده برنامه‌نویسی شود. در موارد دیگر RTU دارای یک نرم‌افزار راه‌اندازی است که می‌تواند در پیکره بندی کارت‌های ورودی و خروجی و همچنین ارتباطات کمک کند.

همچنین بسیاری ازRTU ها دارای ماژول‌های از پیش برنامه‌ریزی شده هستند که می‌توان از آن‌ها فقط در عملیات‌های خاص استفاده کرد. البته این مزیت می‌تواند به سرعت به یک عیب بدل شود.

برخی ازRTU ها ممکن است با زبان‌هایی مانند Basic ، Visual Basicو C# برنامه‌نویسی شوند. البته این زبان‌ها همانند زبان‌های برنامه‌نویسیPLC ها به مهارت خاصی نیاز دارند. لازم به ذکر است که برخی ازRTU ها به همان زبان‌های برنامه‌نویسی PLC همچون Ladder Logic و Structured Text برنامه‌نویسی می‌شوند.

یک مزیت مهم RTU ، تحمل شرایط محیطی است. RTU به طور گسترده‌ای در محیط‌هایی با درجه حرارت بالا و در مکان‌های دور افتاده استفاده می‌شود. هنگامی که می‌گوییم از راه دور، منظورمان چند متر یا چند صد متر نیست بلکه منظورمان کیلومترها جاده‌های خاکی، بالای کوه‌ها، در سکوهای نفتی و جاهایی از این قبیل است. RTU ها مکررا با امواج رادیویی، مایکروویو و ایستگاه‌های ماهواره‌ای در ارتباط هستند و از این ارتباطات بهره می‌گیرند. تصور کنید که از RTU در یک سکوی نفتی استفاده می‌کنید. دستیابی به ارتباطات و اطلاعات قابل اعتماد، هم ضروری و هم دشوار است. با استفاده از مزایای بیان شده، ارسال و دریافت داده‌ها در این قبیل مکان‌ها بسیار راحت خواهد بود.

برخی ازRTU ها دارای باتری پشتیبان و مدار شارژی مبتنی بر انرژی خورشیدی هستند که به آن‌ها اجازه می‌دهد، حتی در صورت قطع برق AC به کار خود ادامه دهند. البته، PLC ها نیز می‌توانند پشتیبان UPS داشته باشند که دارای مزایای مشابهی با RTU می‌باشد اما مدار شارژ مبتنی بر انرژی خورشیدی، یک برتری مختص به RTU است. بزرگترین مزیت RTU ، تحمل بالای شرایط محیطی است که این امر، رقابت را برای PLC دشوار می‌کند. اما در کل، تفاوت‌های زیادی میانRTU های مدرن وPLC ها وجود ندارد.



شکل (۴-۲۶) طرح کلی یک سیستم کنترل به RTU

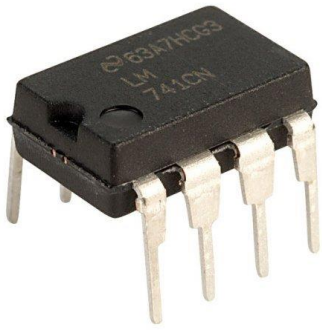
فصل پنجم

تقویت کننده های عملیاتی

۵-۱- تقویت‌کننده عملیاتی (Operational Amplifier)

تقویت‌کننده عملیاتی یا آپ امپ (Op Amp) ، یک مدار الکترونیکی است که مانند منبع ولتاژ کنترل‌شده با ولتاژ عمل می‌کند. از تقویت‌کننده های عملیاتی برای ساخت منبع جریان کنترل شده با جریان یا ولتاژ نیز استفاده می‌شود. یک تقویت‌کننده عملیاتی، قابلیت جمع کردن، تقویت، انتگرال‌گیری و مشتق‌گیری سیگنال‌ها را دارد. به دلیل همین قابلیت‌های انجام عملیات ریاضی است که این مدارها را تقویت‌کننده عملیاتی می‌نامند. تقویت‌کننده‌های عملیاتی، کاربرد زیادی در طراحی مدارهای آنالوگ دارند.

تقویت‌کننده‌های عملیاتی، قطعاتی الکترونیکی هستند که از ترکیب پیچیده مقاومت، خازن، دیود و ترانزیستور ساخته شده‌اند. آپ امپ ها، در قالب مدارهای مجتمع یا همان آی‌سی‌های مختلف در دسترس هستند. شکل (۵-۱)، یک تقویت‌کننده عملیاتی معمولی را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۱) تقویت‌کننده عملیاتی یا آپ امپ

شکل (۵-۲)، یک آپ امپ هشت پایه را نشان می‌دهد.

پایه ۲ : ورودی وارون‌گر یا منفی

پایه ۳ : ورودی ناوارون‌گر یا مثبت

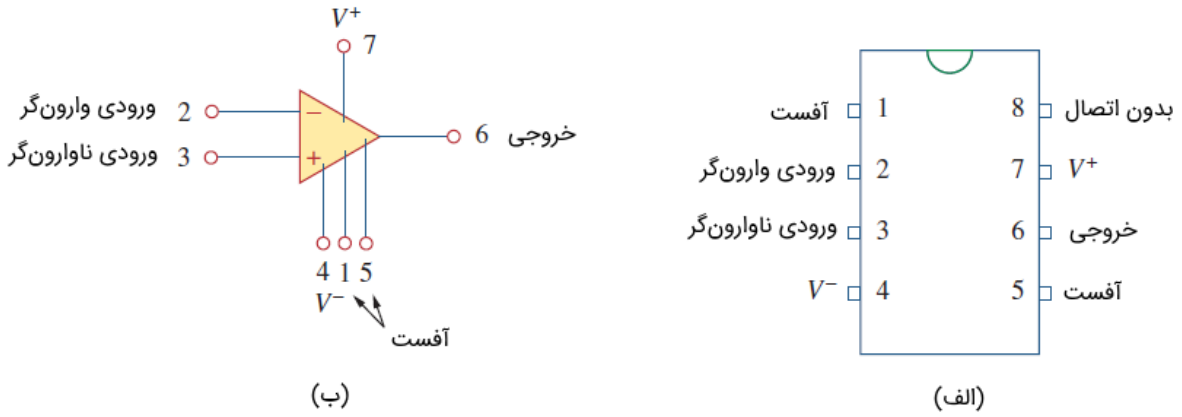
پایه ۴ : تغذیه منفی v^-

پایه ۵ : آفست

پایه ۶ : خروجی

پایه ۷ : تغذیه مثبت v^+

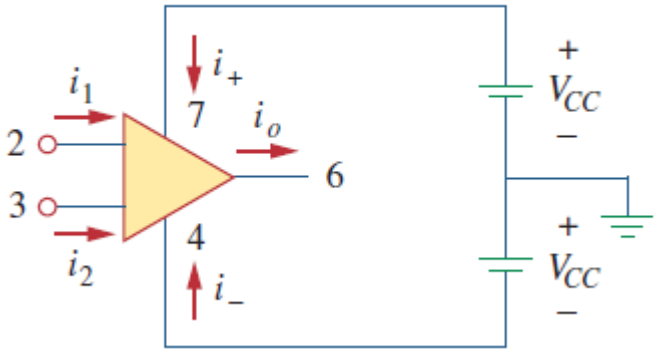
پایه ۸ : بدون استفاده



شکل (۵-۲) تقویت‌کننده عملیاتی ۸ پایه

همان‌گونه که در شکل (۵-۲) مشخص است، تقویت‌کننده عملیاتی دو ورودی و یک خروجی دارد. ورودی‌ها، به‌ترتیب با علامت منفی (−) برای ورودی‌های وارون‌گر یا منفی و مثبت (+) برای ورودی‌های ناوارون‌گر نشان داده می‌شوند. اگر یک ورودی به ترمینال مثبت اعمال شود، با پلاریته مشابه در خروجی ظاهر می‌شود، درحالی که اگر ورودی به ترمینال منفی وارد شود، با پلاریته معکوس به خروجی منتقل خواهد شد.

مانند همه عناصر فعال، باید تقویت‌کننده عملیاتی را مطابق شکل (۵-۳) با یک منبع ولتاژ تغذیه کرد.

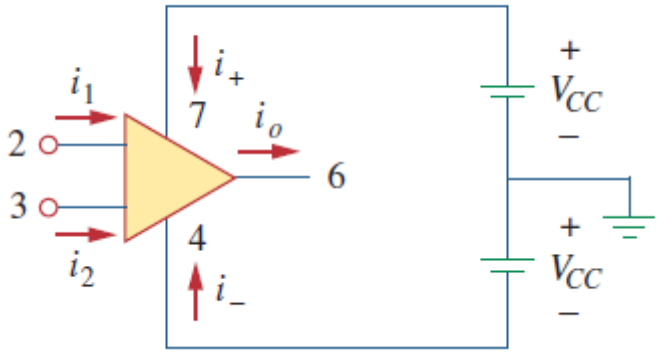


شکل (۵-۲) اتصال منبع تغذیه به تقویت‌کننده عملیاتی

اگرچه منابع تغذیه تقویت‌کننده‌های عملیاتی، اغلب برای سادگی، در نماد مداری آن‌ها آورده نمی‌شوند، اما جریان‌ها را نمی‌توان نادیده گرفت. با اعمال KCL داریم :

$$i_o = i_1 + i_2 + i^+ + i^+$$

مدل مدار معادل یک تقویت‌کننده عملیاتی در شکل (۵-۳) نشان داده شده است. بخش خروجی، از یک منبع کنترل‌شده با ولتاژ سری با مقاومت خروجی R_O تشکیل شده است. از شکل (۵-۳) مشخص است که مقاومت ورودی R_i ، مقاومت معادل تونن دیده شده از ترمینال ورودی است، در حالی که مقاومت خروجی R_O ، مقاومت معادل تونن خروجی است.



