بنام یگانه خالق هستی

با تمام وجود گناه کردیم ...

نه نعمتهایش را از ما گرفت ...

و نه گناهانمان را فاش کرد ...

اگر بندگی اش میکردیم چه میکرد ... !!

آیت ا... بهجت (رح)

دانشگاه پیام نور واحد اهواز
دانشکده مهندسی شیمی

عنوان درس :

آزمایشگاه کنترل فرآیند

امید ساقی
E_mail : omidsaghi@gmail.com
Telgram ID : omidsaghi1

هدف از کنترل فرآیند :

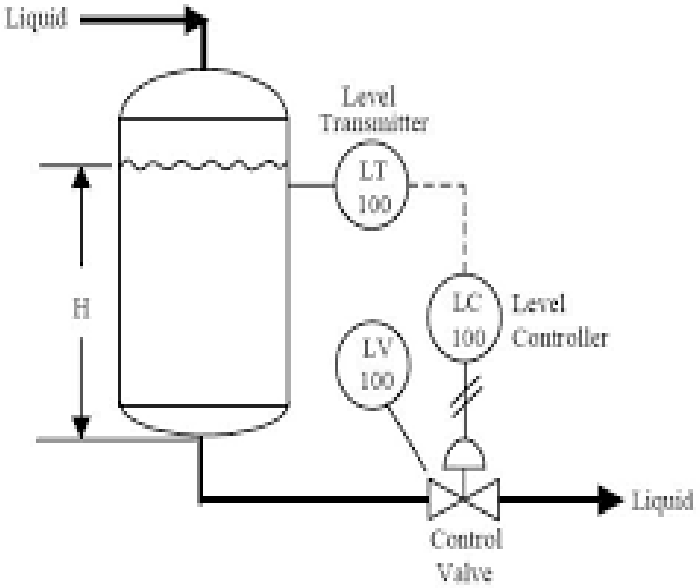
- ✓ آشنایی با تجهیزات و سیستمهای ابزاردقیق
- ✓ آشنایی با کنترل فرآیندهایی که قابل اندازه گیری هستند
- ✓ نحوه مدل سازی فرآیند براساس معادلات بقای جرم و انرژی
- ✓ نحوه مدلسازی فرآیند بر اساس داده های تجربی

هدف از اتوماسیون:

- ✓ بهبود در کیفیت محصول
- ✓ افزایش میزان تولید
- ✓ افزایش ایمنی محیط کار

اتوماسیون یعنی واگذاری بخشی از وظایف انسان به تجهیزات خودکار

بیان یک مثال ساده :



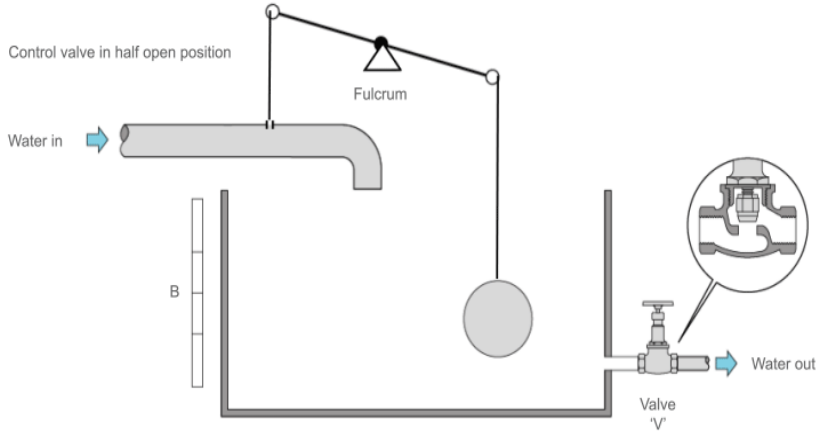
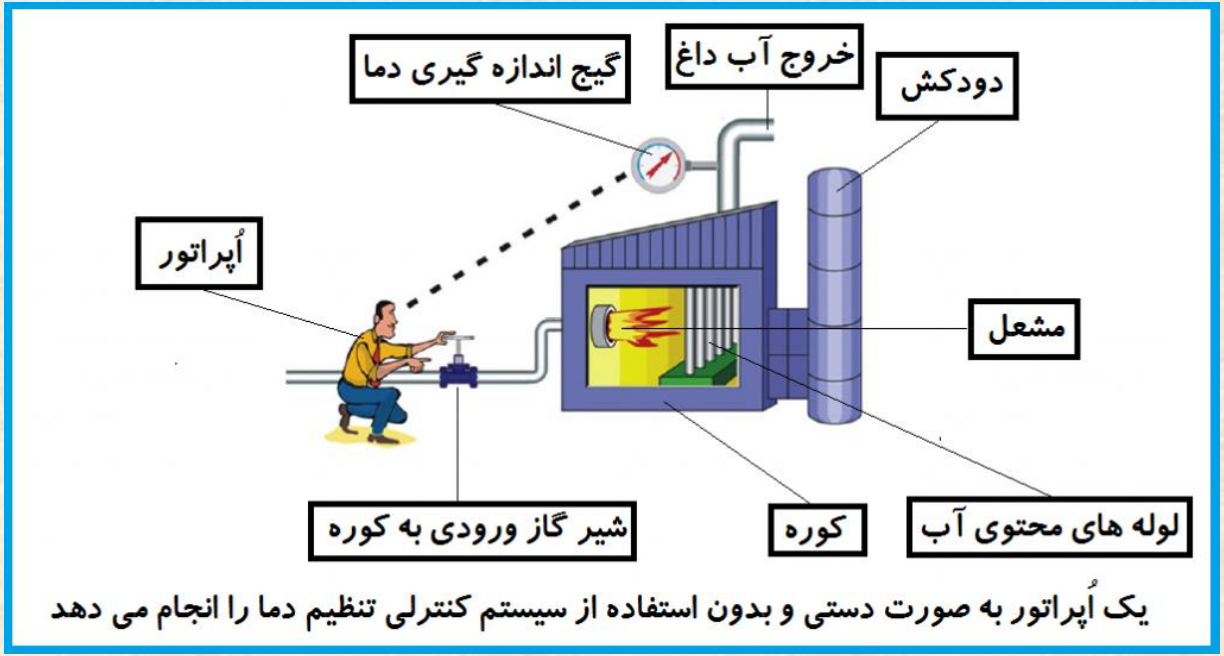


Fig. 5.2.4 Valve 50% open

پخش کلیپ تصویری

اپراتور ها برای اینکه کنترل سیستم ها را به خوبی انجام دهند باید شناخت کافی از فرآیند کارخانه داشته باشند .

در یک کارخانه غیراتوماتیک اپراتور با مشاهده وضعیت فرآیند ، بطور دستی فرامین و اقدامات لازم را به فرآیند اعمال میکند . در حقیقت اپراتور وظیفه کنترل سیستم را بر عهده دارد . با پردازش داده های ورودی از مشاهداتش ، و تحلیل آنها ، بهترین تصمیم برای کنترل سیستم را میگیرد و مجموعه اقداماتی در آن راستا به عنوان خروجی انجام میدهد.



یک اُپراتور به صورت دستی و بدون استفاده از سیستم کنترلی تنظیم دما را انجام می دهد

یک سیستم کنترل دارای سه بخش است:

ورودی :

کمیت های فیزیکی به سیگنال های الکتریکی تبدیل میشوند .وسایل اندازه گیری (Sensors)از جمله این عملگرها هستند.

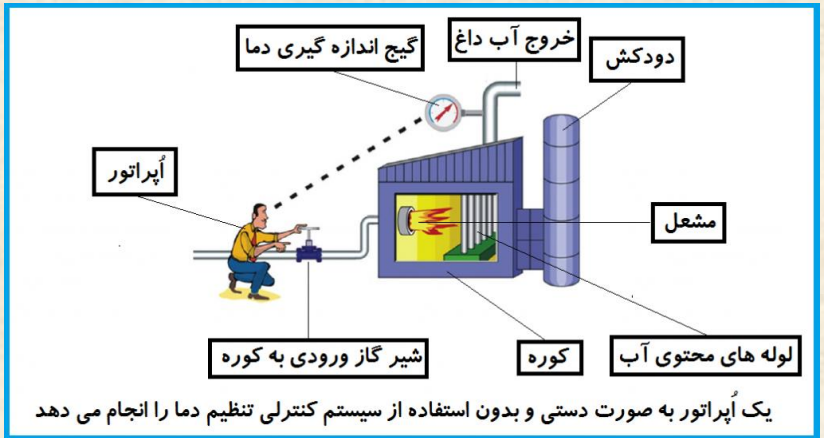
پردازش :

با توجه به داده های ورودی فرامین کنترل را صادر میکنند. مغز متفکر یک سیستم کنترل است.

