مکاترونیک ۲

علی چائی بخش

مقدمه‌ای بر سیستم‌های مکاترونیکی

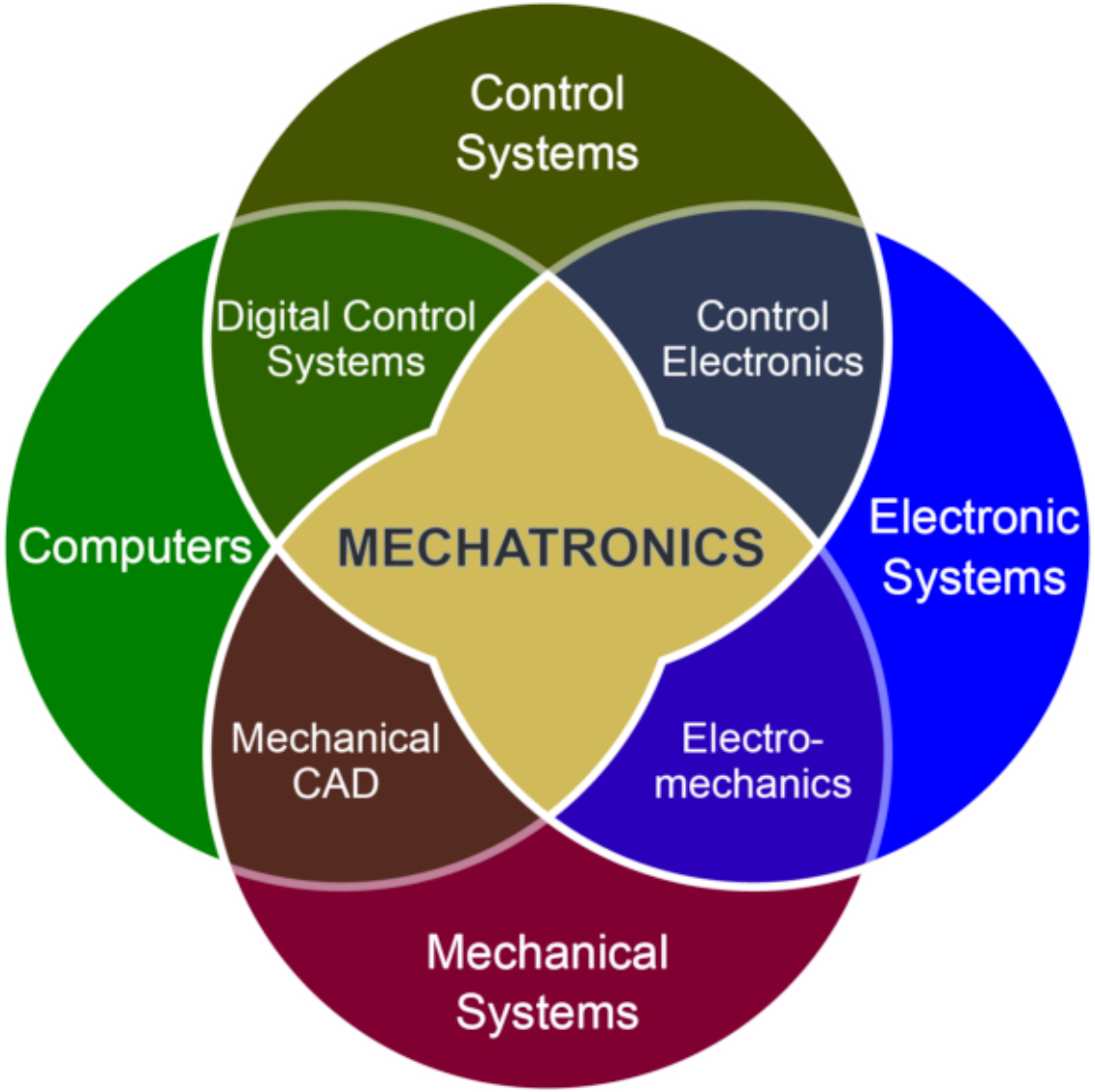
تعاریف و مفاهیم اولیه

مکاترونیک

- از نظر یاسکاوا
  - کلمه مکاترونیک از "مکا" از مکانیزم و "ترونیک" از الکترونیک تشکیل شده است.
  - به عبارت دیگر، فناوری‌ها و محصولات پیشرفته که از تجهیزات الکترونیک به گونه ای در مکانیزم‌های مکانیکی آن ملحق و جایدهی شده اند به صورتی که تشخیص سر و ته تجهیز غیرممکن می‌سازد.
- از نظر بولتن (جدیدترین تعریف)
  - یک سیستم مکاترونیک فقط ترکیبی از سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی نبوده و چیزی فراتر از یک سیستم کنترلی است. این یک ادغام کامل از همه آنها است.

مکاترونیک

- تصور از مکاترونیک بر اساس تعریف بولتن

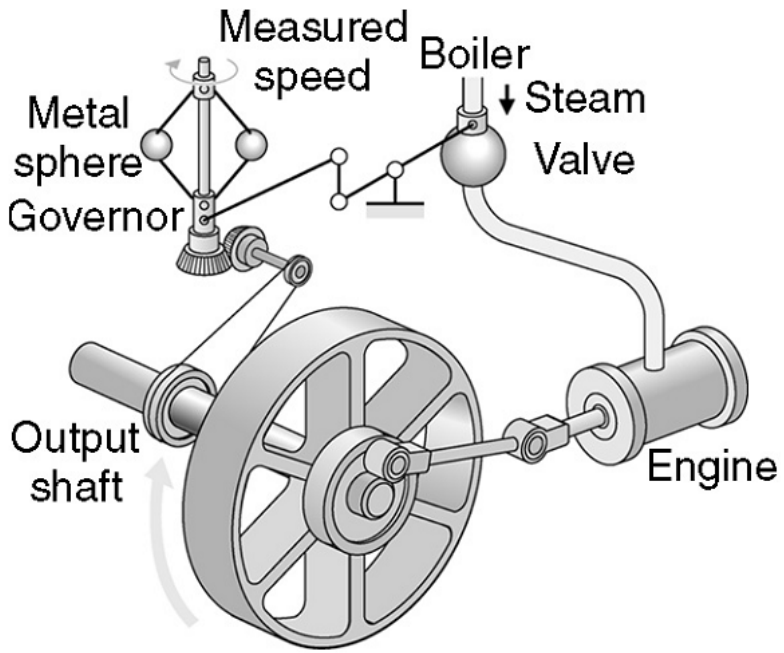


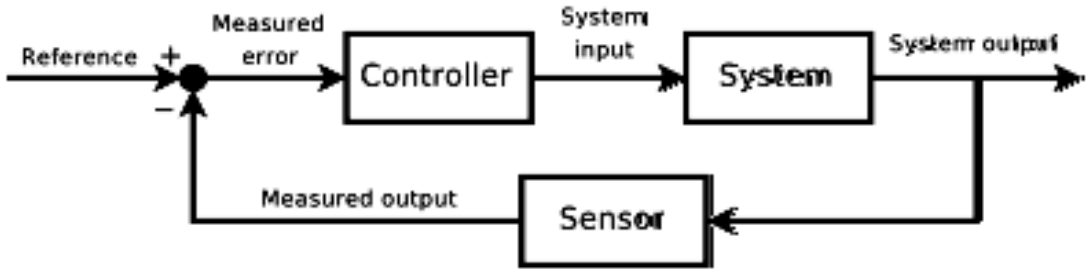
سیستم‌های مکاترونیک

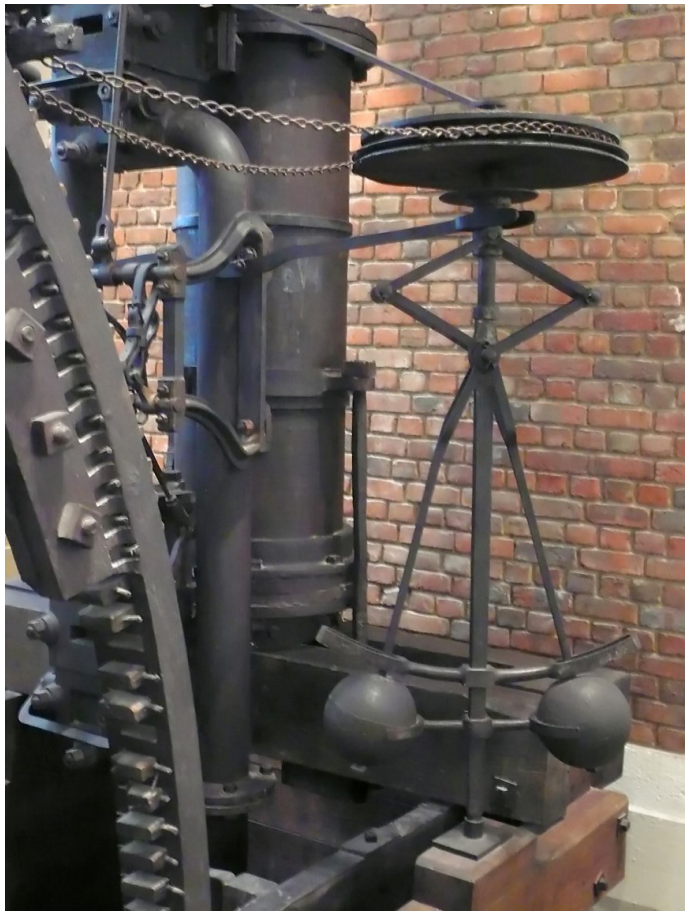
- سریع ترین ربات Pick & Place

سیستم‌های مکاترونیک

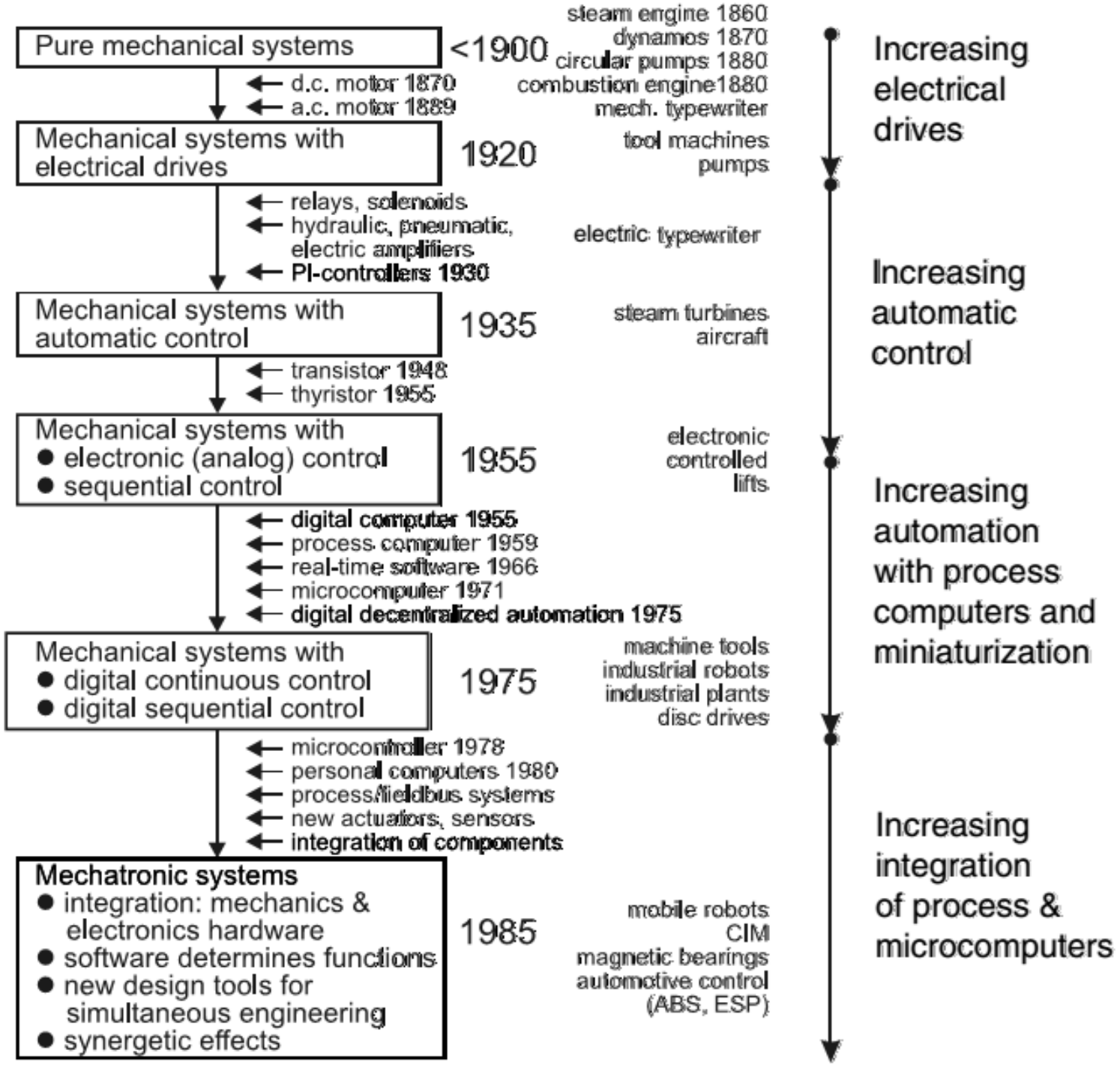
- فلای ویل جیمز وات ۱۷۶۹



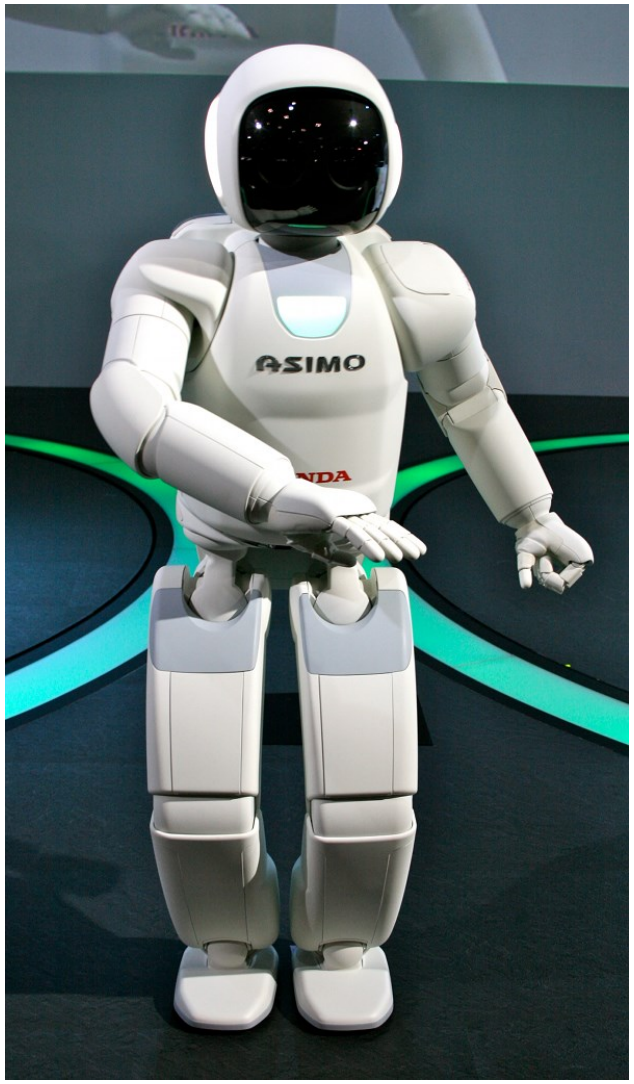




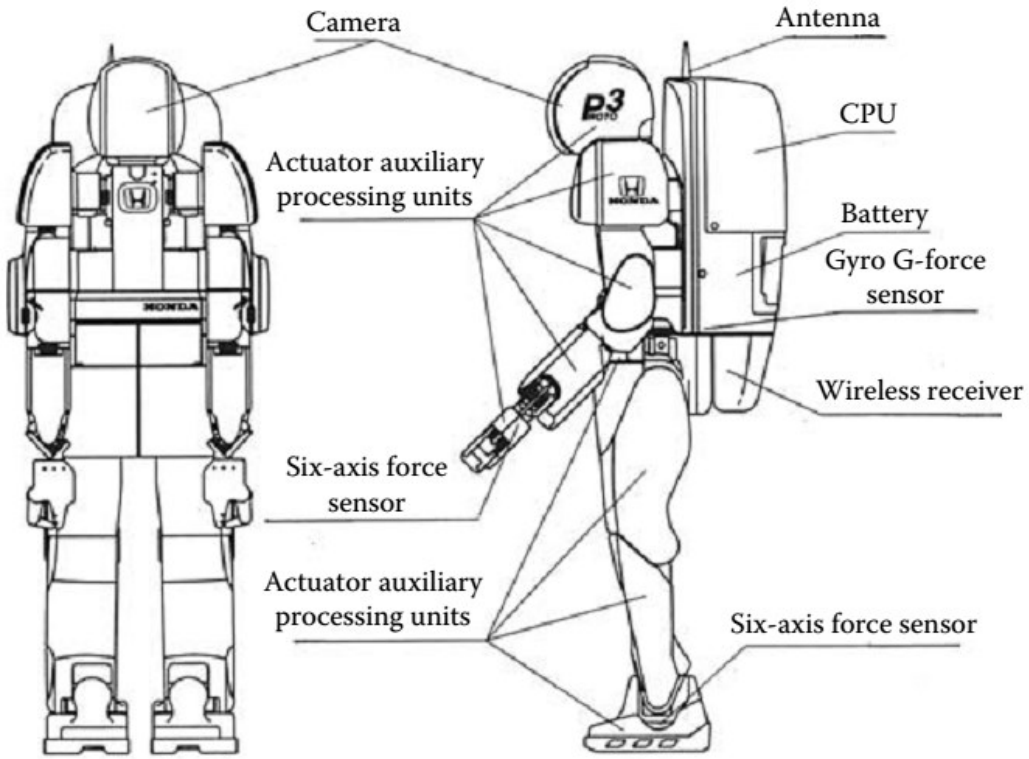
- تاریچه تود
سیستم‌های
مکاترونیکی



سیستم‌های مکاترونیک



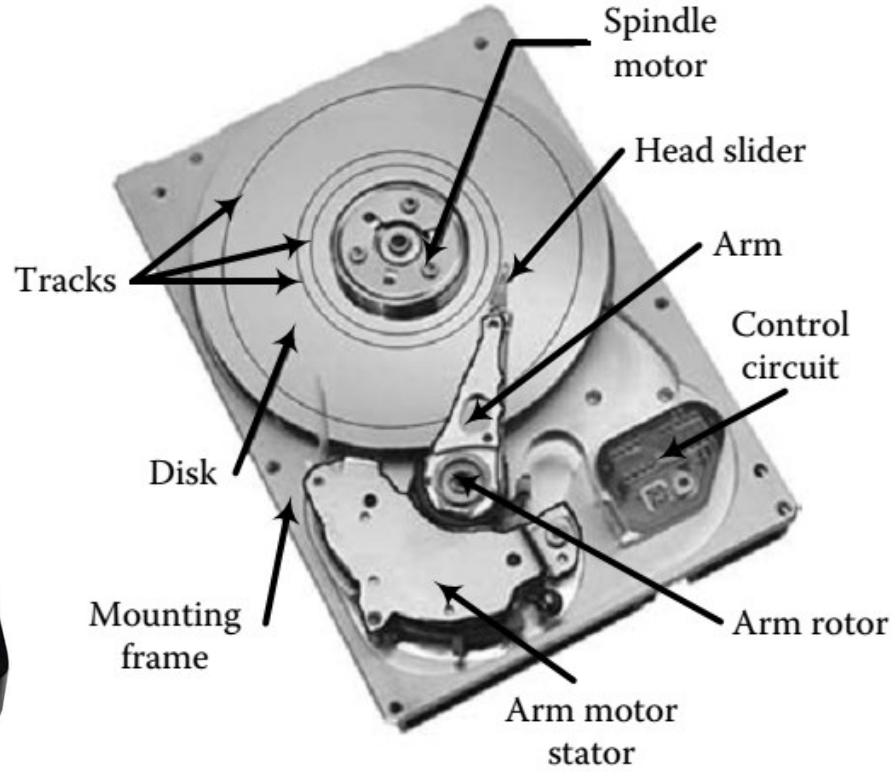
- ربات انسان نمای ASIMO از شرکت HONDA



سیستم‌های مکاترونیک

- واحدهای HDD، یک سیستم مکاترونیکی تمام عیار





سیستم‌های مکاترونیکی

- در دهه ۱۹۷۰، تجهیزات مکاترونیکی توسط JSPMI* به ۴ دسته عمده تقسیم بندی شد:
  - کلاس I: محصولات مکانیکی که تجهیزات الکترونیکی برای افزایش عملکرد آنها از بیرون به آن گنجانده شده اند. (ماشین ابزارهای کنترل عددی و درایوهای سرعت متغیر در ماشین های تولیدی)
  - کلاس II: سیستم‌های مکانیکی متداول که تجهیزات داخلی آنها با قطعات الکترونیک به صورت قابل توجه ای به روز رسانی شده است ولی رابط های کاربری خارجی بدون تغییر هستند. (چرخ خیاطی مدرن، خطوط تولید خودکار)

* Japan Society for the Promotion of Machine Industry

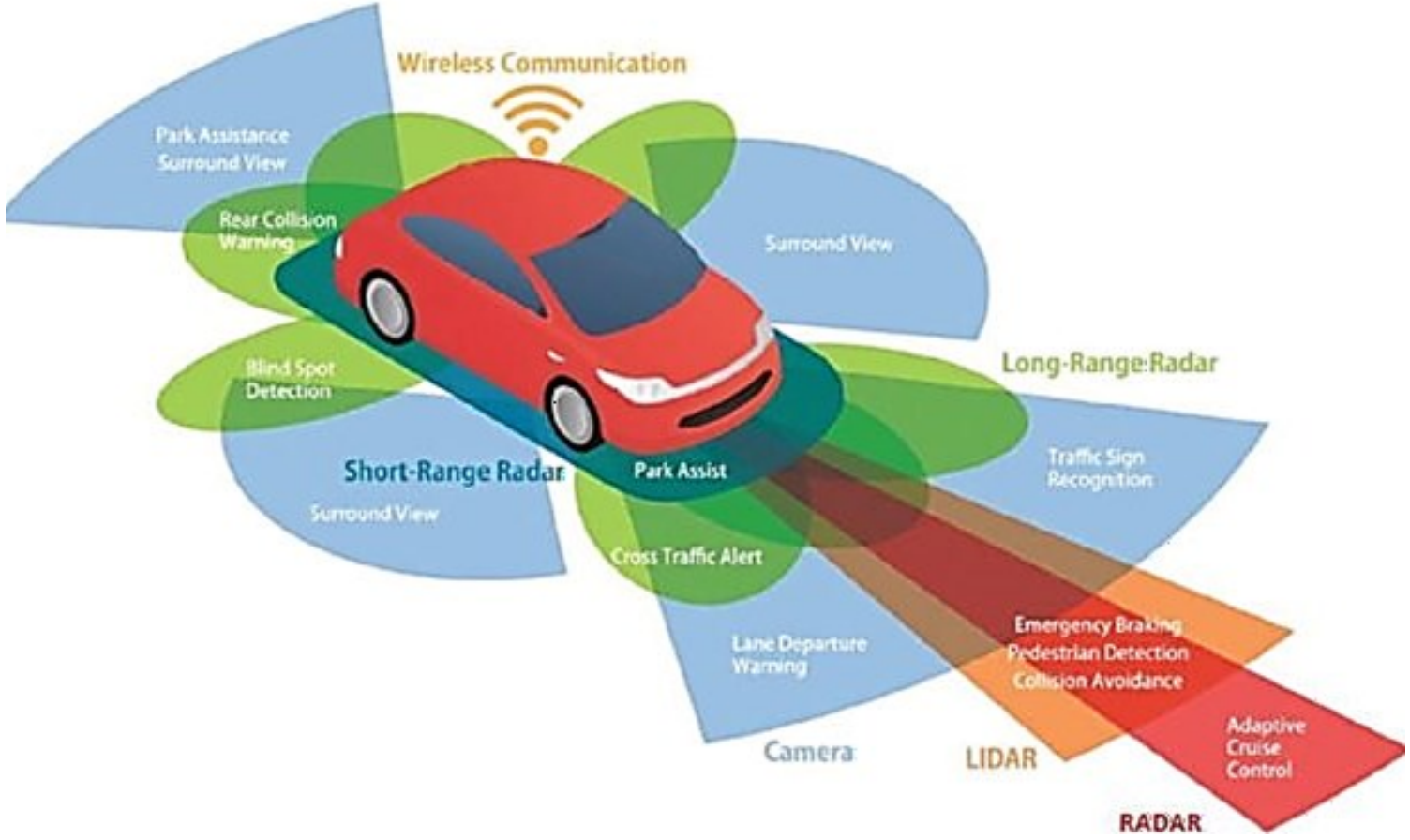
سیستم‌های مکاترونیکی

- کلاس III : سیستم‌هایی که عملکرد سیستم مکانیکی متداول را حفظ می کنند، اما مکانیزم های داخلی با تجهیزات الکترونیک جایگزین می شوند. (ساعت دیجیتال)

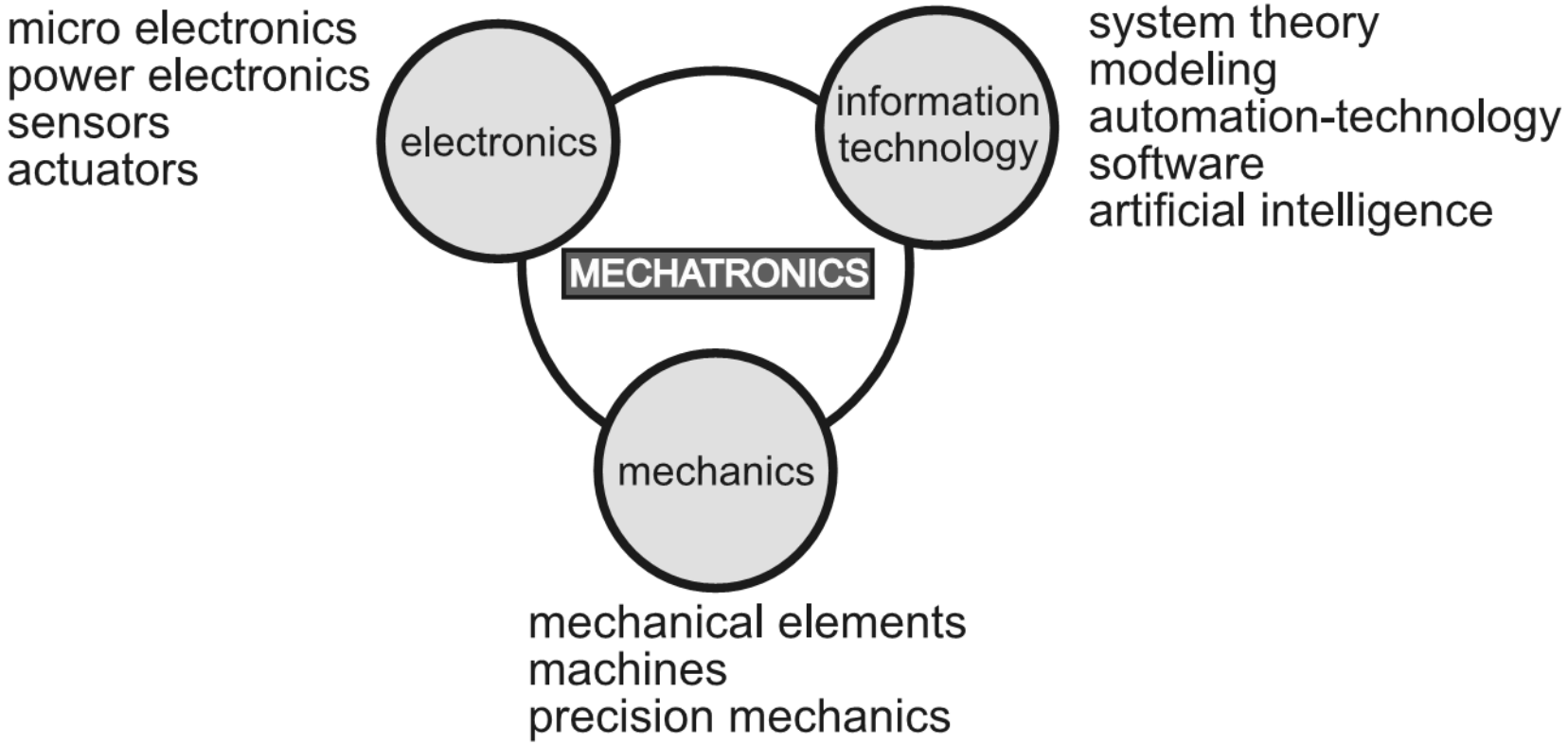
- کلاس IV: محصولات طراحی شده با فناوری های مکانیکی و الکترونیکی که برای هم افزایی یکپارچه شده اند. (دستگاه های فتوکپی، ماشین لباسشویی و خشک کن هوشمند)

خودروهای خودران

- کوهی از تجهیزات الکترونیکی و کنترلی در خودروهای خودران بکار گرفته شده و این وسایل نقیله را از یک "خودرو" به یک سیستم مکاترونیکی تبدیل کند.



وضعیت فعلی


micro electronics
power electronics
sensors
actuators
electronics
information technology
system theory
modeling
automation-technology
software
artificial intelligence
MECHATRONICS
mechanics
mechanical elements
machines
precision mechanics

تقسیم بندی سیستم‌های مکاترونیکی

- پنج زیر دسته برای سیستم‌های مکاترونیکی قابل تعریف است:

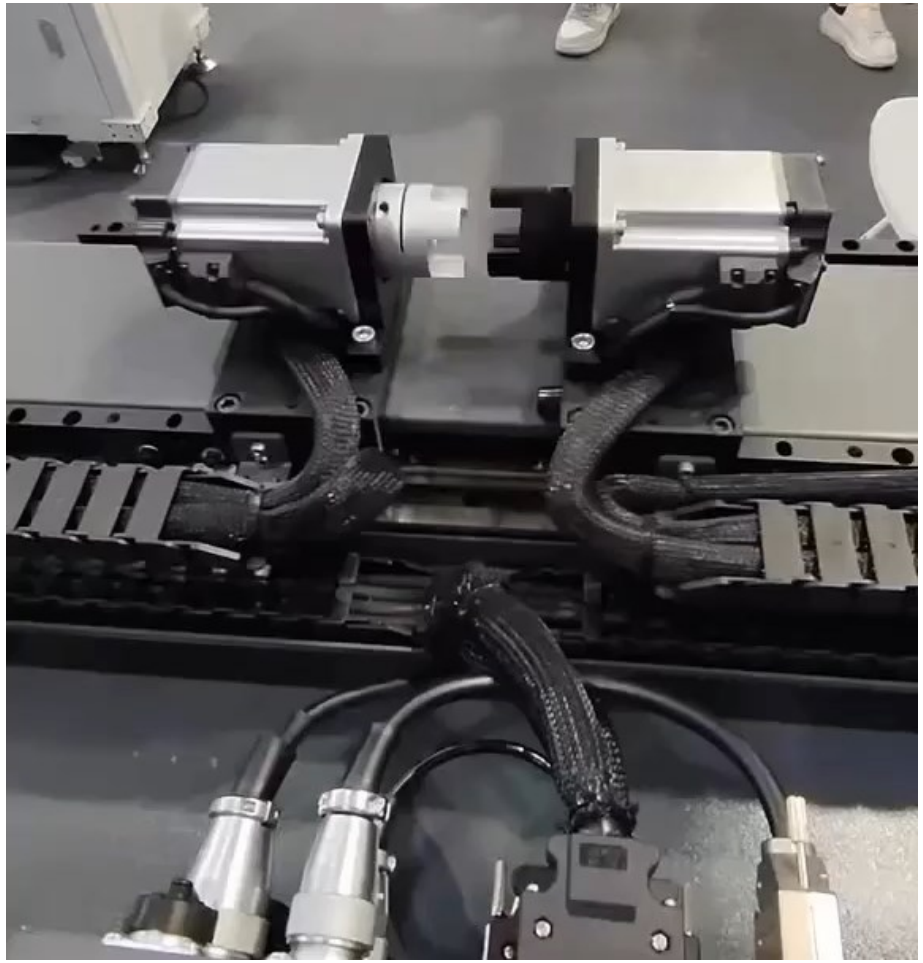
- Mechatronic Systems
- Mechatronic Machines
- Mechatronic Vehicles
- Precision Mechatronics
- Micro Mechatronics

Ultra Precision Servo

Ultra Precision Milling

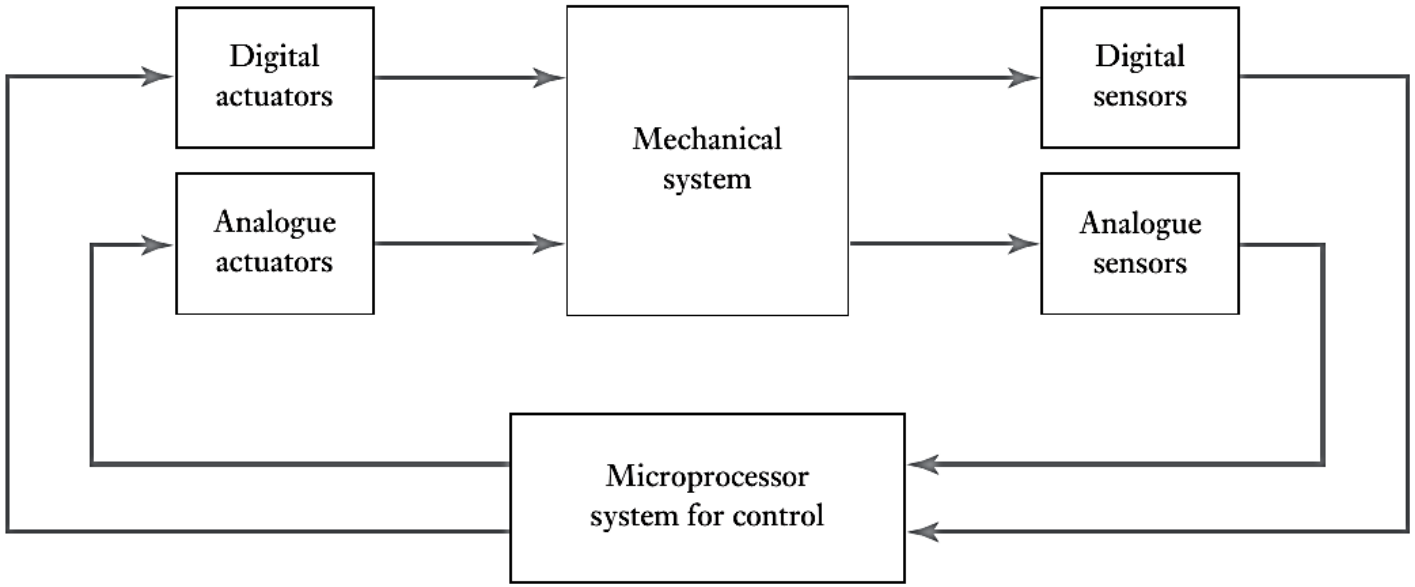


Ultra Precision Servo



اجزای سیستم‌های مکاترونیکی

- المان های پایه ای یک سیستم مکاترونیکی
  - سنسورهای دیجیتال / سنسورهای آنالوگ
  - سیستم ریزپردازنده برای کنترل
  - عملگرهای دیجیتال / عملگرهای آنالوگ



سیستم اندازه‌گیری

- به طور کلی می توان سیستم‌های اندازه‌گیری را ساخته شده در نظر گرفت از سه عنصر اساسی تشکیل شده است:

  - حسگر خروجی آن به شکل سیگنالی مرتبط با کمیت اندازه‌گیری است. به عنوان مثال، ترموکوپل یک سنسور دما است. ورودی سنسور یک دما و خروجی e.m.f است که مربوط به مقدار دما است.

  - یک حالت دهنده سیگنال که سیگنال را از حسگر گرفته و آن را به صورتی دستکاری می کند که برای نمایش یا استفاده در یک سیستم کنترلی مناسب باشد

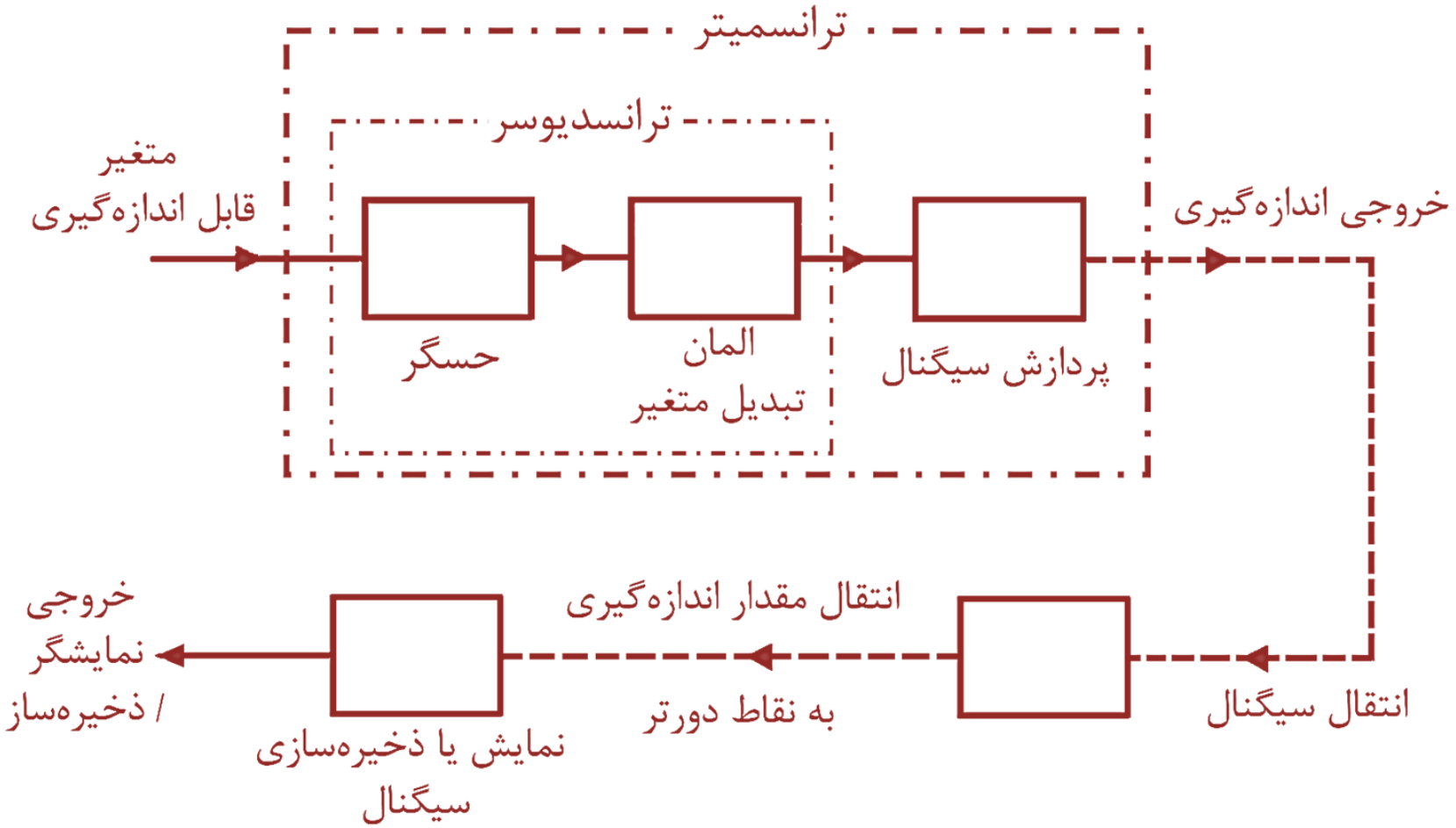
سیستم اندازه‌گیری

- واژه سنسور (بخصوص در صنعت) معمولا برای یک سیستم اندازه‌گیری شامل مجموعه سنسور اولیه، ترانسدیوسر و ترانسمیتر عنوان می‌شود

  - ترانسدیوسر = سنسور + المان تبدیل متغیر

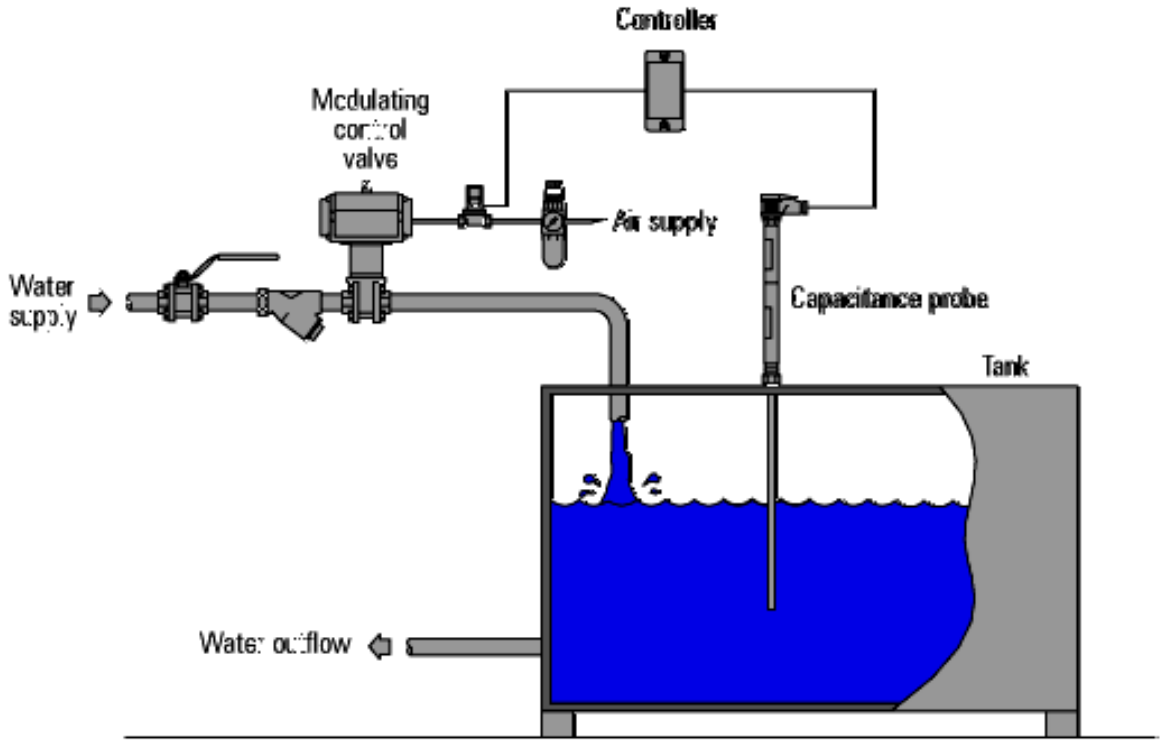
  - ترانسمیتر = ترانسدیوسر + پردازش سیگنال

سیستم اندازه‌گیری



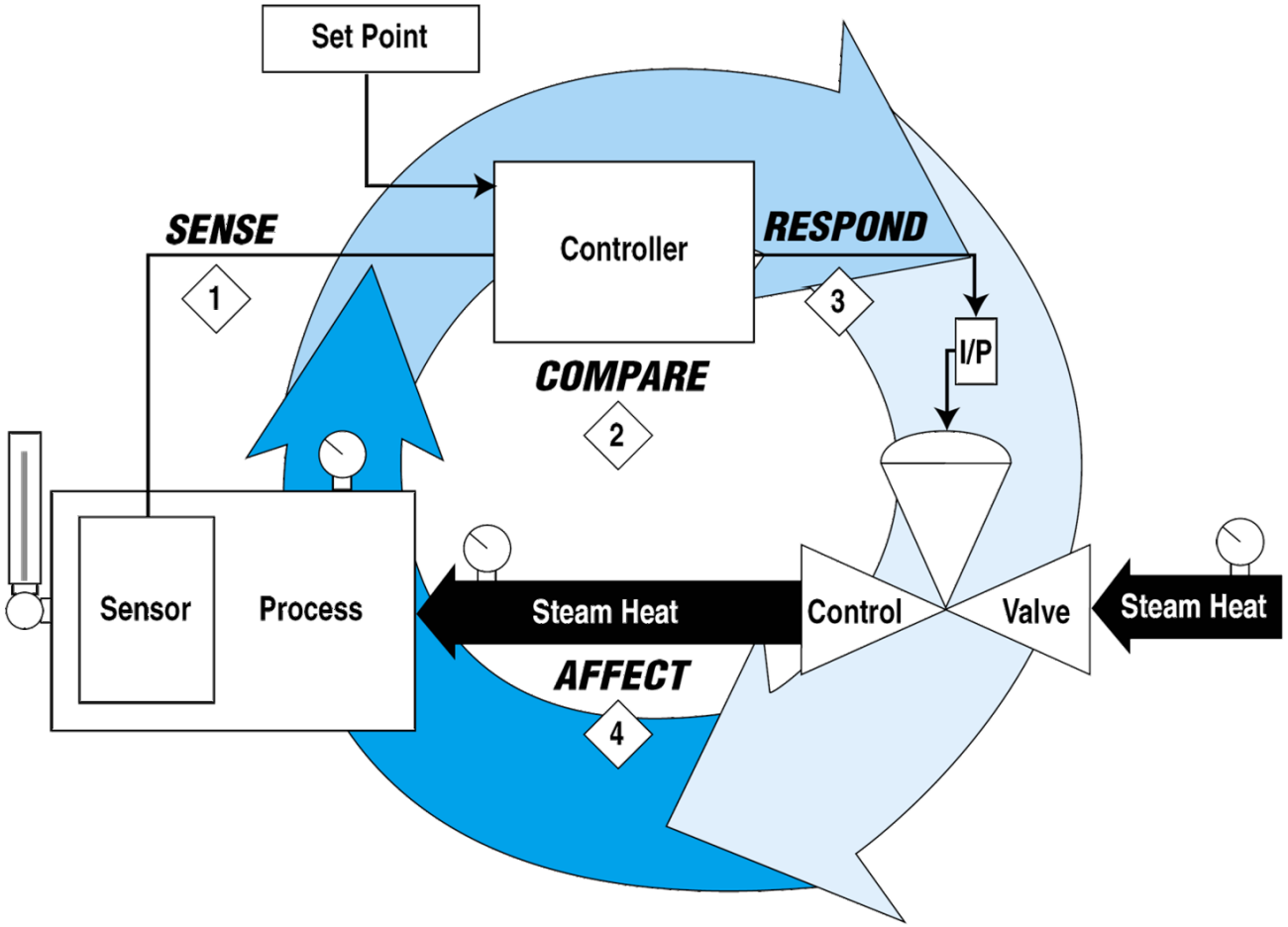
سیستم کنترلی

- اجزای ابزاردقیق
  - یک ابزار برای
    - اندازه‌گیری
    - نشان دادن
    - کنترل کردن



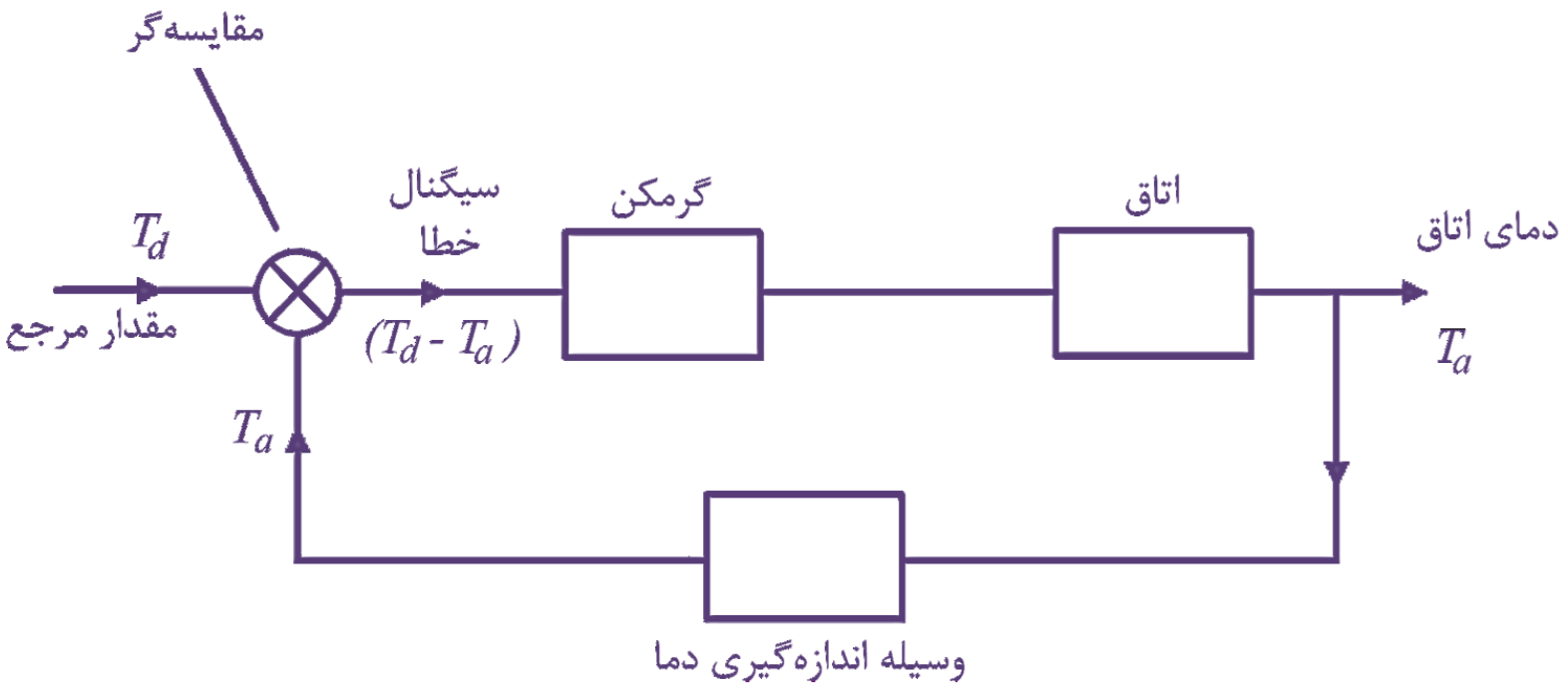
سیستم کنترلی

- فرآیند کنترل
  - اندازه‌گیری
  - مقایسه
  - پاسخ دهی
  - تاثیرگذاری



سیستم کنترلی

- نمایش جعبه‌ای (بلوک دیاگرام) یک سیستم کنترل حرارتی ساده

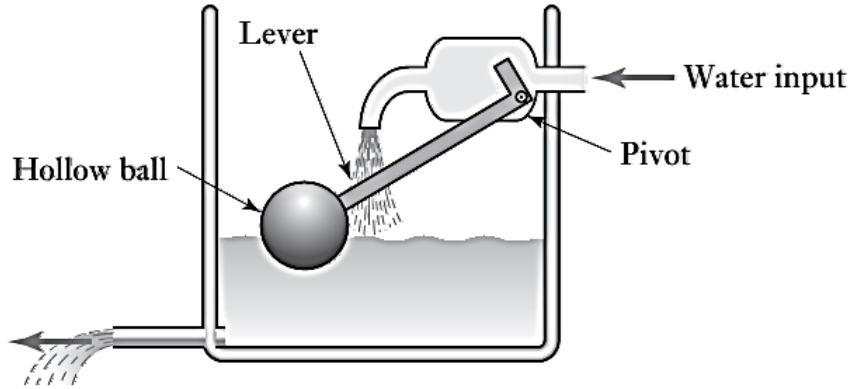


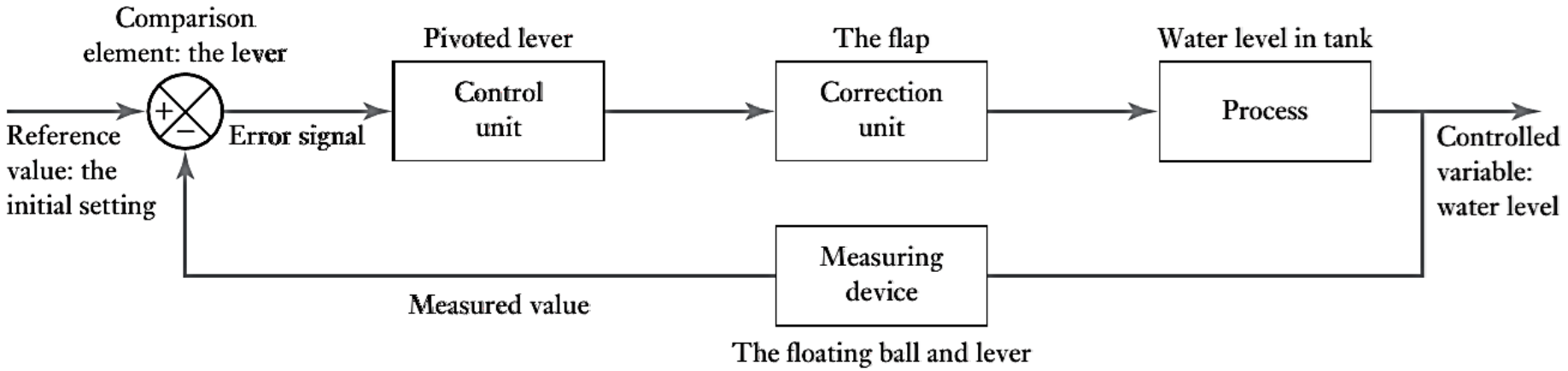
سیستم کنترلی

- اجزای حلقه بسته کنترلی
  - Controlled variable — متغیر کنترلی
  - Reference value — مقدار مرجع
  - Comparison element — المان مقایسه
  - Error signal — سیگنال خطا
  - Control unit — واحد کنترل
  - Correction unit — واحد اصلاح
  - Process — فرآیند
  - Measuring device — تجهیز اندازه‌گیری

سیستم کنترلی

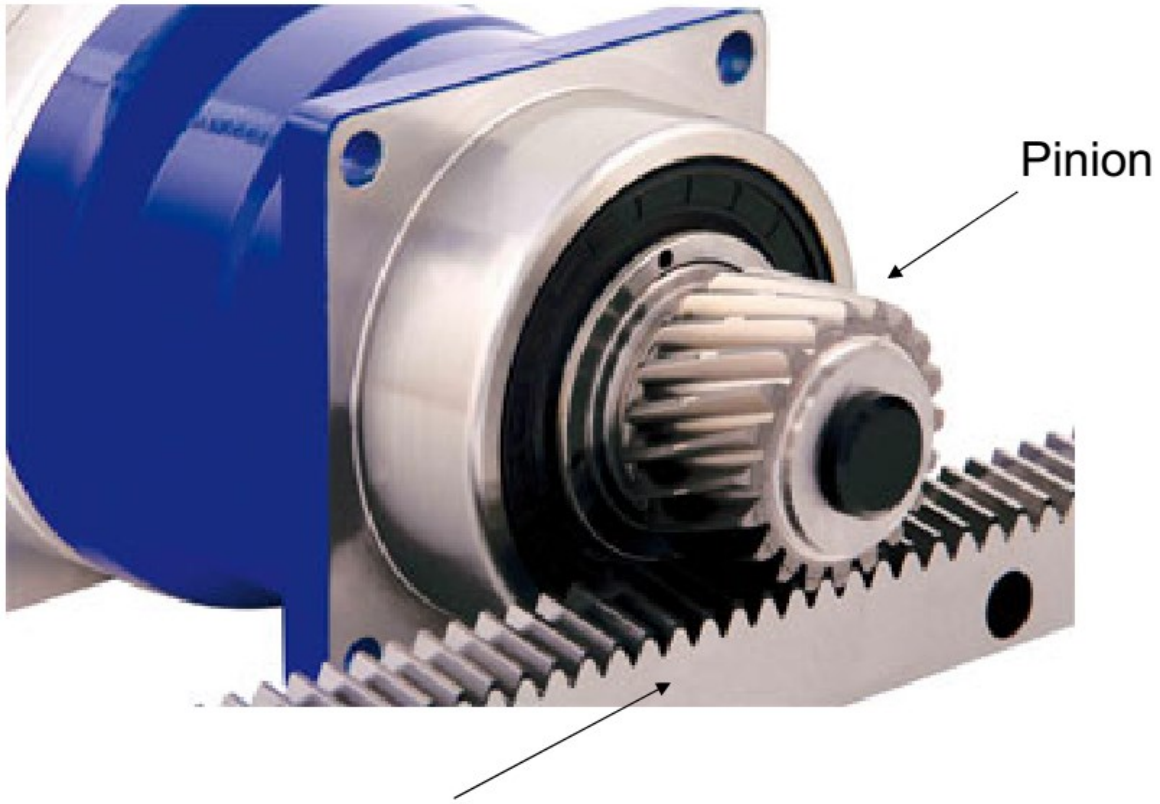
- بخش های مختلف سیستم کنترل سطح





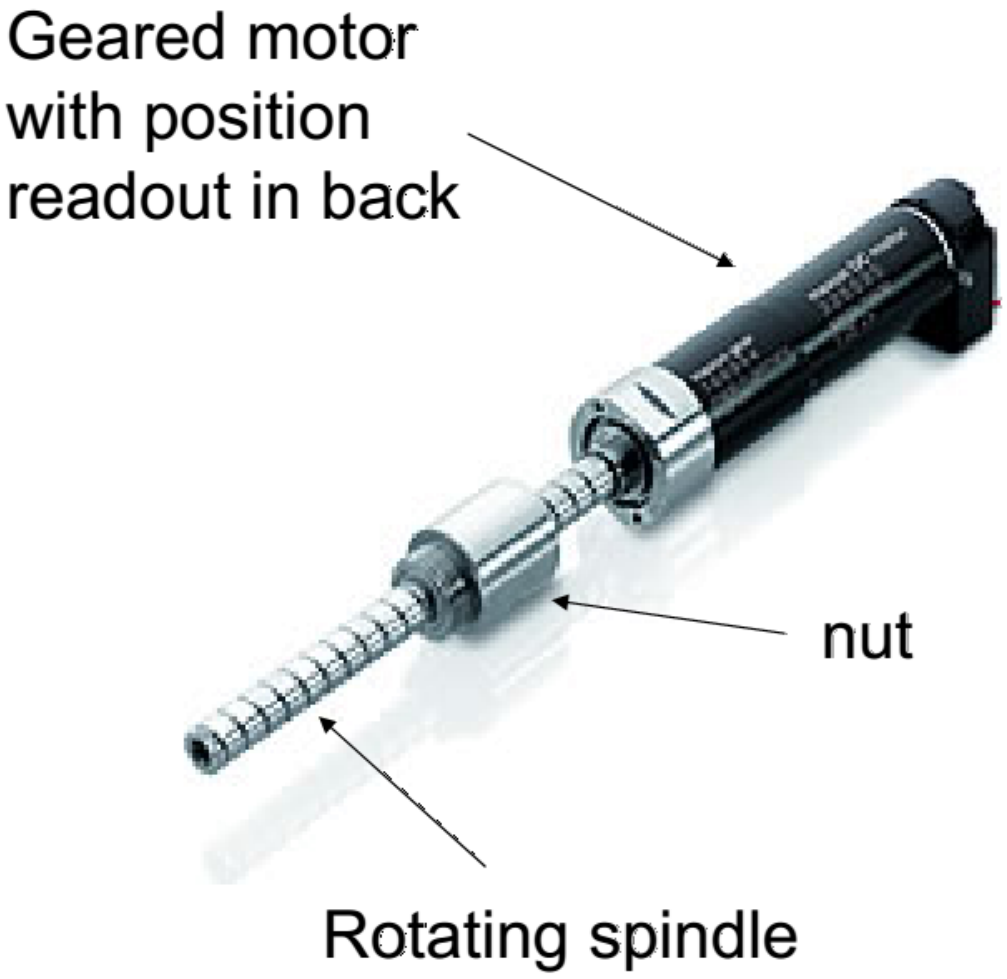
سیستم‌های آنالوگ

- مثال: راک و پینیون



سیستم‌های آنالوگ

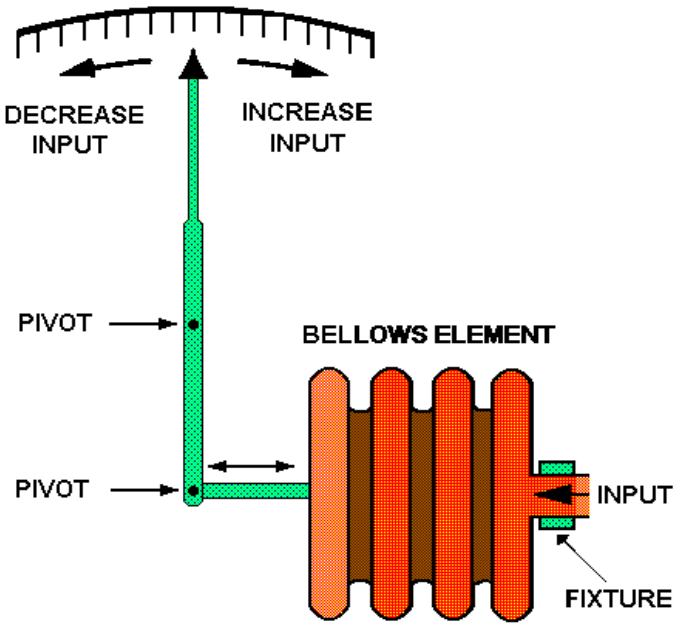
- مثال: موتور اسپیندل مارپیچی



سیستم‌های آنالوگ

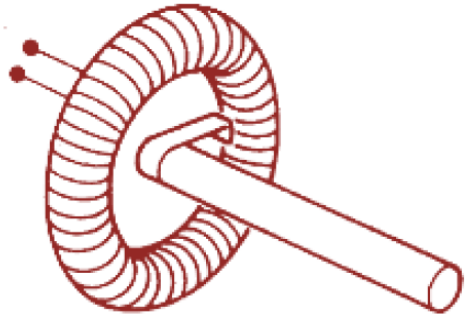
- مثال: فشارسنج فانوسی (Bellows)
- یک نمونه ثبت کننده نیوماتیک

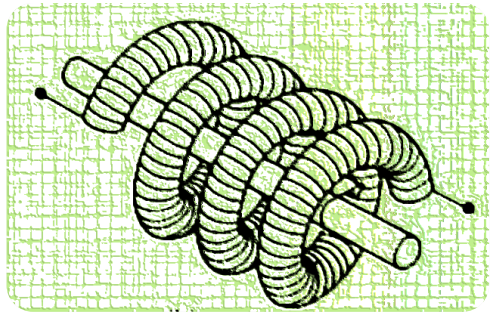




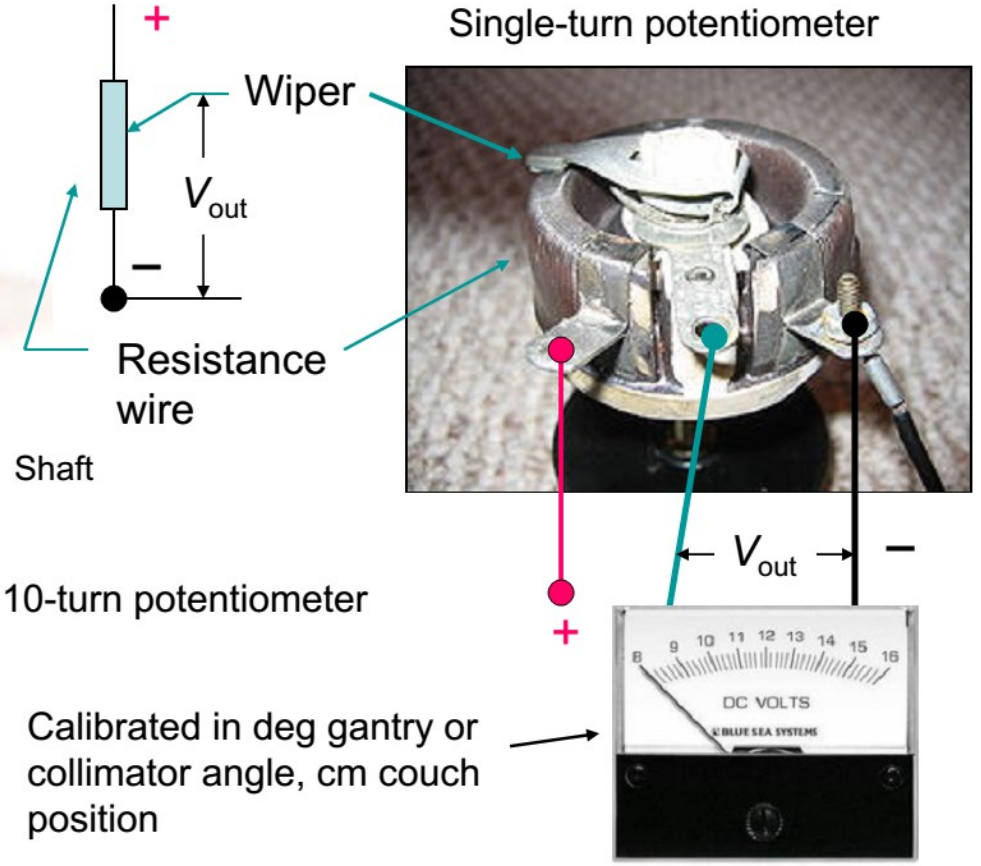
سیستم‌های آنالوگ

- مثال: پتانسیومترهای دایره‌ای / پتانسیومتر مارپیچی





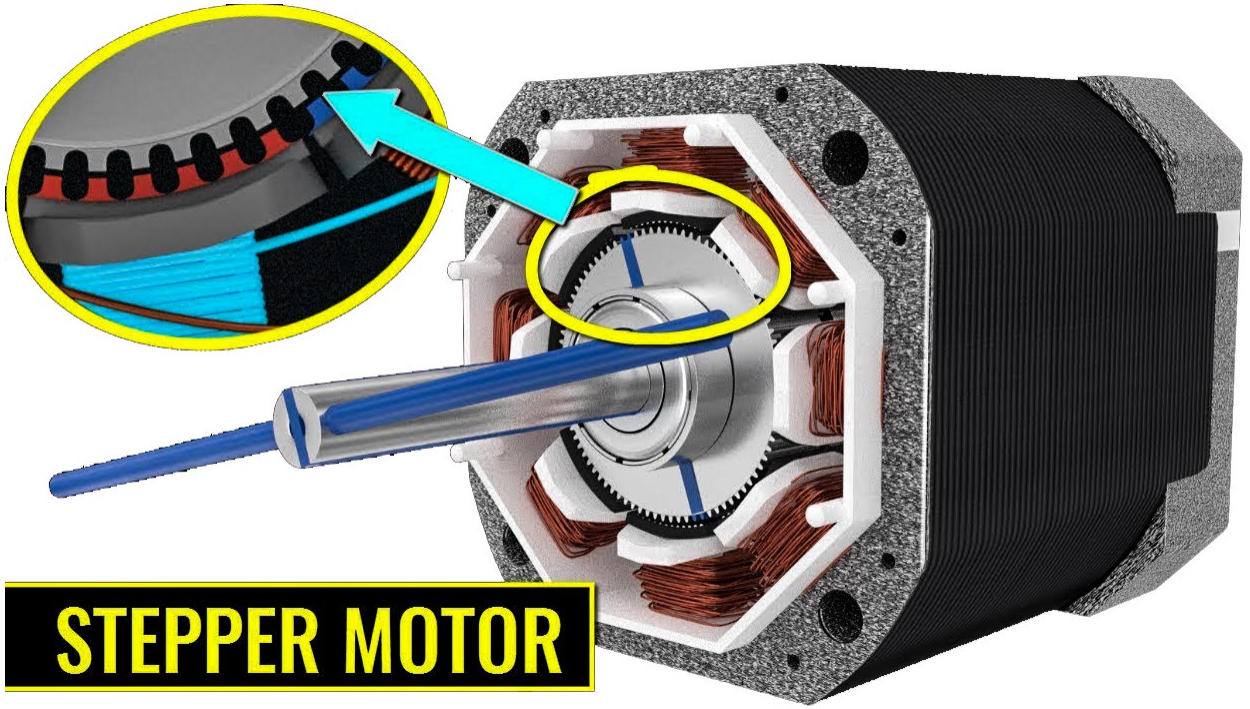




سیستم‌های دیجیتال

- مثال: استپر موتور

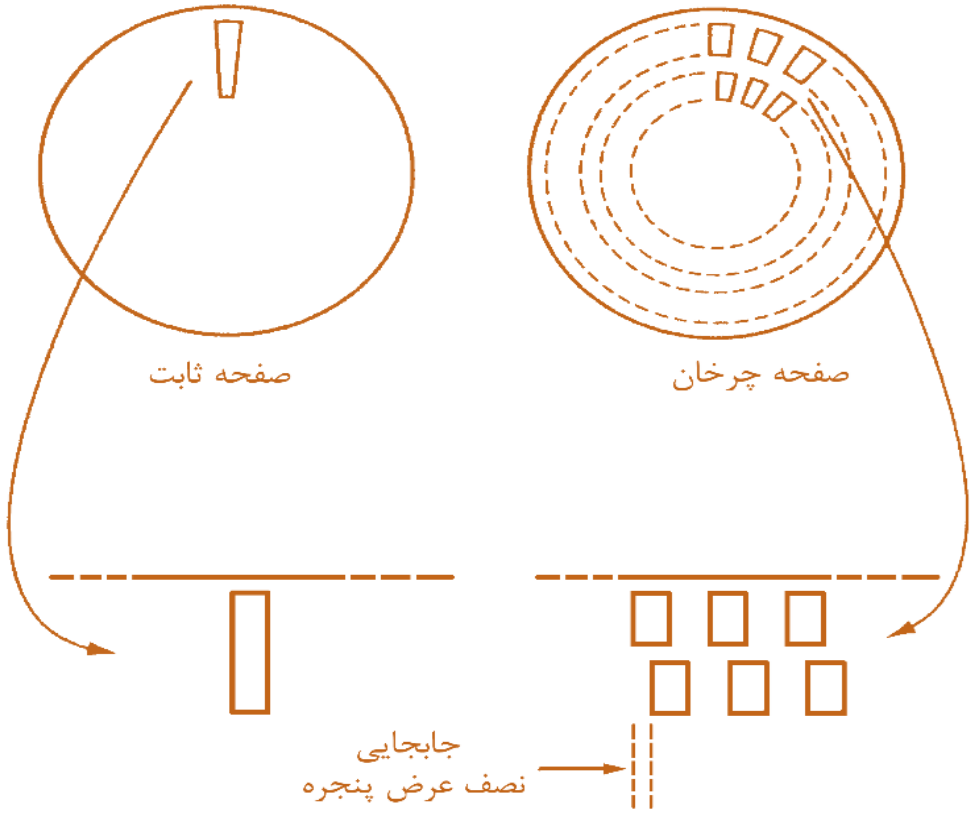




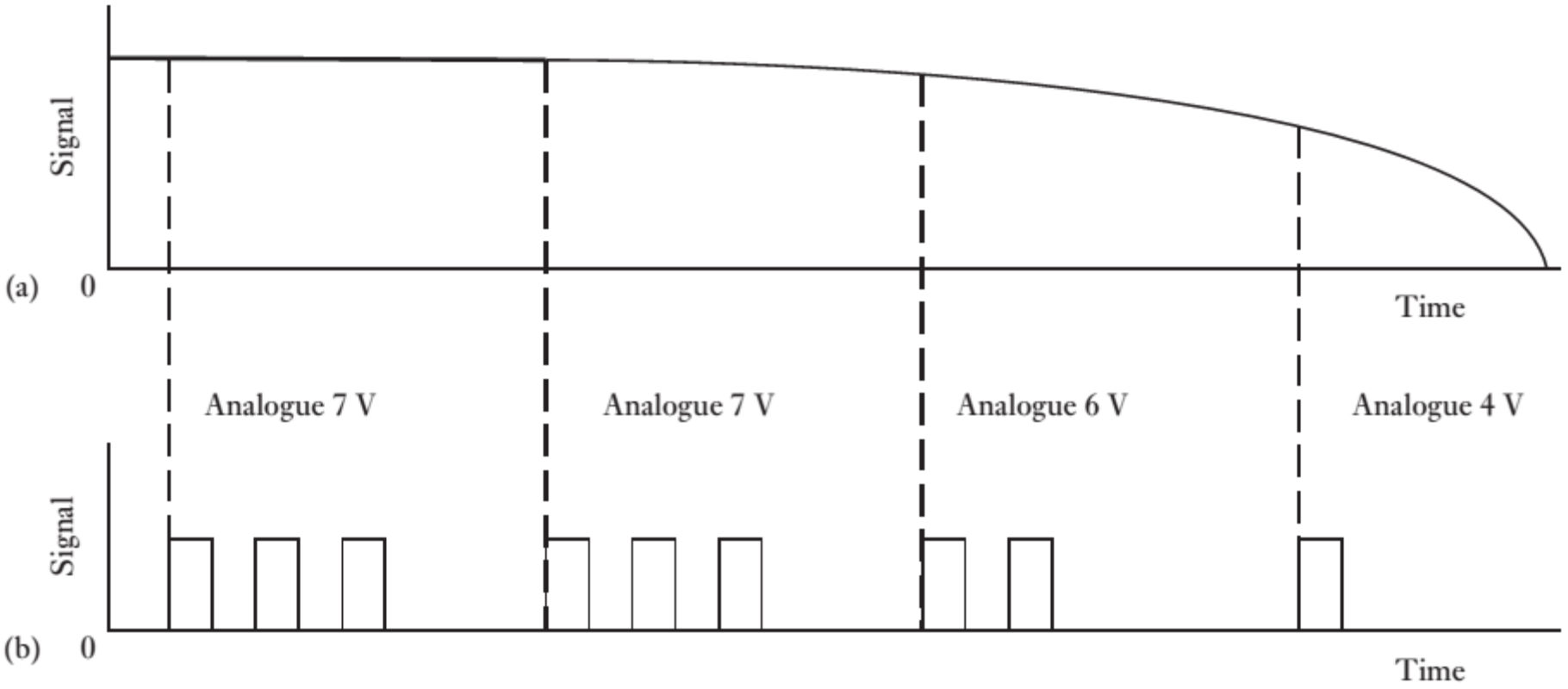
سیستم‌های دیجیتال

- مثال: اینکودرهای افزایشی



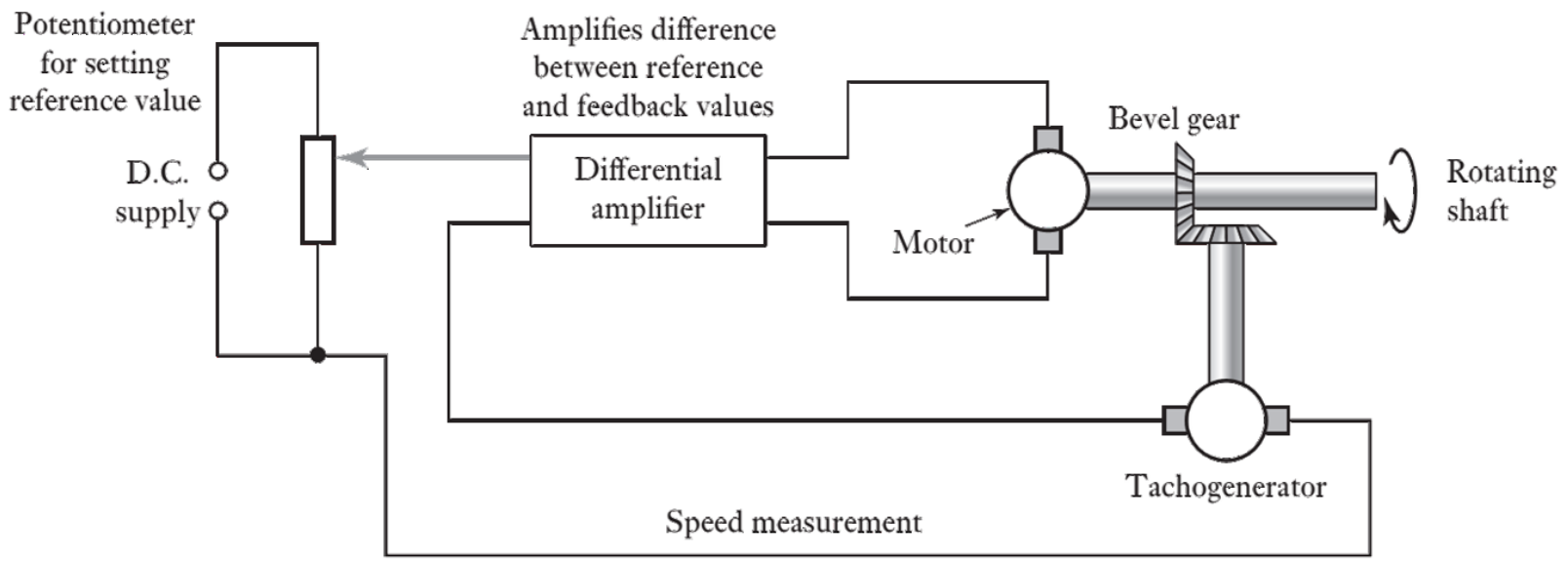


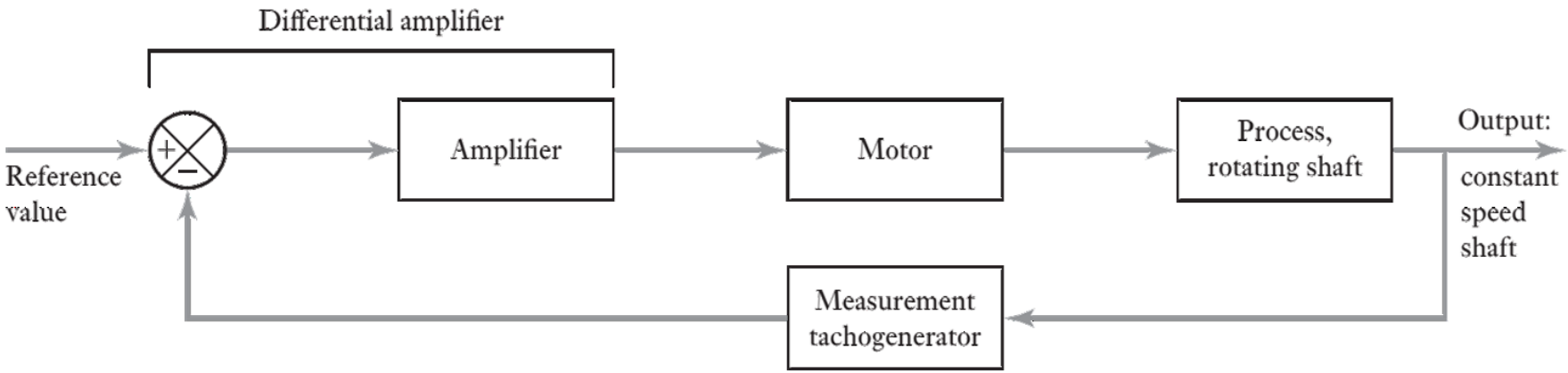
سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتال



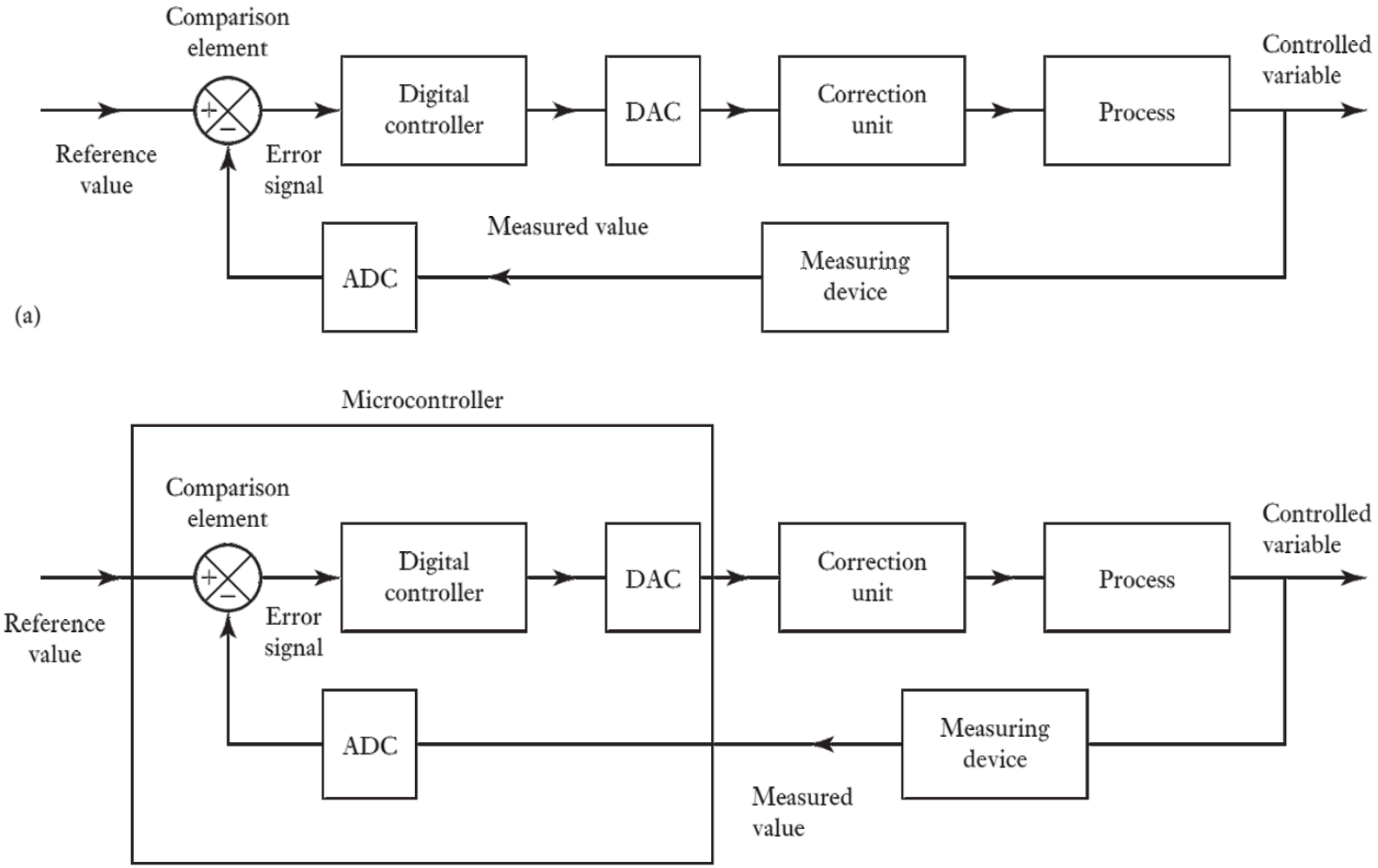
کنترلرهای آنالوگ

- کنترل





کنترلرهای دیجیتال



سنسور،
ترانسفورمر،
ترانسدیوسر

مشخصات استاتیکی
و دینامیکی

مشخصات استاتیکی ابزارها

صحت (Accuracy)

- میزان نزدیکی خروجی خوانده شده توسط ابزار اندازه‌گیری به میزان واقعی آن
- استفاده از میزان عدم صحت یا *نامعینی اندازه‌گیری* بجای صحت بیشتر مرسوم می‌باشد .