شکل (۵-۳) مدار معادل اپ امپ غیرایده‌آل

اختلاف ولتاژ ورودی v_d، با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$v_d = v_2 - v_1$$

که در آن، v_1 ولتاژ بین ترمینال منفی و زمین، و v_2 ولتاژ بین ترمینال مثبت و زمین است. آپ امپ، اختلاف بین دو ورودی را در بهره A ضرب می‌کند و سبب ایجاد ولتاژ در خروجی می‌شود. در نتیجه، ولتاژ v_o از رابطه زیر به‌دست می آید:

$$v_o = Av_d = A\,(v_2 - v_1)$$

پارامتر A ، بهره ولتاژ حلقه‌باز نامیده می‌شود، زیرا بهره آپ امپ بدون هرگونه فیدبک (بازخورد) از خروجی به ورودی است. جدول(۱-۵) مقادیر متداول بهره ولتاژ A ، مقاومت ورودی R_i ، مقاومت خروجی R_O و ولتاژ تغذیه V_{CC} را نشان می‌دهد.

محدوده رایج پارامترهای آپ امپ		
پارامتر	محدوده متداول	مقادیر ایده آل
بهره حلقه باز A	10^5 تا 10^8	∞
مقاومت ورودی R_i	10^5 تا $10^{13}\ \Omega$	$\infty\ \Omega$
مقاومت خروجی R_O	10 تا $100\ \Omega$	$0\ \Omega$
ولتاژ تغذیه V_{CC}	5 تا $24\ V$	

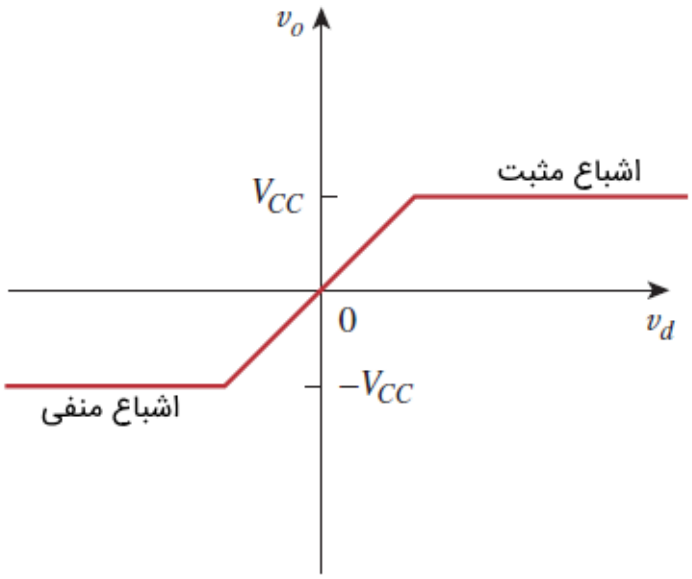
فیدبک، مفهوم مهمی برای درک مدارهای آپ امپ است. وقتی فیدبک منفی داریم که خرووجی به ورودی منفی بازخورانده می‌شود. با وجود مسیر فیدبک از خروجی به ورودی، نسبت ولتاژ خروجی به ولتاژ ورودی، بهره حلقه‌بسته نامیده می‌شود. می‌توان نشان داد که بهره فیدبک منفی، حساسیت کم‌تری نسبت به بهره حلقه‌باز دارد. به همین دلیل، آپ امپ‌ها با فیدبک منفی در مدار به‌کار می‌روند.

یک محدودیت عملی تقویت‌کننده عملیاتی این است که اندازه ولتاژ خروجی آن نمی‌تواند از $|V_{CC}|$ فراتر برود. به عبارت دیگر، ولتاژ خروجی به ولتاژ تغذیه وابسته است و توسط آن محدود می‌شود. شکل (۵-۴)، نشان می‌دهد که آپ امپ بسته به اختلاف ولتاژ ورودی v_d، در سه مُد کار می‌کند:

۱) اشباع مثبت $V_o = V_{CC}$

۲) ناحیه خطی $-V_{CC} \leq V_o = A\, v_d \leq V_{CC}$

۳) اشتباع منفی $V_o = -V_{CC}$



شکل (۵-۴) ولتاژ خروجی اپ امپ

اگر مقدار v_d را به خارج از ناحیه خطی افزایش دهیم، تقویت‌کننده، اشباع شده ومقدار ولتاژخروجی $V_o = -V_{CC}$ یا $V_o = V_{CC}$ خواهد شد. فرض می‌کنیم تقویت‌کننده در حالت خطی کار می‌کند. بنابراین، ولتاژ خروجی به بازه زیر محدود می‌شود:

$$-V_{CC} \leq V_o \leq V_{CC}$$

تقویت‌کننده عملیاتی ایده‌آل

برای درک عملکرد و بررسی مدارهای آپ امپ، فرض می‌کنیم این قطعات ایده‌آل هستند. یک آپ امپ ایده‌آل است، اگر مشخصات زیر را داشته باشد:

۱) بهره حلقه‌باز بی‌نهایت

۲) مقاومت ورودی بی‌نهایت

۳) مقاومت خروجی صفر

اگرچه فرض ایده‌آل بودن تقویت‌کننده، یک تحلیل تقریبی را نتیجه خواهد داد، اما تقویت‌کننده‌های پیشرفته، بهره و مقاومت ورودی بزرگی دارند که سبب می‌شود تحلیل با فرض ایده‌آل بودن خیلی دور از واقعیت نباشد.دو ویژگی مهم یک تقویت‌کننده عملیاتی ایده‌آل، به‌شرح زیر است:

۱) جریان ورودی به ترمینال‌ها صفر است :

$$i_1 = i_2 = 0$$

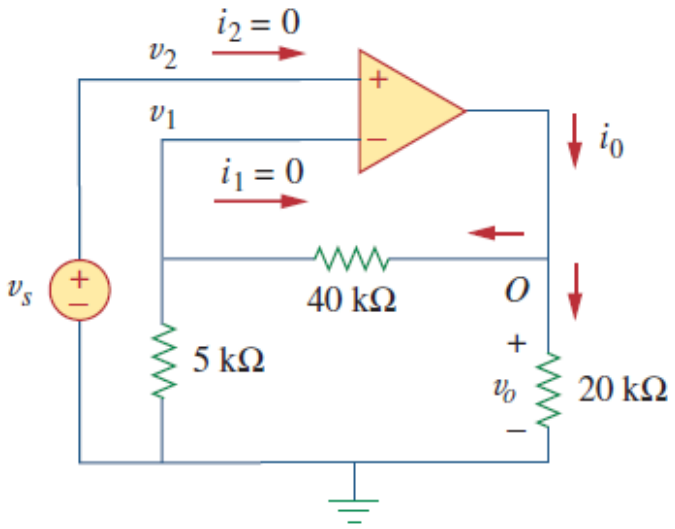
دلیل این امر آن است که مقاومت ورودی بی‌نهایت است. یک مقاومت بی‌نهایت بین دو ترمینال ورودی، مانند مدار باز عمل می‌کند و به همین دلیل جریانی به آن وارد نمی‌شود. اما جریان خروجی لزوماً صفر نیست.

۲) ولتاژ ورودی، صفر است :

$$v_d = v_2 - v_1 = 0 \rightarrow v_2 = v_1$$

بنابراین، جریان ترمینال‌های ورودی و ولتاژ بین آن‌ها در یک تقویت‌کننده عملیاتی ایده‌آل، صفر است.

مثال : یک تقویت‌کننده عملیاتی ۷۴۱ در شکل (۵-۵) نشان داده شده است. جریان خروجی را به‌دست آورید.



شکل (۵-۵) آپ امپ ۷۴۱

حل: از شکل مشخص است که :

$$v_2 = v_s$$

از آن‌جایی که $i_1 = 0$ ، مقاومت‌های ۴۰ و ۵ کیلواهمی با هم سری هستند و جریان مشابهی از آن‌ها می‌گذرد v_1 ولتاژ مقاومت ۵ کیلو اهمی است. بنابراین، با کمک رابطه تقسیم ولتاژ می‌توان نوشت :

$$v_1 = \frac{5}{5+40} v_o = \frac{v_o}{9}$$

$$v_2 = v_1 \rightarrow v_s = \frac{v_o}{9} \rightarrow \frac{v_o}{v_s} = 9$$

در گره O، می‌توان جریان خروجی را به‌صورت زیر نوشت :

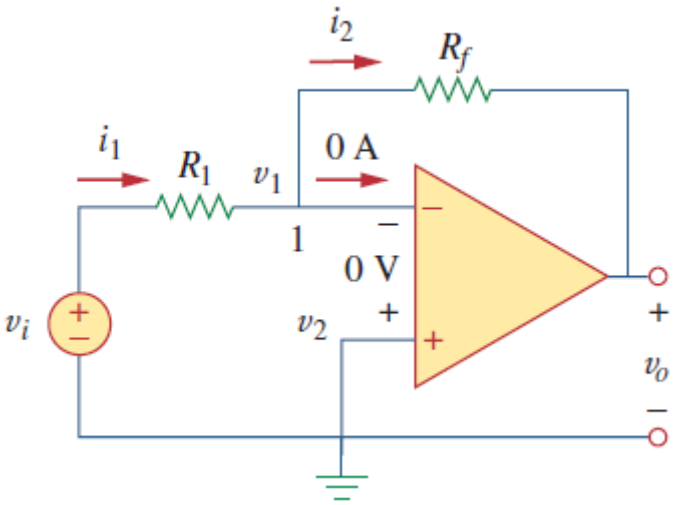
$$i_o = \frac{v_o}{5+40} + \frac{v_o}{20}\ mA$$

اگر فرض کنیم $v_s = 1\ V$ و $v_o = 9\ V$ ، جریان خروجی به‌دست می‌آید :

$$i_o = 0.2 + 0.45 = 0.65\ mA$$

۵-۱-۱- تقویت‌کننده عملیاتی معکوس کننده (Inverting Amplifier)

در مدار تقویت‌کننده معکوس‌کننده، ورودی مثبت زمین شده و v_i از طریق مقاومت R_1 به ورودی منفی یا معکوس‌کننده متصل است. مقاومت فیدبک R_F نیز بین ورودی معکوس‌کننده و خروجی قرار دارد. هدف، به دست آوردن رابطه بین ولتاژ ورودی v_i و ولتاژ خروجی v_o است.