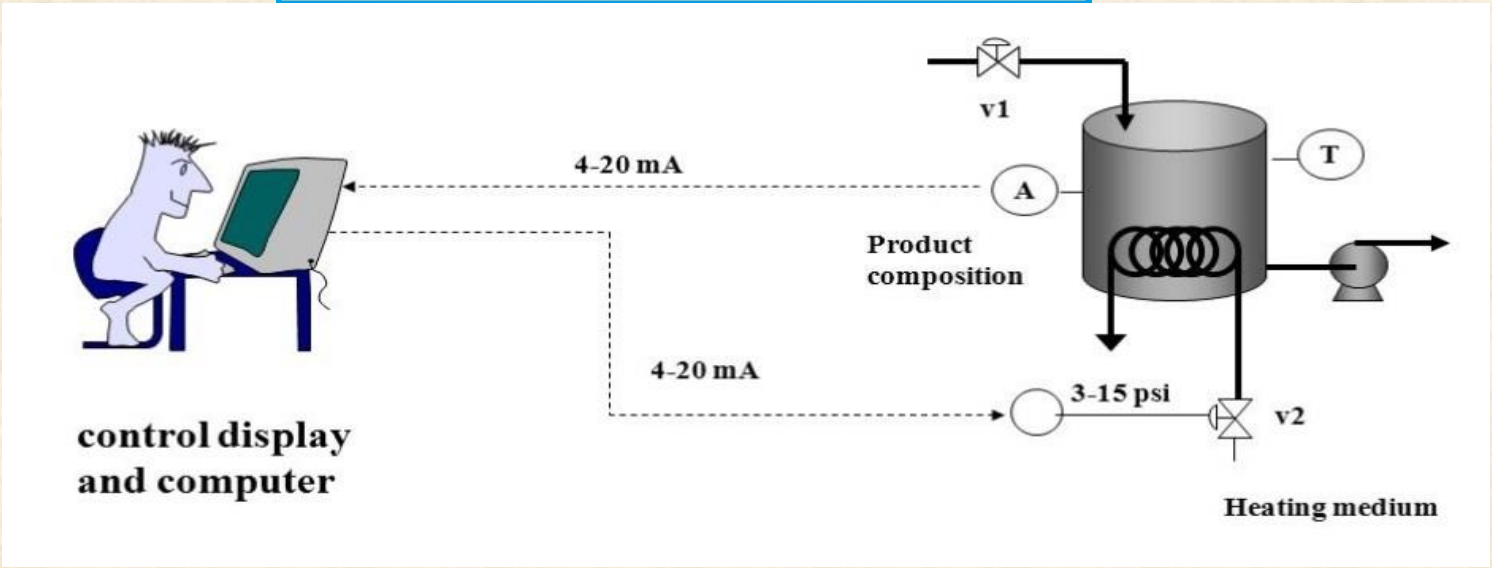
پردازش داده ها امروزه توسط رایانه ها بصورت سخت افزار یا نرم افزاری انجام میپذیرد.

خروجی:

فرامین صادره از بخش پردازش را به کمیت فیزیکی دیگر تبدیل میکنند.پمپ ها، رله ها ، شیرهای اتوماتیک و موتورها از جمله این عملگرها هستند.



یک اُپراتور به صورت دستی و بدون استفاده از سیستم کنترلی تنظیم دما را انجام می دهد



استراتژی کنترل :

کنترل حلقه باز :

هیچ اطلاعاتی از خروجی به کنترل کننده برگشت داده نمیشود تا کنترل کننده تشخیص دهد آیا خروجی در حد مطلوب است یا خیر .

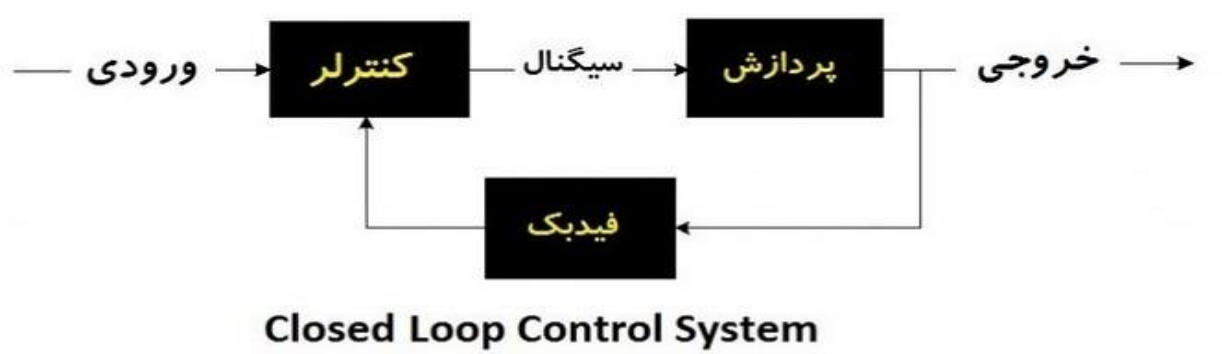
- ✓ در این حالت تا زمانیکه اختلالی در سیستم رخ نداده باشد فرآیند بخوبی عمل میکند ولی اگر اختلالی صورت پذیرد و خروجی از حد مطلوب خارج شود سیستم بطور کلی از کنترل خارج میشود .

Open Loop Control System

کنترل حلقه بسته :

اطلاعات خروجی از فرآیند به کنترل کننده برگشت داده میشود مقدار خروجی اندازه گیری شده و با مقدار مطلوب مقایسه میشود .

اختلاف مقدار مطلوب (نقطه تنظیم) با مقدار خروجی به عنوان خطای سیستم در نظر گرفته میشود .اگر خطا تا حد قابل قبول باشد از آن چشم پوشی میشود ولی اگر خطا زیاد باشد اقدامات کنترلی مناسب جهت جبران آن انجام میشود تا سیستم در کنترل باقی بماند .



برای یک فرآیند از چه کنترلی باید استفاده کرد و چگونه باید آنرا تنظیم نمود ؟

طراحی و تنظیم کنترل کننده :

برای طراحی کنترل کننده مناسب باید فرآیند را شناخت و باید مدل فرآیند را شناسایی نمود .

شناسایی مدل فرآیند :

مدل ریاضی فرآیند از دو راه حاصل میشود :

۱-بررسی اصول حاکم فیزیکی بر سیستم و روابط تئوری و مبانی پدیده های انتقال

۲- با انجام آزمایش و بررسی رفتار دینامیکی بصورت تجربی

مدلهای بدست آمده معمولاً به صورت توابع تبدیل میباشند. فرآیندها میتوانند از درجات مختلف باشند و میتوان آنها را با توابع تبدیلی با فرمهای مختلف تقریب زد. روشهای مختلفی برای شناسایی فرآیندها بکار گرفته میشوند که از جمله میتوان به روش پاسخ پله ای، پاسخ فرکانسی و پاسخ پالس اشاره نمود .

کنترلر ها :

یکی از اجزای مهم و حساس سیستم کنترل ، کنترل کننده ها هستند. یک کنترل کننده با توجه به خطای موجود (اختلاف رفتار فرآیند با رفتار مطلوب) و با در نظرگرفتن قوانین کنترل دستوری را جهت اصلاح خطا به قسمت های بعدی یا عنصر پایانی ارسال مینماید .

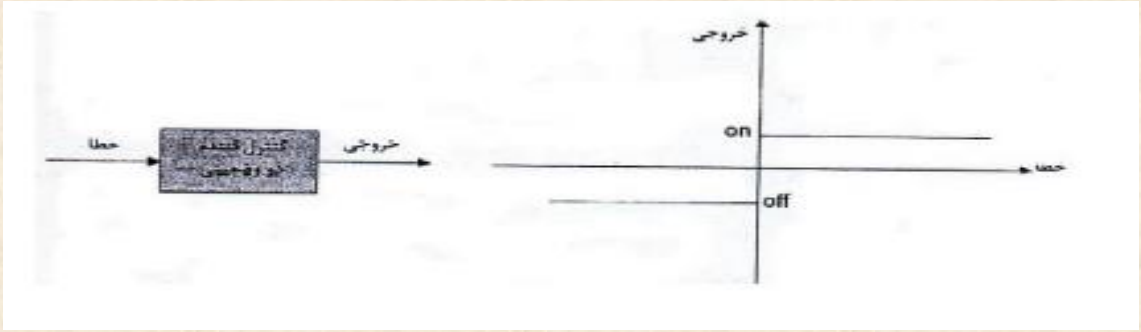
کنترلر ها مرکز پردازش فرامین و داده های کنترلی است که با تجهیزات ورودی و خروجی در ارتباط است . جنس سیگنال های ورودی و خروجی به یک کنترل کننده یکسان است که عمدتآ از جنس الکتریکی یا فشاری هستند. بازه الکتریکی آن بین ۴ تا ۲۰ میلی آمپر و بازه فشاری آن بین ۳ تا ۱۵ (psi) میباشد .

انواع کنترلر :

کنترل دو وضعیتی (of/on):

خروجی این کنترلر میتواند فقط دو حالت روشن و خاموش داشته باشد.

درصورتی که خطا مثبت باشد (میزان اندازه گیری شده از مقدار مطلوب کمتر باشد) دستور روشن به خروجی ارسال میکند واگر خطا منفی باشد دستور خاموش . مانند ترموستات سماور برقی . اشکال عمده این نوع کنترلر،خطای این کنترلر هیچگاه صفر نمیشود و همیشه در وضعیت روشن و خاموش است که این امر سبب استهلاک کنترلر و تجهیزات اندازه گیر و پایانی میشود . در بسیاری از کاربردهای صنعتی که نیاز به دقت بالایی ندارد از این کنترلر استفاده می شود.