عدم صحت

- بیانگر امکان اشتباه بودن مقدار قرائت شده بوده که اغلب به صورت درصدی از بازه کامل (f.s.) تغییرات کمیت بیان می‌شود.

صحت: مثال

– یک فشارسنج با محدوده اندازه‌گیری صفر تا ۱۰ بار با عدم صحت ۱± درصد موجود می‌باشد.

- الف) حداکثر خطای اندازه‌گیری قابل انتظار برای این وسیله چقدر است؟

- ب) در صورتی که این فشارسنج مقدار فشار یک بار را اندازه‌گیری کند، میزان خطای بیان شده به صورت درصدی از میزان خوانده شده چقدر است؟

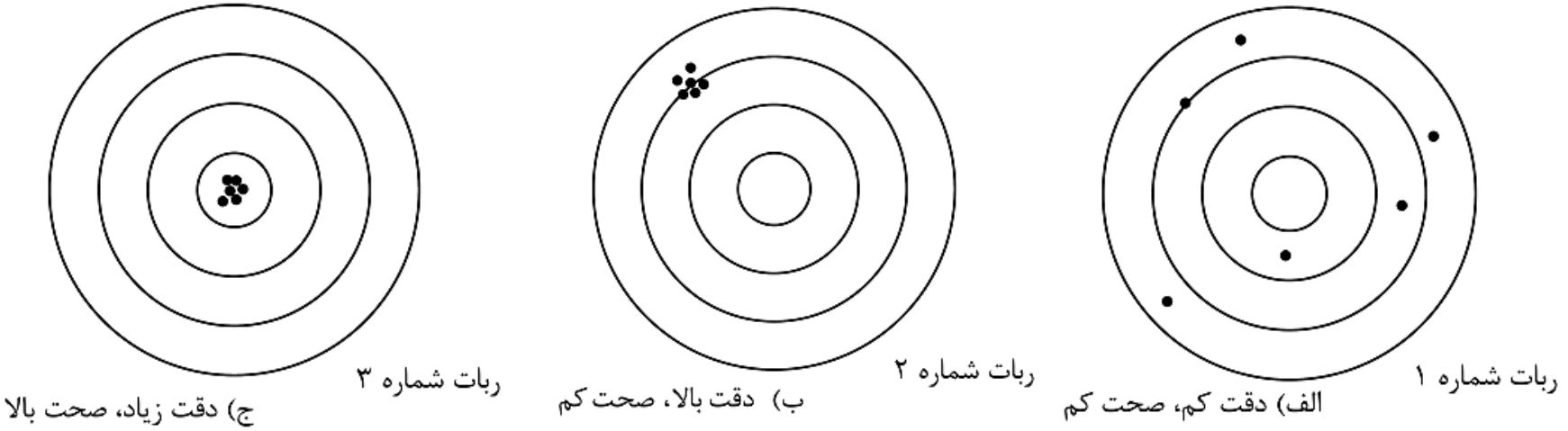
صحت: مثال

- الف) حداکثر خطای اندازه‌گیری قابل انتظار برای هر مقدار اندازه‌گیری برابر با ٪ ۱ در بازه کامل که برای این ابزار مشخص برابر با ۱۰ بار است. بنابراین حداکثر خطای ممکن ۰/۱ بار = ۱۰ بار × ٪ ۱ می‌باشد.

- ب) حداکثر خطای اندازه‌گیری، صرف نظر از بزرگی مقدار واقعی یک کمیت اندازه‌گیری، یک مقدار ثابت وابسته به بازه کامل یک ابزار می‌باشد. در این شرایط حداکثر مقدار خطا برابر با ۰/۱ بار خواهد بود. بنابراین، زمانی که فشار ۱ بار اندازه‌گیری می‌شود، حداکثر خطای ممکن برای ۰/۱ بار برابر با ۱۰ درصد مقدار اندازه‌گیری شده است.

مشخصات استاتیکی ابزارها

- دقت (Precision)
  - اصطلاحی است که درجه آزادی از خطای تصادفی یک ابزار اندازه‌گیری را توصیف می‌کند



مشخصات استاتیکی ابزارها

تکرارپذیری (Repeatability)

- بیانگر نزدیکی خروجی قرائت شده در شرایطی است که ورودی‌های یکسان به صورت مکرر و در یک بازه زمانی کوتاه با شرایط اندازه‌گیری، ابزار، ناظر، مکان و شرایط عملکرد یکسان اعمال شوند.

$$\text{repeatability} = \frac{\text{max.} - \text{min. values given}}{\text{full range}} \times 100$$

قابلیت بازتولید (Reproducibility)

- بیانگر میزان نزدیکی خروجی‌های خوانده شده برای ورودی‌های یکسان می‌باشد در صورتی که روش اندازه‌گیری، ناظر، ابزارها ، مکان، شرایط استفاده و زمان اندازه‌گیری تغییر کند.

مشخصات استاتیکی ابزارها

- **تلرانس (Tolerance)**

❖ تلرانس اصطلاحی است که تقریبا وابسته به صحت بوده، به صورت حداکثر خطای قابل انتظار در مقدار اندازه‌گیری شده تعریف می‌شود.

❖ در صورت توجه به معنی دقیق تلرانس، خواهیم دید که تلرانس، در واقع یک مشخصه استاتیکی برای ابزارهای اندازه‌گیری نمی‌باشد.

تلرانس: مثال

- یک بسته مقاومت از یک فروشگاه تامین قطعات الکترونیک با مقاومت اسمی Ω ۱۰۰۰ و تلرانس تولید ۵ درصد خریداری شده است. مقدار مقاومت حداکثر و حداقل ممکن برای یک مقاومت در انتخاب تصادفی از این مجموعه خاص چقدر می‌تواند باشد؟

حداقل مقاومت ممکن برابر است با: Ω ۱۰۰۰ – ٪۵ = Ω ۹۵۰

حداکثر مقاومت ممکن برابر است با: Ω ۱۰۰۰ + ٪۵ = Ω ۱۰۵۰

مشخصات استاتیکی ابزارها

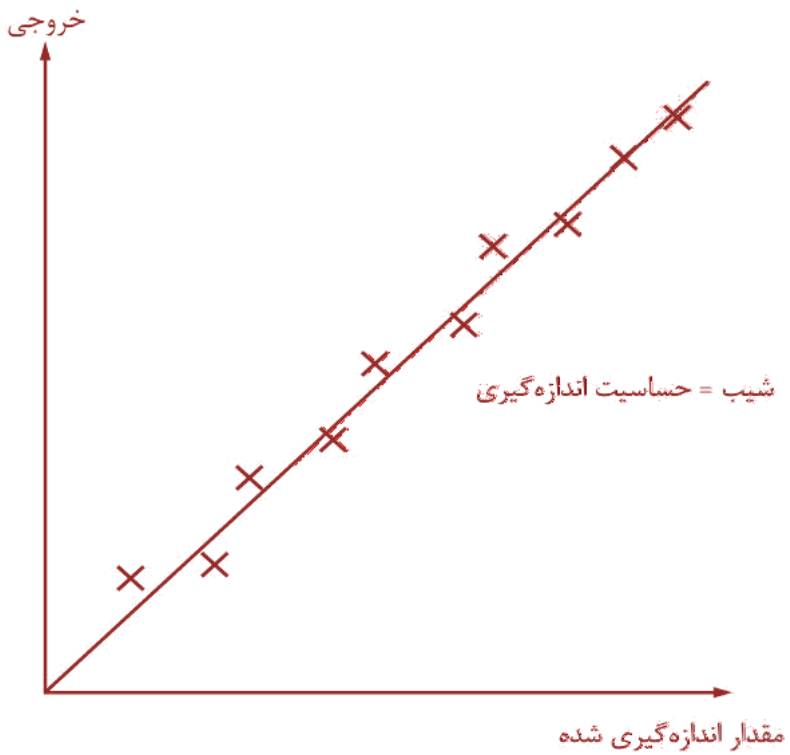
برد (Range) یا محدوده (Span)

- برد یا محدوده یک ابزار اندازه‌گیری به صورت حداقل و حداکثر مقدار یک کمیت را که آن ابزار برای اندازه‌گیری آن طراحی شده، تعریف می‌گردد.

مشخصات استاتیکی ابزارها

خطی بودن

- این اصطلاح معمولا بیانگر تغییرات خطی خروجی خوانده شده یک ابزار اندازه‌گیری متناسب با مقدار کمیت اندازه‌گیری شده است.



مشخصات استاتیکی ابزارها

❖ حساسیت اندازه‌گیری (Sensitivity)

- بیانگر میزان تغییرات در خروجی ابزار اندازه‌گیری بوده، زمانی که کمیت اندازه‌گیری شده به میزان معینی تغییر کند

$$\frac{\text{انحراف در خروجی}}{\text{تغییرات در کمیت اندازه‌گیری مولد انحراف}}$$

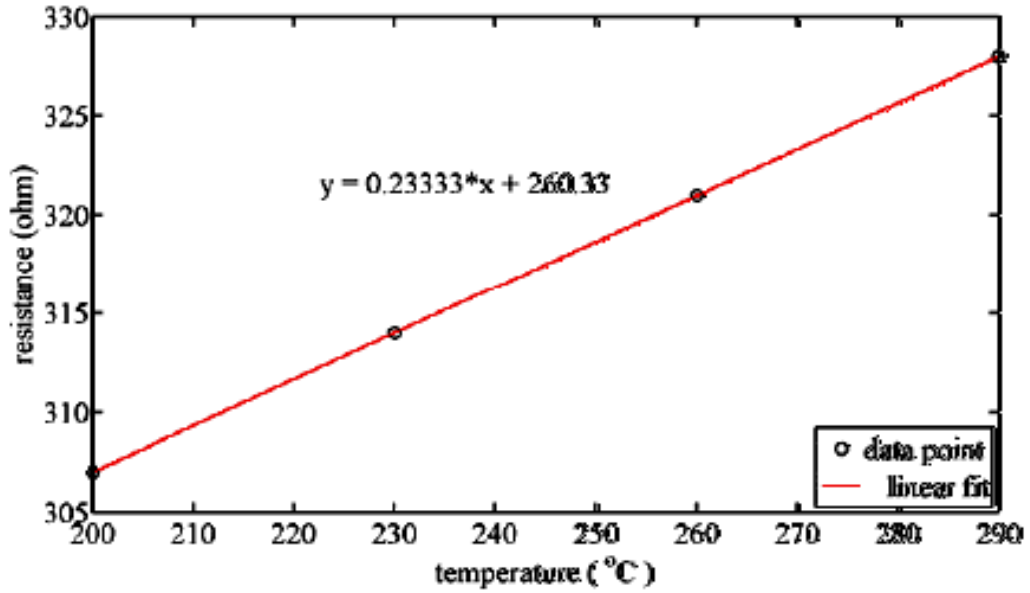
مشخصات استاتیکی ابزارها

- مثال: مقدار مقاومت یک دماسنج مقاومتی از نوع پلاتین به ازای دماهای مختلف اندازه‌گیری شده است. میزان حساسیت دستگاه اندازه‌گیری را بر حسب $(\Omega/^oC)$ تعیین کنید

مقاومت (Ω)	دما (^oC)
۳۰۷	۲۰۰
۳۱۴	۲۳۰
۳۲۱	۲۶۰
۳۲۸	۲۹۰

مشخصات استاتیکی ابزارها

- حل: اگر مقادیر داده شده به صورت یک نمودار رسم شوند، رابطه بین تغییرات دما و تغییرات مقاومت به صورت یک خط مستقیم مشهود خواهد بود. به ازای هر تغییر دمای ۳۰°C، تغییر مقاومتی برابر با ۷ Ω ایجاد خواهد شد، بنابراین حساسیت اندازه‌گیری برابر است با:



$$۷(\Omega/^{o}C) \div ۳۰ = ۰/۲۳۳$$

مشخصات استاتیکی ابزارها

آستانه (Threshold)

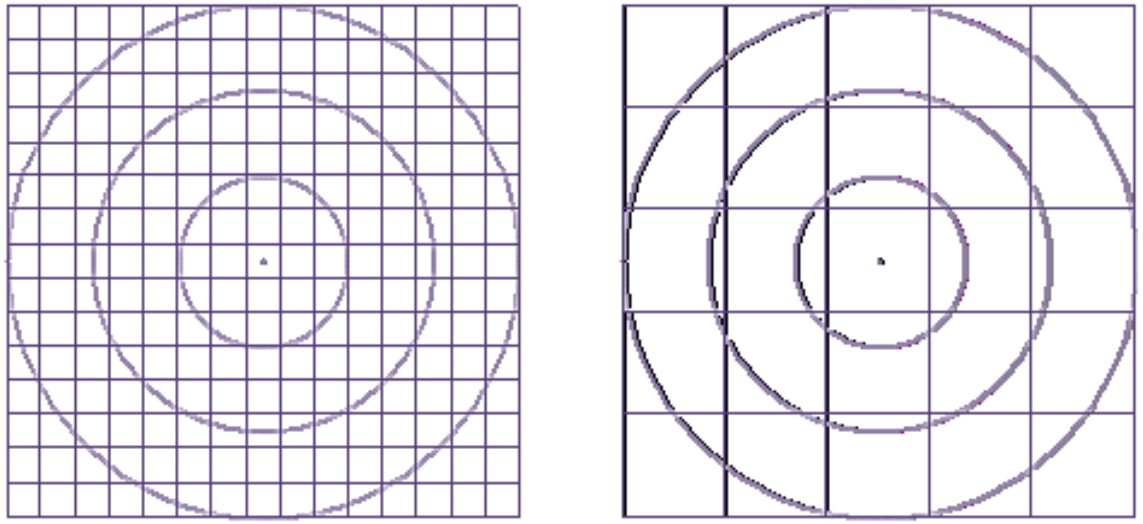
- در صورت افزایش تدریجی ورودی یک ابزار اندازه‌گیری از مقدار صفر، برای آشکار شدن تغییرات در خروجی ابزار، ورودی آن می‌بایست به یک مقدار حداقل مشخص رسیده باشد. این حداقل مقدار ورودی، آستانه یک ابزار اندازه‌گیری نامیده می‌شود.



مشخصات استاتیکی ابزارها

- تفکیک (Resolution)

زمانی که یک ابزار اندازه‌گیری خروجی خاصی را نشان می‌دهد، به ازای تغییر در دامنه کمیت ورودی، حداقل تغییرات محسوسی در خروجی آن ابزار وجود خواهد داشت که به آن تفکیک گویند.



High Resolution

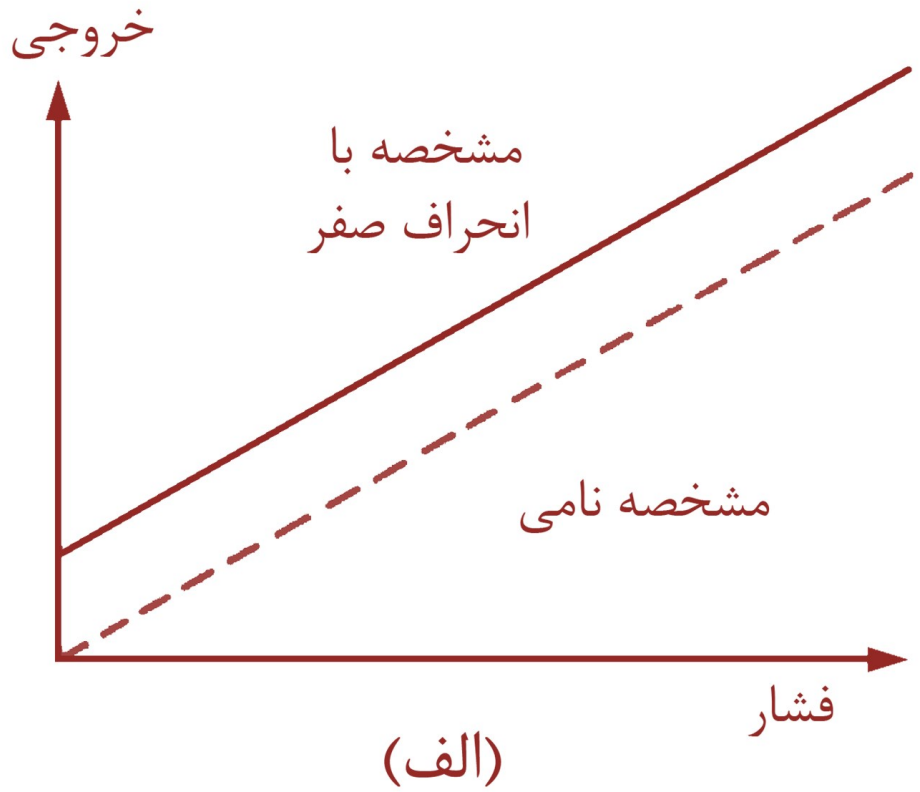
Low Resolution

مشخصات استاتیکی ابزارها

- انحراف صفر یا بایاس
  - بیانگر اثر تغییر در شرایط محیطی بر روی صفر خوانده شده از دستگاه اندازه‌گیری می‌باشد.
  - این امر باعث ایجاد خطای ماندگار در بازه کامل تمامی ابزارهای اندازه‌گیری خواهد شد.
  - به عنوان مثال، نوع مکانیکی ترازوی حمام، یک ابزار اندازه‌گیری مستعد برای انحراف صفر است.

مشخصات استاتیکی ابزارها

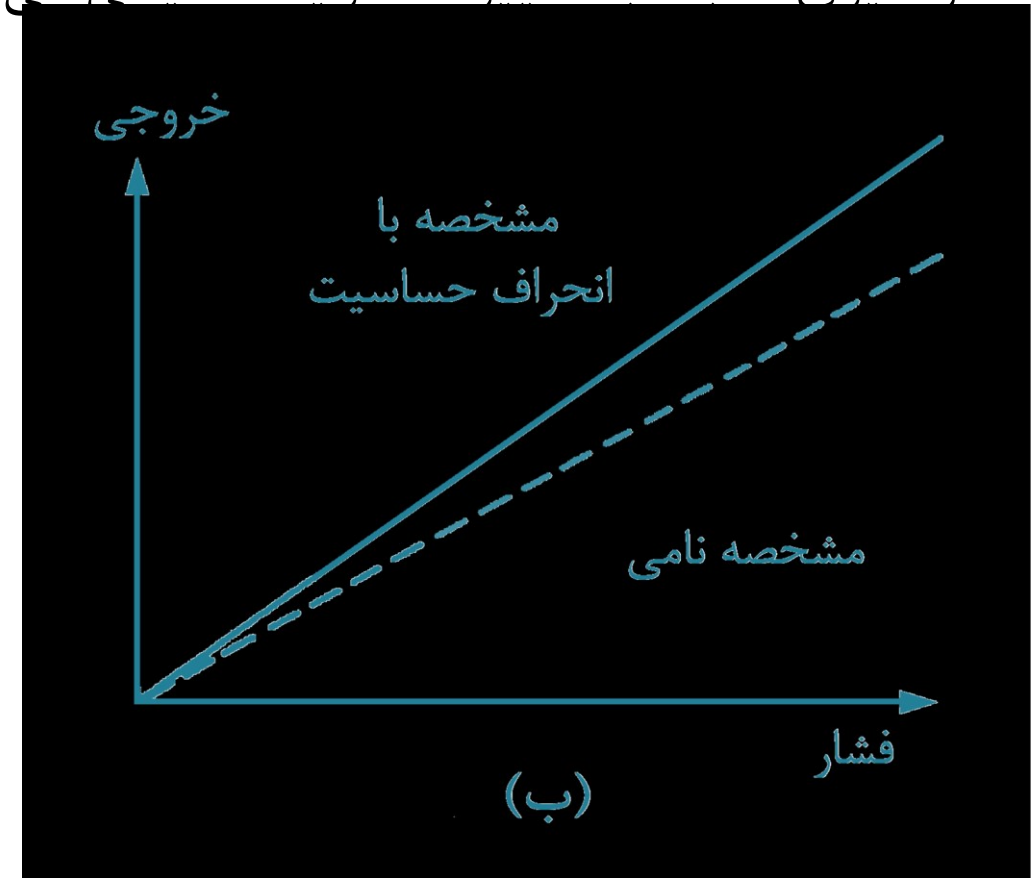
- انحراف صفر



مشخصات استاتیکی ابزارها

انحراف حساسیت (ضریب تبدیل مقیاس)

- بیانگر میزان تغییر حساسیت یک ابزار اندازه‌گیری نسبت به تغییرات شرایط محیطی می‌باشد.



مشخصات استاتیکی ابزارها

- مثال: یک ترازوی فنری در محیطی با دمای ۲۰ ^{o}C کالیبره شده و مشخصات آن به صورت میزان انحراف بر حسب بار به صورت زیر می‌باشد.

بار (kg)	۰	۱	۲	۳
انحراف (mm)	۰	۲۰	۴۰	۶۰

سپس این ابزار در محیطی با دمای ۳۰ ^{o}C مورد استفاده قرار گرفته و مشخصات (انحراف به بار) آن به صورت زیر بدست می‌آید.

بار (kg)	۰	۱	۲	۳
انحراف (mm)	۵	۲۷	۴۹	۷۱

مشخصات استاتیکی ابزارها

- یزان انحراف صفر و انحراف حساسیت به ازای تغییرات دما بر حسب ^{o}C محاسبه نمایید.

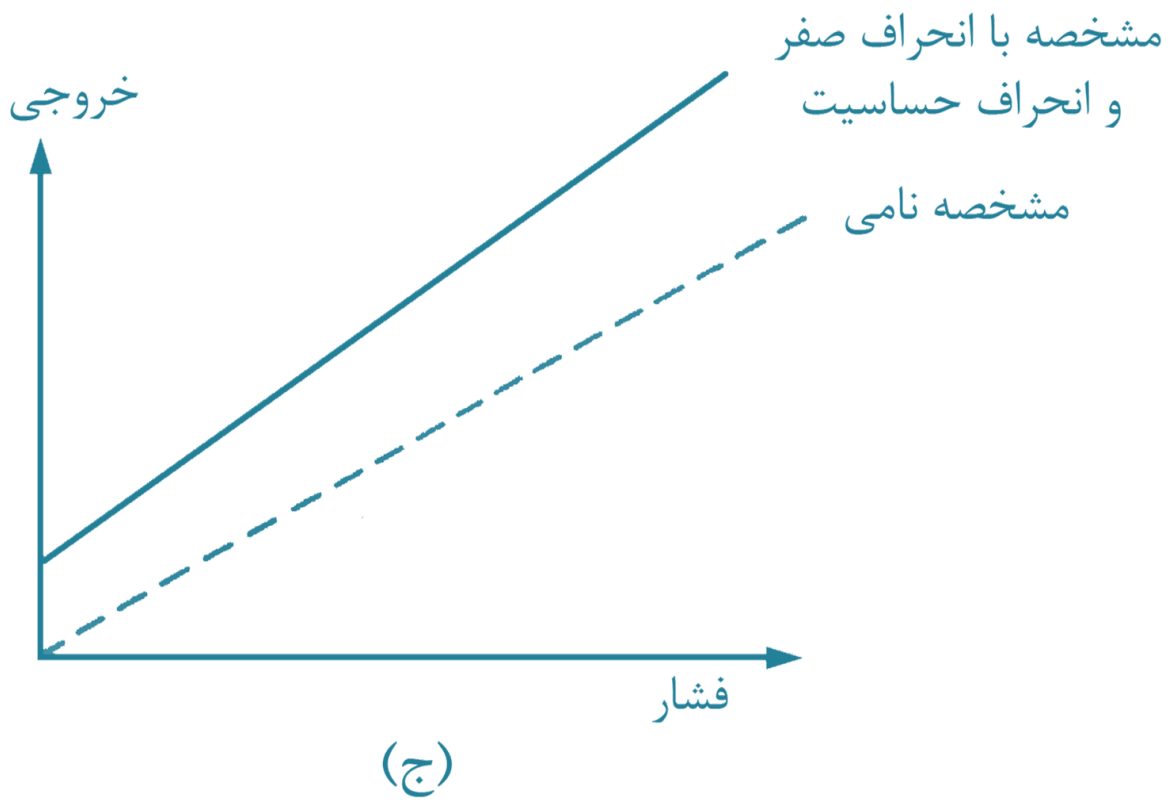
- حل در دمای ^{o}C ۲۰ مشخصه انحراف به بار به صورت یک خط راست است:
  - حساسیت = ۲۰ mm/kg
- در دمای ^{o}C ۳۰ مشخصه انحراف به بار نیز به صورت یک خط راست است:
  - حساسیت = ۲۲mm/kg
  - انحراف صفر (بایاس) = ۵ mm (انحراف بی‌باری)

مشخصات استاتیکی ابزارها

- انحراف حساسیت = ۲ mm/kg
- انحراف صفر به ازای هر درجه سانتی‌گراد
  - ۵ ÷ ۱۰ = ۰/۵ mm/°C
- انحراف حساسیت به ازای هر درجه سانتی‌گراد
  - ۲ ÷ ۱۰ = ۰/۲ (mm per kg)/°C

مشخصات استاتیکی ابزارها

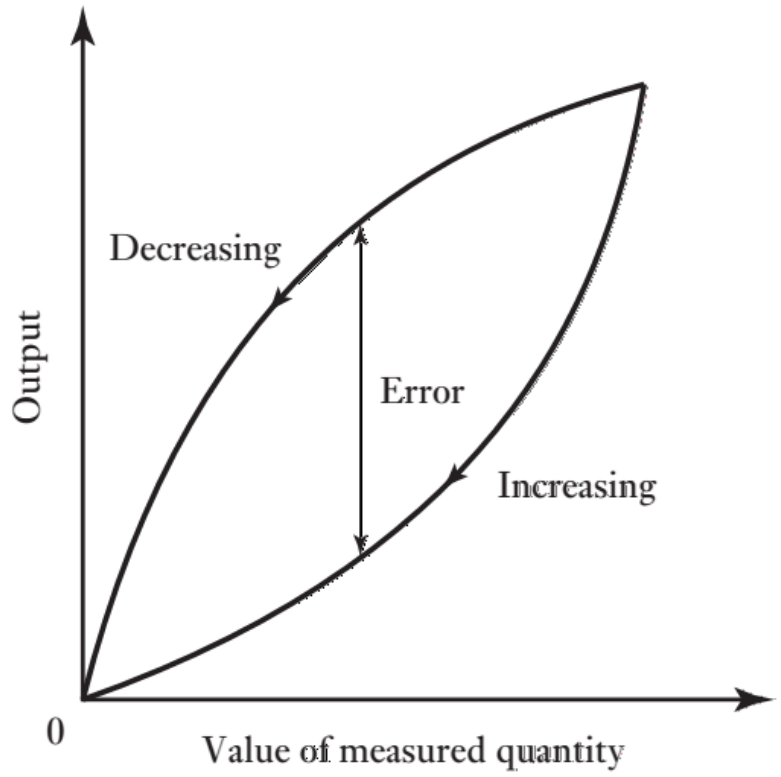
- انحراف صفر و انحراف حساسیت همزمان



(ج)

مشخصات استاتیکی ابزارها

- اثرات پسماند یا هیسترزیس (Hysteresis)
- عدم انطباق بین این دو منحنی پسماند یا هیسترزیس نامیده می‌شود.



مشخصات استاتیکی ابزارها

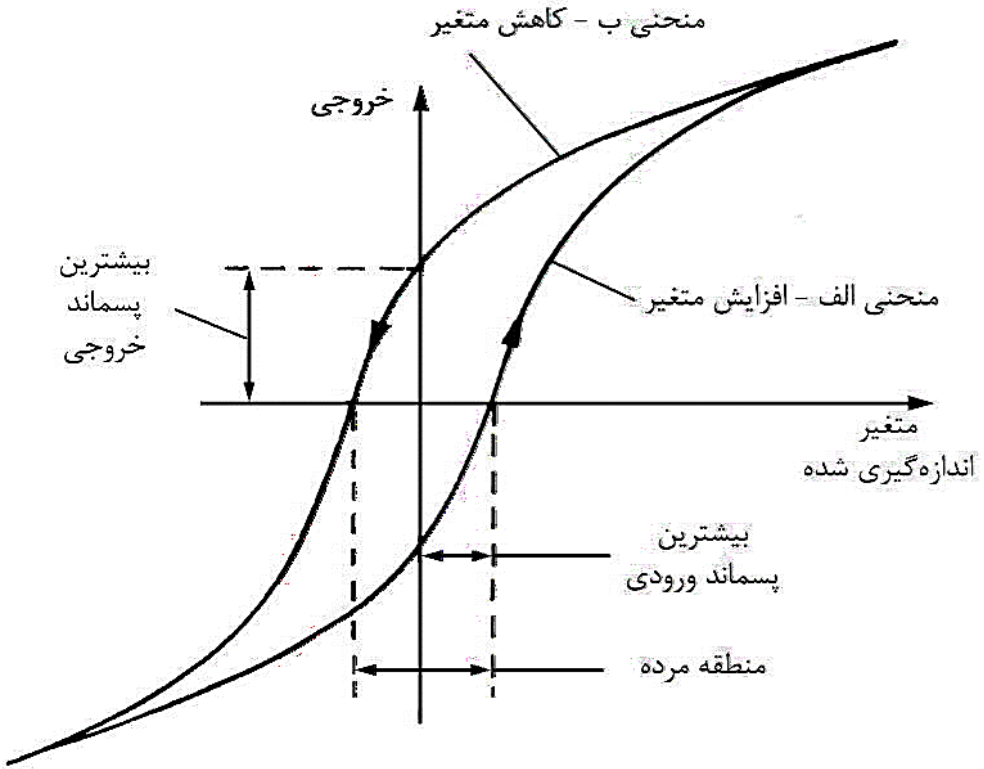
اثرات پسماند

- اثر پسماند بیشتر در ابزارهایی که در ساختار آنها از فنر استفاده شده باشد، دیده می‌شود.
- فشارسنج‌های غیرفعال
- ترمز پرونی (Prony break) : برای اندازه‌گیری گشتاور مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- سیستم‌هایی که اثر نیروی اصطکاک وابسته به جهت حرکت آن است نظیر ابزار اندازه‌گیری جرم آونگی
- چرخ طیار (فلای بال)

مشخصات استاتیکی ابزارها

❖ فضای مرده (Dead space)

◄ بازه‌ای که در آن، به ازای تغییر در مقادیر ورودی، هیچ تغییری در مقدار خروجی ایجاد نگردد، به عنوان فضای مرده شناخته می‌شود.



مشخصات استاتیکی ابزارها

- فضای مرده (Dead space)
  - امکان وجود فضای مرده در مشخصات خروجی ابزارهایی که حتی اثر پسماند قابل توجهی در آنها دیده نمی‌شود، نیز هست.
  - وجود لقی (Backlash) در بین چرخ‌دنده‌ها نیز یکی از دلایل عمده ایجاد فضای مرده است.

مشخصات دینامیکی ابزارها

- مشخصات دینامیکی یک ابزار اندازه‌گیری بیانگر رفتار آن ابزار از زمان ایجاد تغییر در یک کمیت اندازه‌گیری تا زمان رسیدن خروجی دستگاه به یک مقدار ثابت است



مشخصات دینامیکی ابزارها

- در هر سیستم خطی و نامتغیر با زمان، از رسته n

$$a_n \frac{d^n q_o}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} q_o}{dt^{n-1}} + \cdots + a_1 \frac{dq_o}{dt} + a_0 q_o =$$
$$b_m \frac{d^m q_i}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} q_i}{dt^{m-1}} + \cdots + b_1 \frac{dq_i}{dt} + b_0 q_i,$$

- که در آن q_iها مقدار اندازه‌گیری شده، q_0 خروجی و $a_0 \dots a_n$ ، $b_0 \dots b_m$ ثابت‌ها می باشند

مشخصات دینامیکی ابزارها

ابزارهای رسته صفر (Zero-order type)

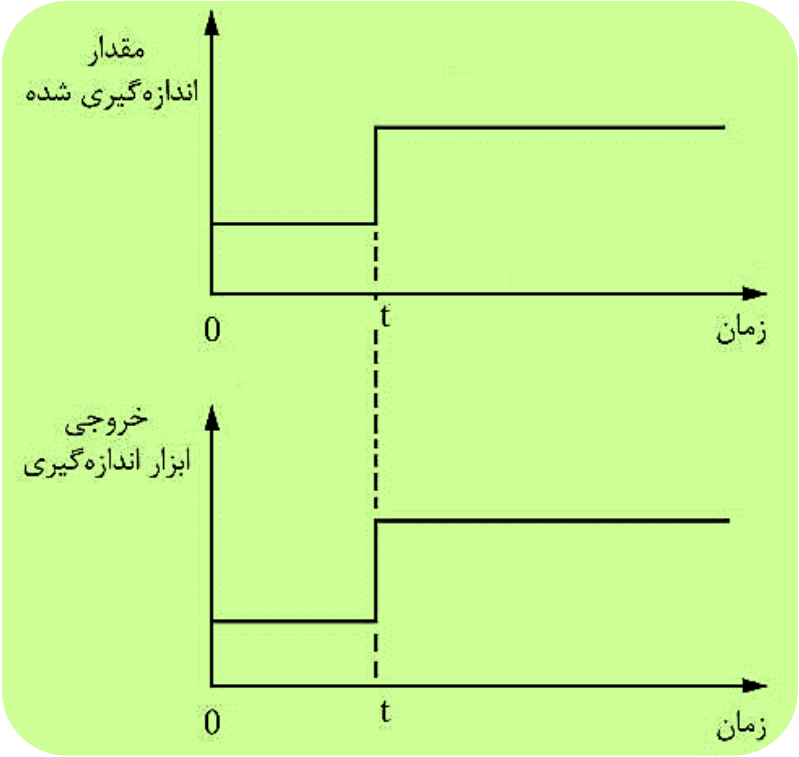
- اگر تمامی ضرایب $a_1 \dots a_n$ به غیر از a_0 صفر در نظر گرفته شوند، آنگاه

$$a_0 q_0 = b_0 q_i \qquad \text{or} \qquad q_0 = \frac{b_0 q_i}{a_0} = K q_i \ \bullet$$

- که در آن ثابت K، حساسیت ابزار می باشد

مشخصات دینامیکی ابزارها

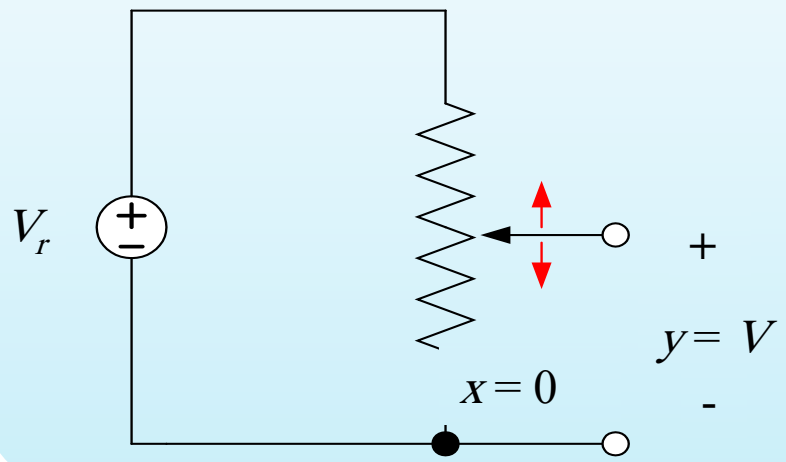
- با تغییر در مقدار اندازه‌گیری شده در زمان t، خروجی دستگاه به سرعت به مقدار جدیدی در همان لحظه زمانی t تغییر خواهد کرد.



مشخصات دینامیکی ابزارها

- پتانسیومتر (Potentiometer) مثال خوبی از چنین دستگاهی بوده به صورتی که با تعییر مکان لغزنده، ولتاژ خروجی بلادرنگ تغییر خواهد کرد.

- $V = V_r . \frac{x}{x_m}$ here, $K = V_r / x_m$



Where $0 \leq x \leq x_m$ and V_r is a reference voltage

مشخصات دینامیکی ابزارها

- **ابزارهای رسته اول (First-order instrument)**

اگر تمامی ضرایب بجز a_0 و a_1، صفر در نظر گرفته شوند، آنگاه

$$-a_1\frac{dq_0}{dt}+a_0q_0=b_0q_i$$

d/dt با اپراتور مشتق D جایگزین و پس از بازآرایی

- $$q_0=\frac{\left(\frac{b_0}{a_0}\right)q_i}{[1+\left(\frac{a_1}{a_0}\right)D]}.$$

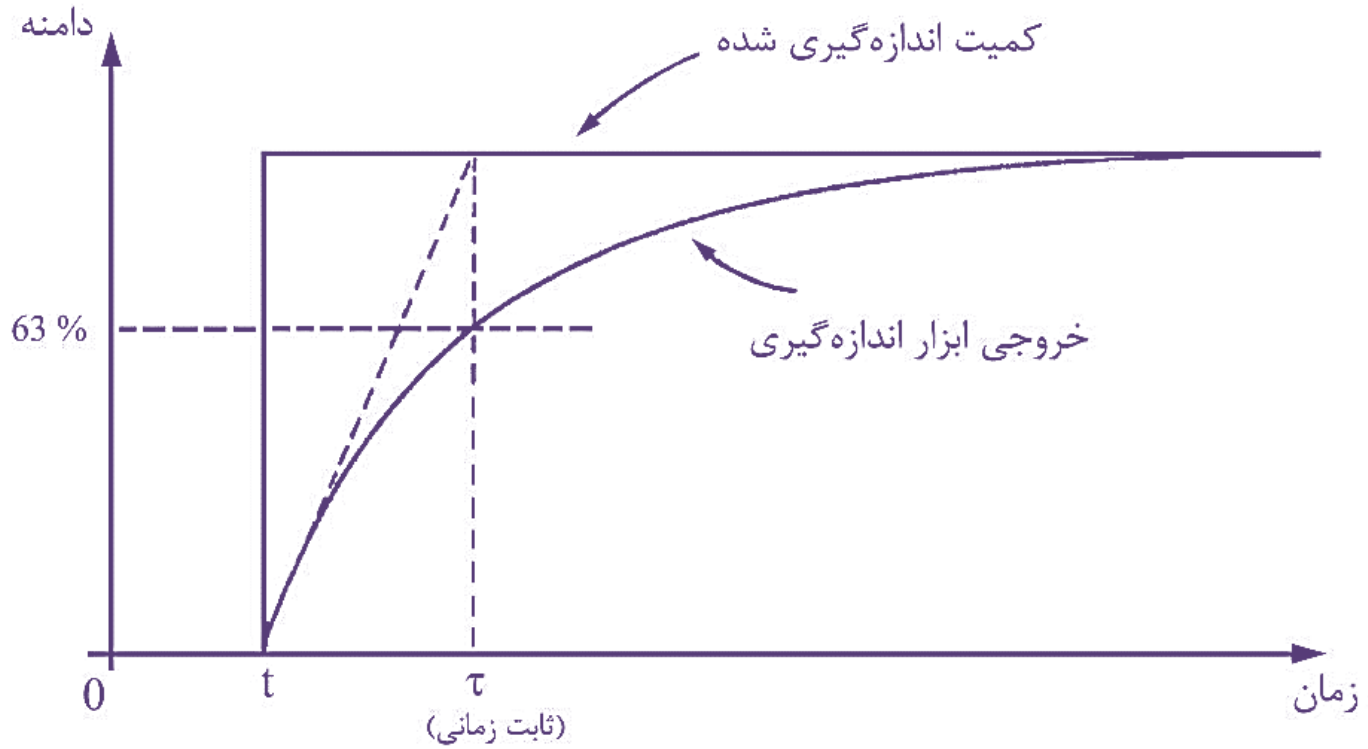
مشخصات دینامیکی ابزارها

- با تعریف
  - $K = b_0/a_0$ به عنوان حساسیت استاتیکی
  - $\tau = a_1/a_0$ به عنوان ثابت زمانی سیستم

- $q_0 = \frac{Kq_i}{1+\tau D}$.

مشخصات دینامیکی ابزارها

- **پاسخ پله ابزارهای اندازه‌گیری رسته اول**



مشخصات دینامیکی ابزارها

- شمار زیادی از ابزارهای اندازه‌گیری از نوع رسته اول هستند.
- این نکته بخصوص در سیستم‌های کنترلری به دلیل وجود تاخیر مابین تغییر در مقدار کیمت اندازه‌گیری شده و مقدار نشان داده شده در خروجی ابزار اندازه‌گیری، بسیار مهم است.
- ثابت زمانی بسیاری از ابزارهای رسته اول نسبت به دینامیک فرآیند مورد نظر بسیار کوچک است.

مشخصات دینامیکی ابزارها

- **پاسخ پله ابزارهای اندازه‌گیری رسته اول**

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = KAU(t) \longrightarrow y(t) = Ce^{-t/\tau} + KA$$

پاسخ حالت گذرا — پاسخ حالت ماندگار

با اعمال شرایط اولیه

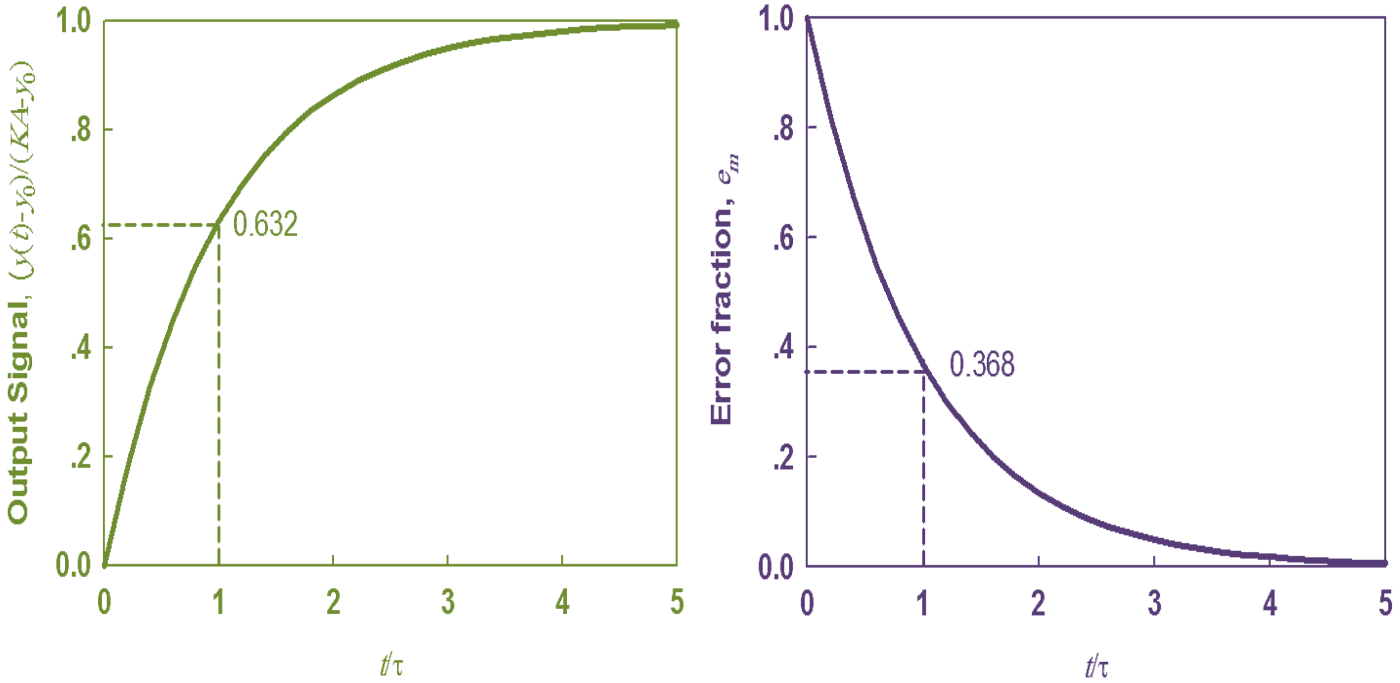
$$C = y_0 - KA,$$

- $$\boldsymbol{y(t) = KA + (y_0 - KA)e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

- **پاسخ پله ابزارهای اندازه‌گیری رسته اول**

error fraction: $e_m(t) = \frac{y(t)-KA}{y_0-KA} = \frac{y(t)-y(\infty)}{y(0)-y(\infty)} = e^{-\frac{t}{\tau}}$

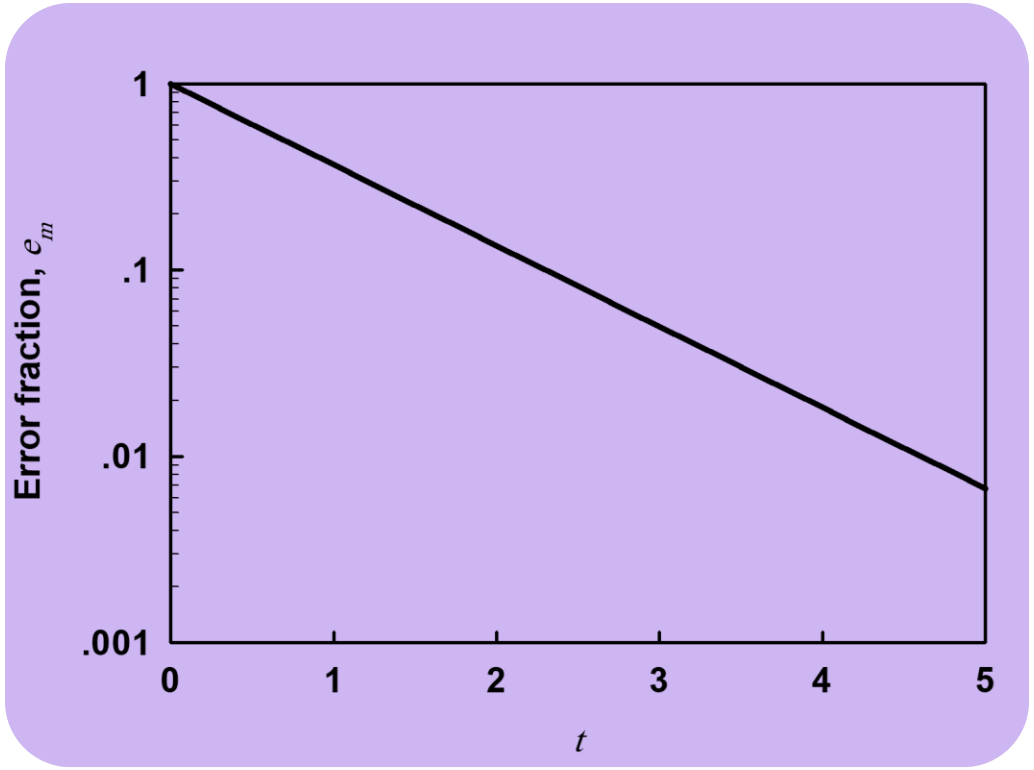


مشخصات دینامیکی ابزارها

تعیین ثابت زمانی ابزار رسته اول

$$e_m = \frac{y(t) - KA}{y(0) - KA} = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\ln e_m = 2.3 \log e_m = -\frac{t}{\tau}$$



مشخصات دینامیکی ابزارها

- **پاسخ شیب ابزارهای اندازه‌گیری رسته اول**

$$y = \frac{K}{\tau s + 1}\frac{1}{s^2}$$

- با اعمال شرایط اولیه

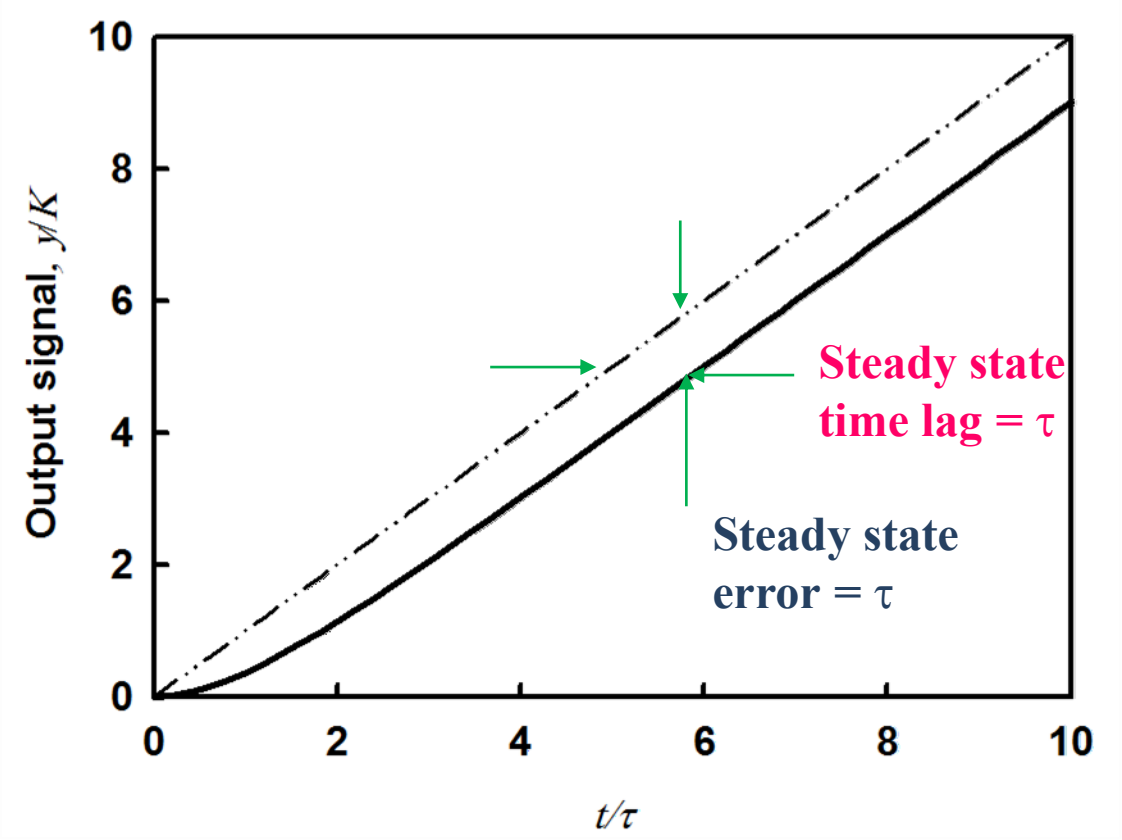
$$y(t) = K(t - \tau + \tau e^{-\frac{t}{\tau}})$$

- خطای اندازه‌گیری

$$e_m(t) = u - \frac{y}{K} = \tau(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

- **پاسخ شیب بدون بعد ابزار اندازه‌گیری رسته اول**



پاسخ زمانی به اندازه τ از ورودی خروجی واقعی عقب خواهند ماند

مشخصات دینامیکی ابزارها

- **پاسخ فرکانسی ابزار اندازه‌گیری رسته اول**

$$q_0 = \frac{K}{\tau s+1} q_i \qquad \frac{q_0}{q_i}(j\omega) = \underbrace{\frac{K}{\sqrt{\omega^2\tau^2+1}}}_{|G(j\omega)|} < \underbrace{\tan^{-1}(-\omega\tau)}_{<G(j\omega)}$$

- همچنین پاسخ فرکانسی به صورت زیر بدست خواهدآمد:

$$q_i = X.\sin(\omega t)$$

$$q_{oss}(t) = \frac{X.K}{\sqrt{\omega^2\tau^2+1}} \sin(\omega\tau - \tan^{-1}(\omega\tau))$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

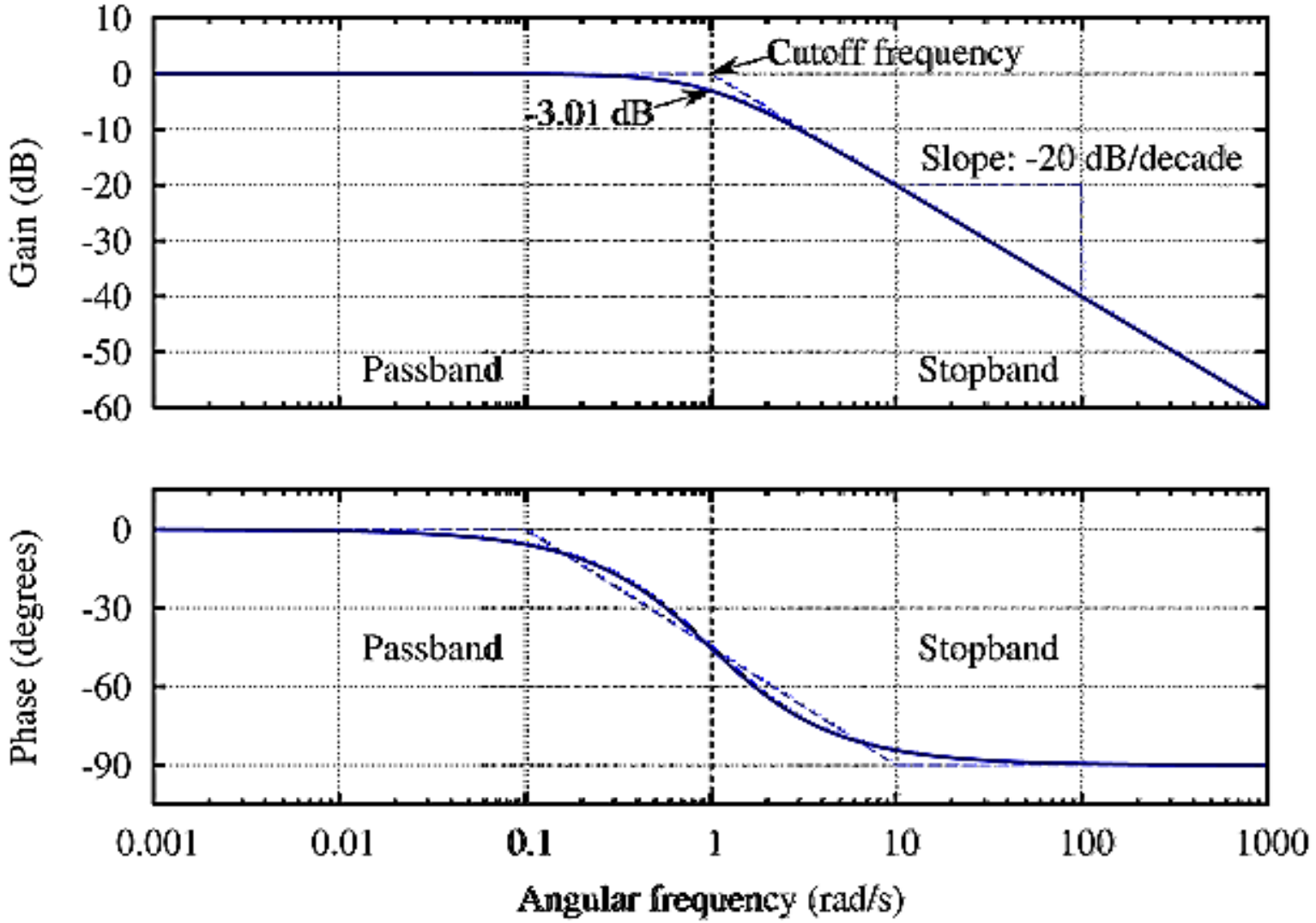
- **پاسخ فرکانسی ابزار اندازه‌گیری رسته اول**

❖ $\omega \to 0, |G| = K, and\ \Phi = 0$

❖ $\omega \to \infty, |G| = \frac{K}{\tau.\omega}, and\ \Phi = \tan^{-1}(-\infty) = -90^{\circ}$

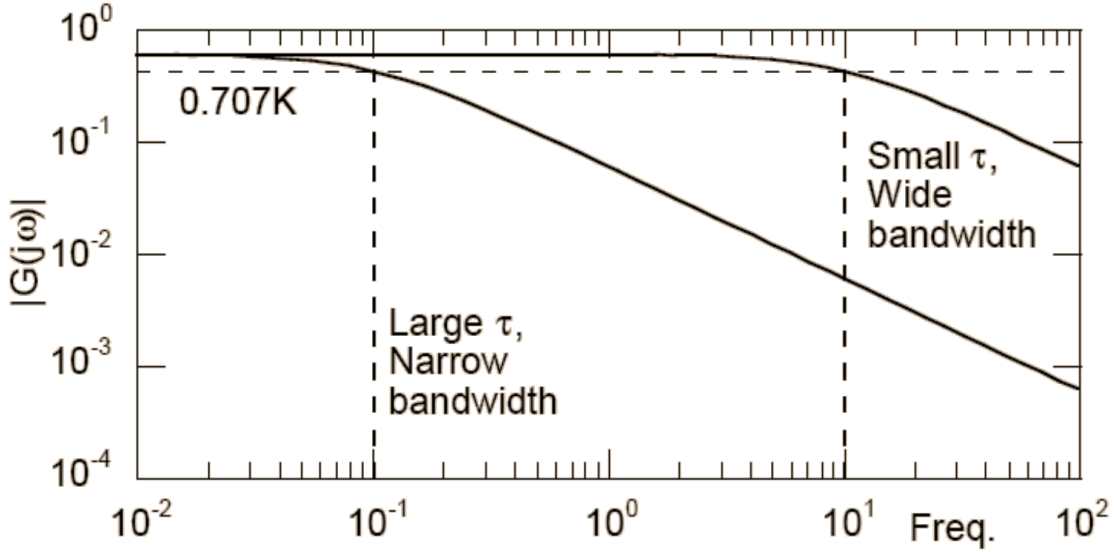
❖ $\omega = \frac{1}{\tau}, |G| = \frac{K}{\sqrt{2}}, and\ \Phi = \tan^{-1}(-1) = -45^{\circ}$

مشخصات دینامیکی ابزارها



مشخصات دینامیکی ابزارها

- پهنای باند: باند فرکانسی که مقدار دامنه حداکثر $M(\omega) \geq 0.707$ باشد (بر حسب واحد دسی بل بزرگتر از $-3\ dB$).
- فرکانس قطع: فرکانسی که در آن دامنه پاسخ سیستم به کمتر از $(-3\ dB)$ 0.707 فرکانس پایین پایدار کاهش یابد.



