

به نام خدا

# کنترل صنعتی

مدرس: مینا حشمتی

بهمن ۹۸

## سرفصل‌ها:

- ۱- تعاریف و اصطلاحات، انواع سیستم‌های کنترلی  $\Leftarrow$  ۲۰٪
- ۲- مقدمه‌ای بر فرایندهای صنعتی، انواع روش‌های مدلسازی، قوانین حاکم بر ساده‌سازی بلوک‌دیاگرام‌ها، تحلیل پاسخ زمانی سیستم‌های دینامیکی (معیارهای برتری)  $\Leftarrow$  ۲۰٪
- ۳- روش‌های اندازه‌گیری  $\Leftarrow$  ۱۰٪
- ۴- سنسورها  $\Leftarrow$  ۱۰٪
- ۵- کنترل‌کننده‌های PID  $\Leftarrow$  ۱۵٪
- ۶- کنترل‌کننده‌های PLC  $\Leftarrow$  ۲۵٪

## ارزشیابی:

امتحان پایان ترم  $\Leftarrow$  ۱۷ نمره

تمرین‌ها  $\Leftarrow$  ۳ نمره

ارتباط با من :

[m.heshmati.znu@gmail.com](mailto:m.heshmati.znu@gmail.com)

# فصل اول

## سیستم کنترل صنعتی چیست؟

سیستم کنترل صنعتی اهمیت زیادی دارد. سیستم کنترل صنعتی یا Industrial Control System ICS یک اصطلاحی است که به انواع سیستم های کنترل صنعتی اطلاق می گردد. این سیستم شامل دستگاه ها، شبکه ها، سیستم ها و کنترل هایی است که برای بهره برداری فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد.

این بهبود هم در کمیت و میزان تولید و هم در کیفیت محصولات موثر است. هدف اصلی این سیستم، مدیریت و کنترل فرآیندهای صنعتی است. سیستم کنترل صنعتی در هر بخش صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد.

بسته به صنعت، هر سیستم کنترل صنعتی عملکرد متفاوتی دارد. باید با توجه به شرایط سازمان و صنعت، سیستم کنترل صنعتی اجرا شود.

فرآیند سیستم کنترل یک فرآیندی است که هدف از آن این است که مطمئن شویم که فرآیندهای سراسر خط تولید به صورت عادی کار می کنند و مشکلی وجود ندارد. هر سیستم کنترل دارای سه بخش ورودی، پردازش و خروجی است.

این کار با به کارگیری انواع سخت افزار و تجهیزات انجام می شود و روند تولید را تجزیه و تحلیل می کند و این تجزیه و تحلیل را برای پرسنل ارسال می کند. این فرآیند کمک می کند تا هر مسئله ای که ممکن است در فرآیند تولید وجود داشته باشد را سریعاً برطرف کنند و به همین دلیل، کارایی سازمان بالا می رود. فرآیند کنترل سیستم می تواند با استفاده از رابط های انسان و ماشین به نیروی انسانی اجازه می دهد که دستوراتی را به سیستم بدهد.

## انواع سیستم های کنترل صنعتی

این سیستم یک سیستم پیچیده است. سیستم های کنترل صنعتی انواع مختلفی دارند و باید با توجه به اهداف مدنظر بهترین سیستم کنترل صنعتی را انتخاب کرد.

چند نوع از این سیستم ها عبارتند از:

- سیستم کنترل نظارت و داده (SCADA)
- سیستم های کنترل توزیع (DCS)
- سیستم های کنترل اتوماسیون صنعتی (IACS)
- فرآیند کنترل کننده ی منطقی (PLCs)
- فرآیند اتوماسیون کنترل کننده (PACs)

### سامانه (سازمان، نظام) (system)

مجموعه ای از عوامل، عناصر (اجزاء) که به صورت منظم با وظایف مشخص و جایگاه معین در کنار هم قرار گرفته اند تا در ارتباط با یکدیگر هدف (اهداف) خاصی را دنبال کنند. در یک سیستم جابجا کردن دو عنصر دلخواه، نقص (از کار افتادن) هر کدام از اجزاء، عملکرد سیستم را دچار اختلال خواهد کرد. به عبارت دیگر کم کردن یک عنصر (از اجزاء سیستم) به همان اندازه افزودن یک عضو (اضافه بر اجزاء سیستم) می تواند معنای واقعی سیستم را زیر سوال ببرد. بدن انسان، سیستم بینایی انسان، سیستم سوخت رسانی یک خودرو، نظام آموزشی، سیستم مدیریتی یک مجموعه اداری، هر کدام از وزارتخانه های یک کشور، یک تیم ورزشی، کلاس درس، دستگاه آفرینش که تمامی سیستمهای ممکن را به صورت یک زیر سیستم در بر می گیرد و ... مثالهایی از سیستم به شمار می روند.

### دستگاه (plant)

مجموعه ای از قطعات (با ماهیت فیزیکی) که به صورت منظم و با وظایف مشخص در کنار هم قرار گرفته اند تا هدف (اهداف) خاصی را برآورده سازند. معمولاً منظور از دستگاه، مصنوعات دست بشر است که هر کدام برای تحقق هدف خاصی ساخته و پرداخته شده اند. هواپیما، انواع ماشین آلات، کارخانجات، نیروگاهها، پالایشگاه، یخچال، ماشین لباسشویی، سفینه فضایی، زیردریایی، روبات و ... از جمله چنین دستگاههایی به شمار می روند.

### فرایند (process)

مجموعه ای از عملیات که باید به ترتیب و به تدریج انجام پذیرند تا هدف (اهداف) مشخصی برآورده شود. فرایند آموزش، مدیریت پروژه، انواع فرایندهای شیمیایی، فرآوری محصولات غذایی، آشپزی، تربیت انسان و ... از جمله فرایندهای قابل ذکر می باشند.

### انواع سیستمهای کنترلی:

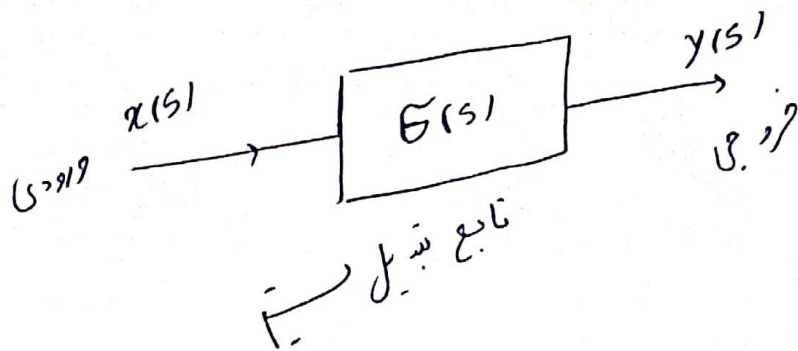
سیستم حلقه باز (Open Loop System): در این سیستم ورودی سیستم براساس اطلاعات و تجربیات قبلی از سیستم تنظیم می شود. در چنین سیستمی این مطلب که خروجی سیستم در حین کار سیستم از مقدار مطلوب مورد نظر منحرف شود تأثیری در مقدار ورودی نخواهد داشت. به عبارت دیگر در این سیستم اندازه گیری (مشاهدات) خروجی در تصمیم گیری در مورد تنظیمات ورودی سیستم در حین عملکرد سیستم دخالت داده نمی شود.

سیستم حلقه بسته (Closed Loop System): در این سیستم ورودی سیستم بر اساس اندازه گیری و سنجش خروجی و در جهت رسیدن خروجی سیستم به مقدار مطلوب مورد نظر تنظیم می شود به گونه ای که هر گونه تغییرات در خروجی سیستم نسبت به مقدار مطلوب مورد نظر در حین کار باعث تغییر در ورودی سیستم خواهد شد.

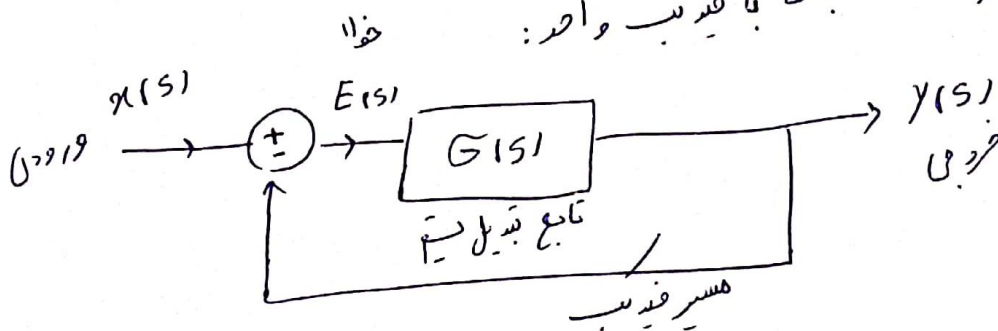
به عنوان مثال اگر کسی فقط به خاطر شباهت برخی از علائم بیماری خود با فردی که به پزشک مراجعه کرده، از نسخه تجویز شده و دستورالعمل درمانی صادر شده برای او استفاده کند عملاً یک فرایند درمانی حلقه باز را انجام داده است. اما اگر همین شخص با مراجعه به پزشک و پس از طی گذراندن آزمایشهای پزشکی مختلف توسط پزشک، نسخه دارویی و دستور درمانی لازم را بگیرد و نوع و میزان داروی مصرفی خود را مستمراً براساس نظر پزشک تنظیم کند، عملاً طی یک فرایند درمانی حلقه بسته به کنترل بیماری خود پرداخته است.

نقطه سیگنال از جبهه ورودی

سیستم حلقه باز ✓

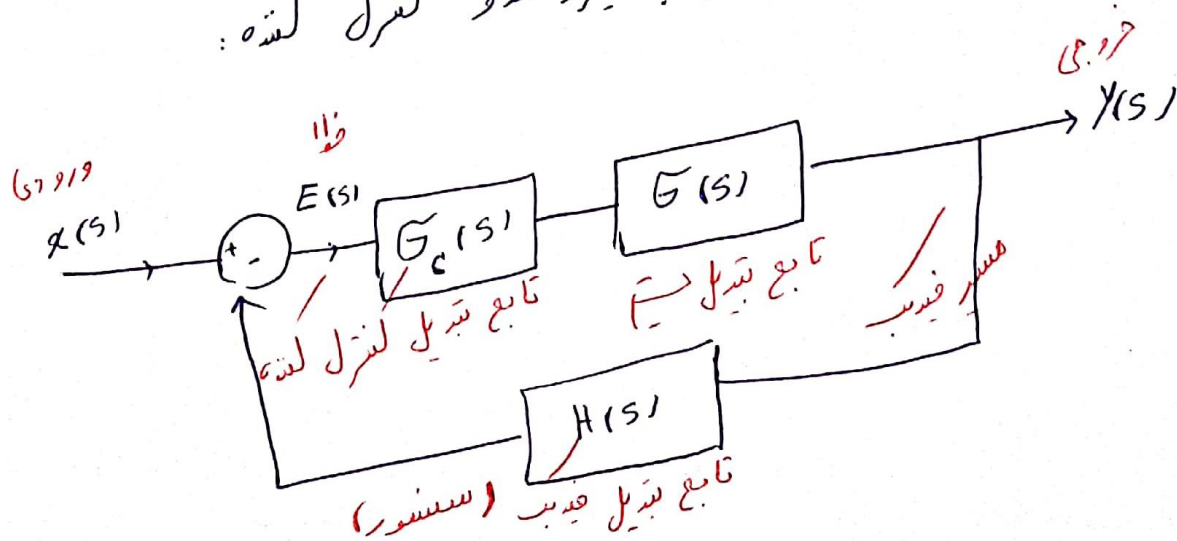


سیستم حلقه بسته با فیدبک واحد ✓



سیگنال خطا =  $E(s) = x(s) - y(s)$

سیستم حلقه بسته با فیدبک غیر واحد ✓

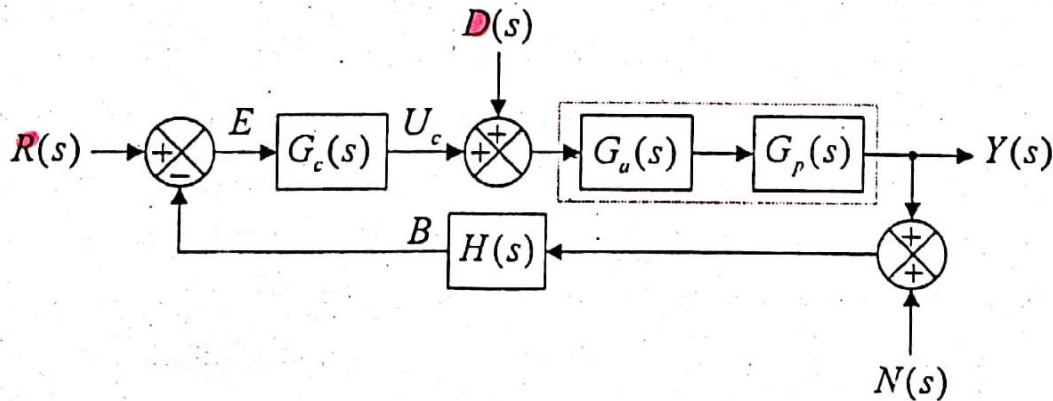


$E(s) = x(s) - H(s)y(s)$



## بلوک دیاگرام کامل یک سیستم کنترلی:

در حالت کلی بلوک دیاگرام یک سیستم کنترل حلقه بسته را به صورت زیر می توان در نظر گرفت:



که در آن داریم:

$R(s)$ : سیگنال مرجع (ورودی فرمان)

$D(s)$ : ورودی اغتشاش

$N(s)$ : نویز

$Y(s)$ : سیگنال خروجی

$E$ : سیگنال خطا

$U_c$ : سیگنال کنترلی

$G_c(s)$ : تابع تبدیل کنترل کننده

$G_a(s)$ : تابع تبدیل عملگر

$G_p(s)$ : تابع تبدیل دستگاه (سیستم)

$H(s)$ : تابع تبدیل فیلتر

در این سیستم، خروجی  $(y(t))$  از طریق یک حسگر مناسب مورد اندازه گیری (مشاهده) قرار می گیرد. با توجه به اینکه امکان آمیخته شدن خروجی حسگر با نویز  $(n(t))$  وجود دارد لذا به منظور حذف اثر نویز و استخراج سیگنال پس خور مناسب به منظور کنترل حلقه بسته، از فیلتر  $(H(s))$  استفاده شده است. خروجی این فیلتر  $(b)$  با سیگنال مرجع (فرمان) ورودی  $(r(t))$  مقایسه شده و سیگنال خطا  $(e(t))$  تولید می شود. سیگنال خطا توسط کنترل کننده مورد پردازش قرار گرفته و سیگنال فرمان کنترلی مناسب  $(u_c(t))$  به منظور بهبود عملکرد سیستم (کاهش هرچه سریعتر سیگنال خطا) صادر می گردد. وظیفه انجام این سیگنال فرمان کنترلی بر عهده عملگر  $(G_a(s))$  می باشد. البته ممکن است سیگنال فرمان کنترلی قبل از اعمال به عملگر تحت تأثیر اغتشاش  $(d(t))$  قرار گیرد. در چنین صورتی باید کنترل کننده چنان طراحی شده باشد که حتی المقدور با اثرات اغتشاش مقابله کند. پس از انجام سیگنال فرمان کنترلی توسط عملگر، ورودی مناسب برای دستگاه، به منظور بهبود عملکرد سیستم تولید می شود که منجر به کاهش خطا خواهد گردید.

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

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

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

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

**نویز:** عامل مزاحمی که ناخواسته وارد سیستم شده و خروجی را تحت تأثیر قرار می دهد.

**سنسور:** عامل یا وسیله ای در سیستم های کنترلی حلقه بسته که عمل نمونه گیری از سیگنال خروجی جهت ایجاد فیدبک را انجام می دهد.

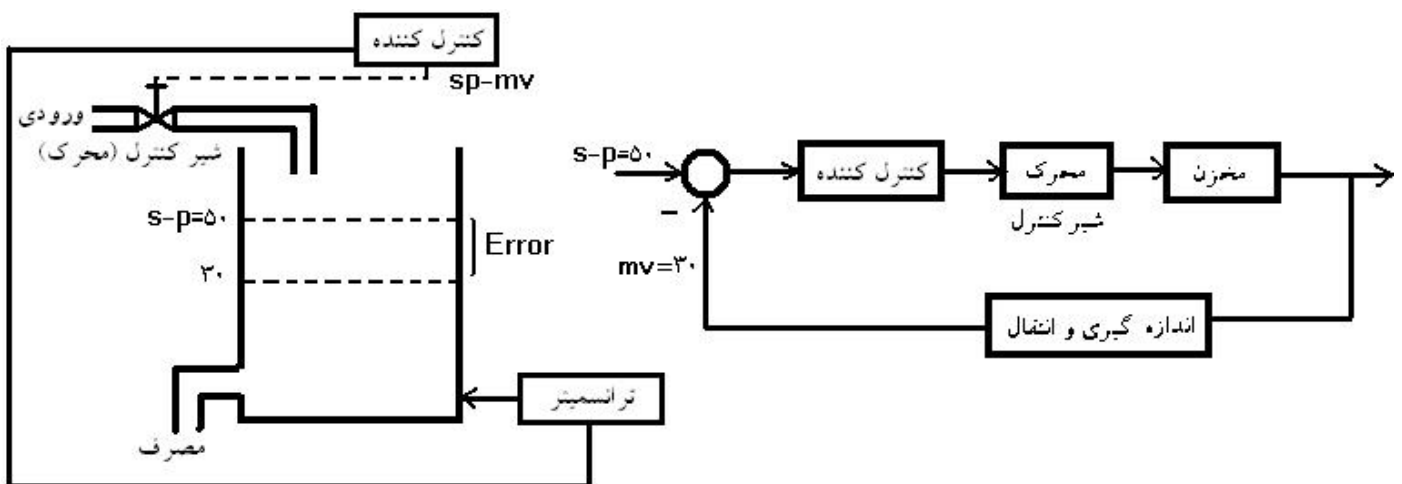
**خطا:** اختلاف سیگنال ورودی یا مرجع (خروجی مطلوب) و خروجی اندازه گیری شده توسط مسیر فیدبک

**تابع تبدیل سیستم:** مدل ریاضی توصیف کننده رفتار سیستم در حوزه ی لاپلاس (فصل دوم).

**کنترل کننده:** وظیفه ی آن رساندن سیگنال خروجی به خروجی مطلوب است به نحوی که پاسخ سریع، پایدار و مقاوم باشد.

**تابع تبدیل کنترل کننده:** مدل ریاضی توصیف کننده رفتار کنترل کننده در حوزه ی لاپلاس.

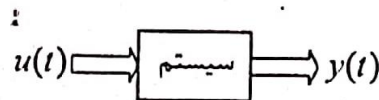
**مثال: کنترل سطح مایع یک مخزن**



در این سیستم می خواهیم سطح آب در یک ارتفاع معین ثابت بماند، یعنی می خواهیم سطح آب در یک حد مطلوب که به آن set point گوئیم پایدار شود. این مخزن شروع به پر شدن می کند، هر ارتفاع این مخزن در هر لحظه به عنوان خروجی این سیستم می باشد که این خروجی در هر زمان توسط وسیله اندازه گیری سطح اندازه گیری شده و در قسمت دستگاه کنترل کننده با مقدار مورد نظر مقایسه می شود، که اختلاف مورد نظر به عنوان سیگنال خطا به شیر کنترل فرستاده می شود. مطابق آن و متناسب با اختلاف، شیر آب ورودی باز و بسته می شود. این عمل تا زمانی که خروجی به مقدار مطلوب مورد نظر نرسیده ادامه می یابد. وقتی اختلاف صفر شود سطح همواره ثابت خواهد ماند. لازم به ذکر است این سطح با تغییرات مصرف (خروجی) و ورودی آن تغییر می کند، که در این صورت مجدداً بایستی عمل کنترل صورت گیرد.

# فصل دوم

مدلسازی ریاضی سیستمهای دینامیکی:



در یک دسته بندی، سیستمها به دو نوع دینامیکی و استاتیکی تقسیم می شوند: سیستمهای دینامیکی سیستمهایی هستند که رفتار آنها با استفاده از معادلات دیفرانسیل بیان می شود. به عبارت دیگر، سیستمهای دینامیکی شامل عناصر ذخیره ساز انرژی می باشند. در این سیستم ها برای تعیین خروجی، علاوه بر ورودی حتما باید حالت (شرایط اولیه) سیستم مشخص باشد. حداقل تعداد شرایط اولیه مورد نیاز برای این مهم مرتبه سیستم را تعیین می کند. زمان نقش تعیین کننده ای در شکل گیری پاسخ سیستمهای دینامیکی دارد به گونه ای که پاسخ چنین سیستمهایی دارای یک بخش گذرا می باشند. در سیستمهای استاتیکی بر خلاف سیستمهای دینامیکی خروجی به شرایط اولیه وابسته نیست.

هدف از مدلسازی ریاضی: بیان رفتار سیستم با توجه به مشخصه های اجزای تشکیل دهنده سیستم و براساس قوانین فیزیکی حاکم بر آن، در قالب معادلات ریاضی می باشد. با استفاده از مدل ریاضی سیستم، می توان به تحلیل رفتار سیستم در برابر ورودیهای مختلف و به ازای شرایط اولیه متنوع پرداخت. همچنین امروزه با استفاده از امکانات کامپیوتری و بر مبنای روشهای محاسبات عددی، شبیه سازی سیستمها بر اساس مدل ریاضی آنها امکانپذیر شده است.

به عنوان مثال اکثریت قریب به اتفاق روشهایی که در درس مدارهای الکتریکی آموخته می شود برای آن است که بتوان بر اساس دو قانون ولتاژ و جریان کیرشهف و مشخصه های انواع عناصر تشکیل دهنده مدارهای الکتریکی، از مدلهای مداری مربوط به سیستمهای الکتریکی فشرده به مدلهای ریاضی آنها دست یافت. همچنان است که در درسهای پیشرفته تر رشته مهندسی برق، تلاش اصلی در راستای ارائه مدلهای مداری برای سیستمهای الکتریکی نظیر انواع ماشینهای الکتریکی، عناصر نیمه هادی و تقویت کننده های الکترونیکی، مدارات دیجیتال و ... می باشد.

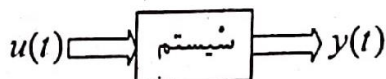
قطعاً هر چقدر مدل یک سیستم ساده تر باشد فهم آن ساده تر خواهد بود در حالی که افزایش دقت یک سیستم، منجر به پیچیده تر شدن آن شده و به همان نسبت فهم آن دشوارتر خواهد شد. البته ارائه مدل دقیقتر از یک سیستم، در گرو شناخت کاملتر آن سیستم و داشتن اطلاعات علمی و فنی جامعتری از آن سیستم است. از طرف دیگر بسیاری از فرضیاتی که در زمینه چشمپوشی از برخی خصوصیات که عملاً در مورد سیستمها وجود دارد (نظیر فشرده در نظر گرفتن مدارهای الکتریکی، ایده آل در نظر گرفتن عناصر مدارهای الکتریکی، چشمپوشی از اشباع در مغناطیس شوندهای هسته ترانس و انواع ماشینهای الکتریکی، صلب در نظر گرفتن جرم در سیستمهای مکانیکی و ...) در راستای دستیابی به مدلهای ساده تر از آنهاست. معمولاً در عمل بسته به نوع کاربرد، ترجیح داده می شود به جای مدلهای دقیقتر از مدلهای با دقت کافی استفاده شود.