شکل (۵-۶) تقویت‌کننده معکوس‌کننده

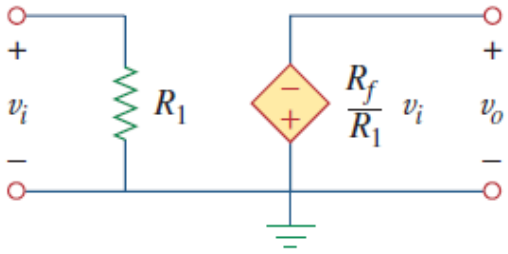
$$KCL(1) : i_1 = i_2 \rightarrow \frac{v_i - v_1}{R_1} = \frac{v_i - v_o}{R_F}$$

از آن‌جایی که ورودی مثبت، زمین شده و در یک تقویت‌کننده ایده‌آل، رابطه $v_2 = v_1 = 0$برقرار است، می‌توان نوشت :

$$\frac{v_i}{R_1} = \frac{-v_o}{R_F} \quad \rightarrow \quad v_o = -\frac{R_F}{R_1}\, v_i$$

بهره ولتاژ، برابر است با $AV = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_F}{R_1}$ مدار شکل (۵-۶)، یک معکوس‌کننده یا اینورتر است که علامت منفی دارد. بنابراین می‌توان گفت **یک تقویت‌کننده معکوس‌کننده، سیگنال ورودی را تقویت و پلاریته آن را معکوس می‌کند.**

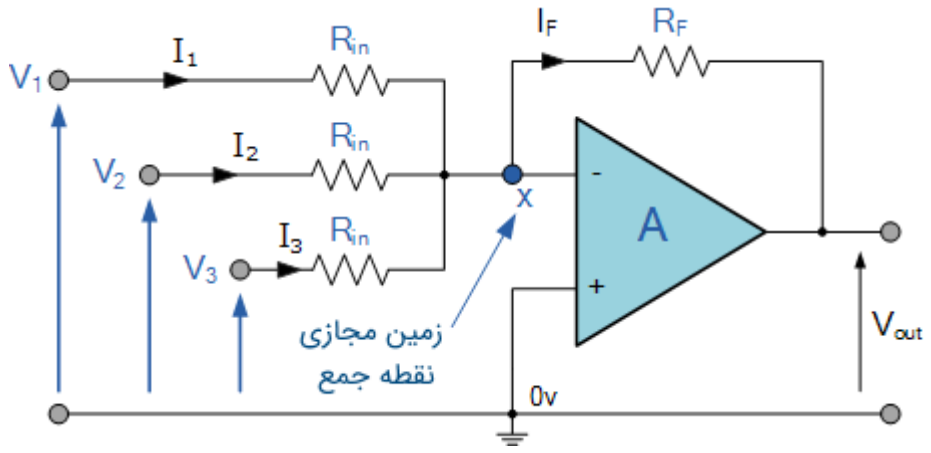
توجه کنید که بهره، برابر با نسبت مقاومت فیدبک به مقاومت ورودی است. این بدین معنی است که بهره، فقط به عناصر خارجی متصل به تقویت‌کننده بستگی دارد. با توجه به روابط فوق می‌توان مدار معادل شکل (۵-۶) مطابق با شکل (۵-۷)را ارائه کرد. تقویت‌کننده معکوس‌کننده در مبدل‌های جریان به ولتاژ کاربرد دارد.



شکل (۵-۷) مدار معادل تقویت‌کننده معکوس‌کننده

۵-۱-۲- تقویت‌کننده عملیاتی جمع کننده (Summing Amplifier)

با دانش به دست آمده از تقویت کننده معکوس کننده دریافتیم که یک تقویت‌کننده معکوس‌کننده، یک ولتاژ ورودی دارد که به ترمینال معکوس آن اعمال می‌شود. اگر مقاومت‌های ورودی بیشتری را اضافه کنیم که مقدار هر یک از آن‌ها با مقاومت ورودی اصلی R_{in} برابر است، یک مدار تقویت‌کننده جدید خواهیم داشت که تقویت کننده جمع کننده (Summing Amplifier) یا معکوس‌کننده جمع‌کننده (Summing Inverter) یا جمع‌کننده ولتاژ (Voltage Adder) نامیده می‌شود. شکل (۵-۸)، مدار این تقویت‌کننده را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۸) تقویت‌کننده عملیاتی جمع کننده

در مدار تقویت‌کننده جمع‌کننده ساده شکل بالا، ولتاژ خروجی V_{out} متناسب با مجموع ولتاژهای ورودی V_1, V_2, V_3 و... است. بنابراین، می‌توان معادله اصلی تقویت‌کننده معکوس‌کننده را برای ورودی‌های جدید به صورت زیر نوشت :

$$I_F = I_1 + I_2 + I_3 = -[\frac{V_1}{R_{in}} + \frac{V_2}{R_{in}} + \frac{V_3}{R_{in}}]$$

$$V_{Out} = -\frac{R_F}{R_{in}} \times V_{in}$$

$$-V_{Out} = [\frac{R_F}{R_{in}}V_1 + \frac{R_F}{R_{in}}V_2 + \frac{R_F}{R_{in}}V_3]$$

اگر همه امپدانس‌های ورودی R_{in} مقدار برابری داشته باشند، می‌توانیم معادله بالا را به صورت زیر ساده کنیم :

$$-V_{Out} = \frac{R_F}{R_{in}}(V_1 + V_2 + V_3)$$

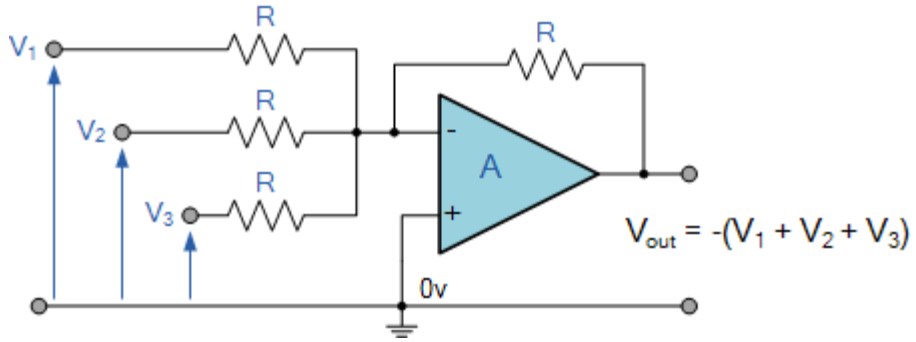
اکنون یک مدار تقویت‌کننده عملیاتی داریم که هر یک از ولتاژهای ورودی را تقویت می‌کند و خروجی آن متناسب با جمع جبری ولتاژهای ورودی مجزای V_3, V_2, V_1 است. البته در صورت لزوم می‌توانیم ورودی‌های بیشتری را از طریق امپدانس ورودی R_{in} به تقویت‌کننده وارد کنیم. دلیل انجام این کار آن است که سیگنال‌ها در ورودی معکوس آپ‌امپ از طریق زمین مجازی نسبت به هم ایزوله هستند. وقتی همه ورودی‌ها دارای مقادیر مقاومت برابر R_{in} باشند، خروجی، برابر با ضریبی از مجموع مستقیم ولتاژها خواهد بود. اگر مقاومت مربوط به ورودی‌ها با هم برابر نباشد یک تقویت‌کننده جمع‌کننده مقیاسی (Scaling Summing Amplifier) خواهیم داشت. در نتیجه، معادله ولتاژ خروجی به صورت زیر در خواهد آمد:

$$-V_{Out} = V_1(\frac{R_F}{R_1}) + V_2(\frac{R_F}{R_2}) + V_3(\frac{R_F}{R_3})$$

$$\rightarrow -V_{Out} = R_F(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3})$$

با استفاده از معادله اخیر، اگر تعداد مقاومت‌های ورودی بیشتری به تقویت‌کننده معکوس‌کننده متصل باشد، به سادگی می‌توان ولتاژ خروجی را محاسبه کرد. امپدانس ورودی هر کانال مجزا، مقاومت‌های ورودی R_1، R_2، R_3 هستند.