کنترلر تناسبی (Proportional control) :

ساده ترین کنترل کننده پیوسته است که سیگنال خطا را دریافت کرده، آن را تقویت می کند و سیگنال کنترلی را می سازد. بین خروجی و ورودی آن رابطه خطی برقرار است و مهمترین پارامتر آن بهره کنترل نام دارد که میزان حساسیت سیستم را بررسی میکند. باعث افزایش سرعت پاسخ سیستم مدار بسته میشود ولی افت کنترل دارد مگر آنکه فرآیند دارای یک انتگرالگیر باشد.

با افزایش بهره تناسبی، زمان صعود صعود کاهش یافته و فراجهش بیشتر می شود، خطای حالت ماندگار کمتر می شود ولی هیچگاه به طور کامل حذف نمی شود.

کنترلر انتگرالی (Integral control) :

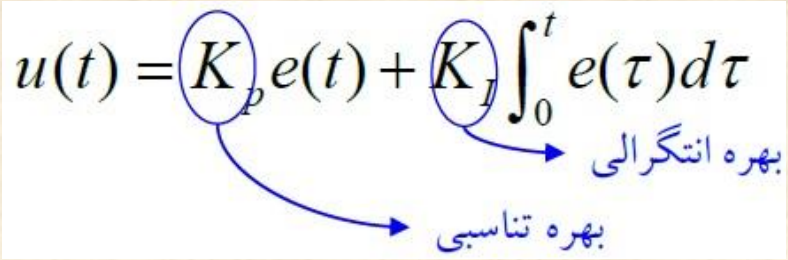
بین خروجی و ورودی آن رابطه انتگرالی برقرار است . باعث حذف افت کنترل شده و معمولاً افزایش فرارفت را در پی دارد. همچنین نوسانات طولانی ایجاد مینماید. این کنترل کننده خطای حالت ماندگار را به طور کامل حذف می کند و باعث افزایش فراجهش می شود. بنابراین،پایداری نسبی سیستم را کاهش می دهد

تناسبی-انتگرالی (PI) :

ترکیب کنترلر تناسبی و انتگرالی است که بصورت موازی به هم وصل شده اند.

این کنترل کننده سیگنال خطا را دریافت کرده، آن را تقویت می کند و با انتگرال خطا جمع می کند و سیگنال کنترلی را می سازد.

مهمترین ویژگی این کنترل کننده حذف کامل خطای حالت ماندگار است (به خاطر انتگرال گیر).



تناسبی- مشتق گیر(PD):

ترکیب کنترلر تناسبی و انتگرالی است که بصورت موازی به هم وصل شده اند. خطاهای آینده را پیشبینی نموده و تصحیح لازم را اعمال میکند. همچنین اثر پایدارکنندگی بر پاسخ مدار بسته سیستم دارد .

این کنترل کننده سیگنال خطا را دریافت کرده، آن را تقویت می کند و با مشتق خطا جمع می کند و سیگنال کنترلی را می سازد. این کنترل کننده به آهنگ تغییر سیگنال پاسخ می دهد و می تواند قبل از بزرگ شدن بیش از حد خطا، اصلاح قابل توجهی را بوجود آورد و بر پایداری نسبی سیستم بیافزاید.

$$u(t) = K_p e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

بهره تناسبی

بهره مشتقی

کنترلر PID :

از پرکاربردترین کنترلرهای صنعتی است که ترکیبی از کنترلر تناسبی ، انتگرالی و مشتق گیر است که بصورت موازی به هم وصل شده اند.

با توجه به نکات ذکر شده واضح است که این کنترلر معمولاً بهترین کنترلر است زیرا انعطافپذیری لازم را برای بدست پاسخ مطلوب دارا میباشد. به شرط آنکه هر سه پارامتر آن بدرستی تنظیم شوند.

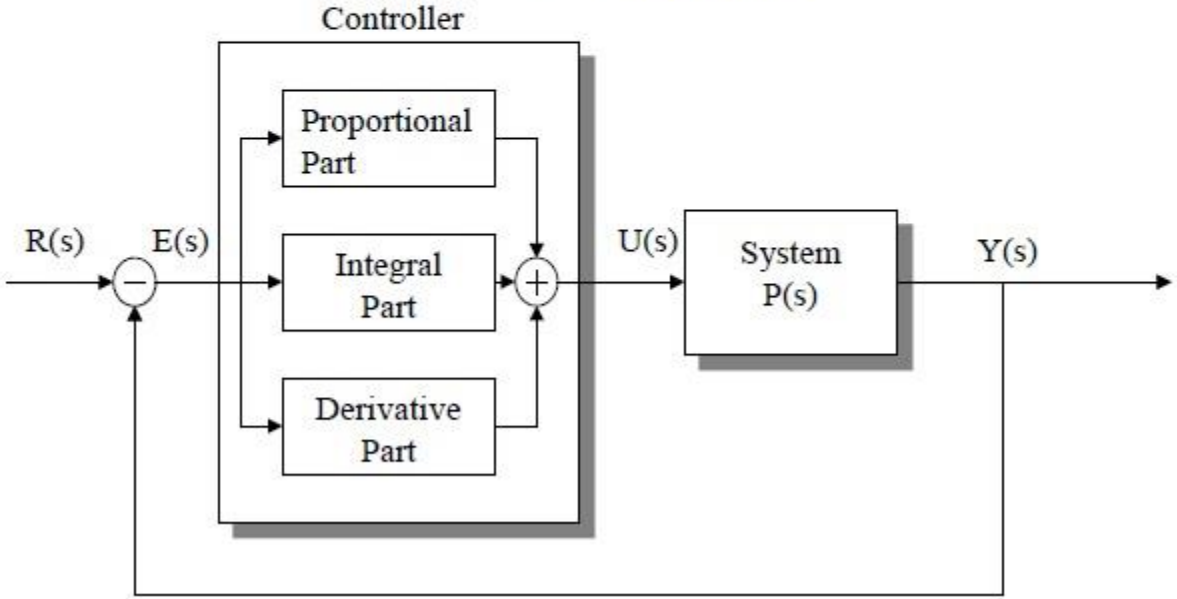
$$u(t) = K_P\, e(t) + K_I \int_0^t e(t)\, dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

- یک ساختار معمول کنترلر PID به شکل زیر نوشته می شود:

$$u(t) = K_P \left(e(t) + \frac{1}{T_I}\int_0^t e(t)\,dt + T_D \frac{de(t)}{dt}\right)$$

Integral time

Derivative time



دلایل افزودن شیوه های مختلف انتگرالی و مشتقی به کنترل کننده تناسبی :

کنترل کننده تناسبی قادر نیست متغیر تحت کنترل را به مقدار مطلوب خود برساند و همیشه با یک خطا همراه خواهد بود که به آن offset یا افت کنترل یا خطای ماندگار می گویند.

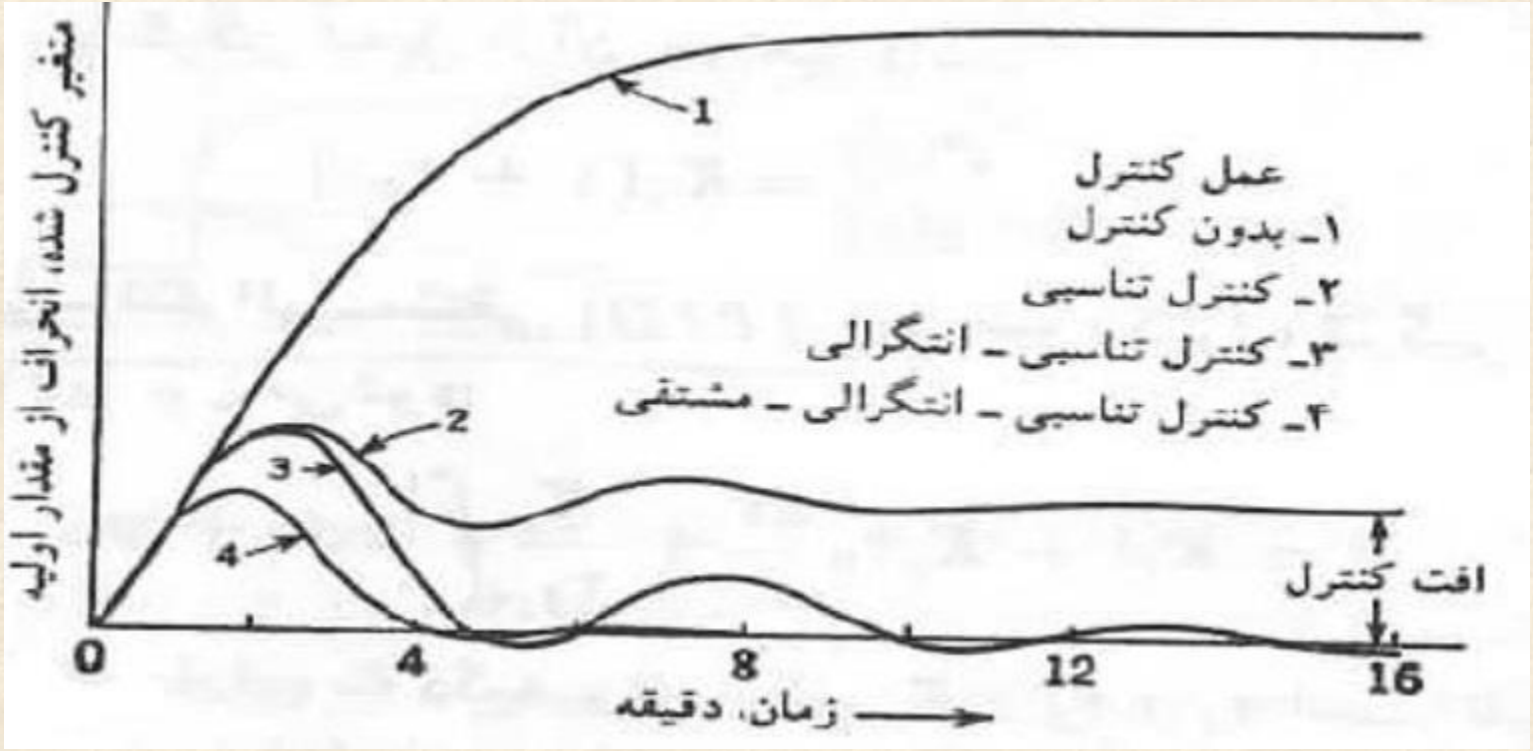
اگر انتگرالی استفاده شود پاسخ دارای نوسان بیشتر، over shoot بزرگتر ولی در هر حال بعد از چند نوسان به مقدار مطلوب می رسد.