مشخصات دینامیکی ابزارها

- مثال ۳-۱: به یک سیستم رسته اول با ثابت زمانی τ برابر با ۰/۲ ثانیه و حساسیت استاتیکی K ، ورودی اندازه‌گیری فرکانسی به صورت زیر اعمال می‌شود،

$$x(t) = sin2t + 0.3sin20t$$

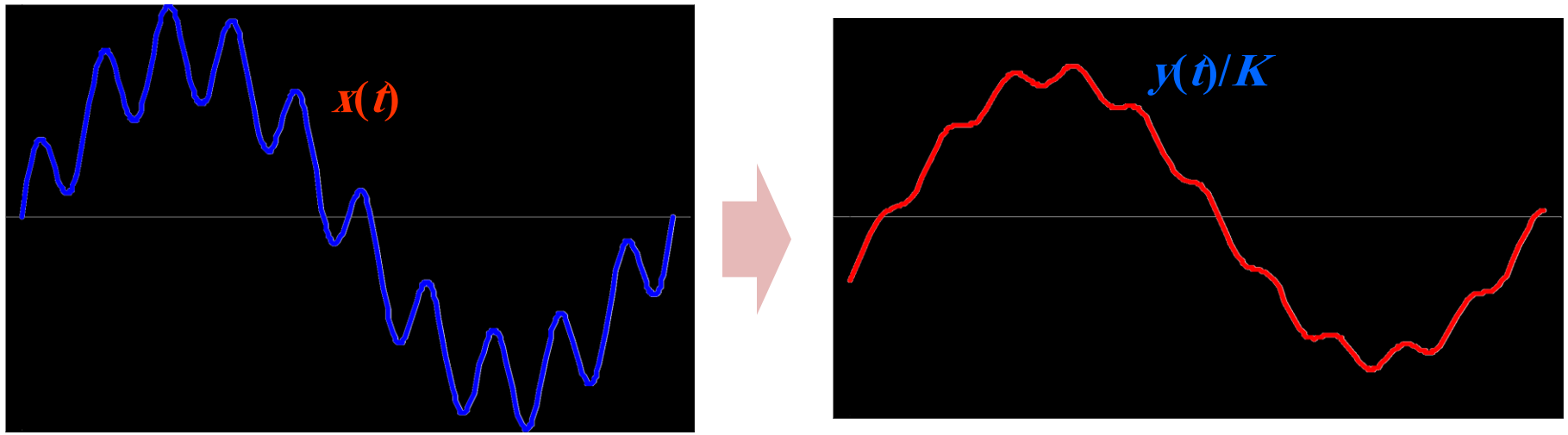
پاسخ سیستم به صورت زیر خواهد بود

- For $\omega = 2\frac{rad}{s}$:
- $x_1\left(2\frac{rad}{s}\right) = \frac{K}{\sqrt{0.16+1}}\angle -21.8^\circ = 0.93K\angle -21.8^\circ$
- For $\omega = 20\frac{rad}{s}$:
- $x_2\left(20\frac{rad}{s}\right) = \frac{K}{\sqrt{16+1}}\angle -76^\circ = 0.24K\angle -76^\circ$

مشخصات دینامیکی ابزارها

- بنابراین خروجی $y(t)$ به صورت زیر بدست می‌آید

- $y(t) = (1)(0.93K)\sin(2t - 21.8^\circ) + (0.3)(0.24K)\sin(20t - 76^\circ)$
- $y(t) = (0.93K)\sin(2t - 21.8^\circ) + (0.072K)\sin(20t - 76^\circ)$



مشخصات دینامیکی ابزارها

مثال ۳-۲: یک ابزار رسته اول برای اندازه‌گیری یک سیگنال با فرکانس نهایی ۱۰۰ Hz با عدم صحت ۵ ٪ مورد استفاده قرار می گیرد. حداکثر ثابت زمانی مجاز آن چقدر است؟

$$\left|\frac{Q_0(i\omega)}{Q_i(i\omega)}\right| = M(\omega) = \frac{K}{\sqrt{\omega^2\tau^2 + 1}}$$

$$\text{Dynamic error} = \frac{M(\omega)-M(0)}{M(0)} \times 100\% = \left(\frac{1}{\sqrt{\omega^2\tau^2+1}} - 1\right) \times 100\%$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

- برای شرایطی که $5\% > |\text{Dynamic error}|$ باشد داریم:

$$0.95 \leq \frac{1}{\sqrt{\omega^2\tau^2 + 1}} \leq 1.05$$

- ولی دامنه سیستم رسته

$\frac{1}{\sqrt{\omega^2\tau^2+1}}$ can not be greater than 1

- در نتیجه

$$0 \leq \omega\tau \leq 0.33$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

- بنابراین بالاترین ثابت زمانی در فرکانس ۱۰۰ Hz برابر است با:

$$\tau = \frac{0.33}{2\pi 100\ Hz} = 0.52\ ms$$

- در این فرکانس، تغییر زوایه فاز :

$$\phi = -18.19^{\circ}\ at\ 100\ Hz$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

- **ابزارهای رسته دوم (Second-order instrument)**
- اگر تمامی ضرایب به غیر از a_0، a_1 و a_2 برابر با صفر در نظر گرفته شود،

$$a_2 \frac{d^2 q_0}{dt^2} + a_1 \frac{dq_0}{dt} + a_0 q_0 = b_0 q_i.$$

- با اپراتور مشتق d/dt جایگزین و پس از بازآرایی D

$$q_0 = \frac{b_0 q_i}{a_0 + a_1 D + a_2 D^2}.$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

- با تعریف
  - K عنوان حساسیت استاتیکی
  - ω فرکانس طبیعی
  - ξ نسبت میرایی

$$K = \frac{b_0}{a_0} \quad ; \quad \omega = \sqrt{\frac{a_0}{a_2}} \quad ; \quad \xi = \frac{a_1}{2\sqrt{a_0 a_2}}$$

$$\frac{q_0}{q_i} = \frac{K}{\frac{D^2}{\omega^2} + \frac{2\xi D}{\omega} + 1}.$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

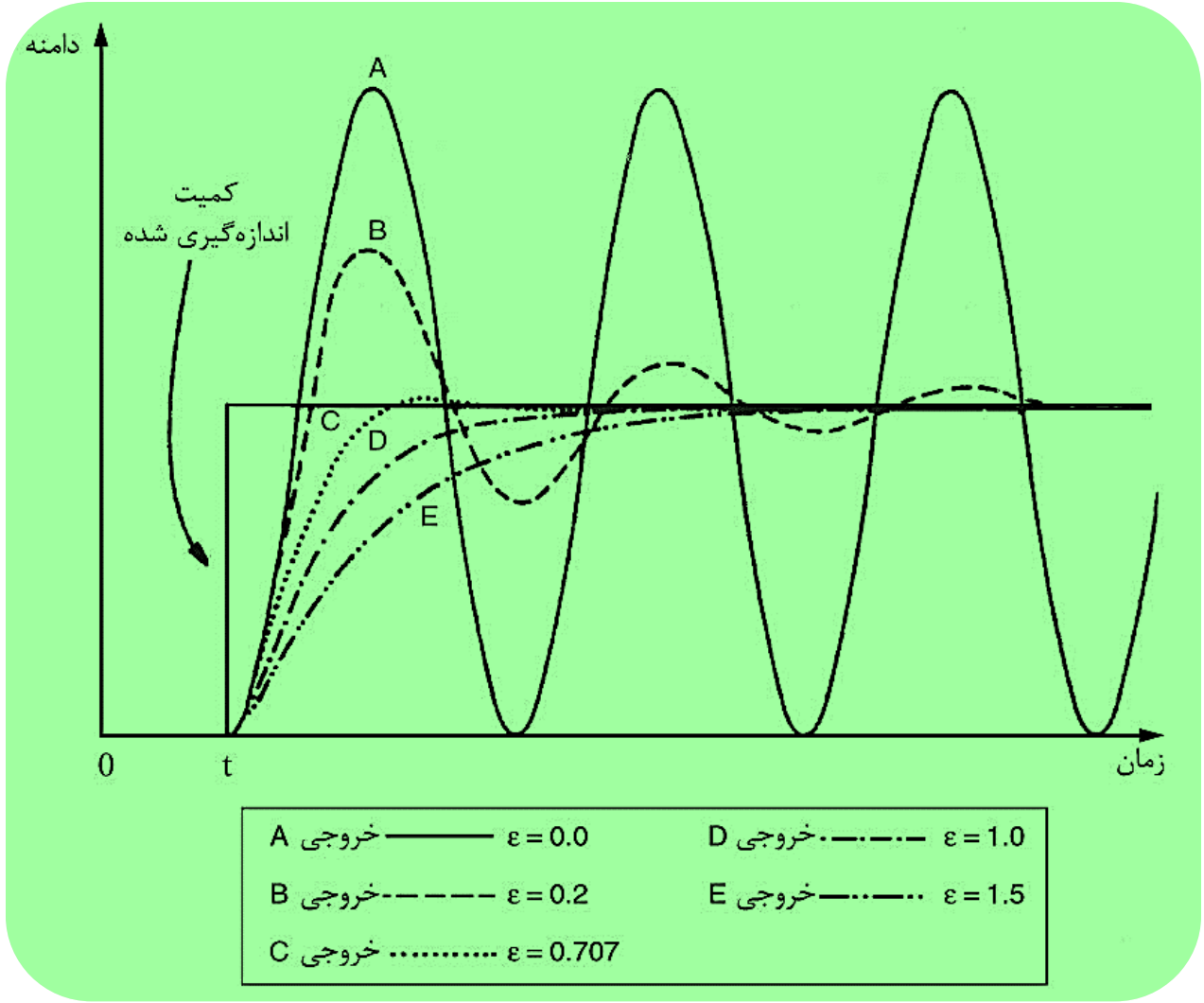
- **پاسخ پله سیستم رسته دوم**

$$\lambda_1, \lambda_2 = -\zeta\omega_n \mp j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2} = -\zeta\omega_n \mp j\omega_d$$

where $\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\xi^2}$

$$q_0(t) = K\left[1 - e^{-\xi\omega_n t}\left(\cos(\omega_d t) + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin(\omega_d t)\right)\right]$$

مشخصات دینامیکی ابزارها



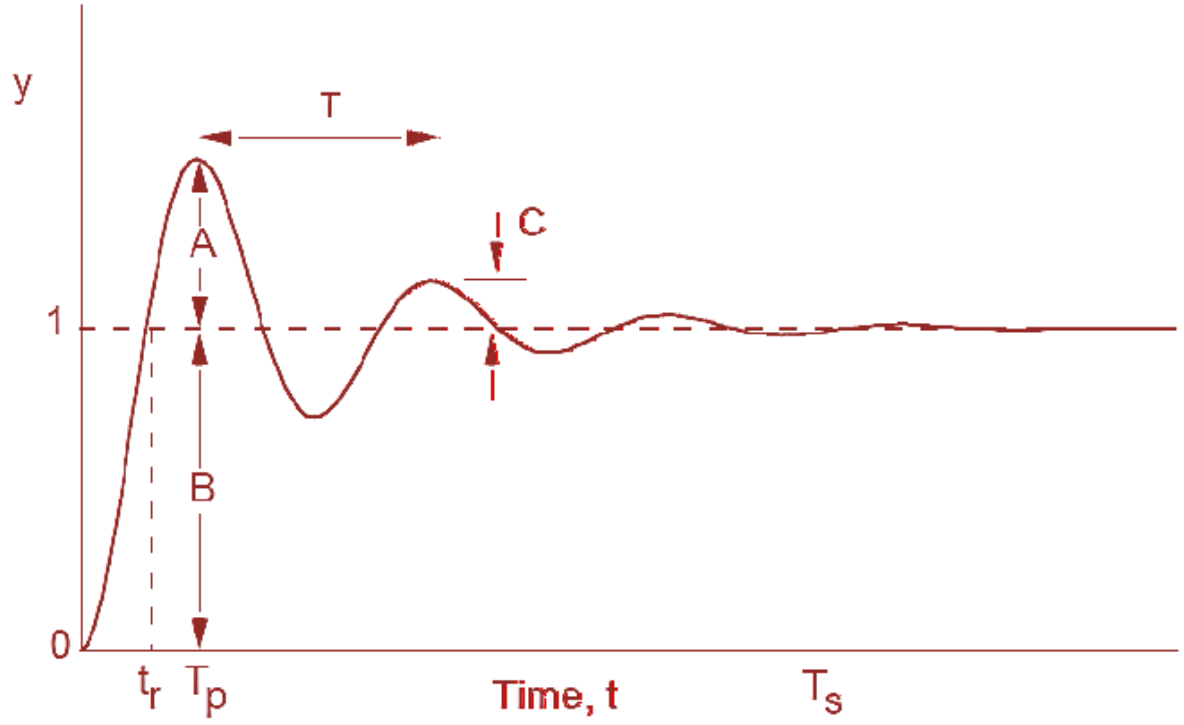
مشخصات دینامیکی ابزارها

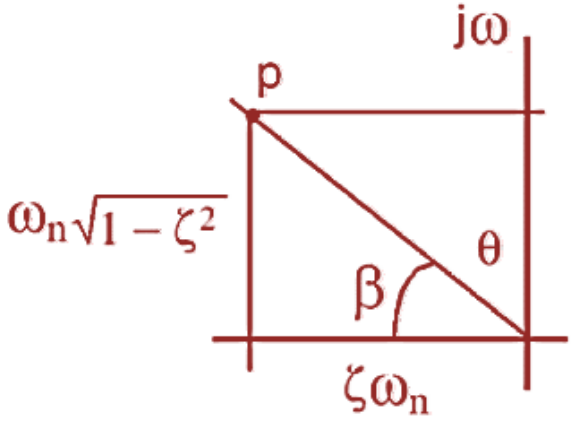
- با مقایسه رفتار حالت‌ها و پیش‌بینی شرایط ورودی‌های مختلف، بهترین مقدار ζ قابل محاسبه است.

- در بسیاری از ابزارهای تجاری رسته دوم همانند شتاب‌سنج‌ها، ضریب میرایی مرسوم در محدوده ۰/۶ تا ۰/۸ در نظر گرفته می‌شود.

مشخصات دینامیکی ابزارها

- پاسخ پله سیستم رسته دوم و مشخصات کارایی





مشخصات دینامیکی ابزارها

پاسخ پله سیستم رسته دوم و مشخصات کارایی

- زمان خیز (rise time): زمانی که پاسخ سیستم برای اولین بار به مقدار نهایی خود برسد.

$$t_r = \frac{1}{\omega_d}\tan^{-1}\left(\frac{\omega_d}{-\sigma}\right) = \frac{\pi - \beta}{\omega_d}$$

- فراجهش (Overshoot): اولین یا بیشترین دامنه خروجی سیستم.

$$M_p = \exp\left(\frac{-\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

- **پاسخ پله سیستم رسته دوم و مشخصات کارایی**

زمان اوج (Peak time): زمانی که پاسخ سیستم به مقدار حداکثر خود برسد.

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$$

زمان نشست (Settling time): زمانی که پاسخ سیستم به مقدار نهایی خود رسیده و نوسانات آن میرا شوند.

$$t_s = \frac{3}{\xi\omega_n} \quad for\ 5\% \qquad\qquad t_s = \frac{4}{\xi\omega_n} \quad for\ 2\%$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

- پاسخ فرکانسی سیستم رسته دوم

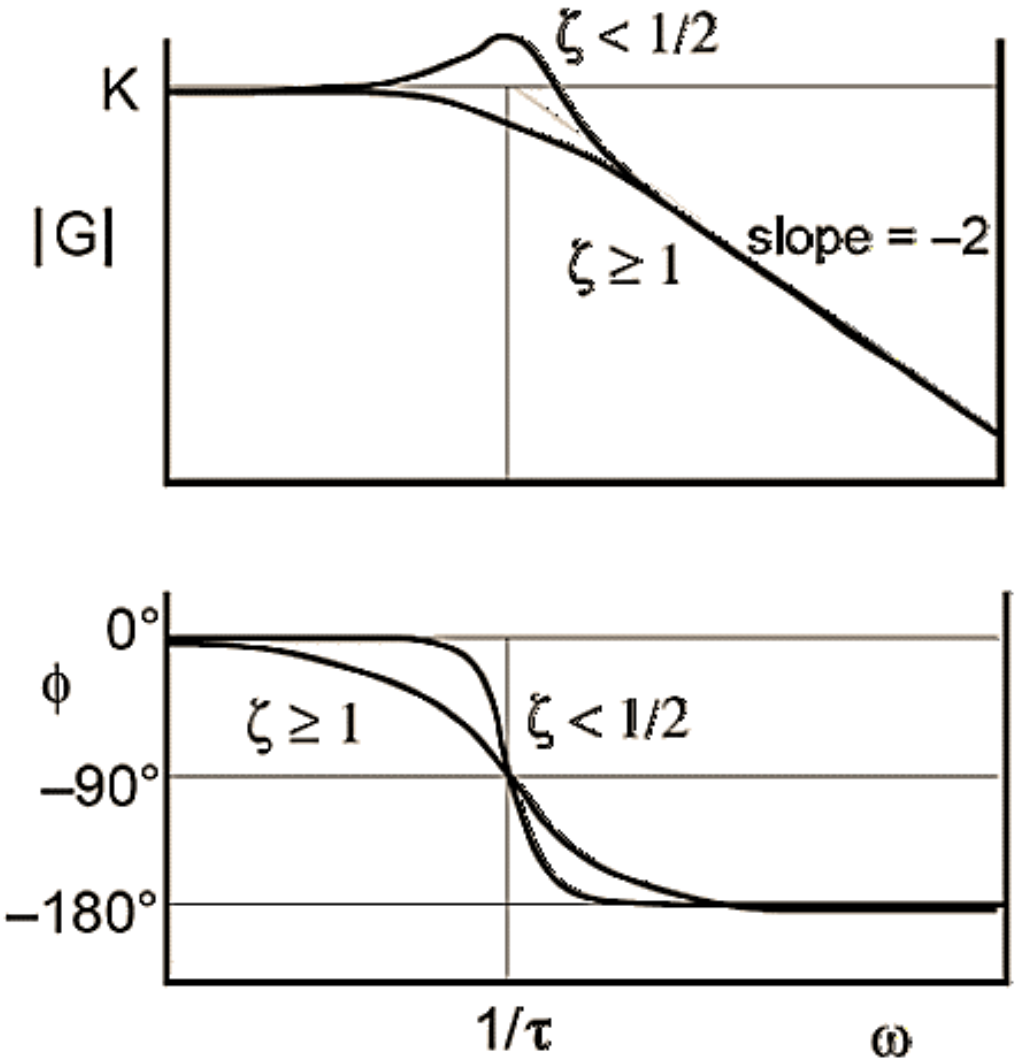
$$\frac{q_o}{q_i}(j\omega) = \frac{K}{(1-(\omega/\omega_n)^2)+2\xi\,\omega/\omega_n}$$

$$|G(j\omega)| = \left|\frac{q_o/K}{q_i}\right| = \frac{1}{\sqrt{(1-(\omega/\omega_n)^2)^2+(2\xi\,\omega/\omega_n)^2}}$$

$$\varphi = -\tan^{-1}\left(\frac{2\xi\,\omega/\omega_n}{1-(\omega/\omega_n)^2}\right)$$

مشخصات دینامیکی ابزارها

- پاسخ فرکانسی سیستم رسته دوم



مشخصات دینامیکی ابزارها

- با مشتق گرفتن از معادله دامنه فرکانسی سیستم رسته دوم برای پیدا کردن حداکثر دامنه و فرکانس مربوط به آن، (فرکانس رزونانس) داریم:

- فرکانس رزونانس

$$\omega_r = \omega_n\sqrt{1-2\xi^2}$$

- دامنه رزونانس

$$M_r = \max|G(j\omega)| = |G(j\omega_r)| = \frac{1}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}}$$

ترانسدیوسرهای
اندازه‌گیری
حرکت انتقالی

جابجایی
سرعت
شتاب

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

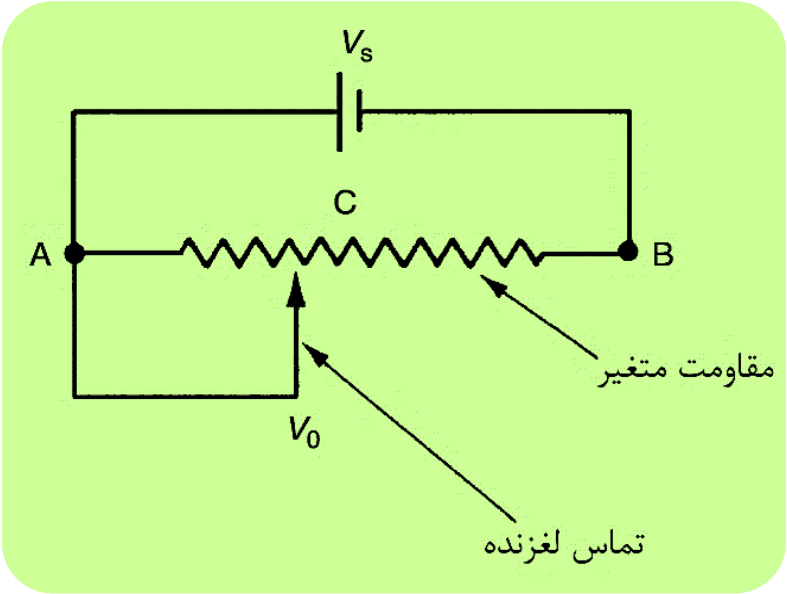
- ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی ابزارهایی هستند که حرکت یک جسم را در مسیر مستقیم بین دو نقطه اندازه می‌گیرند.

- علاوه بر کاربرد آنها به عنوان یک ترانسدیوسر اولیه اندازه‌گیری حرکت جسم، ترانسدیوسرهای جابجایی انتقالی به طور گسترده به عنوان بخش دوم در سیستم‌های اندازه‌گیری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

پتانسیومتر مقاومتی

- شامل یک المان مقاومتی با یک اتصال قابل جابجایی
- قابلیت تفکیک: بالای $۱۰^{-۴}$
- عدم صحت : $\pm ۱ \%$ $f.s.$
- عمر متوسط : ۱ تا ۳۰ میلیون سیکل

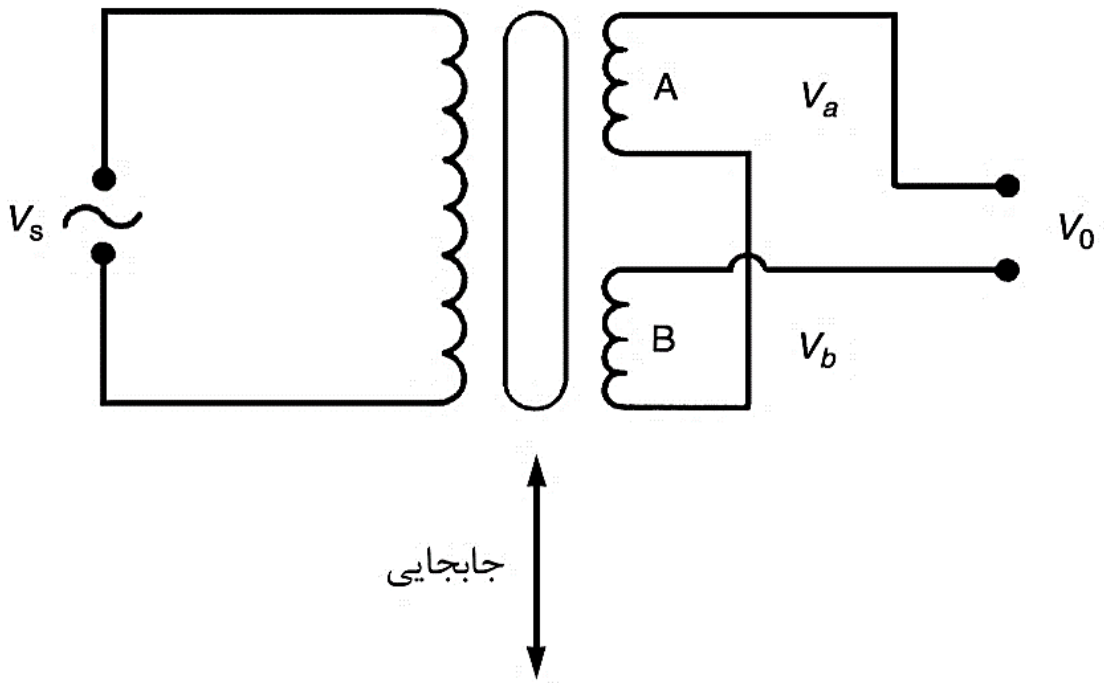


$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{AC}{AB} = \frac{R_1}{R_2}$$

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

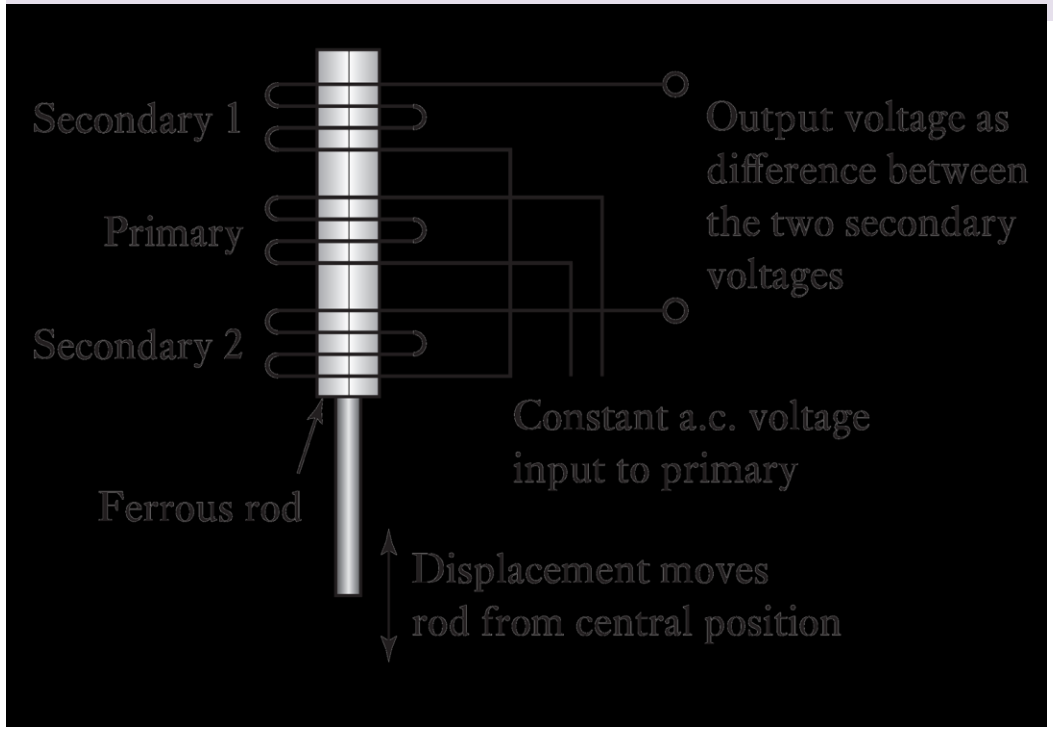
ترانسفورمرهای تفاضلی متغیر خطی (LVDT)

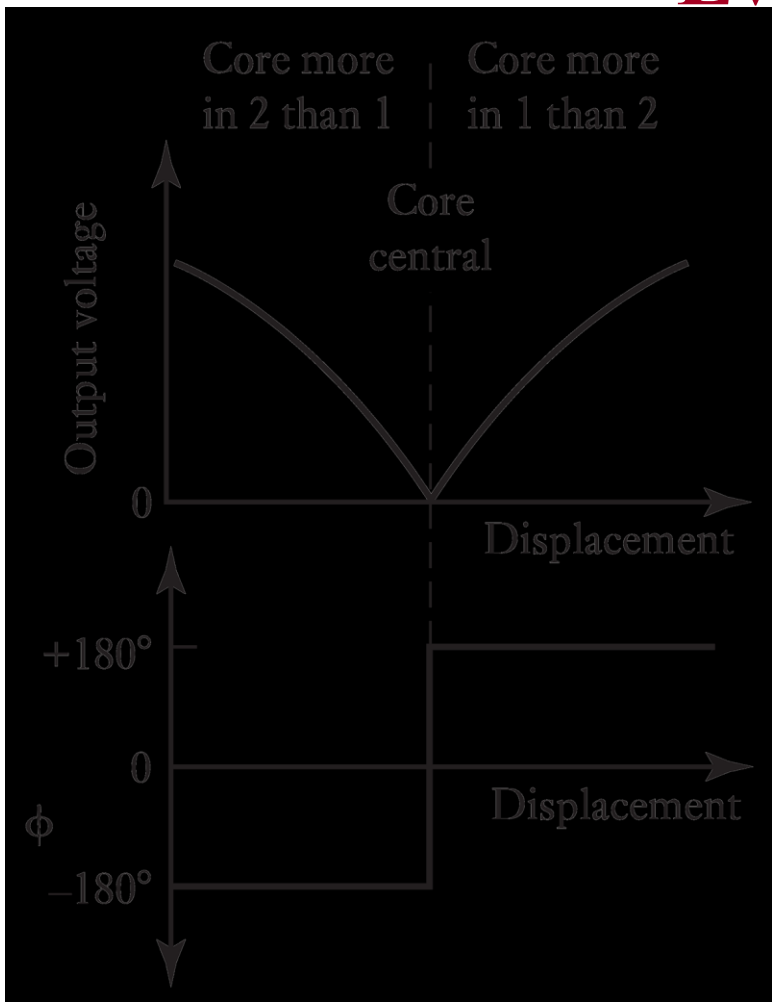
- محدوده: از ±۱۰۰μm تا ±۱۰۰mm
- عدم صحت: ±۰/۵ f.s. درصد
- عمر متوسط: بالای ۲۰۰ سال
- محدودیت ها:
  - ولتاژ تحریک
  - ظرفیت خازنی کاذب
  - عدم صحت: کمتر از ۱٪



ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- **LVDT**





مقدار ولتاژ القاء شده در مدار ثانویه زمانی که جریان i در مدار اصلی است:

$$e = M\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$$

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- **LVDT**
- اگر جریان در مدار اصلی به صورت $i=I.\sin(\omega t)$ باشد:

$$v_1 = k_1 \sin(\omega t - \phi) \quad \text{and} \quad v_2 = k_2 \sin(\omega t - \phi)$$

که k_1 و k_2 و φ به نوع سیم پیچ بستگی دارد.
در این صورت ولتاژ خروجی در هسته ۱ به صورت زیر است:

$$\text{output voltage} = v_1 - v_2 = (k_1 - k_2) \sin(\omega t - \phi)$$

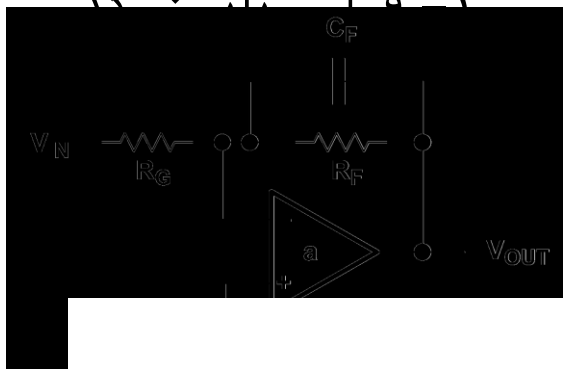
و در هسته ۲ دارای اختلاف فاز ۱۸۰ درجه می باشد

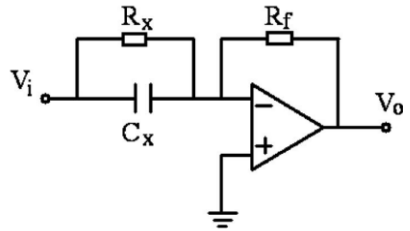
ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

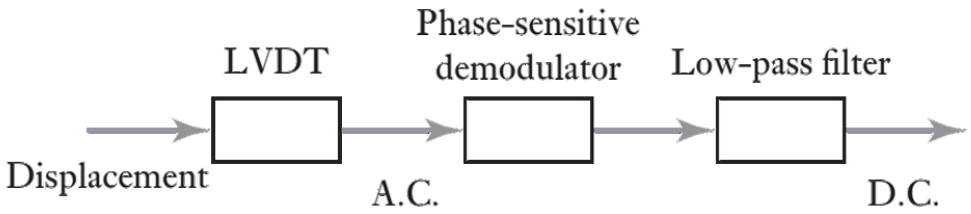
- **LVDT**

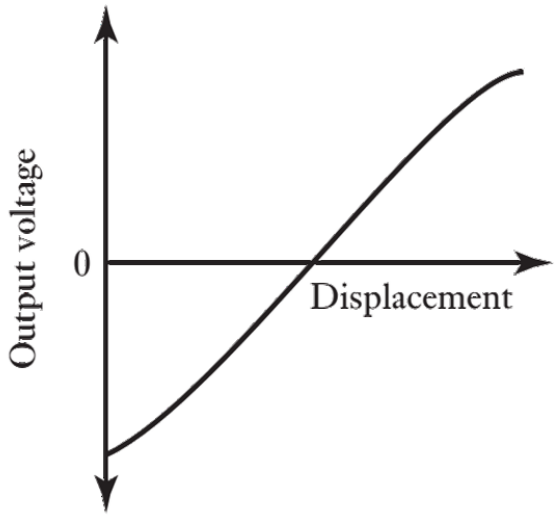
برای تبدیل سیگنال خروجی سینوسی به موقعیت نوع D.C. :

۱- دمدولاتور حساس به فاز (PSD)



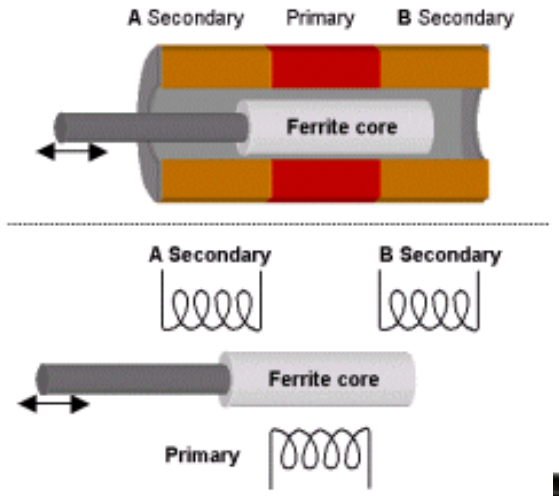






ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- **LVDT**





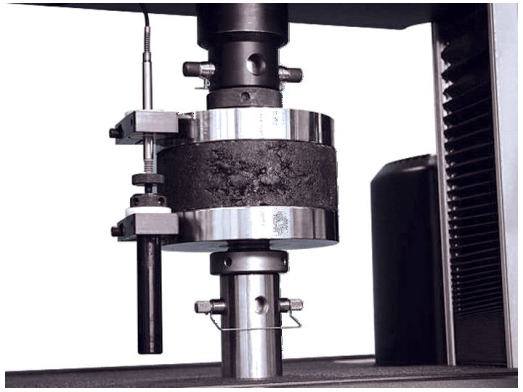


ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- **LVDT: کاربردها**



دستگاه رول کن



تست فشار و کشش



موقعیت شیر کنترل



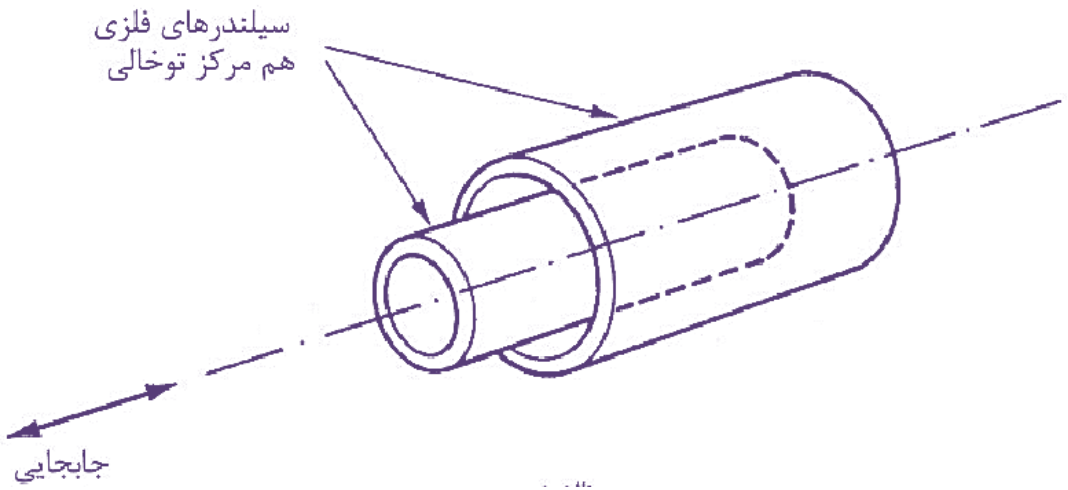
میز پرس هیدرولیک



تزریق پلاستیک

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- ترانسدیوسرهای ظرفیت متغیر
  - بازه: 10^{-11} m تا ۱ m
  - عدم صحت: ۰/۰۱ ± درصد
  - عمر متوسط: بالای ۲۰۰ سال
  - معایب:
    - حساسیت بالا نسبت به نویز
    - الزام در اندازه‌گیری مقدار ظرفیت

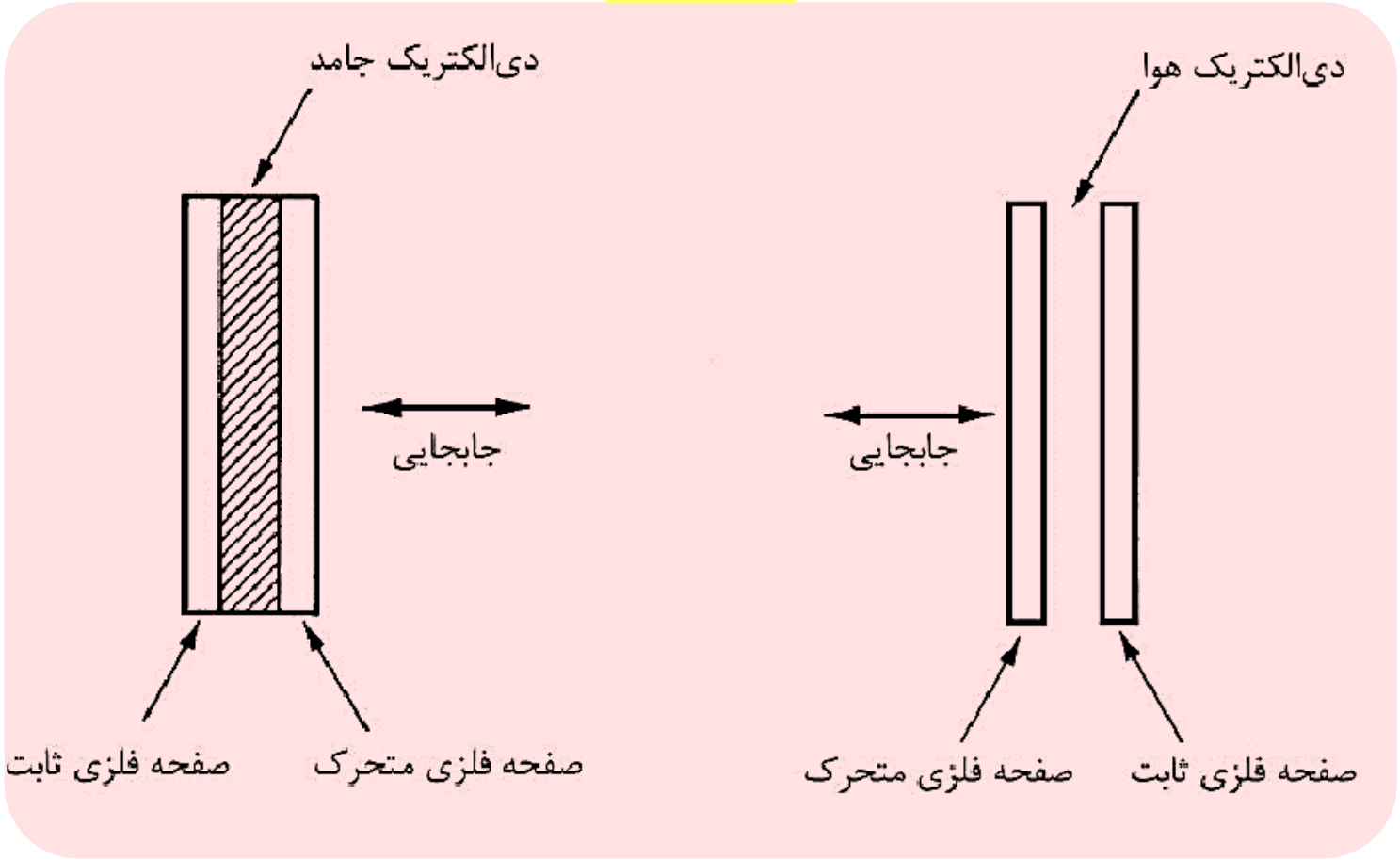


نوع اول

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

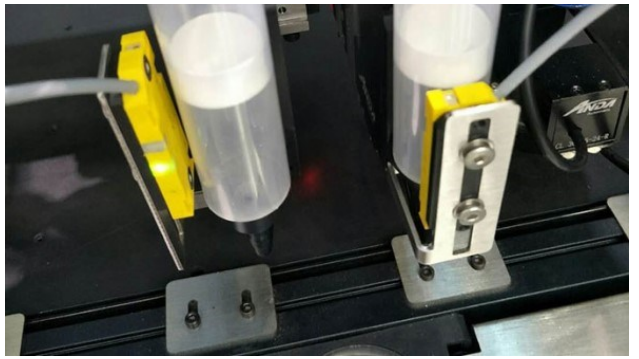
- ترانسدیوسرهای ظرفیت متغیر

نوع دوم



ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

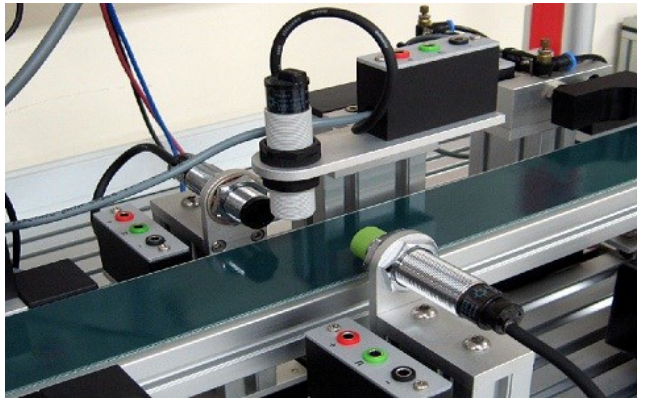
- انواع سوییچ ها و سنسورهای خازنی / ظرفیت متغیر



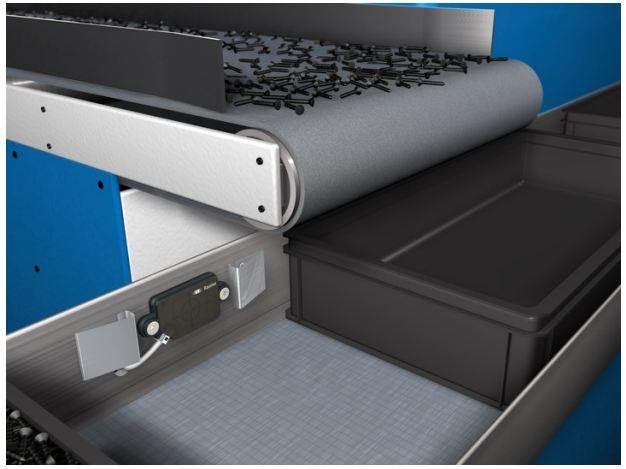
ارتفاع سنج غیرتماسی



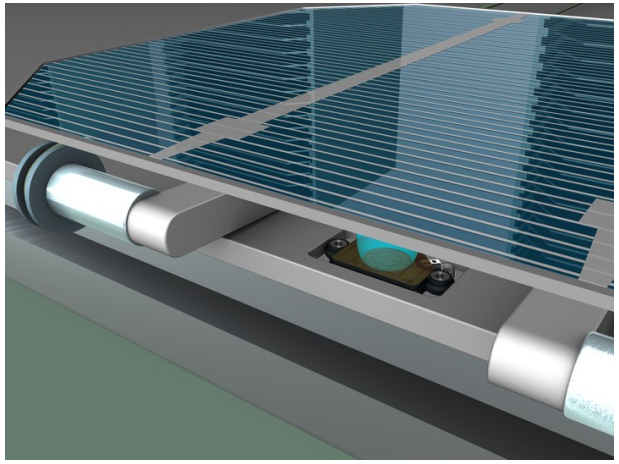
خط Bottling



سوییچ مجاورتی خط تولید



خط شناسایی موقعیت جعبه

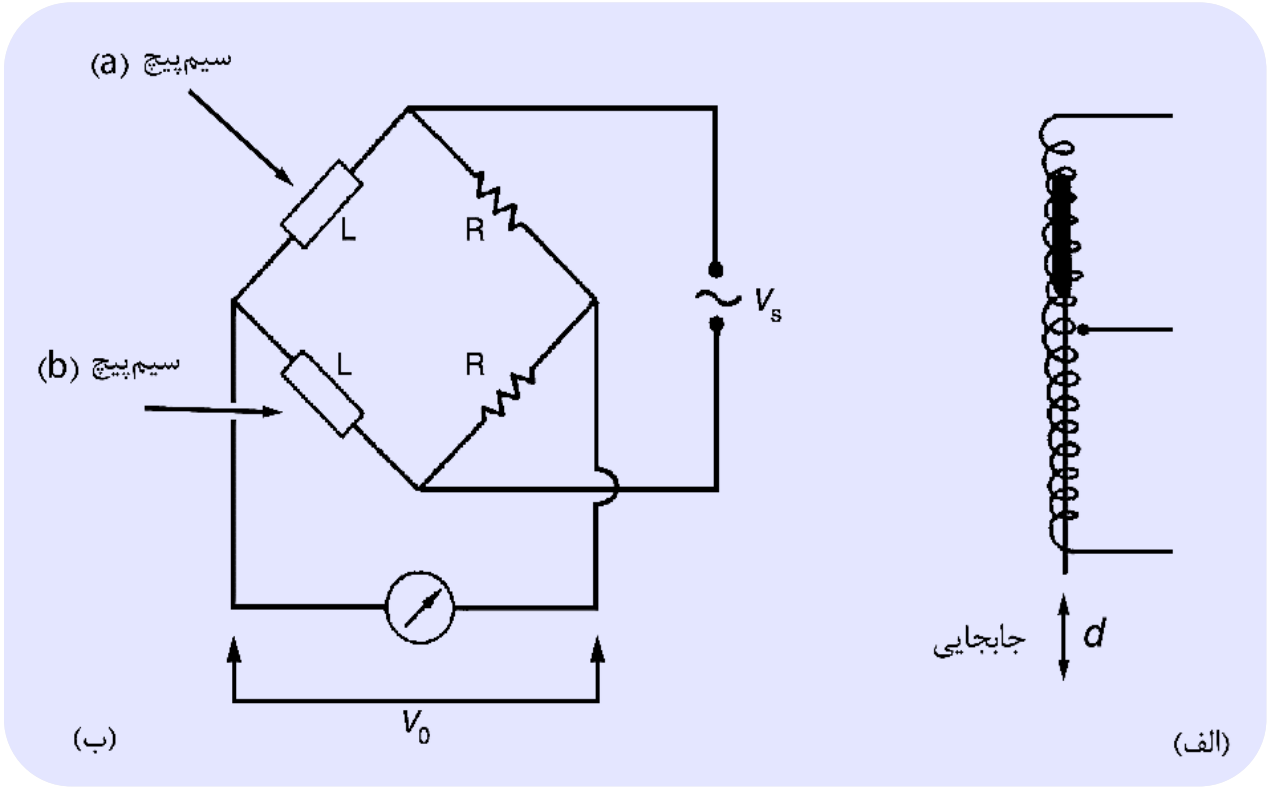


خط شناسایی قطعه

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

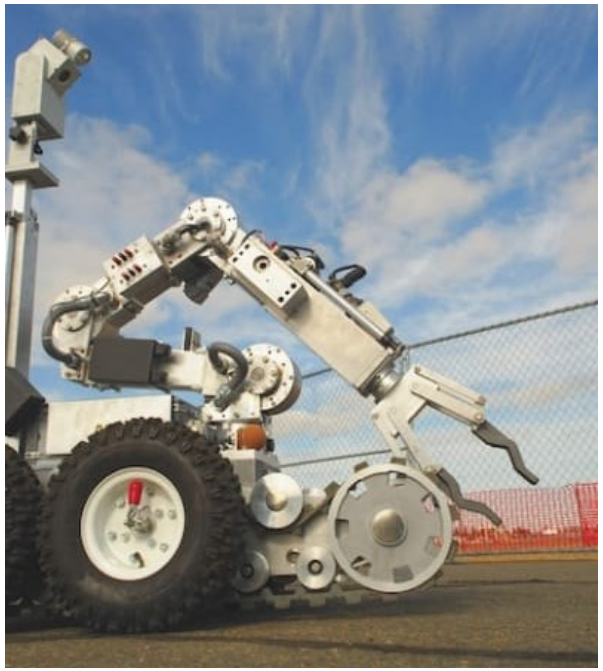
- ترانسدیوسرهای القایی متغیر
  - اندازه گیری در گستره وسیع
  - دارای سیم پیچ منفرد مرکزی

LVIT (Linear Variable Inductance Transducer)



- محدوده پایین: ۰ ~ ۲ mm
- محدوده بالا: ۰ ~ ۵ m

- ترانسدیوسرهای القایی متغیر



رباتیک و هوافضا



موقعیت سنجی دریچه ها در خودرو و سیستم تعلیق

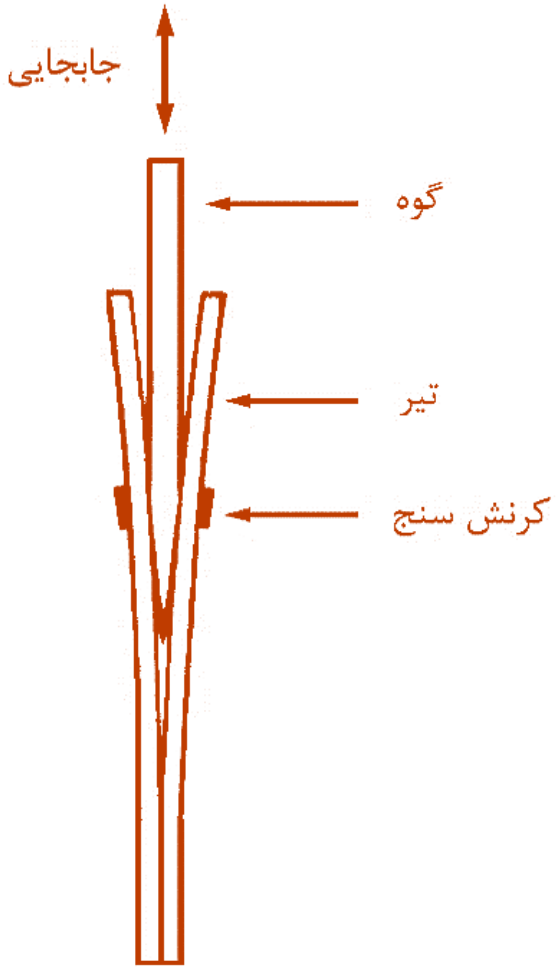


صنایع نساجی و کاغذ



هیدرولیک و ماشین های راه سازی

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی



- کرنش‌سنج (Strain Gauge Linear Transducer)
  - محدوده: $0 \sim 50\,\mu m$
  - عدم صحت: ۰/۰۱۵ ± درصد
  - عمر متوسط: ۳ میلیون سیکل



ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

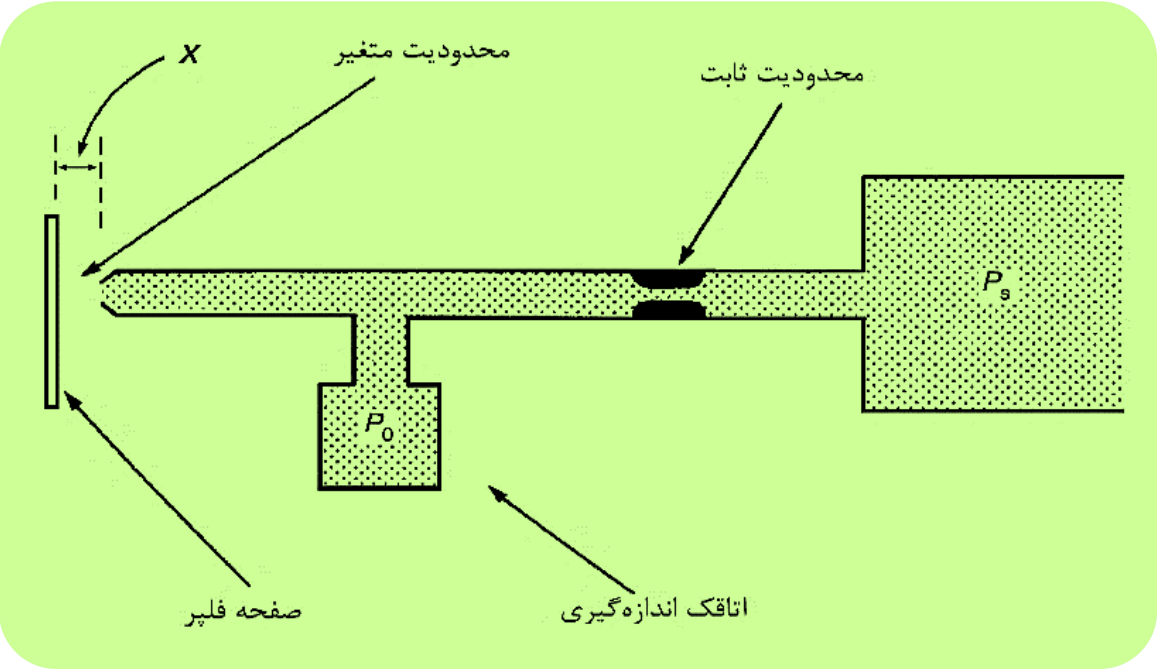


- ترانسدیوسرهای پیزوالکتریک
- عیب: از بین رفتن بارهای القایی

- عدم صحت: ۱± درصد f.s.
- عمر متوسط: ۳ میلیون سیکل

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- نازل– فلاپر



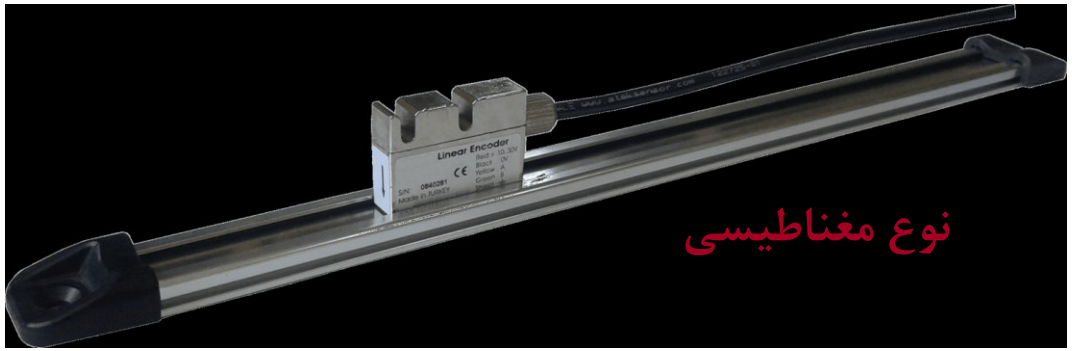
- دامنه اندازه گیری: ۰/۰۵ mm
- قابلیت تفکیک: ۰/۰۱ µm
- کاربرد: اندازه گیری جابجایی صفحات لودسل

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- اینکدرهای خطی
  - قابلیت تفکیک: ۵ µm تا ۰.۱ µm
  - دامنه اندازه گیری: ۲ mm تا ۱۰۰ m



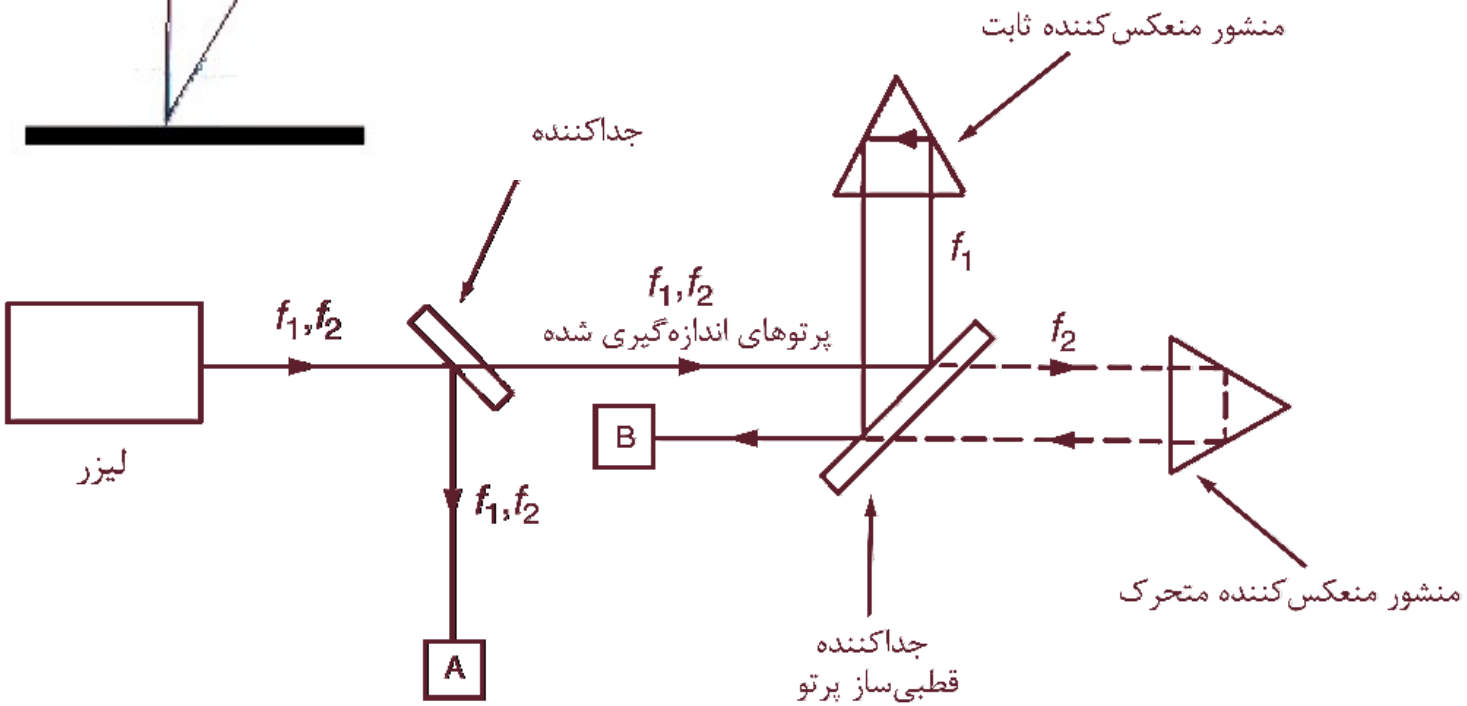




ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی



- تداخل‌سنج لیزری (Laser Interferometer)
  - استفاده از نور لیزر به جای نور معمولی
  - دامنه اندازه گیری: بیش از ۲ م
  - عدم صحت: مقدار بسیار ناچیز
  - کاربرد: کنترل ماشین ابزار



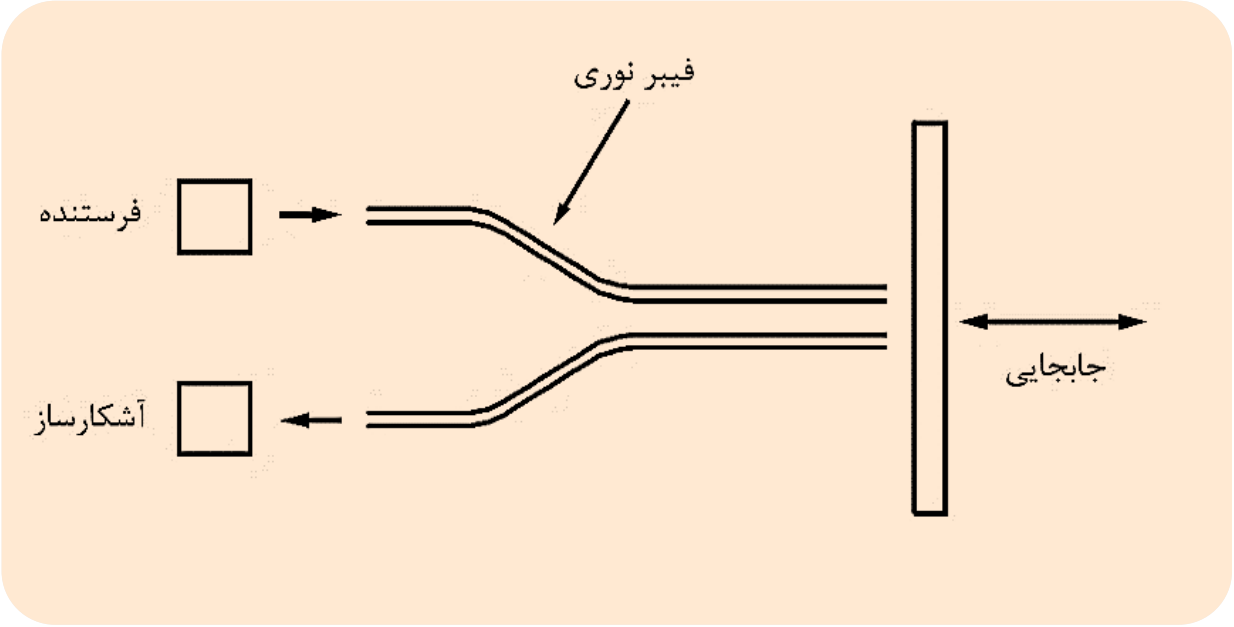
ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- کاربرد تداخل‌سنج لیزری
  - بازرسی کاغذ و چاپ
  - تصویربرداری پزشکی
  - سیستم Pick & Place
  - داروسازی
  - اسکن سه بعدی



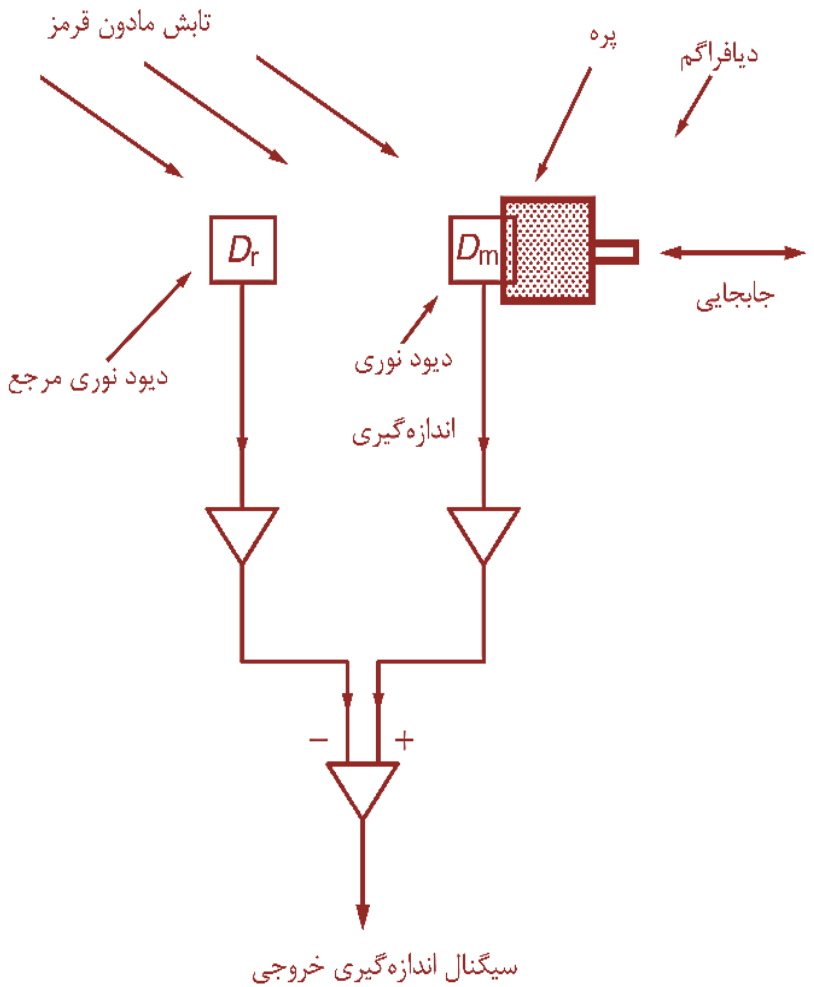
ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- سنسور فتونیک
  - کاربرد: اندازه‌گیری جابجایی دیافراگم درون سنسورهای فشار و اندازه‌گیری حرکت سنسورهای حرارتی بی‌متال (دو فلزی)



ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

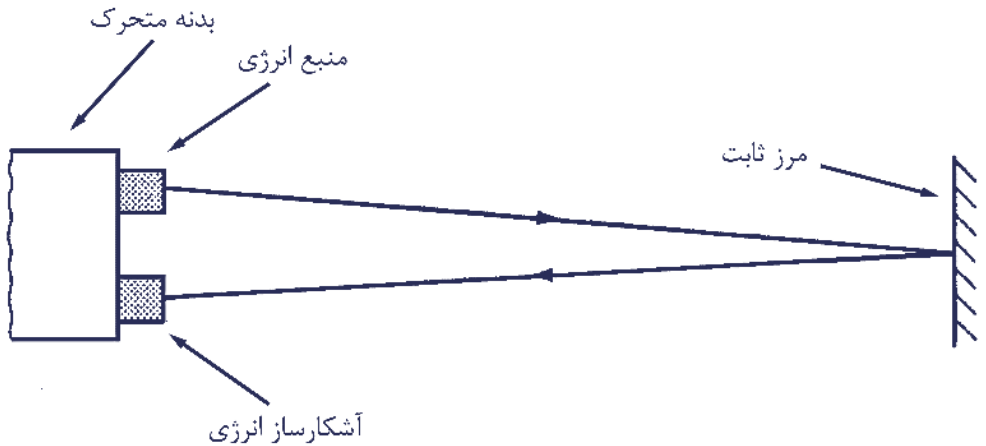
- سنسور نوری بدون تماس
  - دامنه اندازه گیری: ۰/۵ mm
  - عدم صحت: ۰/۱ ± f.s. درصد

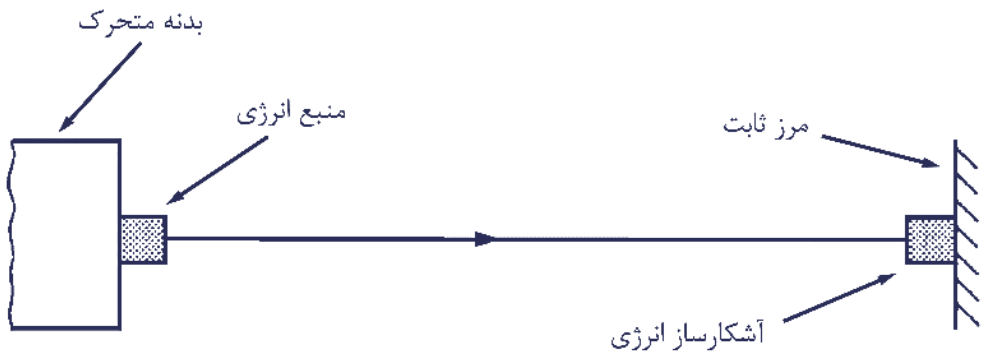


ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- سنسورهای فاصله‌ای مبتنی بر منبع / آشکارساز انرژی

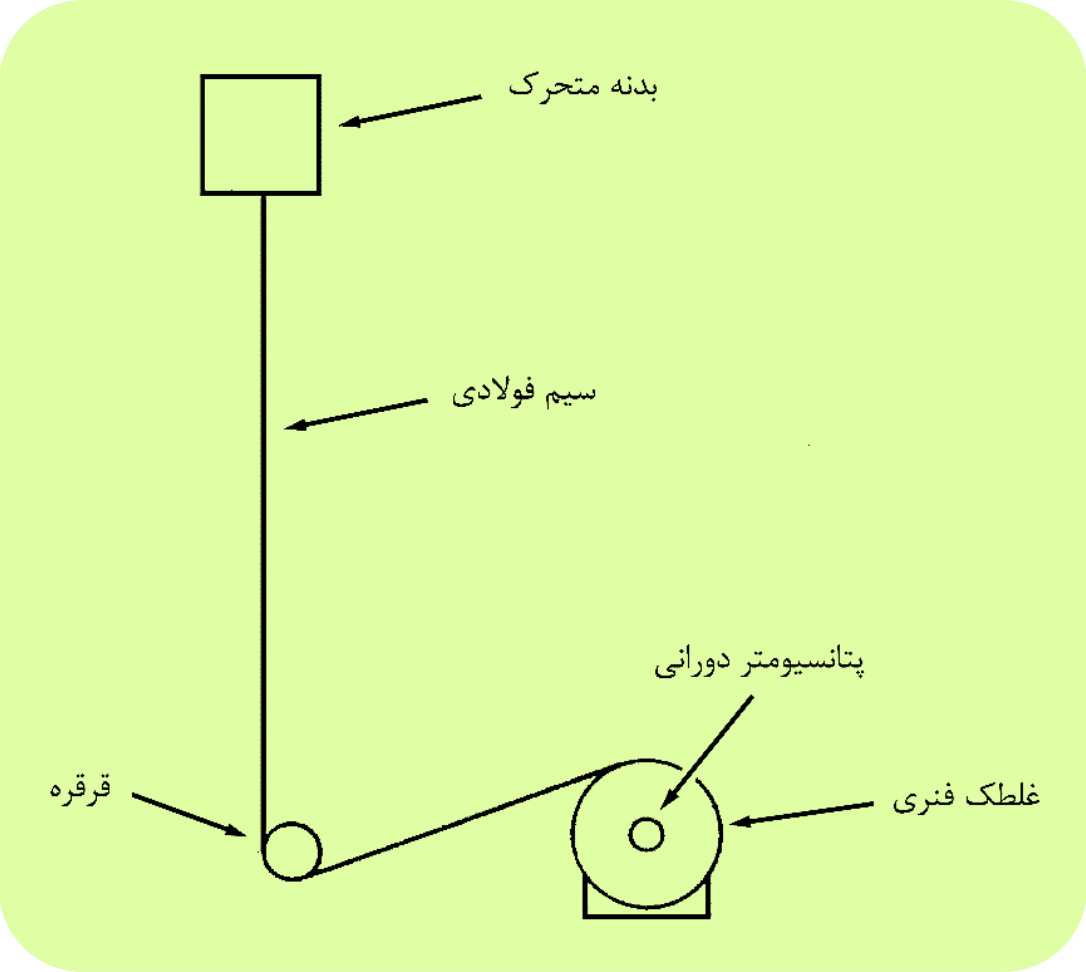
  - عدم صحت: ۰/۵ ± f.s. درصد
  - فرکانس: ۲۰ تا ۴۰ کیلوهرتز
  - فاصله : بالای ۵ متر





ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- پتانسیومتر دوار و غلطک فنری
  - اندازه‌گیری جابجایی‌های بزرگ
  - عدم صحت: ۰/۱ f.s. ± درصد



ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

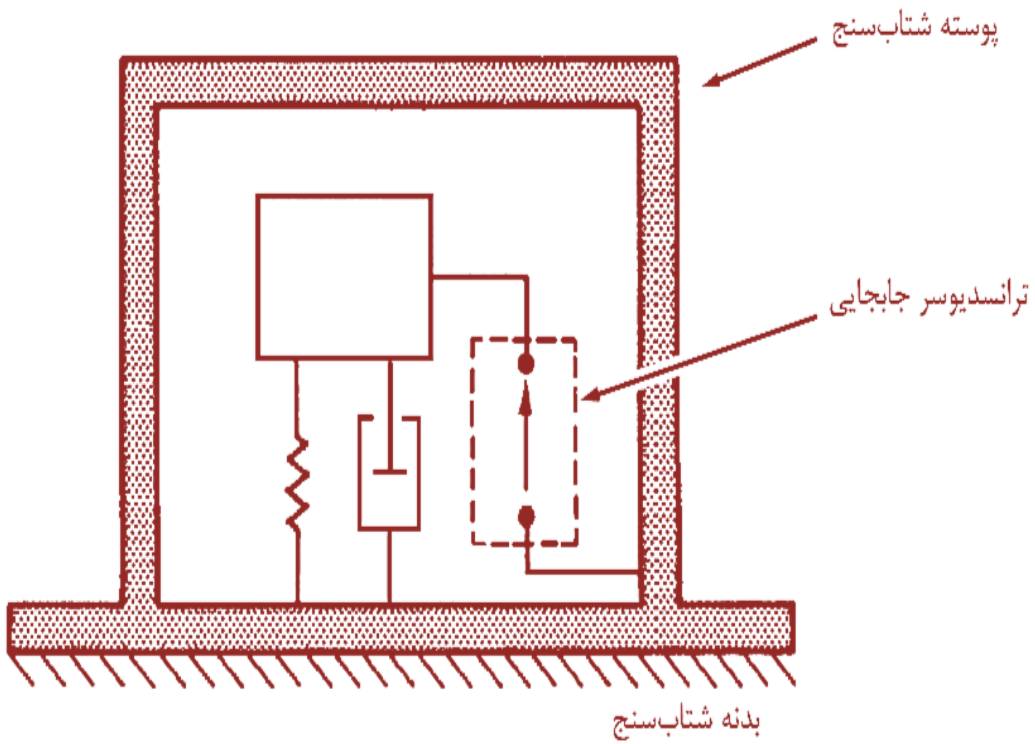
- سرعت انتقالی نمی‌تواند به طور مستقیم اندازه‌گیری شود

  - مشتق‌گیری از اندازه‌گیری جابجایی
  - انتگرال‌گیری از خروجی یک شتاب سنج
  - تبدیل به سرعت چرخشی

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- **شتاب**
  - $Kx + B\dot{x} = M\ddot{x}$

$$Kx = M\ddot{x} \qquad \text{or} \qquad \ddot{x} = \frac{Kx}{M}$$





ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- پتانسیومترهای مقاومتی
  - بازه شتاب: ۰ ~ ۵۰ g
  - عدم صحت: ۱ ± درصد
  - وزن معمول: ۵۰۰ گرم
  - قابلیت تفکیک: ۱ واحد در ۴۰۰
- کرنش سنج‌ها
  - بازه شتاب: بالای ۲۰۰ g
  - عدم صحت: ۱ ± درصد
  - وزن معمول: ۲۵ گرم
  - قابلیت تفکیک: ۱ واحد در ۱۰۰۰

$g=9.81\ kg/m.s^2$

$g=9.81\ kg/m.s^2$

ترانسدیوسرهای حرکت انتقالی

- LVDT
  - بازه شتاب: بالای ۷۰۰ g
  - عدم صحت: ۱ ± درصد
  - وزن معمول: ۱۰۰ گرم
  - قابلیت تفکیک: ۱ واحد در ۴۰۰
- اندوکتانس متغیر
  - بازه شتاب: بالای ۴۰ g
  - عدم صحت: ۰/۲۵ ± درصد
  - وزن معمول: ۵۰۰ گرم
  - قابلیت تفکیک: ۱ واحد در ۱۰۰۰

$g=9.81\ kg/m.s^2$

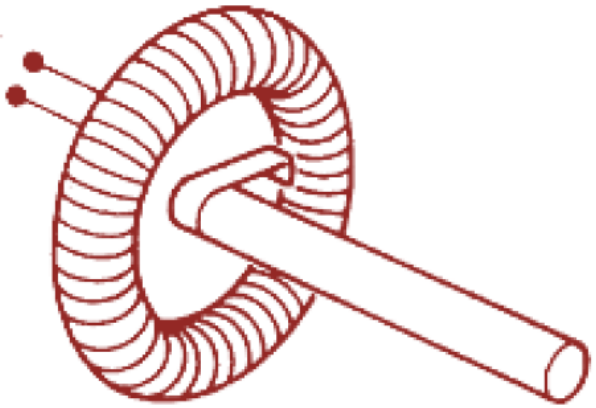
$g=9.81\ kg/m.s^2$

ترانسدیوسرهای
اندازه‌گیری
حرکت دورانی

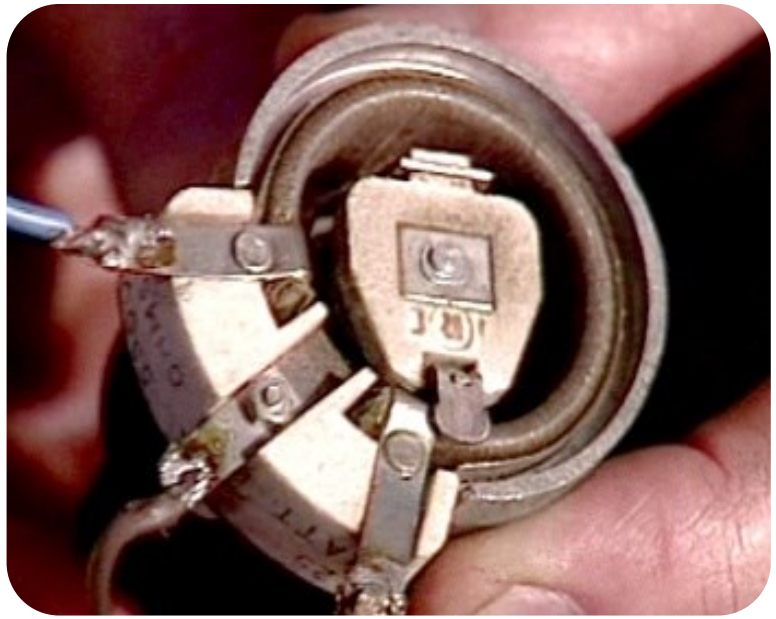
حرکت زاویه
سرعت زاویه ای

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- پتانسیومترهای دایره‌ای
- اندازه‌گیری حرکت زاویه‌ای یک جسم حول محور چرخشی
  - محدوده اندازه‌گیری: ۰ ~ ۳۶۰ درجه
  - صحت: ۱ ± درصد

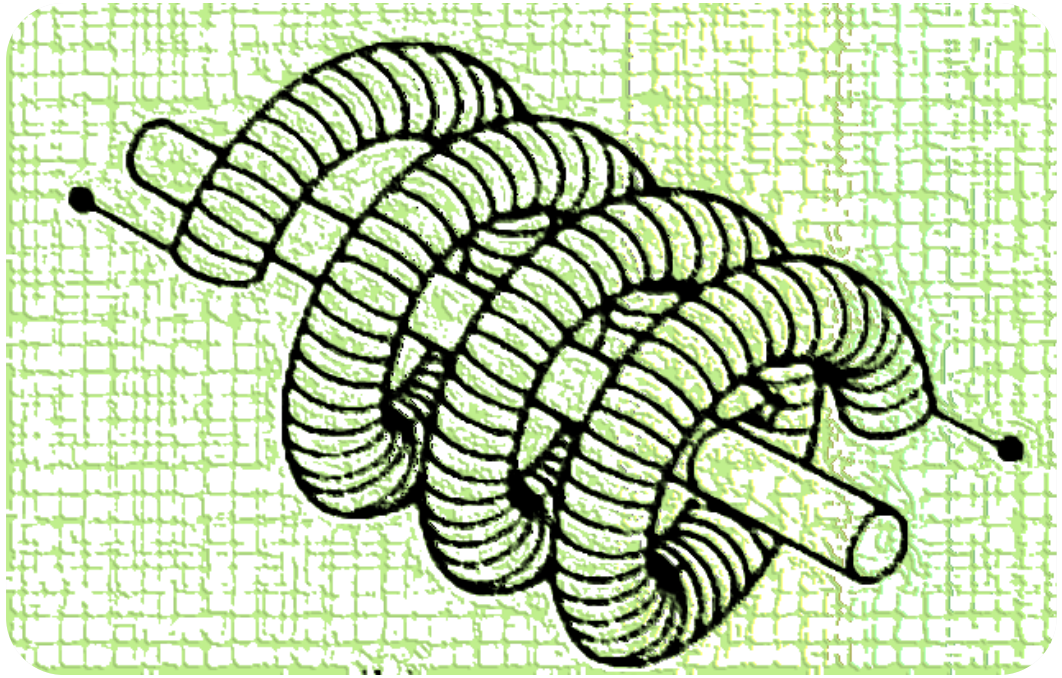






ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

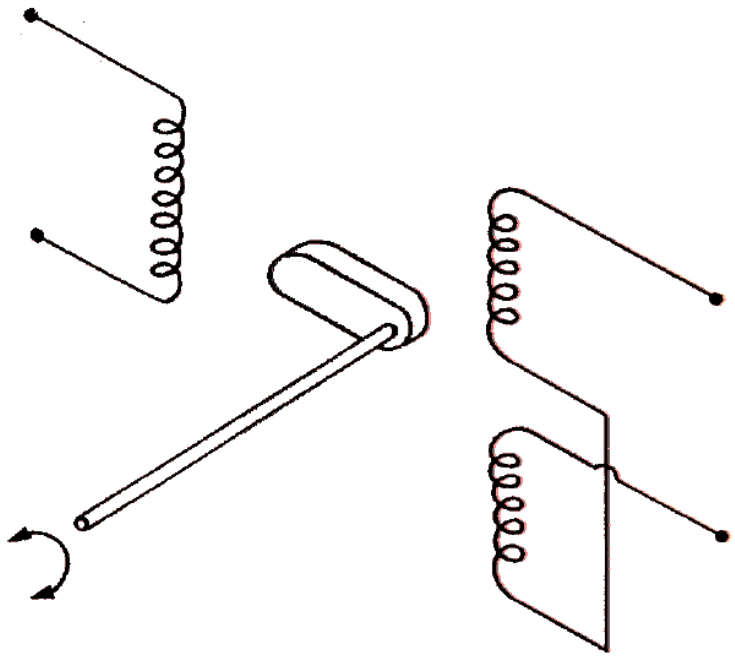
- پتانسیومتر مارپیچی
- ارزانترین وسیله برای اندازه‌گیری جابجایی دورانی



- برای اندازه‌گیری دامنه‌های بیشتر از ۳۶۰
  - محدوده اندازه‌گیری : بیش از ۶۰ دور
  - نامعینی اندازه‌گیری: ٪ ۰/۰۰۲±

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- ترانسفرمرهای تفاضلی دورانی
  - محدوده اندازه گیری: ۴۰° ±
  - نامعینی اندازه گیری: (۳٪ ± برای ۶۰° ±) ۱٪ ±
  - طول عمر بالا، بی نیاز از تعمیر و نگهداری

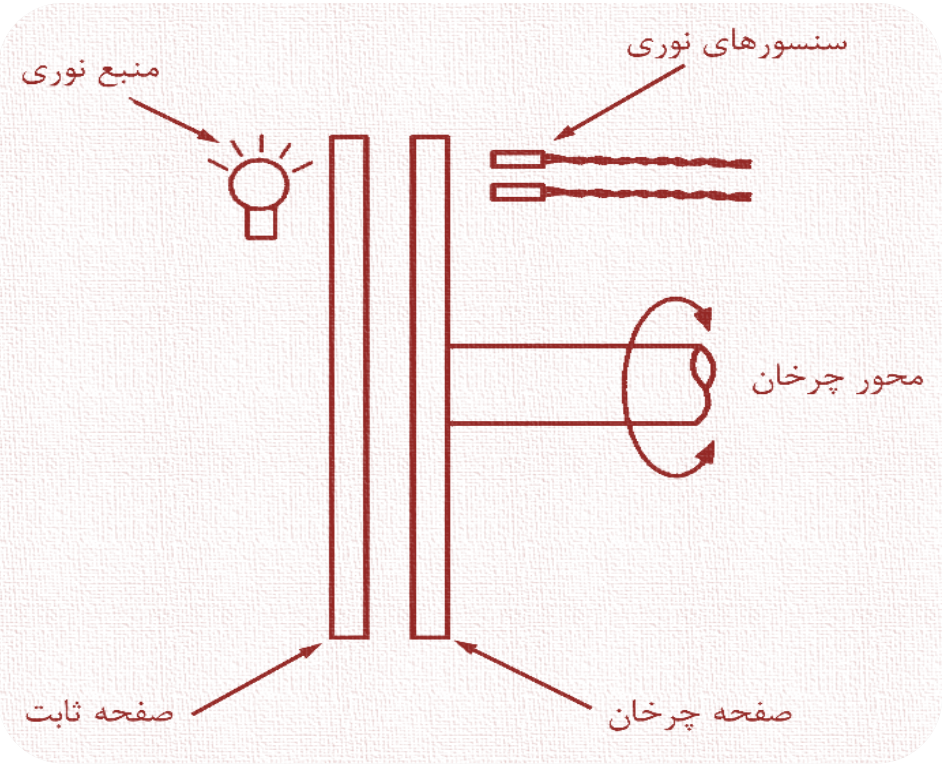




ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- **اینکودرهای افزایشی**

اصول عملکرد:دوران زاویه ای کل با شمارش پالس هنگام چرخش شفت مورد اندازه‌گیری، استباط می‌شود.