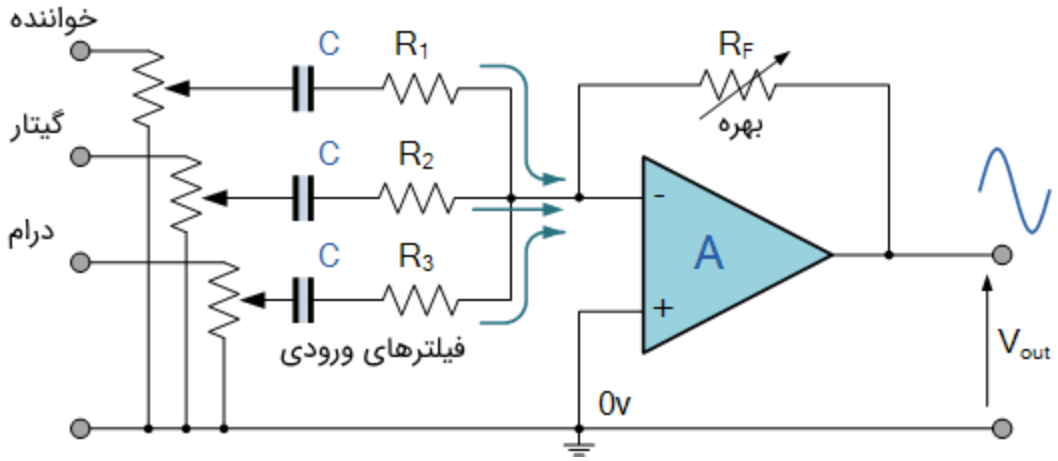
گاهی برای جمع دو یا چند سیگنال ولتاژ بدون تقویت‌کنندگی، به یک مدار جمع‌کننده نیاز داریم. با قرار دادن مقاومت‌های مشابه R آپ‌امپ بهره واحد خواهد داشت و ولتاژ خروجی، مستقیماً برابر با مجموع ولتاژهای ورودی خواهد بود. شکل (۵-۹)، مدار این تقویت‌کننده را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۹) تقویت‌کننده عملیاتی جمع کننده

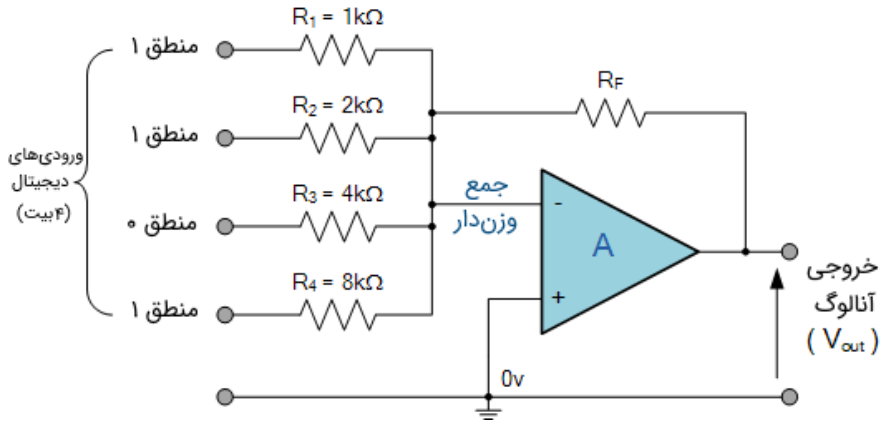
تقویت کننده جمع کننده یک مدار بسیار انعطاف‌پذیر است و این قابلیت را دارد که چندین سیگنال ورودی مجزا را با هم جمع کند. اگر مقاومت‌های ورودی R_1، R_2، R_3 و... برابر باشند، یک جمع‌کننده با بهره واحد خواهیم داشت. هرچند، اگر مقاومت‌های ورودی مقادیر متفاوتی داشته باشند، یک تقویت‌کننده جمع‌کننده دارای مقیاس داریم که خروجی آن، برابر با مجموع وزن‌دار سیگنال‌های ورودی است.

اگر مقاومت‌های ورودی تقویت‌کننده جمع‌کننده به پتانسیومتر متصل باشند، سیگنال‌های ورودی مجزا را می‌توان با مقادیر متغیر با یکدیگر ترکیب کرد. برای مثال، به منظور اندازه‌گیری دما می‌توانیم یک ولتاژ افست منفی را اضافه کنیم تا در دمای انجماد، ولتاژ خروجی عدد 0 را نشان دهد. یا اینکه یک میکسر صوتی را برای جمع یا میکس کردن موج‌های صوتی مجزا از کانال منابع مختلف (خواننده، آلات موسیقی و...) بسازیم و قبل از ارسال به تقویت‌کننده صوتی، آن‌ها را با هم ترکیب کنیم.



شکل (۵-۱۰) کاربرد صوتی تقویت‌کننده عملیاتی جمع کننده

یک کاربرد مفید دیگر از تقویت‌کننده جمع‌کننده، در مبدل دیجیتال به آنالوگ جمع وزن‌دار است. اگر مقاومت‌های ورودی R_{in} تقویت‌کننده جمع‌کننده را برای هر ورودی دو برابر کنیم (برای مثال 16kΩ, 8kΩ, 4kΩ, 2kΩ, 1kΩ و...) یک ولتاژ منطقی دیجیتال (صفر یا یک) در ورودی‌ها، خروجی وزن‌دار تولید خواهد کرد. مدار شکل زیر این موضوع را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۱۱) کاربرد دیجیتال به آنالوگ تقویت‌کننده عملیاتی جمع کننده

البته مدار شکل بالا یک مثال ساده است. در مدار تقویت‌کننده جمع‌کننده دیجیتال به آنالوگ، تعداد بیت‌های مجزا که کلمه ورودی را می‌سازند (در این مثال ۴ بیت)، ولتاژ پله خروجی را به عنوان درصدی از ولتاژ خروجی آنالوگ تعیین می‌کنند. همچنین، دقت این خروجی آنالوگ مقیاس کامل، به سطوح ولتاژ بیت‌های ورودی بستگی دارد که همواره صفر ولت برای منطق 0 و پنج ولت برای منطق 1 است. این دقت، به مقاومت‌های ورودی R_{in} نیز وابسته است. خوشبختانه برای غلبه بر این خطاها، قطعات آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ با دقت بسیار بالا و دارای مقاومت از پیش تعبیه شده در دسترس هستند.

فصل ششم

محرک ها و عناصر نهایی

۶-۱- محرک ها (Actuators) :

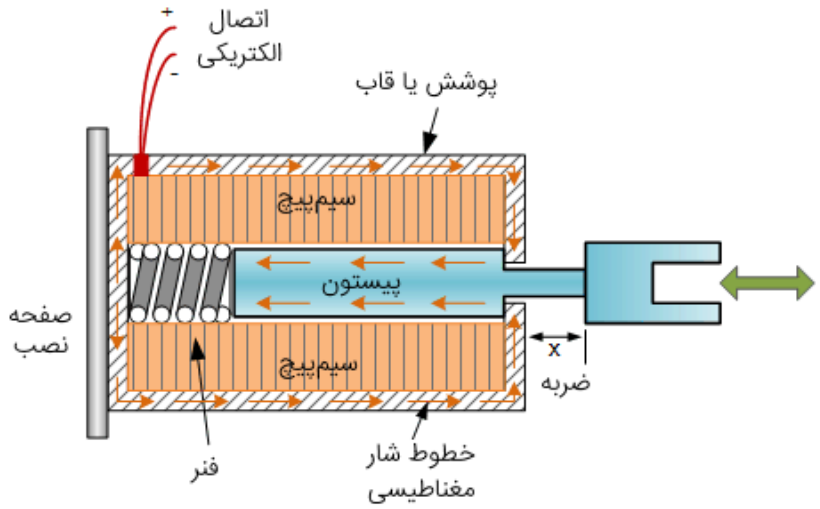
محرک ها نیروی لازم برای حرکت عنصر نهایی را فراهم می آورند. محرک می تواند الکتریکی ، بادی یا هیدرولیکی باشد. هر یک از انواع محرک ها موارد کاربرد خاص خود را دارند و به طور کلی نوع محرک تحت تأثیر نوع سیستم کنترل می باشد. مثلا در یک سیستم کنترل پنوماتیکی معمولاً از محرک های بادی استفاده می شود و در یک سیستم هیدرولیکی از محرک های هیدرولیکی. محرک های بادی از انرژی هوای فشرده برای تولید نیرو استفاده می کنند. محرک های بادی در اثر اضافه بار و یا گیر کردن عنصر نهایی آسیب نمی بینند و این مهمترین مزیت آنها می باشد. محرک های بادی معمولا به دو دسته محرک های دیافراگمی و پیستونی تقسیم می شوند. برای باز و بسته کردن شیرهای بسیار بزرگ از محرک های هیدرولیکی استفاده می کنیم. همچنین هنگامی که فشار سیال تحت کنترل بالا است به گونه ای که نیروی بزرگی بر پلاک شیر اعمال می نماید باید برای تثبیت وضعیت آن از محرک های هیدرولیکی استفاده نماییم. محرک های هیدرولیکی معمولاً بصورت پیستونی (جک) ساخته می شوند و در مواردی که نیاز به محرک هیدرولیکی دوار باشد از هیدرو موتور استفاده می شود.