اضافه کردن مشتقی به تناسبی (PD) باعث می شود که از نوسانات جلوگیری شود، اما در هر صورت دارای خطای ماندگار (offset) خواهد بود .

دو کنترلر تناسبی (P) و مشتقی تناسبی (PD) دارای خطای ماندگار هستند .

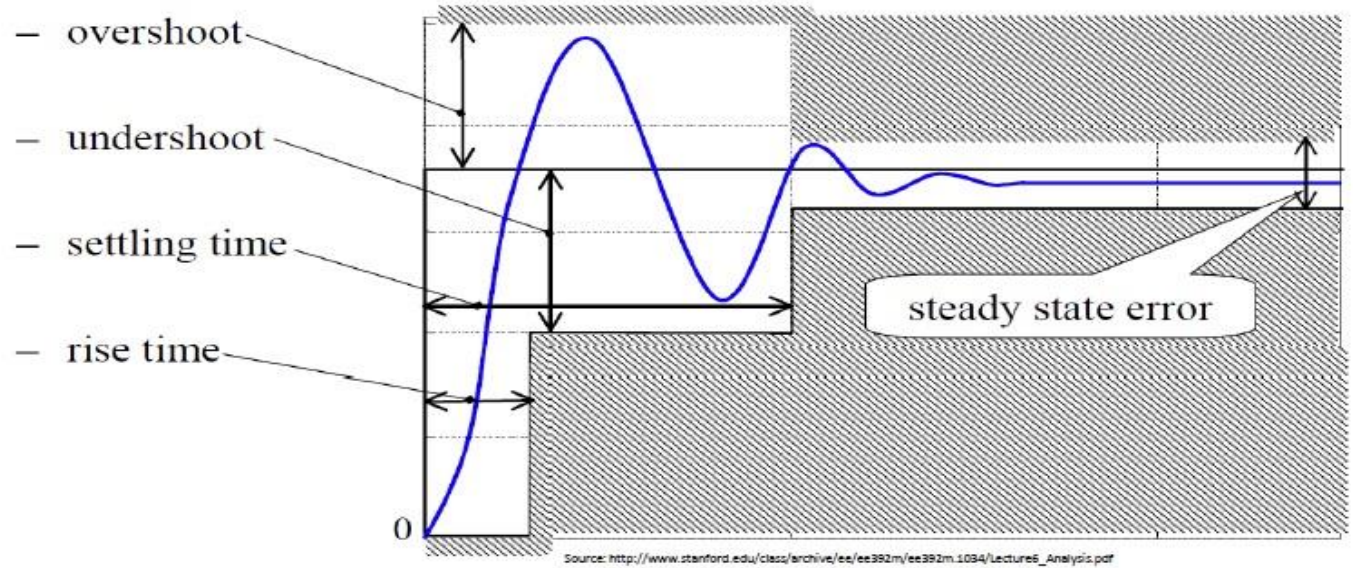
اگر مشتقی به همراه تناسبی انتگرالی (PID) استفاده کنیم نوسان را کاهش می دهد و پاسخ زودتر به مقدار مطلوب می رسد.

تاثیر کنترل کننده ها بر متغییر کنترل شونده



Effects of Independent P, I, and D Tuning

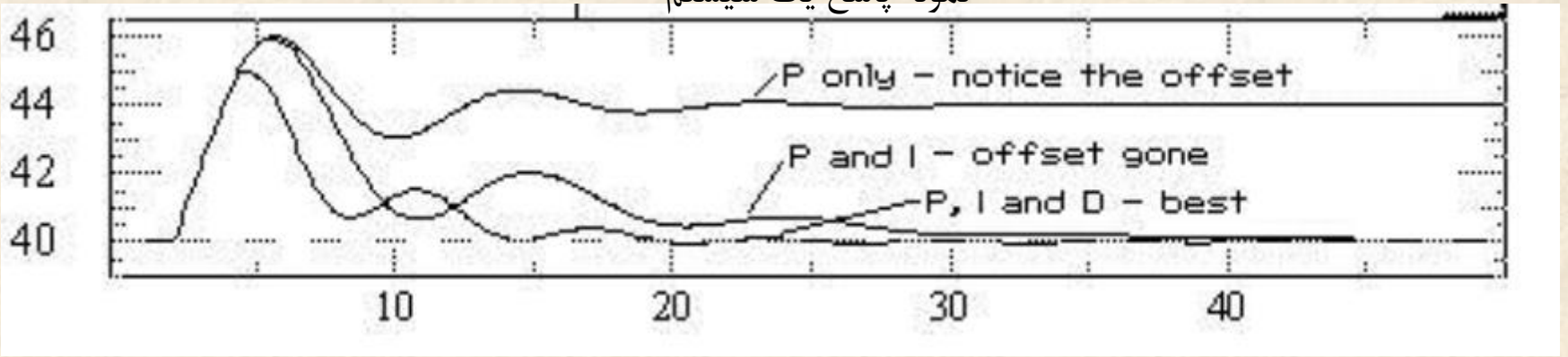
Closed-Loop Response	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Steady-State Error	Stability
Increasing K_P	Decrease	Increase	Small Increase	Decrease	Degrade
Increasing K_I	Small Decrease	Increase	Increase	Large Decrease	Degrade
Increasing K_D	Small Decrease	Decrease	Decrease	Minor Change	Improve



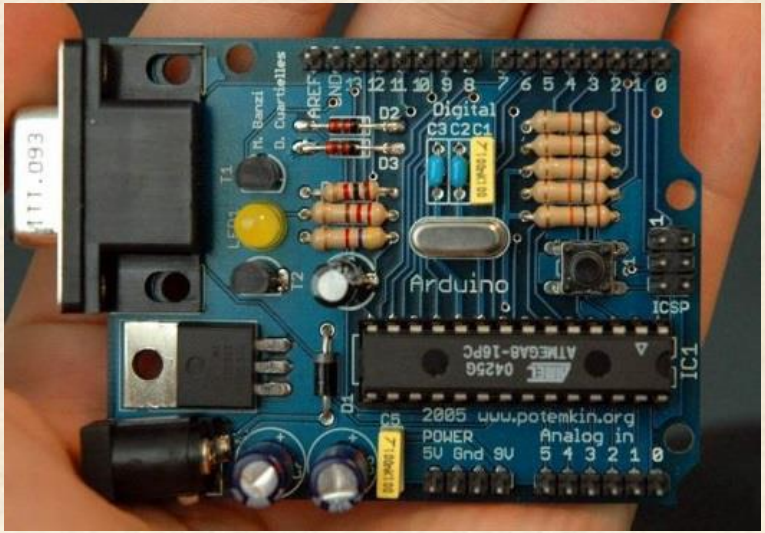
اثر کنترل کننده های تناسبی، انتگرالی و مشتقی بر سیستم

- برای فرآیندهای ساده که میتوانند افت کنترل را تحمل کنند، از کنترلر تناسبی و یا تناسبی – مشتقی که امکان افزایش بهره کنترلر و کاهش افت کنترل را دارا میباشند و در مقایسه با کنترلر تناسبی-انتگرالی پاسخ سریعتری دارند استفاده میشود.
- در فرآیندهایی که از درجه پائین بوده و افت کنترل در آنها قابل تحمل نیست کنترلرPI توصیه میشود.
- در فرآیندهای دارای تأخیر انتقالی(برای جلوگیری از فرارفت زیاد و زمان نشست طولانی استفاده از کنترلر PID ضروری میباشد. با توجه به نکات فوق میتوان بسته به نیاز سیستم فرآیند، نوع کنترلر را تعیین نمود.

نمونه پاسخ یک سیستم



دو نمونه کنترلر صنعتی



روشهای عملی بدست آوردن ضرایب کنترلر:

پس از انتخاب نوع کنترلر،بر حسب نیاز فرآیند باید پارامترهای مناسب برای رسیدن به پاسخ مطلوب را انتخاب نمود. این انتخاب بر مبنای یکی از معیارهای ذکر شده و معمولاً از طریق جداول و روشهای استاندارد خاص می باشد.