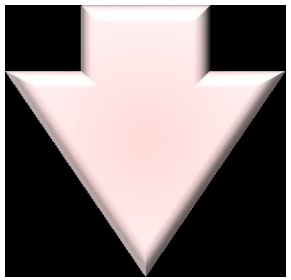


- بیشترین تعداد شکاف: دیسک با قطر ۱۵۰میلی متر=۵۰۰۰
- تفکیک اندازه گیری:۱÷۵۰۰۰ ~ ۱÷۲۰۰۰۰

خروجی از نوع دیجیتال بوده است.

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- بیشترین تعداد شکاف‌ها بر مسیر برای دیسکی با قطر ۱۵۰ mm برابر با ۵۰۰۰ = تفکیک اندازه‌گیری زاویه‌ای برابر با ۱ در ۵۰۰۰



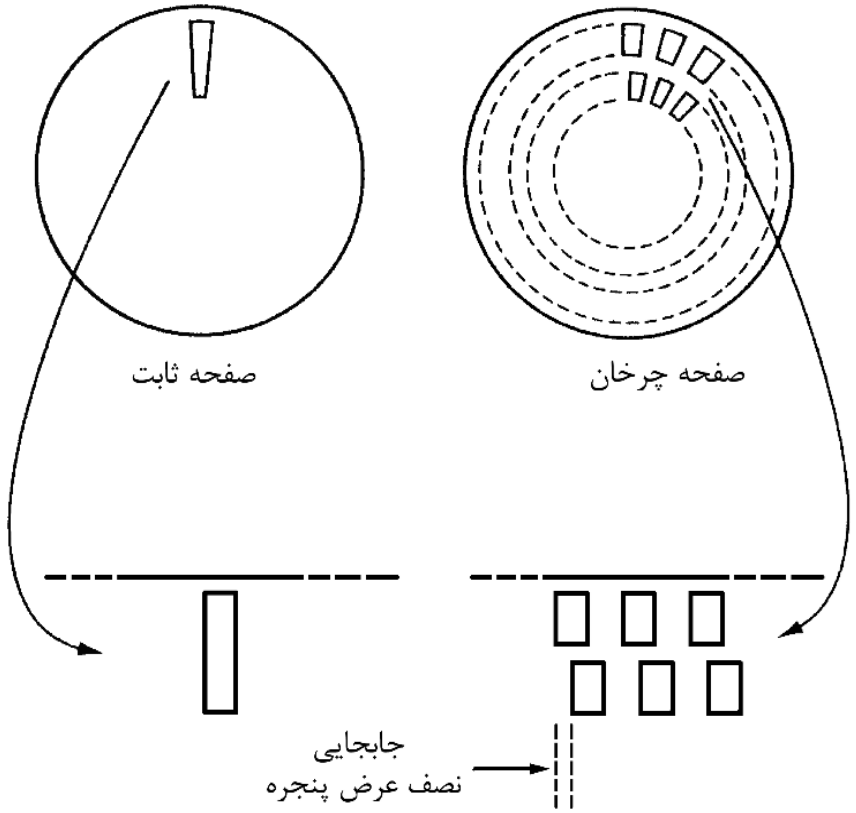
با پیچیده کردن

- بیشترین تفکیک اندازه‌گیری ۱ در ۲۰،۰۰۰

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

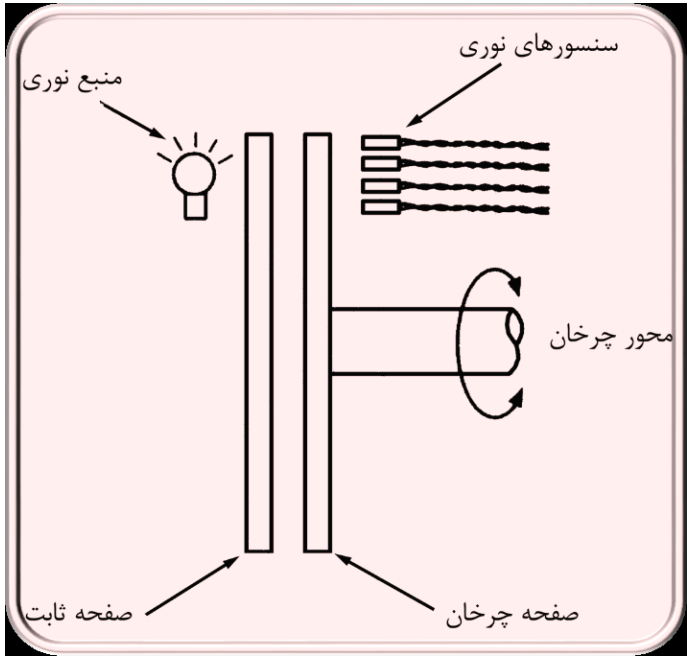


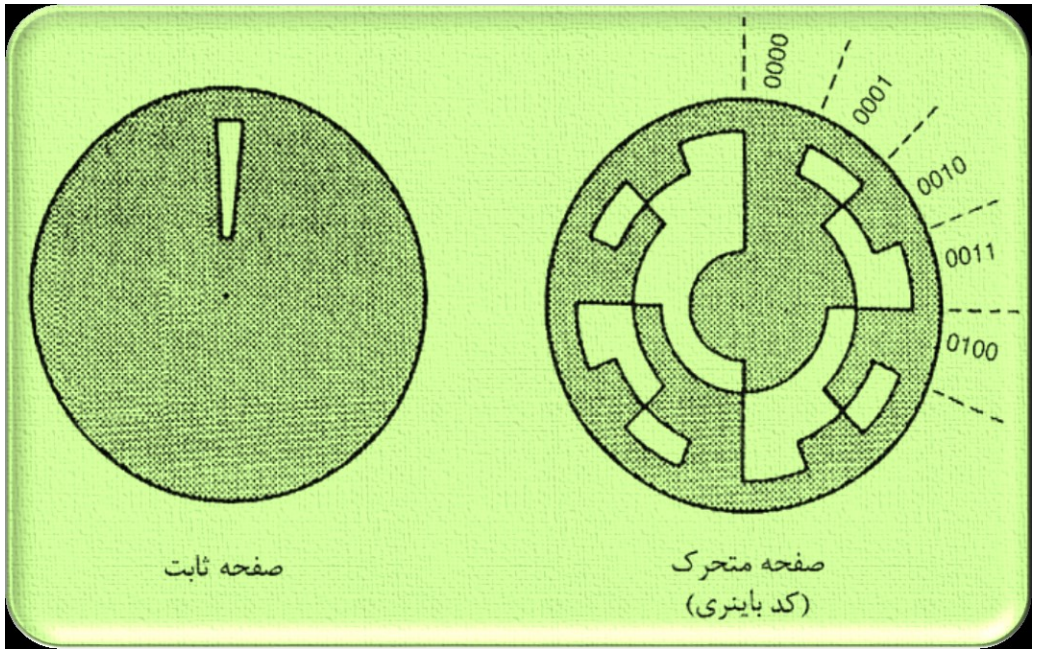




ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- اینکودرهای صفحه کد شده
- دارای خروجی باینری بوده و دارای دقت و قابلیت اطمینان بسیار بالا می‌باشند.

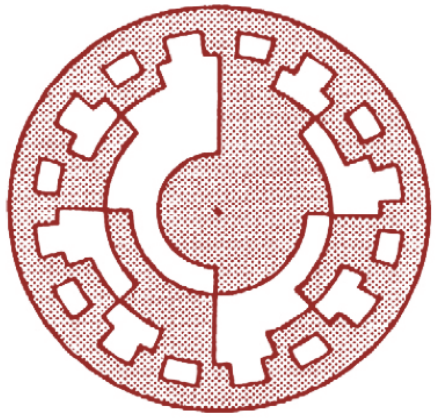




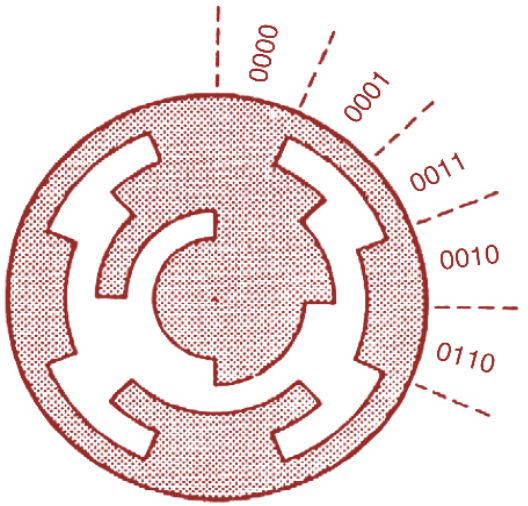
ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- اینکودرهای دیجیتال تماسی (الکتریکی)
  - بیشترین تعداد شیار ۱۰
  - تفکیک: ۱۰۰۰÷۱

عدد دهگان	کد باینری	کد خاکستری
۰	۰۰۰۰	۰۰۰۰
۱	۰۰۰۱	۰۰۰۱
۲	۰۰۱۰	۰۰۱۱
۳	۰۰۱۱	۰۰۱۰
۴	۰۱۰۰	۰۱۱۰
۵	۰۱۰۱	۰۱۱۱
۶	۰۱۱۰	۰۱۰۱
۷	۰۱۱۱	۰۱۰۰
۸	۱۰۰۰	۱۱۰۰
۹	۱۰۰۱	۱۱۰۱
۱۰	۱۰۱۰	۱۱۱۱



کد باینری
با مسیر ضد ابهام



کد خاکستری
(گری کد)

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- بیشترین تعداد شیارهای ممکن ۱۰ بوده که تفکیک را به ۱ بخش در ۱۰۰۰ محدود می‌کند.





ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

ریزولور (سینکرو-ریزولور)

- دستگاه الکترومغناطیس برای تبدیل جا به جایی به خروجی آنالوگ
- قطری بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلی متر



ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- **ریزولور با دامنه خروجی متغیر**
- استاتور این مدل توسط ولتاژ سینوسی تک فاز با فرکانس ω تحریک شده، دامنه ولتاژ بصورت زیر است:

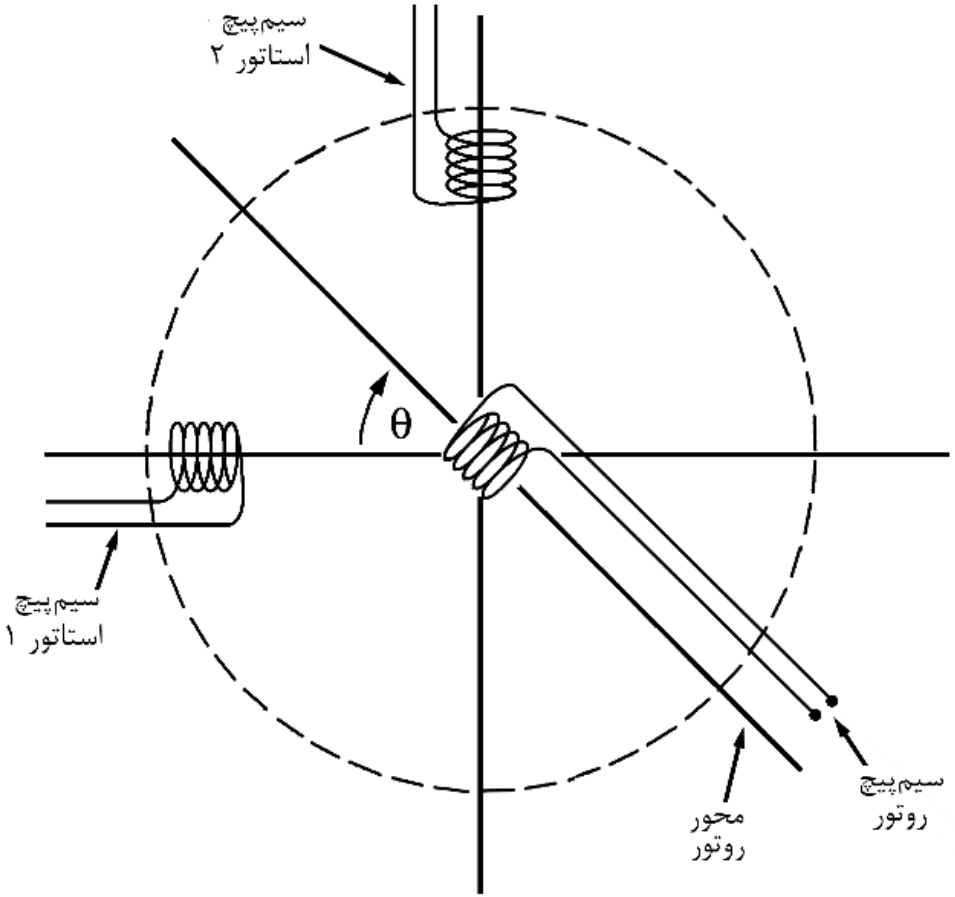
$$V_1 = Vsin(\beta);\quad V_2 = Vcos(\beta);\ V = V_s\sin(\omega t)$$

- کوپل مغناطیسی بین سیم‌پیچ‌ها زمانی که $\theta = (\beta + \pi/2)$ حداکثر و هنگامی که $(\theta = \beta)$ حداقل است.
- ولتاژ خروجی روتور در فرکانس ثابت و دامنه متغیر به صورت زیر می‌باشد:

$$V_0 = KV_s sin(\beta - \theta)sin(\omega t) \quad |\beta - \theta| < 15^{\circ}$$

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- تفکیک: ۱۰۰۰÷۱
- باعث بهبود تفکیک اندازه گیری به اندازه ۲ دقیقه کمان



ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- **ریزولور با فاز خروجی متغیر**
- دامنه های ولتاژ لحظه ای در دو پیچش به صورت زیر می‌باشد:

$$V_1 = V_s \sin(\omega t); \quad V_2 = V_s \sin(\omega t + \pi/2) = V_s \cos(\omega t)$$

$$\begin{aligned} V_0 &= KV_s \sin(\omega t)\cos(\theta) + KV_s \cos(\omega t)\cos(\pi/2 - \theta) \\ &= KV_s[\sin(\omega t)\cos(\theta) + \cos(\omega t)\sin(\theta)] \\ &= KV_s \sin(\omega t + \theta) \end{aligned}$$

- نامعینی اندازه گیری : ٪۱±
- فرکانس تحریک متعادل: ۴۰۰ Hz

ترانسدیوسرهای حرکت

- **کاربردهای ریزولور با دامنه خروجی متغیر**
  - **هوافضا**
  - **نیروگاه اتمی و تاسیسات هسته ای**
  - **اتوماسیون صنعتی**
  - **تجهیزات حفاری نفت**
  - **رباتیک**
  - **کشتی سازی**



بازوهای رباتیک





ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

سینکرو

وسیله الکترومکانیکی شبه موتور با خروجی آنالوگ

ولتاژ تحریک روتور ، در صورت اعمال یک ولتاژ محرک a.c. توسط حلقه‌های لغزش و جاروبک‌ها به روتور به صورت زیر است.

$$V_r = V \sin(\omega t)$$

ولتاژ القا شده در سیم‌پیچ سه استاتور عبارتند از:

$$V_1 = V \sin(\omega t) \sin(\beta)$$

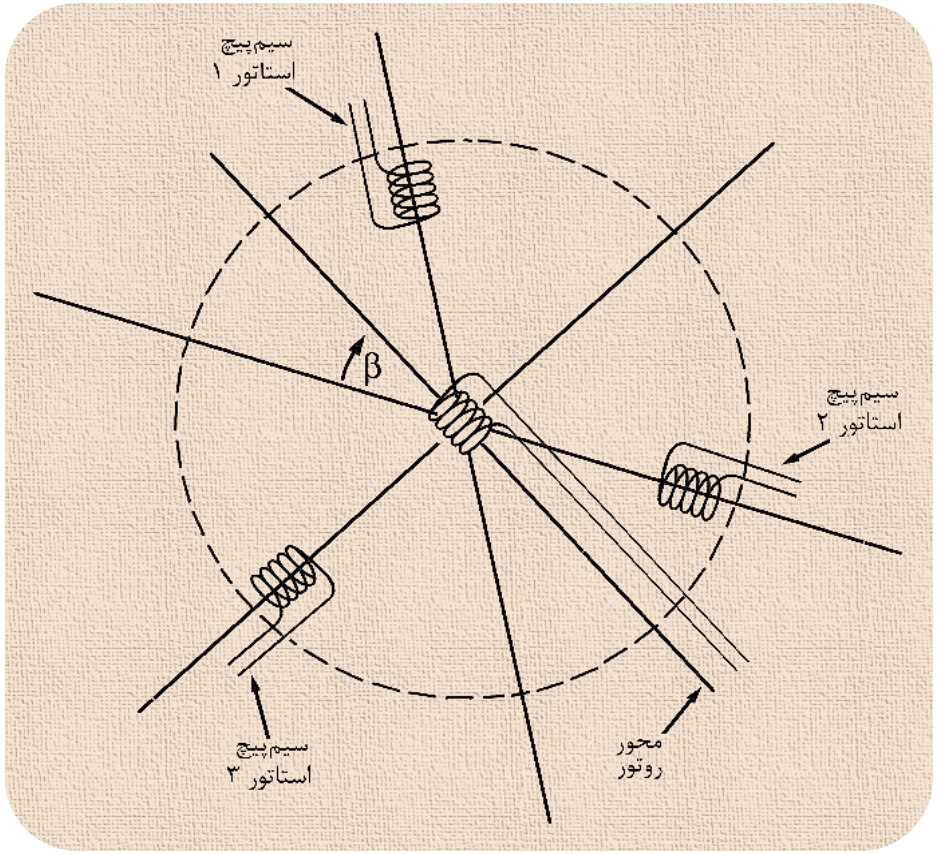
$$V_2 = V sin(\omega t) \sin\left(\beta + \frac{2\pi}{3}\right);$$

$$V_3 = V sin(\omega t) \sin\left(\beta - \frac{2\pi}{3}\right)$$

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

برای ولتاژ تحریک، $V\sin(\ \ t)$ اعمال شده به روتور ترانسمیتر، ولتاژ اندازه‌گیری شده در روتور ترانسفرمر به صورت زیر خواهد بود،

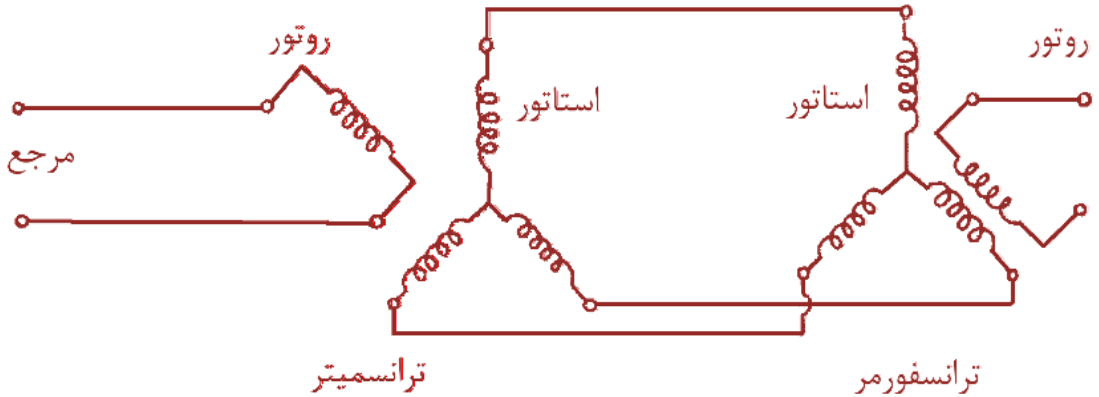
$$V_0 = Vsin(\omega t)sin(\theta)$$

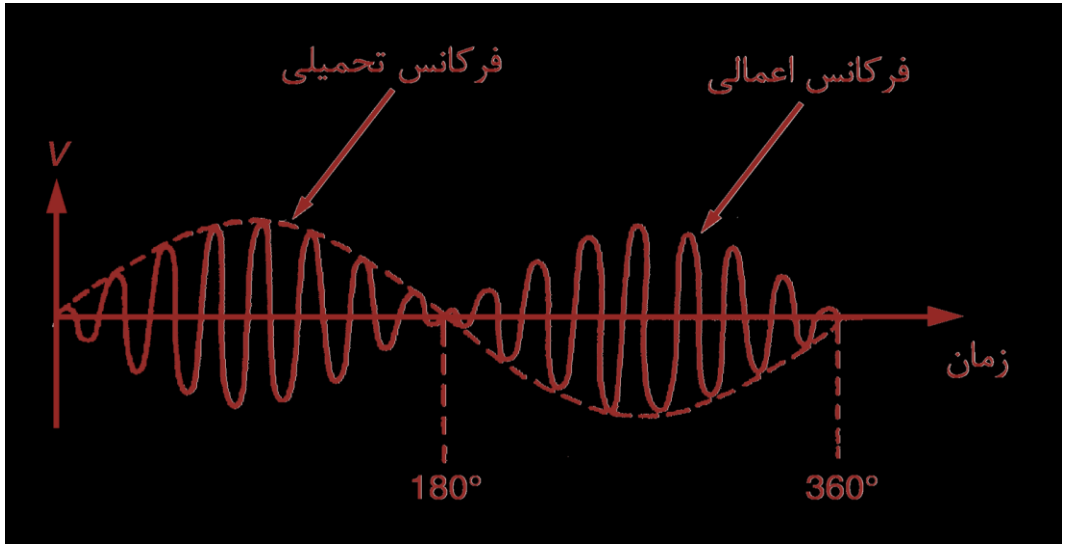


نامعینی اندازه‌گیری: ٪ ۰/۵ ±

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- شکل موج ولتاژ القا شده در هر سیم‌پیچ استاتور:





ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- **ژیروسکوپ**

ژیروسکوپ برای اندازه‌گیری هم جابجایی زاویه‌ای مطلق و هم سرعت زاویه‌ای مطلق استفاده می‌شود.



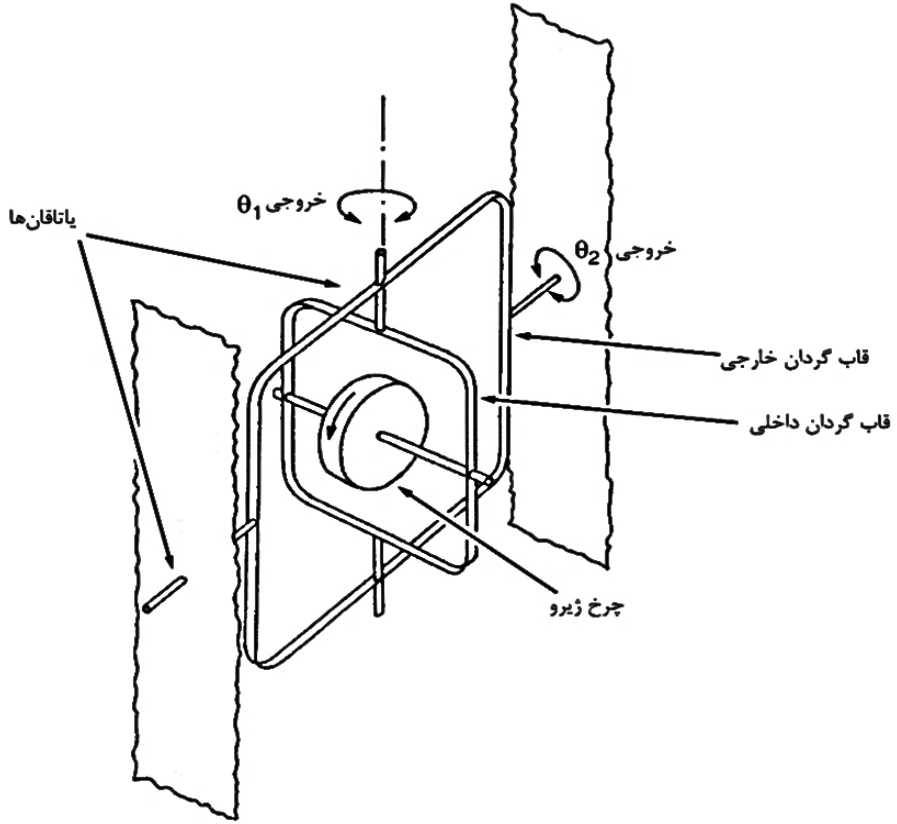
ژیروسکوپ مکانیکی

انواع ژیروسکوپ مکانیکی:

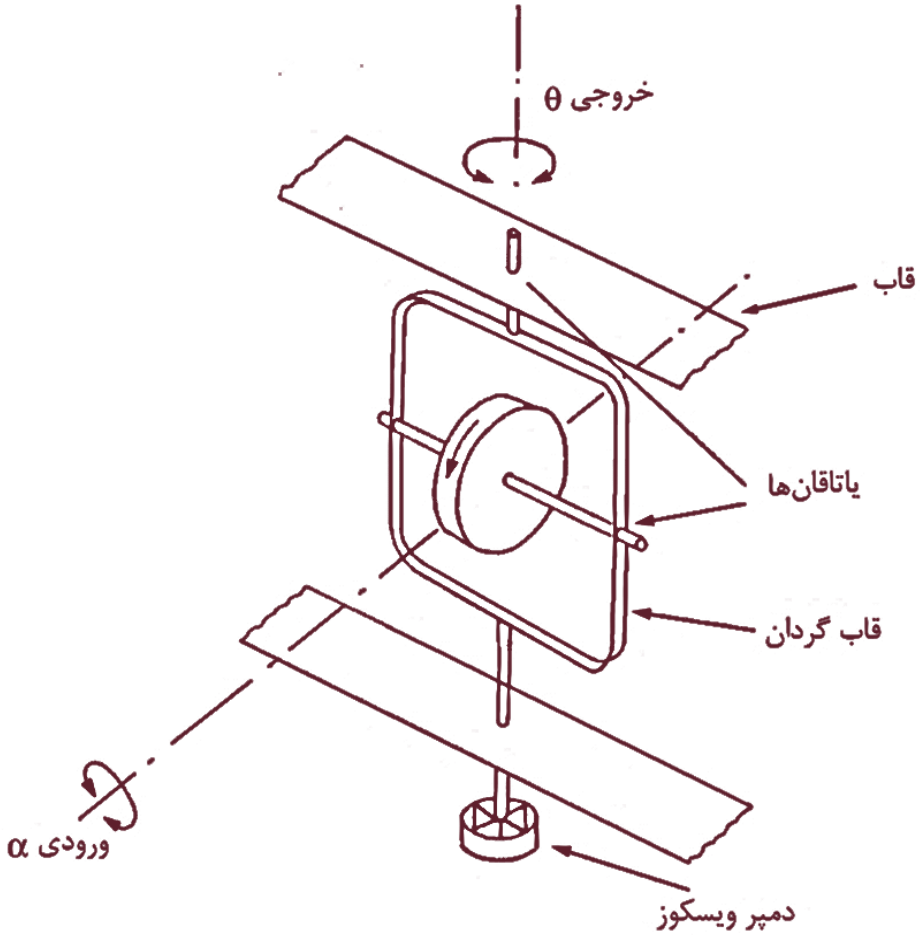
- ژیروسکوپ آزاد
- ژیروسکوپ انتگرالی
- ژیروسکوپ نرخ

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- ژیروسکوپ آزاد
- اندازه گیری زاویه‌ای مطلق دوران حول دو محور عمودی برای جسم متصل به قاب
  - حدود : بالای ۱۰ °
  - بزرگنمایی: ۰/۵ °/min



ترانسدیوسرهای حرکت دورانی



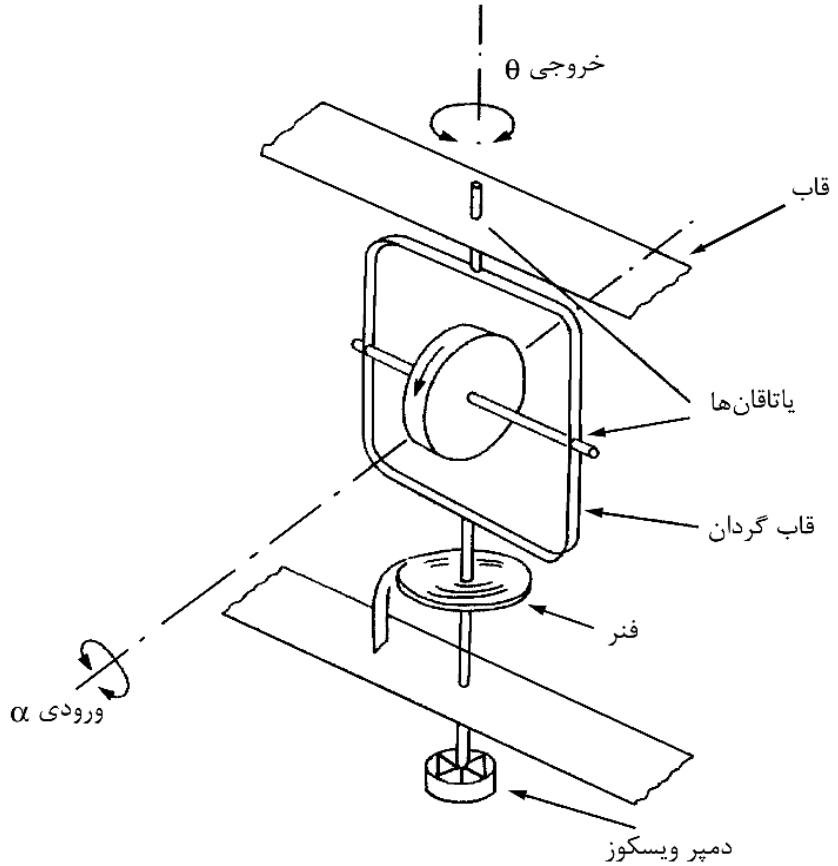
- **ژیروسکوپ انتگرال نرخ (انتگرالی)**
- این ابزار دارای پاسخ رسته یکی به صورت زیر است:

$$\frac{\theta_0}{\theta_i}(D) = \frac{K}{\tau D + 1}$$

- انحراف $^\circ$۰/۰۱ در ساعت
- سرعت‌های بالای r.p.m ۲۴۰۰۰

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- ژیروسکوپ نرخ





ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

ژیروسکوپ نرخ

تفکیک اندازه‌گیری معمول بدست آمده توسط این ابزار ۰/۰۱ °/s

نرخ چرخشی تا ۵۰° /s

سرعت زاویه‌ای جسم:

$$\frac{\theta}{\alpha}(D) = \frac{H}{MD^2 + \beta D + K}$$

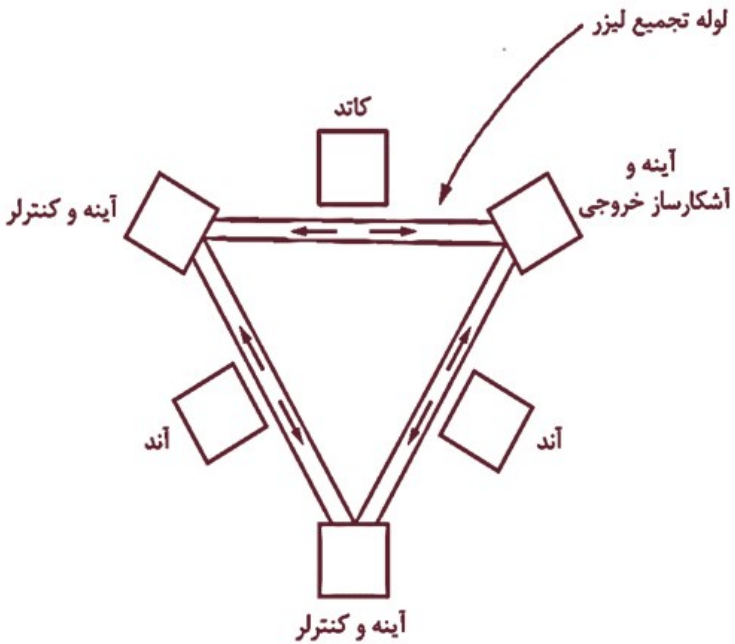
با بازنویسی برای رسیدن به مقدار نهایی:

$$\left|\frac{\theta}{\alpha}(D)\right| = \frac{K'}{D^2/\omega^2 + 2\xi D/\omega + 1}$$

$$K' = H/K,\ \omega = \sqrt{K/M},\ and\ \xi = \frac{\beta}{2\sqrt{KM}}$$

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

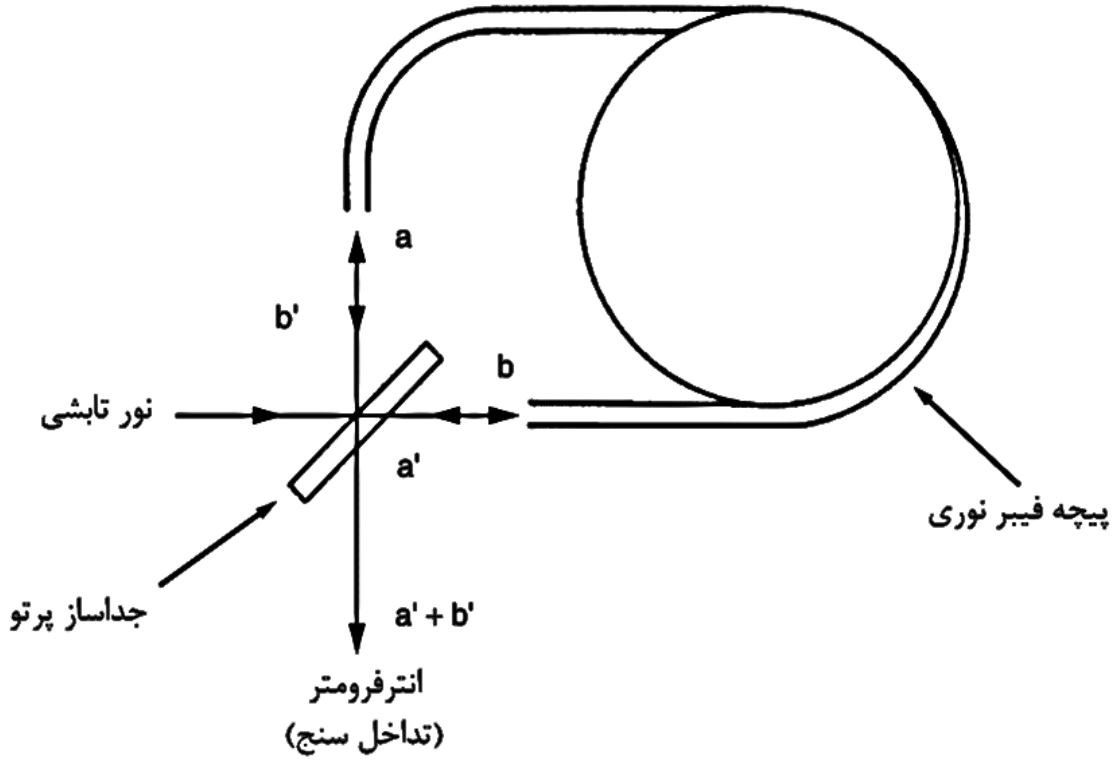
- دو نوع ژیروسکوپ‌های حلقه–لیزر و ژیروسکوپ‌های فیبر نوری
- **ژیروسکوپ‌های لیزری**
- مزیت: دقت اندازه گیری بالا، اندازه مناسب برای اکثر کاربردها





ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

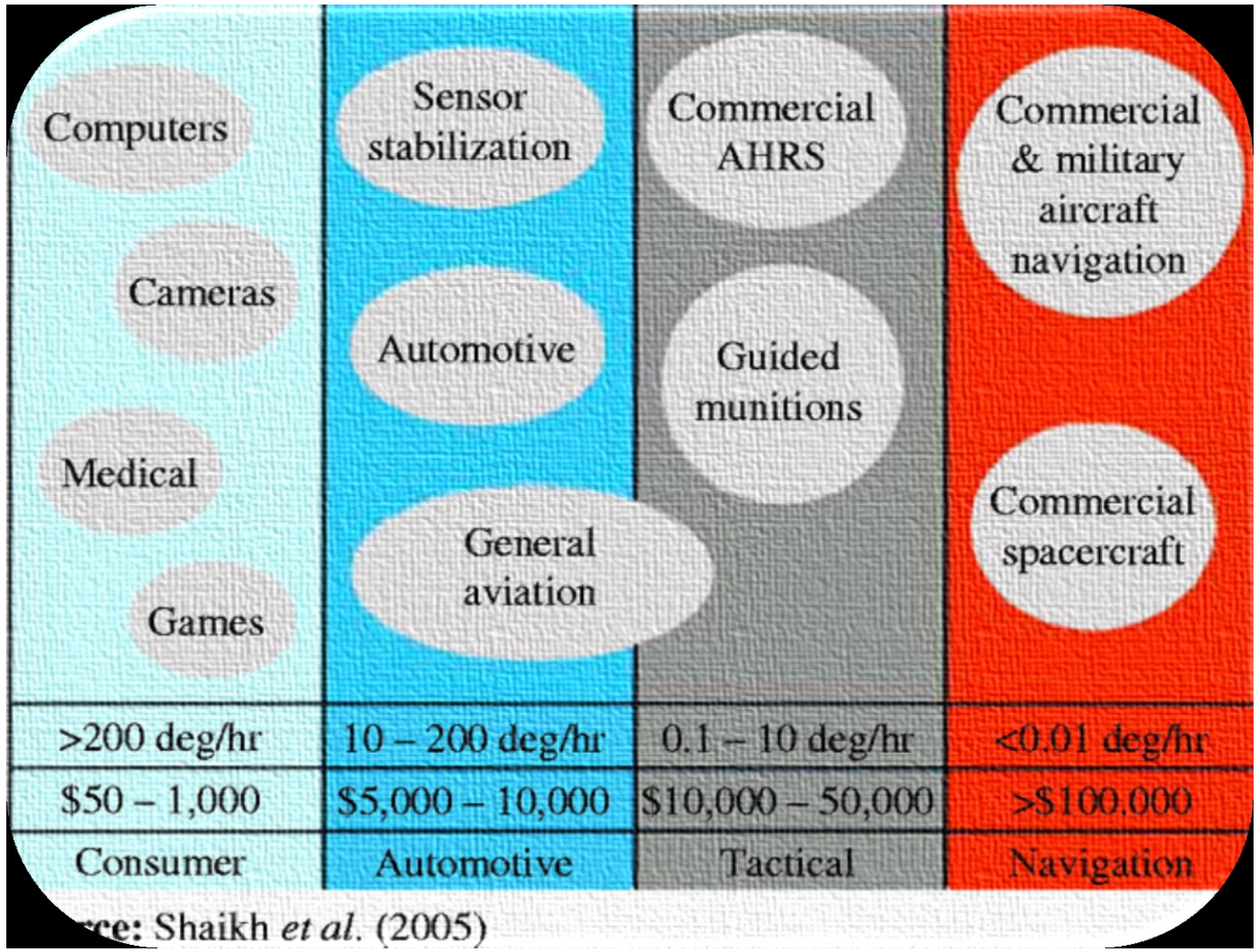
ژیروسکوپ فیبر نوری





ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- ژیروسکوپ



rce: Shaikh *et al.* (2005)

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- **سرعت زاویه‌ای**
- کاربرد اصلی ترانسدیوسرهای سرعت دورانی در سیستم‌های کنترل سرعت



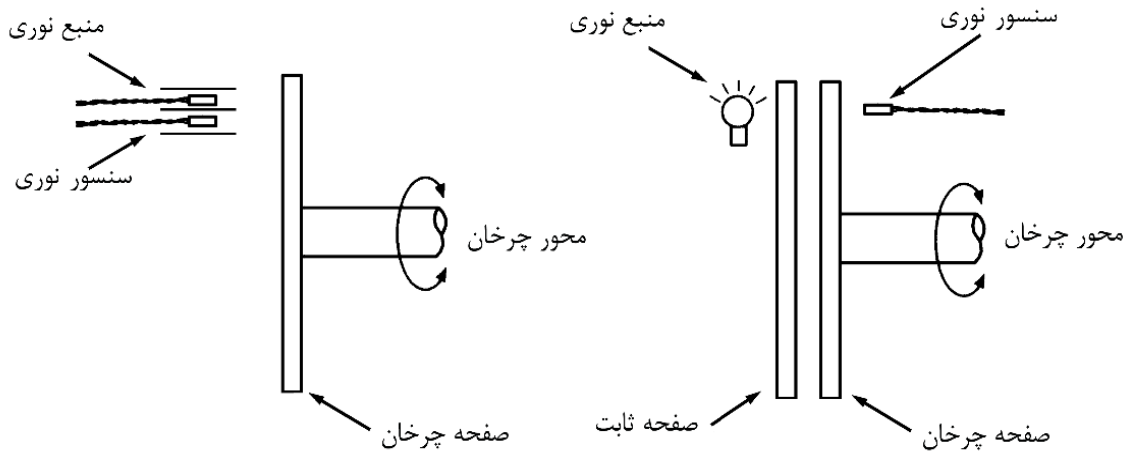
- سرعت سنج دیجیتالی
  - پالس‌های زمانی از ۱ MHz

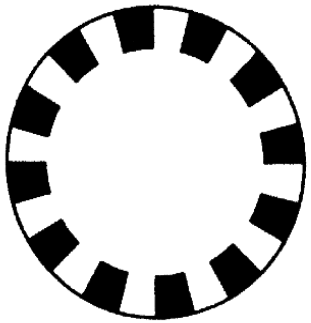
ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- **سنجش نوری**

روش تولید پالس فتوالکتریک:

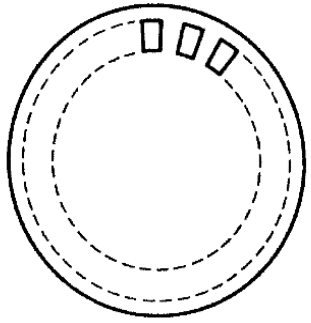
منبع نور عموما از نوع لیزر یا دیودهای LED بـوده که به همراه با دیودهای نوری و فوتوترانزیسـتور بـه عنوان آشکارساز بکار می‌روند.





جزیات صفحه

(ب)



جزیات پنجره روی صفحه چرخان

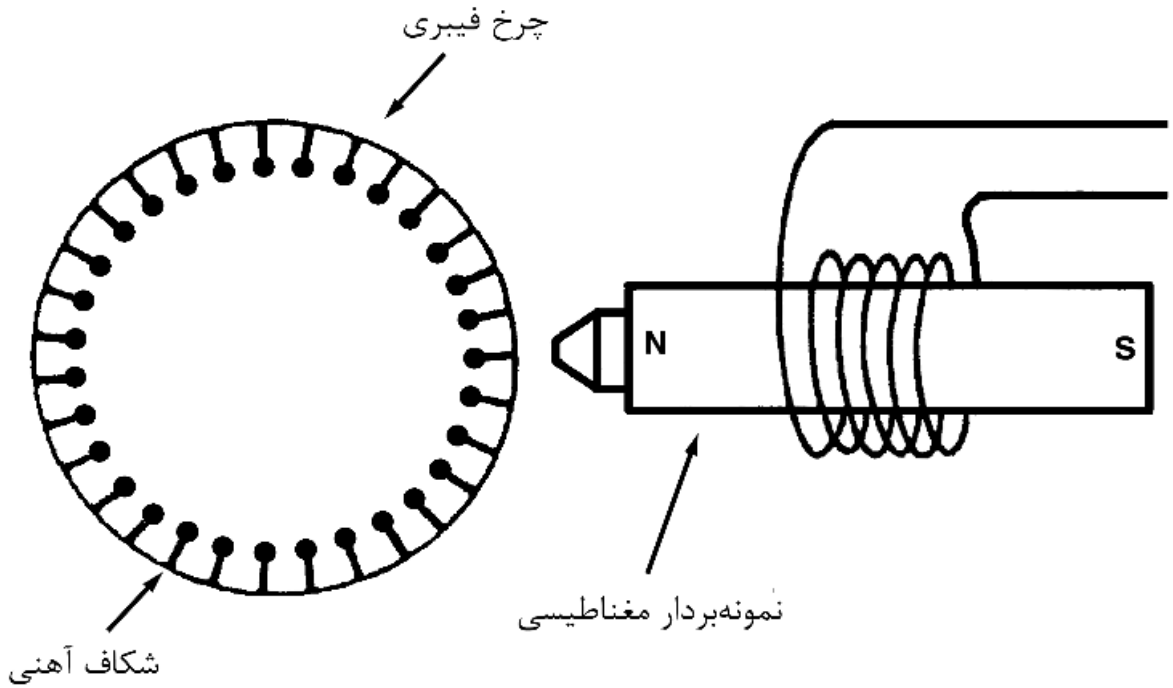
(الف)

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- سنجش القایی-ترانسدیوسرهای سرعت مقاومت متغیر (VRVT)

فاصله بین نمونه‌بردار (پیکاپ) و محیط خارجی صفحه حدود ۰/۵ میلیمتر

حداکثر سرعت زاویه‌ای قابل اندازه‌گیری :r.p.m . ۱۰،۰۰۰



ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

روش چرخش‌نما

- سرعت نور موجود در چرخ‌نماهای تجاری: از ۱۱۰ تا ۱۵۰،۰۰۰ در هر دقیقه
- خطا در مقادیر اندازه‌گیری خوانده شده ±۰٫۱٪

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

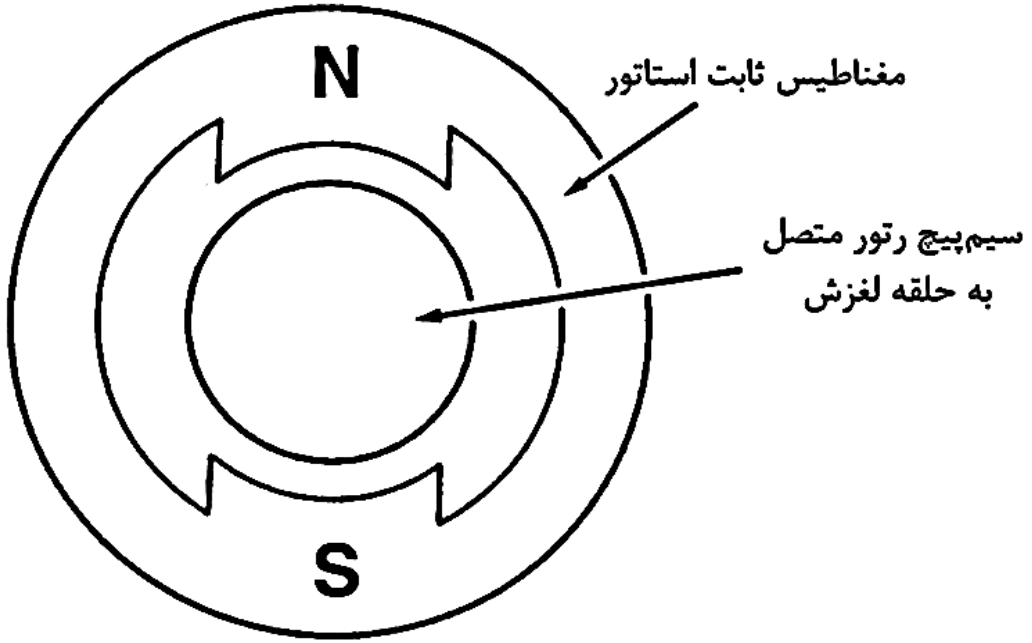
سرعت‌سنج آنالوگ

سرعت‌سنج d.c.

میزان حساسیت اندازه‌گیری ۵ ولت در هر ۱۰۰۰ دور در دقیقه

دامنه معمول اندازه‌گیری صفر تا ۶۰۰۰ دور در دقیقه

بیشترین مقدار غیرخطی بودن در حدود f.s. ±۱ درصد



ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

سرعت‌سنج آنالوگ


سرعت‌سنج a.c.

دامنه معمول اندازه‌گیری صفر تا ۴۰۰۰ دور در دقیقه

عدم صحت ۰/۰۵± درصد در مقیاس کامل

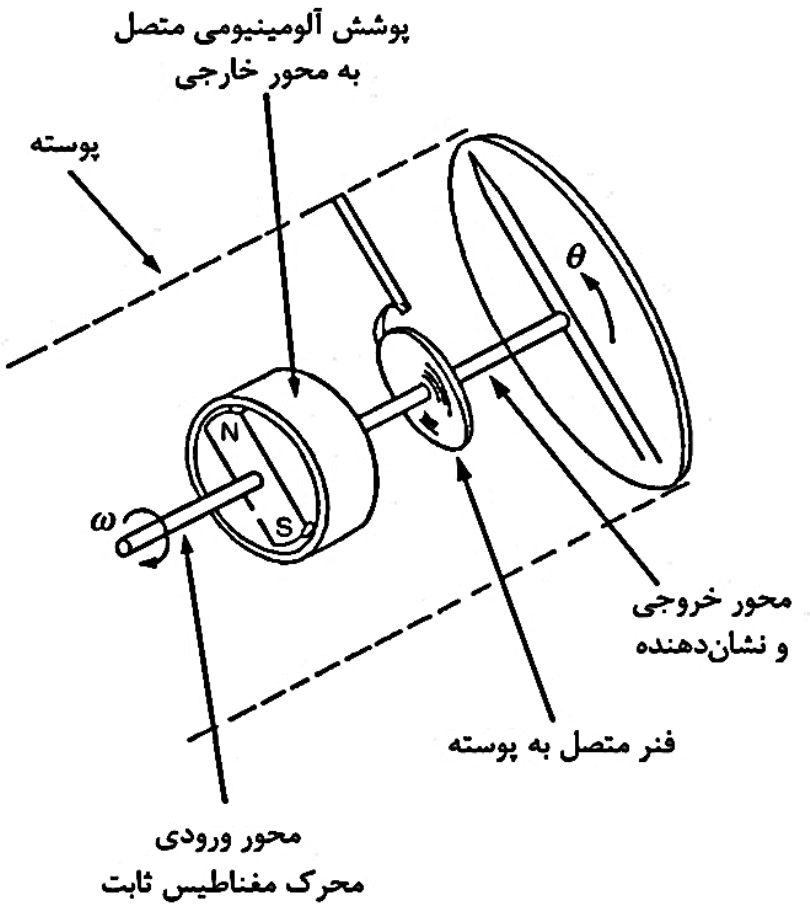
عدم صحت نسخه های ارزاتر با روتور قفس سنجابی : ۰/۲۵±

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- سرعت‌سنج فنجان کششی

◀ خطای اندازه‌گیری معمول ۰/۵±

◀ به اندازه‌گیری سرعت بالای ۱۵۰۰۰دور بر دقیقه



ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- **سرعت زاویه‌ای**

- مشتق گیر اندازه‌گیری جابجایی زاویه‌ای
- باعث افزایش نویز در سیستم
- بیشترین عدم صحت و خطا در حدود ٪ ۱±

- انتگرالگیری از خروجی یک شتاب‌سنج
- کاهش اندازه نویز
- مقدار اندازه گیری در این حالت بیانگر سرعت متوسط است.

ترانسدیوسرهای حرکت دورانی

- **شتاب دورانی**

شتاب وارده به غلاف سبب ایجاد گشتاور، $J\ddot{\theta}$ بر روی جرم می‌شود. این گشتاور با عکس العمل گشتاور حاصل از مقاومت فنر برابر بوده، داریم:

$$J\ddot{\theta} = K\theta$$

$$\ddot{\theta} = \frac{K\theta}{J}$$

معمولا از یک میراگر برای جلوگیری از نوسان سیستم در ابزار استفاده می‌شود:

$$J\ddot{\theta} = B\dot{\theta} + K\theta$$

اندازه‌گیری فشار

مکانیکی الکترونیکی

فشار

- فشار = نیرو بر واحد سطح

- $1\,Pa = 1\,\frac{N}{m^2}$
- $1\,kPa = 1\,\frac{kN}{m^2}$ & $1\,MPa = 1\,\frac{MN}{m^2}$
- $1\,bar = 100\,kPa$
- $1\,atm = 101.325\,kPa\ \ (sea\ level)$
- $1\,mm\,Hg = 133.322\,Pa$
- $1\,\frac{lbf}{in^2}\ (psi) = 6894.757\,Pa$
- $1\,bar = 14.503774\,psi$

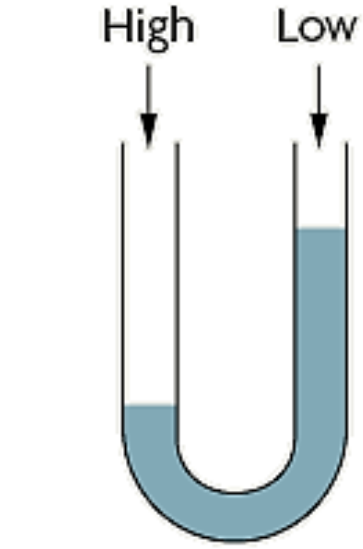
روش‌های اندازه‌گیری فشار

- مکانیکی
  - مانومتر U شکل ، لوله بوردن ، دیافراگم و بلو، تست وزن مرده
- الکتریکی
  - کرنش سنج، سنسور خازنی، پتانسیومتری، سیم مرتعش، پیزوالکتریک، مغناطیسی و نوری

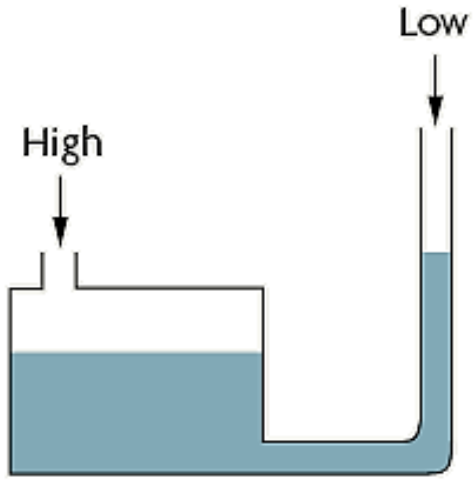
مانومتر Manometer

- ایده اصلی شامل یک مخزن پر شده با سیال و یک لوله عمدی است
- مقدار فشار به صورت $(p_1 - p_2) = h\rho g$ محاسبه می‌شود
- برای فشارهای تا ۲ بار

به دلیل اینکه تعیین دقیق سطح خمیده مایع در دو نیمه لوله دشوار می‌باشد، خروجی خوانده شده مانومتر U شکل در معرض خطا می‌باشد.



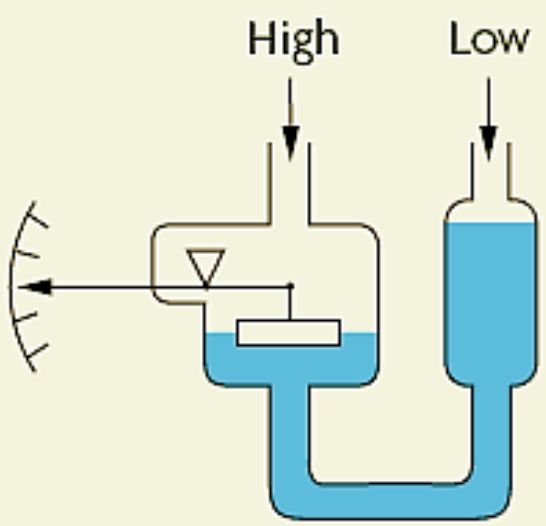
A) U-Tube Manometer



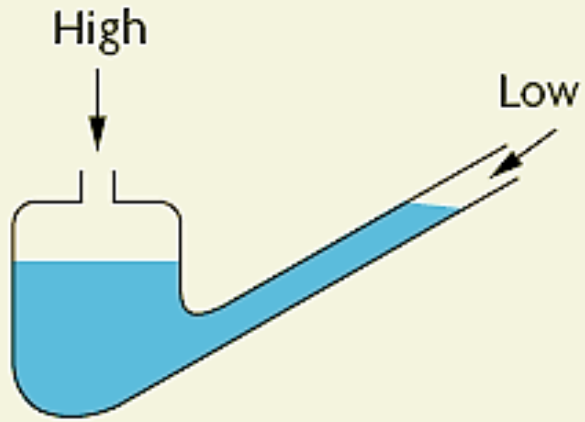
B) Well (Resevoir) Manometer

مانومتر Manometer

- نحوه قرار گیر لوله مانومتر برای نمایش دقیق تر مقدار تغییرات فشار
  - استفاده از شناور
  - لوله شیبدار



C) Float Manometer



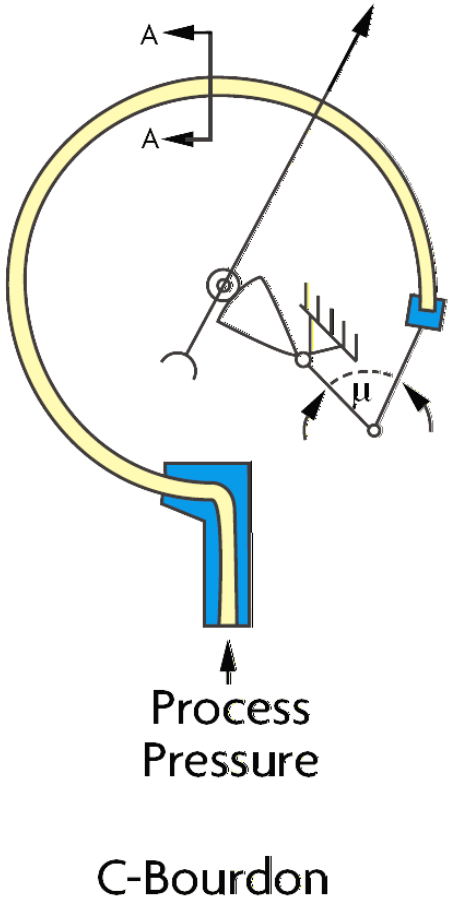
D) Inclined Manometer

لوله بوردن Bourdon tube

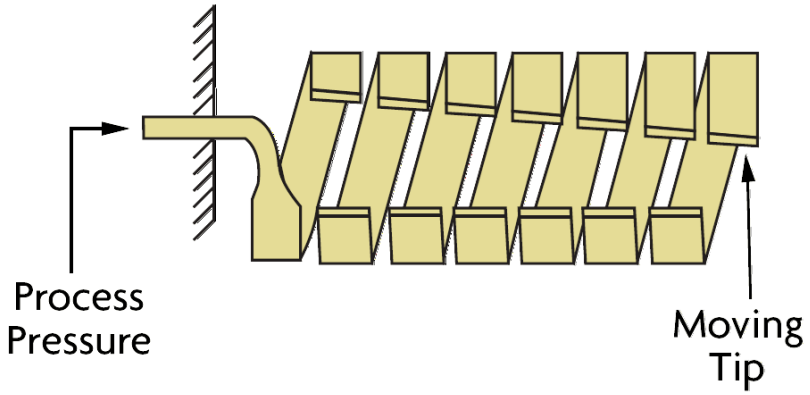
- المانهای الاستیک اندازه گیری فشار
- به طور معمول برای اندازه‌گیری فشار گیج سیال مایع و گازی استفاده می‌شود
- شامل یکی لوله محنی شکل که در یک انتها بسته شده و از طرف دیگر آزاد می باشد
- هنگامی که فشار وارد قسمت انتهایی باز و ثابت لوله می‌شود، مقطع بیضی شکل لوله مدورتر می‌شود. در نتیجه یک جابجایی در انتهای آزاد لوله به وجود می‌آید.

لوله بوردن

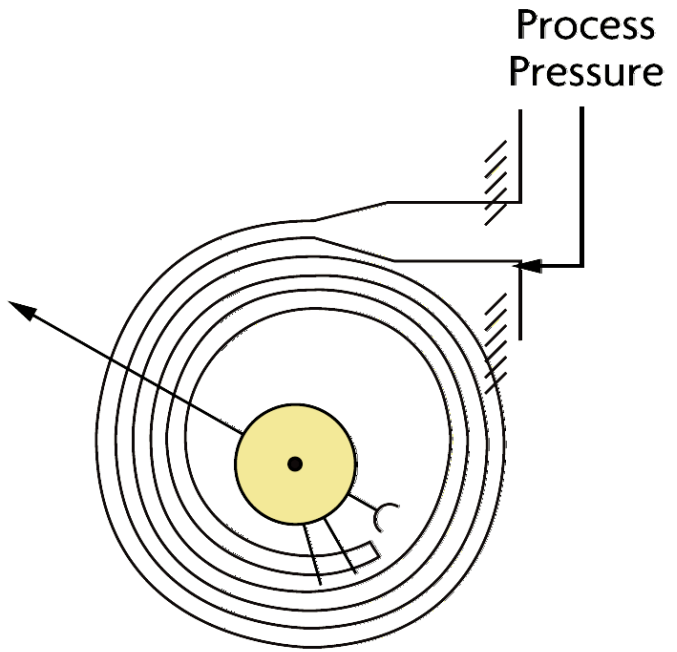
- سه نوع مختلف از لوله بوردن
  - ۱- مدل C شکل
  - ۲- سیم پیچ



C-Bourdon



Helical

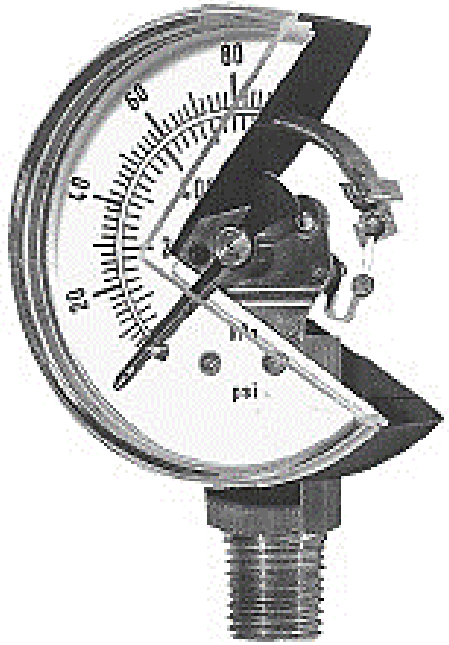


Spiral

لوله بوردن

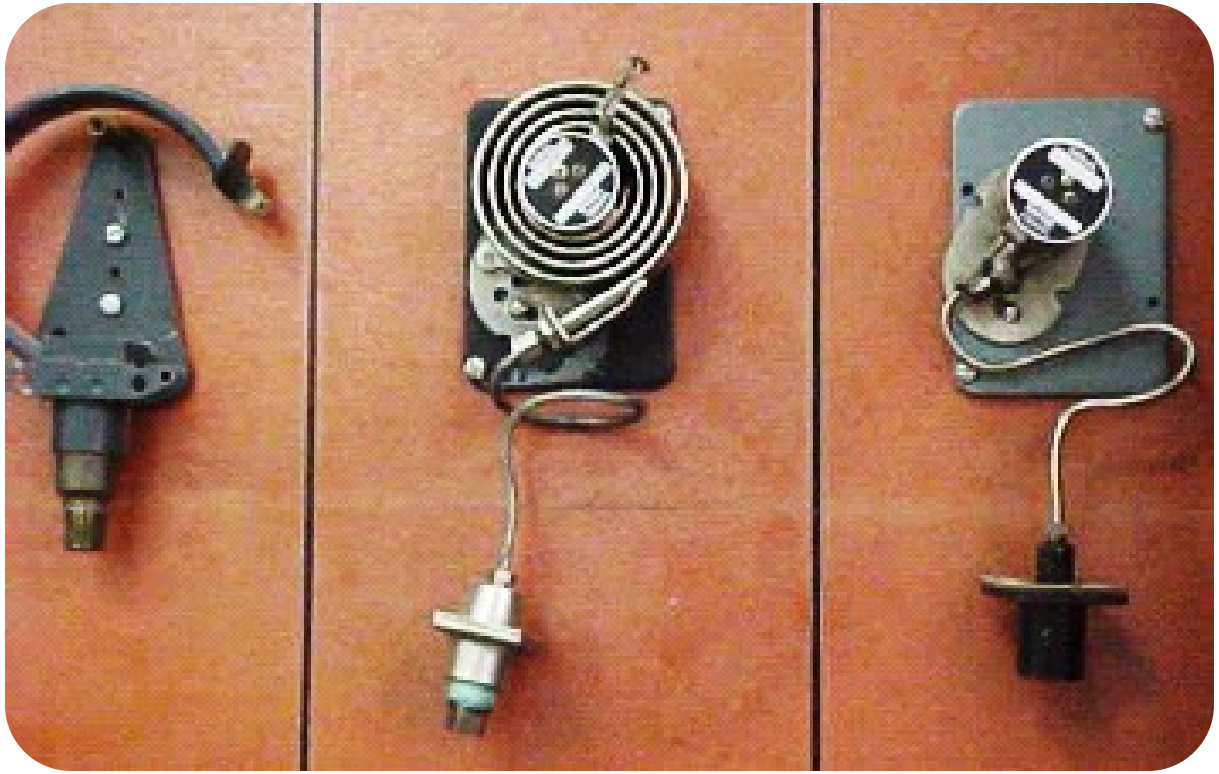
- نوع C-type لوله بوردن برای اندازه‌گیری فشار تا ۶۰۰۰ بار
- نامعینی اندازه گیری: ۱± در بازه کامل





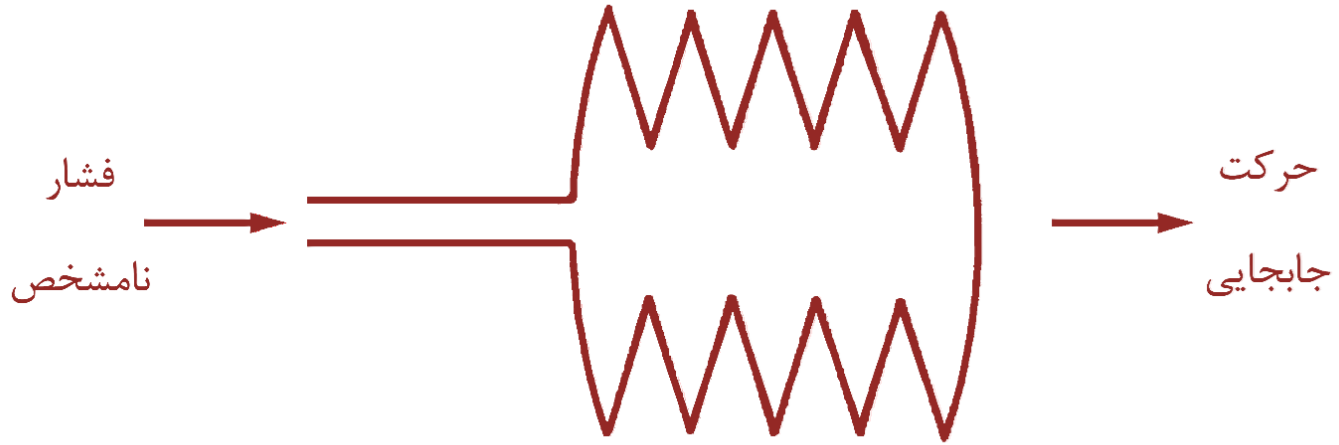
لوله بوردن

نمونه های قدیمی



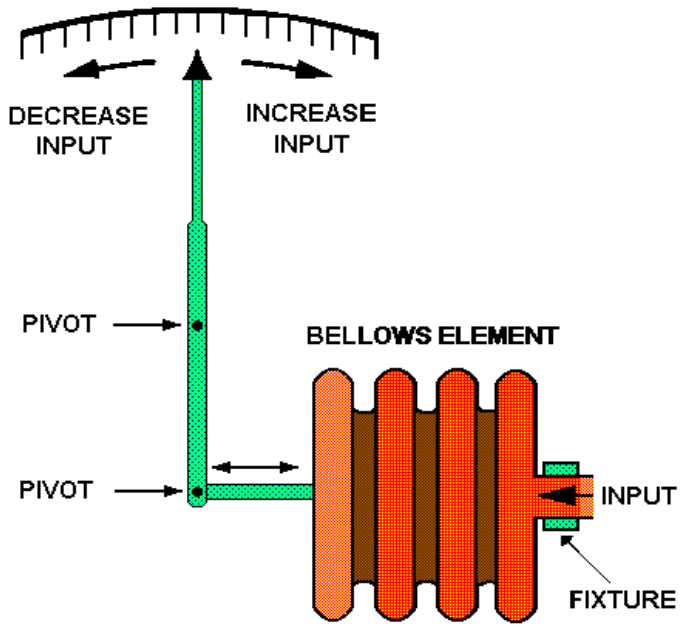
فانوسی Bellows

- سنسور الاستیک که دارای حساسیت بسیار زیادی است.
- معمولا از لوله بدون درز
  - شامل فولاد یا آلیاژهای فولای
- حرکت جابجایی ایجاد کرده که توسط LVDT قابل اندازه گیری است.