روش‌های مدل‌سازی زیادی از جمله مدل‌سازی بر اساس معادلات دیفرانسیل، مدل‌سازی بر استفاده از پاسخ پله و پاسخ ضربه، مدل‌سازی بر اساس تابع تبدیل، مدل‌سازی بر اساس نمودار جعبه ای **block diagram**، مدل‌سازی بر اساس تابع تبدیل، وجود دارد.

در این درس روش سوم و چهارم یعنی مدل‌سازی بر اساس تابع تبدیل و مدل‌سازی بر اساس نمودار جعبه ای **block diagram** و نحوه‌ی تبدیل آنها به هم بررسی می‌شود.

### ۳. مدل‌سازی بر اساس تابع تبدیل (Transfer Function):



بنا به تعریف تابع تبدیل یک سیستم (خطی تغییرناپذیر با زمان) عبارتست از:

تبدیل لاپلاس پاسخ حالت صفر = تابع تبدیل  
تبدیل لاپلاس ورودی

$$G(s) = \frac{L\{y(t)\}}{L\{u(t)\}} = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

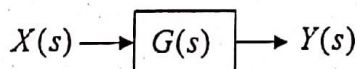
#### ویژگیهای تابع تبدیل:

۱. تابع تبدیل یک سیستم؛ یک مدل ریاضی از سیستم و یک بیان ریاضی از ساختار سیستم است.
۲. از روی تابع تبدیل نمی‌توان به ساختار سیستم پی برد.
۳. تابع تبدیل بیانگر ساختار سیستم است و مقادیر پارامترهای داخل سیستم، تعبیر کننده ضرایب تابع تبدیل خواهد بود.
۴. با استفاده از مشاهدات تجربی سیستم می‌توان تابع تبدیل سیستم را شناسایی کرد.
۵. تابع تبدیل سیستم، مستقل از اندازه و فاز ورودی و خروجی سیستم است.

### ۴. مدل‌سازی با استفاده نمودار جعبه ای (Block Diagram):

یکی از روشهای مفید برای نمایش مدلی مفصل و با جزئیات بیشتر از بخشهای داخلی یک سیستم، استفاده از بلوک دیاگرام است. همچنین به منظور نمایش اجزاء مختلف یک سیستم کنترلی که هر کدام عهده دار وظیفه خاصی در سیستم کنترلی می‌باشند می‌توان از بلوک دیاگرام استفاده کرد. به منظور مدل‌سازی یک سیستم با استفاده از نمودار جعبه ای، لازم است در ابتدا با اجزاء بلوک دیاگرام آشنا شد:

#### ۱. بلوک:

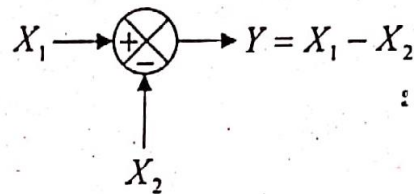


$$Y(s) = X(s) \times G(s)$$

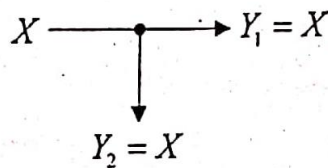
$$Y(s) = G(s)X(s) \Leftrightarrow y(t) = g(t) * x(t)$$

$$g(t) = L^{-1}\{G(s)\}$$

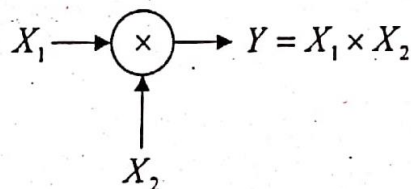
۲. نقطه جمع:



۳. نقطه انشعاب:



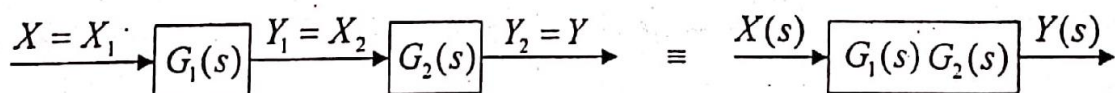
۴. نقطه ضرب:



توجه: نقطه ضرب در نمایش بلوک دیاگرامی سیستمهای غیر خطی کاربرد دارد.

جبر بلوک دیاگرامها (قواعد حاکم بر ساده سازی بلوک دیاگرامها):

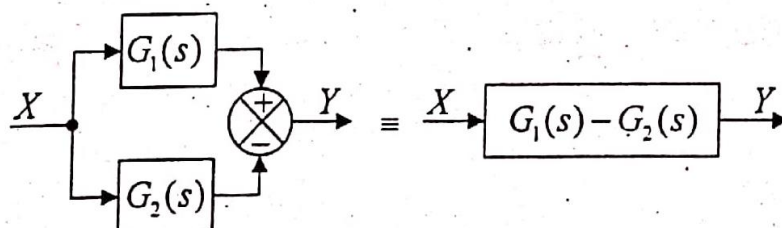
۱. بلوکهای سری:



$$Y_1 = G_1 X_1$$

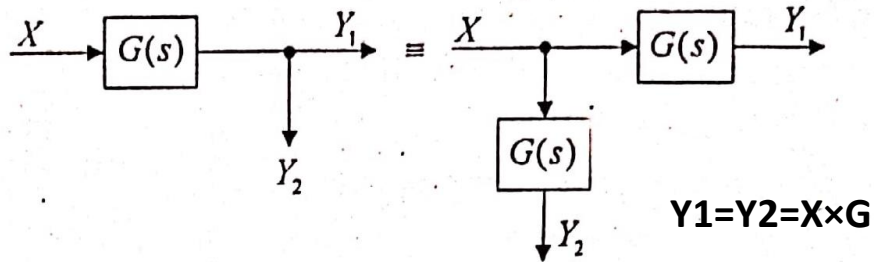
$$Y = Y_2 = G_2 X_2 = G_2 (G_1 X_1) = (G_2 G_1) X_1 = (G_2 G_1) X$$

۲. بلوکهای موازی:

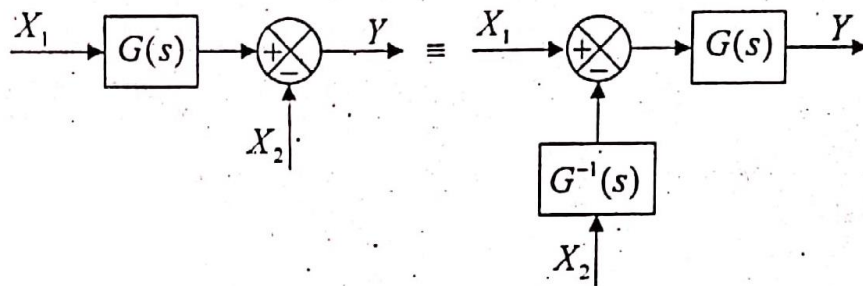




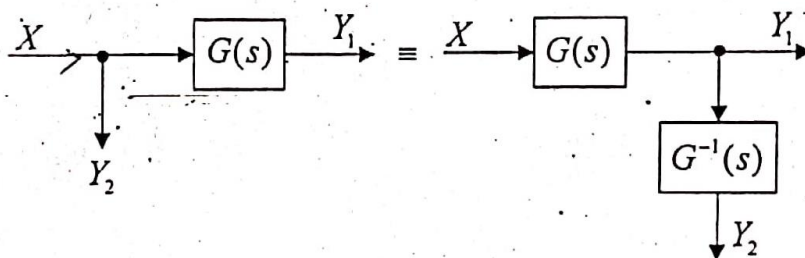
۳. انتقال بلوک از چپ به راست نقطه انشعاب (در جهت سیگنال):



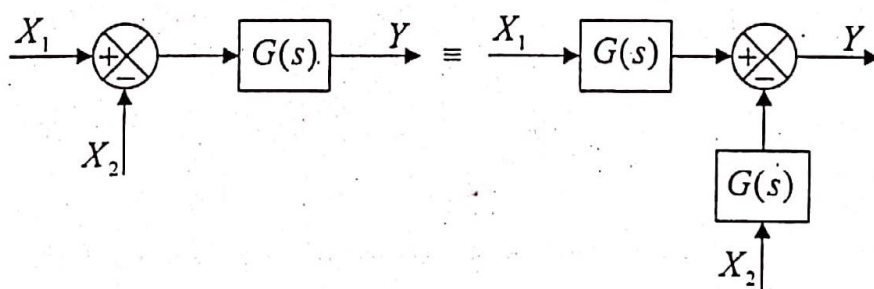
۴. انتقال بلوک از چپ به راست نقطه جمع (در جهت سیگنال):



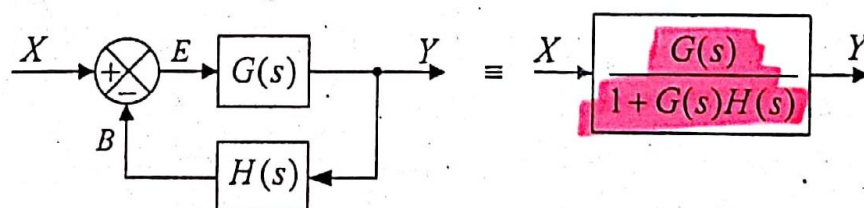
۵. انتقال بلوک از راست به چپ نقطه انشعاب (خلاف جهت سیگنال):



۶. انتقال بلوک از راست به چپ نقطه جمع (خلاف جهت سیگنال):



۷. فیدبک:



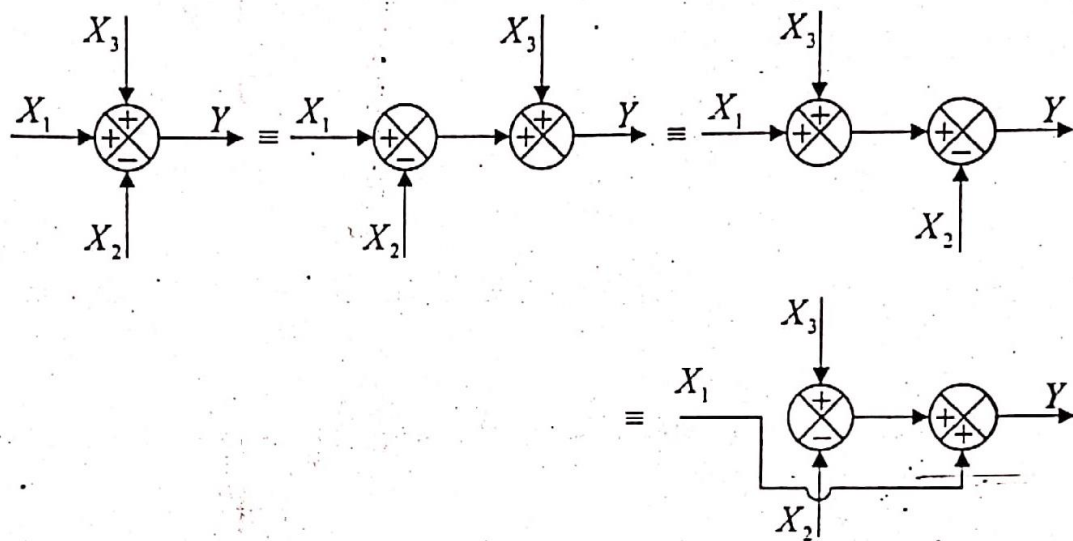
$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\text{مسیر اصلی}}{1 - \text{مسیر فیدبک} * \text{مسیر اصلی}}$$

برای اثبات هم ارزی فوق به صورت زیر می توان عمل کرد:

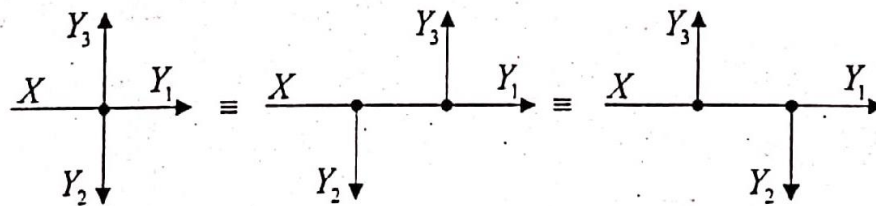
$$\begin{cases} Y = G.E \\ E = X - B \Rightarrow Y = G.(X - B) \Rightarrow Y = G(X - HY) \Rightarrow (1 + GH)Y = G \\ B = HY \end{cases}$$

$$\Rightarrow Y = \frac{G}{1 + GH}$$

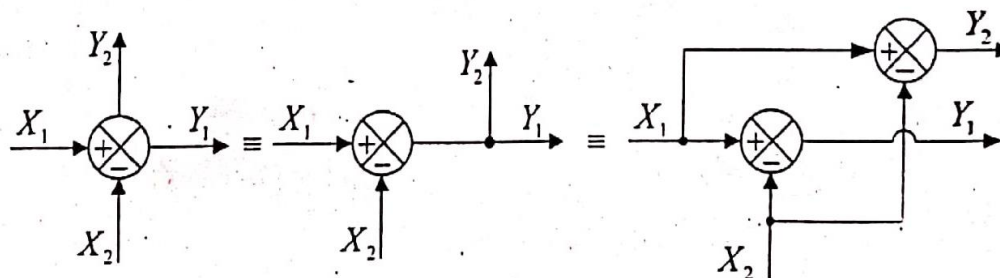
۸. نقطه جمع با بیش از دو ورودی و نقاط جمع سری:



۹. نقطه انشعاب با بیش از دو انشعاب و نقاط انشعاب سری



۱۰. نقطه جمع و انشعاب ترکیبی و عبور نقطه انشعاب از نقطه جمع از راست به چپ



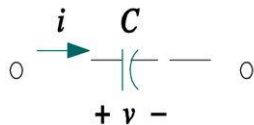
## فرایندها و بدست آوردن تابع تبدیل آنها در حوزه لاپلاس

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

یادآوری روابط در سیستم‌های الکتریکی:

### روابط خازن

■  $I$  جریان و  $v$  ولتاژ خازن می باشند:



$$i = C \left( \frac{dv}{dt} \right)$$

نکته: ولتاژ خازن بطور ناگهانی تغییر نمی‌کند.

$$v(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\xi) d\xi + v(t_0)$$

$$w(t) = \frac{1}{2} C v(t)^2$$

مدارهای الکتریکی

### سلف (القاکر)

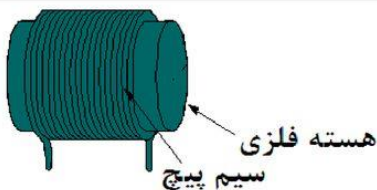
■ واحد اندازه گیری آن هانری (H) میباشد.

■ روابط آن بصورت زیر

میباشد که  $L$  القانایی،  $w$

انرژی،  $i$  جریان و  $v$  ولتاژ سلف میباشد.

■ نکته: جریان سلف تغییر ناگهانی ندارد.



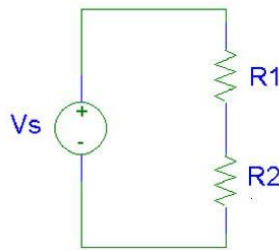
$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$i = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v(\xi) d\xi + i(t_0)$$

$$w(t) = \frac{1}{2} L i(t)^2$$

مدارهای الکتریکی

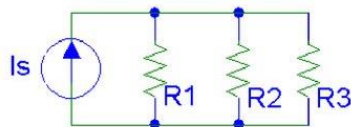
## مدار تقسیم کننده ولتاژ



$$V_i = \frac{R_i}{\sum_j R_j} V_s$$

- مدار تقسیم کننده ولتاژ از ترکیب یک منبع ولتاژ و مقاومت‌های سری تشکیل شده است.
- برای بدست آوردن رابطه روبرو، ابتدا جریان مدار محاسبه و سپس ولتاژ هر یک از مقاومتها بدست می آید.

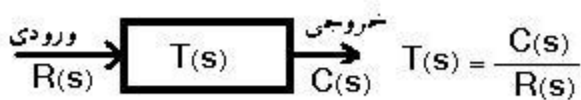
## مدار تقسیم کننده جریان



$$I_i = \frac{G_i}{\sum_j G_j} I_s$$

- مدار تقسیم کننده جریان از ترکیب یک منبع جریان و مقاومت‌های موازی تشکیل شده است.
- برای بدست آوردن رابطه روبرو، ابتدا ولتاژ مدار محاسبه و سپس جریان هر یک از مقاومتها بدست می آید.
- منظور از  $G_i$  هدایت الکتریکی مقاومت  $i$ ام و برابر با  $1/R_i$  میباشد.

یادآوری روابط در حوزه لاپلاس:



| عناصر | لمپدانس        | ادمیتانس       |
|-------|----------------|----------------|
| R     | R              | $\frac{1}{R}$  |
| C     | $\frac{1}{Cs}$ | Cs             |
| L     | Ls             | $\frac{1}{Ls}$ |

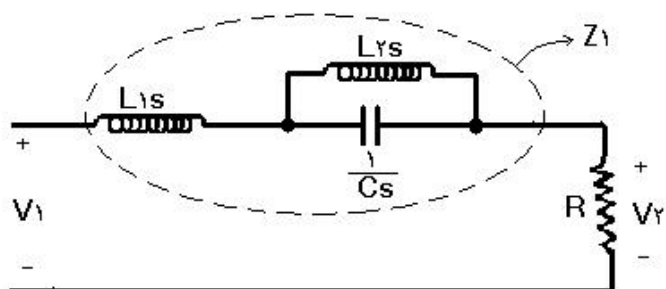
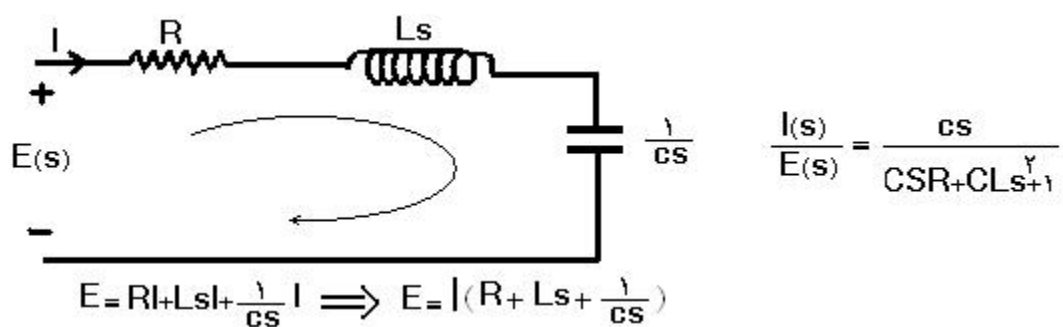
تبدیل لاپلاس مشتق اول  $\frac{dv}{dt} \longleftrightarrow Sv(s)$

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

تبدیل لاپلاس انتگرال  $\int V(t) dt \longleftrightarrow \frac{dV(s)}{ds}$

مثال از فرایندهای الکتریکی:

تابع تبدیل مدارهای زیر را بدست آورید.



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

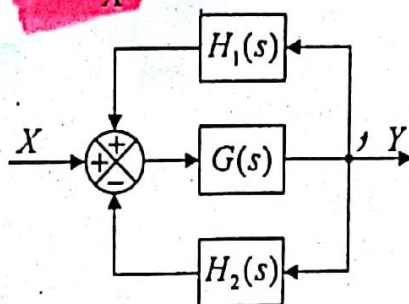
$$\leftarrow \text{تقسیم ولتاژ} \quad V_2 = \frac{R}{Z_1 + R} \cdot V_1$$

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

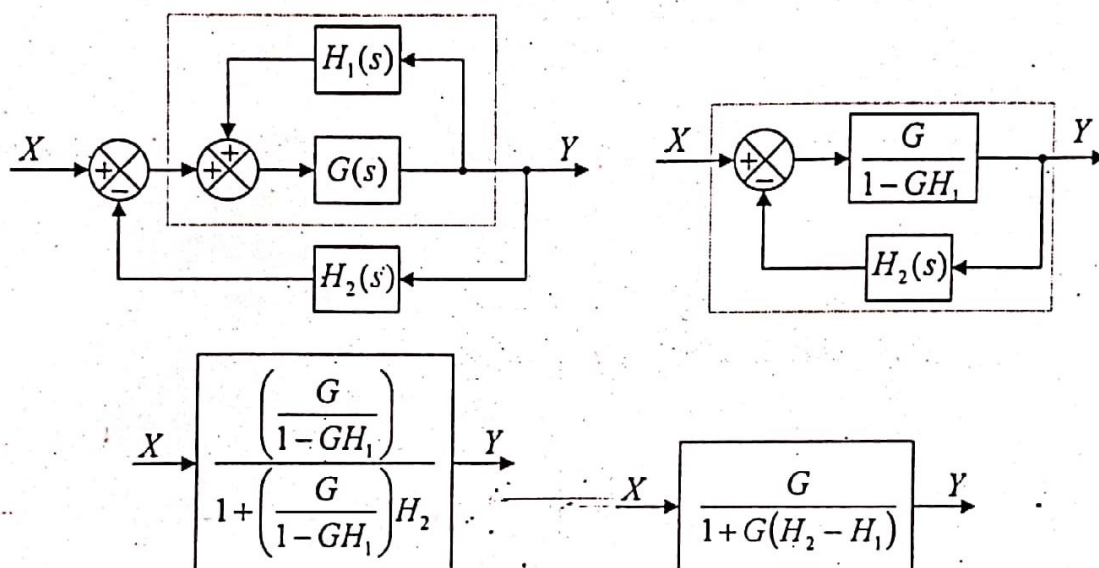


مثال از ساده سازی بلوک دیاگرام و استخراج تابع تبدیل:

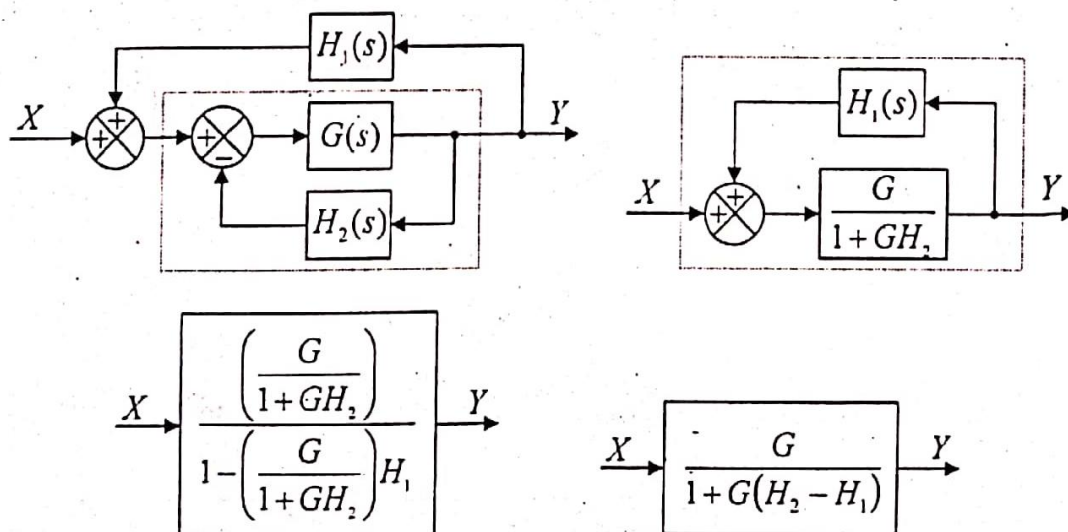
مثال: با ساده سازی بلوک دیاگرام شکل زیر تابع تبدیل کل  $G_T = \frac{Y}{X}$  را به دست آورید:

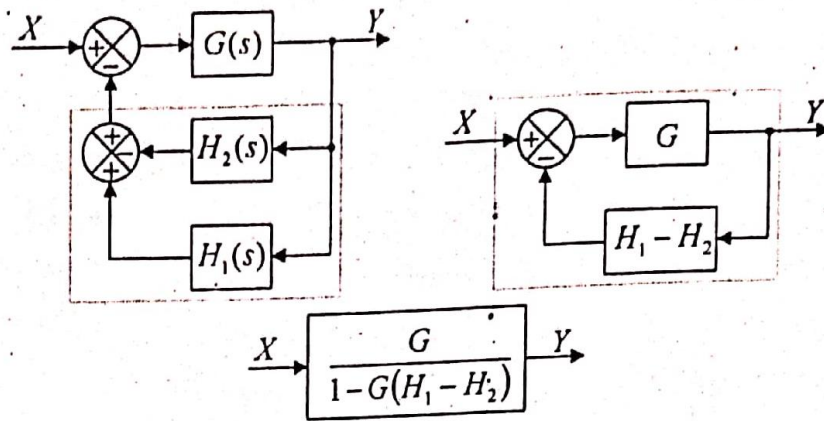


راه حل اول:

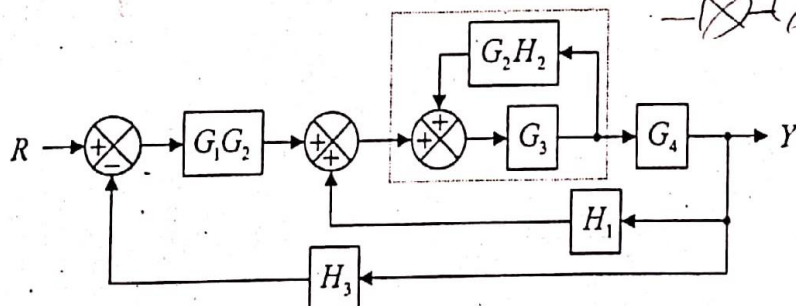
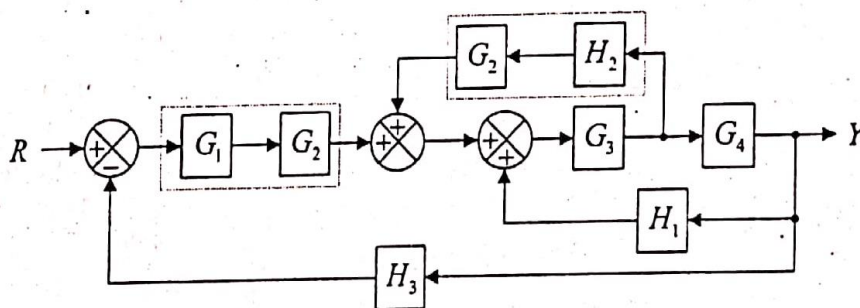
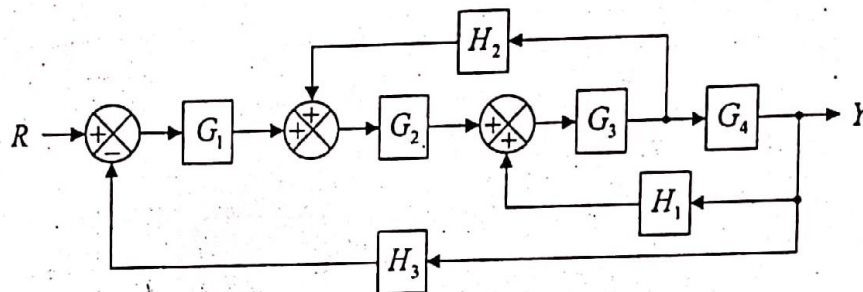


راه حل دوم:

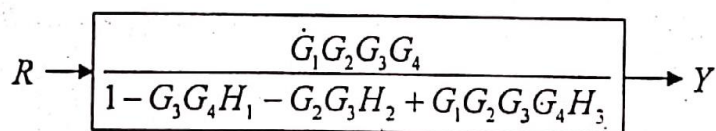
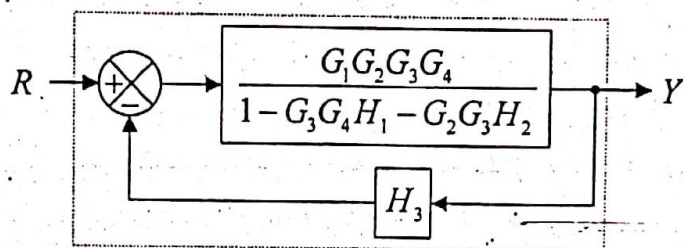
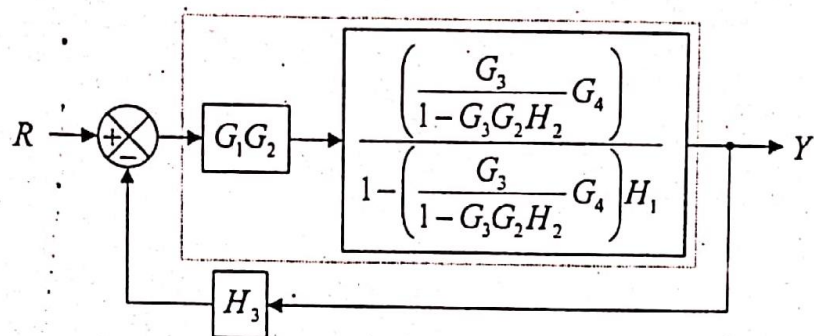
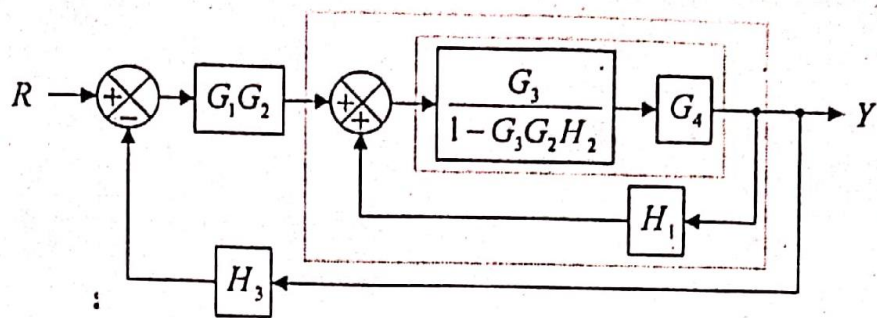




مثال: با ساده سازی بلوک دیاگرام شکل زیر تابع تبدیل کل  $G_T = \frac{Y}{R}$  را به دست آورید:



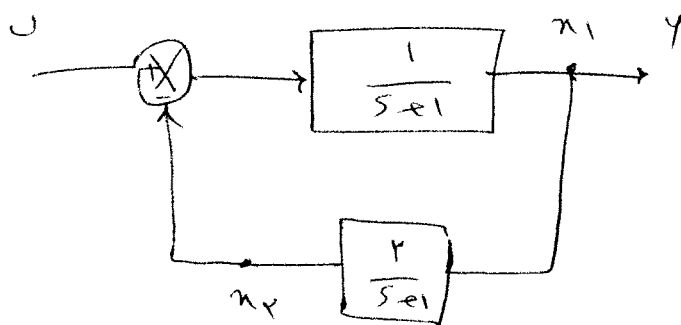
باید جای  $\otimes$  و  $\oplus$  را عوض کرد



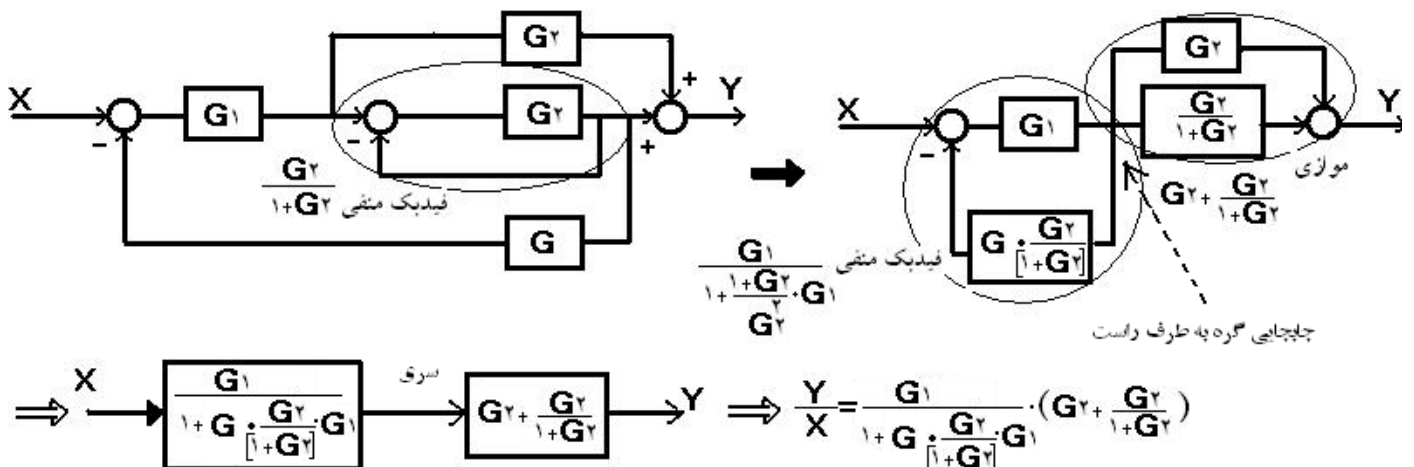
مثال: بلوک دیاگرام برای تابع تبدیل زیر رسم کنید:

$$G(s) = \frac{s+1}{s^2+2s+2} = \frac{s+1}{(s+1)^2+1} = \frac{1}{1+2\left(\frac{1}{s+1}\right)^2}$$

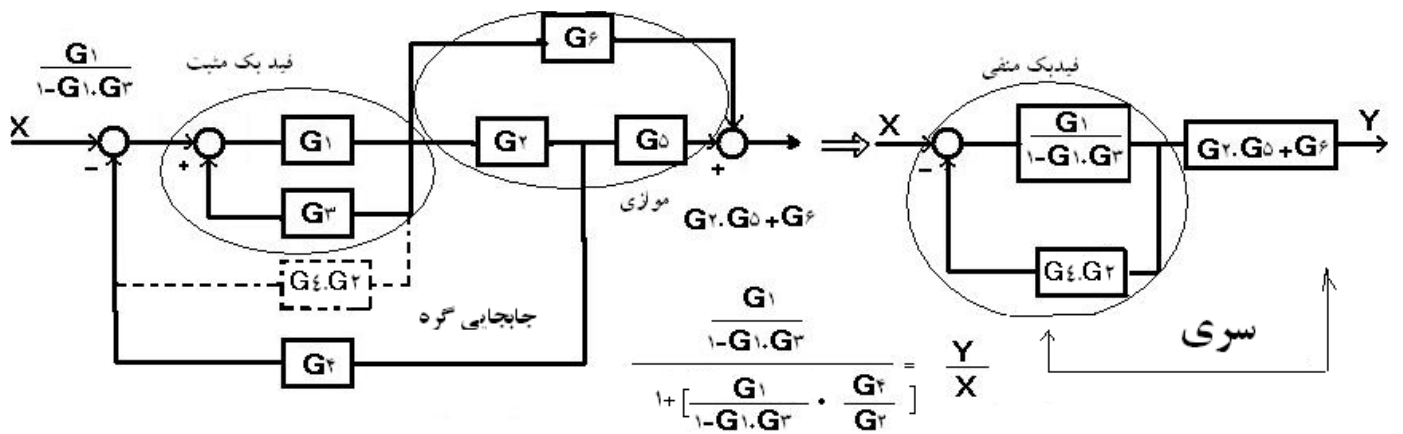
$$\frac{G}{1+GH} \rightarrow G = \frac{1}{s+1} \quad H = \frac{2}{s+1}$$



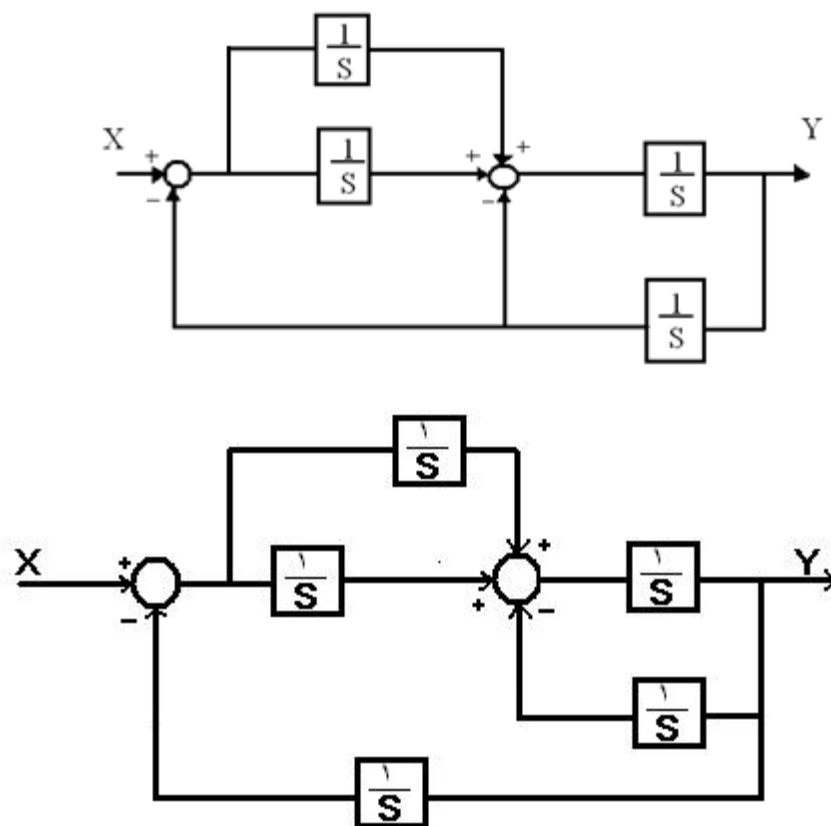
مثال: نمودار جعبه ای زیر را ساده کرده و نسبت  $y/x$  را بیابید.



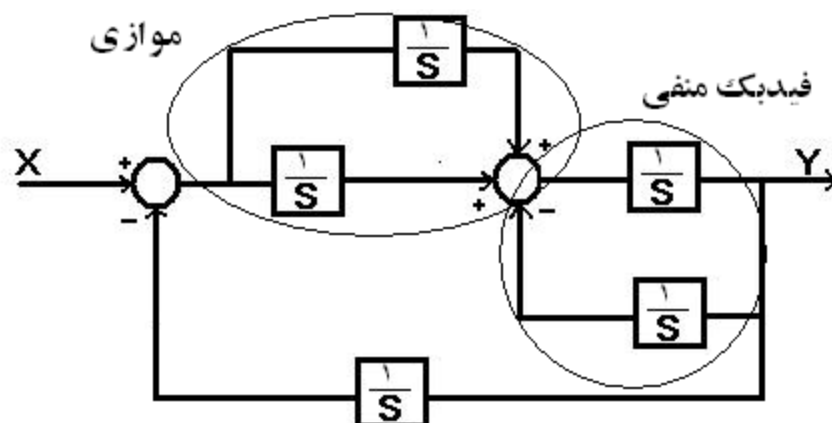
مثال: نمودار جعبه ای زیر را ساده کرده و نسبت  $y/x$  را بیابید.



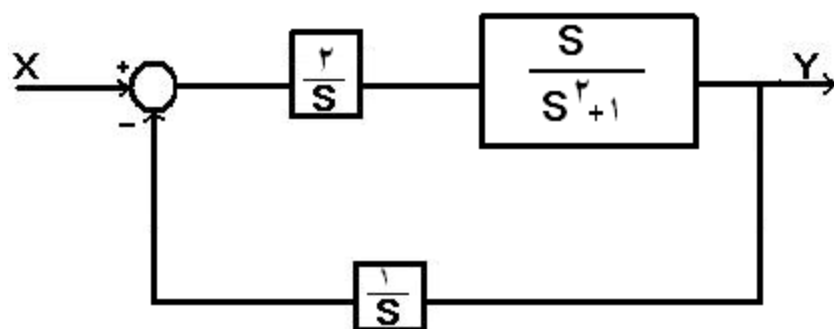
مثال: نمودار جعبه ای زیر را ساده کرده و نسبت  $y/x$  را بیابید.



با استفاده از قاعده فیدبک و موازی بودن:

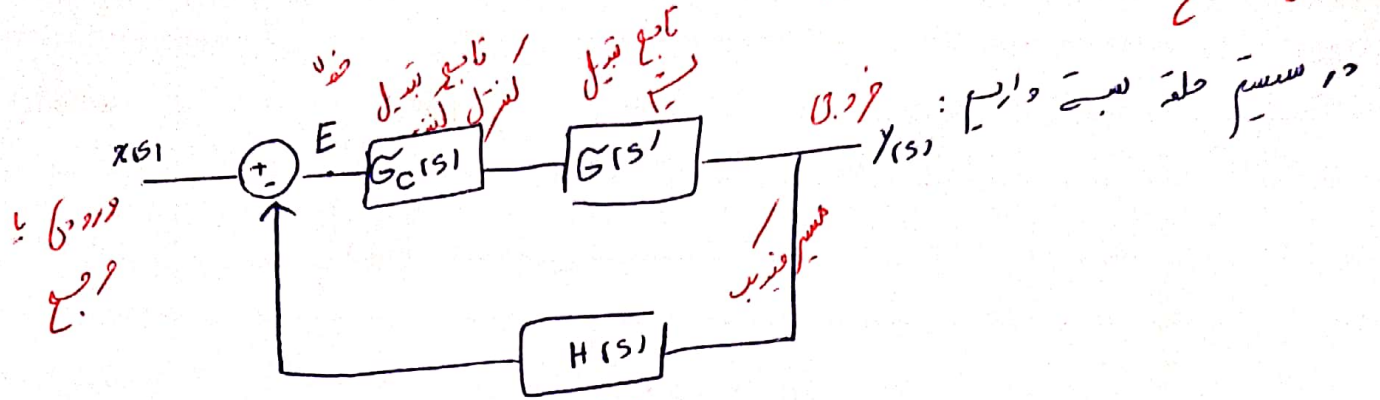






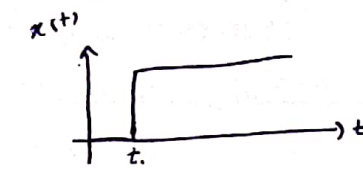
$$\frac{Y}{X} = \frac{2s}{s^3 + s + 2}$$

# تحلیل با سنج زمانی سیستم‌های مادی

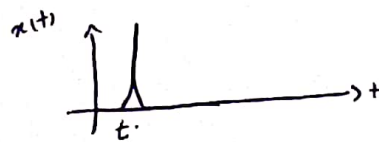


خروجی‌های استاندارد نوع پله، ضرب، سیب یا سینوسی باشد:

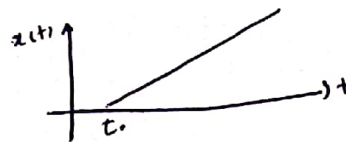
اعمال ورودی در لحظه  $t_0$



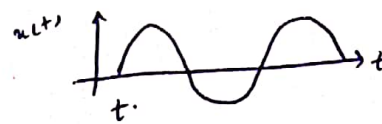
پله یا step



ضربه یا impulse

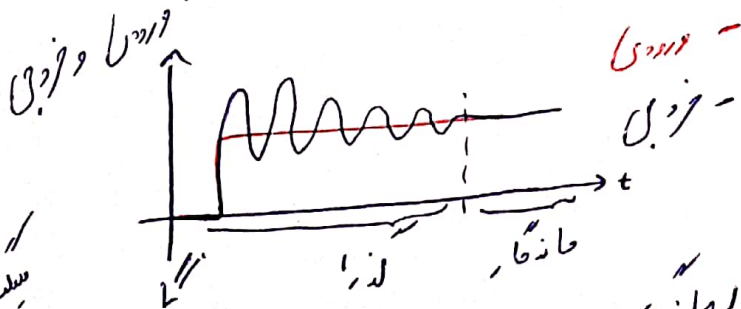


سیب یا ramp



سینوسی یا sinusoid

معالیبت آن است که خروجی برابر ورودی را سیگنال "خطا" برابر ضرب باشد.



\* سیستم اگر عملکرد معالبت داشته باشد نهایتاً بعد از چند ثانیه

کاهشی و گذرا، به حالت پایدار (مانند مارا)

رسیده و سبب ورودی می شود.

$$E(s) = -Y(s)H(s) + X(s)$$

$$\text{if } H(s) = 1 \quad E(s) = X(s) - Y(s)$$

حال ملاک عملکرد معالبت سیستم یا بدترای عملکرد کنترل گفته در بدست دادن خروجی معالبت چیست؟

- بدین مقدار سنجش معیار بررسی می شود.
- ۱- خواص ماندگار به مقدار ماندگار
  - ۲- زمان نشست
  - ۳- فراجهش به زمان سک
  - ۴- فرود جهش به زمان سک
  - ۵- نسبت میرایی یا زتا
  - ۶- مکان هندسی ریشه ها

میرایی: از بین رفتن نوسانات و ثابت شدن فرقی

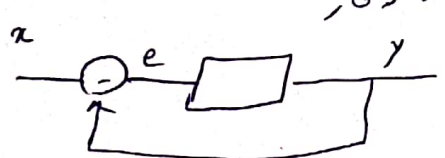
- ۱-۴ در حوزه زمان و ۵-۶ در حوزه فرکانس بررسی می شوند.
- ۱- خواص ماندگار به مشخصات ماندگار

$E_{ss}$  Steady state error

مقدار ماندگار،  $\gamma_{steady state}$ : آخرین مقدار فرقی در حوزه زمان پس از میرایی

$$\gamma_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} \gamma(t)$$

خواص ماندگار: خواص حاصل از اختلاف ورودی و خروجی در حالت ماندگار



$$e(t) = x(t) - y(t)$$

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = s \lim_{s \rightarrow 0} E(s) = s \lim_{s \rightarrow 0} (x(s) - y(s))$$

$t_s$  settling time

مدت زمانی که طول می کشد تا پاسخ سیستم وارد ناحیه معیار شده و دیگر از آن خارج نشود.

معیار  $\begin{cases} \pm 1.2 \rightarrow \pm 1.2 \gamma_{ss} \\ \pm 1.0 \rightarrow \pm 1.0 \gamma_{ss} \end{cases}$

- ۲- زمان نسبت به مشخصات گذرا

- ۳- فراجهش به مشخصات گذرا

بزرگترین پیکل مثبت نسبت به مقدار ماندگار، یعنی بیشترین مقدار پاسخ خزان از مقدار  $\gamma_{ss}$  دست می یابد.

$$O_s = \gamma(t_p) - \gamma_{ss} = \gamma_{max} - \gamma_{ss}$$

$t_p$ : زمان اوج Peak time: زمانی که طول می کشد تا پاسخ به بیشترین مقدار ممکن برسد.