در این روشها با استفاده از اطلاعات مدار و جداول ارائه شده، پارامترهای کنترلر محاسبه میشوند. هر جدول بر طبق معیار خاص تهیه شده و محدوده کاربرد مشخص دارد.

روش های تنظیم کنترلرهای PID :(در صورت نیاز به اطلاعات تکمیلی به کتب و منابع کنترل فرآیند مراجعه شود)

روش های متعددی برای تنظیم کنترلرهای PID توسعه یافته است که در زیر تعدادی از آنها نام برده شده است

روش زیگلر نیکولز

در این روش، ابتدا مشتق گیر و انتگرال گیر را خاموش می کنیم. سپس، بهره تناسبی را آنقدر افزایش می دهیم تا سیستم حلقه بسته به مرز نوسانات پایدار برسدسپس از جدول زیگلر-نیکولز استفاده کرده و بهره های کنترلر را بدست می آورند .

روش تنظیم فرکانس طبیعی و نسبت میرایی

با توجه به پاسخ مطلوب مقادیر فرکانس طبیعی و نسبت میرایی را تعیین کرده و با استفاده از روابط بدست آمده، بهره های کنترل کننده را تنظیم می کنیم.

ابزارهای اندازه گیری و کنترلی :

ترانسمیتر می تواند یک کمیت فیزیکی را اندازه گیری کند و سپس مقدار آن کمیت را به مکانی دورتر مثل اتاق کنترل انتقال دهد.

ترانسمیتر ها از نظر نوع و کاربرد به چند دسته تقسیم می شوند:

ترانسمیتر فشار
ترانسمیتر دما
ترانسمیتر رطوبت
ترانسمیتر فلو یا جریان سیالات
ترانسمیتر سطح یا ارتفاع مخازن
ترانسمیتر وزن
ترانسمیتر سرعت و...

ابزارهای اندازه گیری و کنترلی :

شیر مغناطیسی (شیر برقی) :

با عبور جریان الکتریکی یک میدان مغناطیسی در اطراف آن ایجاد و این میدان مغناطیسی باعث می شود پیستون مغناطیسی جابه جا شده مسیر سیال درون شیر را باز و بسته می کند

ابزارهای اندازه گیری و کنترلی :

شیر کنترلی :

از هوای فشرده برای کنترل میزان دبی استفاده می کند. با تغییر وضعیت فنرهای موجود داخل اکچوئیتر، می توان این شیر را باز یا بسته نگه داشت.

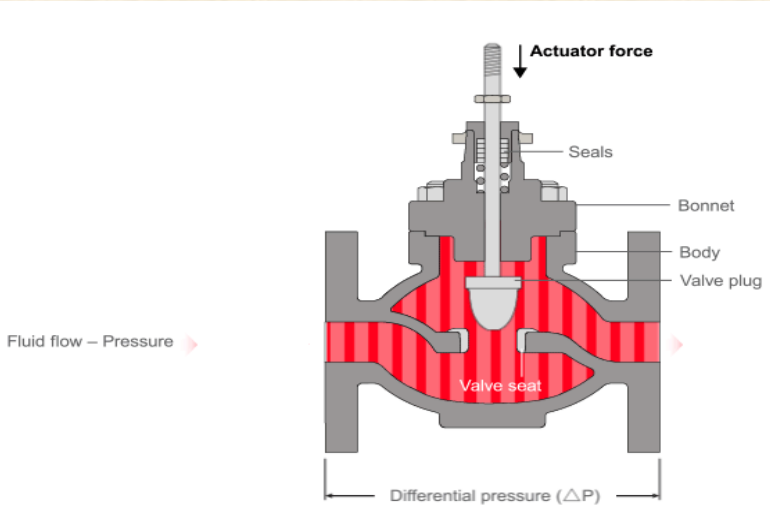


Fig. 6.1.2 Flow through a single seat, two-port globe valve

پخش کلیپ تصویری ۱

پخش کلیپ تصویری ۲

پخش کلیپ تصویری ۳

ابزارهای اندازه گیری و کنترلی :

ترموکوپل دو فلز غیرهم‌جنس است که از یک طرف به‌هم متصل‌اند. برای تولید برق باید محل اتصال دو فلز را حرارت داد. در این صورت در دو سر دیگر که آزاد هستند برق تولید می‌شود. البته برقی که به این صورت تهیه می‌شود بسیار کم است. به این صورت که وقتی به محل اتصال این دو مفتول حرارت داده شود، اختلاف پتانسیلی در دو سر این مفتول‌ها بوجود می‌آید. این اختلاف پتانسیل تابع میزان حرارت اعمال شده‌است و بنابراین با بررسی میزان ولتاژ خروجی می‌توان درجه حرارت اعمال شده به ترموکوپل را تشخیص داد

ابزارهای اندازه گیری و کنترلی :

ترموستات دستگاهی است برای نگه داشتن دمای یک سامانه در یک محدوده مشخص به کار می‌رود

این سیستم کاملاً مکانیکی بوده و به صورت کاملاً اتوماتیک و بدون دخالت دست دمای سیستم را تنظیم میکند.

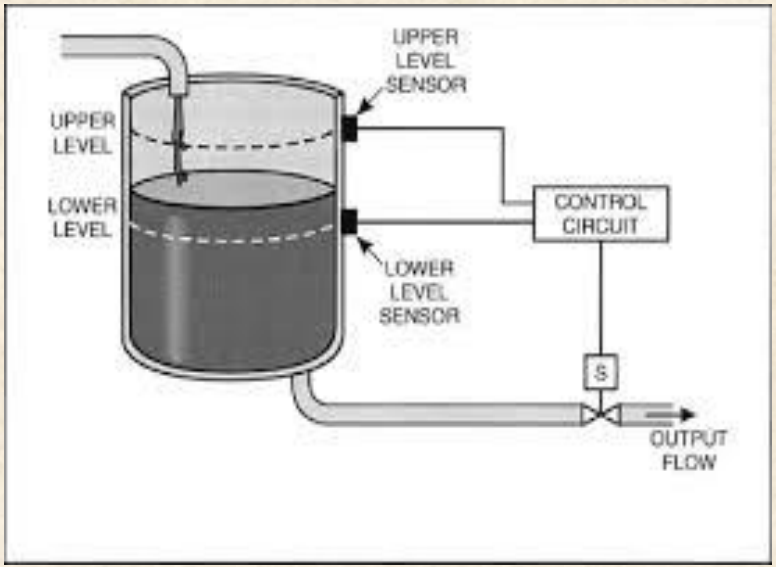
کمیت های قابل اندازه گیری:

مهمترین کمیتهای قابل اندازه گیری و کنترلی عبارتند از :

- ✓ فشار
- ✓ دبی
- ✓ دما
- ✓ اختلاف سطح

بر همین اساس آزمایش هایی که بررسی میشوند عبارتند ازسیستم های کنترل دما ، کنترل فشار ، کنترل دبی و جریان و کنترل سطح میباشند .

آزمایش شماره یک :



نام آزمایش : کنترل سطح مایع

هدف آزمایش : کنترل سطح و ارتفاع مایع درون تانک در یک بازه حداقل و حداکثری (مطلوب)