۶-۱-۱ محرک های الکتریکی :

محرک های الکتریکی را می توان به دو دسته کلی سلونوئیدها و موتورها تقسیم نمود :

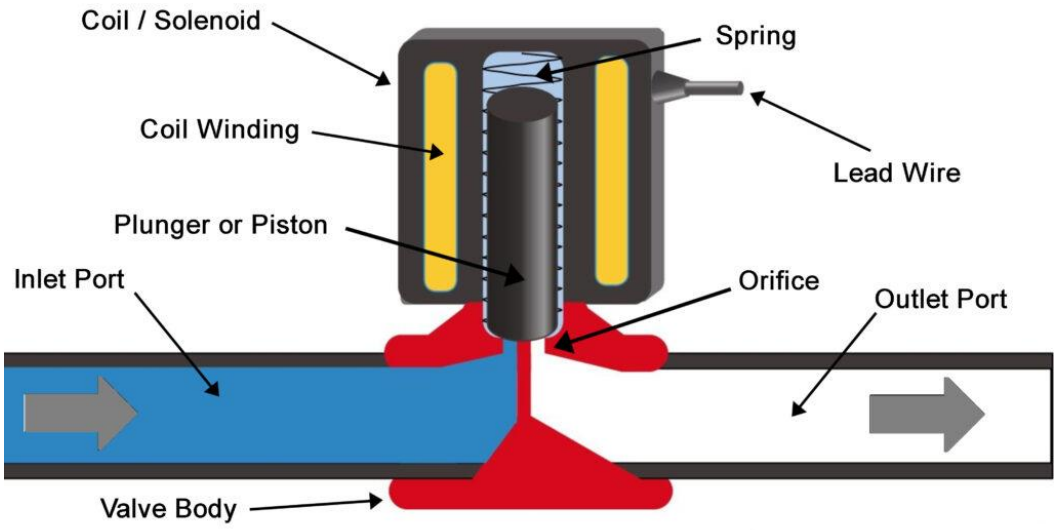
الف) سلونوئیدها :

سلونوئیدها معمولاً در کنترل های دو وضعیتی به کار برده می شوند. در کنترل دو وضعیتی عنصر نهایی تنها دو حالت باز یا بسته می تواند داشته باشد. شکل (۶-۱) نمای کلی یک محرک سلونوئیدی را نشان می دهد :



شکل (۶-۱) نمای کلی یک محرک سلونوئیدی

عبور جریان الکتریکی از سیم پیچ موجب ایجاد میدان مغناطیسی می شود و این میدان بر هسته مغناطیسی نیرویی اعمال می نماید. این نیرو متناسب با مجذور جریان الکتریکی است و موجب حرکت هسته به سمت داخل سلونوئید می گردد. محور هسته را می توان به ساقه شیر متصل نمود و از طریق آن شیر را باز و بسته کرد. حرکت هسته به سمت داخل سیم پیچ موجب فشرده شدن فنر می گردد و در حالت تعادل نیروی مغناطیسی برابر با نیروی فنر خواهد بود. در صورت قطع جریان الکتریکی نیروی فنر موجب برگشت هسته و در نتیجه برگشت شیر به وضعیت اولیه می شود. محرک های سلونوئیدی معمولاً به همراه شیر مربوطه بطور ی کجا عرضه می گردند و به نام شیرهای سلونوئیدی معروف می باشند. شکل (۶-۲) یک شیر سلونوئیدی نمونه را نشان می دهد. سلونوئیدها به صورت AC یا DC ساخته می شوند و انواع AC متداول تر هستند.



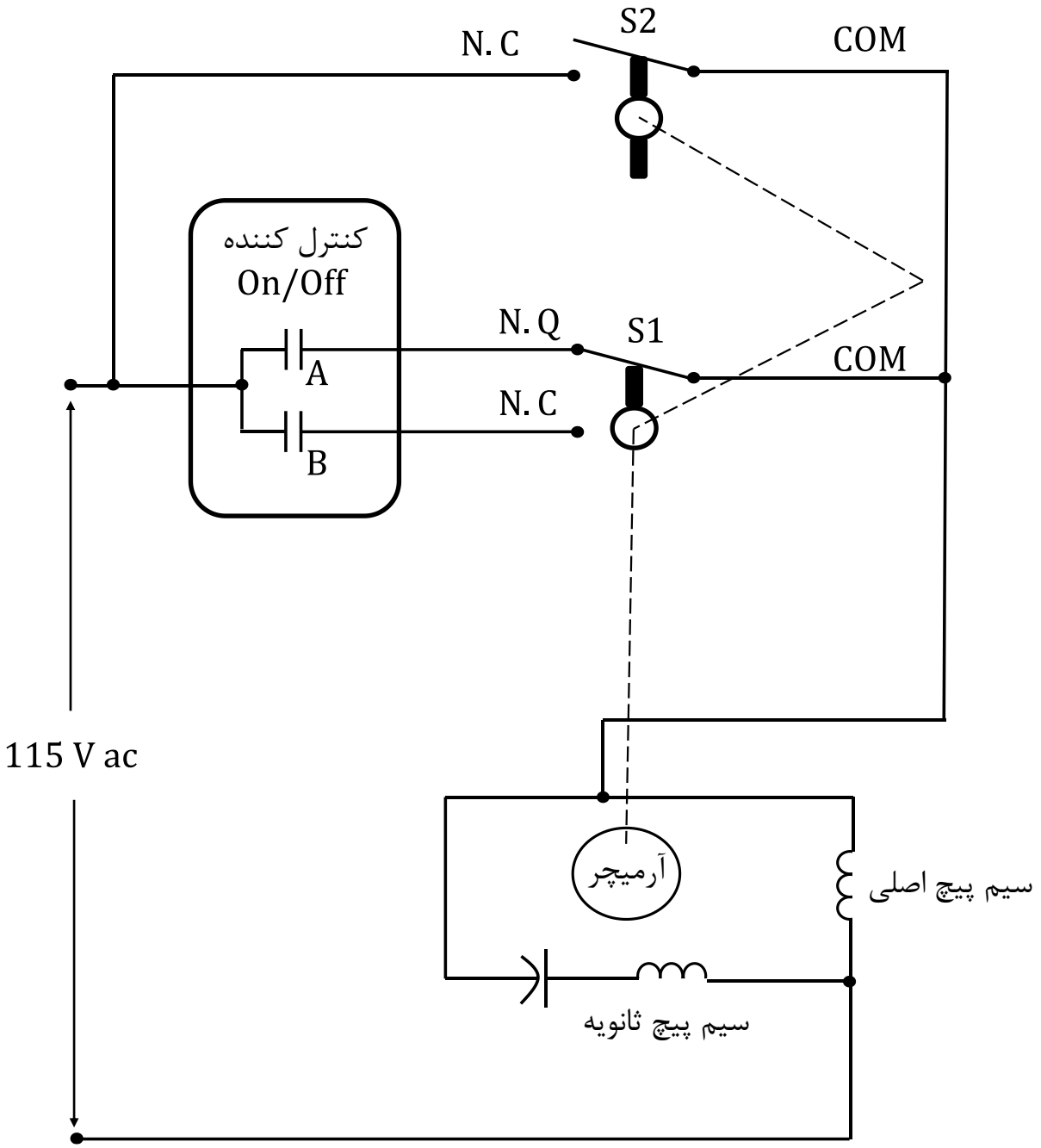
شکل (۶-۲) شیر با محرک سلونوئیدی

احتمال سوختن سلونوئیدها AC بیشتر از نوع DC می باشد. زیرا اگر جریان برق در سیم پیچ برقرار شود و به هر دلیل مثلا گیرکردن شیر هسته داخل آن نشود، به دلیل کم بودن اندوکتانس سیم پیچ بدون هسته،جریان زیادی ازآن عبود خواهد کرد که موجب گرم شدن و در صورت تداوم موجب سوختن سیم پیچ می شود.

شکل (۶-۳) شیر" 3/8 با محرک سلونوئیدی 110 V AC

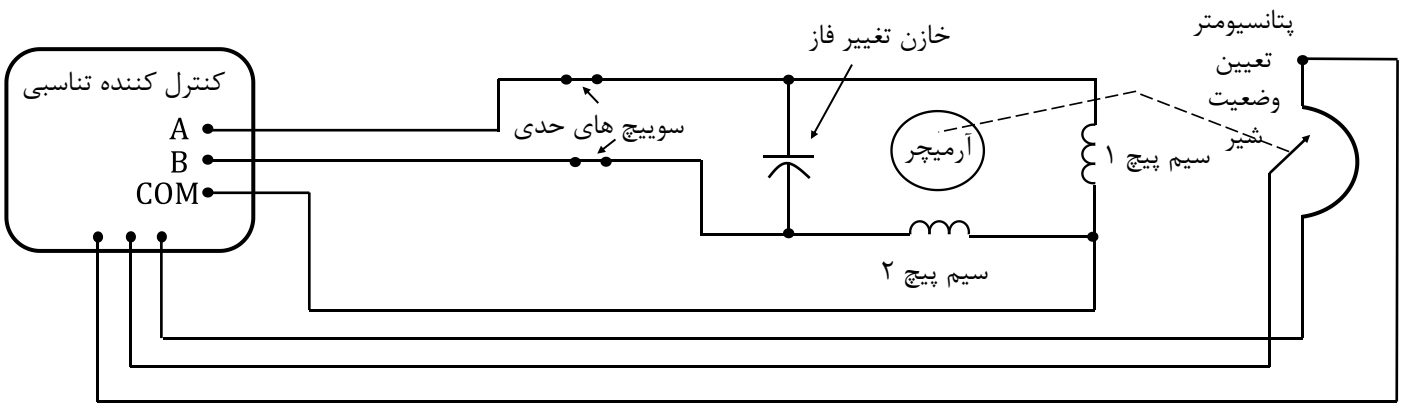
ب) موتورها :

محرک های سلونوئیدی معمولاً در شیرهای کوچکتر مورد استفاده قرار می گیرند. برای باز و بسته کردن شیرهای بزرگتر و همچنین برای کنترل پیوسته حرکت شیرها از موتورهای الکتریکی استفاده می کنیم. برای باز و بسته کردن شیرها معمولاً از موتورهای القائی با فاز شکسته (split - phase - induction - motor) استفاده می شود. معمولاً برای افزایش کوپل خروجی موتور را از طریق یک گیربکس به شیر متصل می کنند. برای توقف موتور در نقاط انتهایی کورس شیر و همچنین تغییر جهت به موقع آن در باز یا بسته کردن از مداری مطابق شکل (۶-۴) استفاده می شود.