- ۴- فرود جهش به مشخصات گذرا

Under shoot

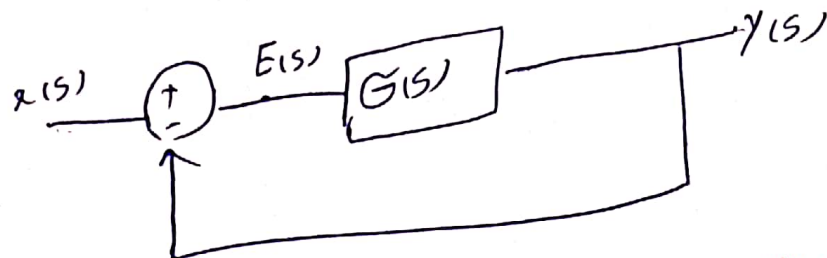
بزرگترین پیکل منفی نسبت به مقدار ماندگار، کمترین مقدار پاسخ نسبت به  $\gamma_{ss}$

$$U_s = \gamma_{min} - \gamma_{ss}$$

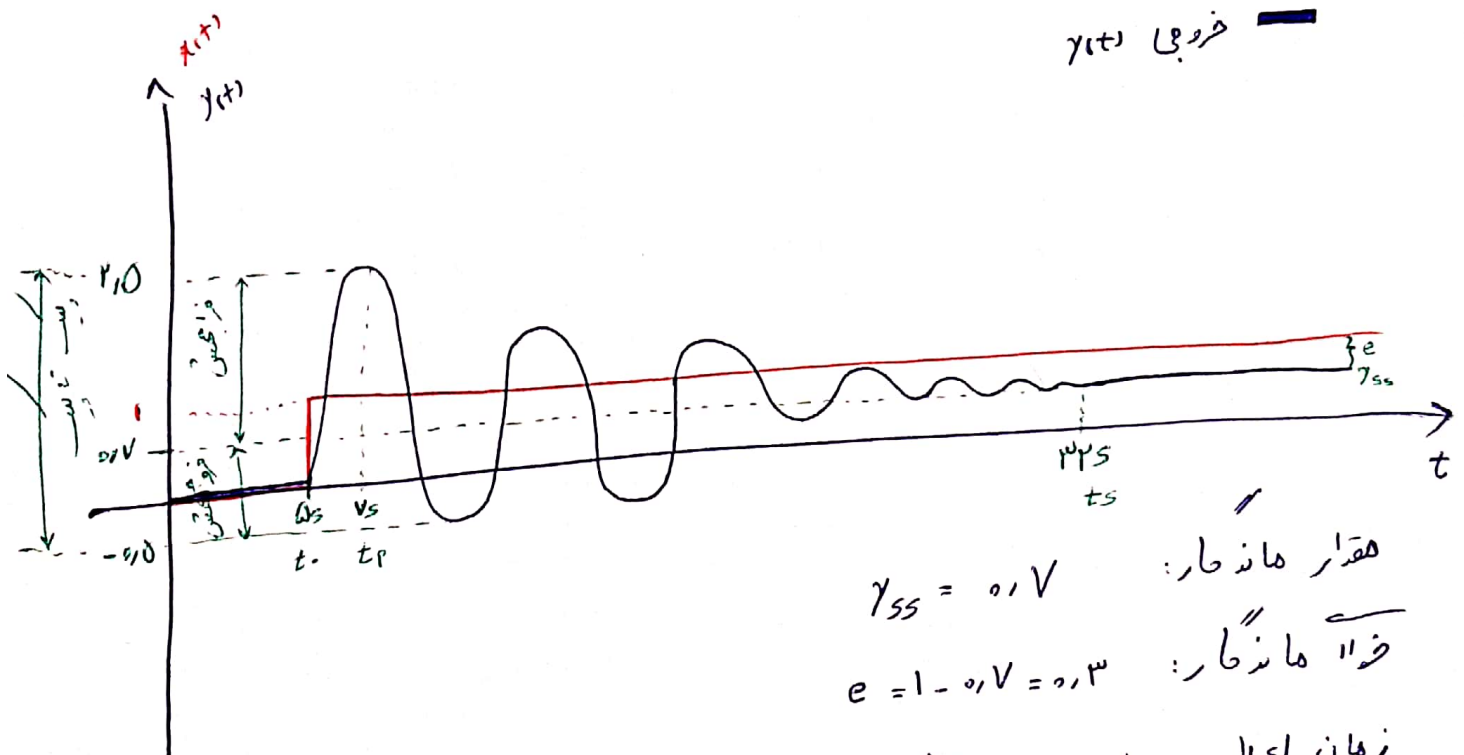
$$P.P.P = O_s - U_s$$

نسبت تأخیر: اختلاف فراجهش و فرود جهش

**مثال:** فرض کنید پاسخ سیستم حلقه بسته بدون کنترل کننده به ازای ورودی پله در لحظه  $t=0$  به صورت زیر است. مقدار نهایی، "فر" ماندگار، زمان نشست، زمان اوج، فراجهش، فرودجهش و پیک تاپ را بدون محاسبات بدست آورید.



ورودی  $x(t)$  ———  
خروجی  $y(t)$  ———



مقدار ماندگار:  $y_{ss} = 0.7$   
فرماندگار:  $e = 1 - 0.7 = 0.3$   
زمان اعمال ورودی:  $t_0 = 0.5s$   
فرمان اوج:  $t_p = 1s$   
زمان نشست:  $t_s = 3.2s$

فراجهش:  $OS = M_p = 1.8 - 0.7 = 1.1$

فرودجهش:  $VS = -0.5 - 0.7 = -1.2$

پیک تاپ:  $P2P = OS - VS = 1.1 - (-1.2) = 2.3$

مطلوب آن است که فرقی بقیه ورودی باشد. پس هر چه فرایه‌ی ما فرزد هجس  
زمان نشست و وقت مانده‌ها، کمتر؛ سده‌ی هجرت است.

در طرای کنترول کتده، کنترول کتده‌ای هجرت عمل کنده  $e_{ss}, t_s$   
 $0_s, V_s, P_2 P$  کنتری بدست بدهد.

الف - نسبت میرایی یا زتا

دamping ratio

تابع تبدیل  
نسبت مرتبه اول

$$G(s) = \frac{1}{Ts + 1}$$

تابع تبدیل  
مرتبه دوم

$$G(s) = \frac{a}{s^2 + bs + c}$$

$$\frac{\gamma}{n} = \frac{a}{s^2 + bs + c}$$

$$a = c \rightarrow G(s) = \frac{a}{s^2 + bs + a}$$

$$\Rightarrow G(s) = \frac{w_n^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2}$$

$$\zeta = \frac{\alpha}{w_n}$$

خرج تابع تبدیل سست یعنی  $\frac{\gamma(s)}{n(s)}$  معادله مستقری که باشد.  
در سست درجه ۲

$$s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2$$

$w_n$ : فرکانس طبیعی  
 $\zeta$ : نسبت میرایی  
 $\alpha = \zeta w_n$ : ضریب میرایی

رستیه‌ها معادله مستقر  $s$  ها، قطب‌ها یا معادله درجه ۲ هستند و تأثیر مهمی  
در پایداری سیستم دارند.



26/

$$s^2 + \gamma \omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

$$\Delta = \gamma^2 \omega_n^2 - 4 \omega_n^2 = 4 \omega_n^2 (\gamma^2 - 1)$$

$$\sqrt{\Delta} = 2 \omega_n \sqrt{\gamma^2 - 1}$$

$$s_{1,2} = \frac{-\gamma \omega_n \pm 2 \omega_n \sqrt{\gamma^2 - 1}}{2} = -\gamma \omega_n \pm \omega_n \sqrt{\gamma^2 - 1}$$

$$= -\alpha \pm \sqrt{\omega_n^2 \gamma^2 - \omega_n^2} = -\alpha \pm j \sqrt{\omega_n^2 - \alpha^2}$$

$$= -\alpha \pm j \omega_d$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_n^2 - \alpha^2}$$

فرکانس  
هیرایی

انواع حالات سیستم به لحاظ هیرایی :

۱- فوق هیرا یا هیرایی شدید

۲- زیر هیرا یا هیرایی ضعیف

۳- هیرایی بحرانی

۴- سینوسی نامیرا

۵- نا پایداری

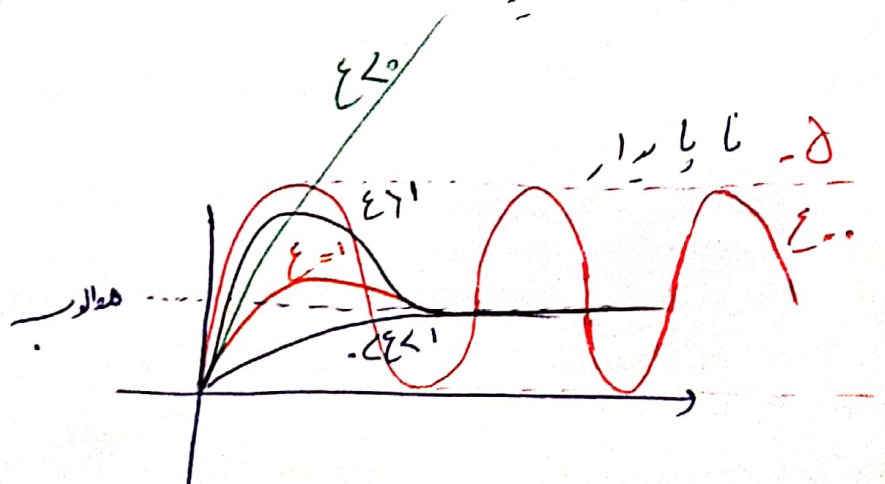
$$\Delta > 0 \rightarrow \gamma > 1$$

$$\Delta < 0 \rightarrow 0 < \gamma < 1$$

$$\Delta = 0 \rightarrow \gamma = 1$$

$$\gamma = 0$$

$$\gamma < 0$$



$$s_1, s_2 = -\alpha \pm j\omega_d$$

ہیے ما با یہ در سمت میں محور  $j\omega_d$  پر ہیں۔

یعنی با یہ :  $\alpha > 0$



$$\Rightarrow \zeta = \frac{\alpha}{\sqrt{\omega_d^2 + \alpha^2}} > 0$$

ناقصہ پایدار ہو گا۔

# 3

## فصل دوم:

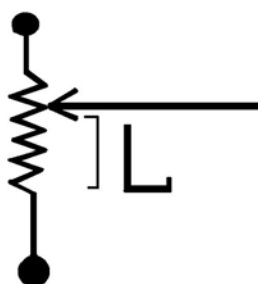
### اندازه گیری های وضعیت (جابجایی):

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

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

اگر  $A$  و  $\rho$  ثابت باشند مقاومت متناسب با طول خواهند بود و بنابر این از آن می توان بعنوان یک اصل فیزیکی برای ساخت

اندازه گیرهای وضعیت استفاده نمود. ساده ترین نوع اندازه گیرهای مقاومتی اندازه گیرهای پتانسیومتر می باشد.



شکل ۷: پتانسیومتر

از مزایای اندازه گیرهای مقاومتی میتوان به سادگی ارزانی و سهولت کاربرد اشاره کرد و از معایب آن نیز استهلاک مکانیکی

و محدود بودن رنج اندازه گیری و ایزولاسیون ضعیف ورودی، خروجی اشاره کرد.

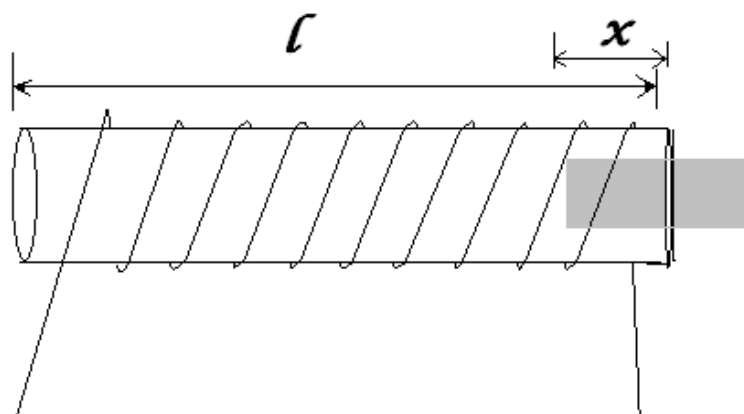
۲-اندازه گیرهای سلفی: مشکل اساسی اندازه گیرهای مقاومتی استهلاک آنهاست چرا که لغزش سر وسط پتانسیومتر بر

روی آن موجب استهلاک و سایش می شود. بعلاوه لختی سر وسط ایجاد نویز و اختلال در اندازه گیری می نماید. همچنین

گرد غبار و آلودگی هایی که در محیط های صنعتی وجود دارد نیز موجب کثیف شدن پتانسیومتر و انحراف مشخصات اولیه

آن می شود.

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

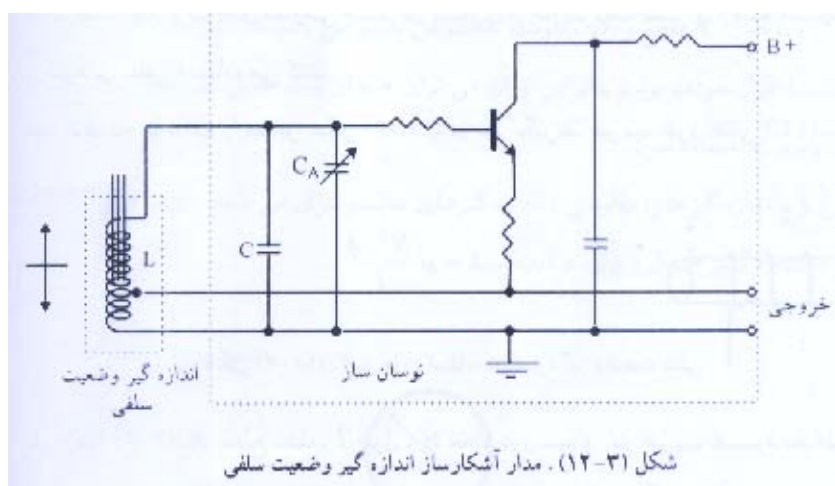


شکل ۸: اندازه گیر سلفی

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

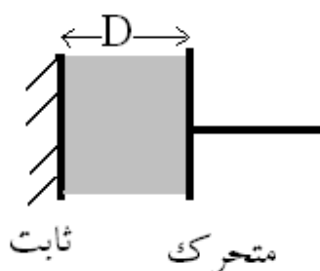
$$L = \frac{\mu 4N^2}{l}$$

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



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

### ۳-اندازه گیر خازنی:



شکل ۱۰: اندازه گیر خازنی

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

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

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

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

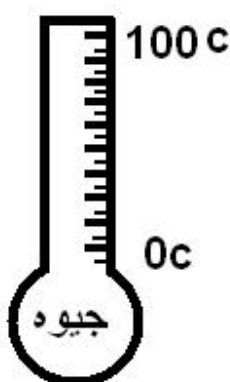
## اندازه گیری دما :

### ۱-اندازه گیری درجه حرارت به روش غیر الکتریکی:

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

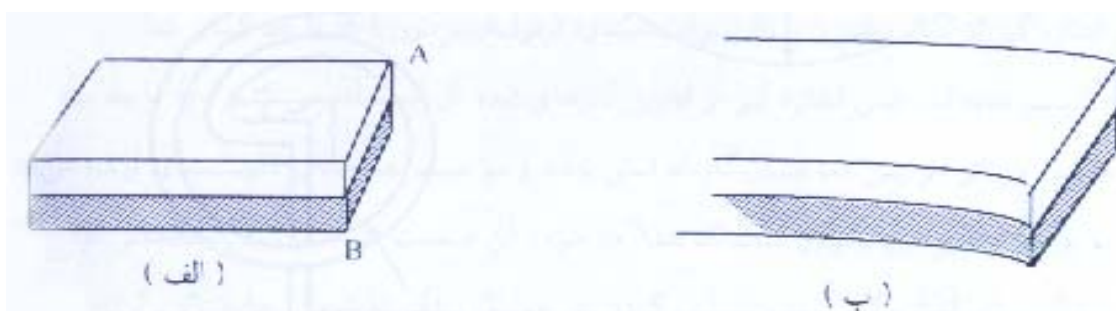
#### ۱-۱ انبساط مایعات و گازها:

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



شکل ۱۱: ترمومتر

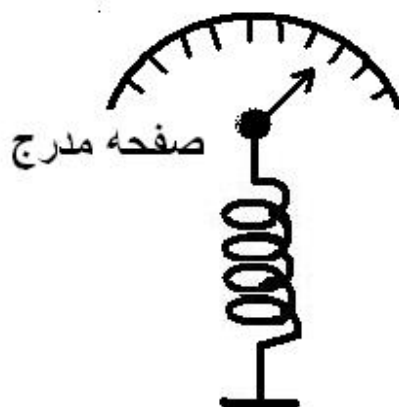
#### ۲- ۱ انبساط فلزات بر اثر درجه حرارت:



اصل مورد استفاده در اندازه گیر دمای دوفلزی



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



شکل ۱۲: بی متال از نوع مارپیچ

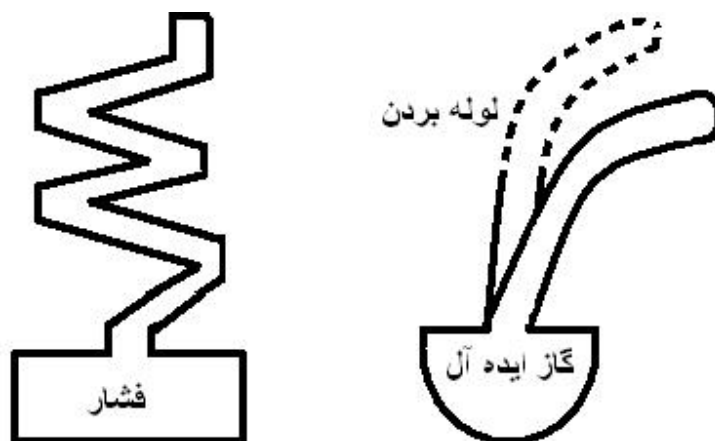
در عمل برای افزایش تغییر طول در اثر تغییرات دما بی متال را به صورت حلزونی یا مارپیچ می سازند. فلز های مورد استفاده معمولاً از آلیاژ های آهن، نیکل می باشند. یک آلیاژ نیکل به نام invar دارای ضریب انبساط کوچکی است که معمولاً به عنوان فلز با ضریب انبساط کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

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

### ۳-۱ اندازه گیری دما از طریق فشار گاز:

این اندازه گیر از یک مخزن و یک لوله مسدود (لوله بردن) که با یک گاز کامل (نیتروژن) پر شده، تشکیل یافته است. این اندازه گیری از قانون گاز های ایده آل استفاده می کند، با توجه به ثابت بودن حجم در اثر افزایش دما، فشار گاز افزایش یافته و موجب جابجایی انتهای لوله می گردد. (این اثر به پدیده لوله بردن مشهور است)

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



شکل ۱۳: لوله بردن

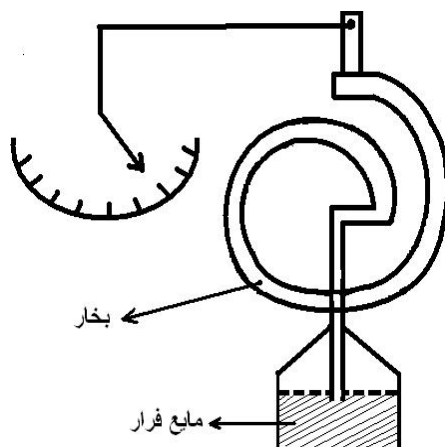
#### ۴-۱ اندازه گیری دما از طریق فشار بخار:

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

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

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

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

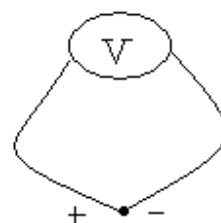


شکل ۱۴: اندازه گیری دما از طریق فشار بخار

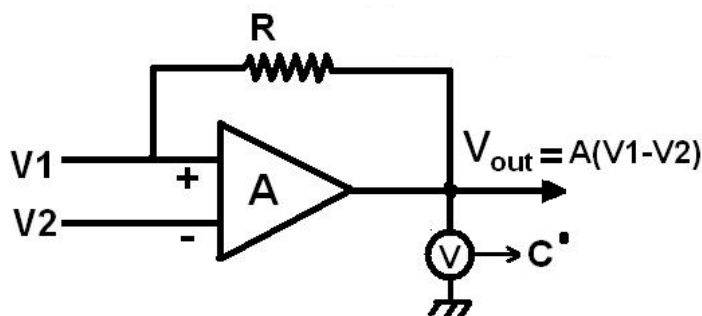
**اندازه گیری الکتریکی دما :**

**الف- استفاده از ترموکوپل :**

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



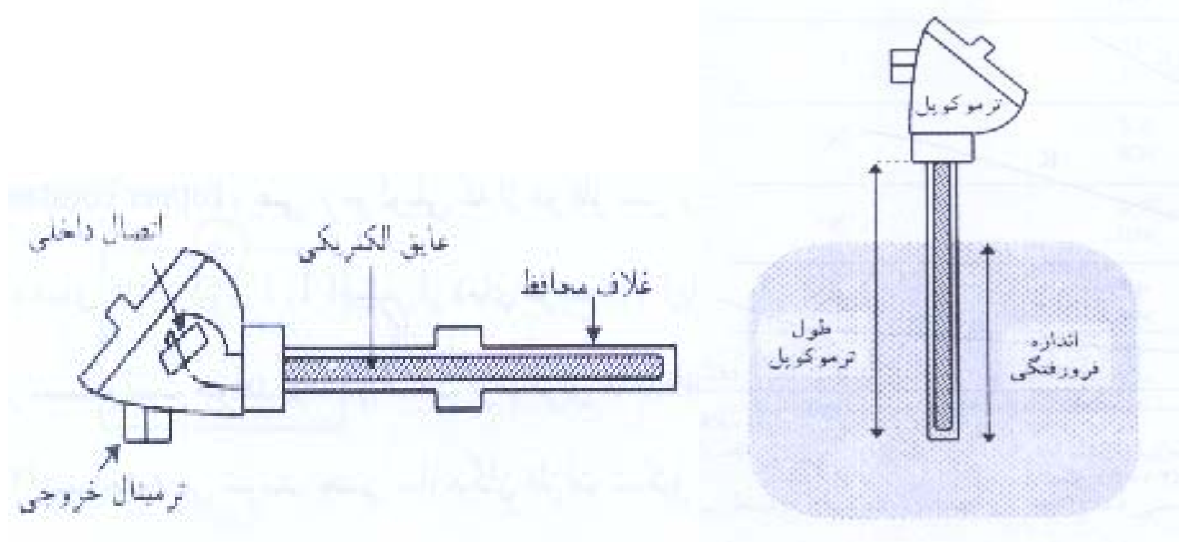
شکل ۱۵: ترموکوپل



شکل ۱۷: تقویت کننده

حوزه اندازه گیری ترموکوپل ها معمولاً بین ۲۰۰- تا ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد می باشد. 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 پایین می آید، برای جلوگیری از خوردگی و آلودگی که منجر به تغییر مشخصات ترموکوپل و اختلال در کار آن می شود و همچنین حفاظت مکانیکی آن معمولاً ترموکوپل را در یک غلاف محافظ قرار می دهند و همانطور که گفتیم، این کار موجب افزایش ثابت زمانی ترموکوپل می گردد.