آزمایش شماره یک : کنترل سطح مایع

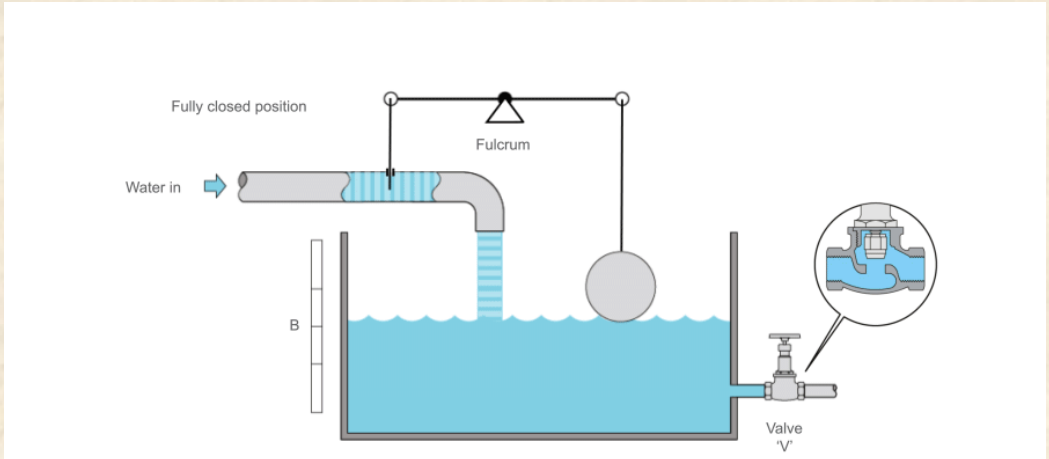
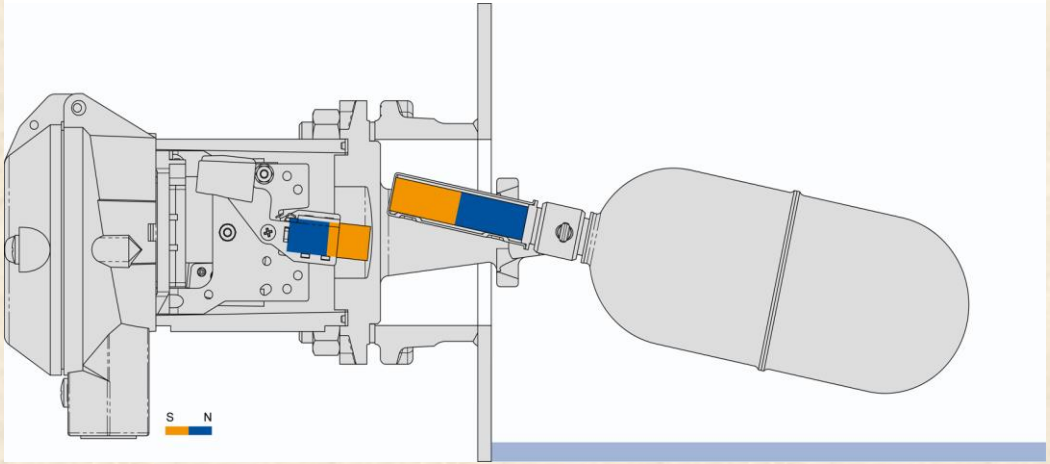
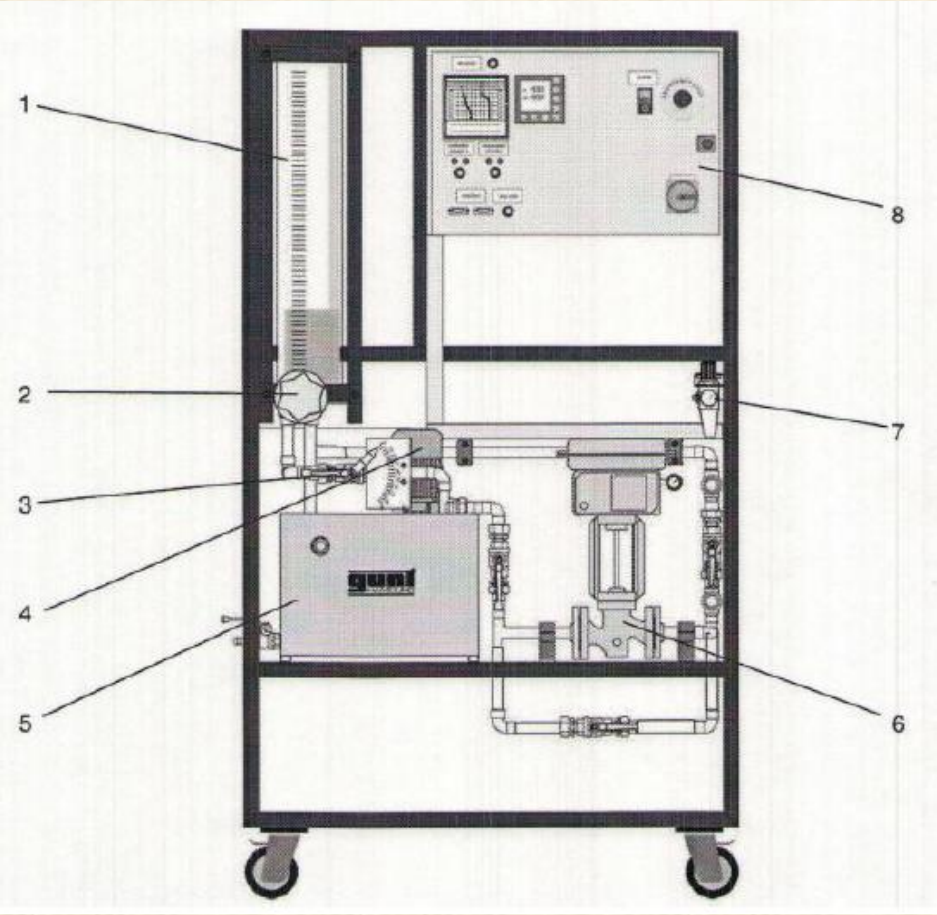


Fig. 5.2.5 Valve closed



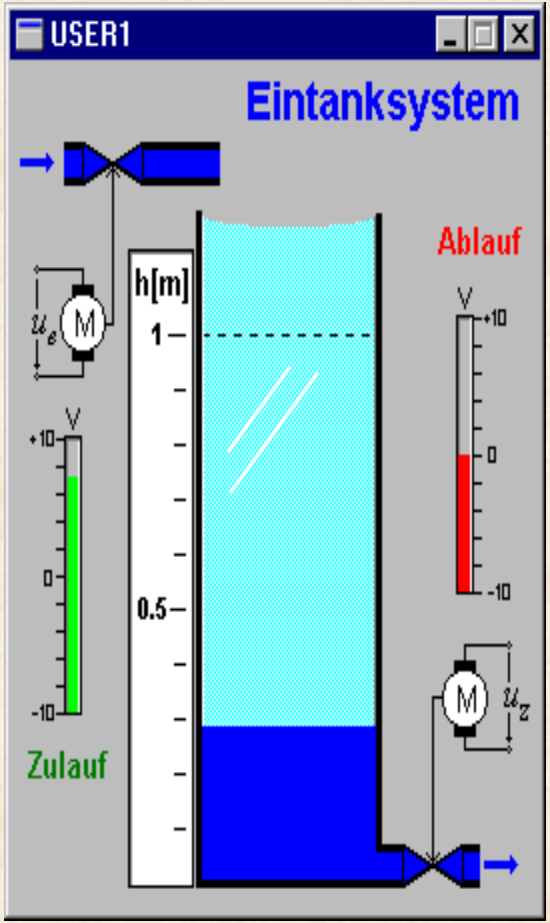
پخش کلیپ تصویری

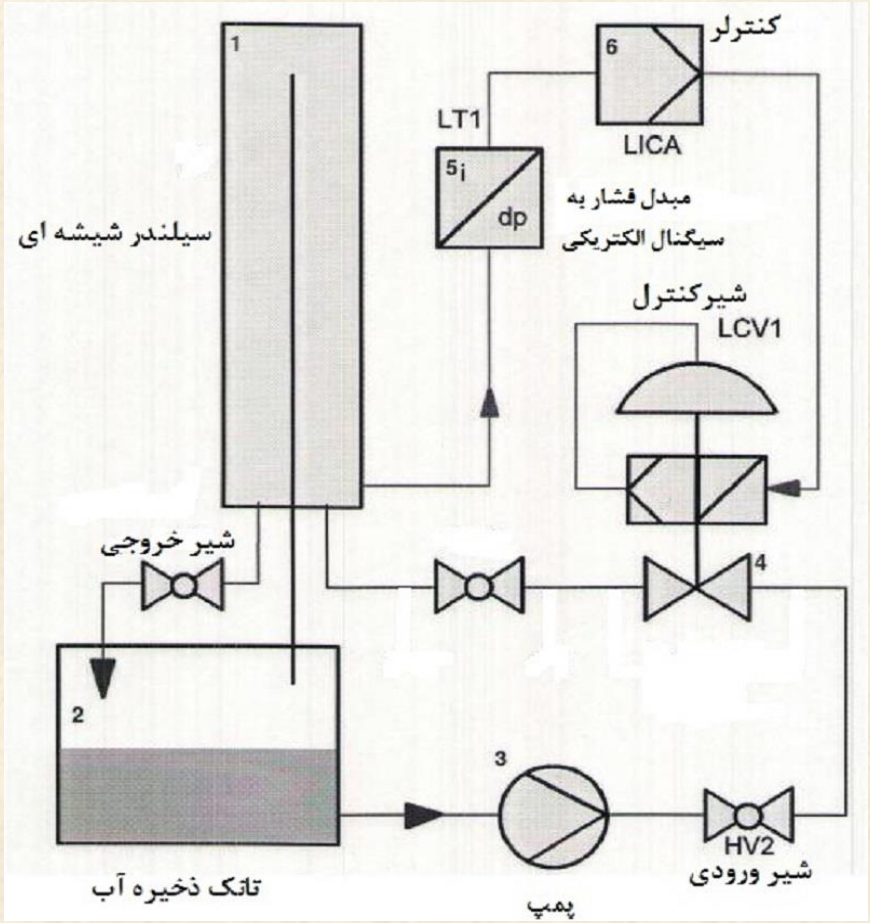


شماتیک دستگاه:

1. سیلندر شیشه ای سطح مایع
2. سنسور اندازه گیری سطح مایع
3. شیر خروجی سیلندر
4. پمپ
5. تانک ذخیره
6. شیرکنترل
7. رگلاتور فشار هوا
8. محفظه سوییچ و مدارات کنترلی

دیاگرام فرآیند :





آزمایش شماره دو:

نام آزمایش : کنترل فشار مخزن

هدف آزمایش :