شکل (۶-۴) مدار کنترل دو وضعیتی شیر

برای بررسی نحوه عملکرد این مدار حالتی را در نظر بگیرید که شیر کاملا بسته است. در این حالت میکروسوئیچ های S1 و S2 هر دو تحریک شده می باشند. یعنی S2 باز و S1 بسته می باشد. حال اگر کنترل کننده فرمان باز شدن شیر را صادر کند کنتاکت A برای لحظه ای بسته می شود و ولتاژ از طریق S1 به موتور اعمال می شود و موتور شروع به چرخش می کند. به محض حرکت موتور چون شیر از وضعیت کاملا بسته خارج می شود S1 و S2 تغییر حالت می دهند و بنابراین تغذیه موتور از طریق S2 برقرار می گردد. هنگامی که شیر کاملا باز گردید S2 قطع و در نتیجه موتور از حرکت باز می ایستد. در صورت نیاز به بسته شدن شیر کنترل کننده کنتاکت B را برای لحظه ای می بندد و موتور از طریق S1 تحریک می گردد و به محض حرکت، S2 متصل و S1 قطع می شود و حرکت موتور تا بسته شدن کامل شیر ادامه می یابد. توجه نمائید که در این مدار هنگامی که وضعیت محور موتور در صفر درجه است شیر بسته و هنگامی که وضعیت آن به ۱۸۰ درجه می رسد شیر کاملا باز است و همچنین هنگامی که محور موتور از ۱۸۰ درجه به سمت ۳۶۰ درجه تغییر وضعیت می دهد شیر مجدداً شروع به بسته شدن می کند. با استفاده از گیربکس و مکانیزم های مناسب می توان سرعت باز و بسته کردن شیر را تنظیم نمود. در بعضی از کاربردها زمان باز و بسته کردن شیر تا ۳ ثانیه کاهش می یابد و در بعضی موارد آن را تا حدود یک دقیقه نیز تنظیم می نماییم. در چنین مواقعی ممکن است قبل از رسیدن شیر به موقعیت کاملا باز یا کاملا بسته کمیت تحت کنترل به مقدار مطلوب برسد در این صورت بهتر است شیر در موقعیتی که در آن لحظه دارد باقی بماند این روش کنترل نه در گروه کنترل دو وضعیتی باز و بسته قرار می گیرد و نه در گروه کنترل تناسبی و معمولا آن را روش کنترل " معلق " (float) می نامیم. در موارد فوق موتور همواره در یک جهت چرخش می کند گاهی لازم است که با چرخش موتور در یک جهت شیر باز و با چرخش آن در جهت دیگر شیر بسته شود. برای تغییر جهت چرخش موتور می توان محل خازن تغییر فاز را بین سیم پیچ اول و دوم جابجا نمود برای کنترل پیوسته حرکت شیر از مداری مطابق شکل (۶-۵) استفاده می شود.



شکل (۶-۵) مدار کنترل پیوسته وضعیت شیر

در این مدار وضعیت محور موتور (شیر) توسط یک پتانسیومتر (اندازه گیر زاویه) اندازه گیری و به کنترل کننده اعلام می شود. فرض کنید لازم باشد که شیر بسته تر شود. در این حالت کنترل کننده سیگنال حرکت AC را به ترمینال A اعمال می کند. در اینجا خازن تغییر فاز با سیم پیچ ۲ موتور سری شده و موتور در جهت عقربه های ساعت می چرخد و شیر بسته تر می شود و هنگامی که شیر به وضعیت مطلوب رسید فرمان حرکت قطع می شود. به همین ترتیب هنگامی که شیر بایستی بازتر شود کنترل کننده سیگنال AC را به ترمینال B اعمال نموده و این بار خازن با سیم پیچ ۱ سری می شود و موتور در جهت عکس می چرخد

و شیر بازتر می گردد. در این مدار وضعیت های نهایی (کاملا بسته یا کاملا باز) توسط میکروسوئیچ های مربوطه تشخیص و به کنترل کننده اعلام می گردد.

در مواردی علاوه بر وضعیت، سرعت باز و بسته شدن شیر نیز می باید قابل تنظیم و تغییر باشد. در این حالت به مداری جهت کنترل سرعت چرخش موتور نیاز می باشد برای کنترل سرعت موتورها مدارها و روش های گوناگونی وجود دارد که اغلب آنها نیاز به اجزاء و قطعات گران قیمت دارند و مدار حاصل نیز پیچیده می باشد. در چنین مواردی اگر ضرورت ایجاب نکند از محرک های الکتریکی استفاده نمی شود و معمولاً به دلیل سادگی کنترل سرعت در محرک های بادی از آنها استفاده می کنیم. محرک های الکتریکی برای باز و بسته کردن شیرهای سنگین و دارای اصطکاک و مواردی که احتمال گیر کردن عنصر نهایی وجود دارد مناسب نمی باشند.

ج) موتورهای پله ای (Stepper Motors) :

موتور پله‌ای یک موتور بدون جاروبک و سنکرون است که حرکت آن به صورت پله‌ای و گسسته می باشد. در حالت کلی، موتور پله‌ای در هر پله یا گام به اندازه ۱.۸ درجه می‌چرخد و در نتیجه، ۲۰۰ پله را برای چرخش یک دور کامل می‌پیماید. این نوع موتورها در زاویه‌های پله ۳۰، ۱۵، ۵، ۲.۵ و ۲ درجه‌ای نیز موجود هستند.

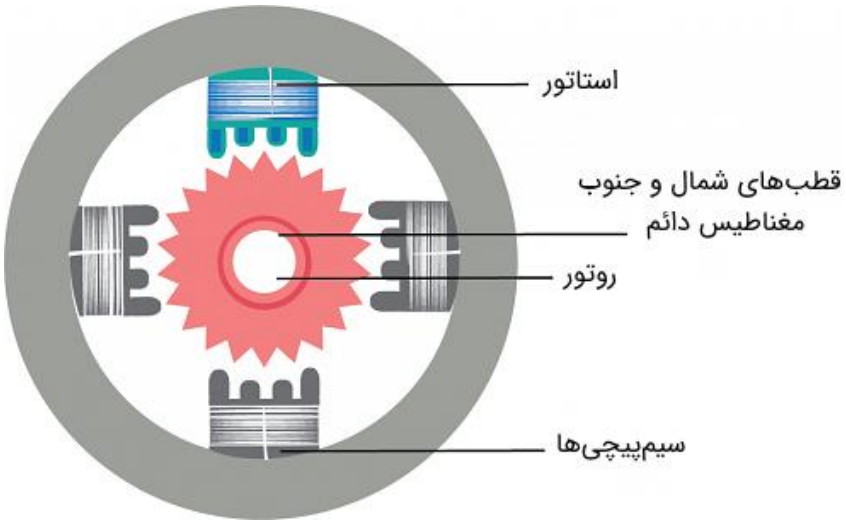
موتورهای پله‌ای بر اساس اصول الکترومغناطیس کار می‌کنند و می‌توان آن‌ها را بدون فیدبک کنترل کرد. از آنجایی که موقعیت و سرعت این موتورها با کمک سیستم‌های کنترل پیشرفته رایانه‌ای به دقت قابل کنترل است، در بسیاری از کاربردهای مرتبط با کنترل دقیق موقعیت، مانند رباتیک، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شکل زیر، یک موتور پله‌ای دوقطبی را نشان می‌دهد.