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



شکل ۱۷: طرز قرار گرفتن ترموکوپل در ترموول

### روش شناسایی سیم مثبت و منفی در ترموکوپل :

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

### ب- استفاده از ( RTD ) :

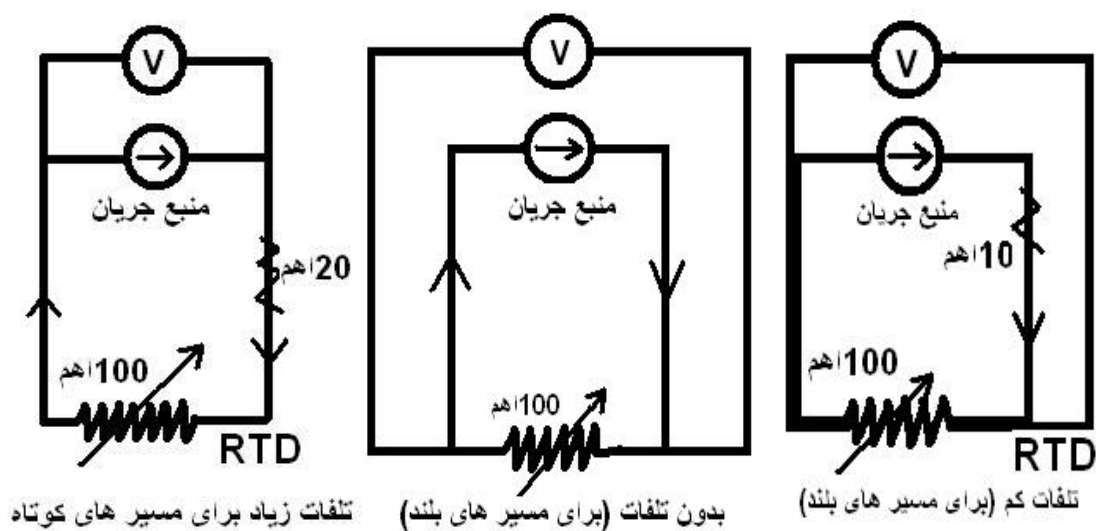
عبارت است از Resistance Temperature Detector به معنای حس گر های مقاومتی دما. مقاومت این نوع حس گر ها از جنس نیمه هادی ها یا فلز ها می باشند ، حس گر های مقاومتی دما ی ساخته شده از جنس نیمه هادی ها اصطلاحاً ترمیستور نامیده می شوند . با افزایش دما مقاومت RTD نیز افزایش می یابد، زیاد شدن فاصله بین محل نصب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

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





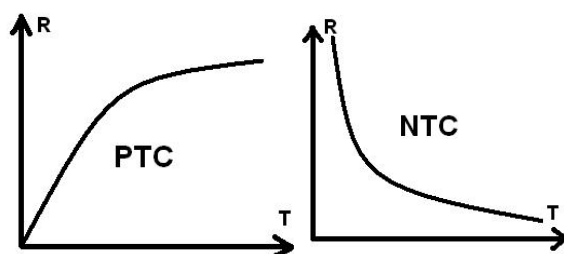
شکل ۱۸: انواع مختلف RTD



### ج-استفاده از ترمیستور (Thermally sensitive resistor) :

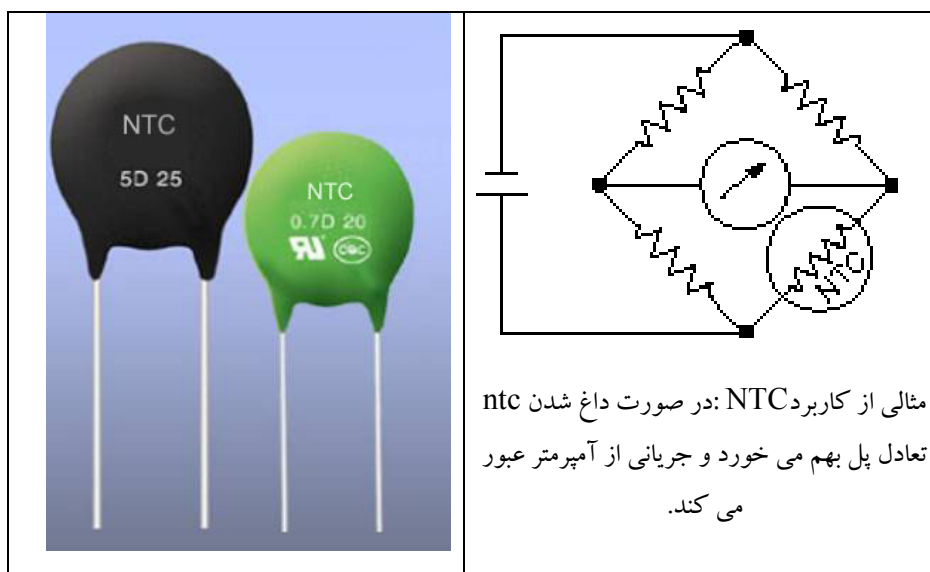
همانطور که گفته شد نیمه رساناهایی که به سبب ضریب مقاومت گرمایی زیادشان بکار می‌روند، به مقاومت‌های حساس به دما یا ترمیستور thermistors که از عبارت temperature resistors sensitive گرفته شده معروفند. ترمیستور از مواد نیمه هادی ساخته می‌شود، ترمیستور از اکسید فلزاتی چون منگنز، نیکل، کبالت، مس و یا آهن همراه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

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



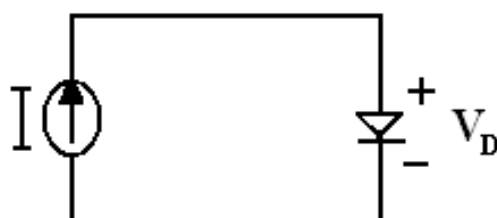
ی ترمیستورها بسیار بیشتر از عناصر PTC

بیشتر و امکان اندازه گیری دقیق تر می‌باشد. رصد تغییرات مقاومت یک ترمیستور در اثر یک درجه ی سانتی گراد تغییر ، چیزی در حدود ۳ تا ۵ درصد می‌باشد که درمقایسه با عدد ۰/۴ درصد برای فلزات ، عدد قابل توجهی است. ترمیستورها دارای اندازه ی خیلی کوچکی هستند و این باعث می‌شود 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 الکتریسته ، در خود تولید گرما می‌کنند. این سبب می‌شود 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 می‌باشد.

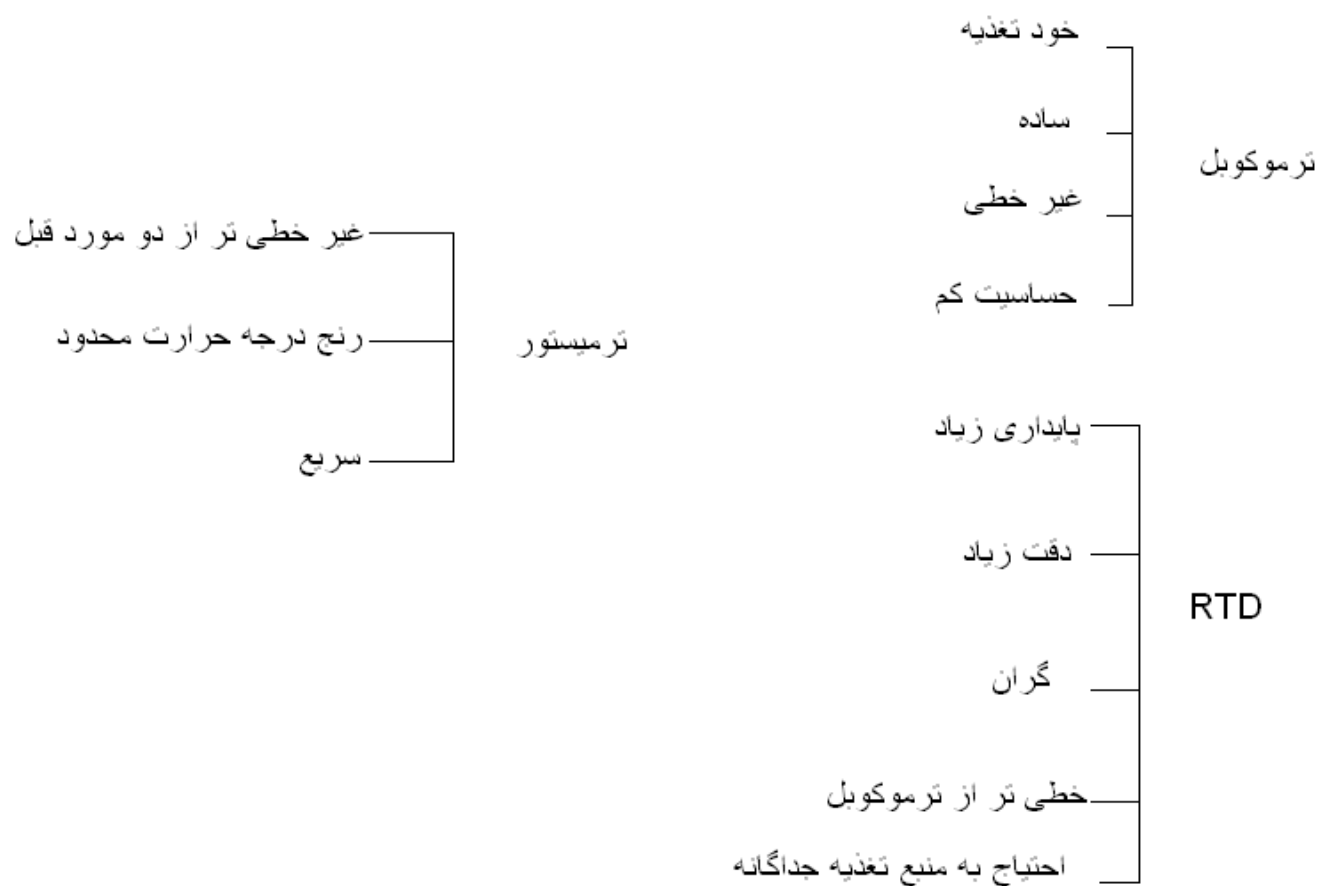


مثالی از کاربرد NTC: در صورت داغ شدن ntc تعادل پل بهم می خورد و جریانی از آمپر متر عبور می کند.

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

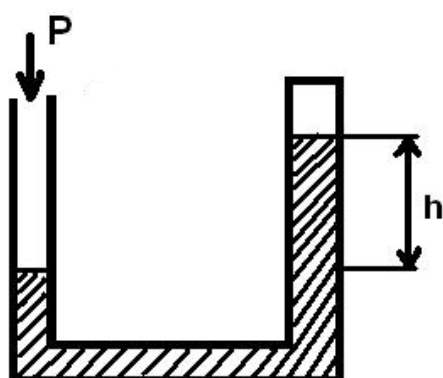


### مقایسه ۳ نوع قبلی



## اندازه گیری فشار:

### ۱-اندازه گیری مانومتری :

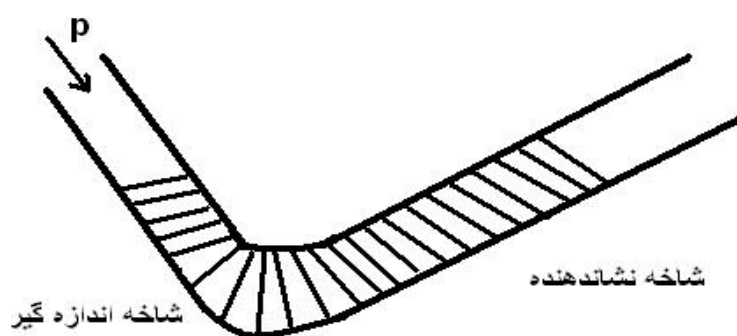


$$P = \rho g h$$

h: ارتفاع مایع در شاخه نشان دهنده:

g: شتاب جاذبه

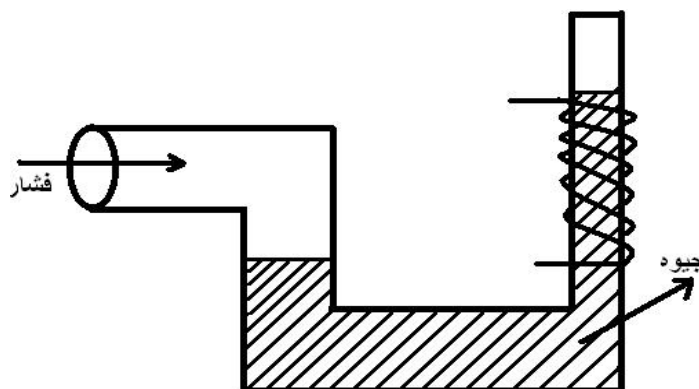
$\rho$ : جرم مخصوص مایع



شکل ۱۹: انواع مانومتر

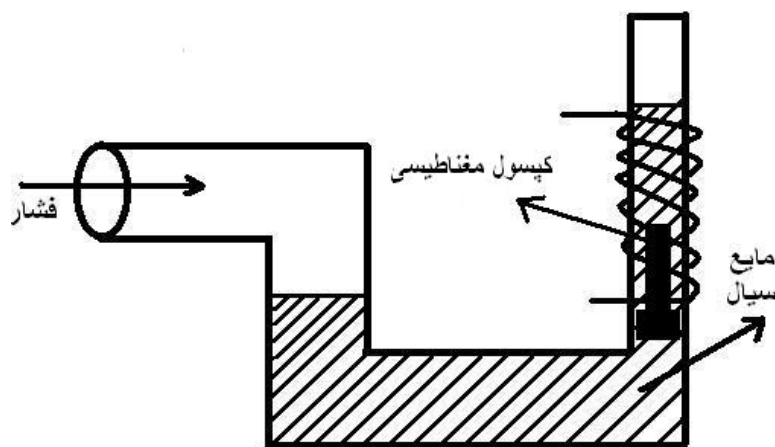


برای اندازه گیری فشار های بالا معمولاً از سیلی با جرم مخصوص بالا استفاده می کنند، مثل جیوه و برای اندازه گیری فشار های پایین از مایعات سبک تر استفاده می شود مثل آب. اما در کاربردهای کنترلی، معمولاً فشار می بایستی به کمیت دیگر (معمولاً الکتریکی) تبدیل و به کنترل کننده ارسال شود. برای تبدیل روش های زیر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



شکل ۲۰: مانومتر با سیال مغناطیسی

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



شکل ۲۱: مانومتر با کپسول مغناطیسی

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

## ویژگی ها:

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

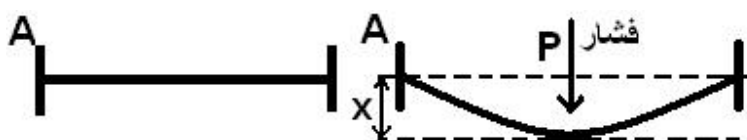
برای اندازه گیری فشار مطلق بایستی فضای بالای لوله نشان دهنده را از هوا تخلیه و مسدود نمود .

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

## ۲-اندازه گیر های ارتجاعی فشار:

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

### الف: اندازه گیری فشار دیافراگمی:



## اصول کار:

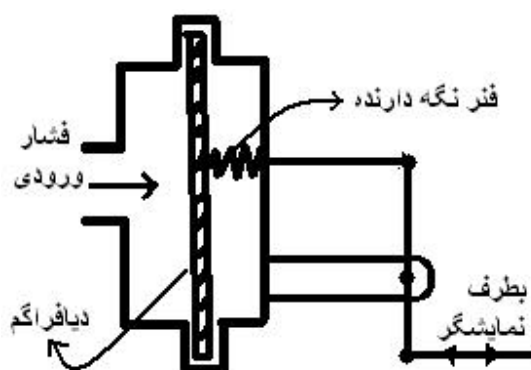
در اثر اعمال فشار به صفحه A سطح A تغییر شکل داده و به شکل خمیده در می آید. سطح A را می توان به اندازه ای دلخواه گرفت که تغییرات X به نوبه ی خود بزرگ باشد و اندازه گیر خاصیت دلخواه را داشته باشد .

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

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

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

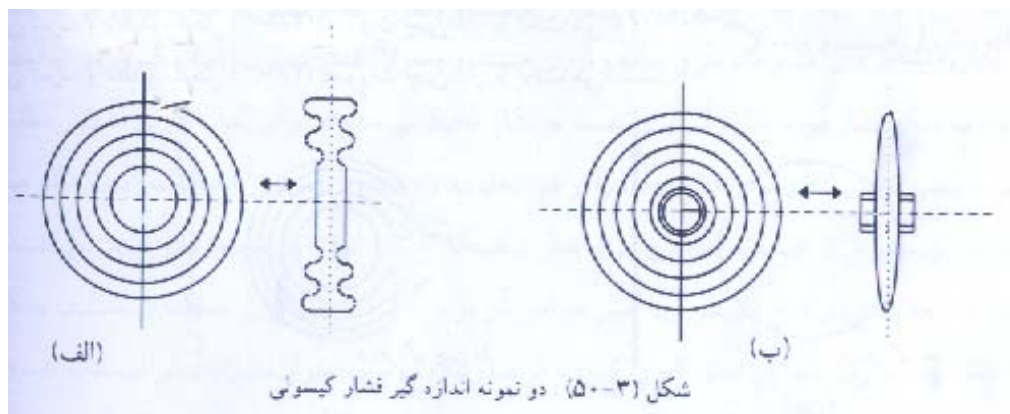
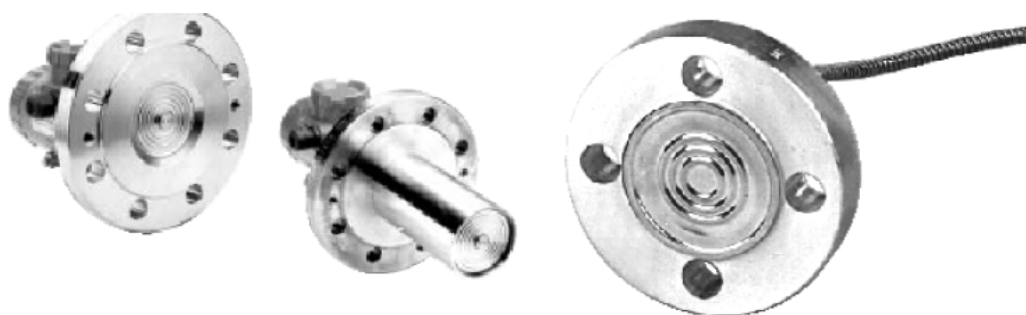
برای آشکار سازی فشار و تبدیل جابجایی دیافراگم، به کمیتی قابل ارسال به کنترل کننده روش های گوناگونی وجود دارد که همان روش های معمول اندازه گیری جابجایی می باشد.



شکل ۲۲: اصول کار اندازه گیر فشار دیافراگمی

### ب: اندازه گیر فشار کپسولی:

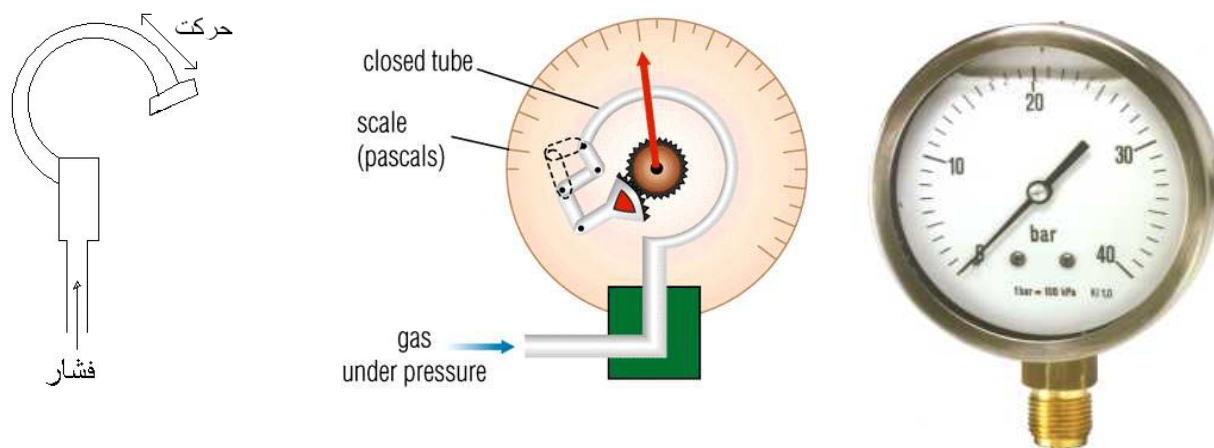
یک کپسول از دو دیافراگم فلزی تشکیل شده که در محیط به هم جوش خورده اند، فضای بین ۲ دیافراگم با سیالی با ویژگی های مخصوص پر شده است .



شکل ۲۳: کپسول

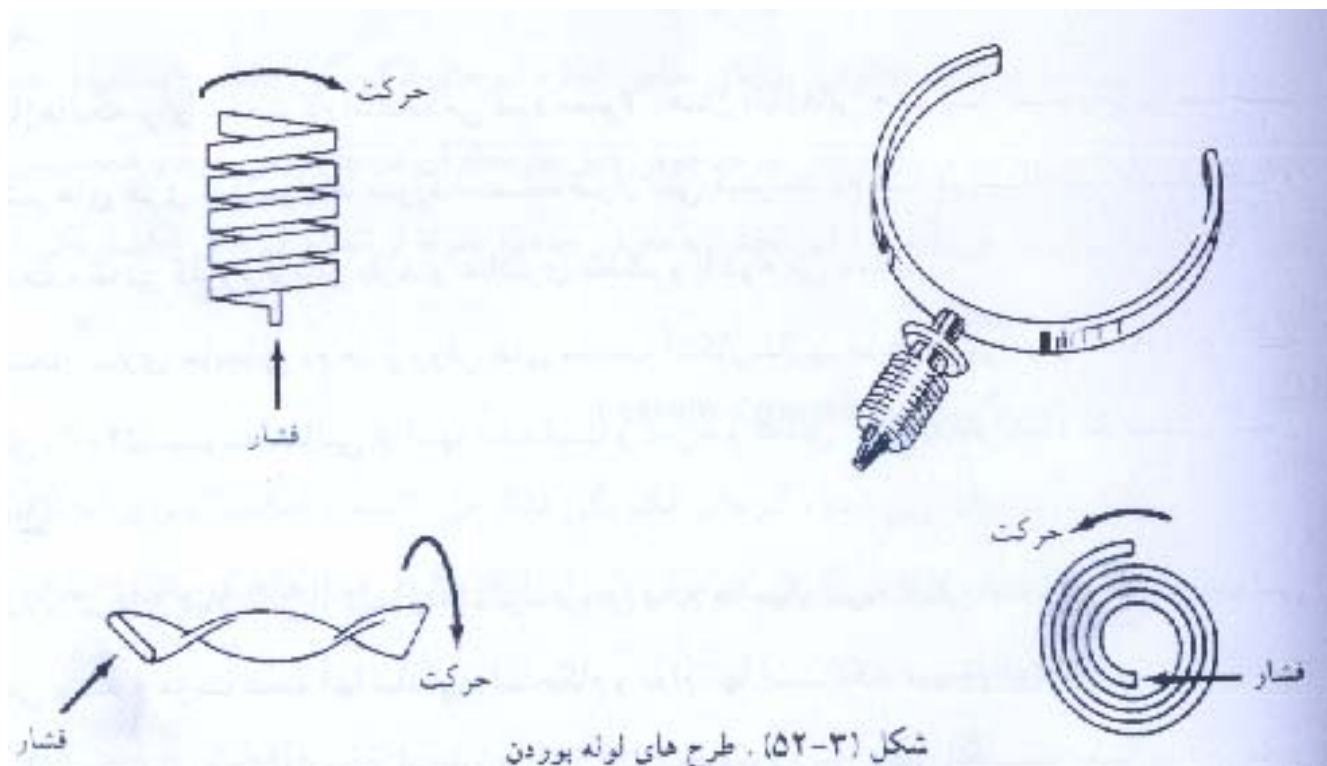
### ج: اندازه گیر لوله بردن:

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



شکل ۲۴: لوله بردن جهت اندازه گیری فشار

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



شکل (۳-۵۲). طرح های لوله بردن

### د:اندازه گیر دم یا بلوز:

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

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

در این رابطه  $p$  فشار مورد اندازه گیری و  $A$  سطح بلوز  $k$  را ضریب فنری یا ضریب بلوز گویند، معمولاً حوزه جابجایی دم حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد طول کل آن می باشد.