فانوسی Bellows

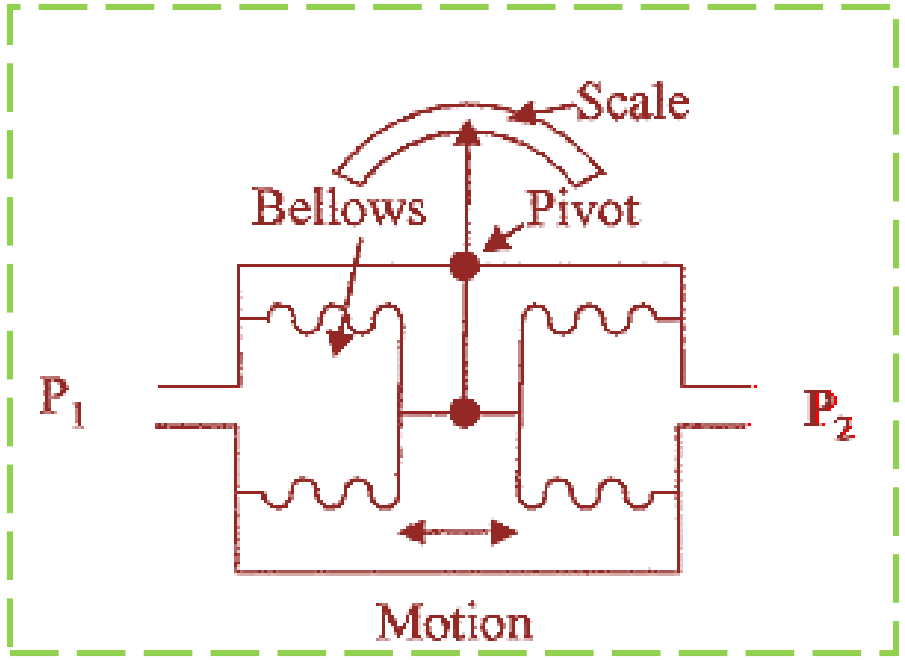
- Elastic-element Type Sensor

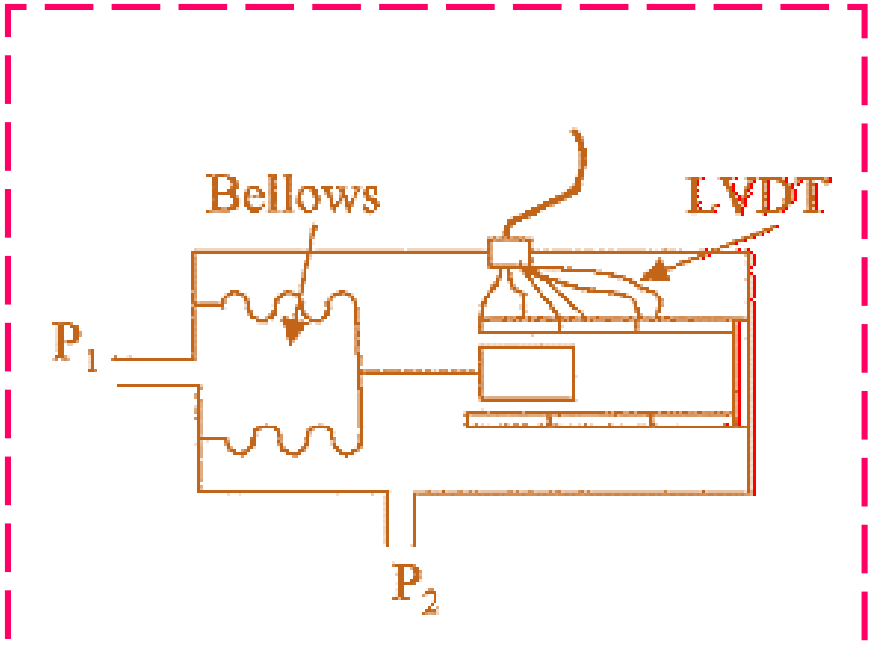




فانوسی Bellows

- فشار مطلق تا ۲/۵ بار
- فشار گیج تا ۱۵۰ بار
- فشار تفاضلی تا ۳۰ بار
- نامعینی اندازه گیری ۰/۵ ± درصد





فانوسی Bellows

- نمونه‌ای از سنسور فانوسی فلزی دوقلو برای اندازه‌گیری فشار تفاضلی



دیافراگم Diaphragms



- از سنسورهای فشار نوع الاستیک است
- پلاستیک: ارزان قیمت
- آلیاژهای فولادی، فولاد ضد زنگ: برای شرایط دمای بالا یا بسیار خورنده
  - گاها با نام گیج های انروئید (aneroid) شناخته می شوند.
- سرامیکی: برای مقاومت در برابر محیط های اسیدی یا بازی

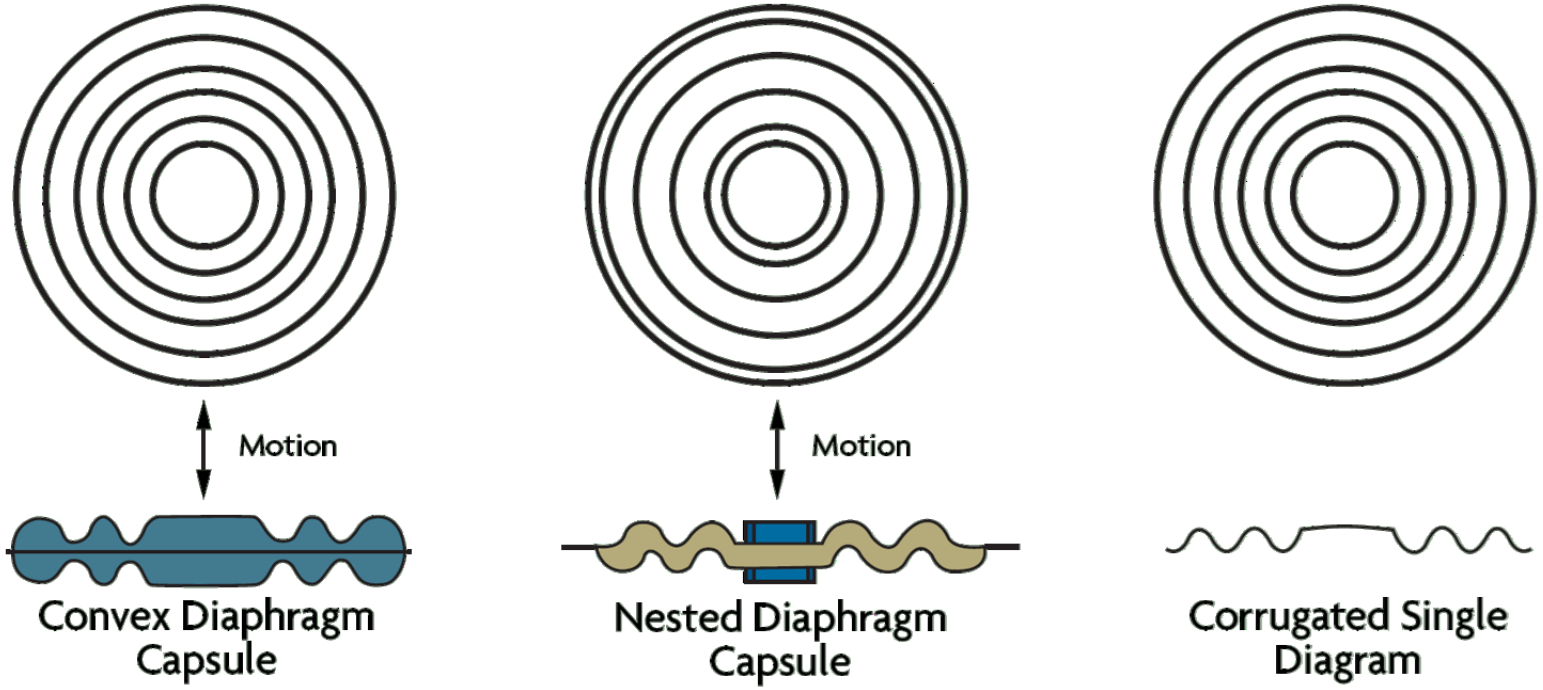
دیافراگم Diaphragms



- فشار مطلق تا بیش از ۵۰ با
- فشار گیج تا بیش از ۲۰۰۰ بار
- فشار تفاضلی تا بیش از ۲.۵ بار
- نامعینی اندازه گیری: ۰/۱ ± درصد F.S.

Diaphragms دیافراگم

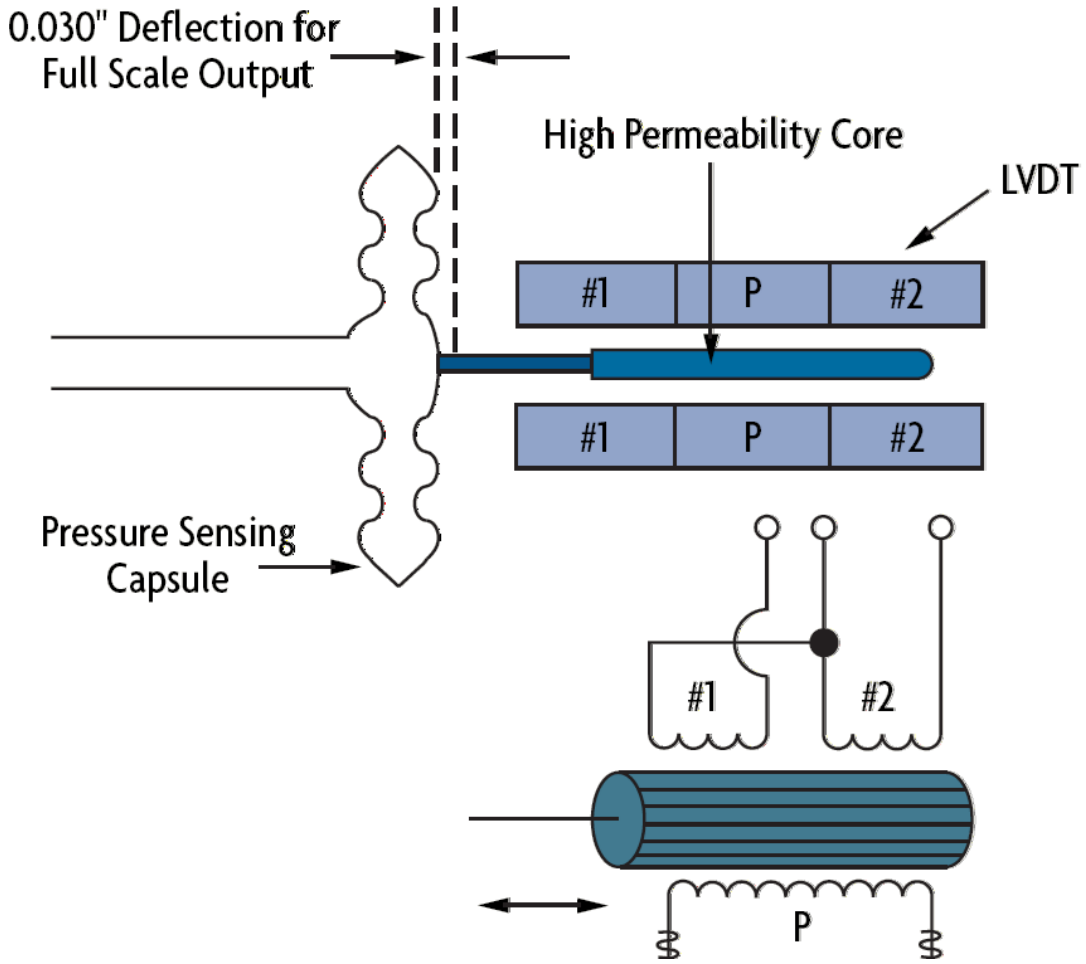
- انواع مختلف سنسور دیافراگم



Diaphragms دیافراگم

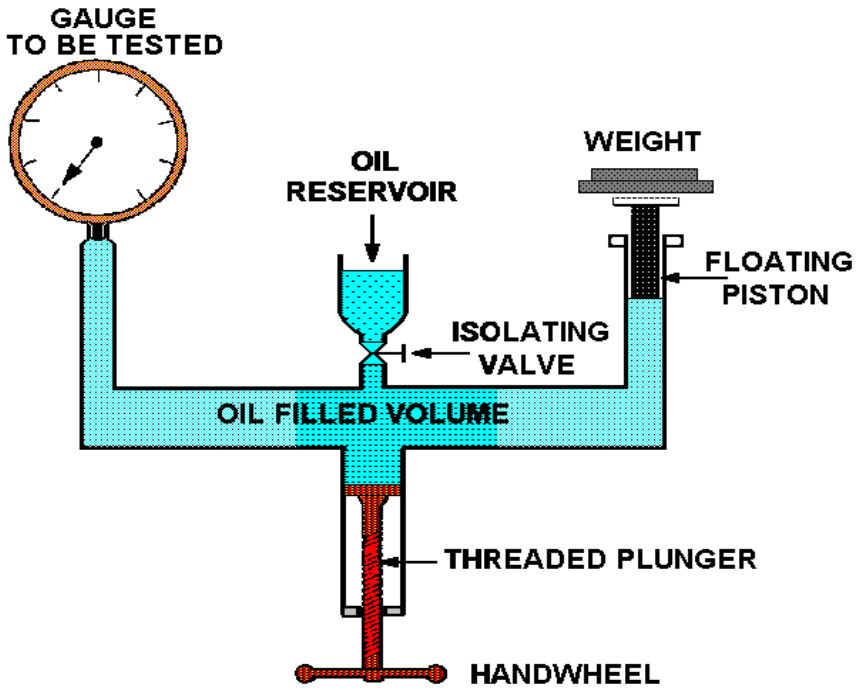
- ترانسدیوسر فشار مغناطیسی
  - برای اندازه گیری جابجایی

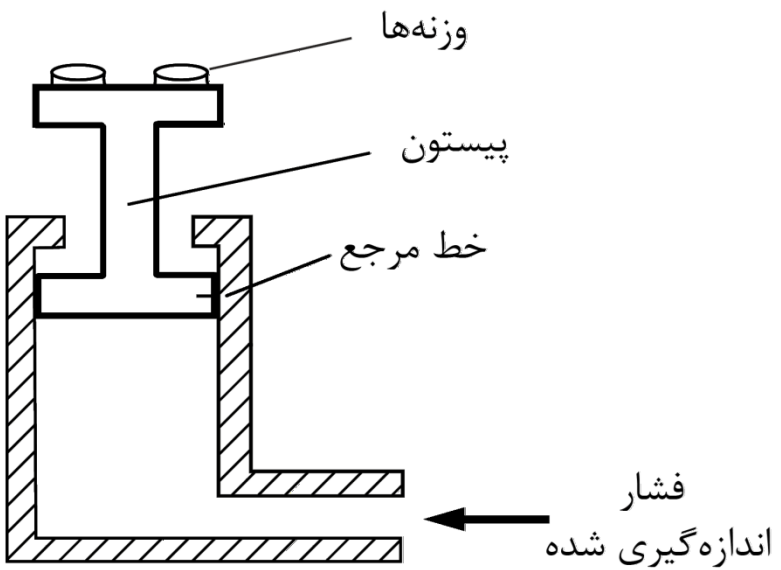
دیافراگم می توان از یک LVDT بهره برد.



تست وزن مرده (Dead-Weight Tester)

- فشار سیال با فشار حاصل از یک وزنه مشخص موازنه می شود.
- برای کالیبراسیون گیج های فشار



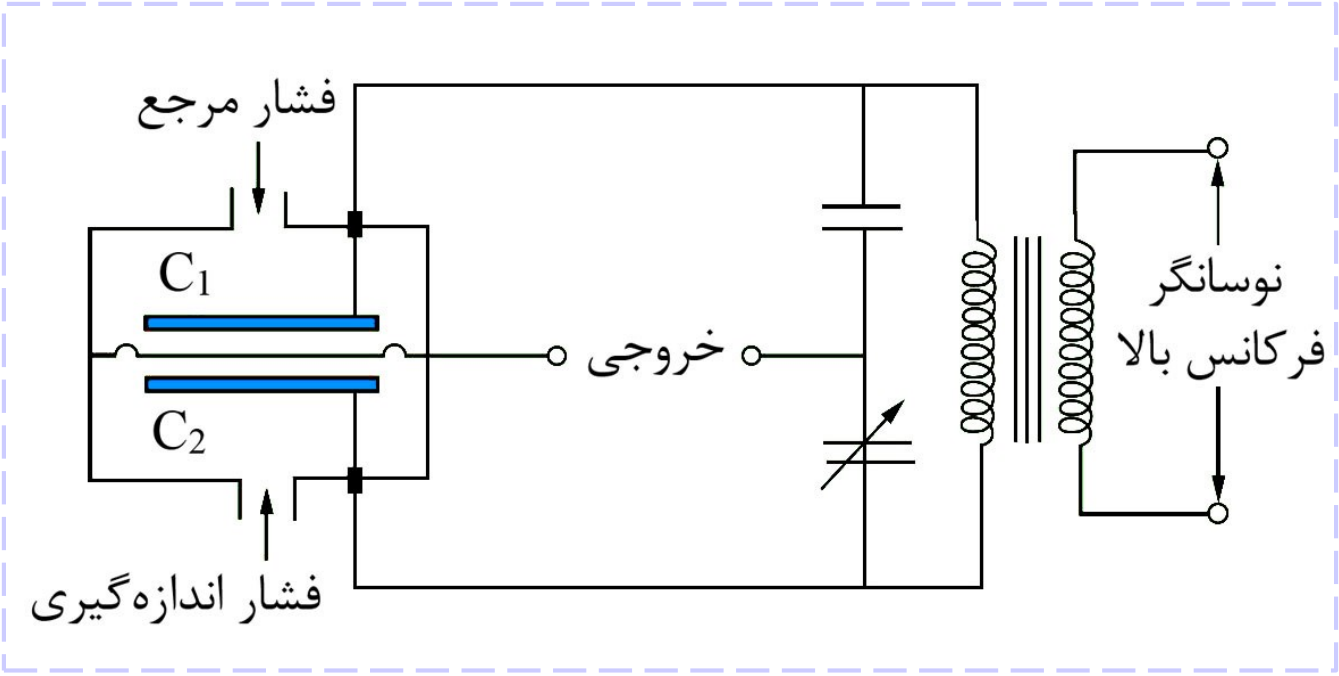


تست وزن مرده

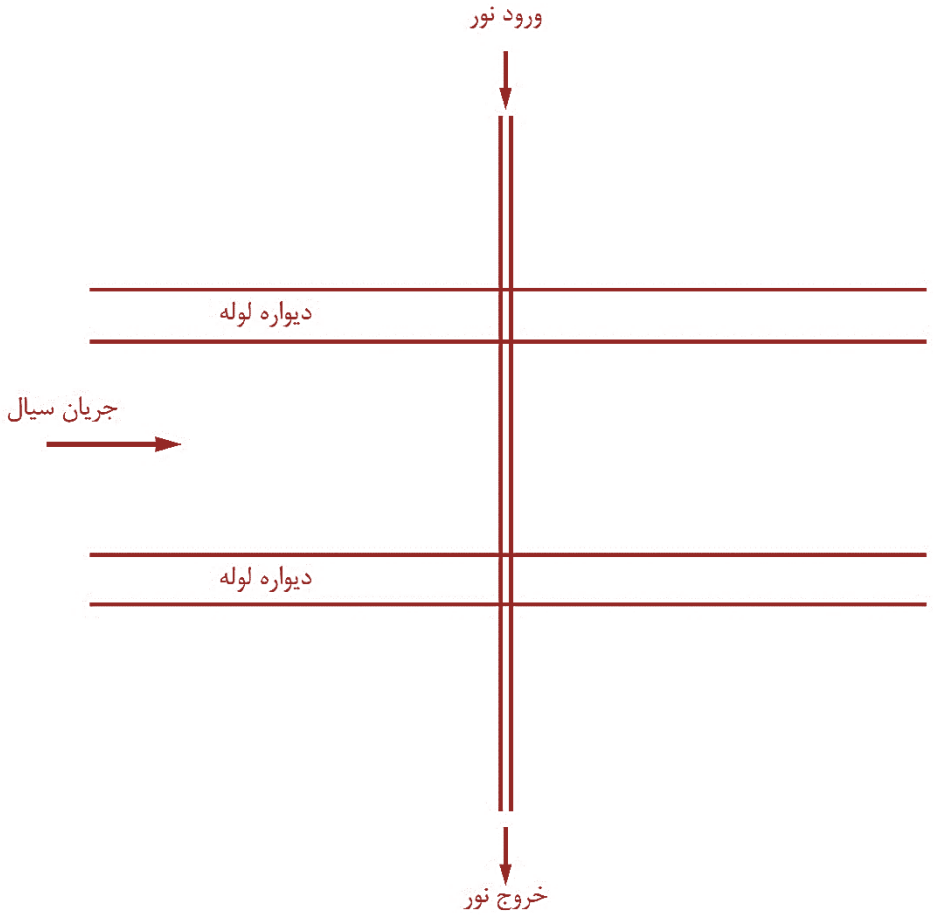


سنسور فشار خازنی (Capacitive Pressure Sensor)

- ابزار نوع دیافراگمی
- نامعینی اندازه گیری ۰/۲ درصد در بازه کامل



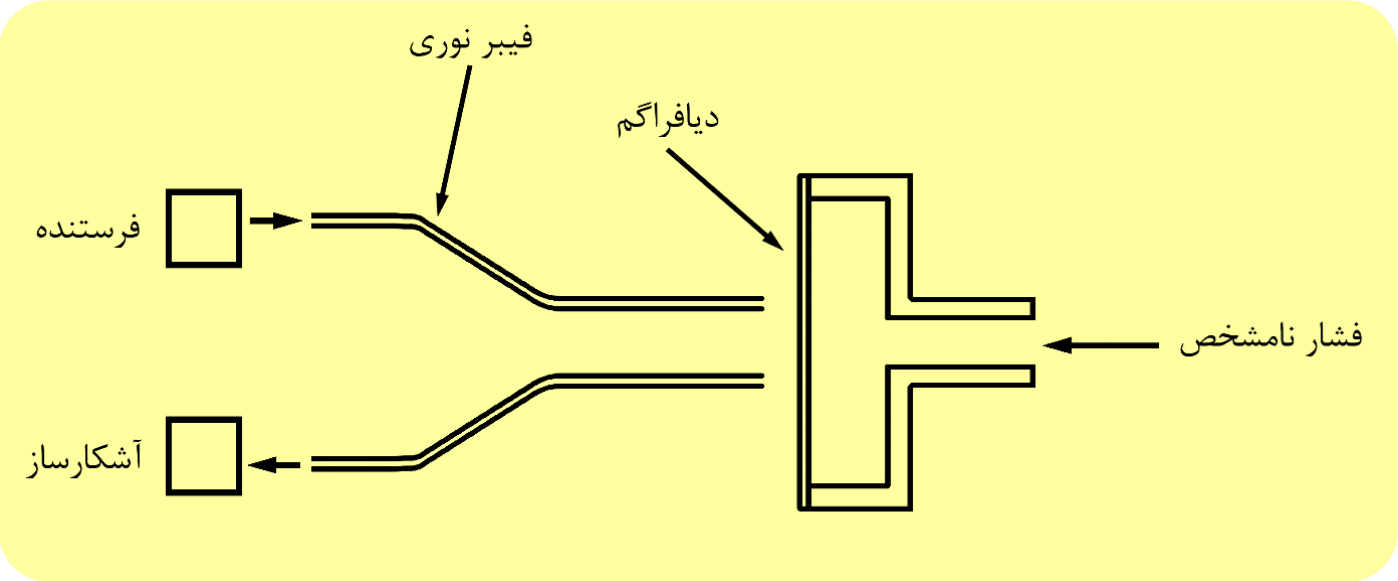
سنسورهای فشار فیبر نوری



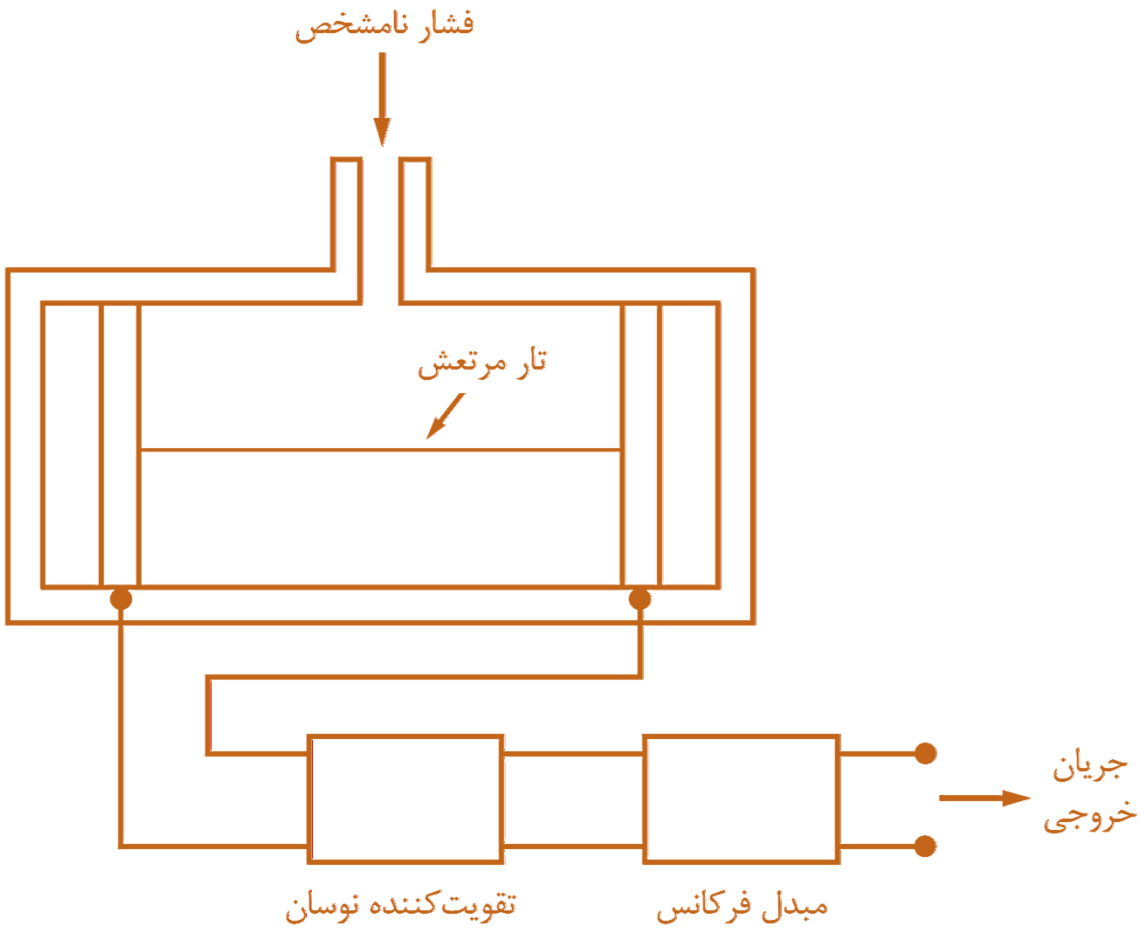
- سنسورهای فیبر نوری، یک روش جایگزین برای اندازه‌گیری جابجایی‌ها در سنسورهای فشاردیافراگمی و لوله بوردن به وسیله ابزار الکترونیک نوری فراهم است.
- روش اول: استفاده از تغییر ضریب شکست نور در فیبر نوری با تغییر فشار تغییر می کند.

سنسورهای فشار فیبر نوری

- نور از یک منبع نور گسیل شده، از طریق فیبر نوری به انتهای آن هدایت و پس از انعکاس توسط دیافراگم، از طریق فیبر دوم به سمت آشکارساز نور بازمی‌گردد.
- یک رابطه مشخص بین نور بازتابیده شده و فاصله انتهای فیبر تا دیافراگم وجود دارد.



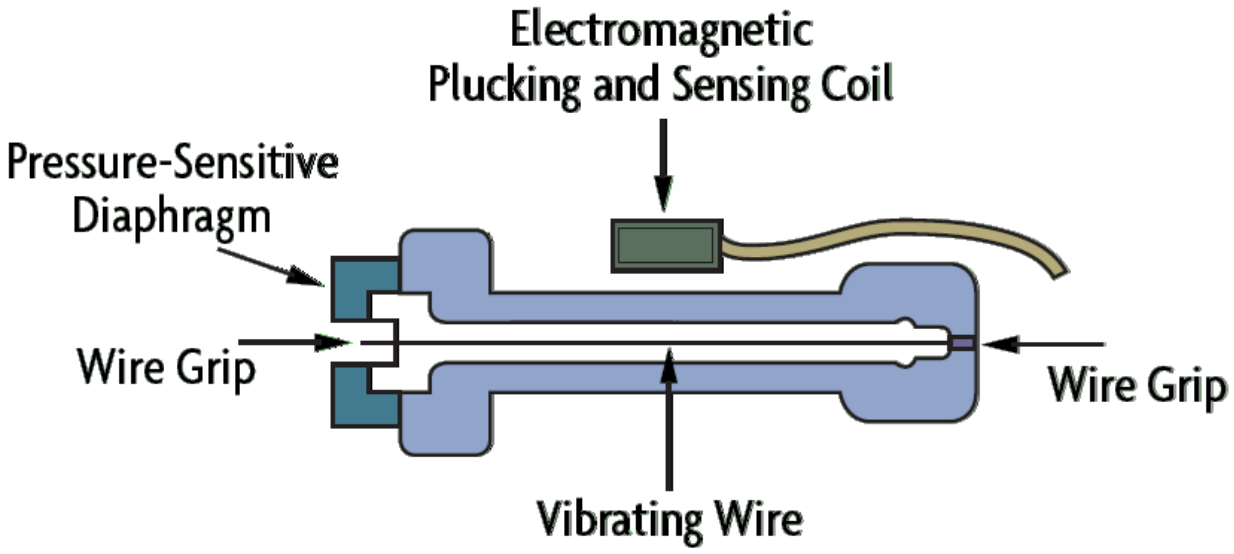
سیم مرتعش (Resonant-wire)



- یک سیم در یک محفظه شامل سیالی با فشار نامعلوم و در معرض یک میدان مغناطیسی کشیده شده است.
- سیم در فرکانس طبیعی خود بر اساس میزان کشش آن نوسان کرده، که بسته به میزان فشار تغییر می‌کند.

سیم مرتعش

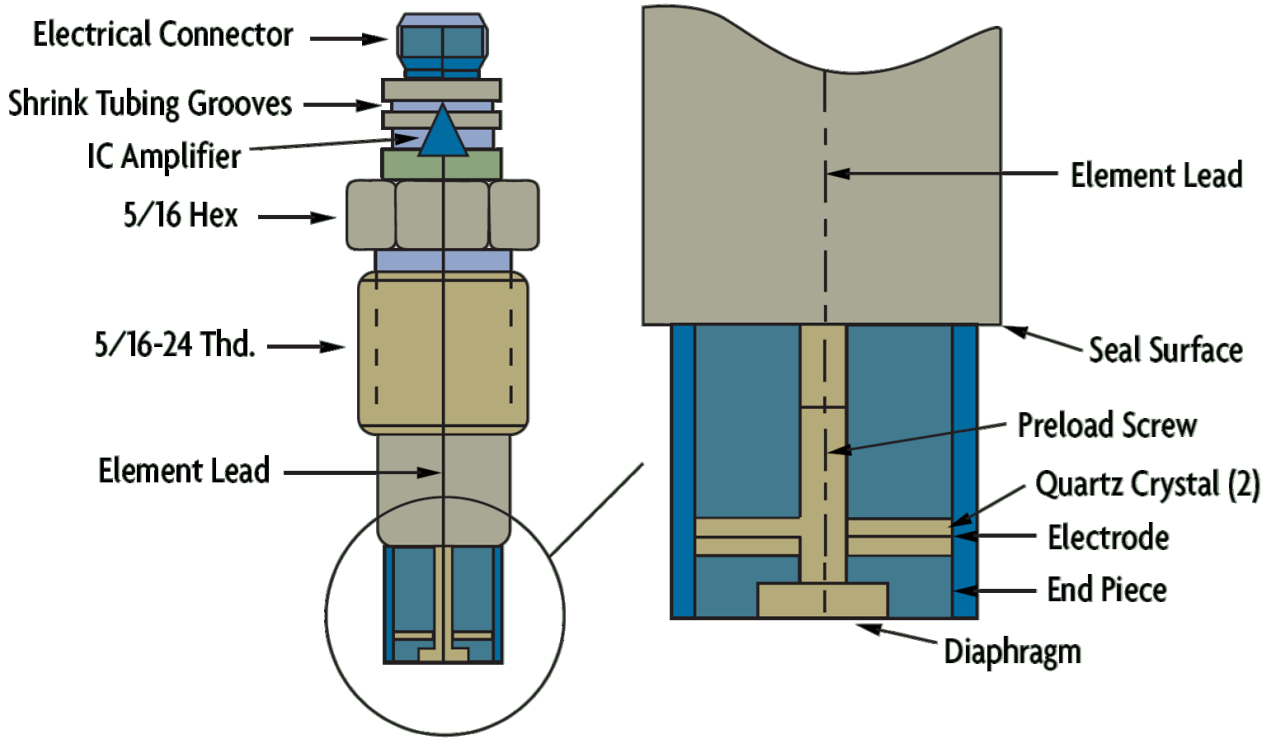
- فشارهای بین 5 mbar و 2 bar
- نامعینی اندازه گیری ۰/۲ درصد در بازه کامل



پیزوالکتریک (Piezoelectric)

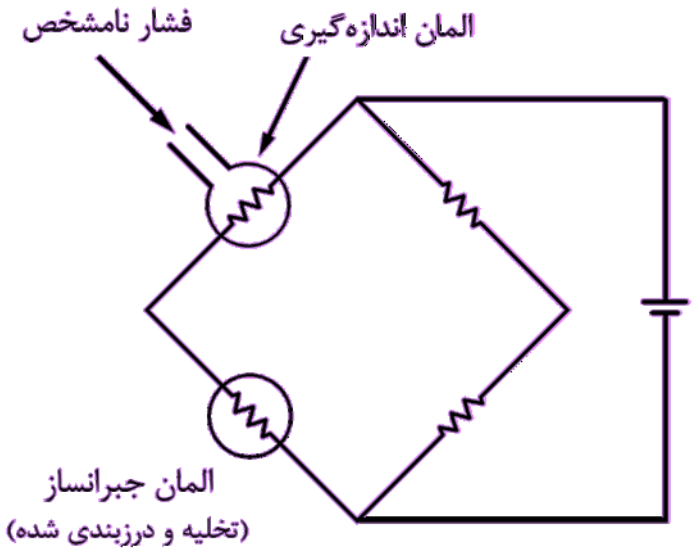
ترانسدیوسر فشار پیزو الکتریک

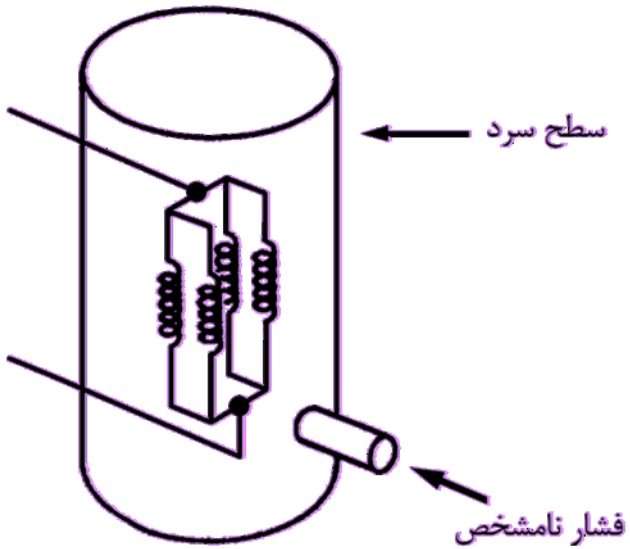
- این سنسور نوع دیافراگمی از یک کریستال پیزو الکتریک برای اندازه‌گیری جابجایی دیافراگم استفاده می‌کند.



گیج پیرانی (Pirani Gauge)

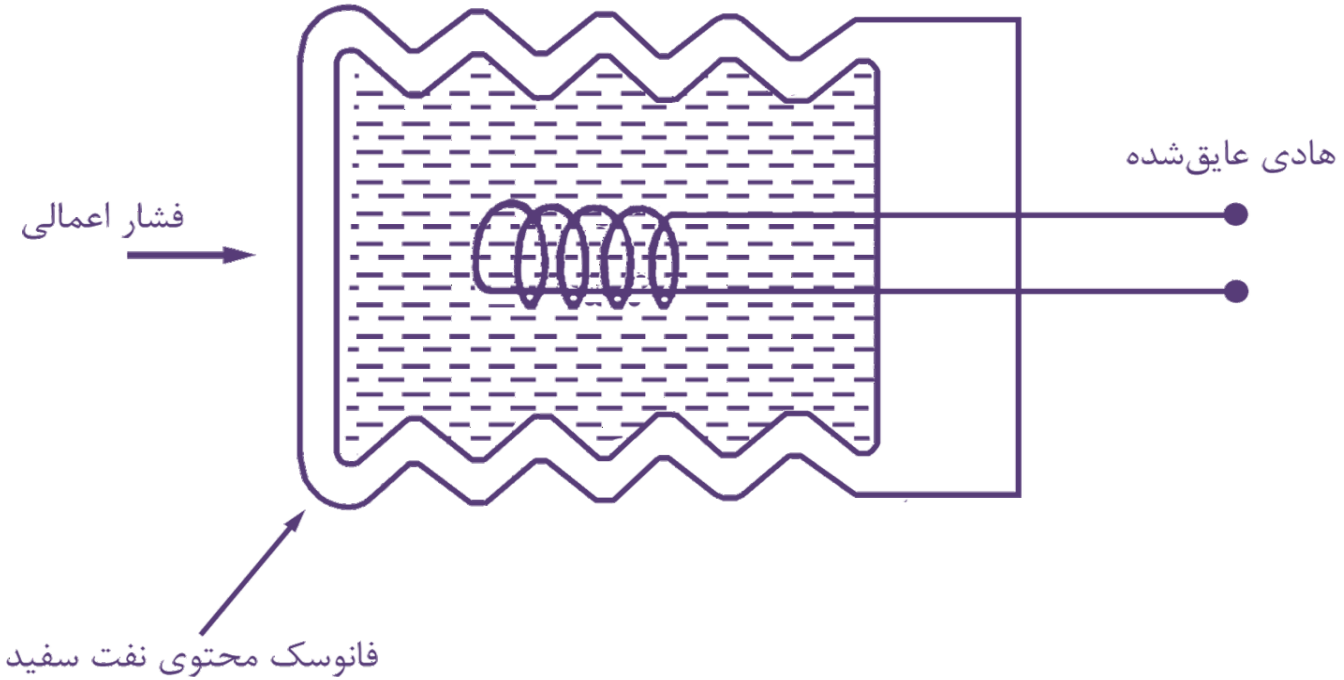
- شامل یک المان حرارتی شامل ۴ سیم پیچ تنگستن که به صورت موازی با یک دیگر مطابق با شکل قرار دارند.
- برای فشارهای بسیار پایین در محدوده $۱۰^{-۵}$ میلی بار تا ۱ میلی بار
- مورد استفاده در صنایع لامپ، سانع





سنسور برای فشار بسیار بالا

- فشار بیش از ۳۰۰۰۰ بار
- نامعینی اندازه گیری: ۰/۵ ± درصد



مقدمه ای بر هیدرولیک و نیوماتیک

مفاهیم اولیه

سیالات هیدرولیکی

تولید قدرت

- موتورهای AC
- موتورهای DC
- موتورهای دیزل
- موتورهای اتو
- توربین های گاز
- ...

M_i, ω_i

- مهمترین مساله انتقال قدرت
  - چرخدنده
  - تسمه و پولی
  - کوپل ها
  - کوپل های اصطکاکی
  - کلاچ
  - ...

مشخصات انتقال

- تغییر پیوسته حرکت بسیار دشوار است
- موقعیت مولدهای توان ثابت است
- در صورتی که موتورهای از نوع DC یا AC باشند، تغییر دور ممکن است ولی هزینه آن بالا است

هیدرولیک و نیوماتیک

Hydro = water, Aulos = pipe

- هیدرودینامیک (Hydrodynamic)
- هیدرواستاتیک (Hydrostatic)

Pnumatic

- اگر بجای سیال مایع از گاز استفاده شود، به آن نیوماتیک گویند.

هیدرودینامیک

- انتقال قدرت هیدرودینامیک
  - توربوپمپ ها و توربین ها
  - انتقال توان با استفاده از انرژی سیمناتیک سیال
  - موقعیت مکانی تجهیزات ثابت است
  - واحدها مجتمع هستند.

هیدرواستاتیک

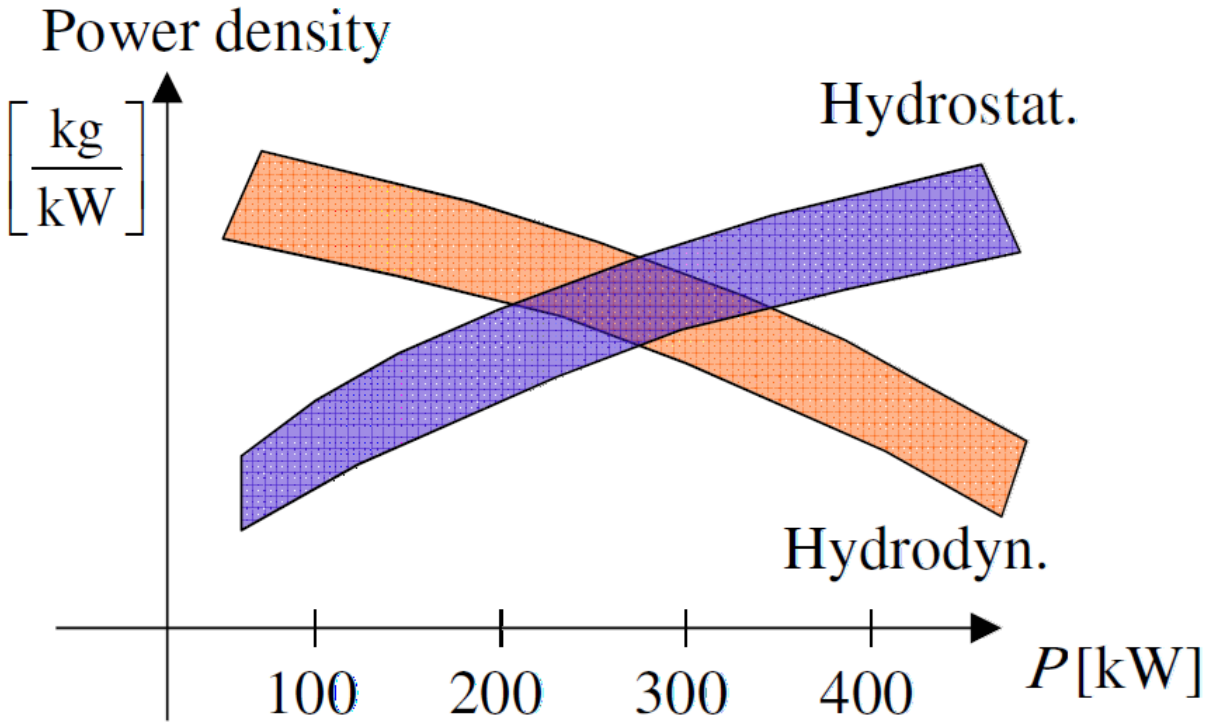
- انتقال قدرت هیدرواستاتیک
  - پمپ‌های جابجایی مثبت
  - تولید فشار بالا و انتقال از طریق خطوط انتقال و تجهیزات کنترلی برای به راه اندازی عملگرها (خطی یا دورانی)
  - موقعیت مکانی تجهیزات قابل انتقال می باشد
    - (به دلیل افت شدید نباید از ۵۰ متر بیشتر باشد)

✓ انتقال پیوسته و متغیر امکان پذیر است

هیدرودینامیک .VS هیدرواستاتیک

$$P = \Delta p \cdot Q$$

- توان تولیدی
  - هیدرودینامیک : Δp کوچک و Q بزرگ
  - هیدرواستاتیک : Δp بزرگ ولی Q کوچک



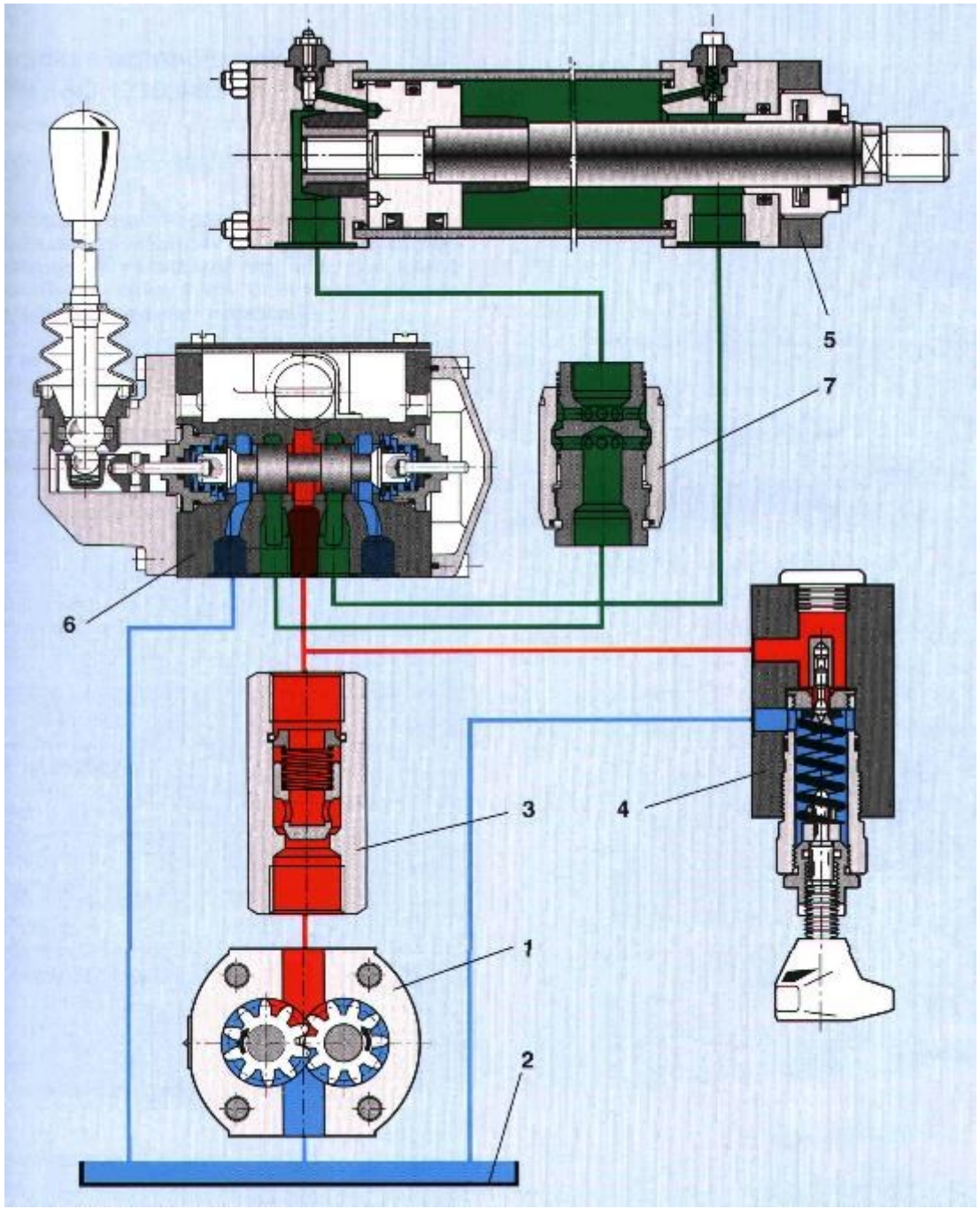
هیدرودینامیک .vs هیدرواستاتیک

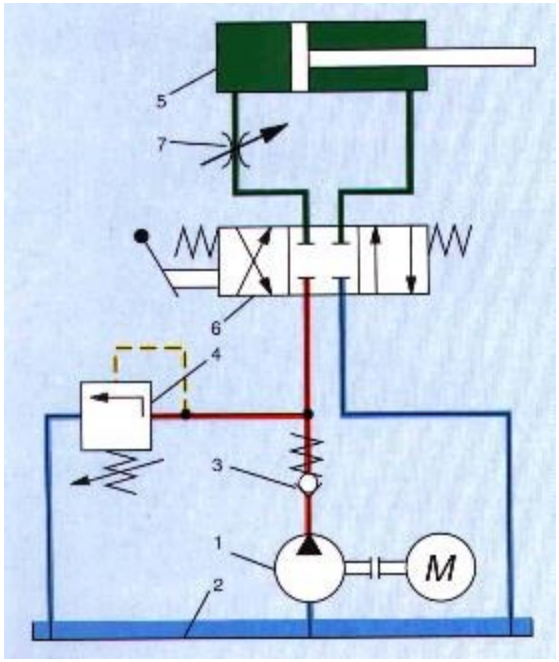
- هیدرودینامیک
  - برای توان های بیش از ۳۰۰ kW

- هیدرواستاتیک
  - حرکت خطی
  - نیروهای بزرگ
  - قرارگیری در موقعیت دلخواه

ساختار سیستمهای محرک هیدرواستاتیک

- اجزا
  - پمپ، موتور، انبار روغن، شیر ایمنی PRV، فیلتر، اتصالات و لوله
- کنترل
  - شیر تعیین جهت، فشار، دبی سیال عامل
- عملگر
  - خطی، دورانی، نوسانی





۱- پمپ

۲- تانک روغن

۳-شیر کنترل جریان

۴- شیر ایمنی PRV

۵- سیلندر هیدرولیک

۶- شیر کنترل هدایت (directional)

۷- شیر گلویی (throttle)

مزیت های سیستم هیدرولیک

- روش ساده برای ایجاد حرکت خطی
- ایجاد نیروی زیاد، گشتاور بالا و همچنین دانسیته انرژی بالا
- حرکت دائم و پیوسته عملگر
- تغییر آسان جهت حرکت
- امکان شروع حرکت در بار کامل

مزیت های سیستم هیدرولیک

- تاخیر کم، ثابت زمانی کوچک به دلیل پایین بودن اینرسی
- امکان اندازه گیری ساده نیروی وارده با اندازه گیری فشار
- امکان جابجایی ساده محرک و عملگر
- چگالی قدرت بالا (نسبت توان به وزن در مقایسه با سایر سیستمها بسیار زیاد است)
- مقاوم بودن (مقاوم در برابر شرایط محیطی)

معایب سیستم هیدرولیک

- نیاز به سیال عامل
  - نشتی،
  - احتراق
  - فیلتر نمودن
  - ...
- عدم اقتصادی بودن برای مسافت های زیاد

سیالات هیدرولیک

وظیفه اصلی سیال عامل هیدرولیک عبارتند از:

- انتقال قدرت
  - فشار و انتقال حرکت

- انتقال سیگنالهای کنترلی

سیالات هیدرولیک

وظیفه فرعی سیال عامل هیدرولیک عبارتند از:

- روغنکاری قطعات دوار و متحرک و جلوگیری از ساییدگی و استهلاک
- انتقال حرارت از محل تولید به محل نگهداری سیال
- انتقال ذارت به فیلتر
- حفاظت سطوح از محیطهای شیمیایی به ویژه خوردگی

سیالات هیدرولیک

- نیازهای عملکردی
  - مشخصات خوب روغنکاری
  - عدم وابستگی شدید ویسکوزیته به فشار و دما
  - انتقال حرارت خوب
  - ضریب انبساط حرارتی پایین
  - مدول الاستیسیته بالا

سیالات هیدرولیک

- نیازهای ایمنی
  - نقطه اشتعال بالا یا در بعضی مواقع کاملا غیرقابل اشتعال
  - خنثی بودن از نظر شیمیایی (غیرخورنده سطوح در حال تماس)
  - قابلیت حل پایین هوا و عدم تمایل به تولید کف

سیالات هیدرولیک

- نیازهای اقتصادی
  - قیمت پایین
  - سرعت کهنه شدن آرام، پایداری شیمیایی و حرارتی (به معنی طول عمر زیاد)

- نیازهای محیط زیستی
  - بدون آسیب به محیط زیست
  - فاقد اثر سمی

انواع سیالات هیدرولیک

- آب : ٪ ۳ ⬆
- روغن های معدنی (Mineral oils) : ٪ ۷۵ ⬇
- سیالات غیرقابل اشتعال ٪ ۹
- سیالات تجزیه پذیر (Biologically degradable) ٪ ۱۳ ⬆
- سیالات الکترورئولوژیکی(Electrorheological fluids) * در حال توسعه

آب

- آب
  - آب خالص
  - آب با مواد افزودنی

- قدیمی ترین نوع سیال هیدرولیک
- در مناطقی که خطر انفجار، آتش سوزی یا مسائل بهداشتی
  - کارخانجات غدایی، دارویی، نساجی،

آب

- مزایا
  - عدم آلودگی محیطی
  - عدم نیاز به دفع
  - ارزان بودن
  - عدم وجود خطر آتش سوزی و انفجار
  - دسترسی آسان
  - ضریب انتقال حرارت = ۴ × ضریب انتقال حرارت روغن معدنی
  - مدول تراکم پذیری = ۲ × مدول تراکم پذیری روغن معدنی
  - عدم وابستگی شدید ویسکوزیته به فشار و دما

آب

- معایب
  - خصوصیات روغنکاری پایین
  - ویسکوزیته پایین
    - آب بندی بد
    - * در عوض افت توان کم
  - خطر خوردگی
  - خطر کاویتاسیون (فشار بخار نسبتا بالا)
  - بازه دمایی محدود (یخ زدگی یا جوشیدن)

- نیاز به مواد با کیفیت بالا و تلرانس کم: مثل فولاد ضد زنگ، سرامیک یا پلاستیک
- هزینه بالا

روغن های معدنی

- روغن های معدنی
  - با مواد افزودنی
  - بدون مواد افزودنی

- سیال معمول در سیستمهای هیدرولیک
- معمولا به صورت مخلوطی از روغن ها به همراه افزودنی
  - کاهش خوردگی
  - افزایش طول عمر
  - کاهش ویسکوزیته به تغییرات دما
  - افزایش انتقال ذرات

روغن های معدنی

- مزایا
  - روغنکاری خوب
  - ویسکوزیته بالا (آب بندی خوب)
  - ارزان
- معایب
  - قابل احتراق
  - آلودگی محیط زیست

سیالات غیرقابل اشتعال

- سیالات غیرقابل اشتعال
  - محتوی آب: امولاسیون آب و روغن (سینتتیک)
  - فاقد آب: مایعات سینتتیک (پایه استرهای فسفاتی)

- معادن، قطعات هواپیما، ریخته گری، نورد و هر منطقه ای که خطر انفجار وجود داشته باشد

سیالات غیرقابل اشتعال

- معایب
  - چگالی بالا، تلفات بالاتر و ایجاد کاویتاسیون
  - بازه دمایی محدود (کمتر از ۵۵ درجه)
  - خصوصیات روغنکاری بد
  - کاهش حداکثر بار
  - مشخصات هوازدایی پایین تر
  - بعضی مواقع ایجاد خوردگی شیمیایی در آب بندی ها

سیالات تجزیه پذیر

- سیالات تجزیه پذیر
  - طبیعی (روغن کانولا)
  - سینتتیک

- حفاظت از محیط زیست و آب
  - ماشینهای کشاورزی
  - سیستم های متحرک
  - مشابه با روغنهای معدنی بوده ولی گرانقیمت

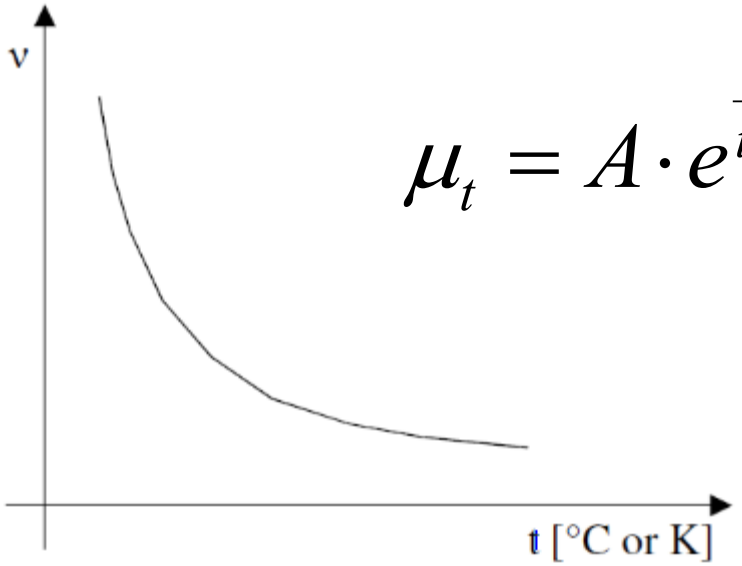
ویسکوزیته سیالات هیدرولیک

- تغییرات بر حسب دما
- رابطه Ubbelohde-Walther
  - ثابت c, m, K_v

$$ln(ln(\nu + c)) = K_v - m \cdot ln(T)$$

- رابطه Vogel-Cameron
  - ثابت A, B, C

$$\mu_t = A \cdot e^{\frac{B}{t+c}}$$

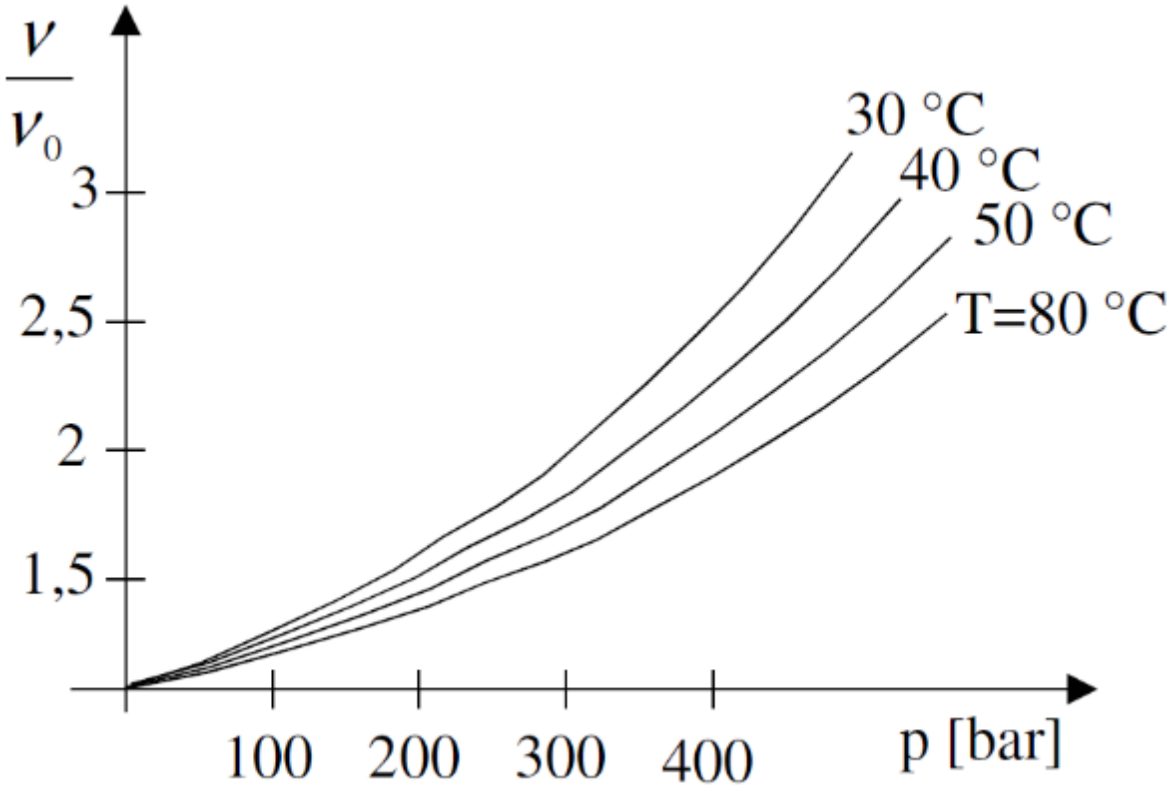


ویسکوزیته سیالات هیدرولیک

- تغییرات بر حسب فشار

$$\mu_p = \mu_0 \cdot e^{\alpha p}$$

– μ_0 و ν_0 ویسکوزیته در فشار اتمسفر



چگالی سیالات هیدرولیک

- وابستگی چگالی به دما معمولا کم است
- وابستگی چگالی به فشار توسط قانون هوک (Hooke)

$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{\Delta p}{K}$$

– که در آن K ثابت تراکم پذیری (که در واقع خودش ثابت نیست)

- **وجود هوا**
- **انعطاف پذیری لوله ها**

وجود هوا در سیال هیدرولیک

- وجود هوا بسیار مضر است
- هوا به دلیل مکش پمپ به روغن وارد می شود.
- با اتصالات مناسب قابل جلوگیری است
- با افزایش فشار به سرعت در روغن حل می شوند
- با کاهش فشار هوای محلول به خارج می شود.

$$V_a = V_f \cdot \alpha \cdot \frac{p_2}{p_1}$$

ضریب حلالیت در فشار عادی α

وجود هوا در سیال هیدرولیک

- مشکلات وجود هوا در سیال
  - حرکت ناگهانی و پرشی، نوسان و سروصدا
  - تغییر جهت کند
  - کاهش انتقال حرارت
  - شتاب گیری کاهش عمر سیال عامل،
  - خوردگی کاویتاسیون

پمپ و موتورهای هیدرولیک

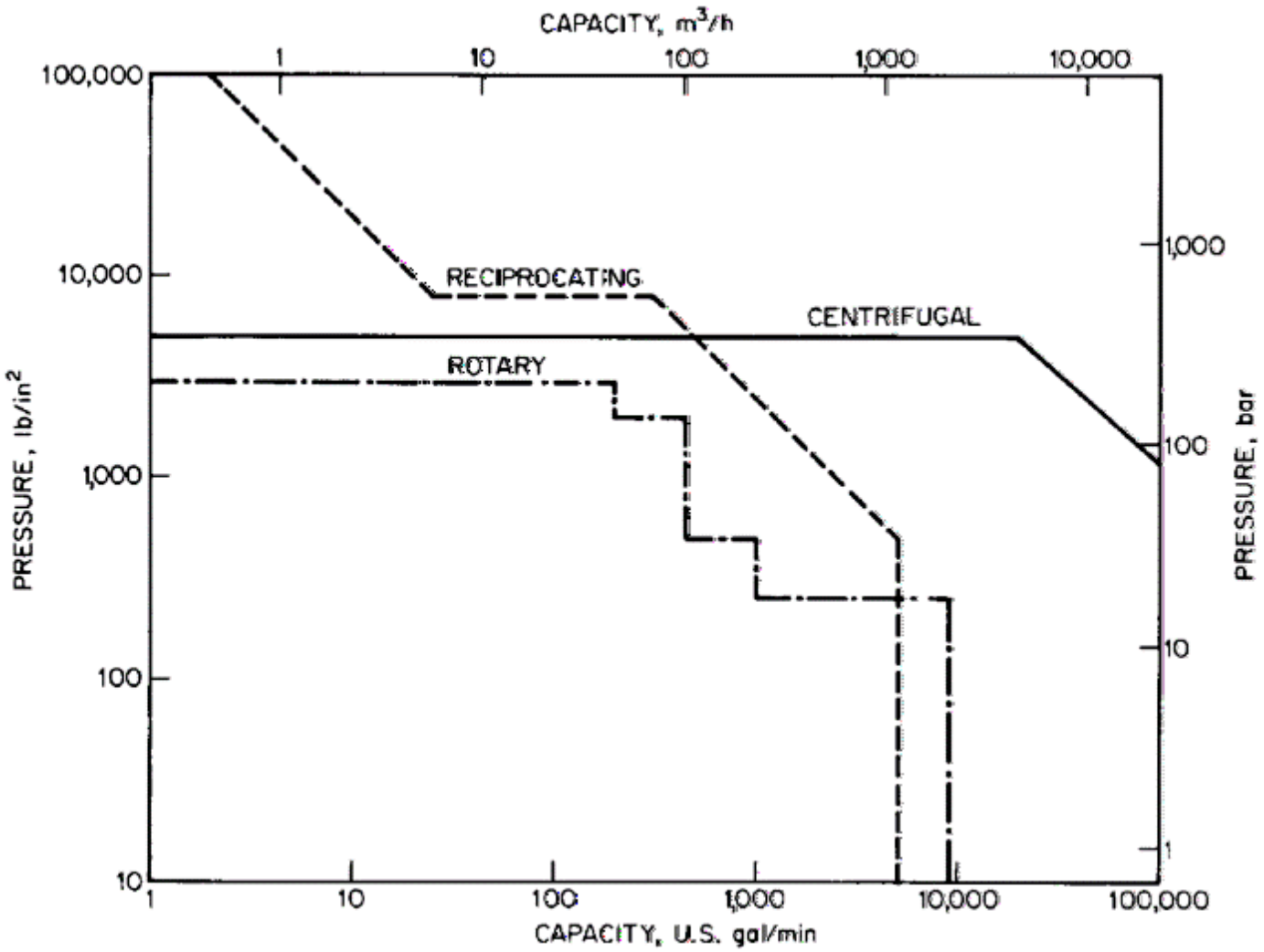
ساختار و عملکرد

پمپ هیدرولیک

- معیارهای انتخاب پمپ
  - هزینه
  - حداکثر فشار، دبی، توان
  - کارایی مکش
  - دور
  - وزن
  - نوع سیال

پمپ هیدرولیک

- فشار- دبی پمپ ها

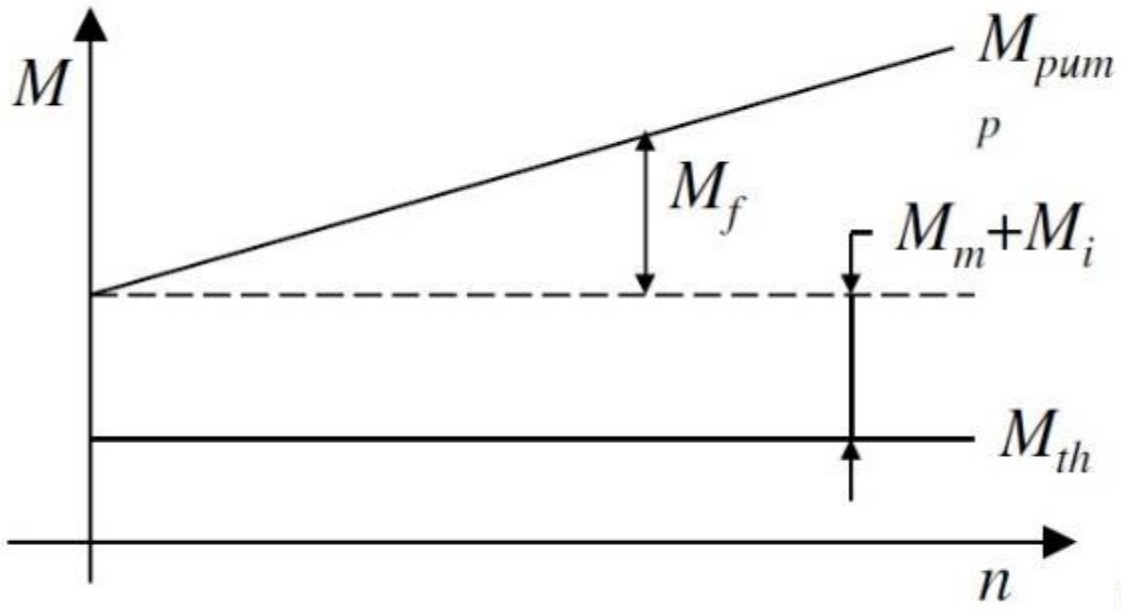


افت در پمپ و موتور

$$P_{theory} = M_{theory} \cdot \omega = Q_{\text{geometrical}} \cdot \Delta p \quad \Rightarrow \quad M_{theory} = \frac{V_{\text{geometrical}}}{2\pi} \cdot \Delta p$$

Pump

- گشتاور مورد نیاز برای پمپ

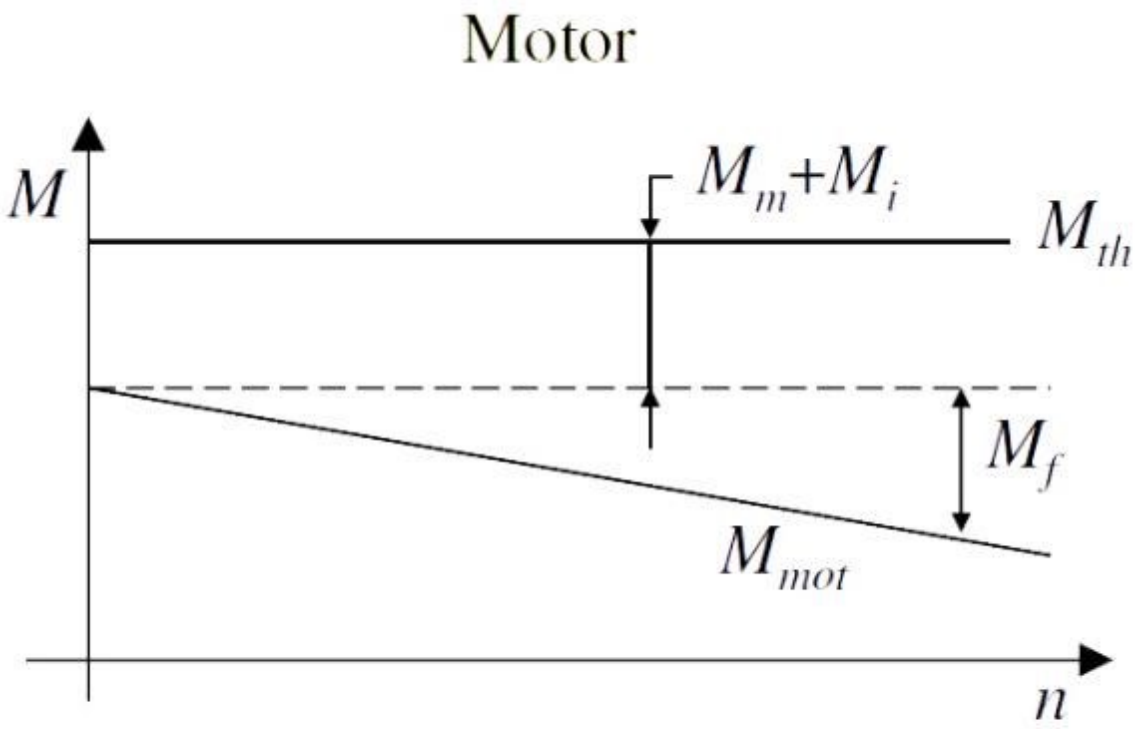


$$M = M_{th} + M_m + M_f + M_i$$

Losses: m – mechanical,
f – friction,
i – inertial

افت در پمپ و موتور

- گشتاور مورد نیاز برای موتور



$$M = M_{th} - \left(M_m + M_f + M_i\right)$$

Losses: m – mechanical,
f – friction,
i – inertial

هد پمپ

- محاسبه هد پمپ

$$head = (p_2 - p_1)/(\rho g) + (v_2^2 - v_1^2)/(2g) + (z_2 - z1)$$

- **h = total head developed (m)**
- **p_2 = pressure at outlet (N/m2)**
- **p_1 = pressure at inlet (N/m2)**
- **ρ = density of liquid (kg/m3)**
- **g = acceleration of gravity (9.81) m/s2**
- **v_2 = velocity at the outlet (m/s)**
- **v_1 = velocity at the inlet (m/s)**

هد پمپ

- **هد استاتیک**
  – هد کل زمانی که پمپ روشن نیست
- **هد دینامیک**
  – هد کل زمانی که پمپ روشن است
- **هد استاتیکی مکش (suction)**
  – هد در طرف مکش پمپ زمانی که پمپ روشن نیست در صورتی هد سیال بالاتر از پره باشد.
- **بالابر استاتیکی مکش (lift)**
  – هد در طرف مکش پمپ زمانی که پمپ روشن نیست در صورتی هد سیال پایین تر از پره باشد

هد پمپ

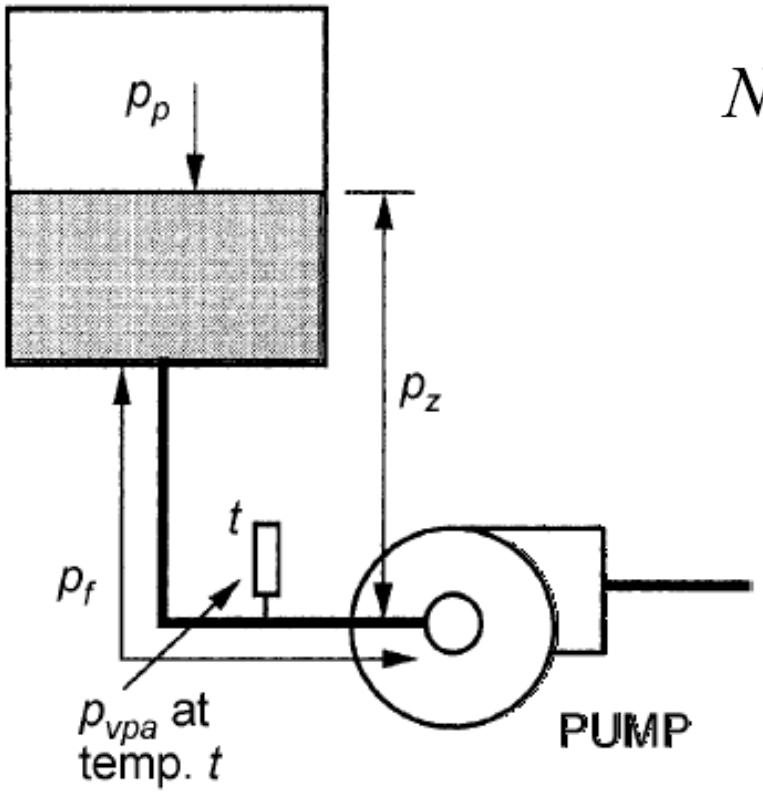
- **هد استاتیکی تخلیه (discharge)**
  - هد در طرف تخلیه پمپ زمانی که پمپ روشن نیست
- **هد / بالابر دینامیکی مکش**
  - هد در بخش مکش زمانی که پمپ روشن است
- **هد / بالابر دینامیکی تخلیه**
  - هد در بخش تخلیه زمانی که پمپ روشن است

هد خالص مکش مثبت (NPSH)

- **هد خالص مکش مثبت**
- $NPSH_R$: هد مثبت در طرف مکش پمپ که برای جلوگیری از افت فشار پمپ و حفظ فشار سیال در بالای فشار بخار آن لازم است

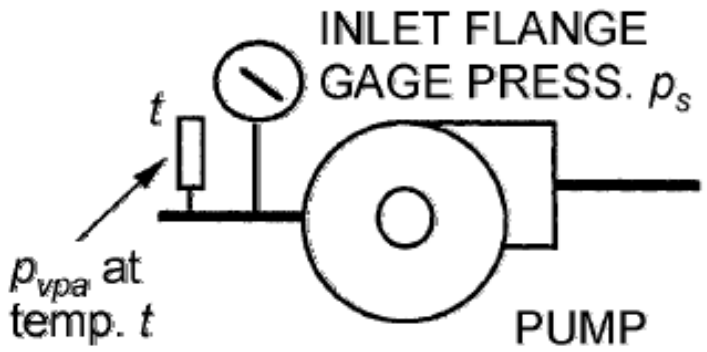
- $NPSH_A$: هد مثبت ممکن در طرف مکش پمپ که سیستمی که در آن پمپ کار می کند. فشار افزوده شده سیال در بالای فشار بخار آن زمانی که به بخش مکش پمپ می رسد.