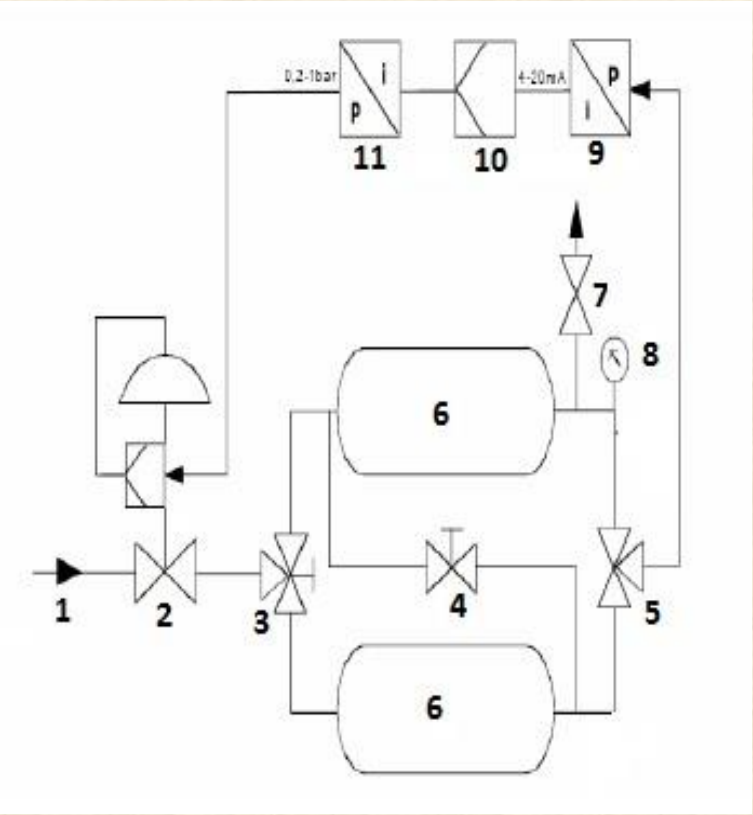
- ✓ کنترل فشار مخزن در یک فشار مشخص
- ✓ بررسی اثر پارامترهای تناسبی ، انتگرالی و مشتقی برروی عملکرد سیستم کنترل

آزمایش شماره دو: کنترل فشار مخزن

در سیستم کنترل فشار مخزن هدف کنترل فشار گاز مخزن در یک فشار مشخص می باشد . در اینجا نرخ مصرف قابل تغییر می باشد . هر چه مصرف زیادتر شود فشار داخل مخزن کمتر می شود؛لذا سعی میشود که با تغییر گاز ورودی به مخزن فشار داخل مخزن را در هر حالت، روی مقداری ثابت نگه داشت.

بطور خلاصه سیستم این گونه کار می کند که هوای پمپ شده توسط کمپرسور بعد از تنظیم تنظیم کننده های هوا با فشاری در حدود ۴ بار به شیر کنترلی نیوماتیکی برخورد می کند.

درنتیجه بسته به اینکه که شیر نیوماتیکی چه وضعیتی داشته باشد فشار هوای ورودی به مخزن یامخزنها تعیین می گردد. فشار هوای مخزنها (پارامتر کنترل شونده) نیز با استفاده از سنسور فشاراندازه گیری می شود. پارامترهای تاثیر گذاردر این فشار نیز وضعیت شیر خروجی (میزان مصرف)می باشد.



دیاگرام فرآیند :

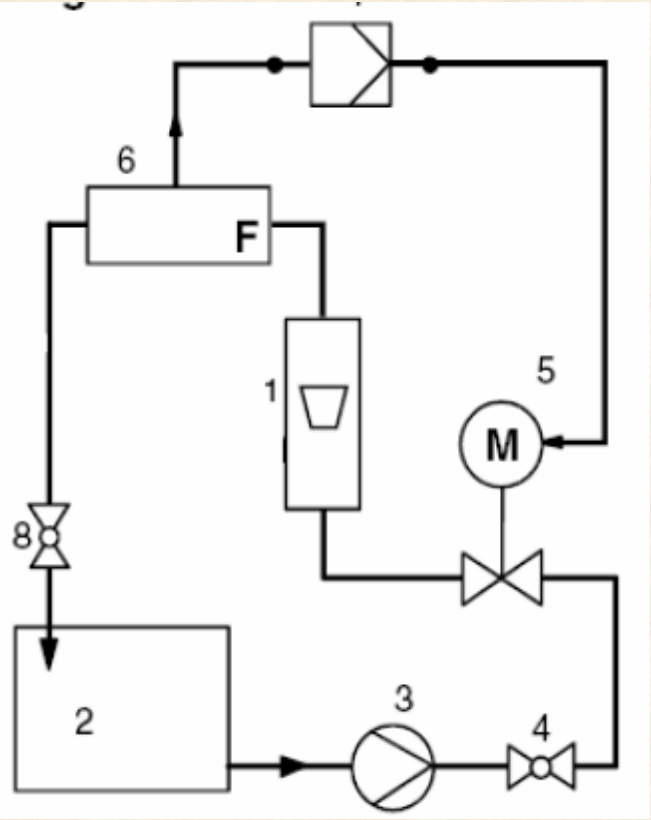
1. تنظیم هوای ورودی
2. شیرکنترل پنوماتیکی
3. شیر سه راهی
4. شیر ارتباط دهنده مخازن فشار
5. شیر انتخابی
6. مخازن فشار
7. شیر خروجی
8. فشار سنج
9. مبدل سیگنال پنوماتیکی به سیگنال الکتریکی
10. کنترلر
11. مبدل سیگنال الکتریکی به پنوماتیکی

آزمایش شماره سه:

نام آزمایش : کنترل دبی جریان (Flow)

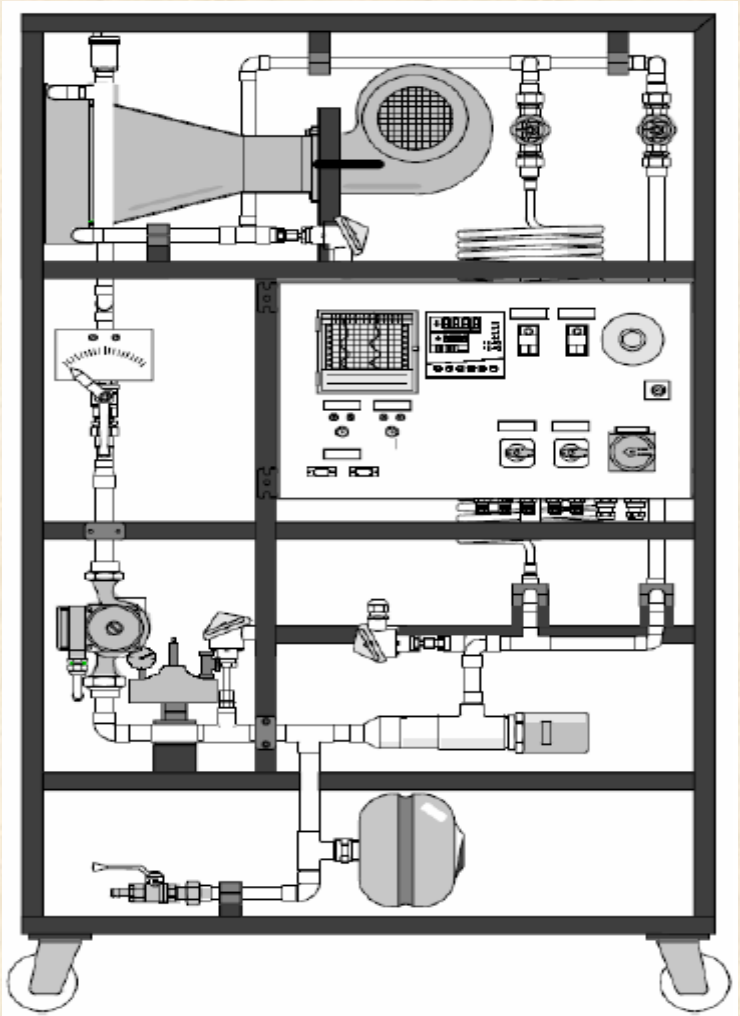
هدف آزمایش :

- ✓ کنترل دبی جریان
- ✓ بررسی اثر پارامترهای تناسبی ، انتگرالی و مشتقی برروی عملکرد سیستم کنترل



دیاگرام فرآیند :

1. دبی سنج مکانیکی (روتامتر)
2. تانک ذخیره آب
3. پمپ
4. شیر ورودی
5. شیرکنترلی
6. دبی سنج الکترومغناطیسی
7. کنترلر
8. شیر خروجی



آزمایش شماره چهار:

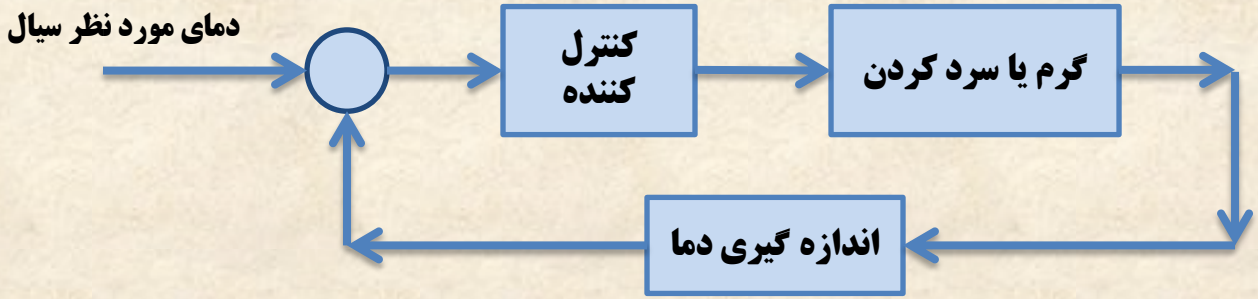
نام آزمایش : کنترل دما

هدف آزمایش :

- ✓ کنترل دما
- ✓ بررسی اثر پارامترهای تناسبی ، انتگرالی و مشتقی برروی عملکرد سیستم کنترل

کنترل دما یکی از خواسته های مهم در دنیای امروز می باشد.