شکل (۳-۵۲). اندازه گیر فشار (دم)

شکل ۲۵:دم

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



### ویژگیها:

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

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

### ۳-اندازه گیر های الکتریکی فشار :

در اندازه گیری های مانومتری و ارتجاعی معمولاً بایستی فشار اندازه گیری شده به کمیتی الکتریکی تبدیل شود. این عمل استفاده از قطعات و ابزار اضافی و افزایش هزینه را به دنبال دارد و همچنین احتمال وارد شدن نویز و ایجاد خطا می شود. اندازه گیر های الکتریکی فشار علاوه بر مزایای خاص اندازه گیری الکتریکی، فشار را مستقیماً به کمیتی الکتریکی تبدیل میکنند و از این نظر صرفه جویی قابل ملاحظه ای در هزینه می شود و همچنین دقت اندازه گیری نیز افزایش می یابد.

### ۳-الف) استرین گیج (strain gage):

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

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



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

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

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

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

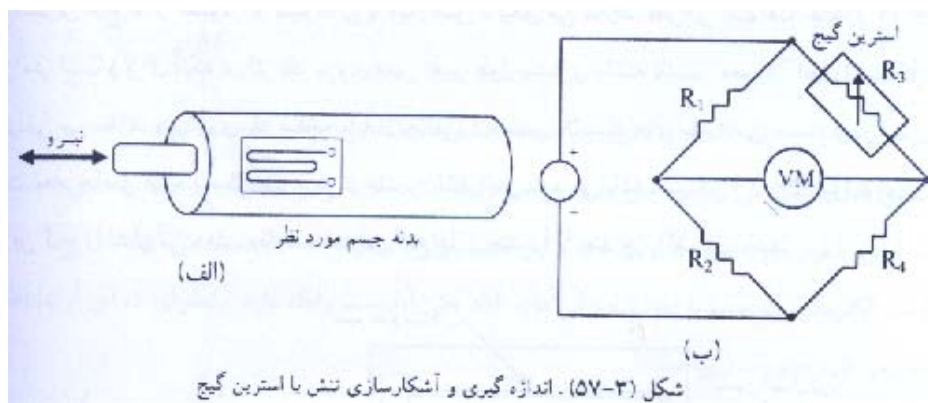
**مثال:** یک استرین گیج با ضریب  $G_f = 4$  برای اندازه گیری تنش به یک میله فلزی متصل شده است. اگر طول میله در اثر تنش از ۰.۲۵ متر به ۰.۲۵۵ متر تغییر کند. درصد تغییر مقاومت استرین گیج چقدر خواهد بود؟  
اگر مقاومت بدون تنش  $120\Omega$  باشد، مقاومت بعد از تنش چقدر است؟

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

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

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

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



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

### ۳-ب) اندازه گیرهای ظرفیتی (خازنی) فشار:

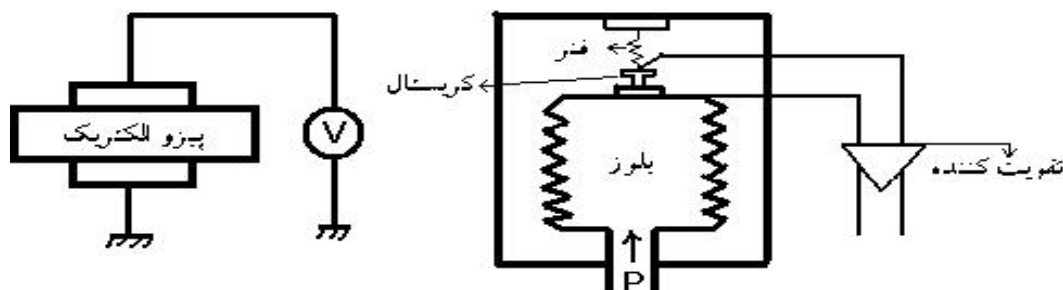
$$C = \frac{\epsilon A}{x}$$

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

### ۳-ج) اندازه گیری پیزو الکتریکی فشار:

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

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



شکل ۲۷: پیزو الکتریک

**اندازه گیری فلو:**

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

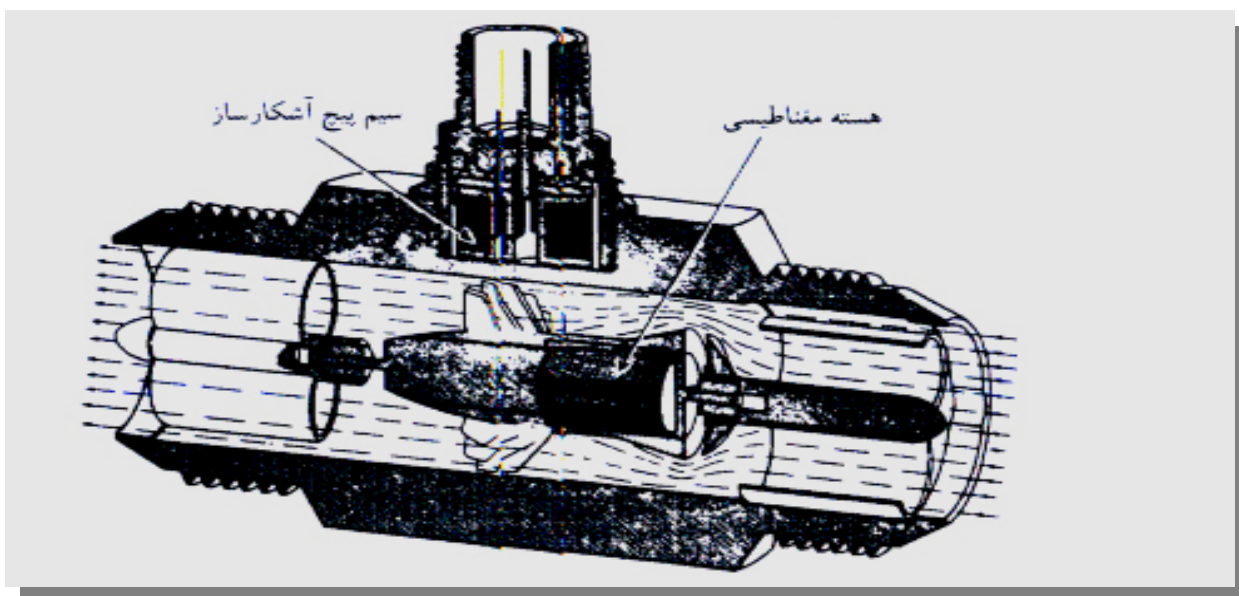
به عنوان مثال: می توان از کنترل دبی سوخت (کمیت اولیه) به منظور کنترل درجه حرارت (کمیت ثانویه) نام برد. فلو یا دبی به صورت حجمی یا جرمی در نظر گرفته می شود. دبی حجمی مقدار حجم سیال است که در واحد زمان از یک مقطع لوله عبور می کند و بطور مشابه دبی جرمی مقدار جرمی است که در واحد زمان از آن مقطع عبور می نماید،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

$$Q = V \cdot A \quad \text{دبی حجمی} \quad \rightarrow \quad Q = \rho \cdot V \cdot A \quad \text{دبی جرمی}$$

سرعت سیال  $\rightarrow$   $\leftarrow$  جرم مخصوص

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

**فلومتر توربینی:**



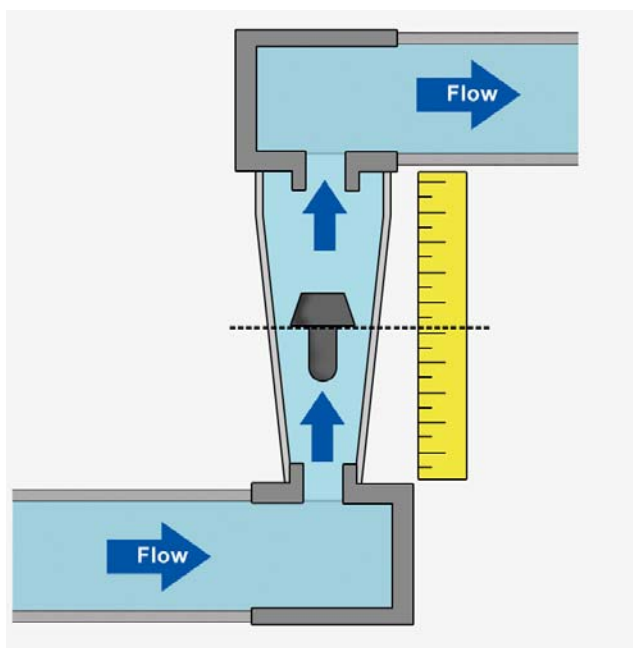
شکل ۲۸: فلومتر توربینی

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

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

### فلومتر با مقطع متغیر (rotameter):

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



شکل ۲۹: روتامتر

### اندازه گیری فلو از طریق فشار:

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

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

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



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

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

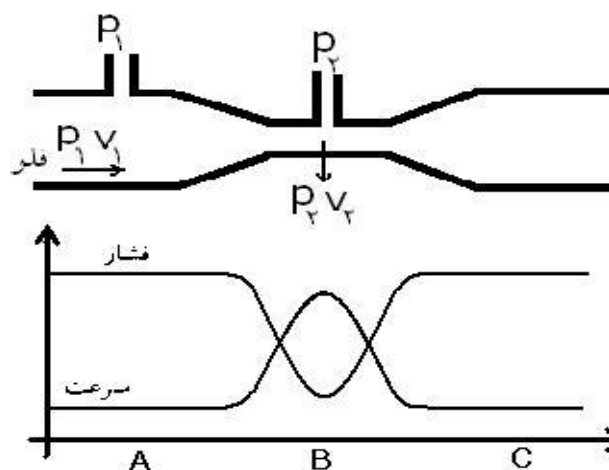
**این که (جمع انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل و انرژی فشار در یک سیال ثابت است)**

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

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

$\uparrow$  دبی جرمی  
 $\leftarrow$  ضریب ثابت  
 $\leftarrow$  سطح لوله ای که سیال از آن عبور میکند  
 $\rightarrow$  اختلاف فشار  
 $\rightarrow$  چگالی سیال

### ۱- فلومتر لوله ونتوری (venture tube):



شکل ۳۰: فلومتر لوله ونتوری



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

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

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

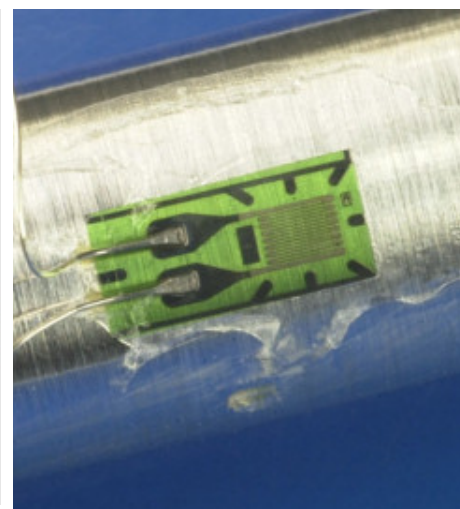
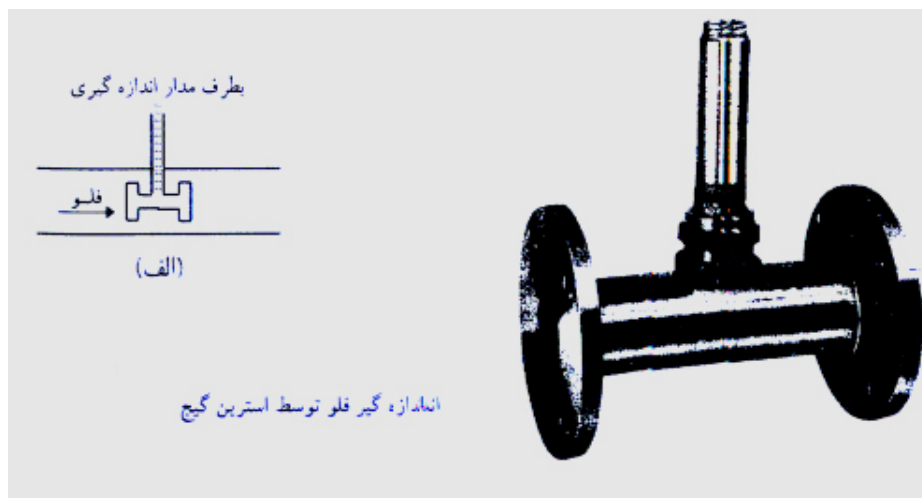
## ۲- اندازه گیری فلو توسط استرین گیج:

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

$$F = k A \rho V^2 \quad \Rightarrow \quad P = \frac{F}{A} \quad \Rightarrow \quad P = k \rho V^2$$

$V$ : سرعت سیال                       $A$ : سطح صفحه

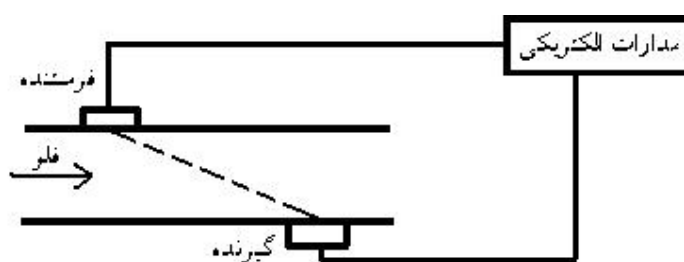
فشار وارد بر صفحه توسط استرین گیج ها اندازه گیری می شود، به این ترتیب می توان سرعت و سپس دبی را بدست آورد. این روش برای اندازه گیری فلو سیال هایی با فشار بالا و با ذرات معلق مورد استفاده قرار گیرد.



مدار استرین گیج بروی لوله

شکل ۳۱: اندازه گیری فلو توسط استرین گیج

### ۳- اندازه گیری فلو از طریق آلتراسونیک:



شکل ۳۲: اندازه گیری فلو از طریق آلتراسونیک

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

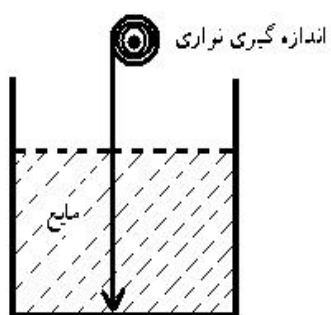
مزیت عمده این گونه اندازه گیری ها این است که هیچ گونه اثری بر روی کمیت مورد اندازه گیری ندارد و بعلاوه از سرعت و دقت بالایی برخوردار است، البته این مزیت، در مقابل، پیچیدگی و هزینه بالایی دارد.

## اندازه گیری سطح مایعات:

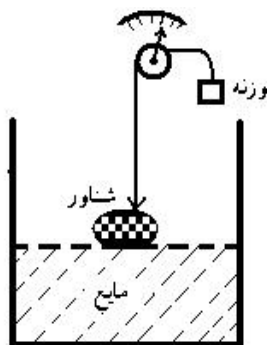
در اکثر عملیات صنعتی اطلاع از وضعیت سطح مایعات درون مخازن ضروری است، در عمل این خواسته به طور مستقیم امکان پذیر نبود زیرا پوشش مخازن فلزی بوده و وضع داخلی آنها از بیرون قابل رویت نیست.

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

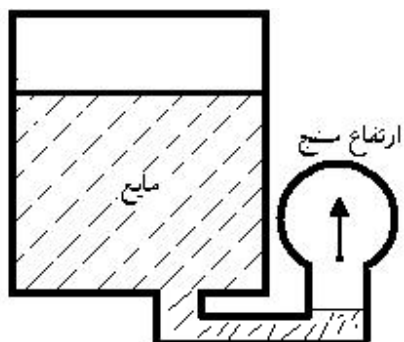
۱- با استفاده از عمق سنج ها که به صورت متری و سانتی متری مندرج شده اند:



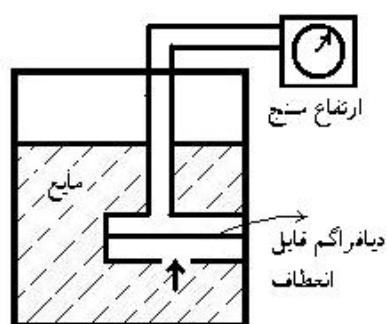
۲- با استفاده از شناور ها یا فلوتر ها :



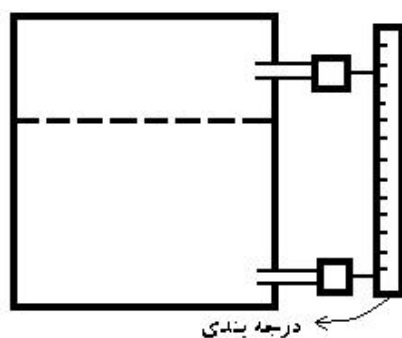
۳- با استفاده از فشار سنج ارتفاع مایعات:



۴- با استفاده از خاصیت دیافراگمی :



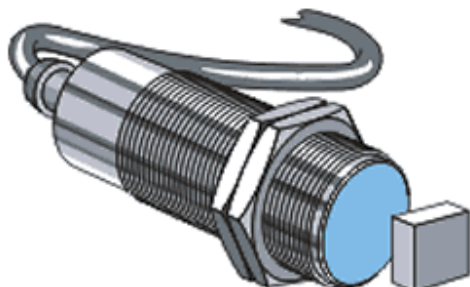
۵- اندازه گیری با استفاده از سطح سنج شیشه ای :



# 4

## فصل چهارم:

انواع سنسورهای بدون تماس

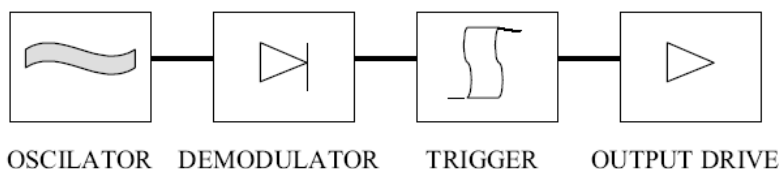


Target Smaller Than Standard

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

### ۱-۵ سوئیچهای القایی

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



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



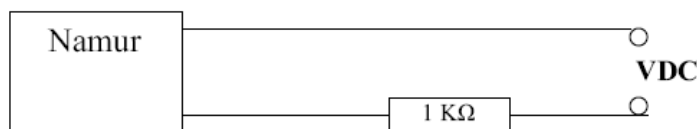
کاهش دامنه اسیلاتور باعث فعال شدن خروجی اشمیت تریگر گردیده و این قسمت نیز بنوبه خود باعث تحریک طبقه خروجی می شود. سنسورهای القایی از نظر تعداد سیم، ولتاژ تغذیه و نوع خروجی به انواع زیر تقسیم می شوند:

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

برخی از سنسورهای القایی خاص عبارتند از:

#### - سنسور القایی نامور

سنسورهای دو سیمه هستند که مقاومت داخلی آنها بر حسب فاصله قطعه از سنسور تغییر می کند. معمولاً اتصال این سنسورها به منبع تغذیه از طریق یک مقاومت  $1\text{ K}\Omega$  صورت می گیرد.



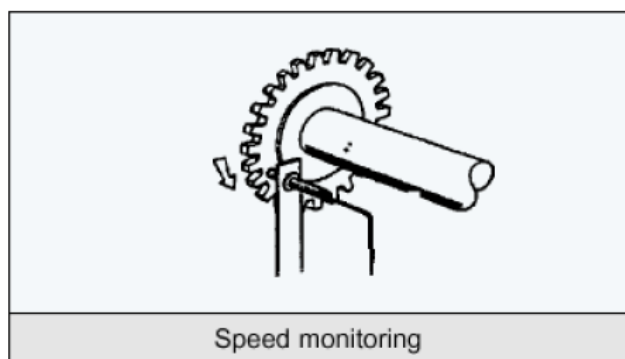
با توجه به سیم بندی مدار، جریان اتصال کوتاه در دو سر سنسور محدود می باشد، لذا بدلیل این محدودیت در محیطهای قابل انفجار میتوان از این سنسور استفاده کرد.

#### - سنسور القایی آنالوگ

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

### - سنسور القایی سرعت (Speed Monitor)

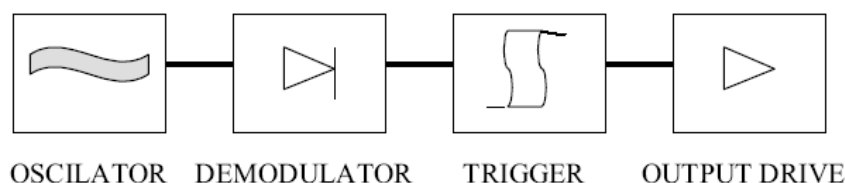
از این سنسور بمنظور اندازه گیری سرعت استفاده می شود.



در قسمت حساس این سنسورها میدان مغناطیسی وجود دارد و این میدان در اثر حرکت چرخ دنده ها تغییر میکند. از آنجا که خروجی این سنسورها سلفی میباشد، لذا این تغییرات میدان بصورت پالسهای در خروجی ظاهر میشوند. برخی از این سنسورها احتیاج به تقویت کننده دارند. کاربرد این سنسورها در اندازه گیری سرعت موتور، لوکوموتیو، چرخ دنده، پمپ، توربین و غیره می باشد.