هد خالص مکش مثبت (NPSH)



$$NPSH = \frac{g_c}{g}\left(\frac{P_a - P_v}{\rho} - h_{fs}\right) - Z_a$$

p_a = atmos. pressure



NPSA = $p_p + p_z - p_{vpa} - p_f$

PROPOSED DESIGN

NPSA = $p_a + p_s + V^2\rho/2 - p_{vpa}$

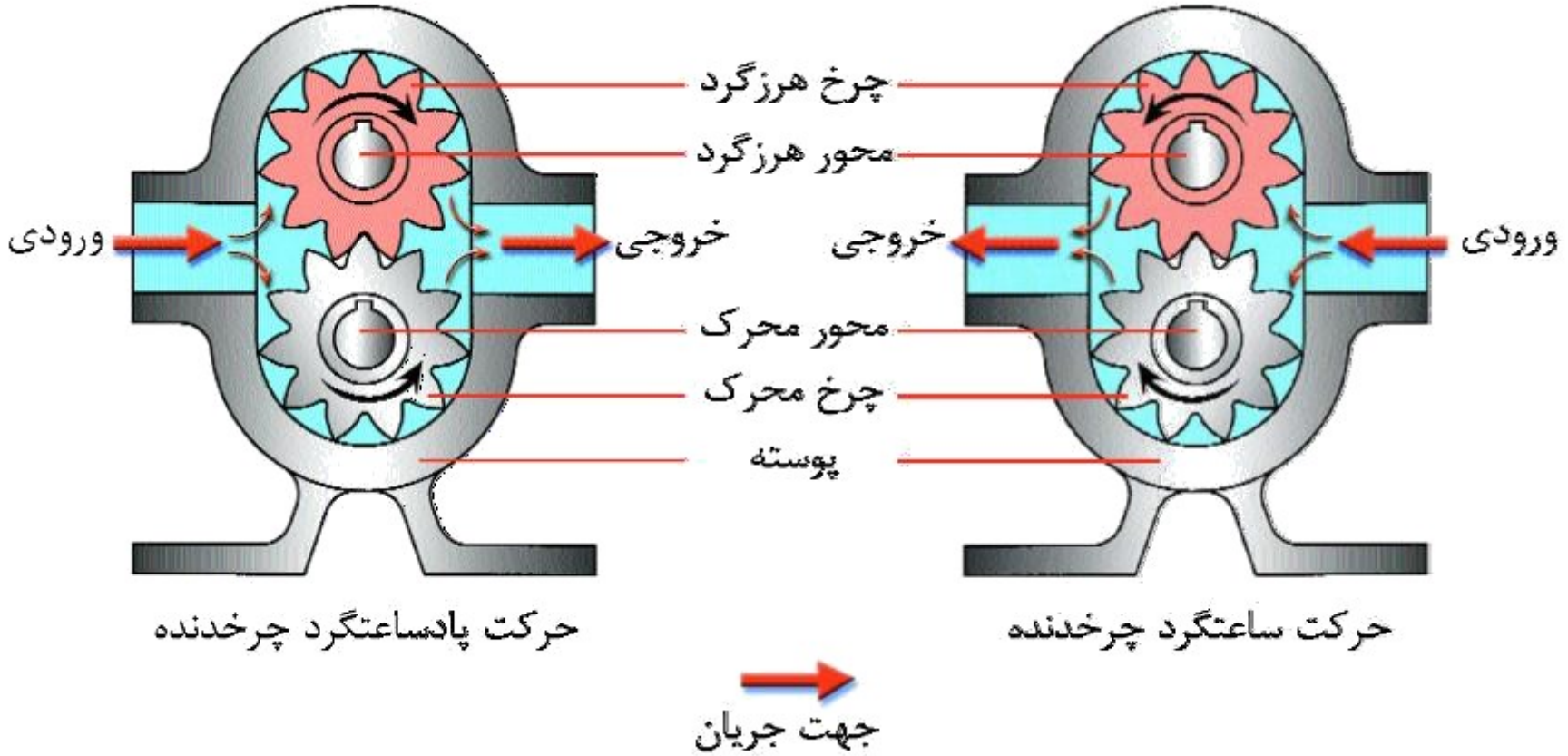
EXISTING INSTALLATION

پمپ و موتورهای هیدرولیک

- انواع پمپ‌های هیدرولیک
  - پمپ/ موتور روتاری
    - چرخدنده‌ای، گوشواره‌ای، پیرامونی، مارپیچی
  - پمپ/ موتور رادیال (شعاعی)
    - پمپ پیستونی شعاعی
    - پمپ پره‌ای شعاعی
  - پمپ/ موتور اکسیال (محوری)
  - ...

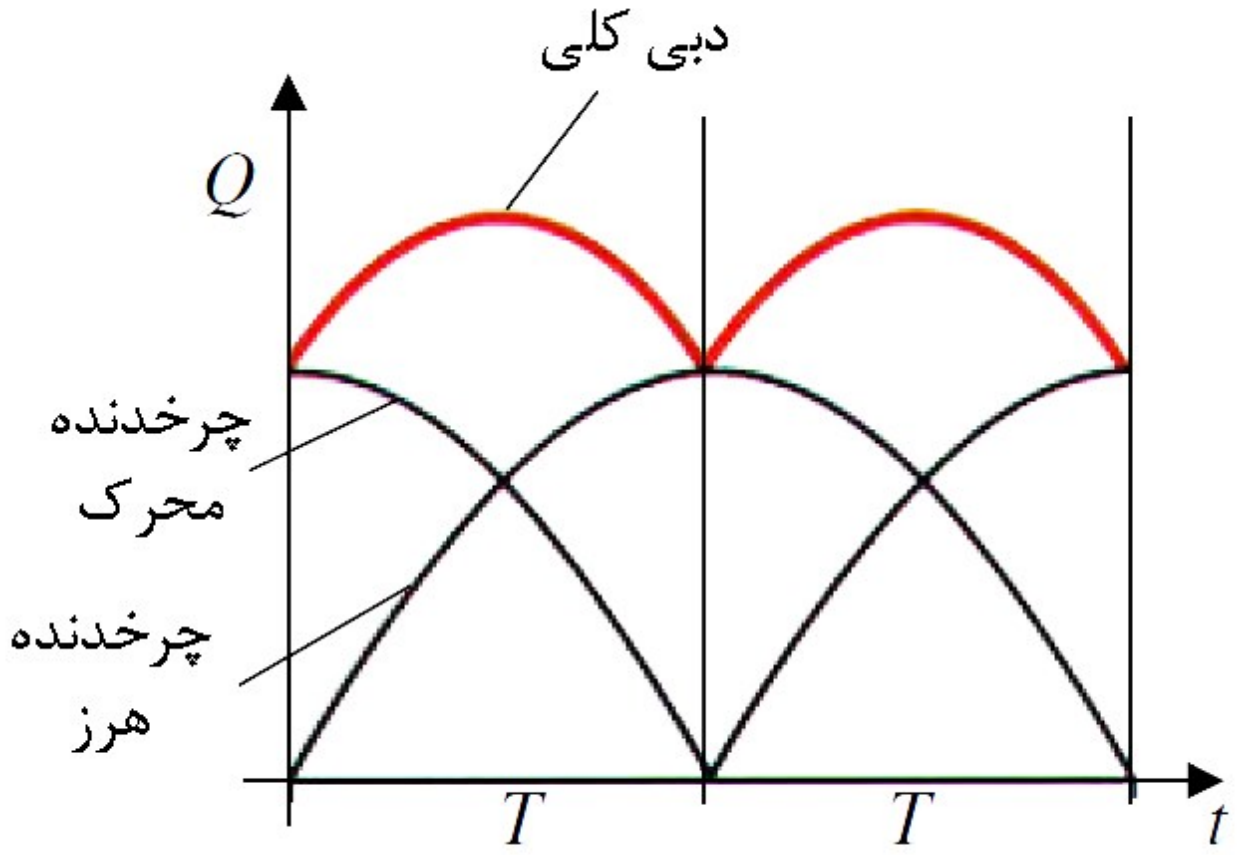
پمپ‌های چرخدنده‌ای

- شامل دو چرخدنده دوار که حجم جابجا شده برابر با فضای محبوس بین دو چرخدنده



پمپ‌های چرخدنده‌ای

- تغییرات دبی بر حسب گشتاور پمپ‌های چرخدنده‌ای

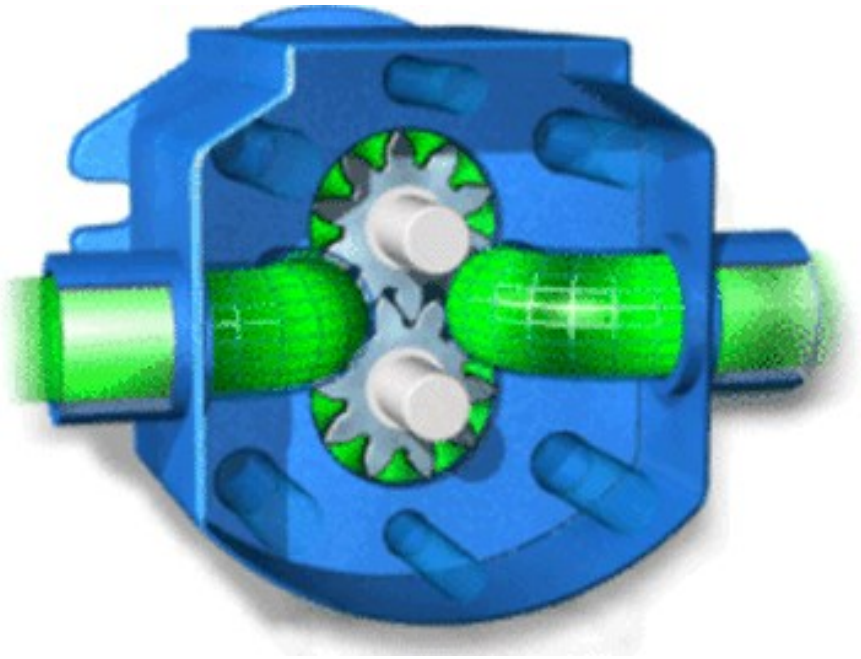


پمپ‌های چرخدنده‌ای خارجی

- External Gear Pump

- نحوه عملکرد پمپ چرخدنده‌ای خارجی





پمپ‌های چرخدنده‌ای خارجی

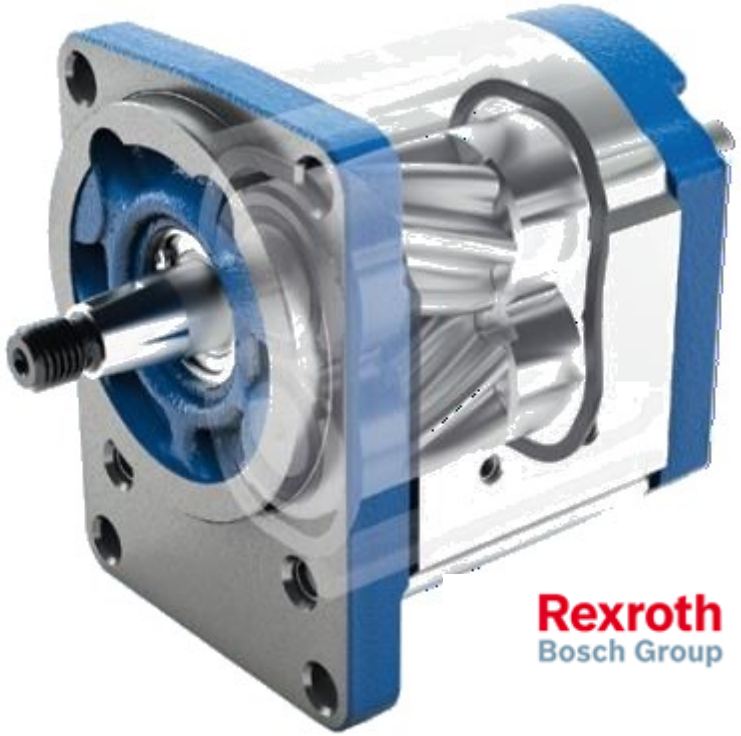
- معمولا برای سیستم های هیدرولیک موبایل استفاده می شوند.
  - فشار نسبی بالا
  - وزن کم
  - محدوده دور بزرگ
  - دمای کاری گسترده
  - حداکثر فشار: ۳۰۰ بار
  - حداکثر دبی: $0.2\ cm^3$ تا ۲۰۰
  - دور بالا: ۵۰۰ تا ۶۰۰۰ در دقیقه

پمپ‌های چرخدنده‌ای خارجی

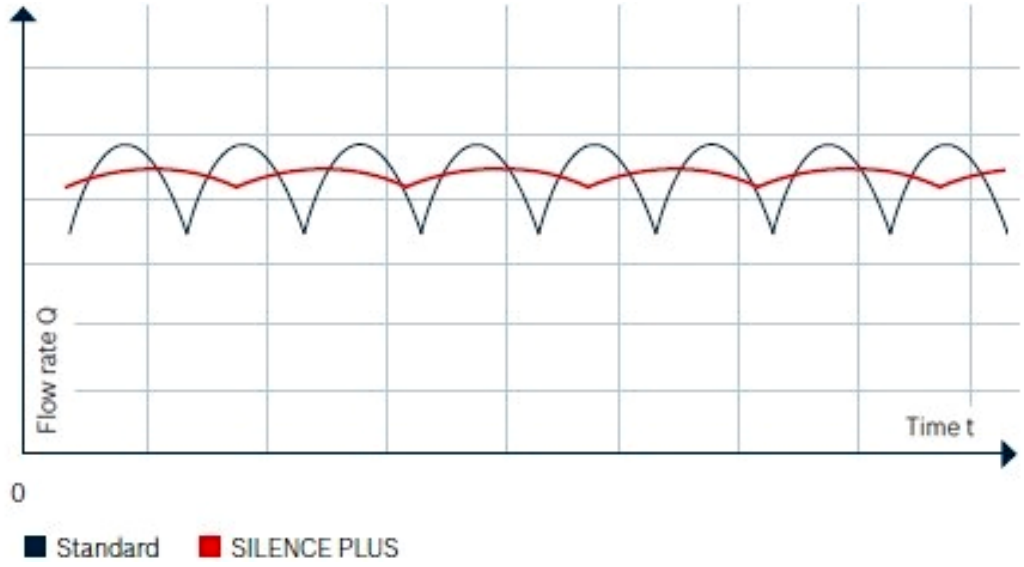
- معایب پمپ چرخدنده‌ای
  - امکان ساخت از بازه محدودی از مواد به دلیل تلرانس بالا
  - تنش برشی بالا بر روی سیال
  - نیروی اعمالی بالا به محورها
  - پر سروصدا،
  - لرزش زیاد،
  - ضربه های شدید

پمپ‌های چرخدنده‌ای خارجی

- پمپهای با سروصدای کم (نسل جدید)



SILENCE PLUS version

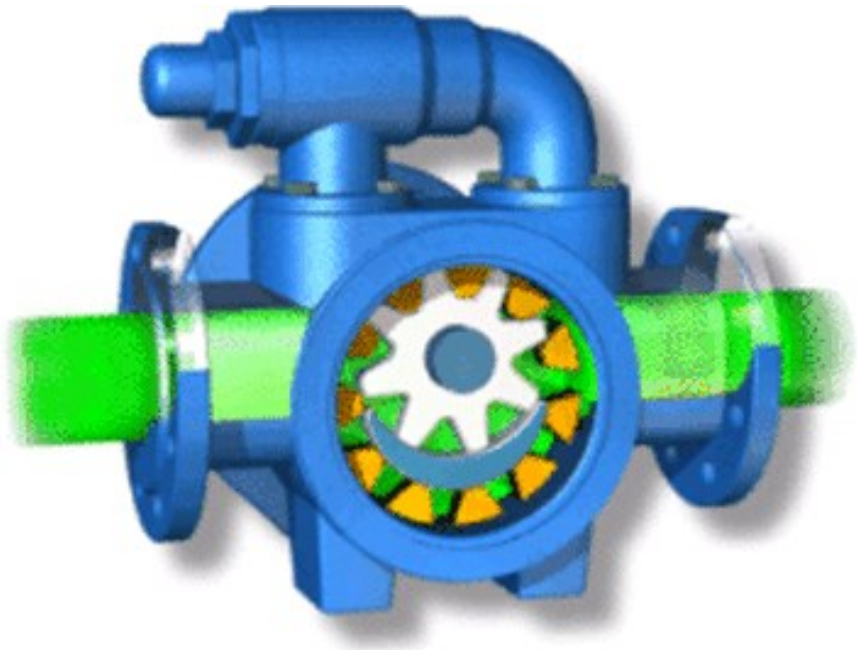


پمپ‌های چرخدنده‌ای داخلی

- Internal Gear Pump

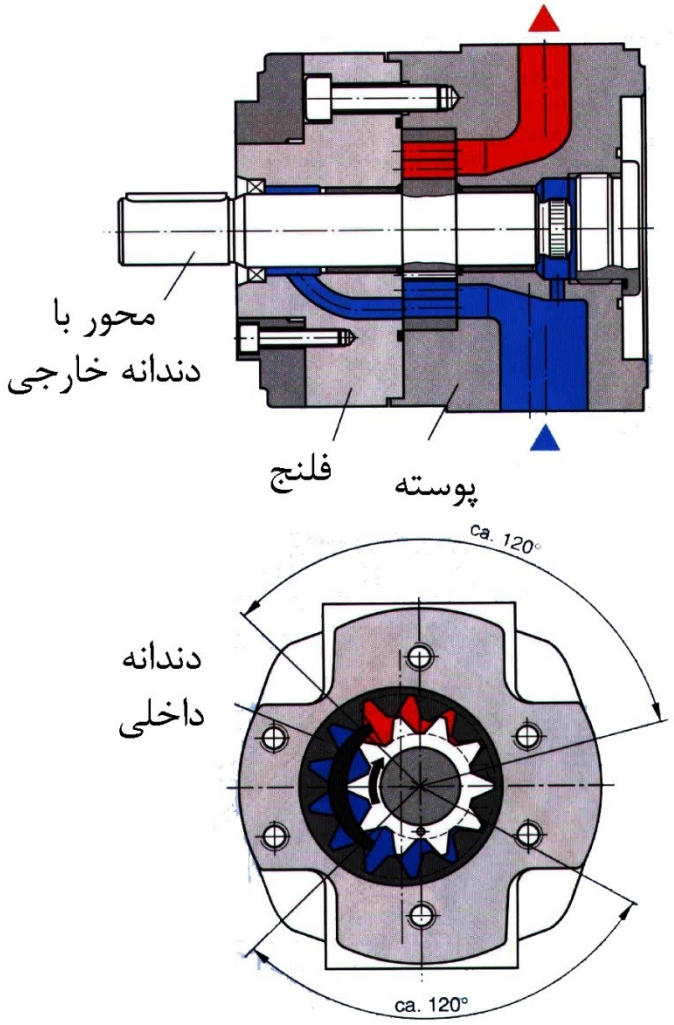
- نحوه عملکرد پمپ چرخدنده‌ای داخلی





پمپ‌های چرخدنده‌ای داخلی

- در سیستم های هیدرولیک صنعتی
  - سروصدای کم
  - جریان آرام
  - هد مکش بالا
  - حداکثر فشار: ۳۰۰ بار
  - حداکثر دبی: ۳ تا ۲۵۰ cm^3
  - دور بالا: ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ در دقیقه

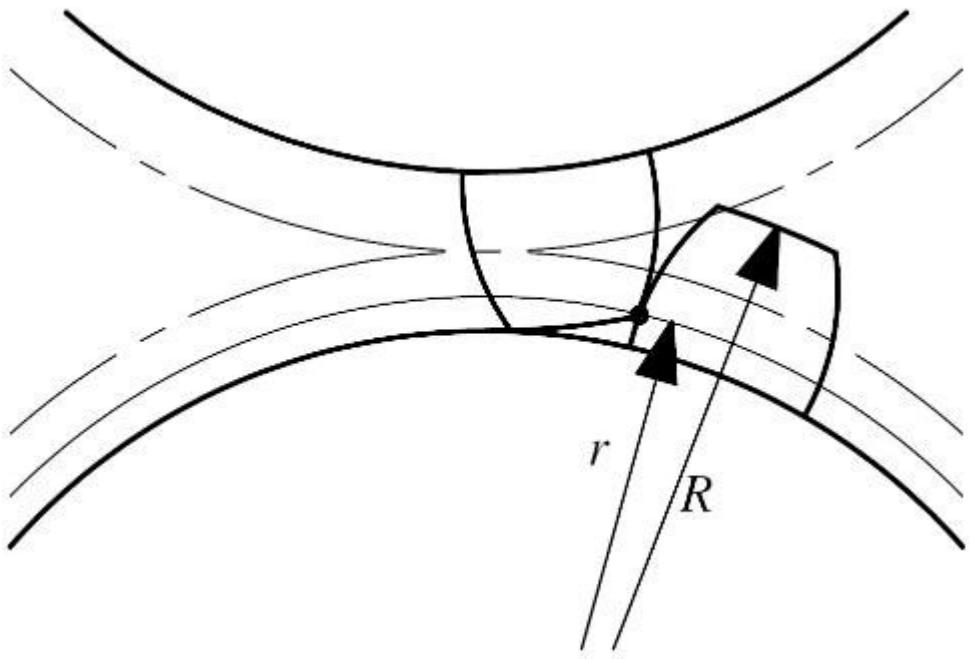


پمپ‌های چرخدنده‌ای

- حجم جابجا شده

$$\overbrace{V_g = 4\pi \cdot b \cdot r \cdot (R - r)}^{\text{External}} \quad \text{or} \quad \overbrace{V_g = 2\pi \cdot b \cdot m^2 \cdot (z + 2x)}^{\text{Internal}}$$

R	**شعاع خارجی**
r	**شعاع آخرین نقطه تماس**
b	**پهنا**
z	**تعداد دندانه**
m	**مدول چرخدنده**
x	**ثابت پروفیل**



پمپ‌های چرخدنده‌ای

- مزایا عمومی پمپ چرخدنده‌ای
  - استفاده برای محدود گسترده‌ای از سیالات با ویسکوزیته متفاوت
  - سادگی در تعمیر و بازسازی
  - دو قطعه متحرک
  - یک محور محرک
  - ارزان
  - قابلیت اطمینان بالا، عدم حساسیت به آلودگی
  - راندمان بالا ۹۰ درصد

موتور چرخدنده‌ای

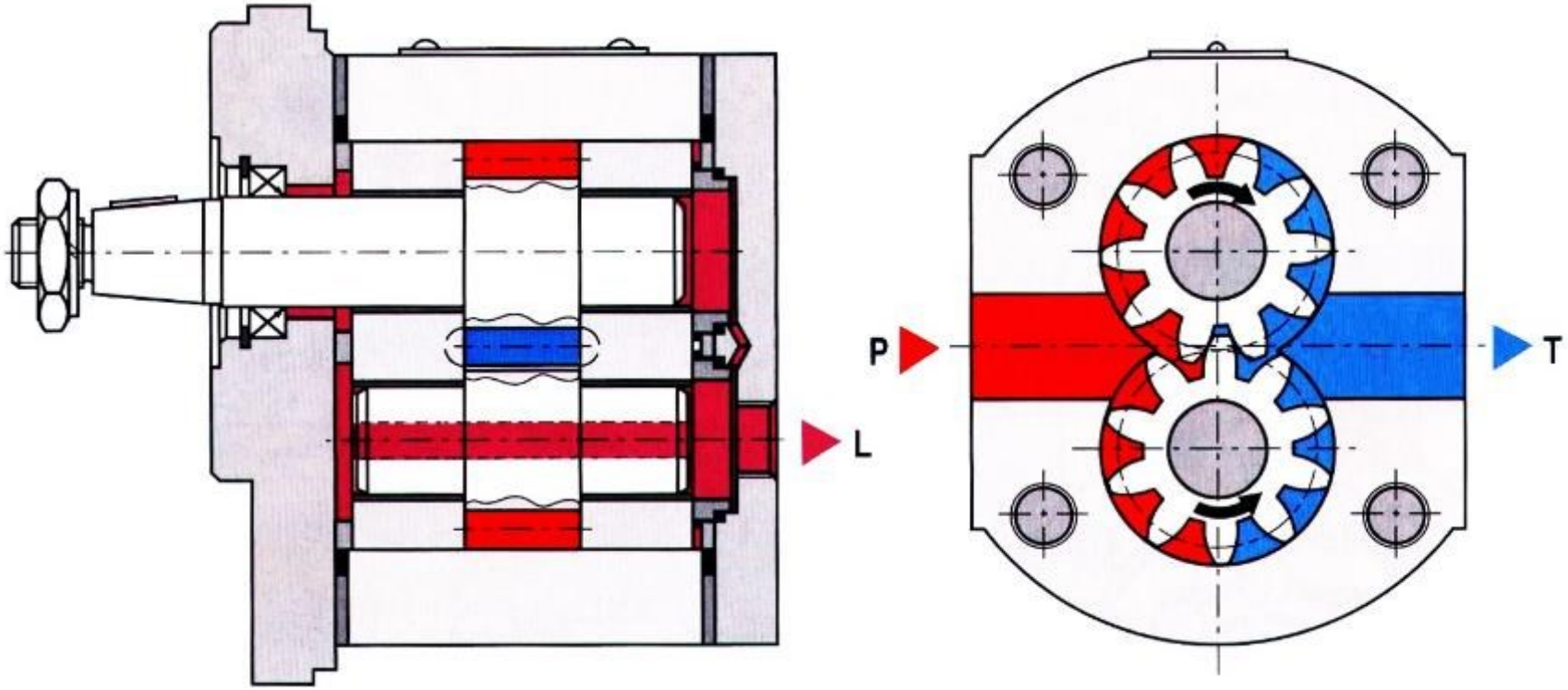
- تبدیل انرژی هیدرولیک به انرژی مکانیکی
- برای یک جابجایی مشخص:

$$\text{گشتاور} \propto \text{فشار هیدرولیک}$$

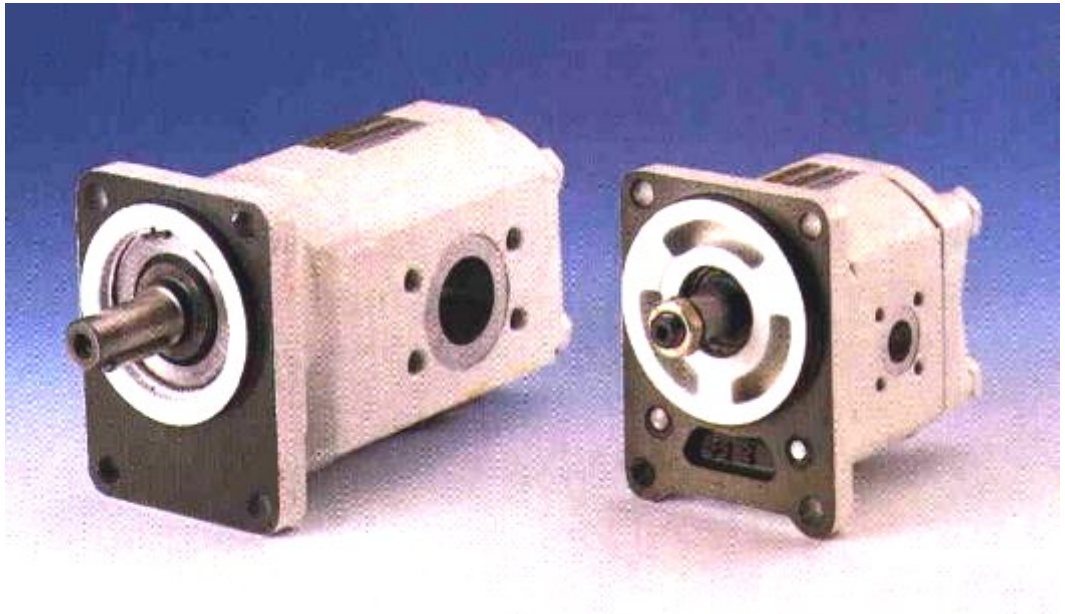
$$\text{سرعت} \propto \text{نرخ جریان}$$

موتور چرخدنده‌ای

- حداکثر فشار: ۳۰۰ بار
- حداکثر دبی: $1\ cm^3$ تا ۲۰۰
- دور بالا: ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰در دقیقه



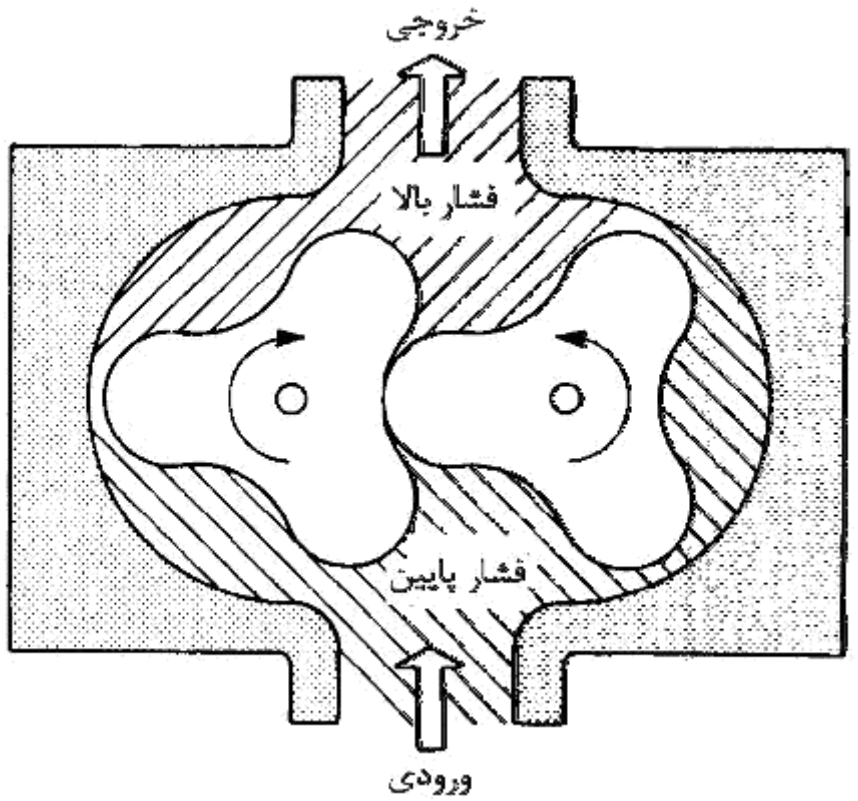
موتور چرخدنده‌ای



- جلوه انتخاب
  - فشار
  - دور
  - تغییر جابجایی (دبی)
  - شرایط نصب
  - طول عمر
  - شرایط نگهداری
  - سطح سروصدای مجاز
  - قیمت

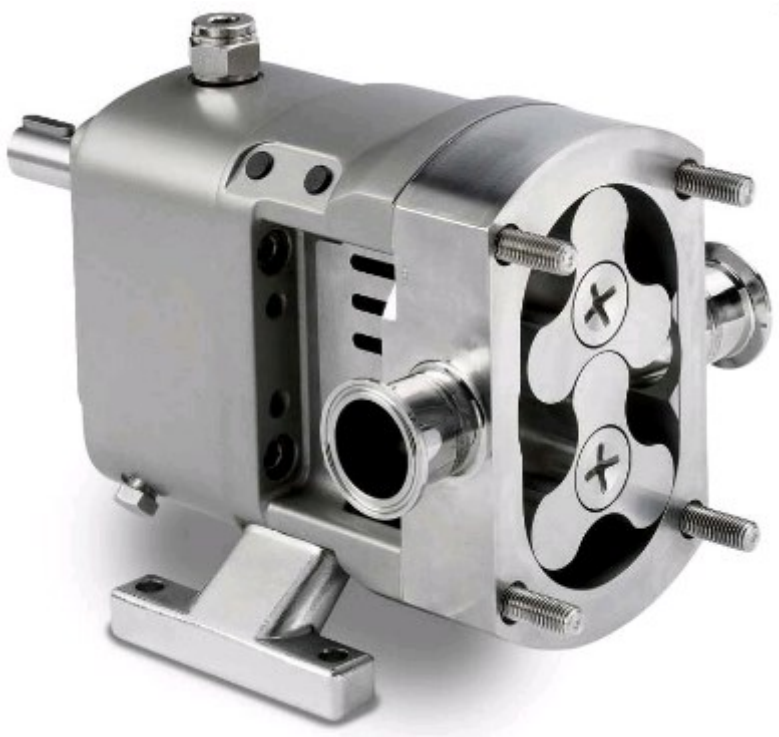
پمپ گوشواره‌ای (Lobe Pump)

- همانند پمپ چرخدنده‌ای از نوع پمپ دو محور (چند محور) است.
- تماس بین دو پره توسط زمانبندی یک چرخدنده خارجی انجام می شود.



پمپ گوشواره‌ای

- Lobe Pump



- نحوه عملکرد پمپ لوب

پمپ گوشواره‌ای

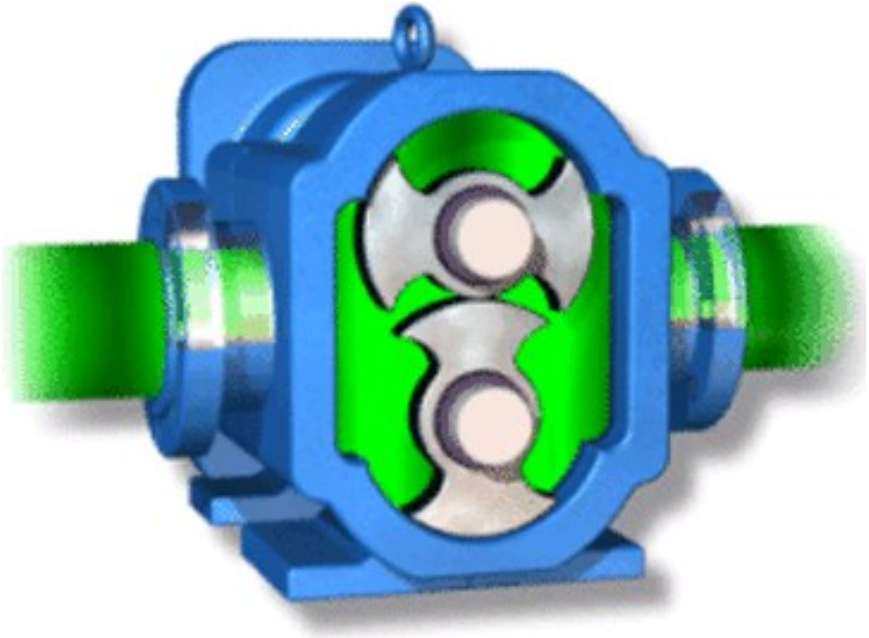


- مزایا
  - امکان نظافت و کیفیت بهداشت مناسب (برای صنایع دارویی) (هیدرولیک آب)
  - کارایی بالا (بیش از ۹۰ درصد)
  - قابلیت اطمینان بالا
  - مقاوم در برابر خوردگی
  - مشخصات خوب تمیزکاری و بخارشویی (CIP/SIP)

پمپ پیرامونی (Circumferential)

- محدوده کاری گسترده برای فشار و سرعت های پایین
- فشار کاری پایین ۳۱ بار (۴۵۰ psi)





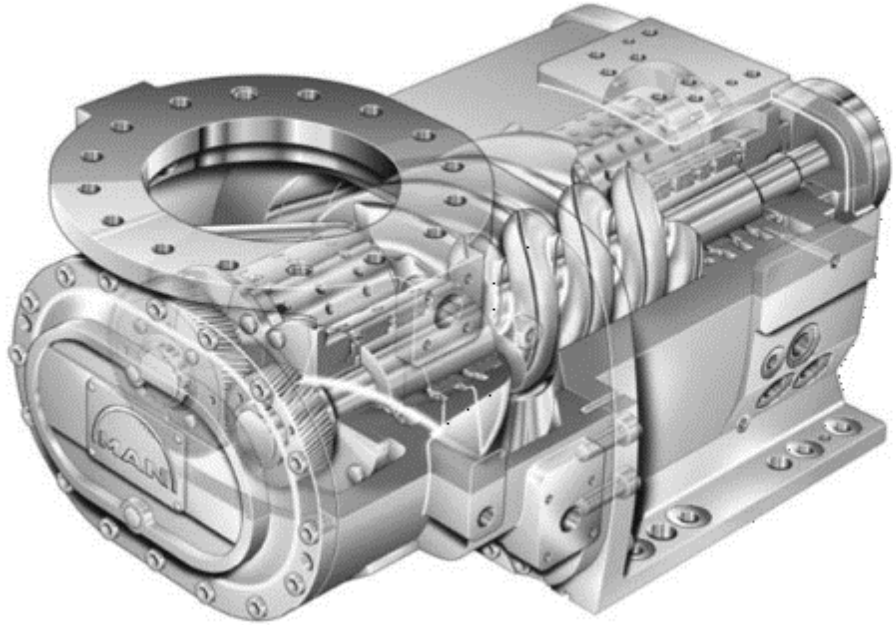
پمپ پیرامونی (Circumferential)

- برای محدوده ویسکوزیته (۵۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰سانتی استوک cSt) 5×10^{-5} m^2/s تا ۱ m^2/s
- دور پایین ۵۰۰ تا ۱۸۰۰rpm
- تلورانس پایین
- کاربرد:
  - پتروشیمیایی، کاغدسازی، آسفالت
  - فرآیندها غذایی، سیالات حساس به تنش برشی

پمپ پیچی (Screw)

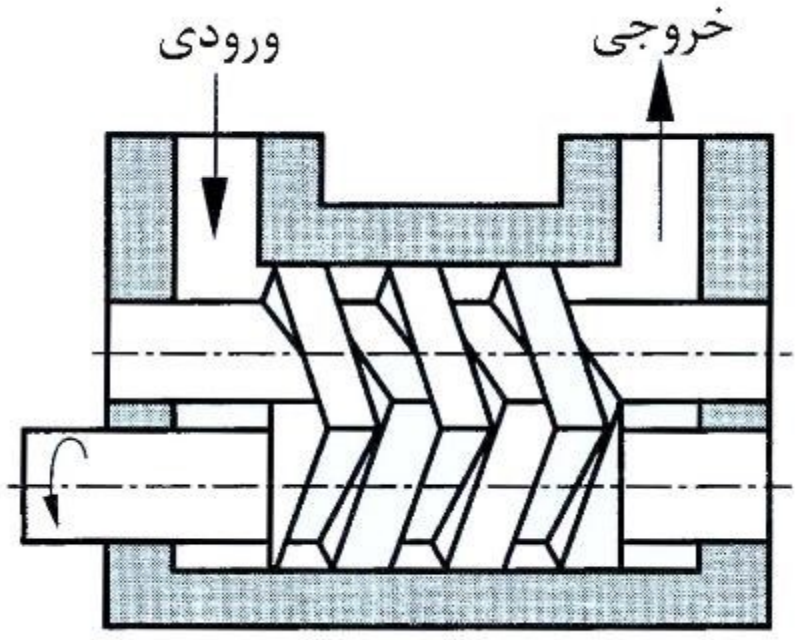
- یکی از انواع پیچیده پمپ های روتاری است.
- شامل ۲ (تا ۳) پیچ با دندانه های خلاف جهت هم
- یکی به صورت ساعت چرخ و دیگری به صورت پادساعتگرد حرکت می کند.

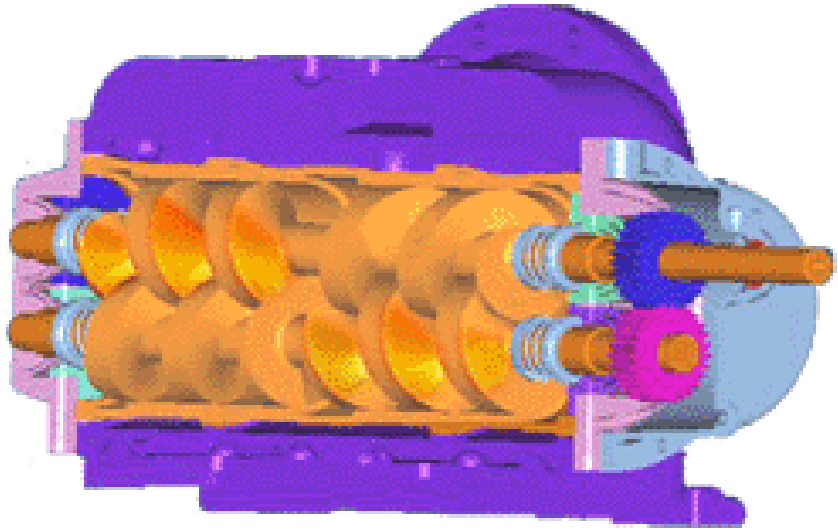




پمپ پیچی (Screw)

- پیچ‌ها توسط چرخدنده‌ای که به دقت درجه‌بندی شده با یکدیگر می‌چرخند
- فاصله بین دو پیچ متحرک و همچنین پوسته پمپ حداقل فاصله ممکن است.





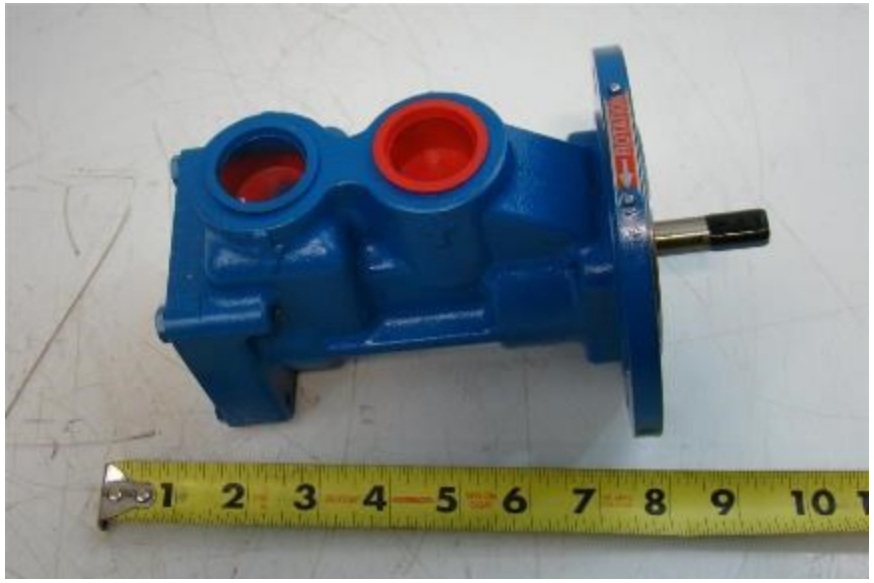
پمپ پیچی (Screw)

- مزایا
  - محدود گسترده فشاری و دبی
  - محدود گسترده سیالات و ویسکوزیته
  - ظرفیت قابل تغییر
  - قابلیت چرخش با سرعت بالا که امکان انتخاب موتورهای مختلف را می‌دهد.
  - سرعت داخلی پایین
  - مکش خوب

پمپ پیچی (Screw)

- مزایا
  - تلورانس پایین که مانع از ورودی هوا و سایر گازها شود.
  - حداقل میزان تولید کف
  - ارتعاشات مکانیکی کم، عدم ضربه زنی، عملکرد آرام
  - طراحی متراکم

پمپ پیچی (Screw)



- معایب
  - قیمت بسیار بالا
    - نمونه: قیمت تقریبی ۱۲۰۰ دلار
  - حساسیت کاریی به ویسکوزیته
  - برای فشار بالا نیازمند ابعاد طولانی پیچ هستیم
  - افت زیادتر به دلیل طول تماس بیشتر

پمپ پیچی (Screw)

$$V_g = \frac{\pi}{4}\left(D^2 - d^2\right)s - D^2 \cdot s\left(\frac{\pi \cdot \alpha}{360^\circ} - \frac{\sin 2\alpha}{4}\right)$$

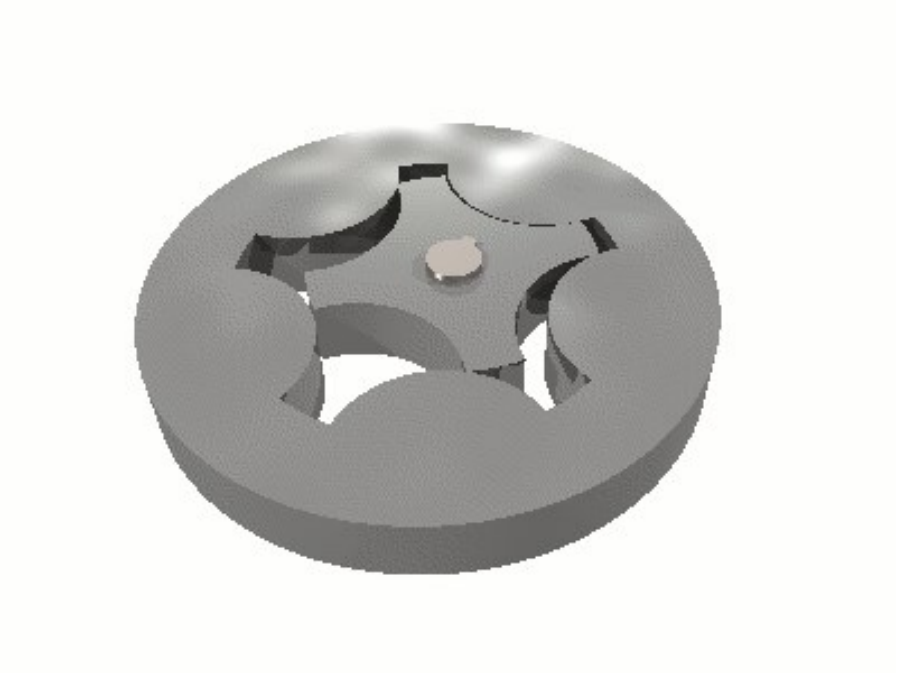
s : pitch

- حداکثر دبی: ۳۰۰۰ l/s
- حداکثر فشار: ۱۷۰ بار
- راندمان: ۰.۶۵ تا ۰.۷۰

****** موتور پیچی وجود ندارد ******

پمپ گرتور (Gerotor Pump)

- از جمله پمپهای روتاری است
  - شامل یک روتور داخلی و یک روتور خارجی است
  - روتور داخلی دارای N دندانه و روتور خارجی دارای N+1 دندانه است.
  - روتور داخلی به صورت خارج از مرکز و هر دو می‌چرخند.



پمپ گرتور (Gerotor Pump)

- نحوه عملکرد پمپ گرتور



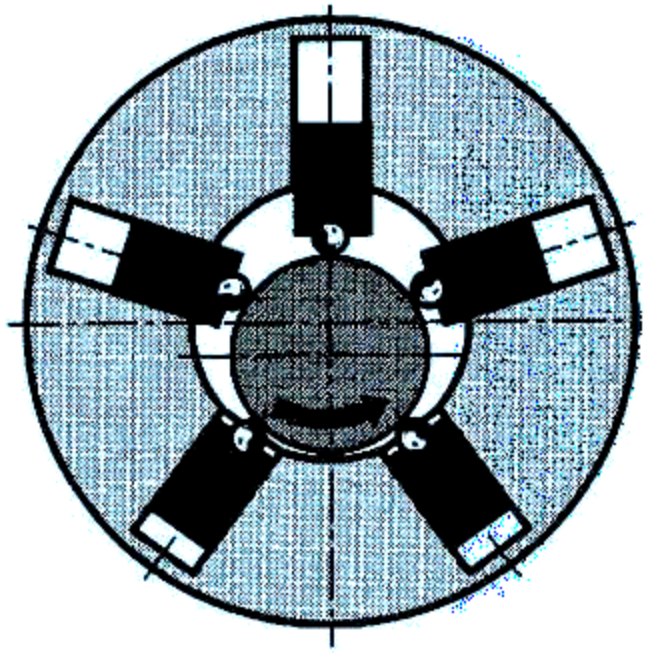


پمپ گرتور (Gerotor Pump)

- مزایا
  - سرعت بالا
  - دارای دو قطعه متحرک
  - تخلیه ثابت بدون توجه به فشار
  - عملکرد در هر دو جهت
  - عملکرد آرام و بی صدا
- معایب
  - محدودیت فشار (تا فشارهای متوسط)
  - ظرفیت ثابت
  - تنش زیاد بر روی محورها

پمپ پیستونی شعاعی

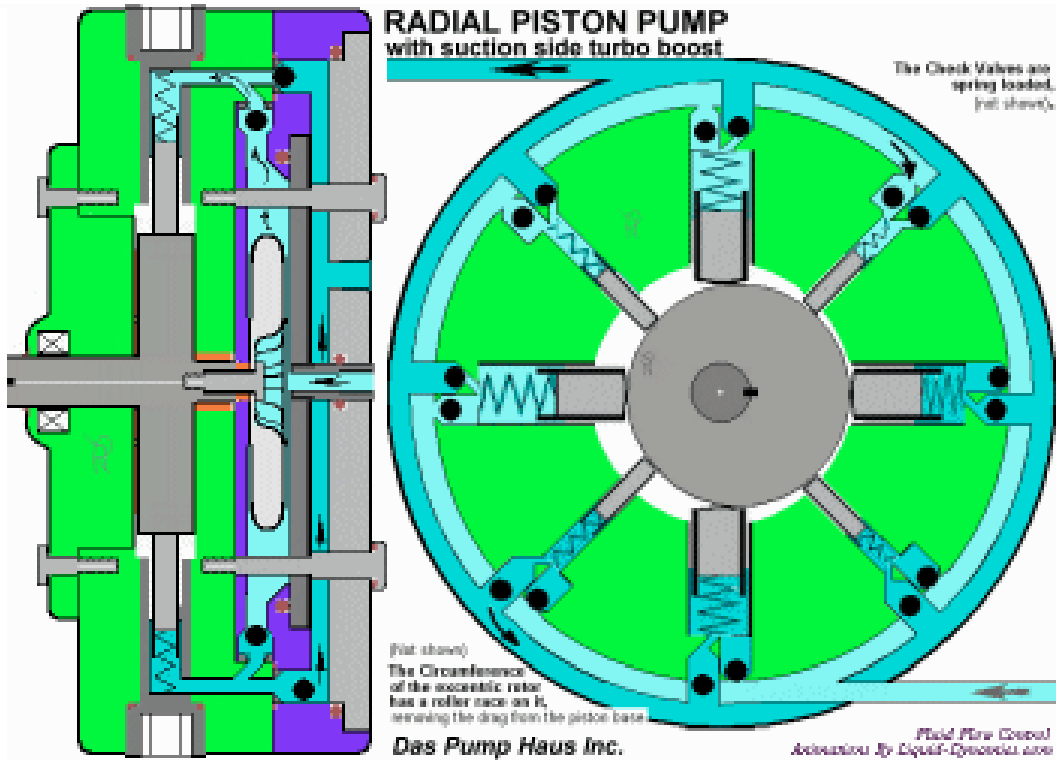
- انواع پمپ پیستونی شعاعی
  - – شامل پیستونهای متحرک و سیلندر ثابت
    - نیاز به شیرهای ورودی و خروجی



پمپ پیستونی شعاعی

- نحوه عملکرد پمپ پیستونی شعاعی با سیلندر ثابت و شفت خارج از مرکز

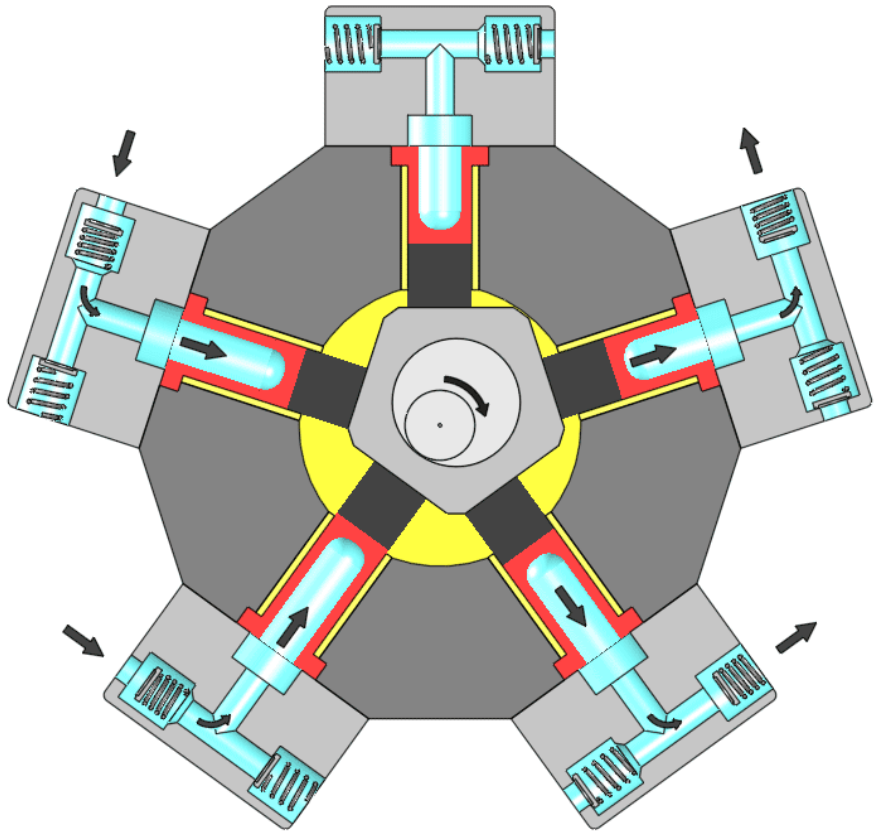




پمپ پیستونی شعاعی

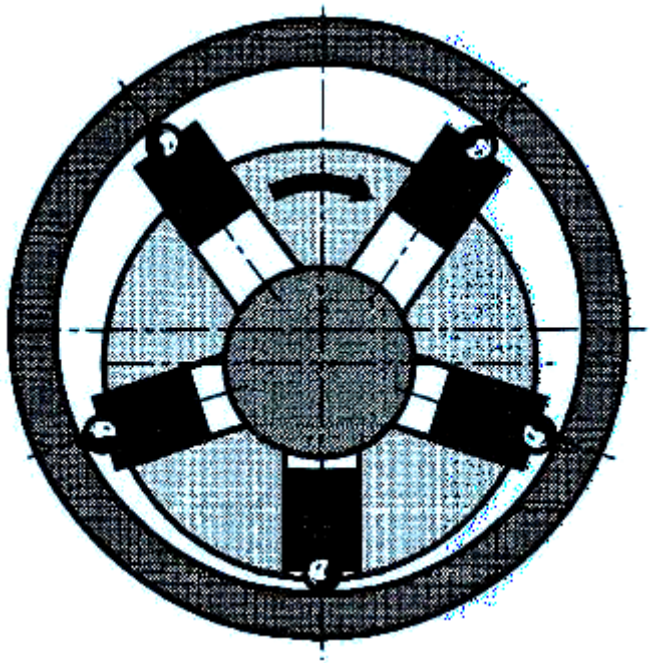
- پمپ پیستونی شعاعی یا سیلندر ثابت با شفت چندوجهی

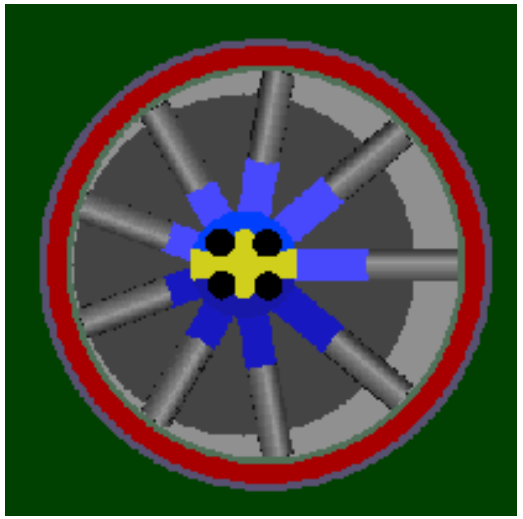




پمپ پیستونی شعاعی

- انواع پمپ پیستونی شعاعی
  - شامل مجموعه پیستونهای و سیلندر متحرک
    - عدم نیاز به شیر





پمپ پیستونی شعاعی

- پمپ پیستونی شعاعی با بلوک سیلندر متحرک
  - کنترل مستقیم



Package

پمپ پیستونی شعاعی

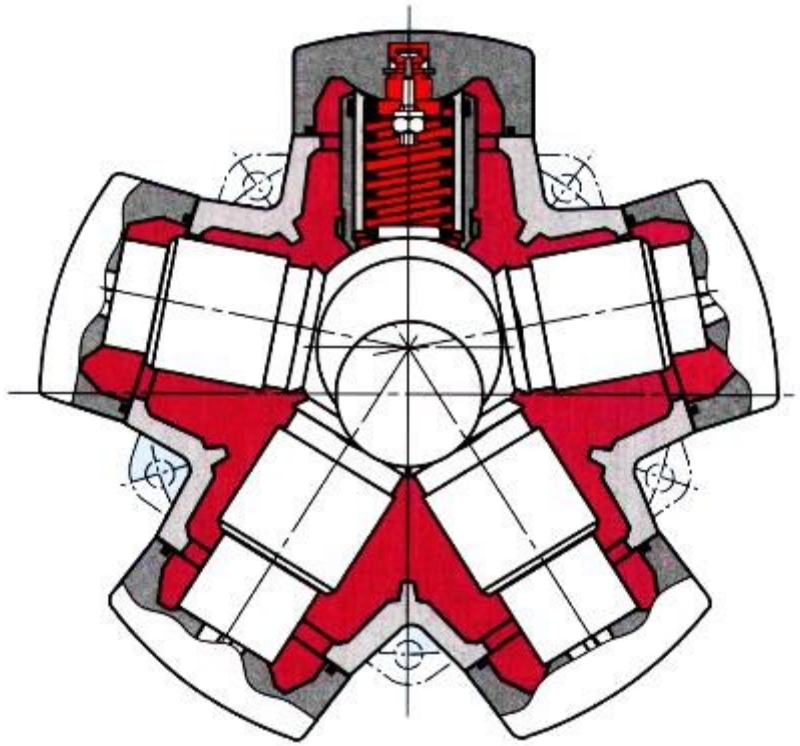
- مزایا
  - کارایی بالا (۸۵تا ۹۵٪)
  - فشار بالا (تا ۸۰۰ بار)
  - دور: ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ rpm
  - عدم نوسان فشار و دبی (به عت حجم کوچک جابجایی)
  - سطح سروصدای پایین
  - عدم وجود نیروی محوری داخلی بر روی محور یاتاقانها
  - قابلیت اطمینان بالا

پمپ پیستونی شعاعی

- کاربردها
  - ماشین ابزارها (جابجایی ابزار برش)
  - واحدهای فشار بالا (HPU) مانند سیستم‌های حفاظت در برابر فشار زیاد
  - تجهیزات تست کشش یا فشار
  - سیستم تعلیق هیدرولیک فعال در خودروهای مدرن
  - ماشین آلات تزریق پلاستیک و پودر
  - انرژی باد (توربین بادی)

موتور پیستونی شعاعی

- برای سرعت‌های بسیار پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند (Low Speed High Torque) (LSHT)



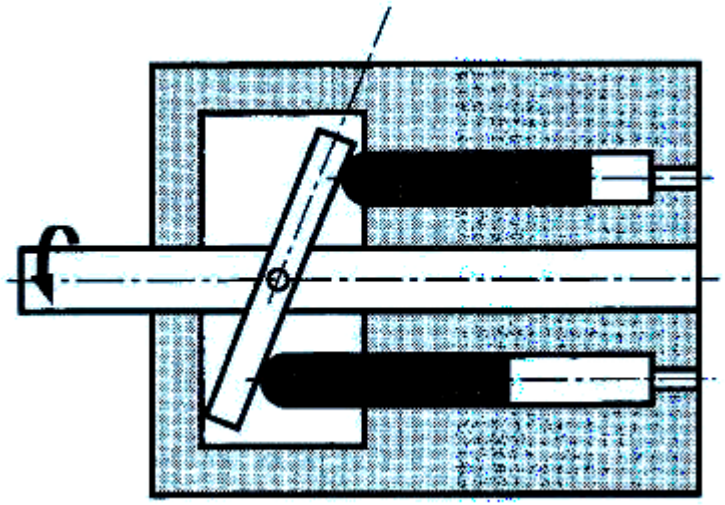
موتور پیستونی شعاعی LSHT

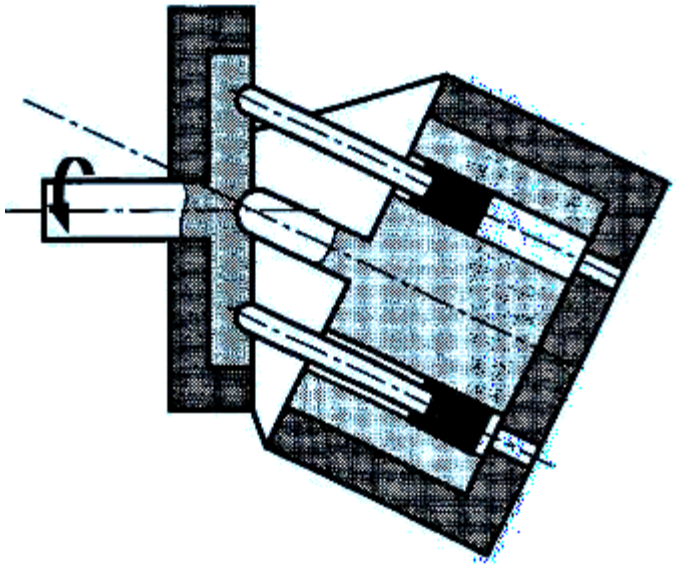
- جابجایی: $10 - 8500\ cm^3$
- حداکثر فشار: ۳۰۰ بار
- سرعت: ۲۰۰۰–۰.۵ در دقیقه
- حداکثر گشتاور: ۳۲۰۰۰ Nm



پمپ پیستونی محوری

- انواع پمپ پیستونی محوری
  - بلوک مورب
  - شفت مورب



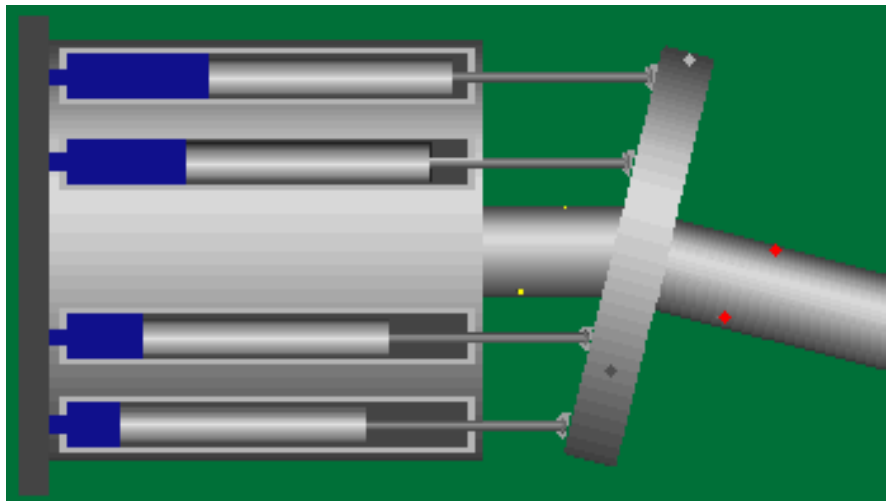


پمپ پیستونی محوری

- پمپ پیستونی محوری با بلوک مورب

– Axial piston pump with tilting block

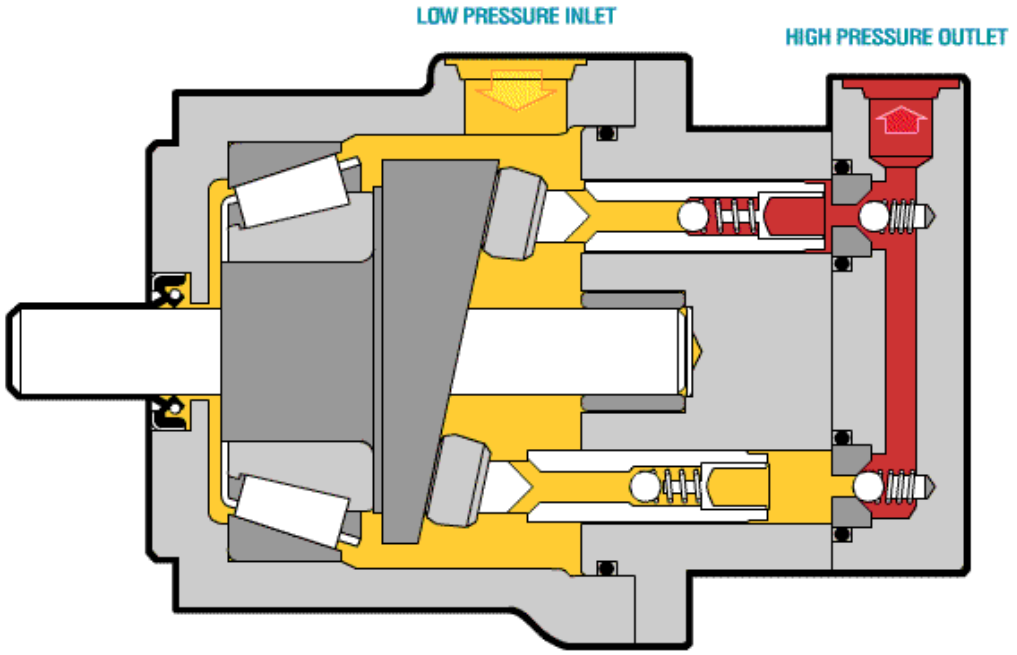




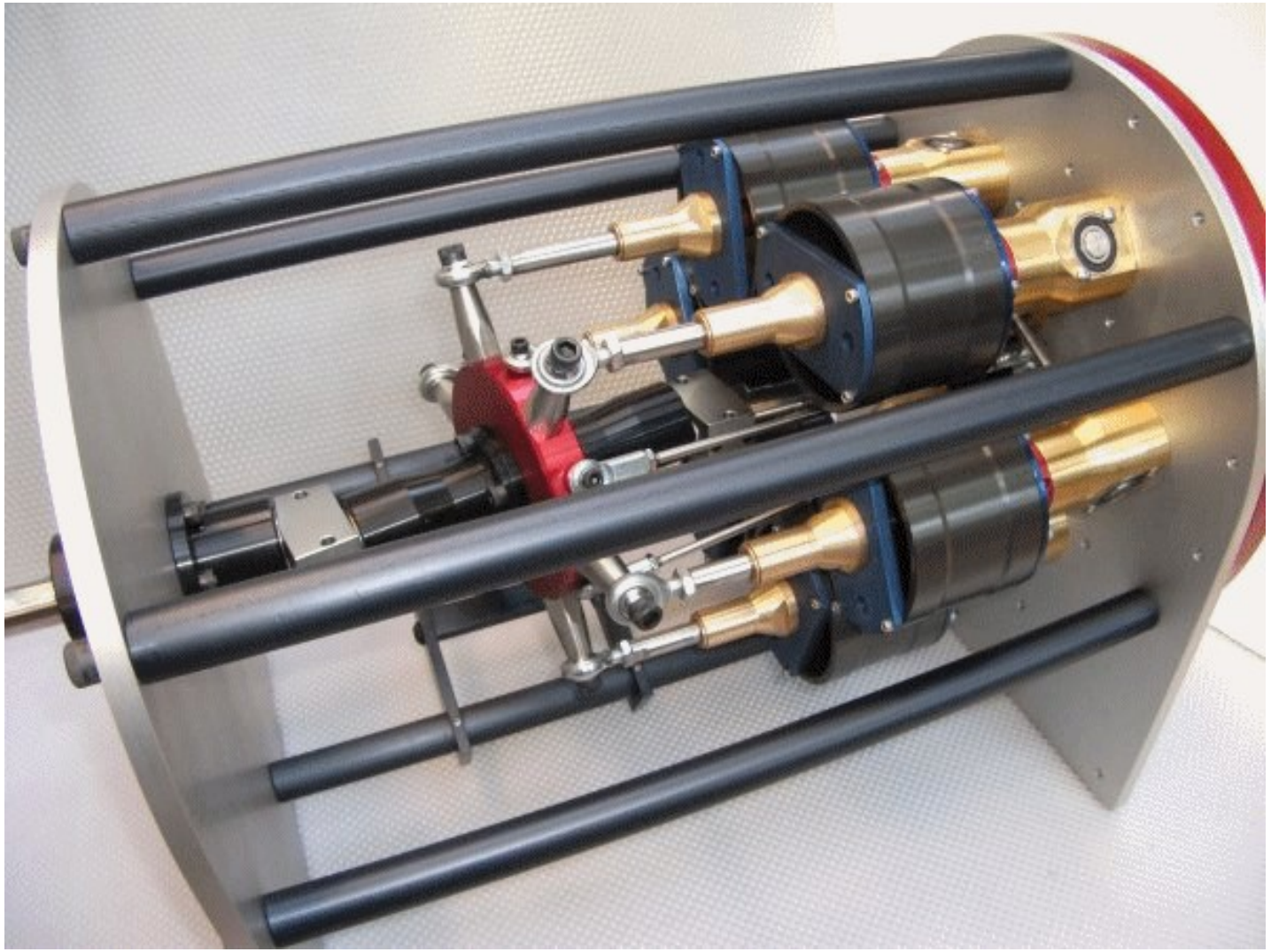
پمپ پیستونی محوری

- پمپ پیستونی محوری با شفت مورب





پمپ پیستونی محوری



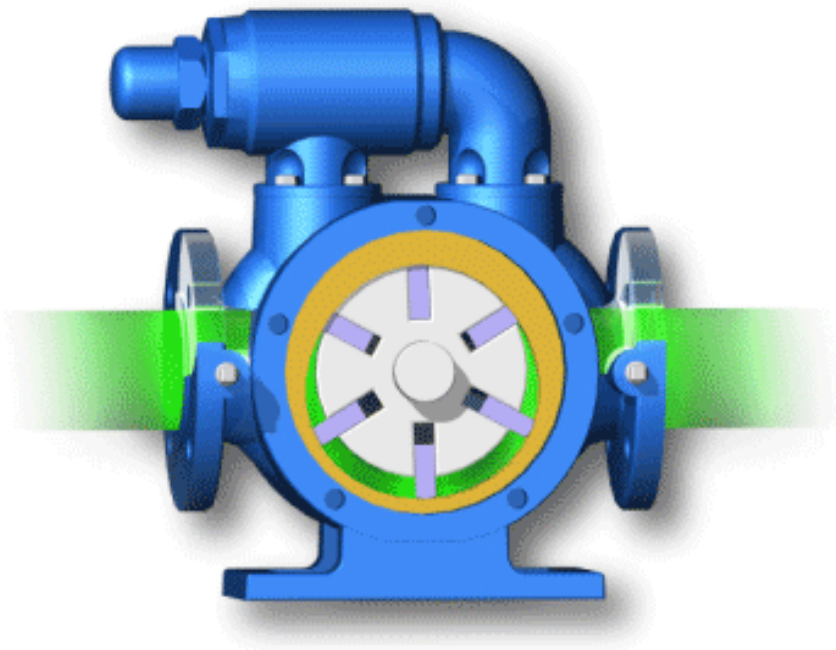
پمپ پیستونی محوری

- مشخصات و مزایا
  - کوچک، متراکم
  - کارایی خوب (۹۰ تا ۹۸ ٪)
  - عمر طولانی
  - فشار بالا (تا ۸۰۰ بار)
  - دور: ۱۲۰۰ تا ۳۰۰۰ rpm
  - بیشتر به عنوان موتور مورد استفاده قرار می‌گیرد تا پمپ

پمپ پره متحرک (Vane Pump)

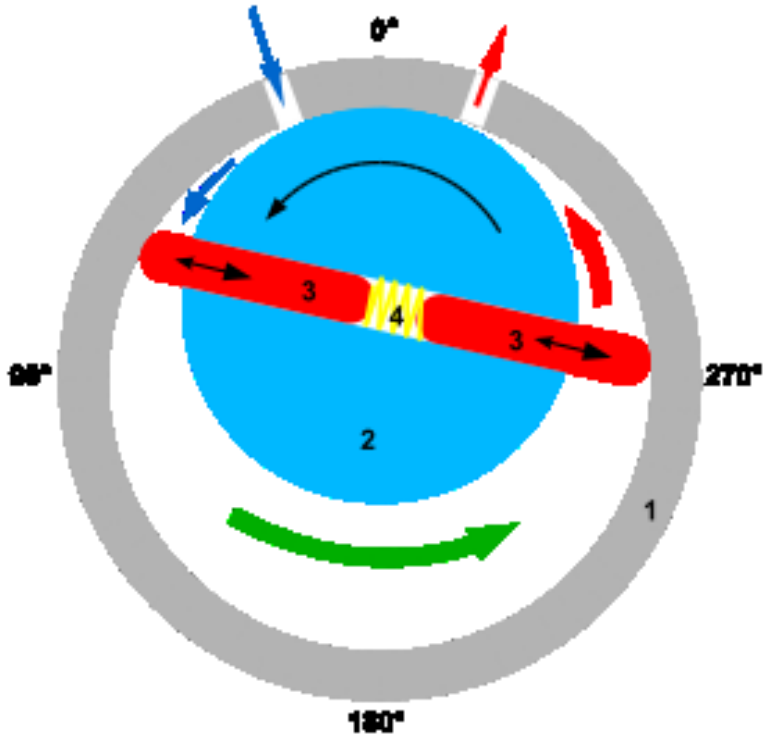
- جز پمپ‌های روتاری تک محور می‌باشند
- شامل پره های قرار گرفته در داخل روتور است که در داخل یک محفظه می‌چرخند





پمپ پره متحرک

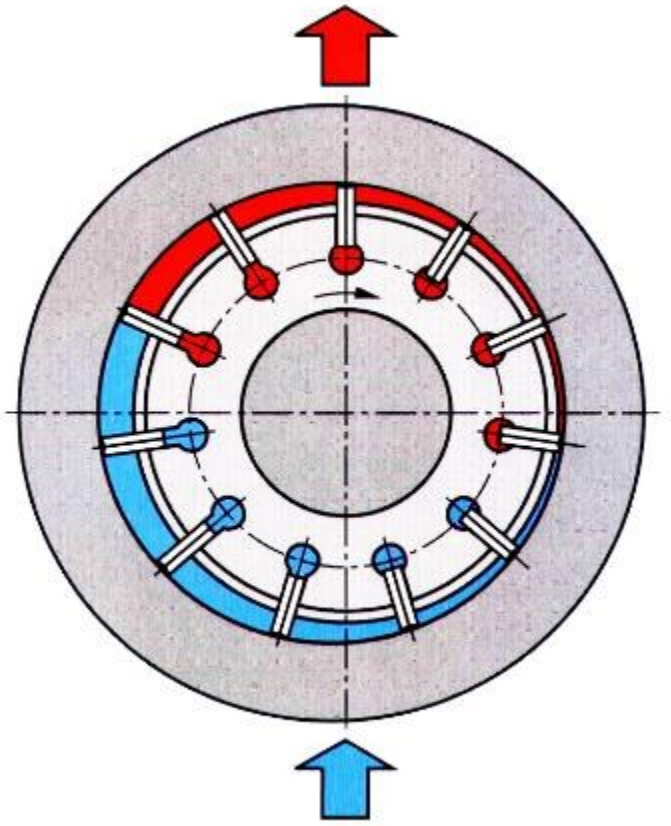
- توسط چارلز بارنس در ۱۸۷۴ اختراع شد
- یکی از ابزارهای کاهش مصرف انرژی است که در بسیاری از کاربردها مورد استفاده قرار می گیرد



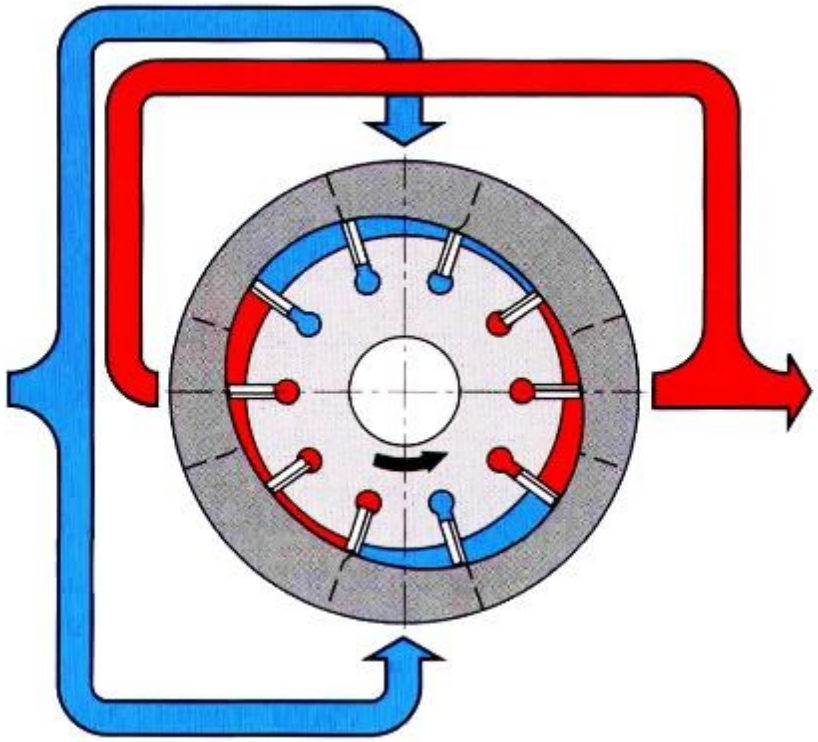
1. محفظه پمپ
2. رتور
3. پره ها
4. فنر

پمپ پره متحرک

- انواع پمپ پره متحرک
  - یک مرحله‌ای (Single acting)
    - حجم جابجا شده قابل تنظیم است

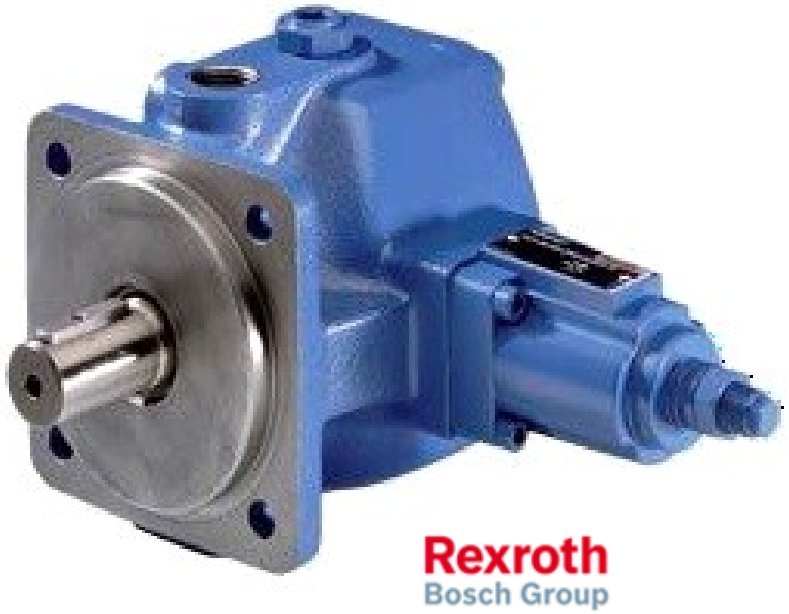


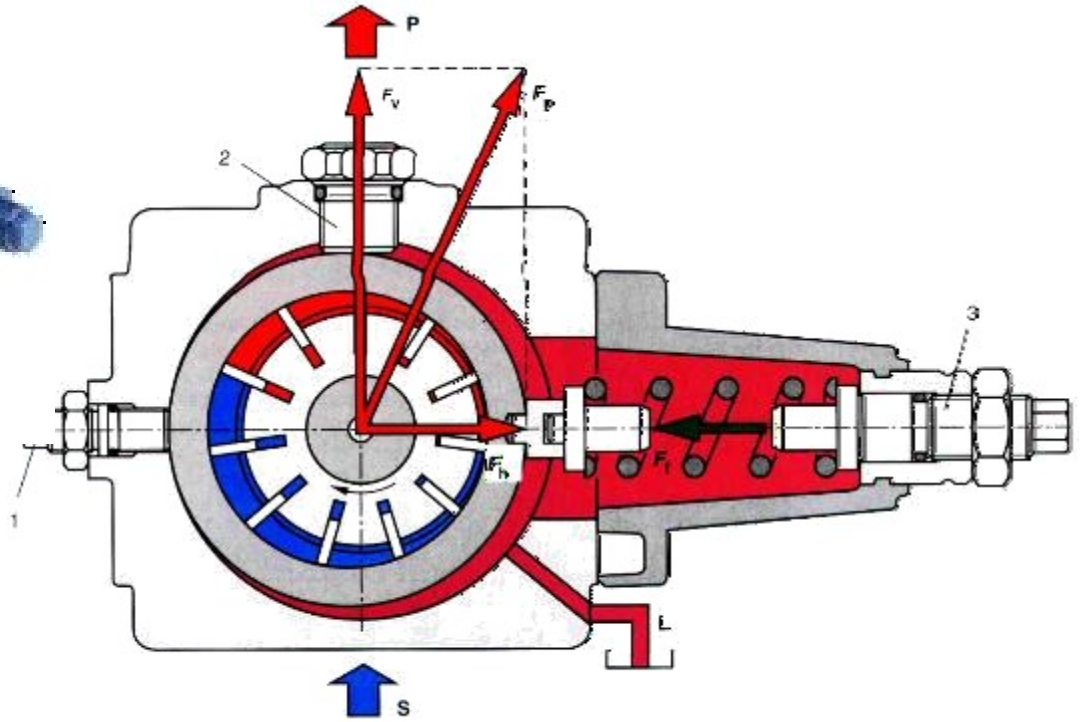
- انواع پمپ پره متحرک
  - دو مرحله‌ای (Double acting)
    - حجم جابجا شده ثابت است.