شکل (۶-۶) موتور پله‌ای دوقطبی

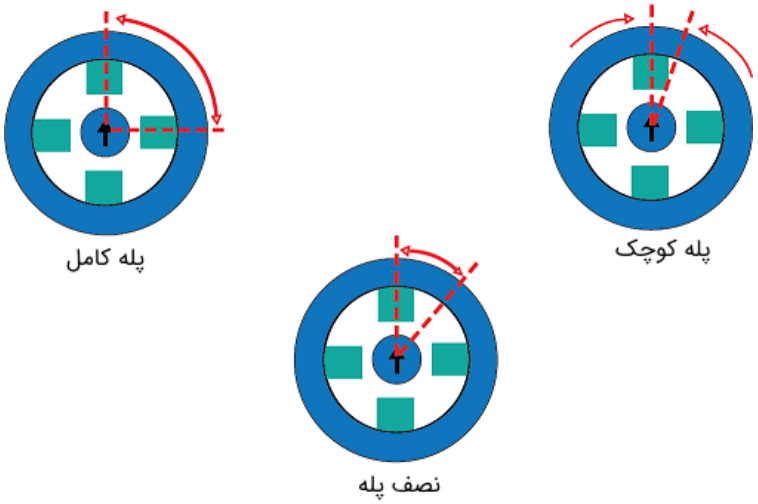
مانند سایر موتورهای الکتریکی، موتور پله‌ای یک بخش متحرک به نام روتور (Rotor) و یک بخش ثابت به نام استاتور (Stator) دارد. استاتور و روتور قطب‌های مغناطیسی دارند و با انرژی‌دار کردن قطب‌های استاتور، روتور برای تراز شدن با استاتور حرکت می‌کند. روتور یک قطعه آهن دندانه‌دار به شکل چرخ‌دهنده است. استاتور نیز از مجموعه آهنرباهای الکتریکی تشکیل شده که در

حول محور دندانه‌دار مرکزی قرار گرفته‌اند. وقتی جریان از سیم‌پیچی‌های فاز موتور پله‌ای عبور کند، شار مغناطیسی در استاتور و عمود بر جهت گذر جریان به وجود می‌آید. آهنرباها به طور هم‌زمان انرژی‌دار می‌شوند. هنگامی که یک آهنربا با کمک یک مدار درایور خارجی یا میکروکنترلر انرژی می‌گیرد، شفت یا محور روتور طوری می‌چرخد که نسبت به استاتور در موقعیتی قرار گیرد که کمترین مقاومت را در برابر شار داشته باشد. این بدین معنی است که الکترومگنت (آهنربای الکتریکی) آن دندانه‌هایی از چرخ‌دنده را جذب می‌کند که نسبت به بقیه آهنرباها انحراف دارند. به همین دلیل، هنگامی که آهنربای بعدی روشن یا برق‌دار است، آهنربای قبلی خاموش می‌شود که منجر به جذب دندانه‌های چرخ‌دهنده توسط آهنربای دوم خواهد شد. بنابراین، چرخش روتور به صورت پله‌ای خواهد بود و تعداد پله‌ها عدد صحیحی است که با توجه به زاویه حرکت در هر مرحله تعیین می‌شود.



شکل (۶-۷) موتور پله‌ای دوقطبی

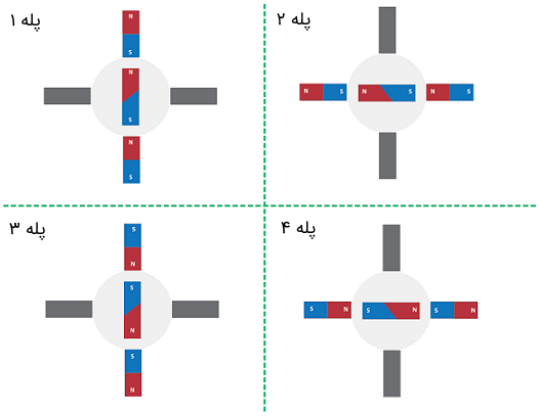
با کنترل زاویه هر پله، می‌توانیم دقت و نرمی چرخش روتورِ موتور را کنترل کنیم. در موتور پله‌ای، سه مُد یا حالت تحریک وجود دارد که در شکل (۶-۸) نشان داده شده‌اند.



شکل (۶-۸) مدهای تحریک موتور پله ای

عملکرد پله کامل

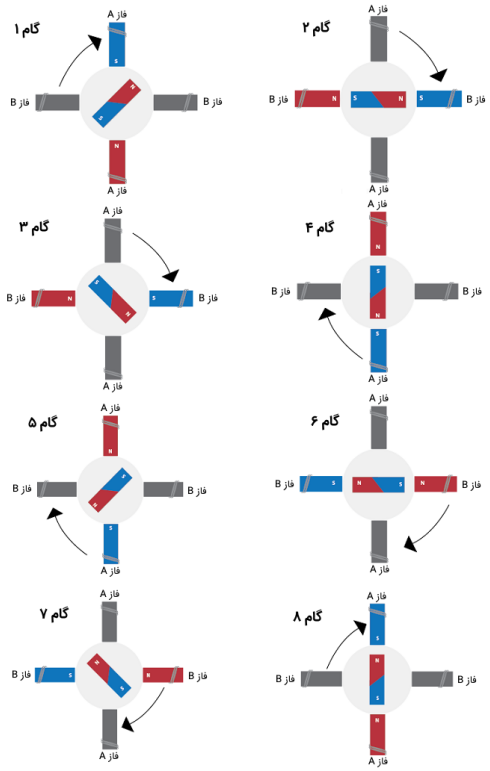
در این حالت، روتور در یک مرحله به اندازه زاویه پایه ۱.۸ درجه حرکت می‌کند و بدین ترتیب ۲۰۰ پله برای اتمام چرخش آن لازم است. می‌توانیم این حالت را با انرژی‌دار کردن فقط یک فاز از سیم‌پیچ‌های استاتور یا دو فاز عملی کنیم. عملکرد با یک فاز حداقل توان را از مدار درایور مصرف خواهد کرد. از سوی دیگر، وقتی دو فاز را در یک لحظه انرژی‌دار می‌کنیم، گشتاور و سرعت زیاد می‌شود.



شکل (۶-۹) مد پله کامل موتور پله ای

عملکرد نصف پله

در این حالت، روتور به اندازه نصف زاویه پایه یک پله کامل می‌چرخد و در نتیجه گشتاور نسبت به عملکرد پله کامل بهبود می‌یابد. همچنین، نرمی و دقت حرکت دو برابر می‌شود.



شکل (۶-۱۰) مد نیم پله موتور پله ای

پله کوچک

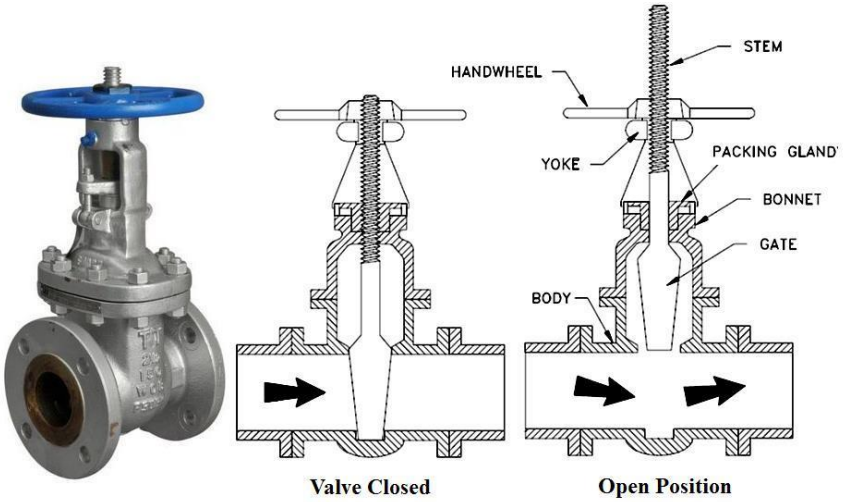
در عملکرد پله کوچک، زاویه پایه به مقادیر کوچک‌تر، حتی ۲۵۶ قسمت، تقسیم می‌شود. وقتی که افزایش نرمی حرکت مورد نظر باشد، عملکرد گام کوچک یا ریز مورد توجه قرار می‌گیرد.

۶-۱- عنصر نهایی :

عنصر نهایی ، همانطور که از نامش پیداست آخرین عنصر حلقه کنترل می باشد. به عبارت دیگر فرمان کنترل کننده در نهایت توسط عنصر نهایی اجرا می گردد. به عنوان مثال در یک حلقه کنترل ارتفاع آب در مخزن معمولاً یک شیر نقش عنصر نهایی را بازی می کند و باز و بسته شدن آن دبی آب ورودی به مخزن را کنترل می نماید. توجه نمایید آنچه که بعد از باز و بسته شدن شیر اتفاق می افتد مربوط به پروسه می باشد. در واقع یک حلقه کنترل با اندازه گیری خروجی پروسه آغاز و با اعمال ورودی به پروسه پایان می یابد. به همین دلیل عنصری که ورودی مناسب را به پروسه اعمال می کند، عنصر نهایی می نامیم. برای حرکت عنصر نهایی نیاز به انرژی می باشد. مثلا باز و بسته کردن شیر مستلزم صرف انرژی است. فرمانی که از کنترل کننده ارسال می شود یک سیگنال کنترلی است و انرژی لازم برای حرکت دادن عنصر نهایی را ندارد. بنابراین معمولاً این فرمان تقویت و سپس به عنصر محرک اعمال می گردد و محرک نیز عنصر نهایی را به حرکت در می آورد. بسیاری از کمپانی ها عنصر نهایی و محرک مربوطه را بطور یکجا عرضه می دارند که شیرهای سلونوئیدی نمونه متداول آن می باشند. در یک شیر سلونوئیدی ، عنصر نهایی، شیر و سلونوئید، محرک آن است. محرک ها را می توان به دو دسته دورانی و خطی تقسیم بندی نمود. محرک های دورانی شامل انواع موتورها است که می تواند الکتریکی، پنوماتیکی یا هیدرولیکی باشند. محرک های خطی نیز شامل سلونوئیدها و سیلندر پیستون های (جک) پنوماتیکی یا هیدرولیکی می باشد.

۶-۱- شیرها :

شیرها معروف ترین عناصر نهایی می باشند و از آنها برای کنترل جریان سیال استفاده می کنیم. یک شیر مطابق شکل (۶-۱) از قسمت های زیر تشکیل شده است :



شکل (۶-۱۱) ساختمان شیر در حالت کلی

۱) بدنه یا پوسته که ظاهر شیر را تشکیل می دهد و قسمت های بعدی به گونه ای به آن متصل هستند.