### ۵-۲) سنسورهای خازنی

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



OSCILATOR DEMODULATOR TRIGGER OUTPUT DRIVE

قسمت اساسی اسیلاتور میباشد که از دو قطعه فلزتشکیل شده است. وضعیت قرارگیری این قطعات فلزی نسبت بهم طوریست که باعث ایجاد یک ظرفیت خازنی میشود. هرگاه قطعه ای با ضریب الکتریکی  $\epsilon$  به صفحه حساس نزدیک گردد باعث تغییر ظرفیت خازنی بین صفحات می شود. این تغییر ظرفیت خازنی باعث تغییر دامنه خروجی اسیلاتور می شود. دمدولاتور دامنه اسیلاتور را آشکار می کند و این مقدار را با سطح مرجع مقایسه می کند. هرگاه دامنه این مقدار از دامنه مرجع بیشتر باشد، خروجی سنسور تحریک می شود. در عملکرد سنسورهای خازنی عواملی مانند رطوبت هوا، گرد و غبار و ... برفاصله سوئیچینگ تاثیر میگذارند. فاصله سوئیچینگ به نوع قطعه نیز بستگی دارد. فاصله سوئیچینگ با استفاده از پتانسیومتر روی سنسور قابل تنظیم است.

### ۳-۵ سنسورهای نوری

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

#### - سنسور نوری یکطرفه (Diffuse)

این سنسور بر اساس ارسال امواج مادون قرمز مدوله شده توسط دیود مادون



قرمز و دریافت این امواج بوسیله

فتو ترانزیستور عمل می کند.

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

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

نرمال باز (Light ON)

نرمال بسته (Dark ON)

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

### - سنسور نوری رفلکتوری (Retro-Reflective)

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



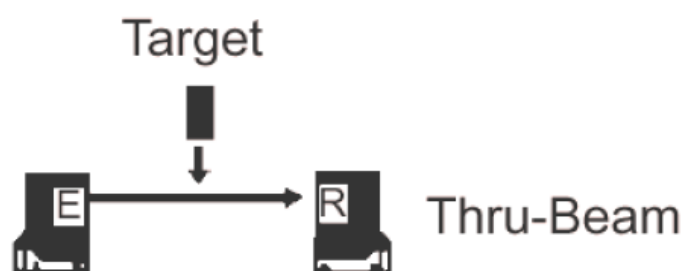
در این سنسور امواج مادون قرمز بصورت پلاریزه شده در فضا پخش میشوند. یک منعکس کننده در جلوی سنسور در فاصله معینی قرار می گیرد و امواج ارسال شده پس از برخورد به این منعکس کننده با زاویه ۹۰ درجه نسبت به امواج پخش شده بطرف گیرنده برمی گردند. این سنسورها نیز به دو صورت Light ON و Dark ON ارائه می شوند.

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

### - سنسور نوری دوطرفه (Thru-Beam)

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

در این نوع سنسورها، فرستنده و گیرنده مجزا از هم میباشند. امواج مدوله شده مادون قرمز توسط فرستنده ارسال می شود و گیرنده در مقابل فرستنده نصب می شود. هرگاه مابین گیرنده و فرستنده مانعی وجود نداشته باشد، این امواج به گیرنده میرسند و در صورت وجود مانع این امواج دیگر به گیرنده نخواهند رسید. این سنسورها نیز به دو صورت Light ON و Dark ON ارائه میشوند.



#### ۴-۵ سنسور مغناطیسی

این سنسورها در مجاورت میدان مغناطیسی عمل می کنند. هرگاه یک قطعه آهنربا در مقابل این سنسور قرار گیرد، کنتاکت آن عمل خواهد کرد. کاربرد این نوع سنسور در تشخیص و کنترل سطح مایع ( با نصب یک آهنربا بر روی یک شناور )، تشخیص موقعیت پیستون درون سیلندر، اندازه گیری سرعت ( با نصب آهنربا بر روی چرخ دنده ها) و غیره می باشد.

#### ۵-۵ سنسورهای تشخیص رنگ

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

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

# 5

## کنترل کننده های PID (Proportional-Integral-Derivative)

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

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

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





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

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

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

## تعاریف اولیه

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



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

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

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

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



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

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

**پایداری مطلق :** مهمترین مشخصه رفتار دینامیکی سیستمهای کنترل پایداری مطلق است ، بدین معنی که آیا سیستم

یا ناپایدار است

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



**پاسخ گذرا و پاسخ حالت ماندگار:** پاسخ زمانی یک سیستم کنترل، از دو بخش پاسخ گذرا و پاسخ ماندگار

تشکیل می شود. منظور از پاسخ گذرا، عبور از حالت ابتدایی و رسیدن به حالت نهایی است. از آنجا که در سیستمهای

کنترل واقعی، انرژی ذخیره می شود، خروجی سیستم هنگام اعمال مقدار مطلوب (Set Point) نمی تواند فوراً آن را

دنبال کند و قبل از رسیدن به حالت ماندگار، یک پاسخ گذرا وجود دارد. پاسخ گذرای یک سیستم کنترل واقعی،

غالباً قبل از رسیدن به حالت ماندگار، نوسانهای میرا دارد. منظور از پاسخ حالت ماندگار، چگونگی رفتار خروجی

سیستم به ازای  $t \rightarrow \infty$  است.

**خطای حالت ماندگار:** اختلافی که در حالت ماندگار بین خروجی سیستم و مقدار مطلوب

(Set Point) وجود دارد؛ خطای حالت ماندگار نامیده می شود.

### تعریف مشخصات پاسخ گذرا

در عمل، پاسخ گذرای سیستمهای کنترل، غالباً قبل از رسیدن به حالت ماندگار نوسان میرا دارد. به منظور تعیین

مشخصات پاسخ گذرای یک سیستم کنترل به ورودی پله ای باید موارد زیر مشخص شوند:

۱- زمان تأخیر ( $\text{Delay Time}-t_d$ )

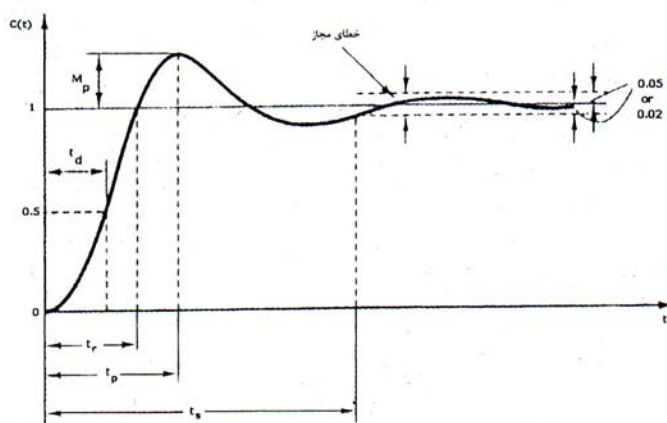
۲- زمان صعود ( $\text{Rise Time}-t_r$ )

۳- زمان اوج ( $\text{Peak Time}-t_p$ )

۴- حداکثر فراجهش ( $M_p$ -Overshoot)

۵- زمان قرار ( $t_s$ -Settling Time)

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



(شکل ۱)

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

۲- زمان صعود ( $t_r$ ): زمانی است که طول می کشد تا پاسخ از ۱۰٪ به ۹۰٪ یا از ۵٪ به ۹۵٪ یا از ۰٪ به ۱۰۰٪ مقدار

نهایی اش برسد .  $t_r$  ، سرعت پاسخ را مشخص می کند .

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

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



معمولاً در مواردی که مقدار حالت ماندگار پاسخ، یک نیست درصد فراجش به به کار می رود. این مقدار به صورت

زیر تعریف می شود:

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

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

**۵- زمان قرار ( $t_s$ ):** زمانی است که طول می کشد تا منحنی پاسخ به محدوده ی معینی حول مقدار نهایی اش برسد و

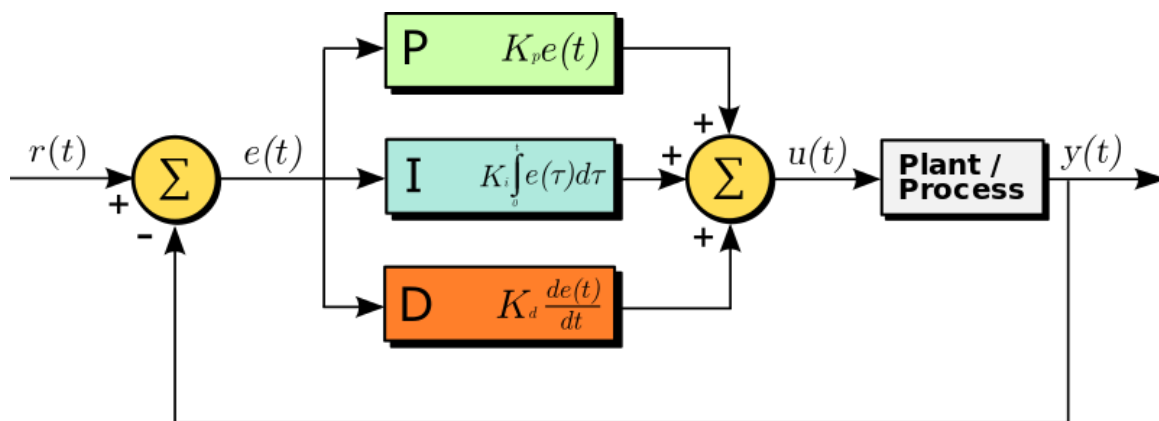
در آن محدوده باقی بماند. این محدوده معمولاً برحسب درصد مطلق از مقدار نهایی ( معمولاً ۲ تا ۵٪) بیان می شود.

زمان قرار با بزرگترین ثابت زمانی سیستم کنترل مرتبط است.

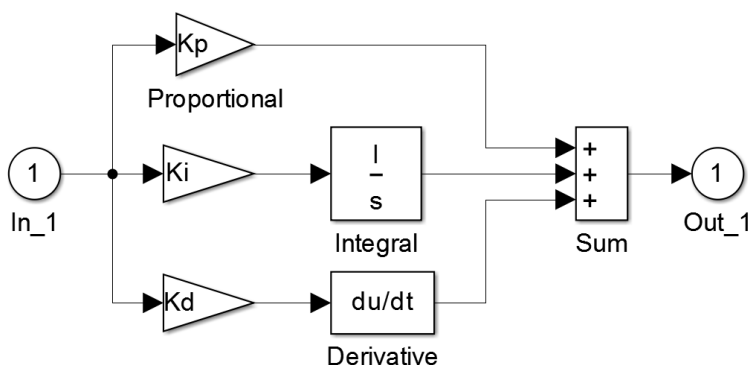
پارامترهای کنترل کننده را باید طوری تنظیم کرد که پاسخ گذرای آن رضایت بخش شود.

PID از سه قسمت مجزا به نام‌های Proportional (تناسبی)، Integral (انتگرال گیر) و Derivative (مشتق گیر) تشکیل شده که هر کدام از آن‌ها سیگنال خطا را به عنوان ورودی گرفته و عملیاتی را روی آن انجام می‌دهند و در نهایت خروجی شان با هم جمع می‌شود. خروجی این مجموعه که همان خروجی کنترل کننده PID است برای اصلاح خطا (error) به سیستم فرستاده می‌شود.

روابط PID در حوزه زمان:



روابط PID در حوزه لاپلاس:



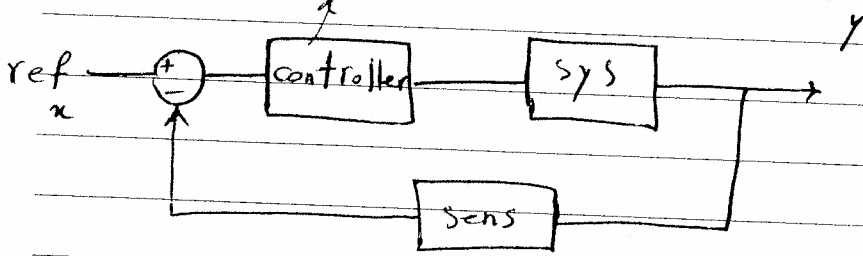
که در آن:

**Kp:** ضریب کنترل کننده تناسبی، وظیفه‌ی افزایش سرعت پاسخ

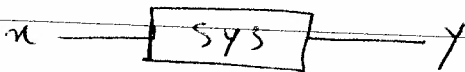
**Ki:** ضریب کنترل کننده انتگرال گیر، وظیفه‌ی حذف خطای ماندگار

**Kd:** ضریب کنترل کننده مشتق گیر، وظیفه‌ی تضعیف نوسانات و هموار کردن پاسخ





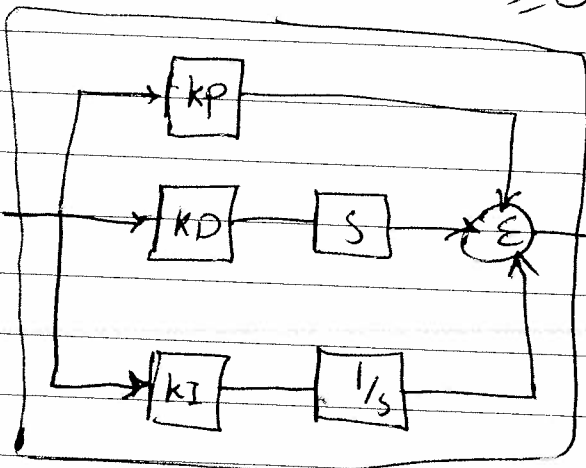
مدله سه



مدله يك

$$PID \rightarrow k_p + k_d s + \frac{k_i}{s}$$

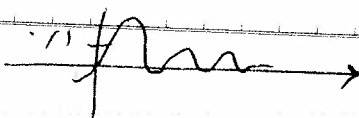
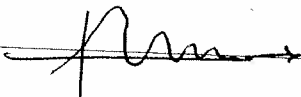
$k_p$  : ضريب نرول شده تناسبی ← سرعت پاسخ  
 $k_i$  : ضريب نرول شده انتگرال ← خطای ماندگار  
 $k_d$  : ضريب نرول شده مشتق ← نرخ تغییرات



نرول

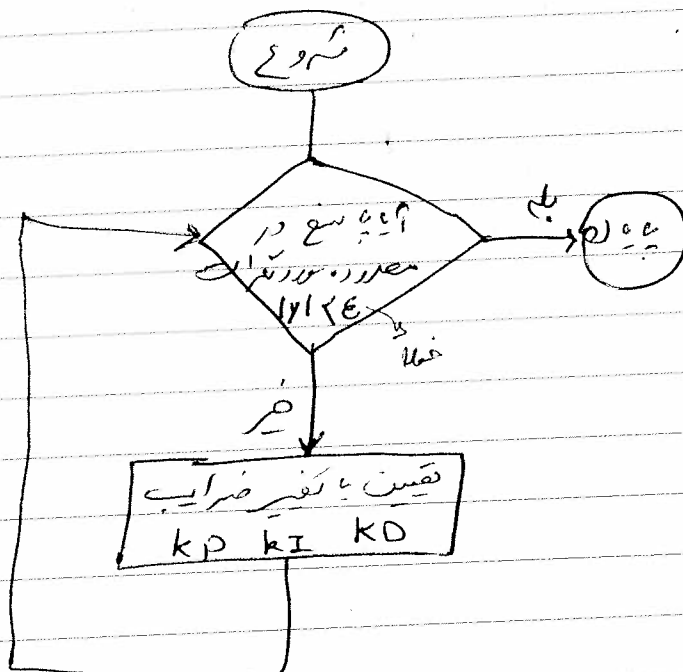
$I \hookrightarrow PI \hookrightarrow PID$

تایمینگ



$k_i$  Parsan

# خوارزمیاتی برای کنترل PID



|                          |      |  |
|--------------------------|------|--|
| ۱) انتگرال خطا           | IAE  | <p>تعیین ضرایب مناسب</p> <p>ضرایب کنترل کننده</p> <p>PID</p> |
| ۲) ۴ درجه                | ITAE |  |
| ۳) مربع خطا              | ISE  |  |
| ۴) مشتق مربع خطا، ۴ درجه | ITSE |  |

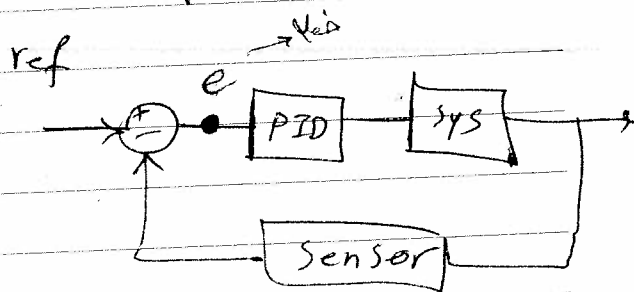
۱)  $\int e(t) dt$

۲)  $\int e(t) \times t dt$

۳)  $\int e^2(t) dt$

۴)  $\int e^2(t) \times t dt$

Parsan



## معیارهای تنظیم کنترل کننده ها

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

انتخاب معیارها با توجه به اهمیتی که به نوع خطا داده می شود انجام می شود. (Integral Square Error) ISE به عنوان مثال، معیار

ISE (Error) یا انتگرال مربع خطا که به صورت رابطه ۱۱-۱۷ تعریف می شود روی خطاهای بزرگ تأکید دارد، ضمن اینکه خطاهای مثبت و منفی به علت مجذور بودن خطا، یکسان در نظر گرفته می شوند.

$$ISE \Rightarrow J_1 = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (11)$$

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

$$IAE \Rightarrow J_2 = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (12)$$

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

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

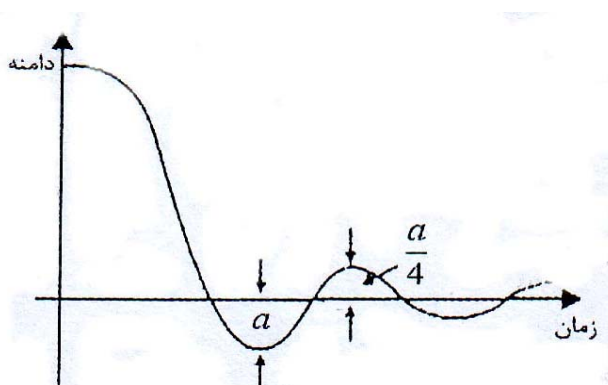
در زمانهای شروع بی اهمیت می دانند و تنها زمانی که خطا با گذشت زمان هم باقی مانده باشد روی آن تأکید می کنند ، نتیجه ی منطقی تمایل به داشتن خطای کم در حالت دائمی باشد .

$$ITSE \Rightarrow J_3 = \int_0^{\infty} t e^2(t) dt \quad (13)$$

$$ITAE \Rightarrow J_4 = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \quad (14)$$

ZN (Ziegler-Nichols) معیار دیگری است که تجربی می باشد دامنه هر جهش را ،  $\frac{1}{4}$  دامنه ی جهش پیش از خود

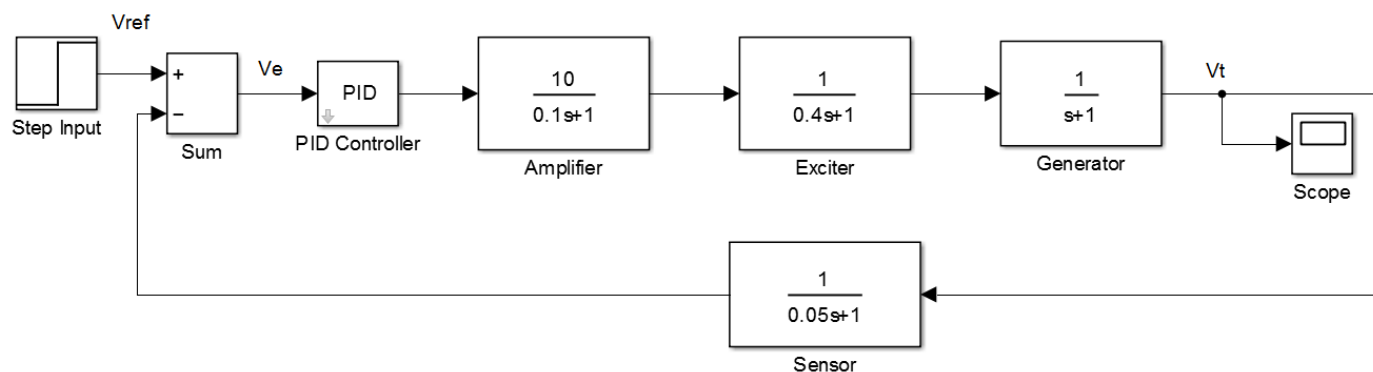
قرار می دهد (شکل ۲۴) .



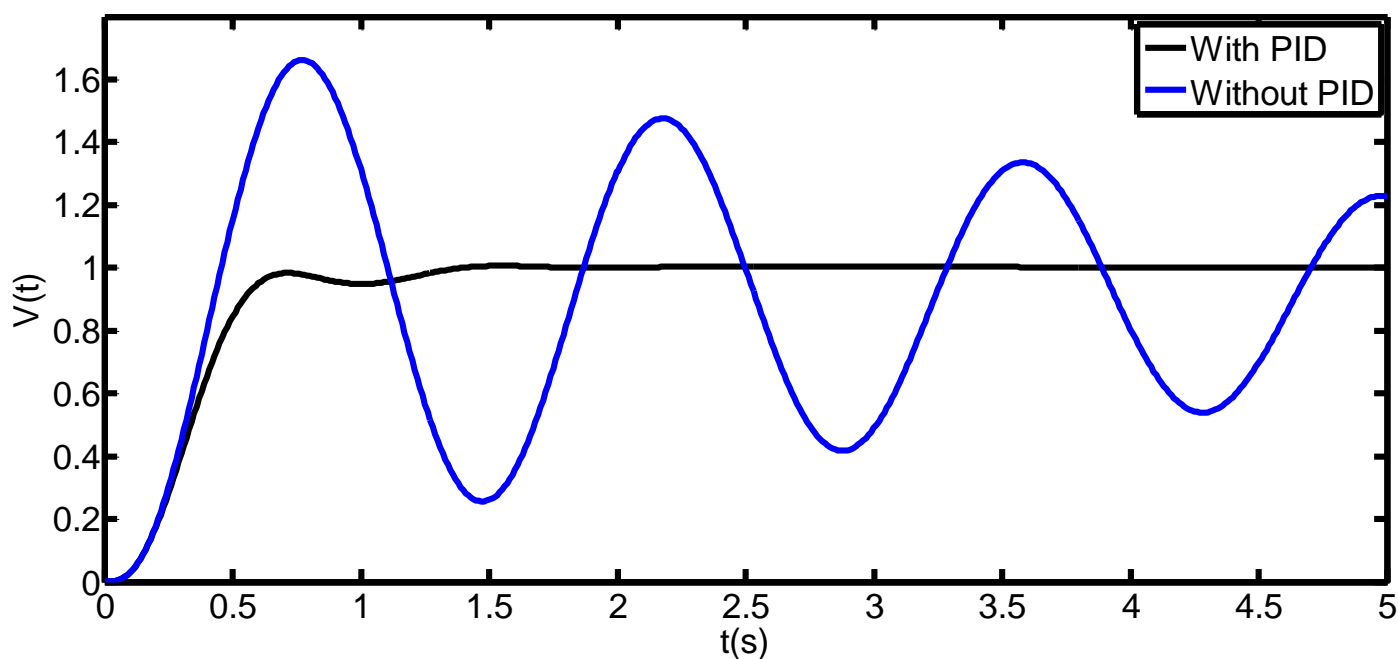
(شکل ۲۴)

با توجه به آن که کنترل کننده **PID** قابلیت اجرا و طراحی آسانتری دارد بیشتر در صنعت استفاده می شود. ضرایب کنترل کننده **PID** را می توان با بهینه سازی، سعی و خطا، روش های ریاضی زیگلر نیکولز و... بدست آورد. **PID** به صورت هر ترکیبی از **P**، **I** و **D** می تواند پیاده سازی شود اما بیشتر به صورت **I**، **PI** یا **PID** پیاده سازی می شود.