پمپ پره متحرک

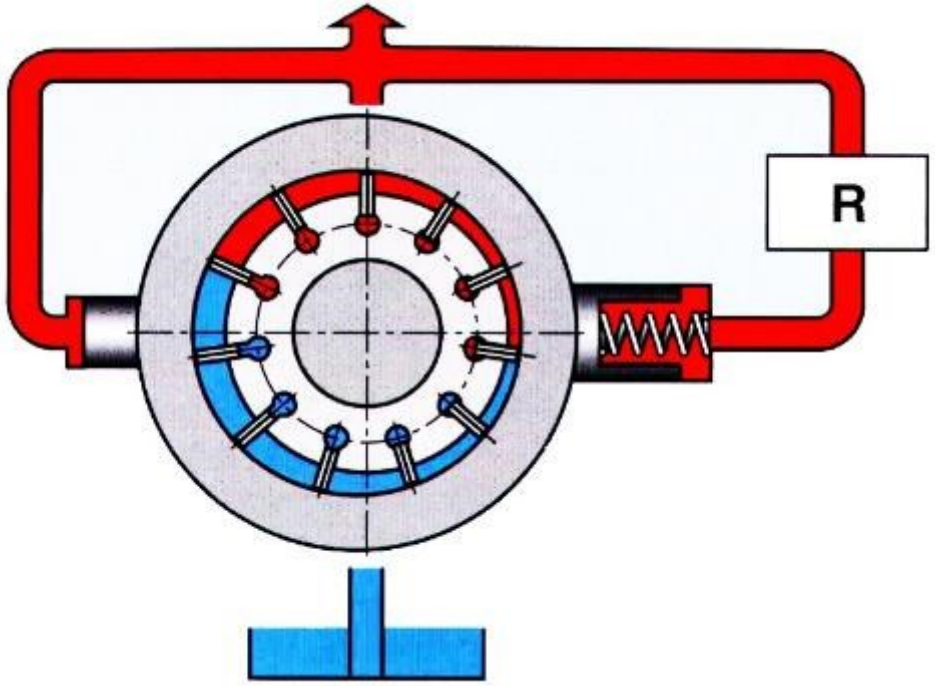
- مکانیزم کنترل مستقیم
  - برای کنترل فشار از نیروی فنری استفاده می‌شود





پمپ پره متحرک

- مکانیزم کنترل جبرانساز فشار



Rexroth
Bosch Group



پمپ پره متحرک

- مشخصات
  - نسبتا آرام (ولی کمتر از پمپهای پیچی)
  - فشار متوسط : ۶۵ تا ۱۳۵ بار
  - دور: ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ rpm
  - بازدهی: ۸۰ تا ۹۵ ٪
  - ارزان
  - تلفات نشتی بالا
  - در صورت رسیدن به فشار نهایی بدون محدودگر می باید از RV استفاده شود.

* کمتر به عنوان موتور مورد استفاده قرار می‌گیرد

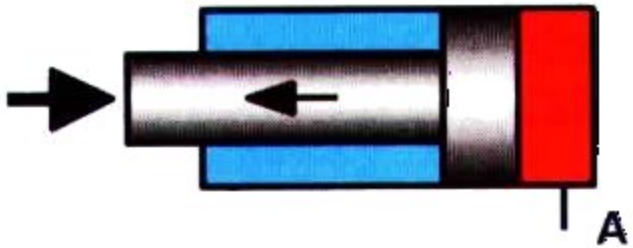
عملگرهای هیدرولیک

سیلندر و پیستون‌ها

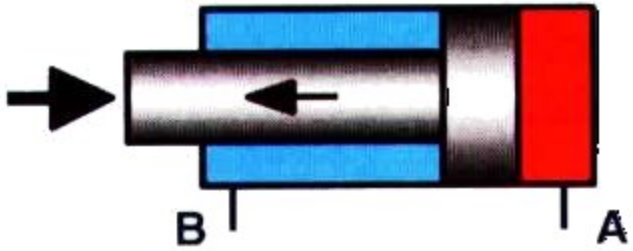
ساختار و عملکرد

سیلندر و پیستون‌ها

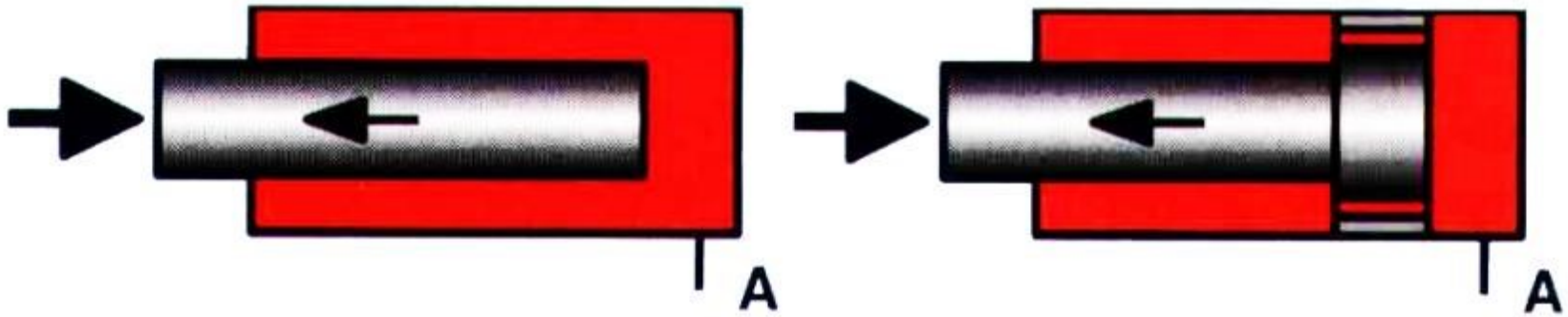
- انواع سیلندر و پیستون‌ها
  - تک جهته: فقط در یک سمت عمل می‌کنند
    - کوبه، پیستون، تلسکوپی، حرکت سریع



  - دوجهته: در هر دو جهت عمل می‌کنند
    - پیستون، میله دوطرفه، دو پشته، تلسکوپی، حرکت سریع



کوبه (Plunger)

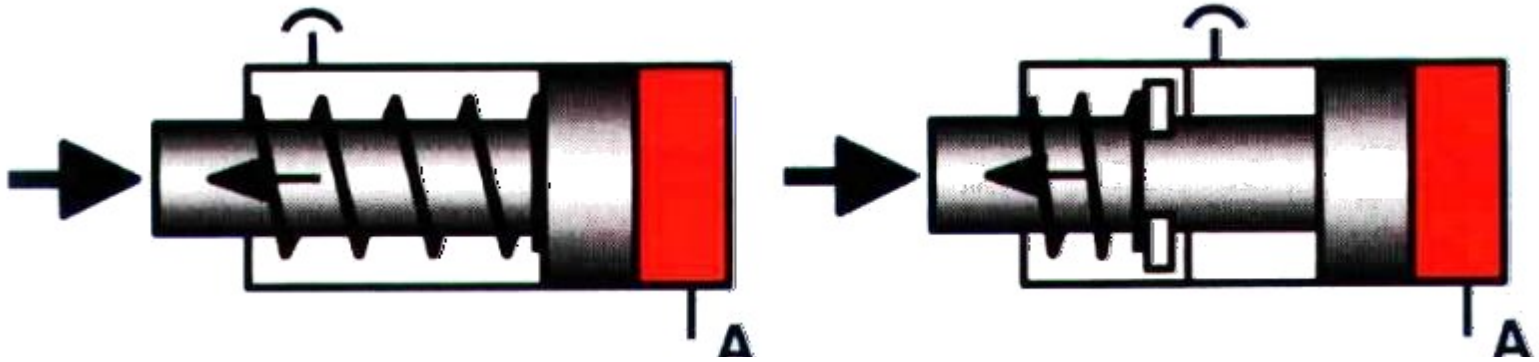






پیستون تک جهته

- فشاری



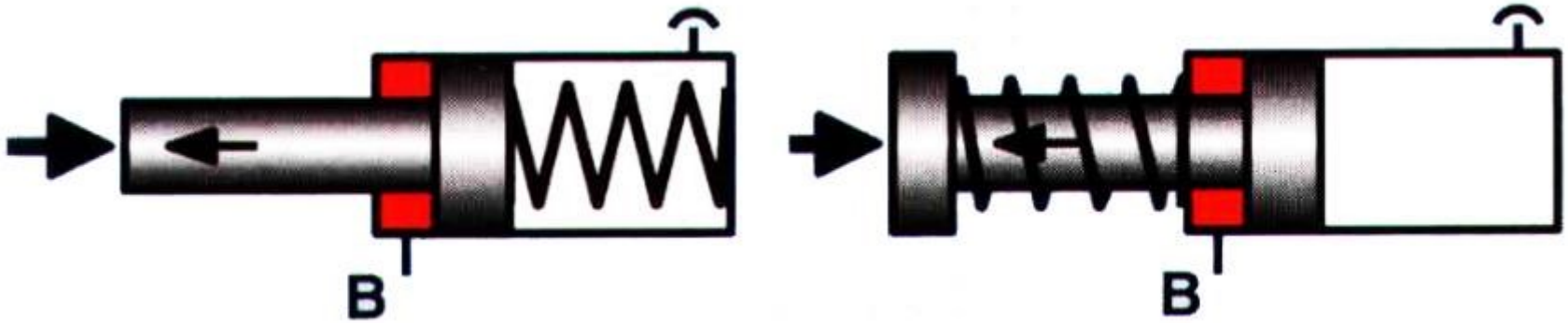


پیستون تک جهته

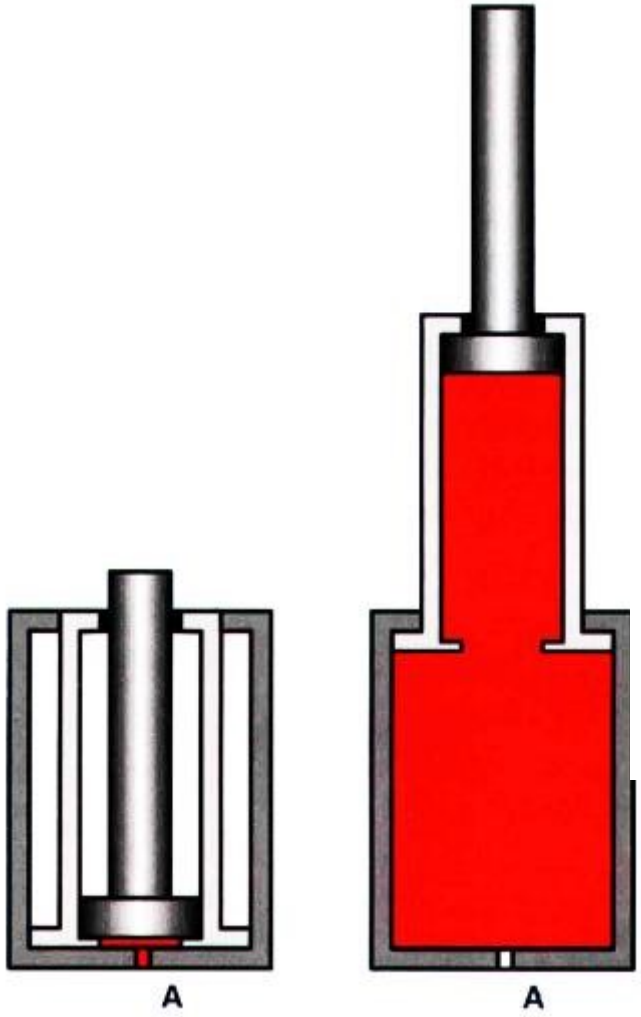
- کششی







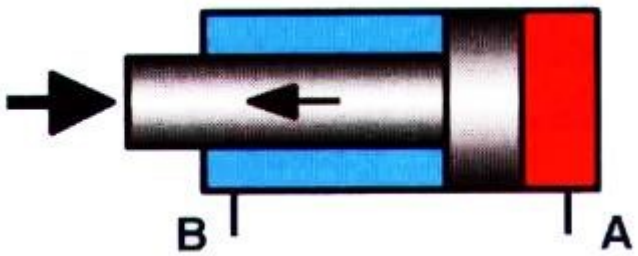
تلسکوپی





پیستون دو جهته

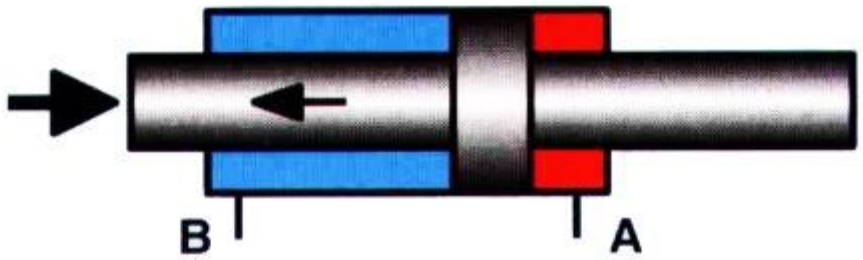






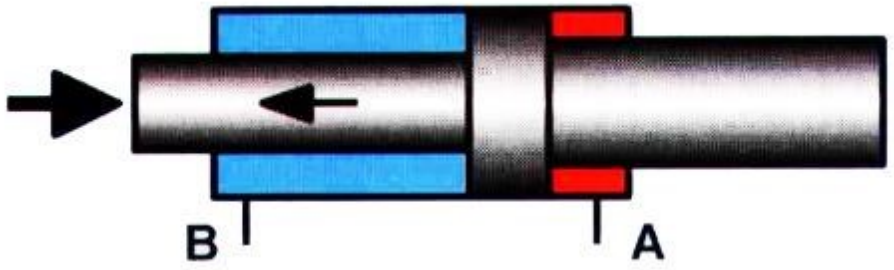
پیستون دو جهته دو سر

- سرعت در دوجهت یکسان:





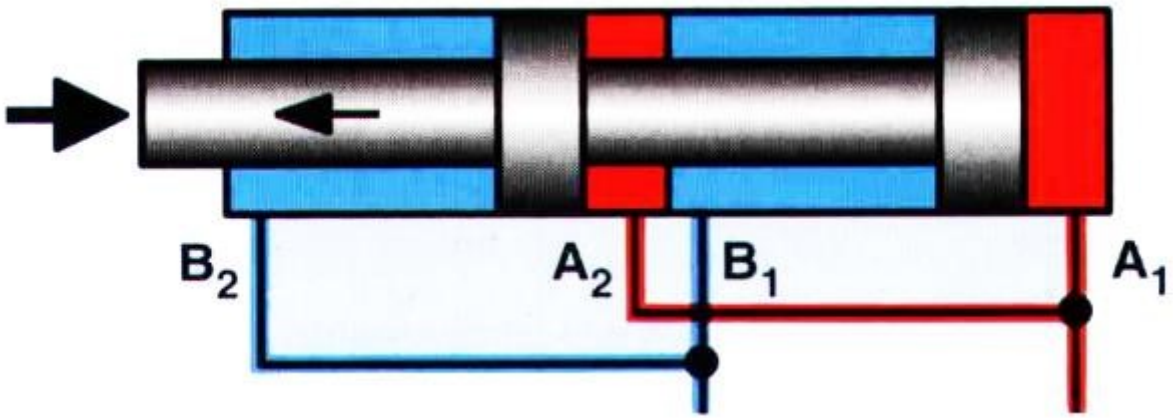
- سرعت در دوجهت متفاوت



پیستون دو پشته

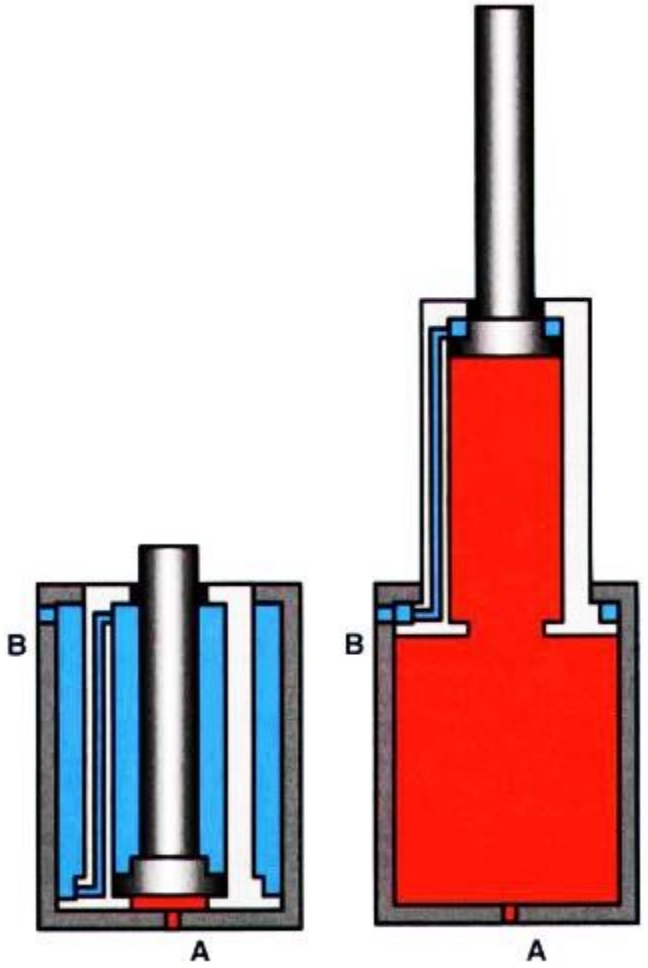
- Tandem





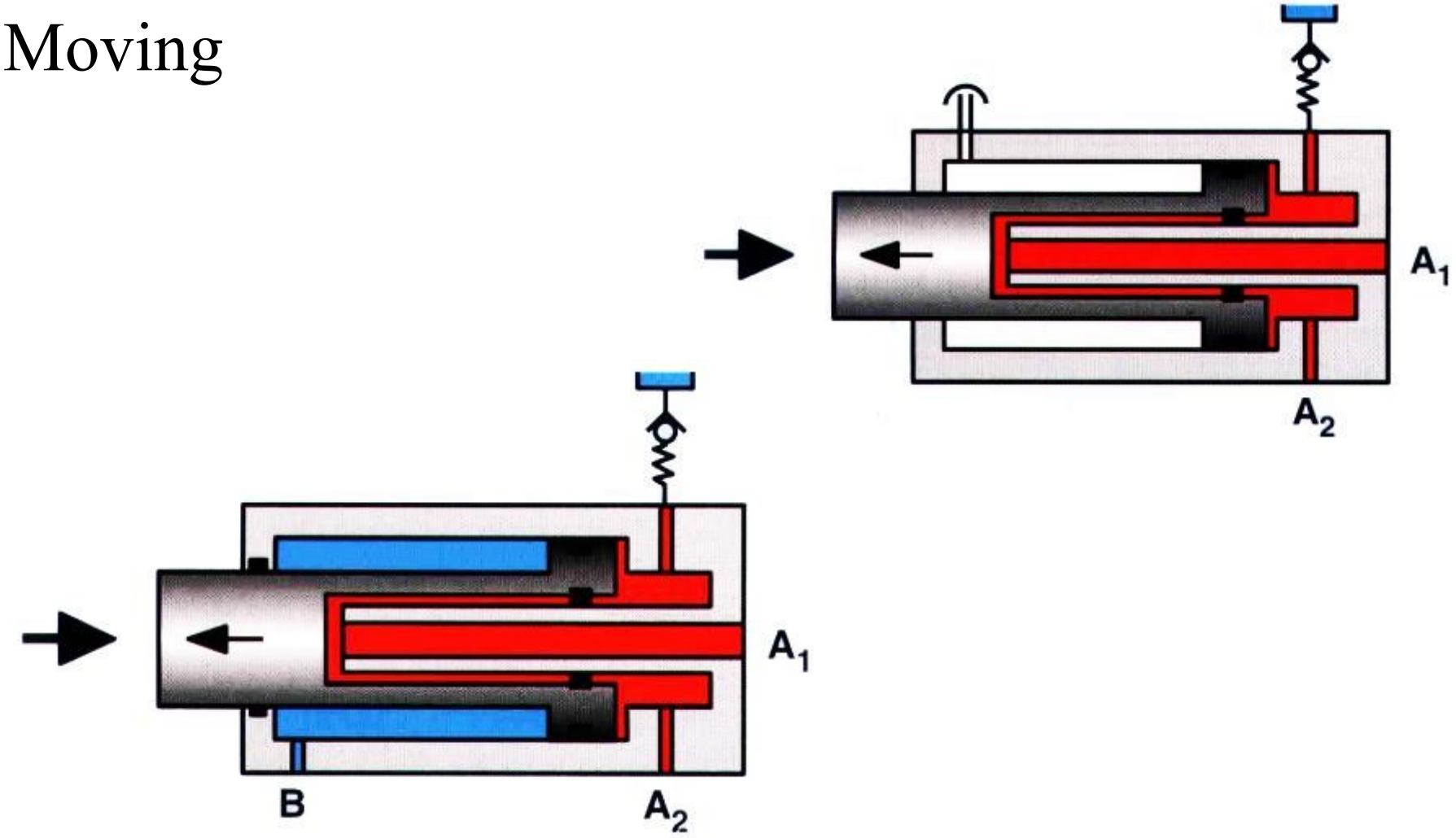
تلسکوپی دو جهته



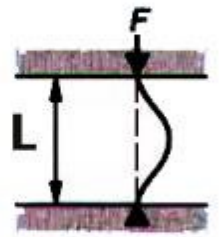
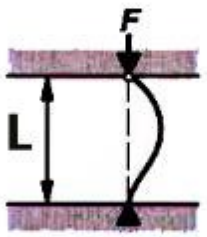
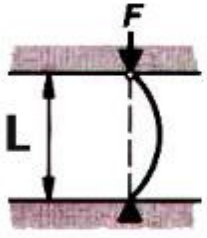
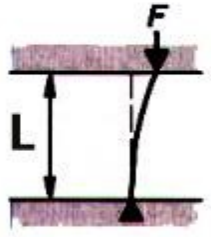
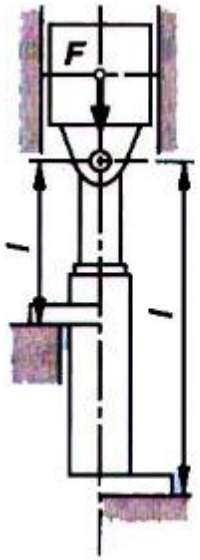
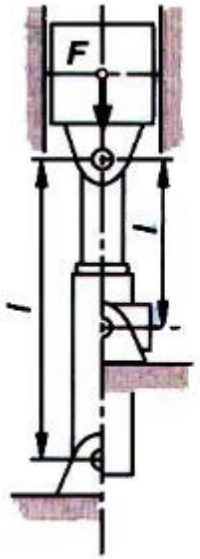
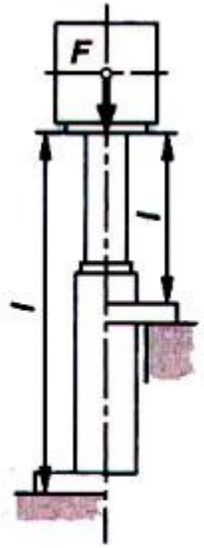


حرکت سریع

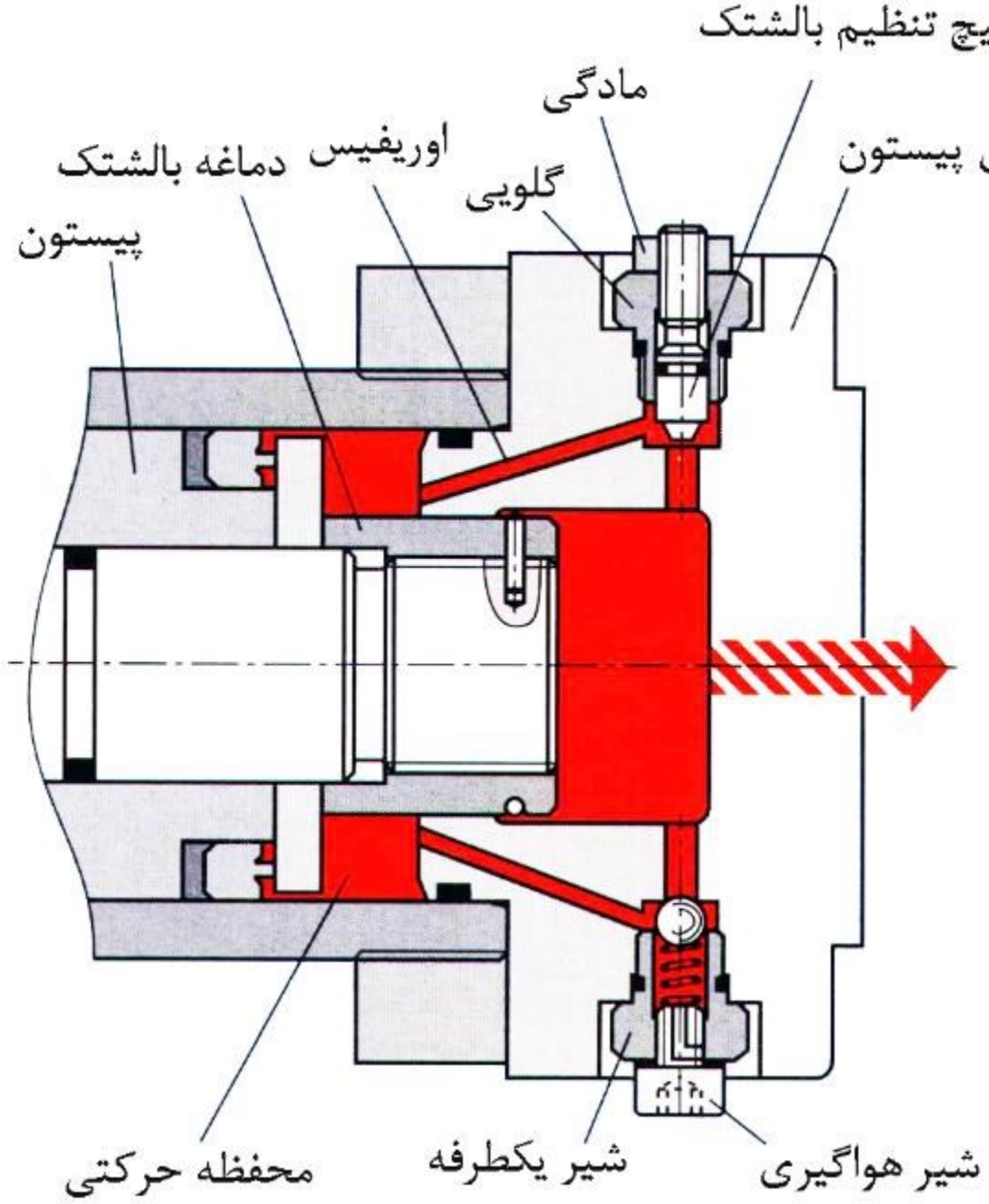
- Fast Moving



کمانش در پیستون هیدرولیک

دو سر ثابت دو سر مقید	یک سر ثابت یک سر مفصل و مقید	دو سر مفصل دو سر مقید	یک سر ثابت یک سر آزاد	
				
$S = L/2$	$S = L^{3/2}/\sqrt{2}$	$S = L$	$S = 2\,L$	طول جابجایی آزاد
				

بالشتک (Cushioning)



- در بخش انتهایی پیستون، برای حرکت آرام محفظه ای در نظر گرفته شده تا از ضربه زدن ناگهانی جلوگیری کند

انواع شیرها و کاربردهای آن

ساختار و عملکرد

انواع شیرها

- شیرها برای انجام انواع عملکردهای کنترلی و نظارتی بکار می‌روند:
  - شیرهای کنترل فشار (pressure control valves)
  - شیرهای کنترل دبی (flow control valves)
  - شیرهای یک طرفه (check valves)
  - شیرهای کنترل جهت (directional control valves)

شیرهای کنترل فشار

- انواع شیرهای کنترل فشار
  - شیرهای اطمینان (pressure relief valves)
  - شیرهای کاهش فشار (pressure reducing valves)
  - شیرهای تفاضل فشار (pressure difference valve)
  - شیرهای نسبت فشار (pressure ratio valve)

شیرهای اطمینان (PRV)

- وظیفه شیر اطمینان، محافظت از پمپ و سیستم هیدرولیک در برابر بار اضافه و تنظیم حد بالای فشار است

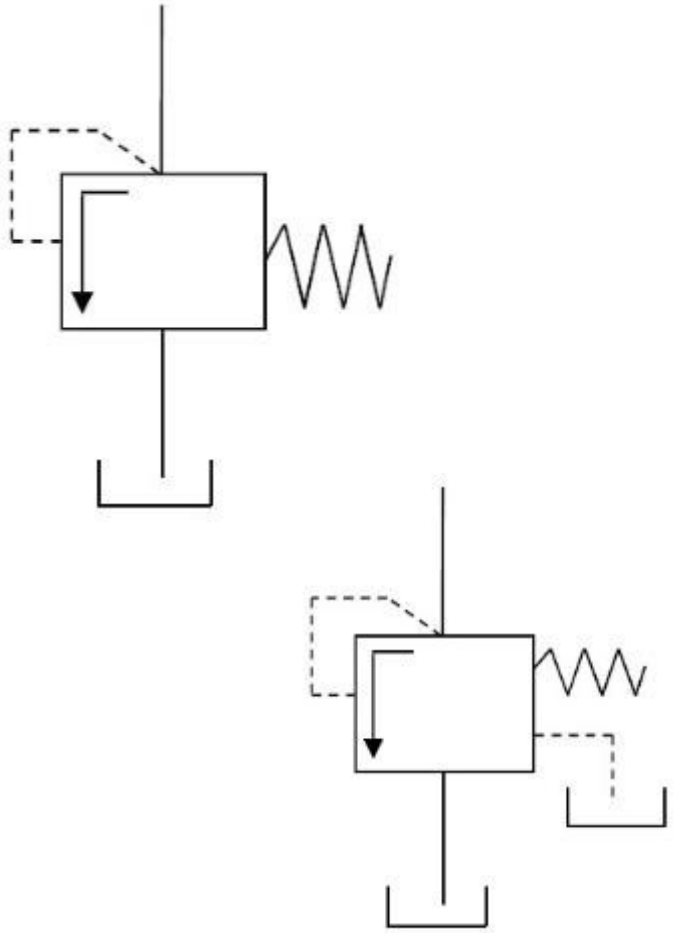
- دلایل افزایش فشار در سیستم هیدرولیک
  - دبی خروجی پمپ بیشتر از دبی عملگر باشد،
  - حجم سیستم بسته کاهش یابد،
  - بار بر روی عملگرها زیاد باشد،
  - دمای سیستم بسته افزایش یابد،
  - مقاومت هیدرولیک سیستم زیاد شود،

شیرهای اطمینان (PRV)

- انواع شیرهای اطمینان (PRV) از نظر عملکرد
  - شیرهای اطمینان با عملکرد مستقیم (direct acting)
  - شیرهای اطمینان با عملکرد پیلوت (pilot operated)
  - شیرهای اطمینان خودکار (self-operated)
  - شیرهای اطمینان با عملکرد خارجی (externally operated)

شیرهای اطمینان (PRV)

- شیرهای اطمینان با عملکرد مستقیم (direct acting PRV)





شیرهای اطمینان (PRV)

⇒نیرو $$p_{sys} \cdot A = F_S = F_{S0} + c \cdot x$$

⇒صفحه اوریفیس $$Q_{rv} = A_c \cdot \bar{v} = k \cdot x \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_f}} = k \cdot x \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{2 p_{sys}}{\rho_f}}$$

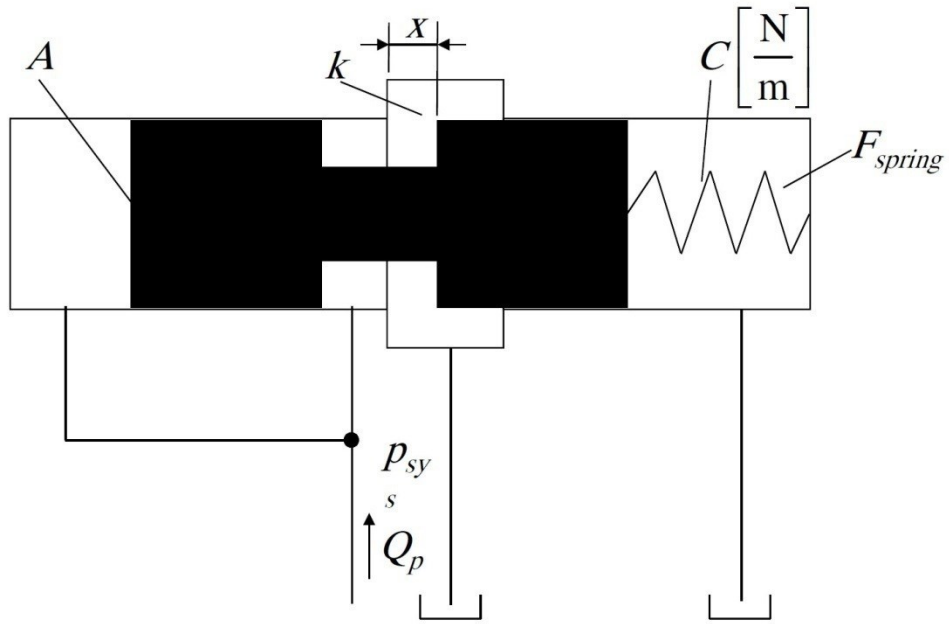
$$\alpha = 0{,}6 \ldots 0{,}7$$

$$Q_{rv} = k \cdot \alpha \cdot x \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_f}} \cdot \sqrt{\frac{F_{S0} + cx}{A}}$$

$$x = \frac{p_{sys} \cdot A - F_{S0}}{c}$$

⇒

$$Q_{rv} = k \cdot \alpha \cdot \frac{p_{sys} \cdot A - F_{S0}}{c} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_f}} \cdot \sqrt{p_{sys}}$$



شیرهای اطمینان (PRV)

- که یک رابطه غیر خطی است.
- با فرض اینکه P* فشاری باشد که در آن شیر باز شود،

$$p_{sys}^{*} \cdot A = F_{S0}$$

$$Q_{rv} = k \cdot \alpha \cdot \frac{\left(p_{sys} - p_{sys}^{*}\right) \cdot A}{c} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_f}} \cdot \sqrt{p_{sys}} = \underbrace{\frac{k \cdot \alpha \cdot A}{c} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_f}}}_{=const} \cdot \left(p_{sys} - p_{sys}^{*}\right) \sqrt{p_{sys}}$$

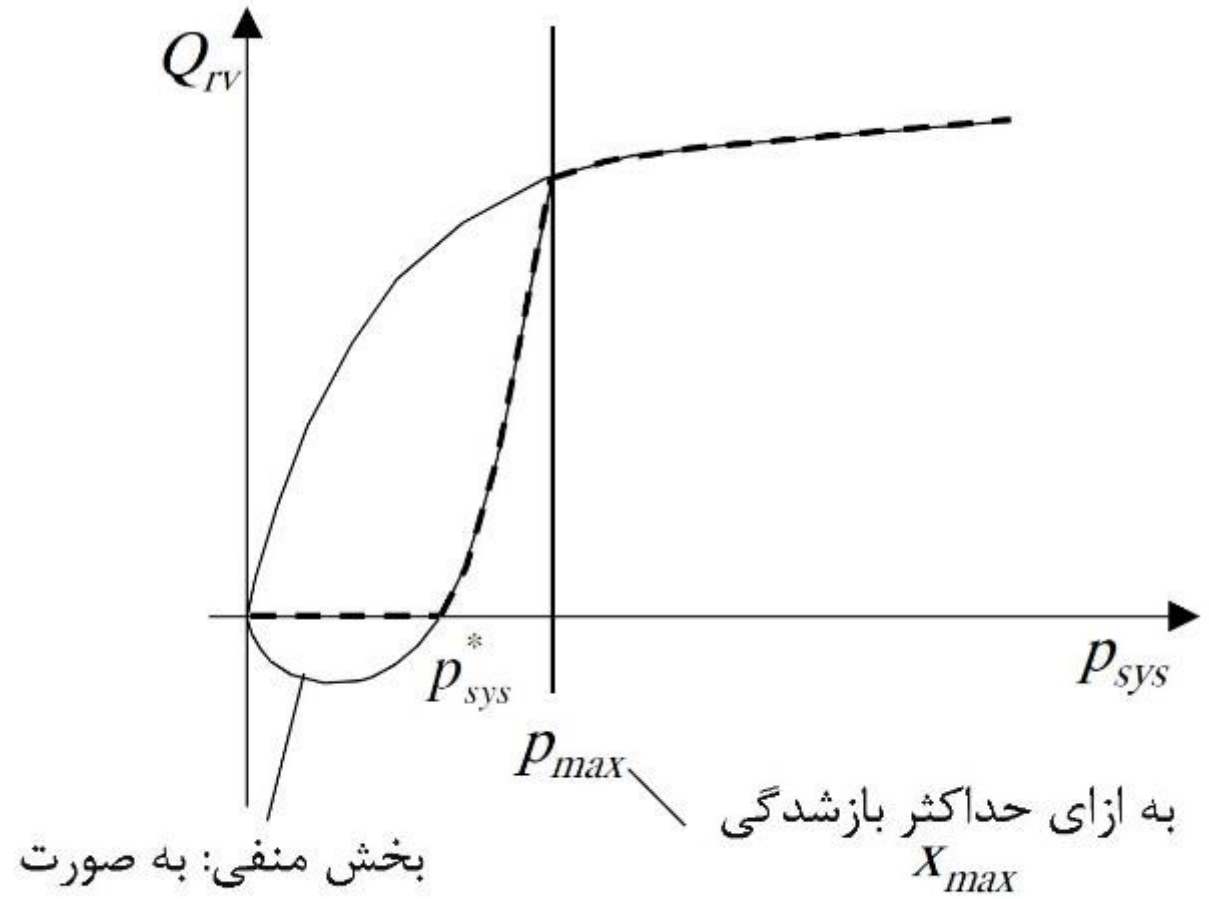
$$0 \le x \le x_{\max}$$

If p > p_{max} :

$$Q_{rv} = const \cdot \left(p_{\max} - p_{sys}^{*}\right) \cdot \sqrt{p_{sys}} = const \cdot \sqrt{p_{sys}}$$

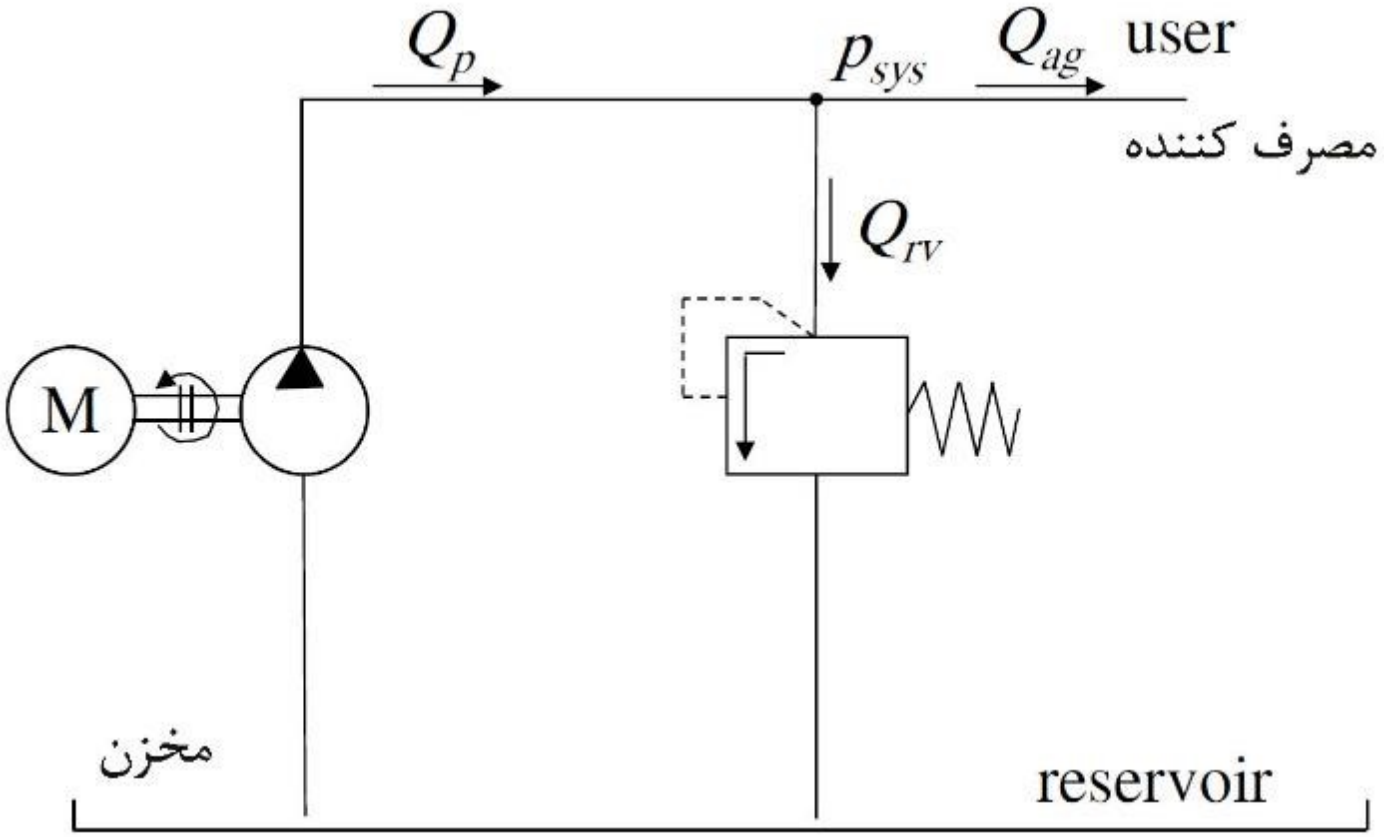
شیرهای اطمینان (PRV)

- نحوه عملکرد PRV



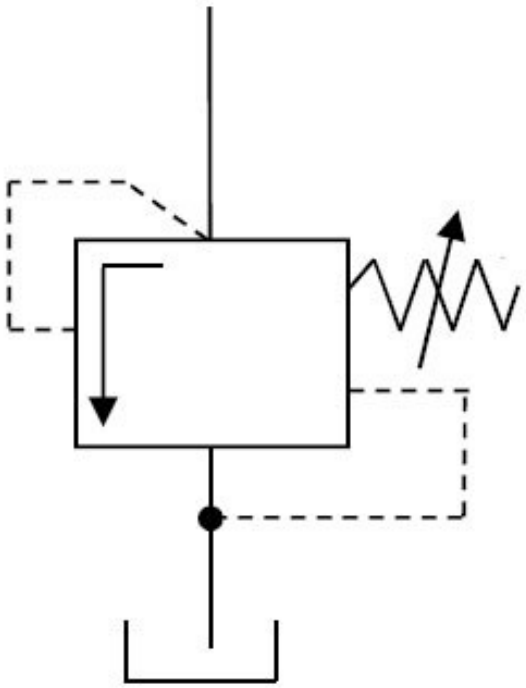
شیرهای اطمینان (PRV)

- نحوه قرارگیری شیر اطمینان در مدار هیدرولیک



شیرهای اطمینان (PRV)

- شیرهای اطمینان با عملکرد پیلوت
(pilot operated PRV)





شیرهای اطمینان (PRV)

- شیرهای اطمینان پیلوت زمانی استفاده می‌شوند که حجم جریان زیادی نیاز به کنترل داشته باشد.

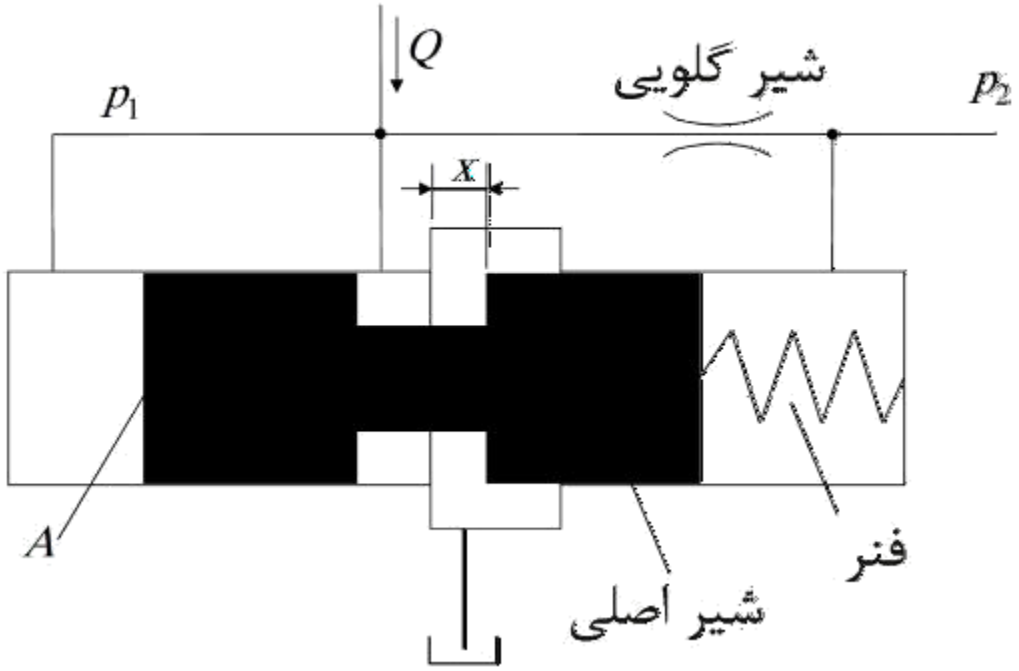
- در دبی‌های بالا، در صورت استفاده از شیرهای اطمینان با عملکرد مستقیم، مقدار تلفات بسیار زیاد می‌شود

- در دبی‌های بالا دینامیک شیر بسیار بد می‌شود

شیرهای اطمینان (PRV)

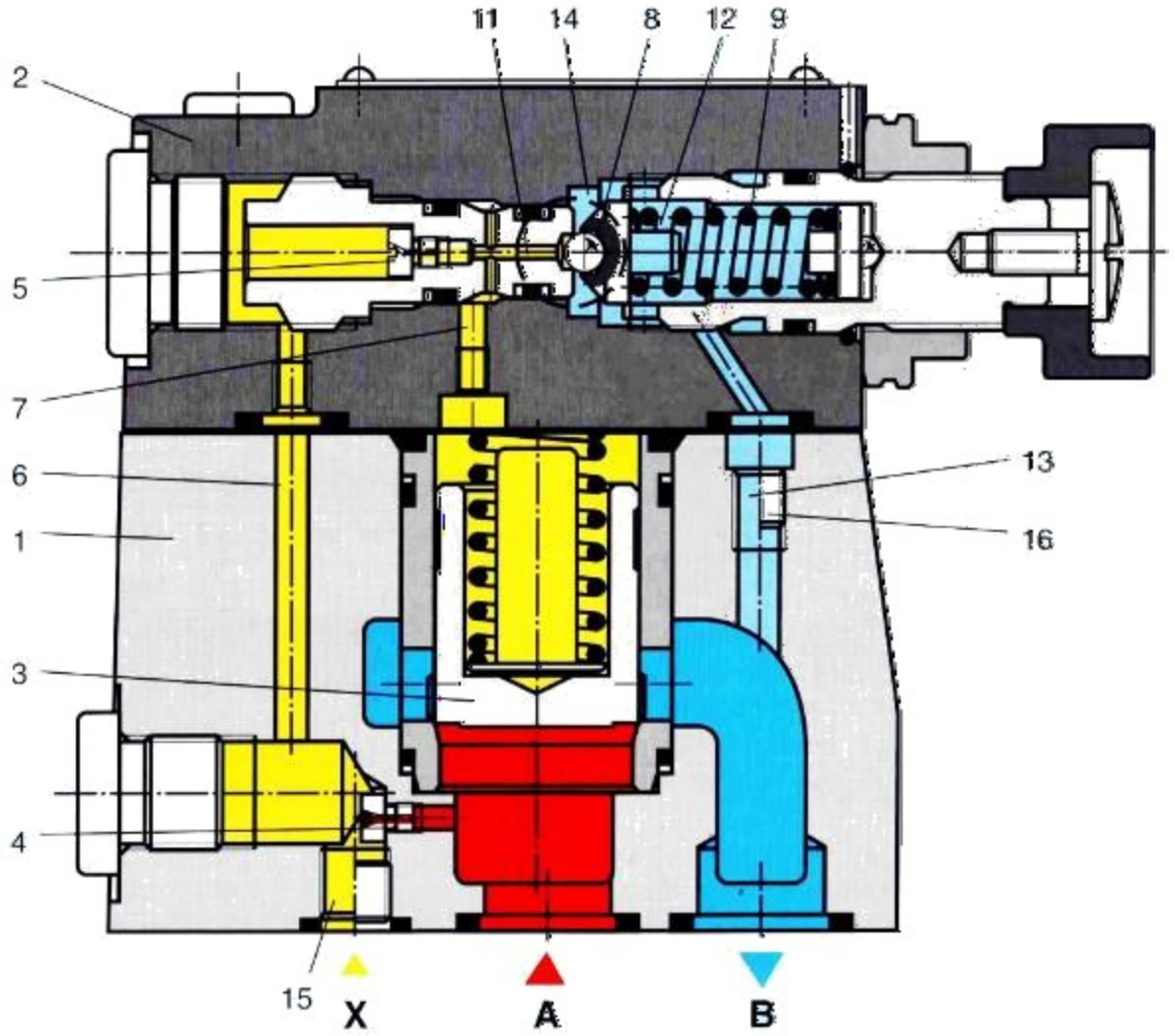
- ضریب شیر
- مقادیر زیاد c برای شیر اصلی
- مقادیر زیاد c برای شیر پیلوت

$$C = \frac{k \cdot \alpha \cdot A}{c} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_f}}$$



- p_1 فشاری که باید کنترل شود

شیرهای اطمینان (PRV)



- شیرهای اطمینان با عملکرد پیلو

۱- شیر اصلی

۲- شیر پیلوت

۳- میله اصلی

۴-۵-۱۱-گلویی

۶-۷-۱۳- خطوط عملگر

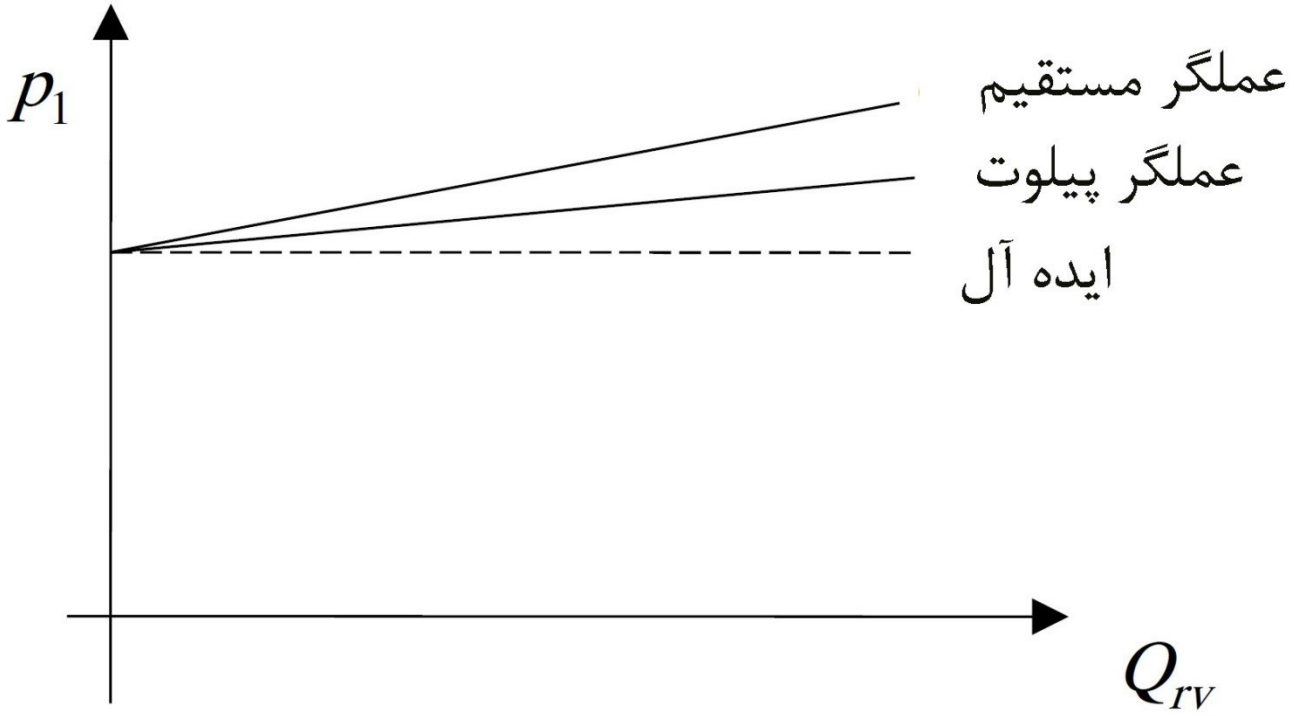
۸- بدنه شیر

۹- فنر

۱۵- تخلیه

شیرهای اطمینان (PRV)

- مقایسه عملکرد



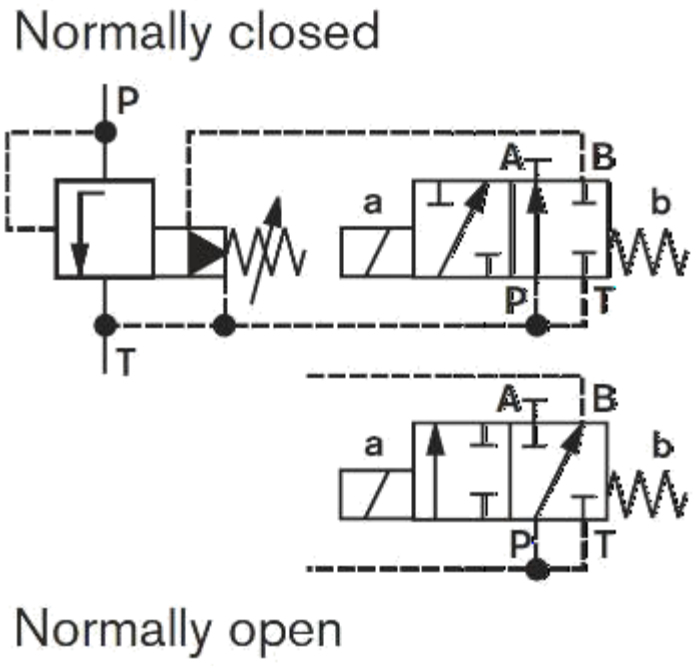
شیرهای اطمینان (PRV)



- شیرهای اطمینان با عملکرد خارجی

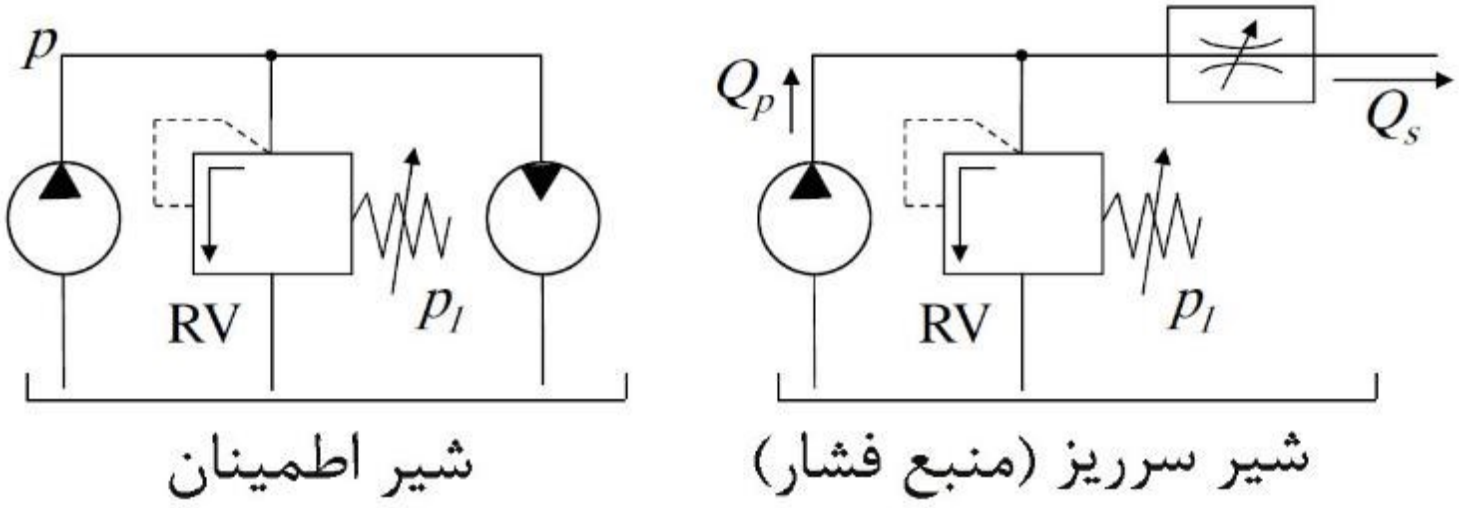
externally operated

– معمولا از نوع PRV پیلوت به همراه یک شیر برقی



شیرهای اطمینان (PRV)

- کاربردهای PRV
  - شیر اطمینان (معمول)
  - شیر سر ریز (فقط برای توانهای پایین)
  - شیر ترتیبی (Sequence valve) (خاموش کننده- روشن کننده)

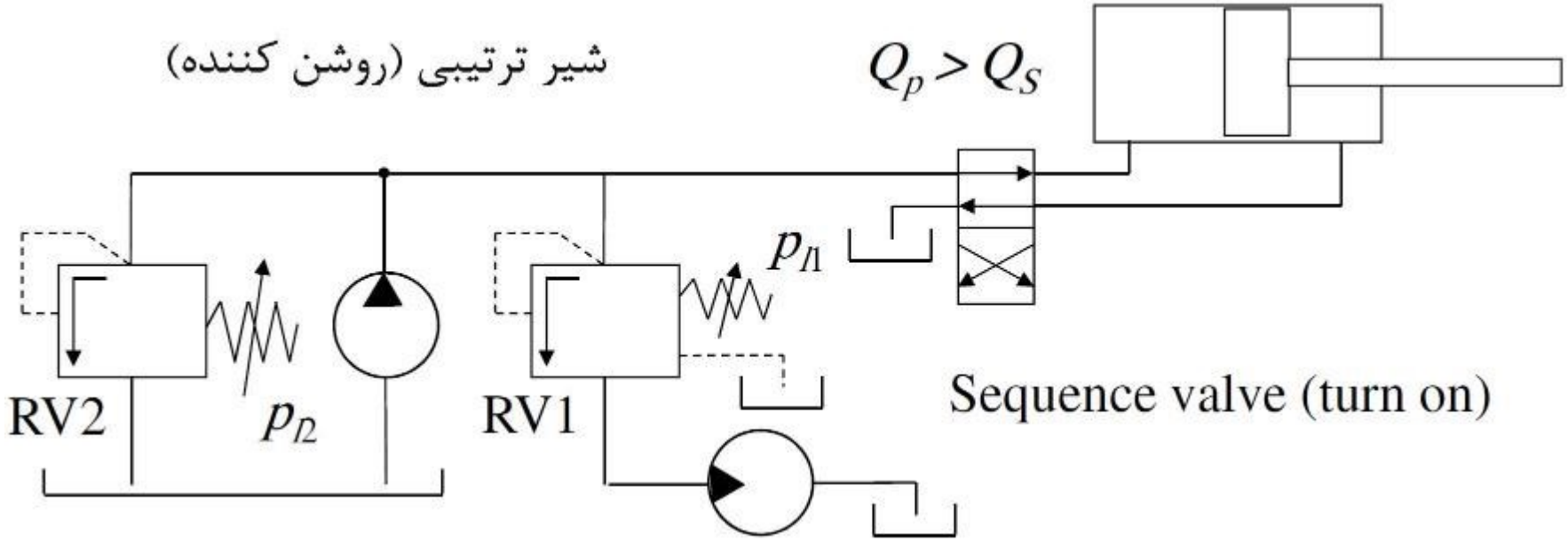


شیر اطمینان

شیر سرریز (منبع فشار)

شیرهای اطمینان (PRV)

- شیر ترتیبی (روشن کننده)
  - برای تغدیه دو مصرف‌کننده از یک پمپ مشترک استفاده می‌شود
  - با تمام شدن دوره یکی از کاربرها، فشار خط افزایش یافته و به کاربرها دیگر سوییچ می‌کند.

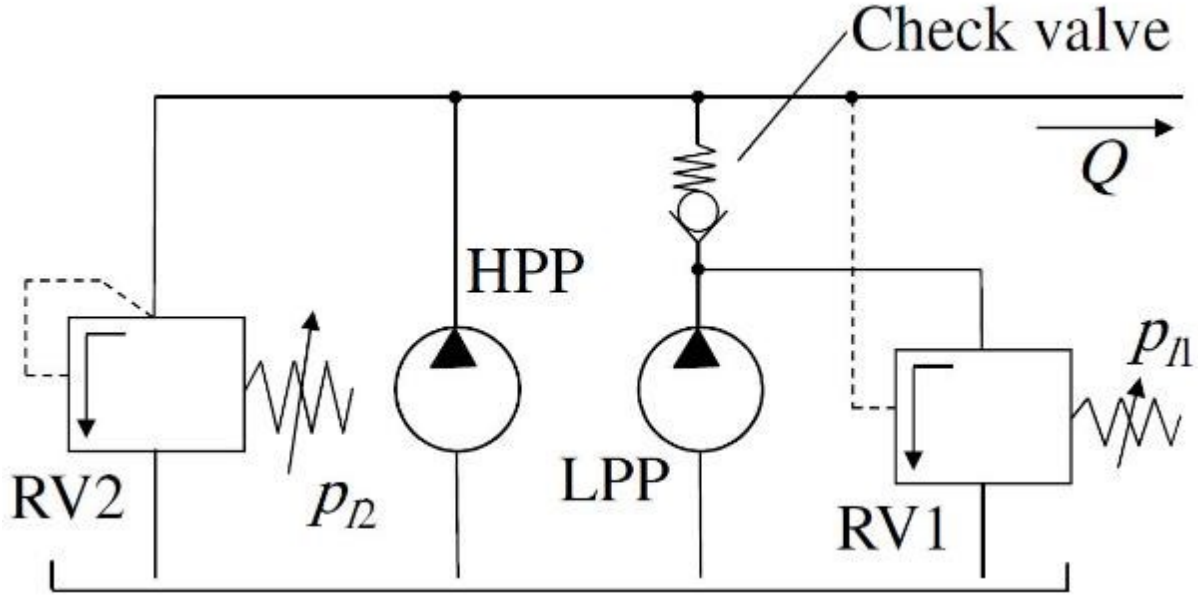


شیرهای اطمینان (PRV)

- شیر ترتیبی (خاموش کننده)

– در صورت استفاده از دو پمپ (یکی فشار بالا و دیگری فشار پایین) به صورت موازی بکار گرفته می‌شود.

– فقط در صورت کافی نبودن فشار، پمپ فشار بالا کار خواهد کرد.