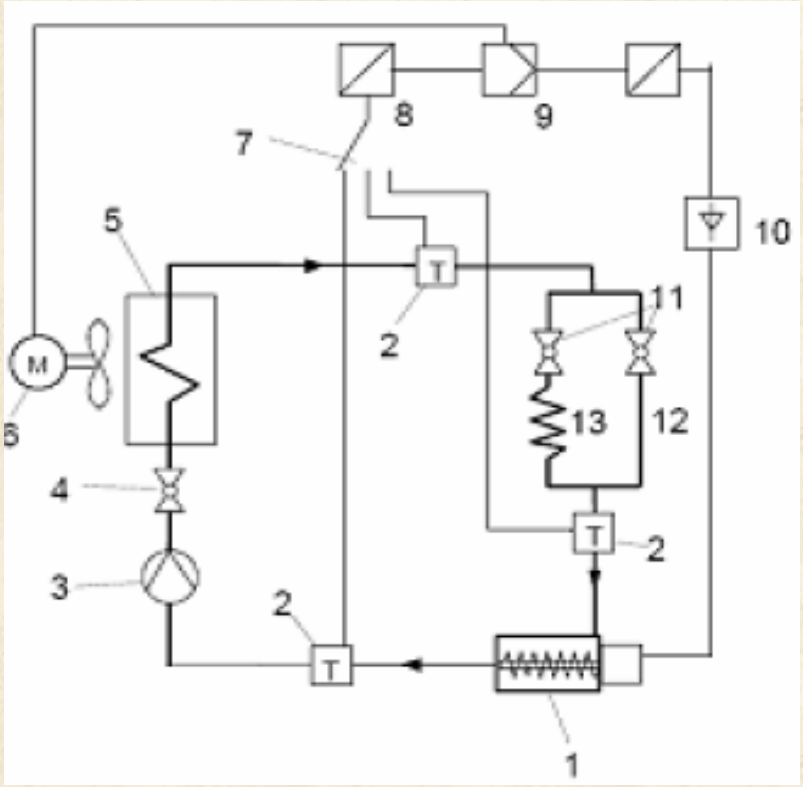
در فرآیند کنترل دمای یک سیال ، ابتدا دمای مورد نظر سیال با دمای کنونی آن مقایسه شده و کنترل کننده با در نظر گرفتن سیگنال خطا فرمان لازم را برای عملگر(عملگرهای)سیستم صادر می کند



سیالی (آب) توسط یک پمپ درون لوله ها در حال حرکت و چرخش می باشد . در این مدار قابلیت سرد کردن و گرم کردن سیال وجود دارد .گرم کردن سیال توسط یک گرم کننده و سرد کردن سیال نیز توسط مبدل حرارتی (سرد کننده) انجام می گیرد . اندازه گیری دما در نقاط مورد نیاز در سیستم نیز معمولا توسط ترموکوپل انجام می پذیرد.

پخش کلیپ تصویری

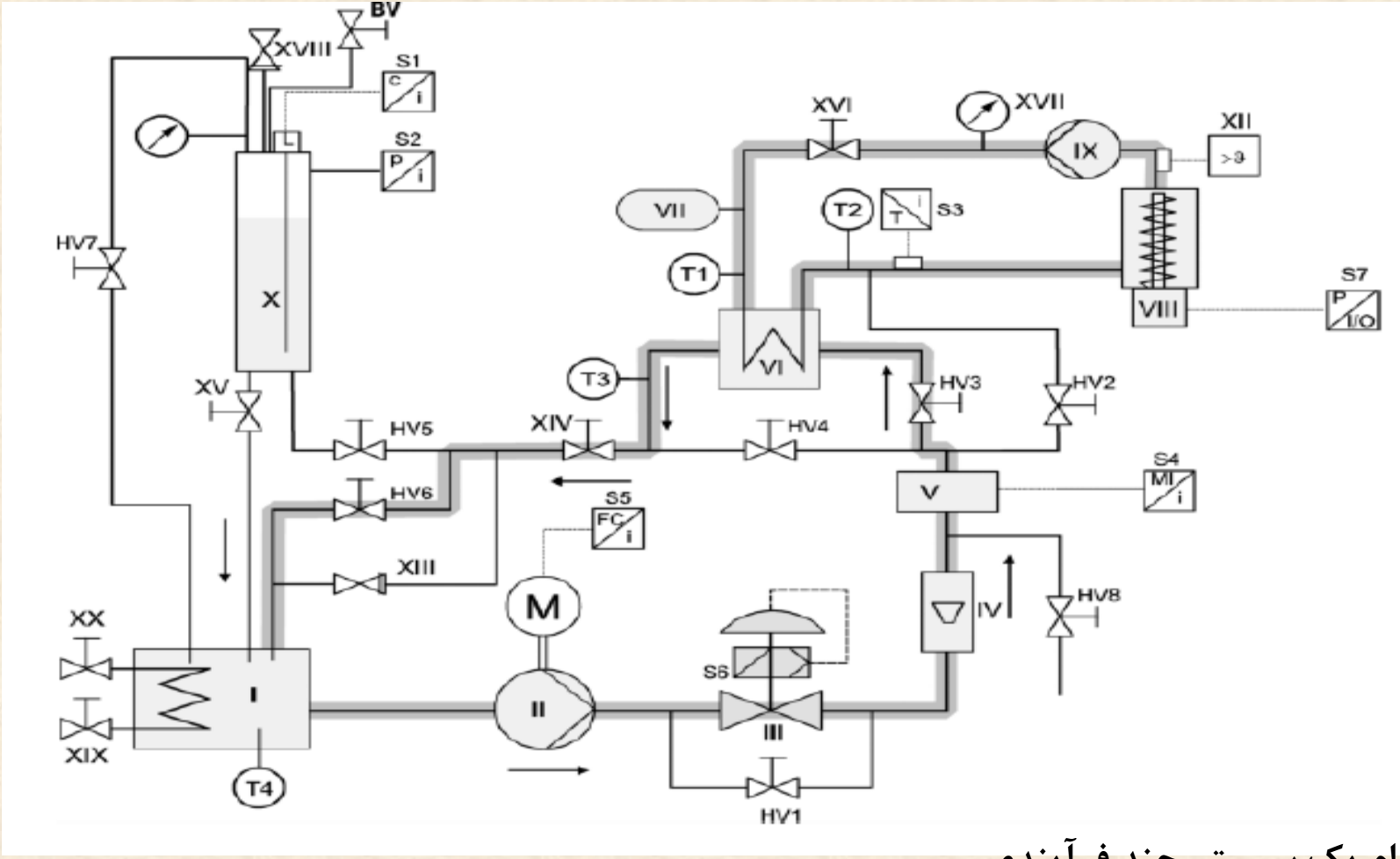
دیاگرام فرآیند:



1. گرم کننده (هیتر)
2. ترموکوپل
3. پمپ
4. شیر کنترل
5. مبدل حرارتی
6. موتور سرد کننده
7. سلکتور (انتخابگر دستی ترموکوپل)
8. مبدل سیگنال
9. کنترلر
10. تریستور قدرت
11. شیرکنترل

شرح فرآیند:

سیال در یک مسیر بسته توسط یک پمپ (شماره ۳) در حال حرکت میباشد درست بعد از پمپ یک شیر کنترلی (شماره ۴)برای تنظیم فلوی سیال در دستگاه قرار داده شده است. ابتدا از درون گرم کننده (شماره ۱) می گذرد این عملگر به فرمان یک تریستور قدرت (شماره ۱۰) سیال درون خود را گرم می نماید ، در ادامه این مسیر سیال از مبدل حرارتی (شماره۶) می گذرد بعد از عبور از مبدل حرارتی دو مسیر لوله در ادامه مسیر وجود دارد . یک مسیر بامقاومت و تاخیر کم (شماره ۱۲) و یک مسیر با مقاومت و تاخیر زیاد (شماره ۱۳) که سیال میتواند از هریک از این دو مسیر عبور نماید . البته دو شیرکنترلی دستی (شماره ۱۱) نیز برای تنظیم مقاومت این دو مسیر وجود دارند که معین می کنند که سیال با چه فلویی در این دو مسیر حرکت نماید. در ادامه این دو مسیر به هم می پیوندد و دوباره وارد گرم کننده می شوند . به این ترتیب چرخه بسته می شود . در ۳ نقطه این چرخه گردش سیال سه حسگرترموکوپل (شماره ۲) اندازه گیری دما را انجام می دهد .



دیاگرام یک سیستم چند فرآیندی