جایگاه **PID** در یک سیستم واقعی (سیستم کنترل اتوماتیک ولتاژ):

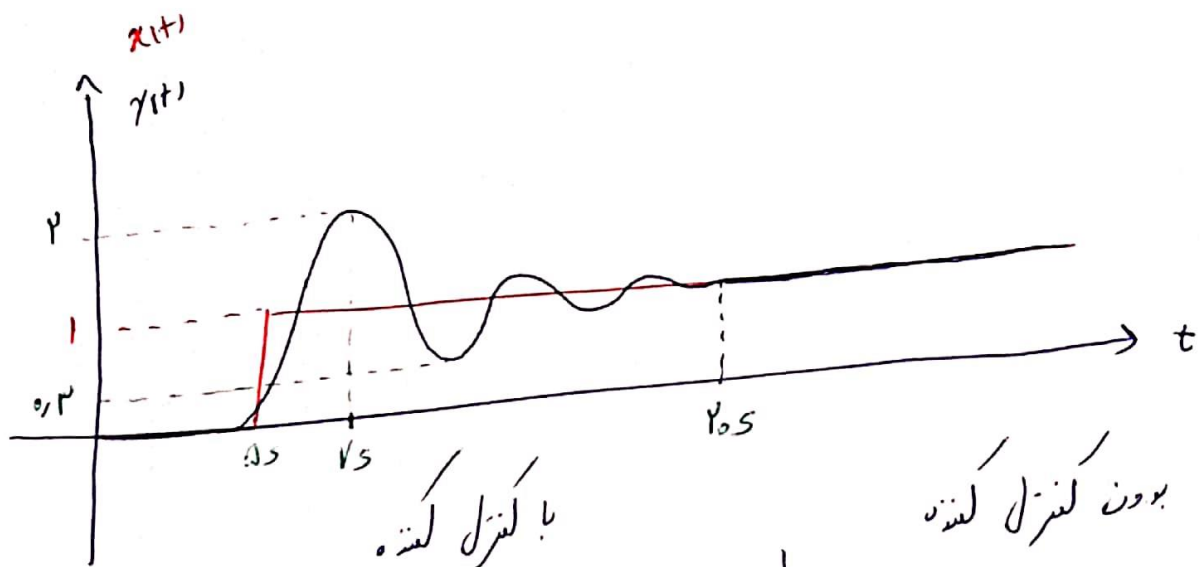
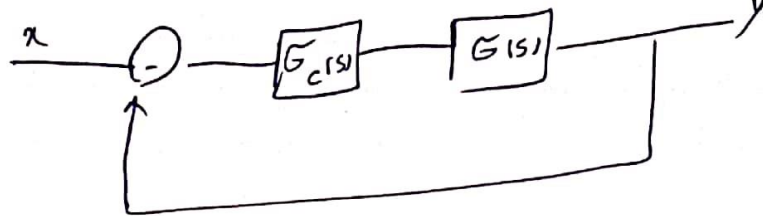


در این سیستم هدف میل خروجی به مقدار 1 است. مقایسه ی خروجی (ولتاژ ترمینال  $V_t$ ) با و بدون کنترل کننده:



پاسخ را تحلیل کنید.

**مسال:** فرض کنید در مسال قبل کنترل گفته ای ب سیستم حلقه بسته اضافه شود و خروجی به صورت زیر تغییر کرده است. معیارها را بدست آورده و مقایسه کنید.



با کنترل گفته

$$y_{ss} = 1 \Rightarrow E_{ss} = 1 - 1 = 0$$

$$t_s = 2.5$$

$$OS = 2 - 1 = 1$$

$$US = 0.3 - 1 = -0.7$$

$$P_{2P} = 1 - (-0.7) = 1.7$$

بدون کنترل گفته

$$y_{ss} = 0.7 \Rightarrow E_{ss} = 0.3$$

$$t_s = 3.2s$$

$$OS = 1.8$$

$$US = -1.2$$

$$P_{2P} = 3$$

با کنترل گفته پاسخ به مقدار معاد 1 میل کرده و در نتیجه خطا صاف شده و برابر 0 شده است. زمان نشست، فراخس و فرودخس نیز به مقدار قابل ملاحظه کاهش یافته است. ← بهبود پاسخ

# 6

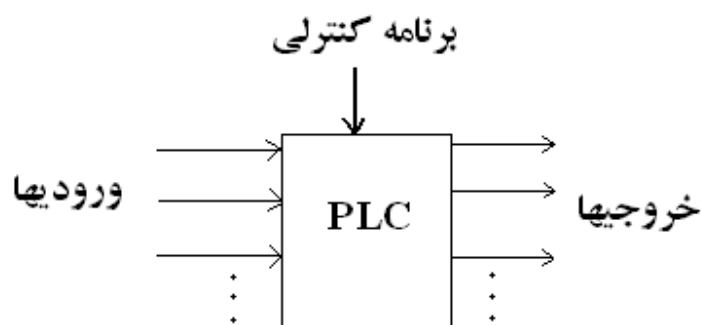
## فصل پنجم :

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

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

از شرکت های سازنده PLC می توان Allen Bradley , Siemens , اشنایدر ، LG ، Omron و... را نام برد. در این میان PLC های زیمنس از محبوبیت بیشتری برخوردار هستند.

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



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





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

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

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

### مزایای PLC نسبت به مدارهای فرمان رله ای:

- ۱- امکان کاهش حجم تابلوی فرمان: زیرا مدار فرمان حذف می شود و برنامه آن در PLC نوشته می شود.
- ۲- انرژی کمتری مصرف می کنند.
- ۳- انعطاف پذیری بیشتری دارند. شما می توانید براحتی از طریق نرم افزار در برنامه کنترلی plc تغییرات ایجاد کنید حال آنکه این مسئله قدری در مورد مدار فرمان با مشکل مواجه است.
- ۴- امکان شبیه سازی فرایند قبل از اجرای آن،

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

۶) استفاده از PLC مخصوصا در فرآیندهای عظیم موجب صرفه جویی قابل توجهی در هزینه لوازم و قطعات می گردد.  
۷) PLC ها استهلاک مکانیکی ندارند، بنابر این علاوه بر عمر بیشتر، نیازی به تعمیرات و سرویس های دوره ای نخواهند داشت.

۸) PLC ها بر خلاف مدارات رله کنتاکتوری، نویزهای الکتریکی و صوتی ایجاد نمی کنند.

۹) طراحی و اجرای مدارهای کنترل و فرمان با استفاده از PLC ها، بسیار سریع و آسان است.

۱۰) برای عیب یابی مدارات فرمان الکترومکانیکی، الگوریتم و منطق خاصی را نمی توان پیشنهاد نمود. این امر بیشتر تجربی بوده، بستگی به سابقه آشنایی فرد تعمیر کار با سیستم دارد. در صورتی که عیب یابی در مدارات فرمان کنترل شده توسط PLC به آسانی و با سرعت بیشتری انجام می گیرد.

۱۱) PLC ها می توانند با استفاده از برنامه های مخصوص، وجود نقص و اشکال در پروسه تحت کنترل را به سرعت تعیین و اعلام نمایند.

امروزه در بین کشورهای صنعتی، رقابت فشرده و شدیدی در ارائه راهکارهایی برای کنترل بهتر فرآیندهای تولید، وجود دارد که مدیران و مسئولان صنایع در این کشورها را بر آن داشته است تا تجهیزاتی مورد استفاده قرار دهند که سرعت و دقت عمل بالایی داشته باشند. بیشتر این تجهیزات شامل سیستم های استوار بر کنترلرهای قابل برنامه ریزی (Programmable Logic Controller) هستند. در بعضی موارد که لازم باشد می توان PLC ها را با هم شبکه کرده و با یک کامپیوتر مرکزی مدیریت نمود تا بتوان کار کنترل سیستم های بسیار پیچیده را نیز با سرعت و دقت بسیار بالا و بدون نقص انجام داد.

قابلیت هایی از قبیل توانایی خواندن انواع ورودی ها (دیجیتال، آنالوگ، فرکانس بالا...)، توانایی انتقال فرمان به سیستم ها و قطعات خروجی (نظیر مانیتورهای صنعتی، موتور، شیربرقی، ...) و همچنین امکانات اتصال به شبکه، ابعاد بسیار کوچک، سرعت پاسخگویی بسیار بالا، ایمنی، دقت و انعطاف پذیری زیاد این سیستم ها باعث شده که بتوان کنترل سیستم ها را در محدوده وسیعی انجام داد.

در یک سیستم اتوماسیون، PLC بعنوان قلب سیستم کنترلی عمل می کند. هنگام اجرای یک برنامه کنترلی که در حافظه آن ذخیره شده است، PLC همواره وضعیت سیستم را بررسی می کند. این کار را با گرفتن فیدبک از قطعات ورودی و سنسورها انجام می دهد. سپس این اطلاعات را به برنامه کنترلی خود منتقل می کند و نسبت به آن در مورد نحوه عملکرد ماشین تصمیم گیری می کند و در نهایت فرمانهای لازم را به قطعات و دستگاههای مربوطه ارسال می کند.

### انواع سیستم PLC

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

### PLC های کوچک:

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

### PLC های متوسط:

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

### PLC های بزرگ:

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

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

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



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

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

### PLC ها با کاربرد محلی:

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

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

### PLC ها با کاربرد گسترده:

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



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

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

- ۱- خانواده PLC های S5 و S7
- ۲- خانواده PLC های OMRON ژاپن
- ۳- خانواده PLC های تله مکانیک فرانسه
- ۴- خانواده PLC میتسوبیشی ژاپن
- ۵- خانواده PLC های LG کره
- ۶- خانواده PLC آلن برادلی امریکا
- ۷- .....

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

این شرکت ۲۴ سال پیش توسط سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران تأسیس گردید و در سال ۱۳۷۲ به بخش خصوصی واگذار شد. زمینه فعالیت شرکت اتوماسیون صنعتی بوده و در این سالها همواره در جهت گسترش در زمینه های مختلف گام برداشته است.

## انواع PLC های زیمنس

### LOGO

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

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

**SIMATIC S5**

کنترل کننده SIMATIC S7 که یکی از کنترل کننده های نسبتا قدیمی است در انواع مختلف مثل S5-90U یا S5-115U به صورت (COMPACT) بوده و حوزه عملکرد مخصوص دارند، اما انواع دیگری مثل S5-100U یا S5-135U در S5 می توان PLC هایی را استفاده کرد مثل S5-135U یا S5-155U که بتوانند حوزه عملکرد بسیار وسیعی داشته باشند.

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

**SIMATIC S7**

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

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

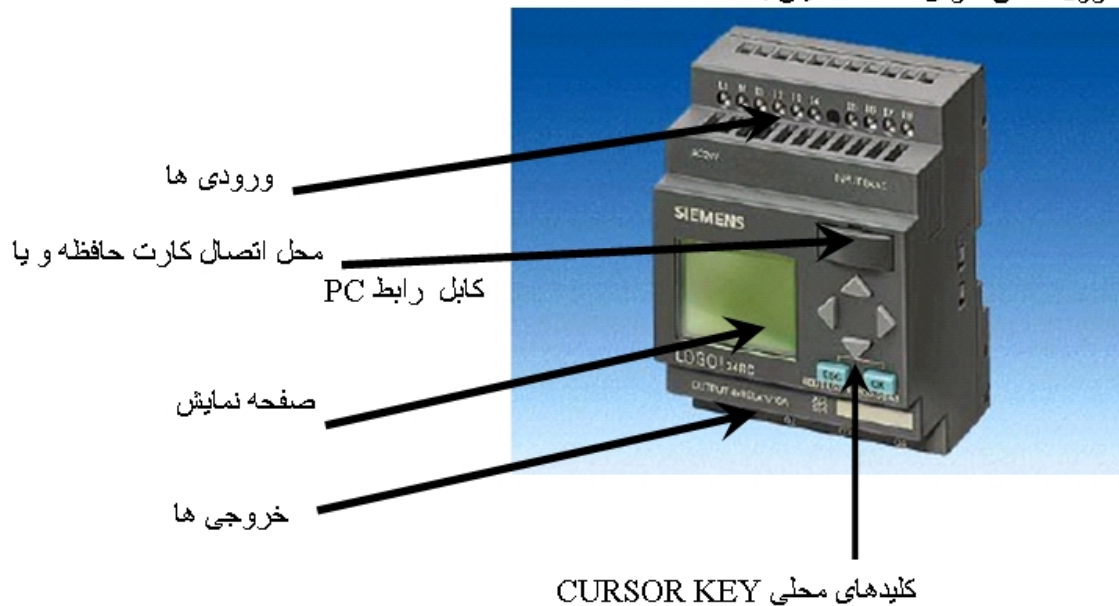
**S7-300:** که خود به سه نوع S7-300F , S7-300C و S7-300 تقسیم می شود، به صورت MODULAR است و عملکرد متوسط دارد .

**S7-400:** که خود به سه نوع S7-400FH , S7-400H , S7-400 تقسیم می شود، MODULAR است ولی می تواند حوزه عملکرد وسیع داشته باشد .

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

شکل زیر مربوط به LOGO از PLC های ساخت شرکت زیمنس می باشد. بر روی ماژول اصلی این کنترل کننده ۸ ورودی و ۴ خروجی وجود دارد که جمعا تا ۲۴ ورودی دیجیتال (I1...I24) و ۱۶ خروجی دیجیتال (Q1...Q16) قابل افزایش است.

ماژول اصلی دارای صفحه نمایش :



انواع زبان های برنامه نویسی:

**:FBD** Function Block Diagram دیاگرام تابع بلوکی

**:LAD** Ladder Diagram دیاگرام زبانی

**:STL** Statement List عبارتی

آشنائی با چند دستور ساده و ابتدائی از نرم افزار LOGO!

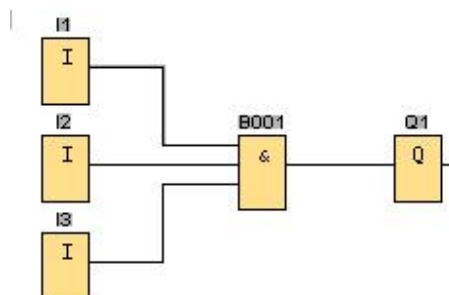
**مثال :** دستگاهی زمانی کار می کند که هر سه کلید ورودی آن همزمان فعال باشد. برنامه مربوطه را با زبان

FBD و LAD بنویسید.

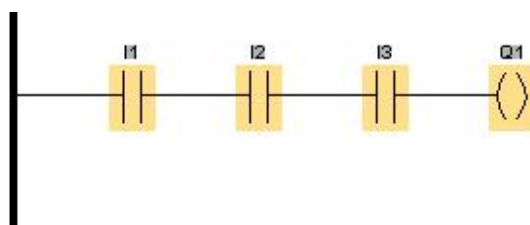




(FBD)



(LAD)

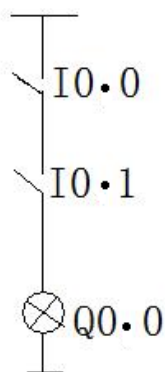


لازم به یادآوری است که معمولا برنامه مدارات فرمان به روش LAD نوشته می شوند.

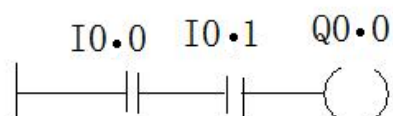
\*زبان برنامه نویسی STL مختص S5,S7 می باشد.

## دستور AND در STEP 7:

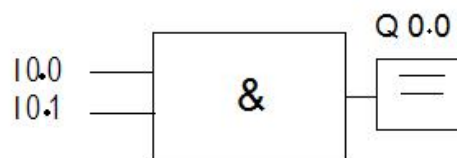
CIRCUIT



LAD



FBD

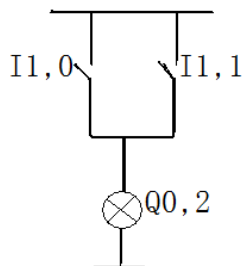


STL

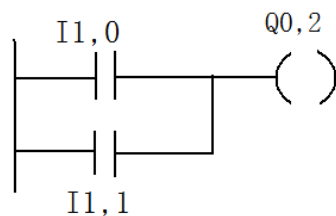
| عملگر | عملوند       |             |
|-------|--------------|-------------|
|       | شناسه عملوند | آدرس عملوند |
| A     | I            | 0.0         |
| A     | I            | 0.1         |
| =     | Q            | 0.0         |

## دستور OR در STEP 7:

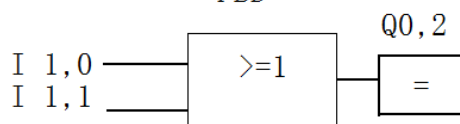
CIRCUIT



LAD



FBD



STL

| عملگر | عملوند       |             |
|-------|--------------|-------------|
|       | شناسه عملوند | آدرس عملوند |
| O     | I            | 1.0         |
| O     | I            | 1.1         |
| =     | Q            | 0.2         |

نمونه سوال امتحانی:

همه‌ی تعاریفات فصل اول

ساده سازی بلوک دیاگرام و استخراج تابع تبدیل

ترسیم بلوک دیاگرام برای تابع تبدیل

تابع تبدیل مدارهای الکتریکی

تعریف معیارهای برتری پاسخ سیستم های دینامیکی

انواع سیستم به لحاظ میرایی

بدست آوردن و مقایسه‌ی معیارهای برتری از روی شکل موج‌ها

تعریف و توضیح از فصل اندازه گیری و سنسور

تعریف PID، وظایف ضرایب، تحلیل کنترل کننده‌ی لازم برای سیستم، فلوچارت طراحی، معیارهای تنظیم ضرایب کنترل-کننده

تعریف PLC، مزایا، جایگاه، زبان برنامه نویسی LAD STL FBD، انواع، دستور AND OR



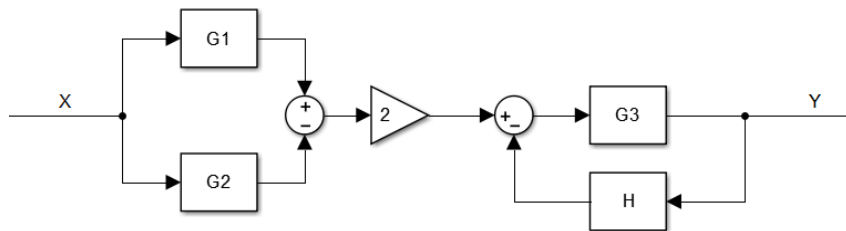
## اداره کل آموزش - اداره امتحانات

فرم مخصوص طرح سؤالات امتحانی نیمسال اول ۹۸۱

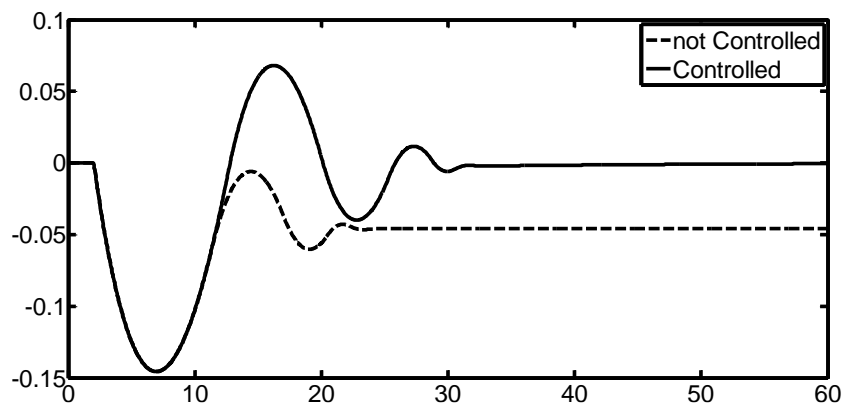
نام و نام خانوادگی دانشجو: ..... استاد مربوطه: مینا حشمتی رشته: ..... شماره دانشجویی: .....  
عنوان درس: ..... مدت امتحان: ..... تاریخ امتحان: ...../...../..... ساعت شروع: ..... نوع سؤالات: تستی ☐ تشریحی ☐  
وسایل مجاز در جلسه امتحان: ..... پاسخنامه نیاز می باشد ☐ نمی باشد ☐

۸۸

- ۱- سیستم حلقه باز و حلقه بسته کنترلی را با رسم شکل مقایسه کنید.
- ۲- در سیستم حلقه بسته جایگاه سیگنال مرجع، کنترل کننده، سیستم کنترل شده، سنسور و مسیر فیدبک را مشخص کنید.
- ۳- انواع سیستم‌ها به لحاظ میرایی را با رسم شکل توضیح دهید. (۴ نوع)
- ۴- سه روش اندازه‌گیری الکتریکی دما را نام برده و به طور خلاصه توضیح دهید.
- ۵- سنسورهای نوری یک طرفه، دوطرفه و رفلکتوری را توضیح دهید.
- ۶- بلوک دیاگرام زیر را با استفاده از قوانین حاکم بر بلوک‌های سری، موازی و فیدبک ساده کنید. تابع تبدیل  $G=Y/X$  را بدست آورید:



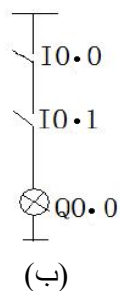
- ۷- کنترل‌کننده‌های PID را تعریف کنید. وظایف هر یک از ضرایب  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  را بنویسید.
- ۸- سیستم کنترلی را در نظر بگیرید که پاسخ مطلوب در آن میل خروجی به صفر است. شکل زیر پاسخ سیستم کنترل شده و کنترل نشده را پس از بروز اغتشاشی در  $2s$  نشان می‌دهد:



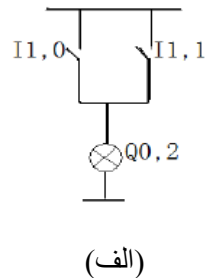
- الف- شش معیار تحلیل پاسخ‌های زمانی سیستم‌های کنترلی را در حوزه‌ی زمان و فرکانس را نام ببرید.
- ب- دو نمودار را به لحاظ معیارهای حوزه‌ی زمان ذکر شده در قسمت الف با هم مقایسه کنید.
- ج- به نظر شما ساده‌ترین کنترل‌کننده‌ای که در این سیستم استفاده شده است چیست؟ چرا؟

- ۹- امروزه در فرایندهای کنترل صنعتی، PLC ها جایگزین چه مدارهایی شده‌اند و نسبت به آنها چه مزایایی دارند؟ ذکر ۴ مورد کافی است.
- ۱۰- برای مدارهای زیر با استفاده از دستور AND و OR در STEP7 مدل FBD, LAD, STL را بنویسید.

CIRCUIT



CIRCUIT



- ۱۱- تابع تبدیل برای معادلات فضای حالت زیر بنویسید:  $(G=C(SI-A)^{-1}B+D)$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 0 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

$$y = [1 \quad -1] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

- ۱۲- بلوک دیاگرام و معادلات فضای حالت را برای سیستم با تابع تبدیل زیر بدست آورید:

$$G(s) = \frac{12}{s^3 + 2s^2}$$

موفق باشید