۲) ساقه یا محور که از یک طرف به محرک و از طرف دیگر به توپی شیر متصل می گردد.

۳) پلاک یا توپی صفحه ای است که معمولاً بر حسب نوع شیر به شکل های مختلف ساخته می شود و با حرکت بر روی نشیمنگاه شیر را باز و بسته می کند.

۴) نشیمنگاه ، سوراخ یا روزنه ای است که توسط توپی باز و بسته شده و از طریق آن اجازه عبور به سیال داده می شود.

۵) مدخل ورودی محل اتصال شیر به دبی ورودی است.

۶) خروجی، محل خروج سیال از شیر می باشد. هنگام نصب شیر باید به اتصال درست ورودی خروجی دقت نمود، زیرا در صورت اشتباه مشکلاتی برای آب بندی و عملکرد درست شیر به وجود خواهد آمد.

۷) آب بندی یا سیل، ساقه شیر قسمتی متحرک است و می بایست نسبت به پوسته آب بندی شود زیرا در غیر این صورت سیال عبوری از درز بین ساقه و پوسته نشت می کند و نشت آن از نظر ایمنی، اقتصادی یا بهداشتی ممکن است زیان هایی را به دنبال داشته باشد. بنابراین بر حسب اهمیت موضوع می باید در هر کاربردی از شیری با آب بندی مناسب استفاده نمود.

۶-۱-۱- شیرهای دو روزنه ای (Double - port) :

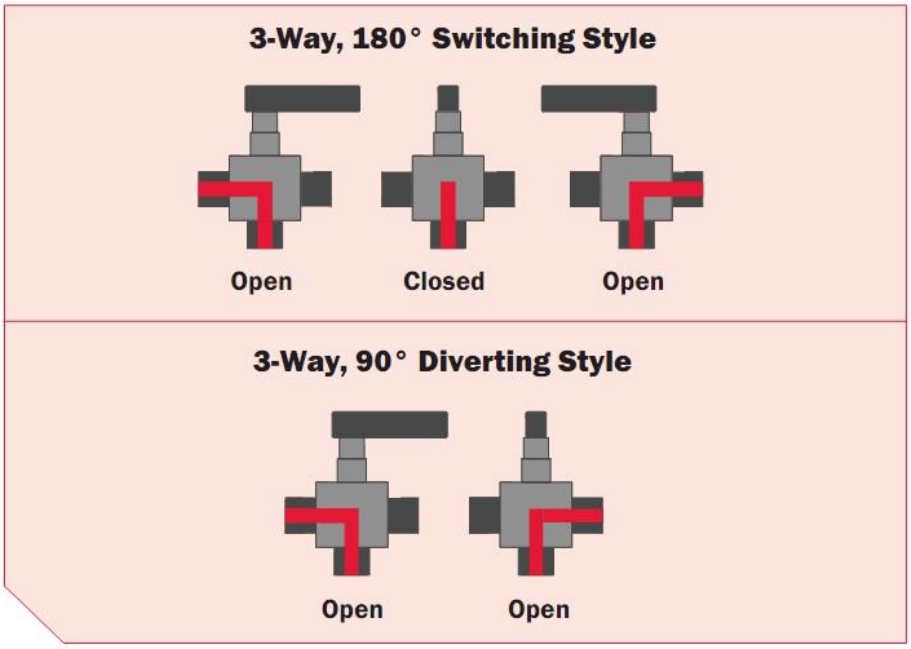
شکل (۲-۶) یک شیر معمولی با کاربردی عمومی که به شیر گلوب (Globe) معروف است را نشان می دهد. این شیر را تک روزنه ای (single - port) نیز می گویند.

شکل (۶-۱۲) Globe Valve

در عمل تعداد و شکل روزنه خواص مثبت یا منفی ویژه ای را برای شیر به وجود می آورد. مثلا شیر فوق دارای این اشکال است که توپی آن همواره در معرض فشار سیال ورودی می باشد. بنابراین برای بسته نگه داشتن آن محرک باید همواره نیرویی به سمت پایین بر آن اعمال کند برای رفع این مشکل می توان از شیر دو روزنه ای مطابق شکل (۶-۲) استفاده نمود. در این شیر فشاری که از جانب سیال بر پلاک بالایی وارد می شود با فشار وارد شده بر پلاک پایینی خنثی می شود و ساقه شیر همواره در حالت بالانس نیرو قرار می گیرد. بنابراین برای باز و بسته کردن چنین شیری به نیروی کمتری نیاز می باشد و کنترل و تثبیت وضعیت آنها راحت تر است. شیرهای دو راهه معمولا در ابعاد بزرگتر از دو اینچ ساخته می شوند. متاسفانه وجود ذرات معلق و آشغال در سیال عملکرد صحیح آنها را مختل می سازد.

۶-۱-۲- شیرهای چند راهه (Multi - way) :

در بسیاری از پروسه های شیمیایی و کنترل های نسبت (ratio) اختلاط دو یا چند جریان و یا تقسیم یک جریان به دو یا چند جریان دیگر مطرح می گردد. در چنین مواردی از شیرهای چند راهه استفاده می کنیم.

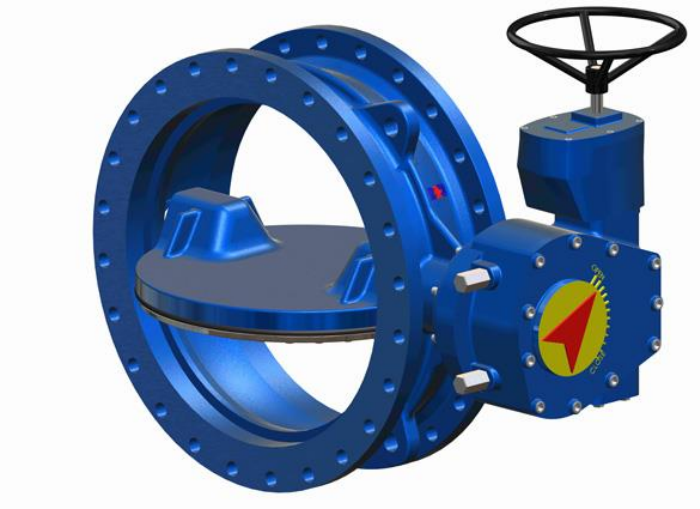


شکل (۶-۳) شیر سه راهه با کاربردهای مختلف

برای کنترل شیرهای چند راهه معمولا به محرک های قوی و اتخاذ تدابیر ویژه نیازمندیم. زیرا پلاک این شیرها معمولاً تحت تأثیر فشارهای متفاوتی از طرف سیال های متصل به آن قرار دارند و به شدت در حالت غیر بالانس نیرو می باشند.

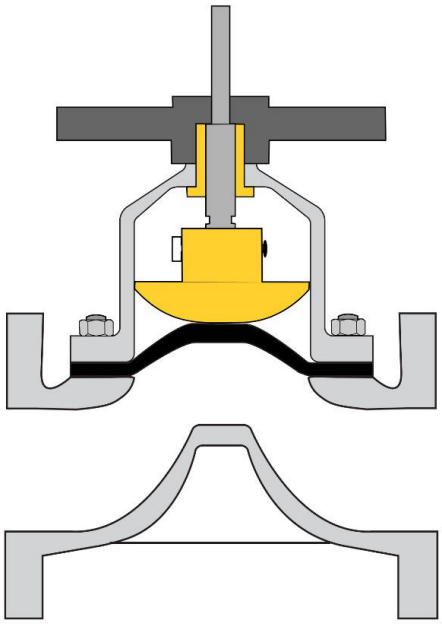
۶-۱-۳- شیرهای پروانه ای (Butterfly Valves) :

ساختمان کلی یک شیر پروانه ای مطابق شکل (۶-۴) می باشد. این شیرها را گاهی شیرهای صفحه ای یا دمپری نیز می گویند چرا که در حالت کلی از یک صفحه که می تواند حول محوری دوران کند تشکیل گردیده اند. شیرهای پروانه ای در ابعاد بزرگ و برای کنترل جریان های بزرگ ساخته می شوند.



شکل (۶-۴) شیر پروانه ای

۶-۱-۳- شیرهای دیافراگمی (diaphragm / Saunders Valves) :



شکل (۶-۷) شیر ساندرس

در این شیرها یک دیافراگم از جنس با دوام و مرغوب، کار پلاک و همچنین آب بندی ساقه را انجام می دهد. این شیرها عموماً برای کنترل جریان سیالاتی با ویسکوزیته بالا (غلیظ و چسبنده) به کار می روند. از شیرهای ساندرس معمولا در ظرفیت های بالا استفاده می شود. کنترل این شیرها مشکلات خاص خود را دارد. فشار سیال همواره در جهت باز کردن شیر عمل می کند و بنابراین سرعت باز شدگی بسیار بیشتر از سرعت بسته شدن آن است و نیرویی که محرک برای باز کردن شیر اعمال می کند با نیرویی که برای بستن آن به کار می برد بسیار متفاوت است. برای نگه داشتن دیافراگم این شیرها در وضعیت میانی نیاز به تثبیت کننده وضعیت (Positioner) می باشد. با توجه به موارد فوق از این شیرها بیشتر برای کنترل های دو وضعیتی استفاده می شود.