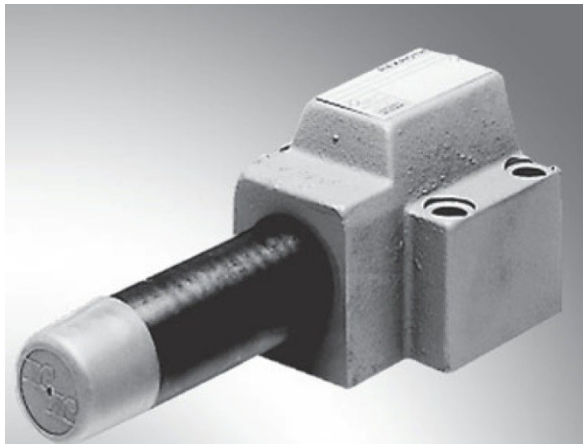


* در صورت نیاز به فشاری کمتر از حد RV1، شیرها بسته شده و پمپ به سیستم باز می‌گردد

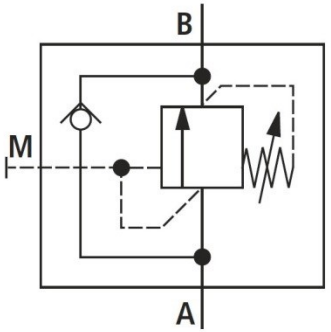
* RV1 از نوع عملگر خارجی است

شیر ترتیبی





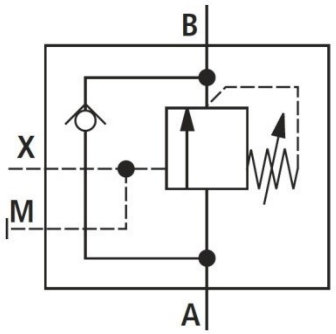
"No code" version



Pilot oil supply internal,

leakage oil discharge internal

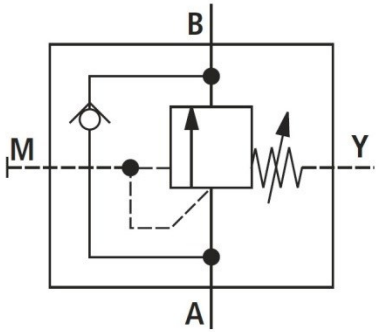
"X" version



Pilot oil supply external,

leakage oil discharge internal

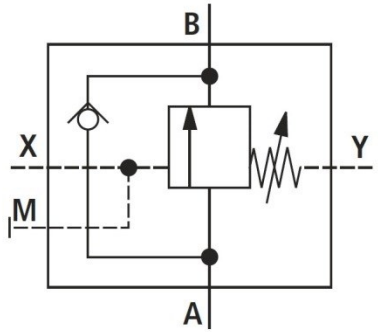
"Y" version



Pilot oil supply internal,

leakage oil discharge external

"XY" version



Pilot oil supply external,

leakage oil discharge external

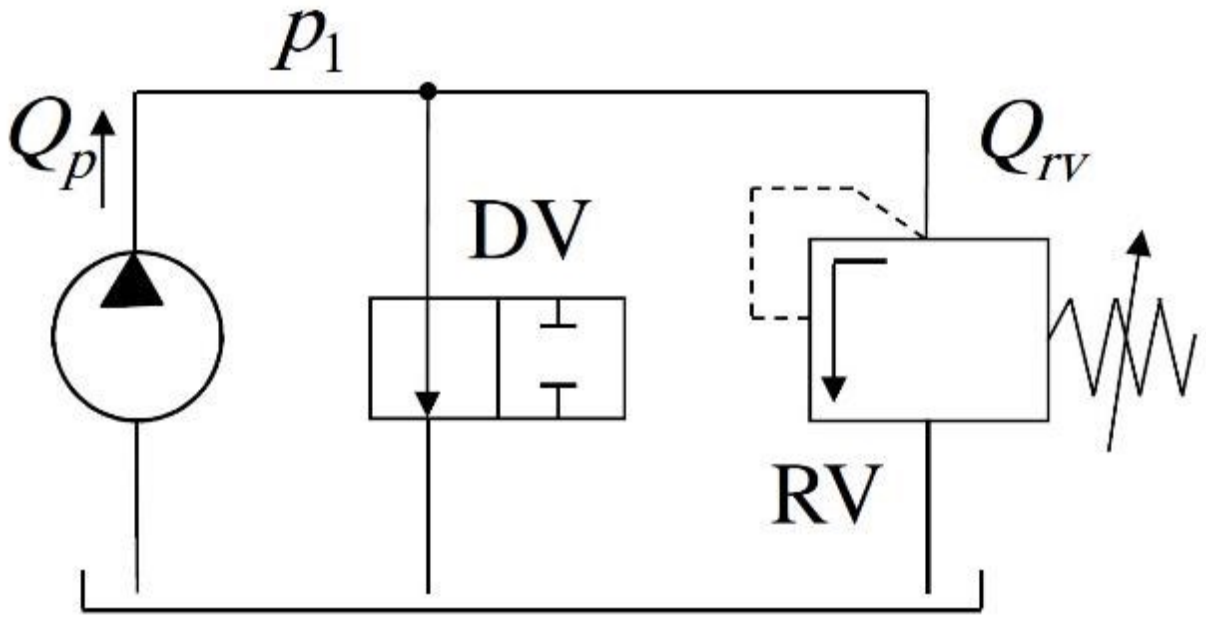
دینامیک شیرهای PRV

- باز و بسته شدن ناگهانی شیر سبب ایجاد نوسان در شیر می‌شود
- رفتار ماندگار سیستم فقط وابسته به شیر می‌باشد.
- رفتار دینامیکی وابسته به تمامی سیستم است.
- رفتار دینامیکی با اعمال یک تغییر فشار ناگهانی بر شیر قابل بررسی است.

دینامیک شیرهای PRV

- دستگاه تست

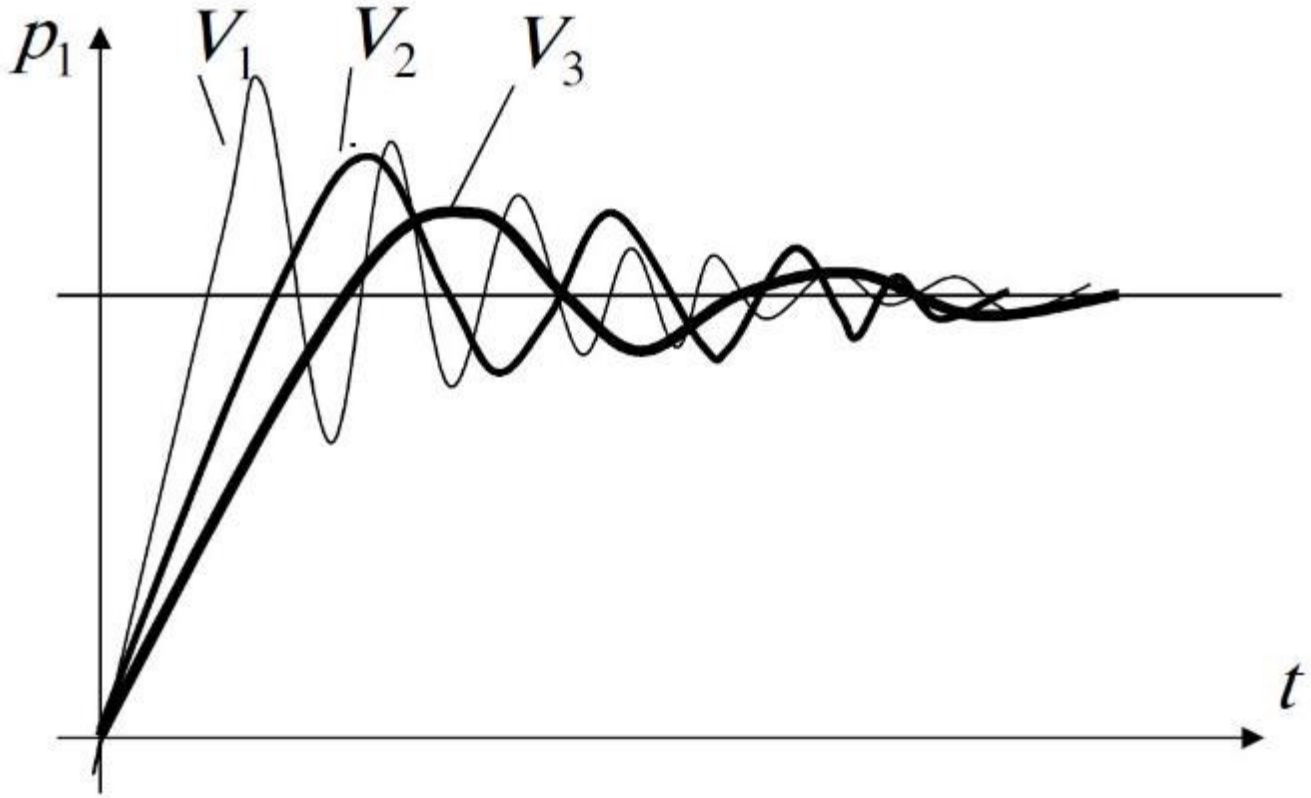
– مسیر بای پس توسط یک شیر کنترل جهت ناگهان بسته شده و این کار سبب افزایش ناگهانی فشار خط می‌شود



دینامیک شیرهای PRV

- V : حجم سیال بین پمپ و شیر

$$V_1 < V_2 < V_3$$



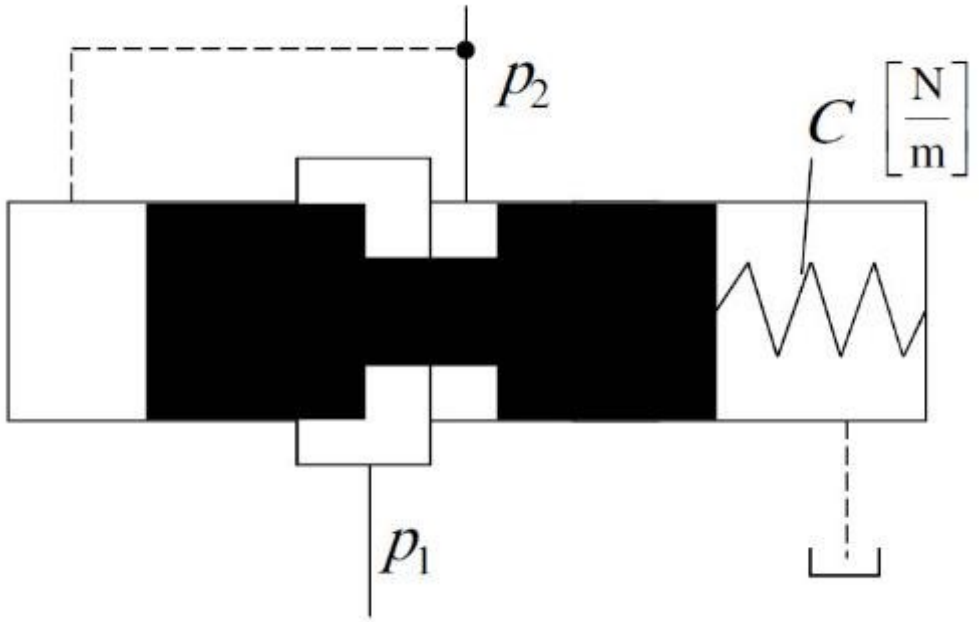
شیرهای فشارشکن

- شیرهای فشارشکن (Pressure reducing valves) برای تامین یک فشار ثابت ثانویه جدا از مقدار فشار و دبی خط اصلی بکار گرفته می‌شوند
  - مسیرهای جانبی (auxiliary) مانند مدارهای کنترل

- انواع شیرهای فشارشکن
  - مستقیم
  - پیلوت
  - شیر سه راهه

شیرهای فشارشکن

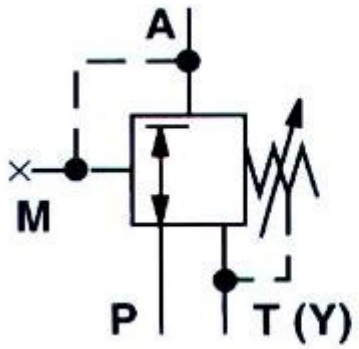
- وضعیت اصلی شیر به صورت کاملا باز است.
- در صورت افزایش فشار p_1 بیش از نیروی فنر، شیر شروع به بسته شدن می‌کند.
- شیر مقدار باز خواهند ماند که نیروی فنر با نیرو فشار p_2 به تعادل برسد.

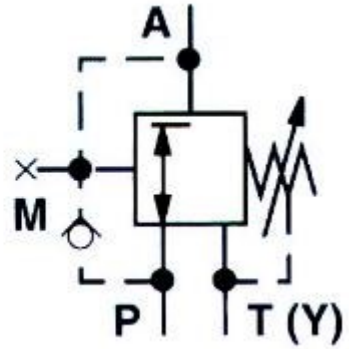


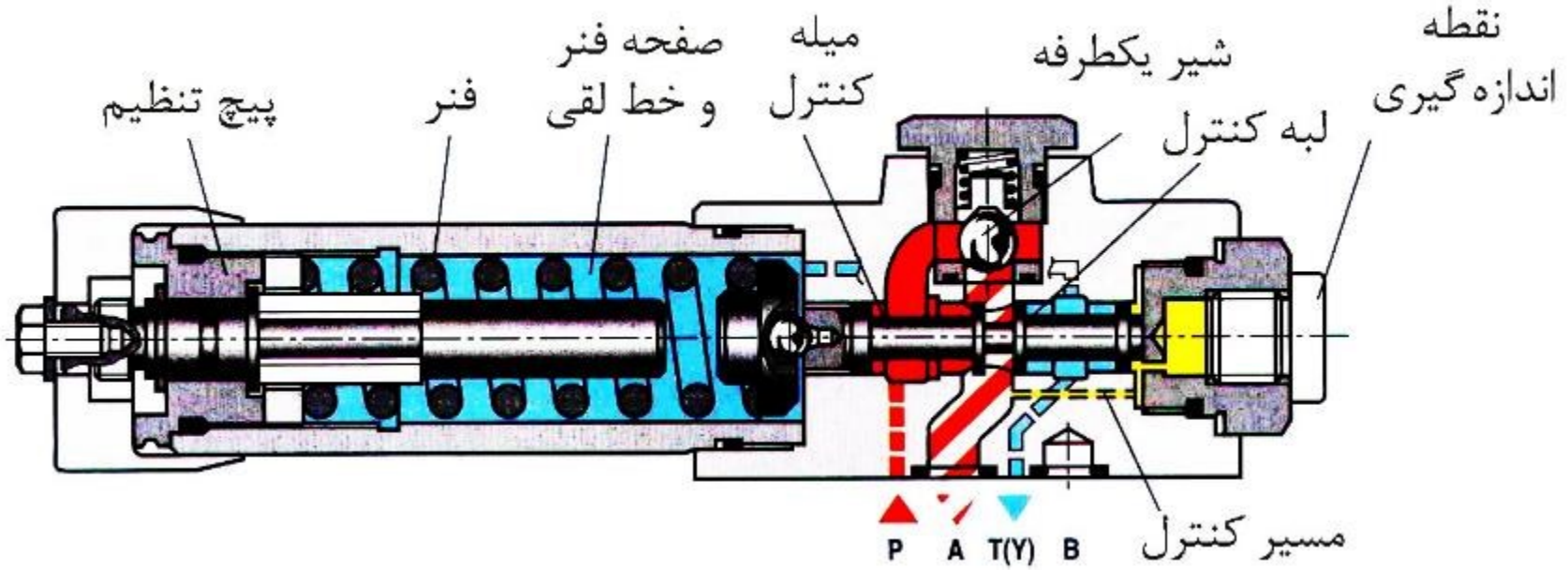
افت توان حاصل برابر با $(p_1\text{-}p_2)Q$ بوده، نباید به صورت طولانی استفاده شوند

شیرهای فشارشکن

- شیرهای فشارشکن عملکرد مستقیم

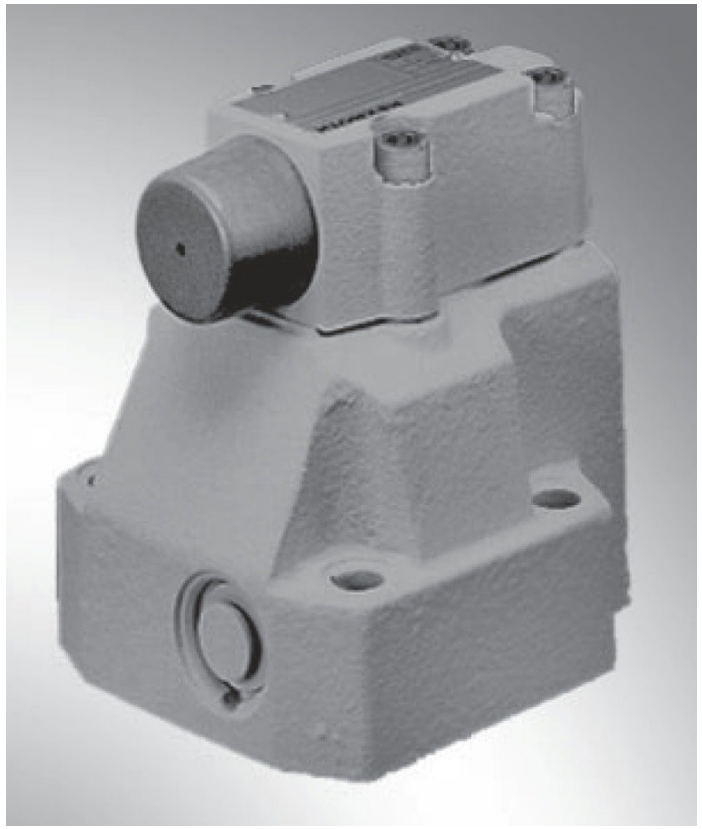


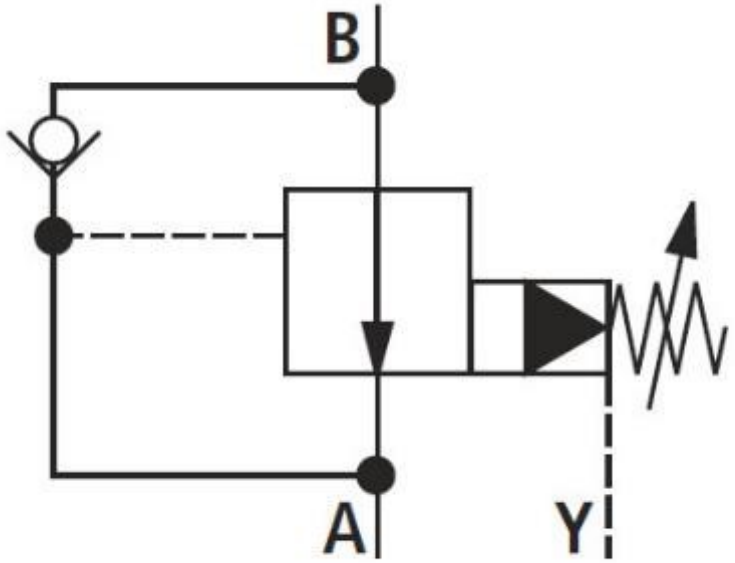




شیرهای فشارشکن

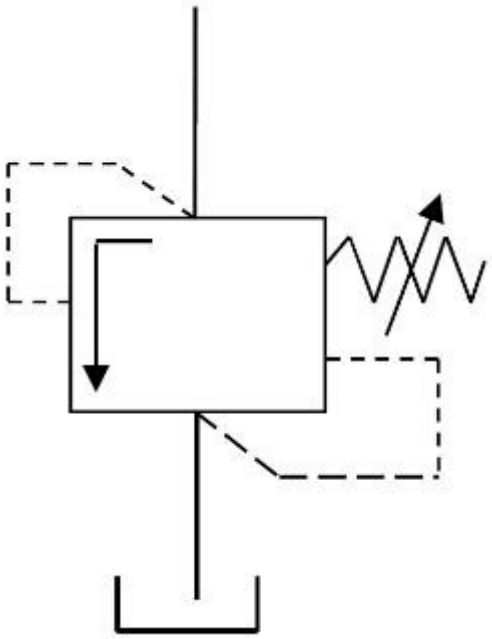
- شیرهای فشارشکن عملکرد پیلوت





شیرهای تفاضل فشار

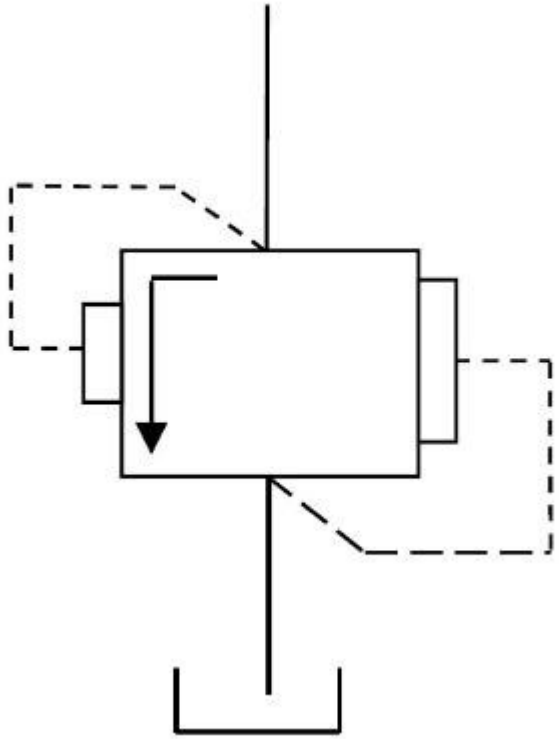
- کاربرد شیرهای تفاضل فشار (Pressure difference valves) برای حفظ اختلاف فشار بین ورودی و خروجی بدون توجه به میزان دبی و فشار است.



- مشابه با شیرهای فشارشکن بوده با این تفاوت که سمت فنر به تخلیه متصل نبوده و به یکی از خطوط فشار متصل است

شیرهای نسبت فشار

- کاربرد شیرهای تفاضل فشار (Pressure ratio valves) برای حفظ نسبت فشار بین ورودی و خروجی بدون توجه به میزان دبی و فشار است



در بلوک آن فنری وجود نداشته، تنها فشار خطوط به دو طرف صفحه پیستون اعمال می‌شوند

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

شیرهای کنترل جریان

- سرعت حرکت جک‌های هیدرولیک می‌تواند تحت تاثیر سرعت جریان قرار گیرد.
- این کار توسط پمپ‌های سرعت متغیر یا شیرهای کنترل جریان انجام می‌شود.

- روش‌های کنترل جریان توسط شیرهای کنترل جریان
  - تغییر سطح مقطع اوریفیس
  - تغییر تفاوت فشار دو طرف یک مقاومت
  - تقسیم جریان

شیرهای کنترل جریان

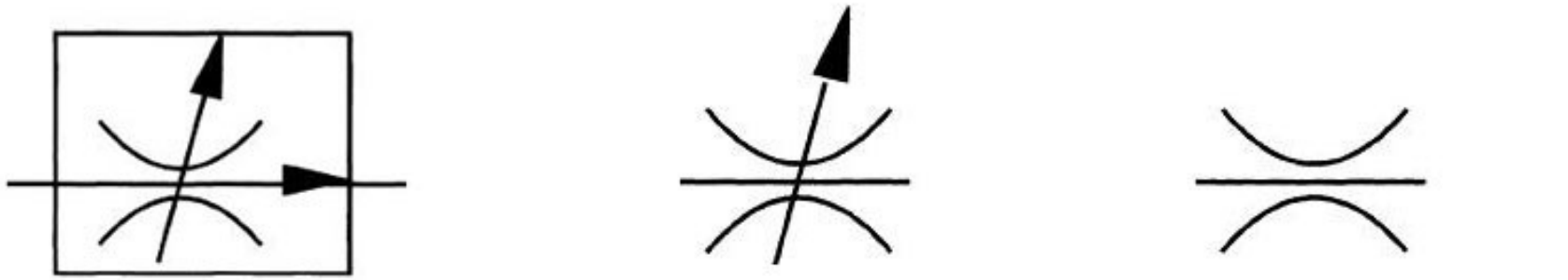
- مزایا
  - سادگی
  - عملکرد مطمئن
  - رفتار دینامیکی خوب
  - صحت
- معایب
  - افت نسبتا شدید توان

شیرهای کنترل جریان

- انواع شیرهای کنترل جریان
  - شیرهای مقاومتی (Restrictor) (گلویی throttle)
  - شیرهای کنترل جریان (Flow control valves)
  - شیرهای تقسیم جریان (Flow dividing valves)

شیرهای مقاومتی

- شیرهای مقاومتی (Restrictor Valves) می‌توانند به صورت مقاومت متغیر یا مقاومت ثابت باشند.



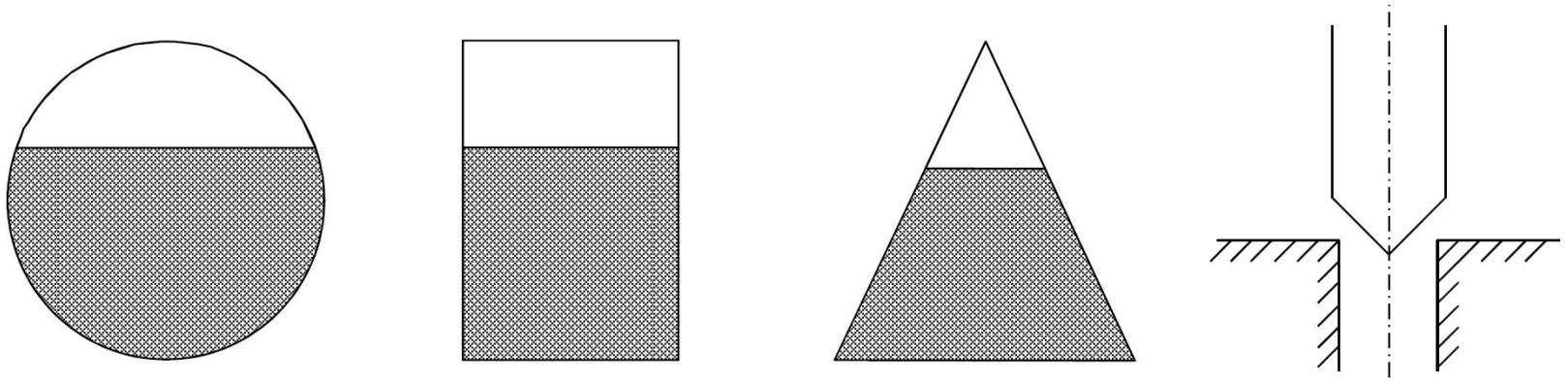
کنترل جریان ثابت

کنترل جریان گلویی

کنترل جریان گلویی
با جبرانساز فشار

شیرهای مقاومتی

- نوع مقاومت متغیر آن بر اساس تغییر سطح مقاومت عمل می‌کند
  - تا حد ممکن در این نوع شیرها، مقاومت باید از مستقل از عدد Re باشد.
  - راه حل آسان برای این منظور استفاده از مقاومت‌های اوریفیسی است

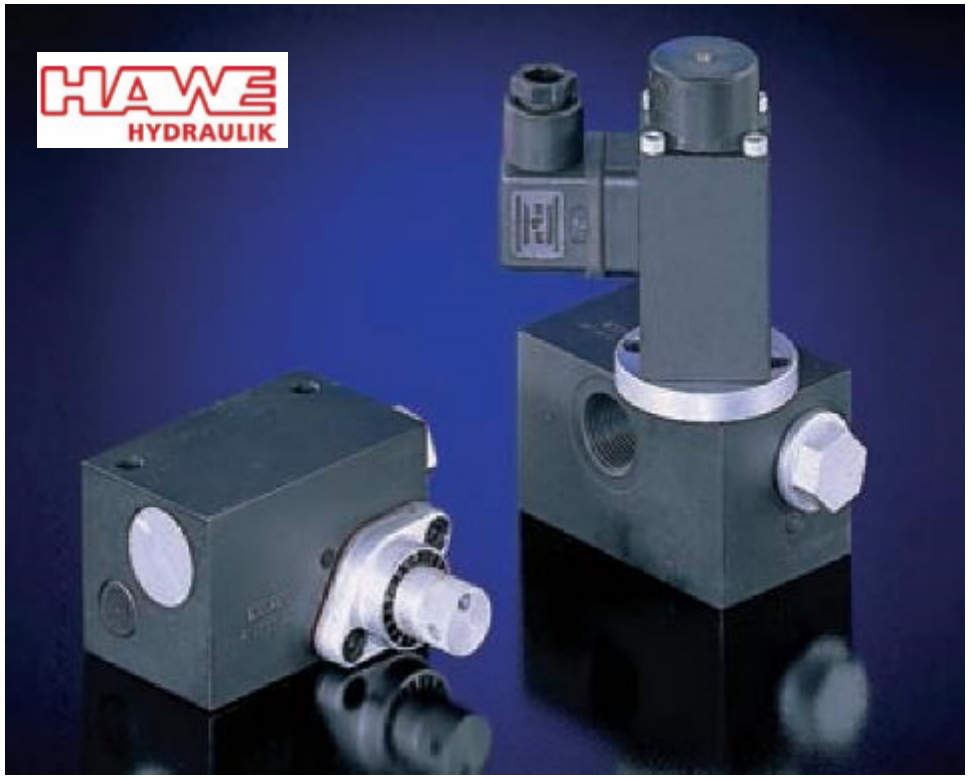


شیرهای مقاومتی

- مشخصه انواع سطح مقطع
  - عدم حساسیت به آلودگی: دایروی
  - افزایش سطح مقطع پیوسته، بخصوص برای سطح مقطع‌های کوچک: مثلثی
  - تغییر آسان سطح مقطع: همگی بجز دایروی

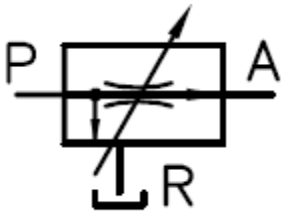
شیرهای مقاومتی

- انواع شیر گلویی





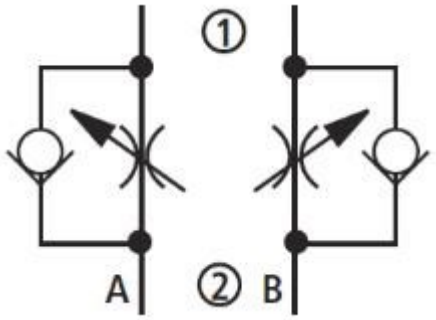
2-way



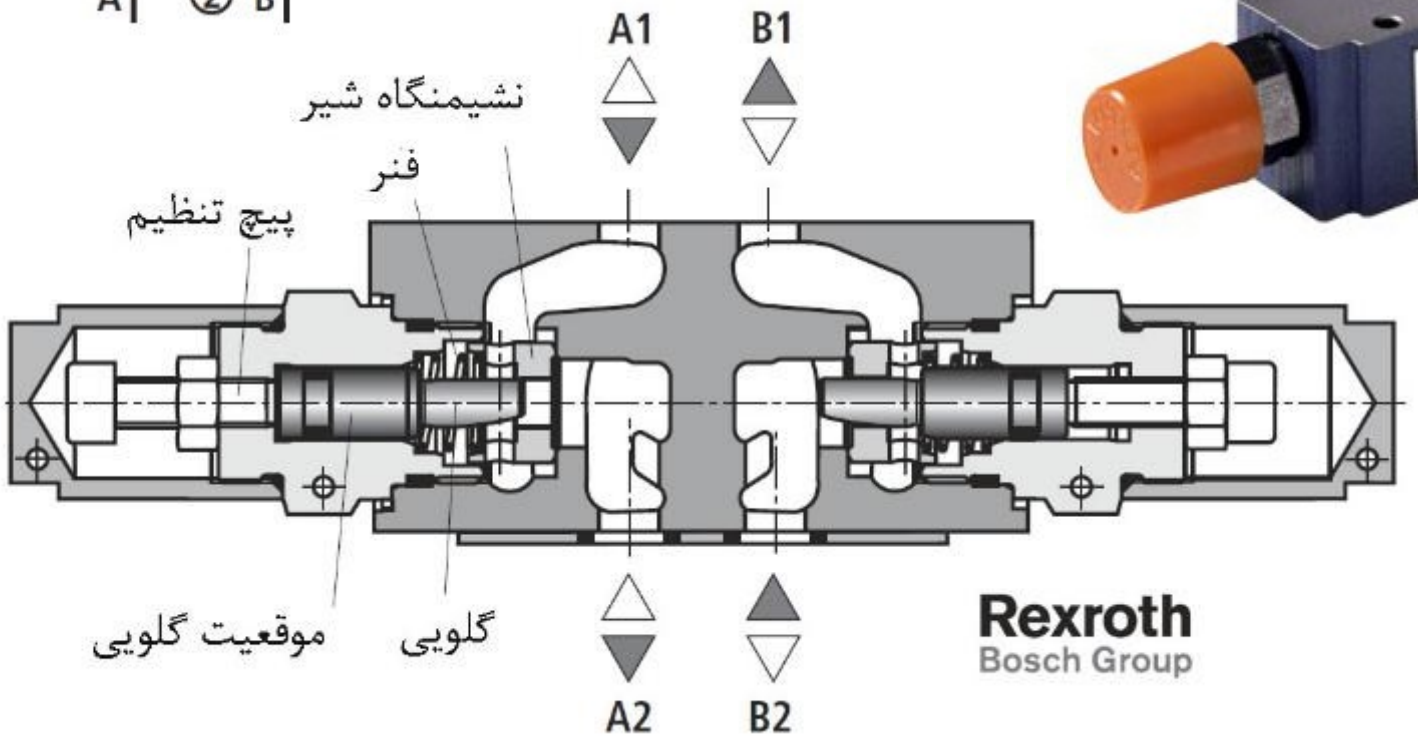
3-way

شیرهای مقاومتی

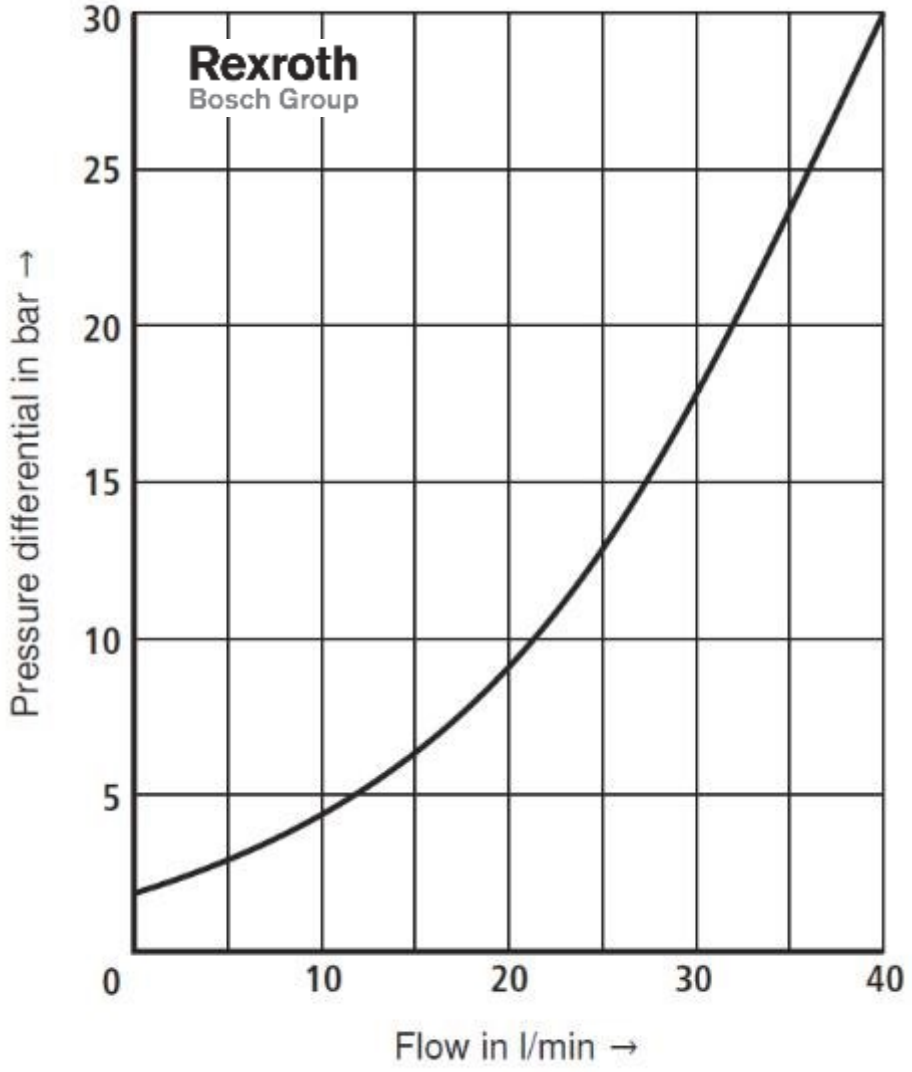
- انواع شیر گلویی دوقلو Twin (با شیر یکطرفه)





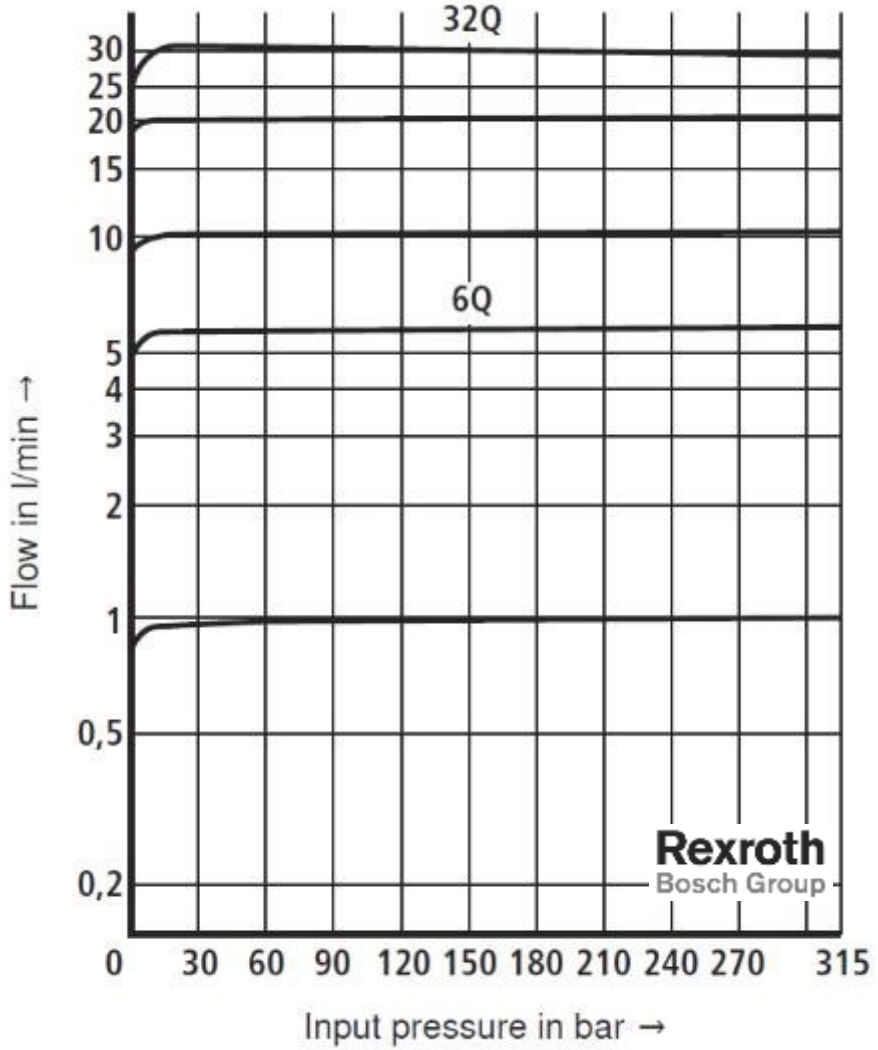


شیرهای مقاومتی



- در صورت بسته بودن مسیر اوریفیس، مقدار تغییر دبی بر حسب فشار به این صورت خواهد بود.

شیرهای مقاومتی



- میزان تغییرات دبی عبوری به ازای تغییر فشار در شیر کنترل جریان مقاومتی به این صورت خواهد بود.

شیرهای مقاومتی

- نحوه قرارگیری شیرهای مقاومتی در مدار هیدرولیک
  - به صورت سری قبل از عملگر
    ** بسیار نامناسب به دلیل ایجاد کاویتاسیون و گرما*
  - به صورت سری بعد از عملگر
  - موازی با عملگر

- شیرهای مقاومتی سبب افت کارایی سیستم می‌شوند. به این دلیل فقط در سیستم‌هایی با توان پایین و برای مدت زمان کوتاه باید استفاده شوند.

شیرهای کنترل جریان

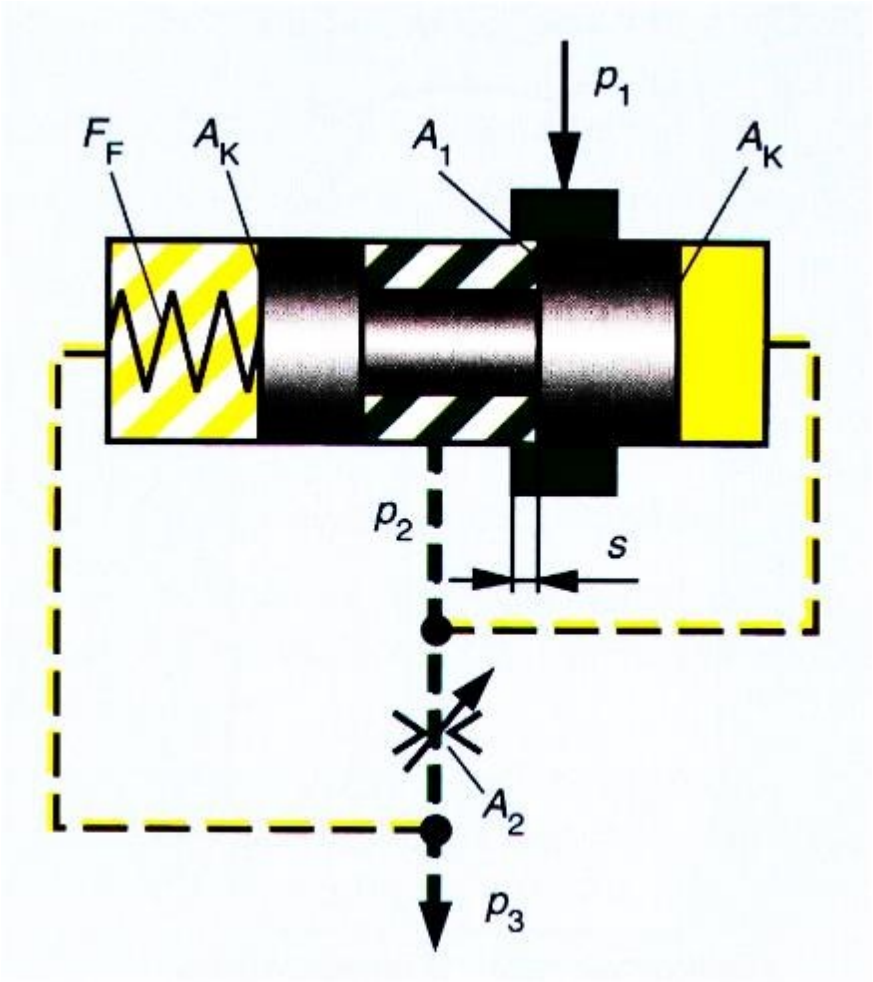
- شیرهای کنترل جریان (Flow control valves) شامل ترکیبی از شیرهای تفاضل فشاری و شیرهای مقاومتی می‌باشند

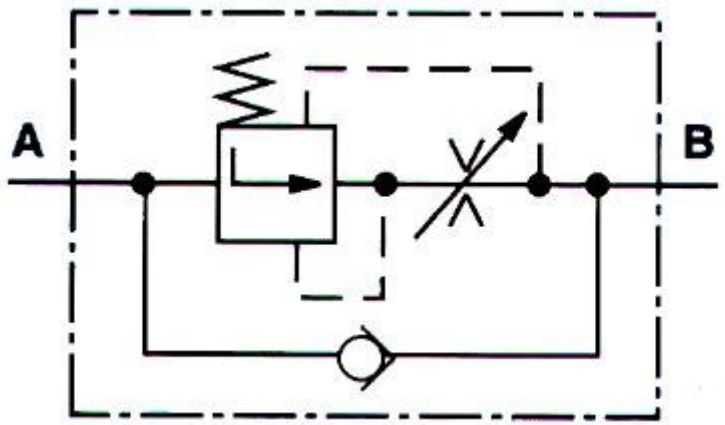
  – شیرهای تفاضل فشار وظیفه ثابت نگه داشتن افت فشار هنگام عبور از شیر گلویی را به عهده دارد به صورتی که جریان فقط وابسته به مقدار سطح موثر شیر یا جابجایی X شیر باشد
  – در این صورت جابجایی عملگر مستقل از بار خواهد شد

- دو نوع سری و موازی آن وجود دارد

شیرهای کنترل جریان

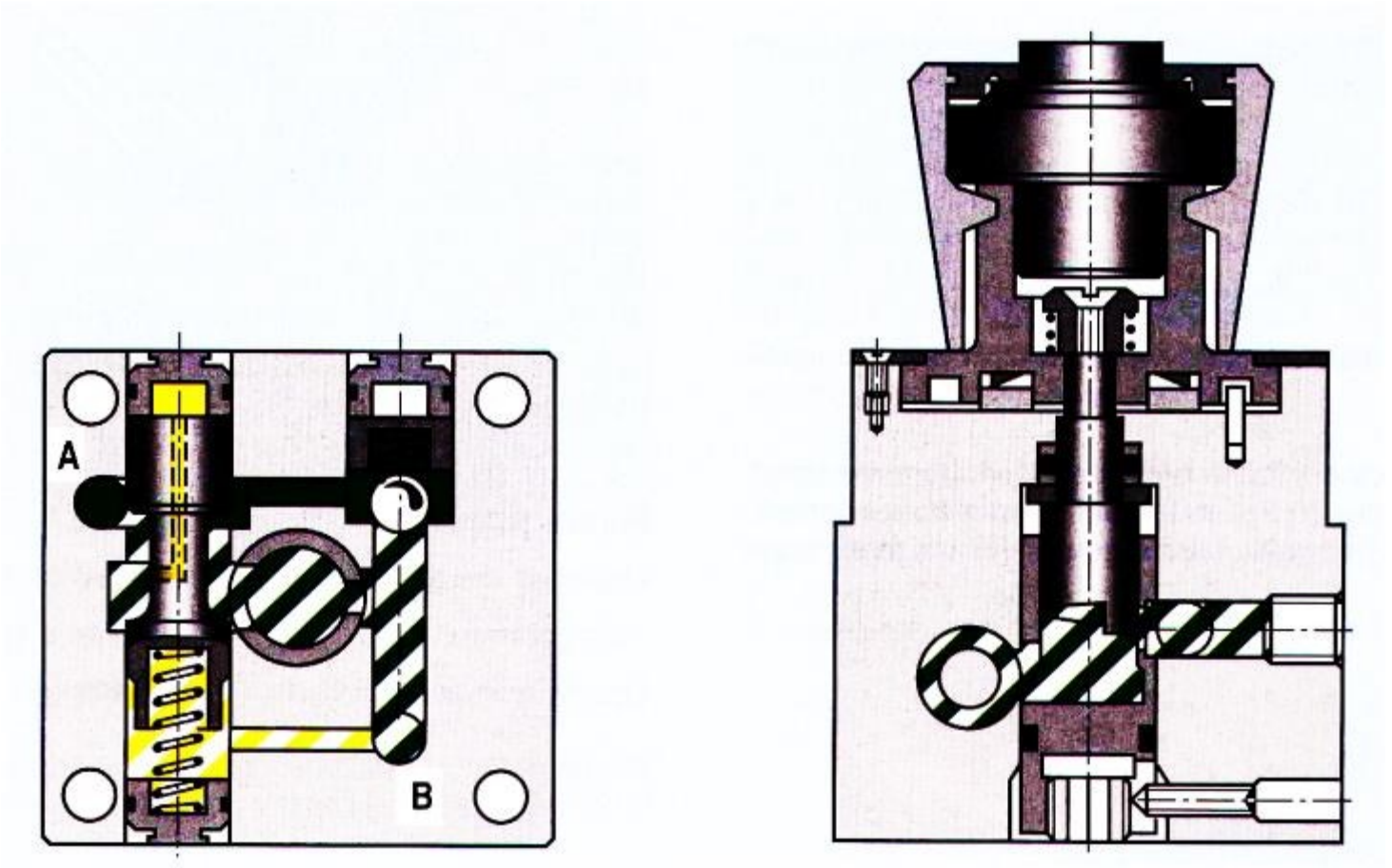
- نوع سری: شیرهای دو راهه





شیرهای کنترل جریان

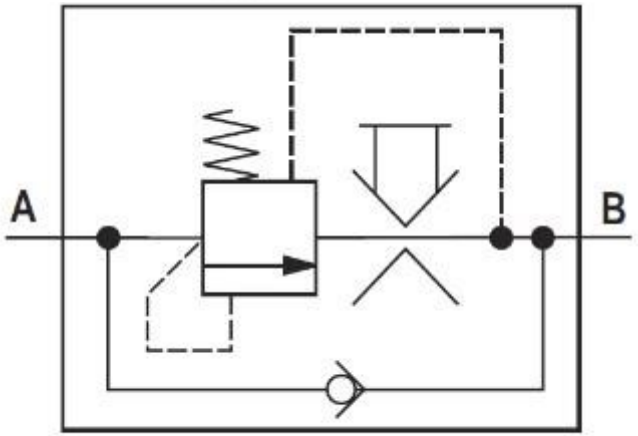
- نوع سری: شیرهای دو راهه



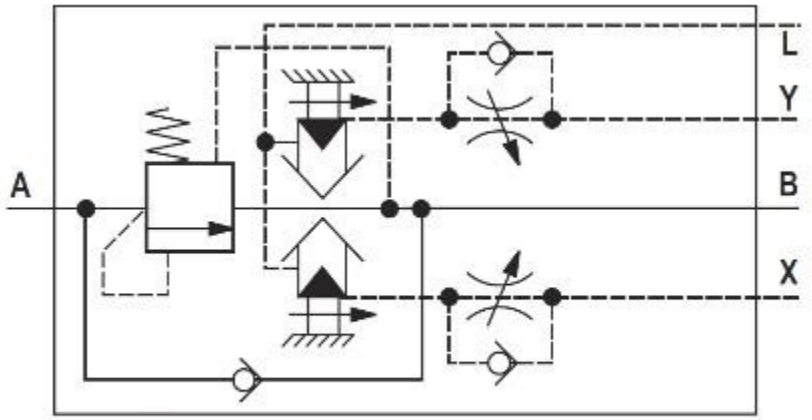
شیرهای کنترل جریان



- انواع دو راهه
  - عملگر مکانیکی
  - عملگر هیدرولیکی
  - عملگر الکتروهیدرولیکی



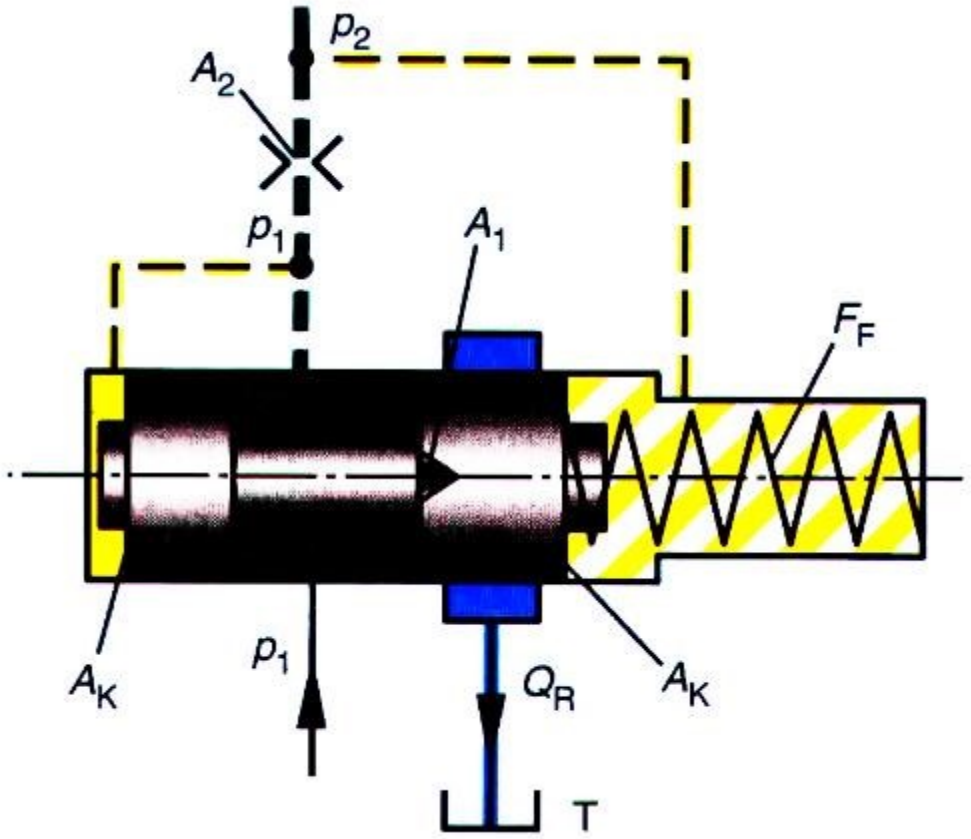
Mechanical actuation (type 2FRM)

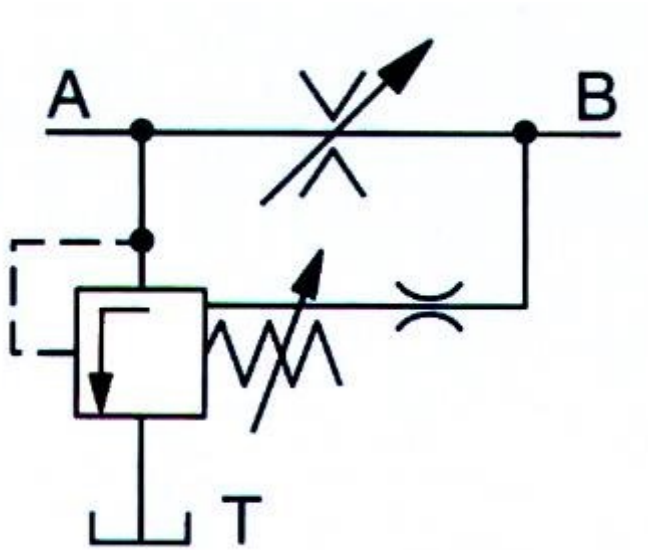


Hydraulic actuation (type 2FRH)

شیرهای کنترل جریان

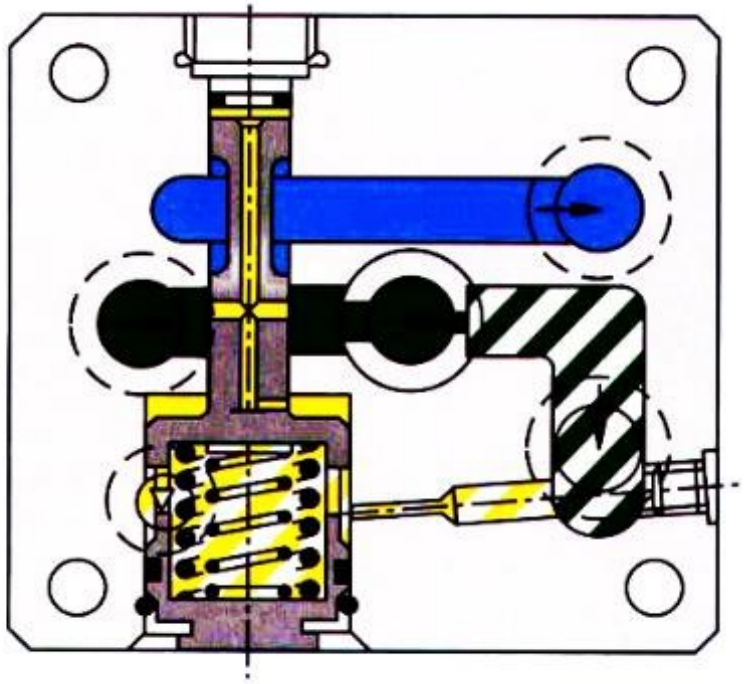
- نوع موازی: شیرهای سه راهه

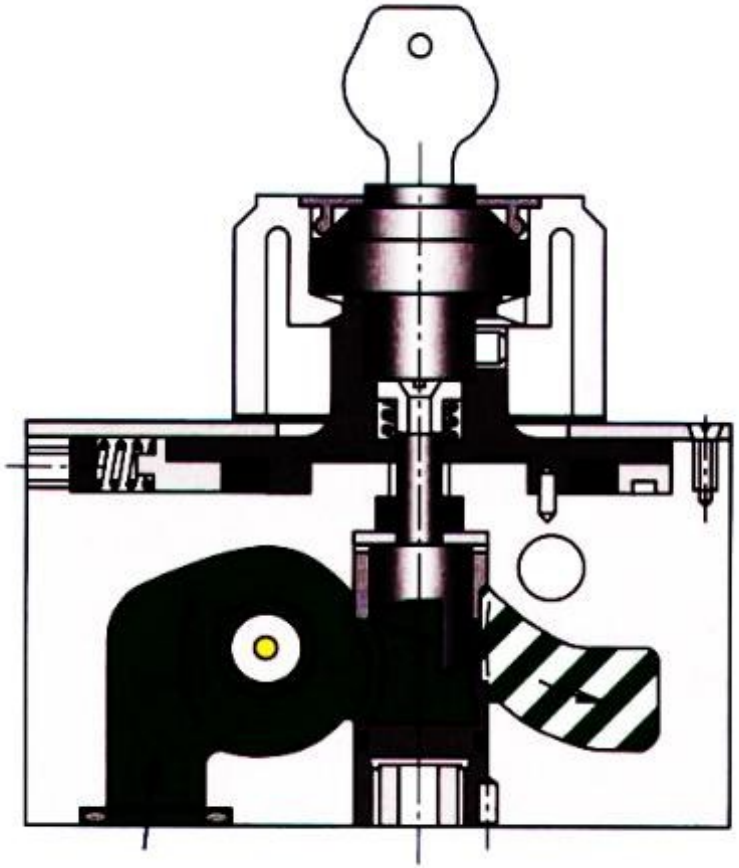




شیرهای کنترل جریان

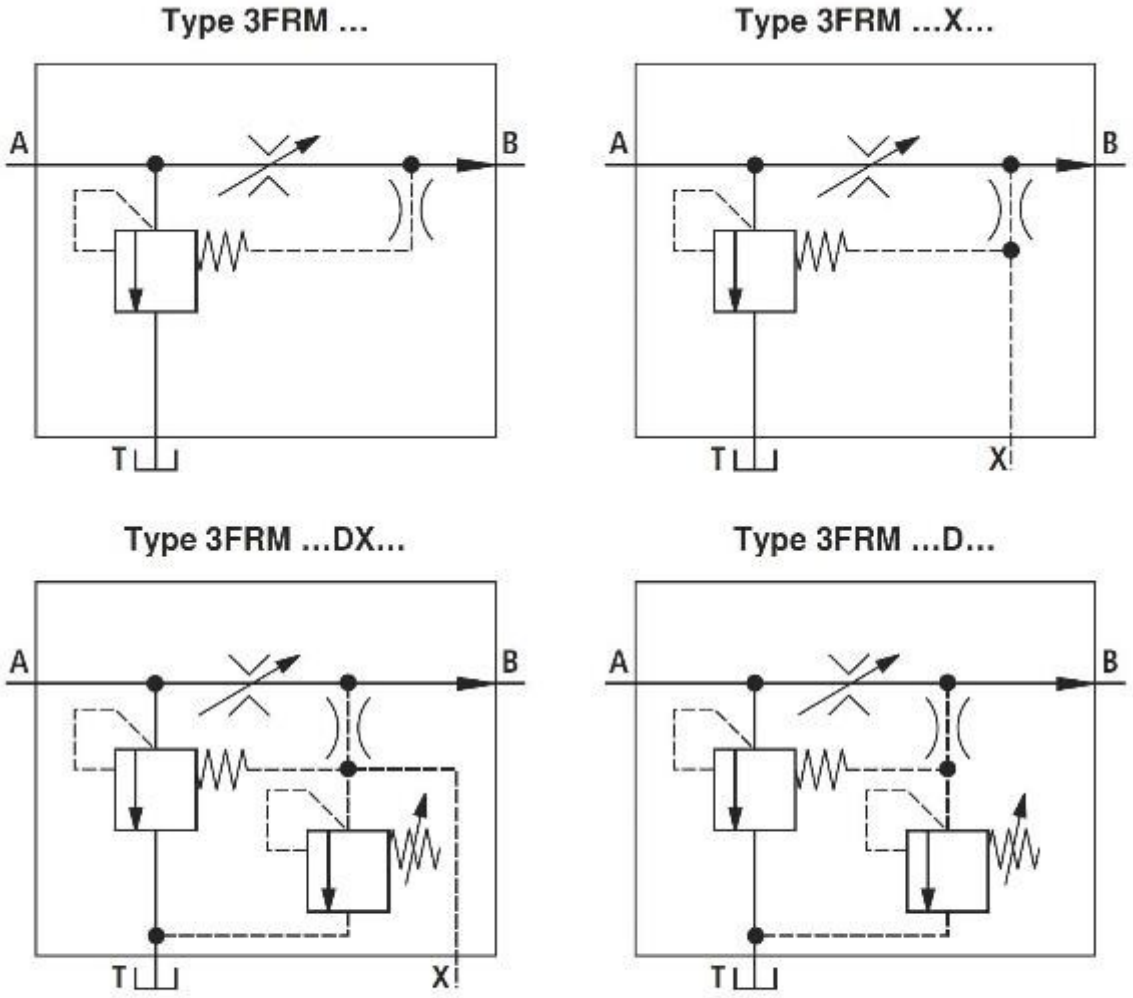
- نوع موازی: شیرهای سه راهه





شیرهای کنترل جریان

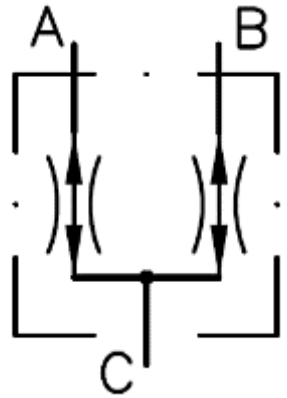
- نوع موازی:
شیرهای سه راهه





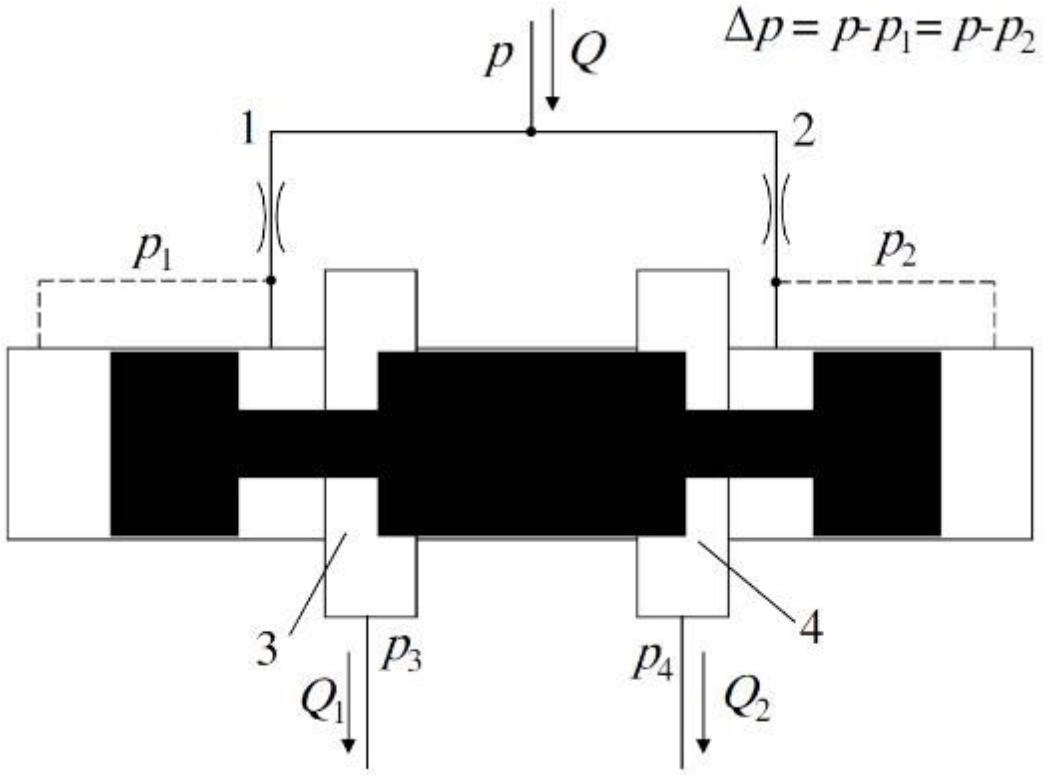
شیرهای تقسیم جریان

- شیرهای تقسیم جریان (Flow dividing valves) میزان جریان را بدون توجه به فشار دو طرف، به یک نسبت از پیش تعیین شده تقسیم می‌کنند.
- این کار برای کنترل سرعت دو عملگر جدا از میزان بار می‌باشد





- دو مقاومت ۱ و ۲ سبب ایجاد افت فشار به میزان Δp خواهند شد.
- در حالت تعادل $p_1=p_2$ و شیر در وسط قرار می‌گیرد.
- در صورت افزایش p_3 به دلیل افزایش بار، جریان Q_1 کاهش می‌یابد.
- *در نتیجه:* p_1 افزایش یافته
- *در نتیجه:* شیر به سمت راست حرکت می‌کند
- *در نتیجه:* جریان Q_1 افزایش یافته تا زمانی که مجددا $p_1=p_2$شود





شیرهای تقسیم جریان

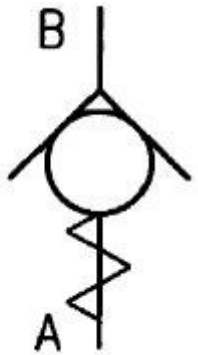
- معایب اصلی شیرهای تقسیم جریان
  - دینامیک شیرها پیچیده است
  - حرکت اولیه آن با مشکل همراه است
  - به دلیل تراکم‌پذیری سیال و لوله‌ها می توان سبب ایجاد خطا شود
  - بین شیر تقسیم کننده و عملگر حجم باید کمترین مقدار ممکن باشد، هیچ نوع نشتی وجود نداشته باشد.

❊ البته انواع بسیار با کیفیت آن نیز در حال حاضر تولید و مورد استفاده قرار می‌گیرد

شیرهای یک طرفه

- وظیفه شیرهای یک طرفه (check valves) محدود نمودن حرکت سیال فقط در یک جهت است.
  - حرکت در خلاف جهت حرکت مجاز، با استفاده از یک المان کروی یا مخروطی (سوپاپ یا poppet) محدود می‌شود.
  - معمولا از نیروی فنری برای برگردانده سوپاپ بر روی نشیمنگاه آن استفاده می‌شود.
  - معمولا سطوح از نوع فلزی با ماشین‌کاری بسیار دقیق بوده، نشیمنگاه الاستیک معمولا خوب آب‌بند نمی‌شود.

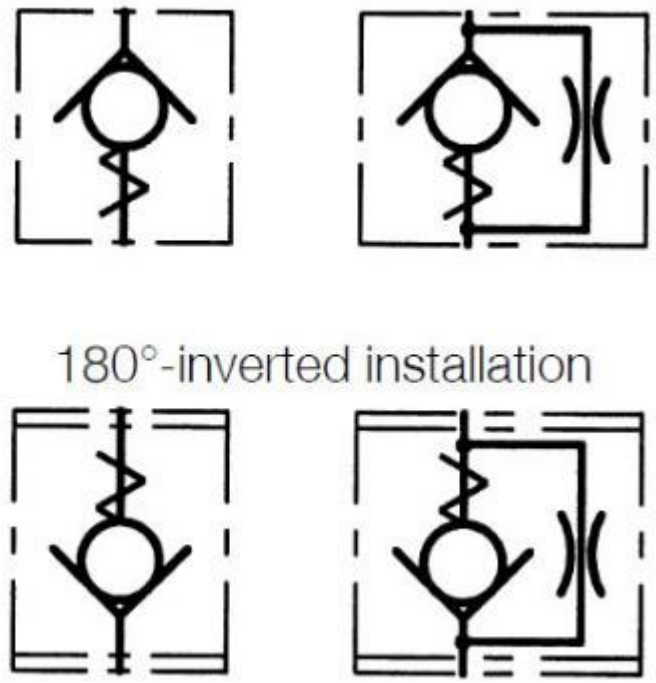




شیرهای یک طرفه

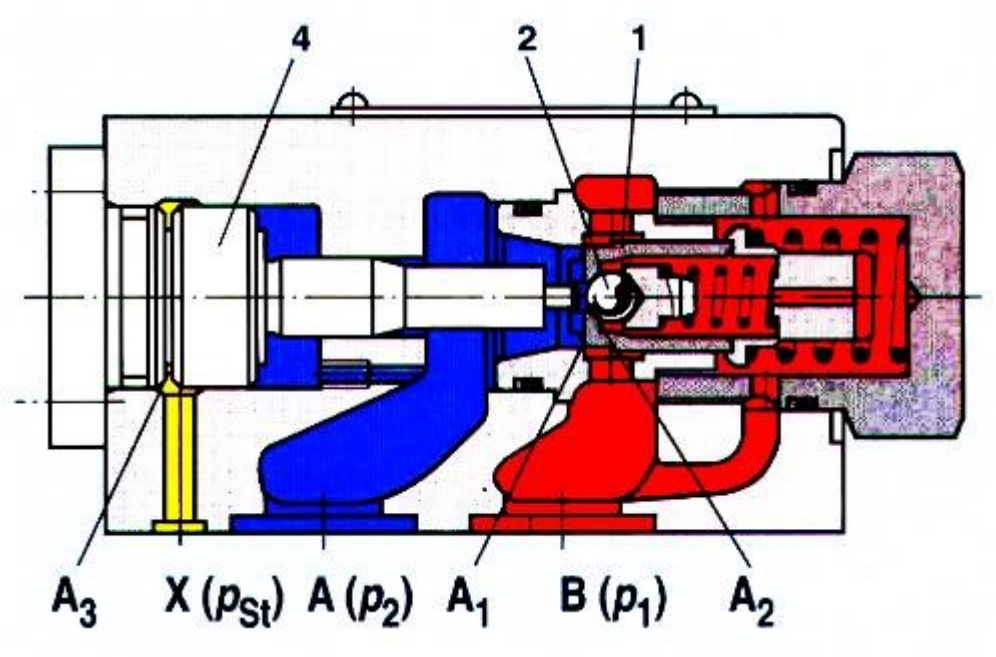
- شیرهای یک طرفه با مقاومت گلویی
  - به عنوان PRV نیز بکار می‌رود





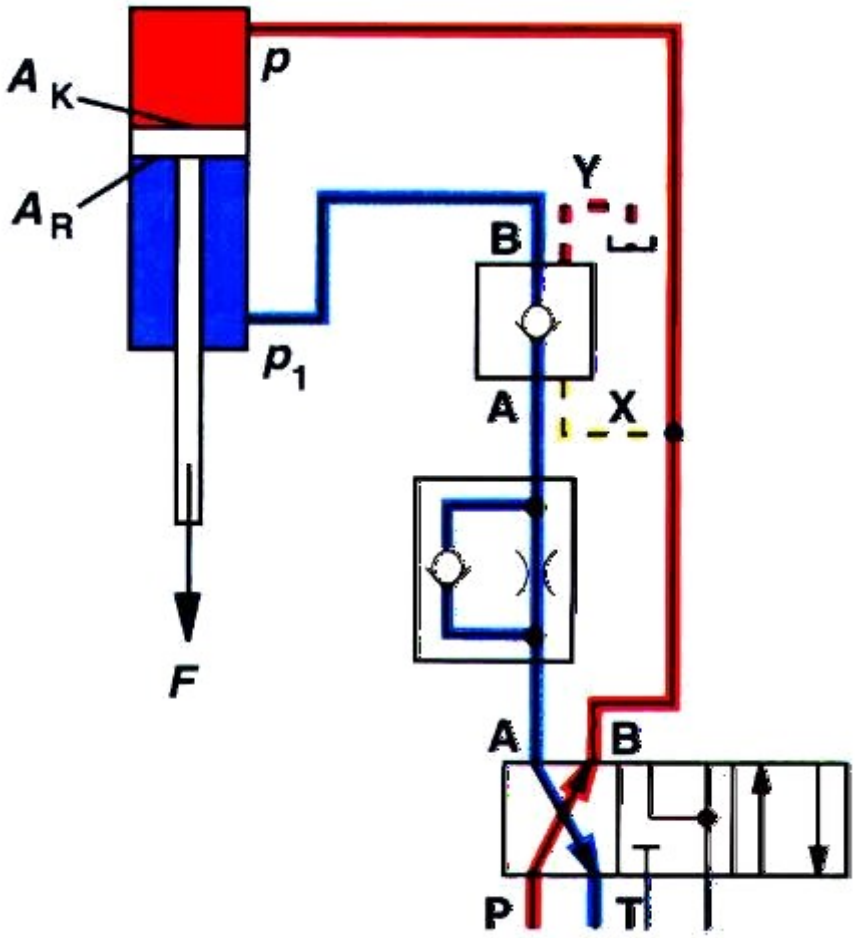
شیر یک طرفه با عملگر پیلوت

- شیر یک طرفه با عملگر پیلوت با استفاده از نیروی فشار خارجی عمل می‌کند.
  – یک پیستون به مساحت بزرگتر وجود داشته به صورتی که با فشاری پایین‌تر از فشار بسته‌شدن شیر عمل می‌کند.



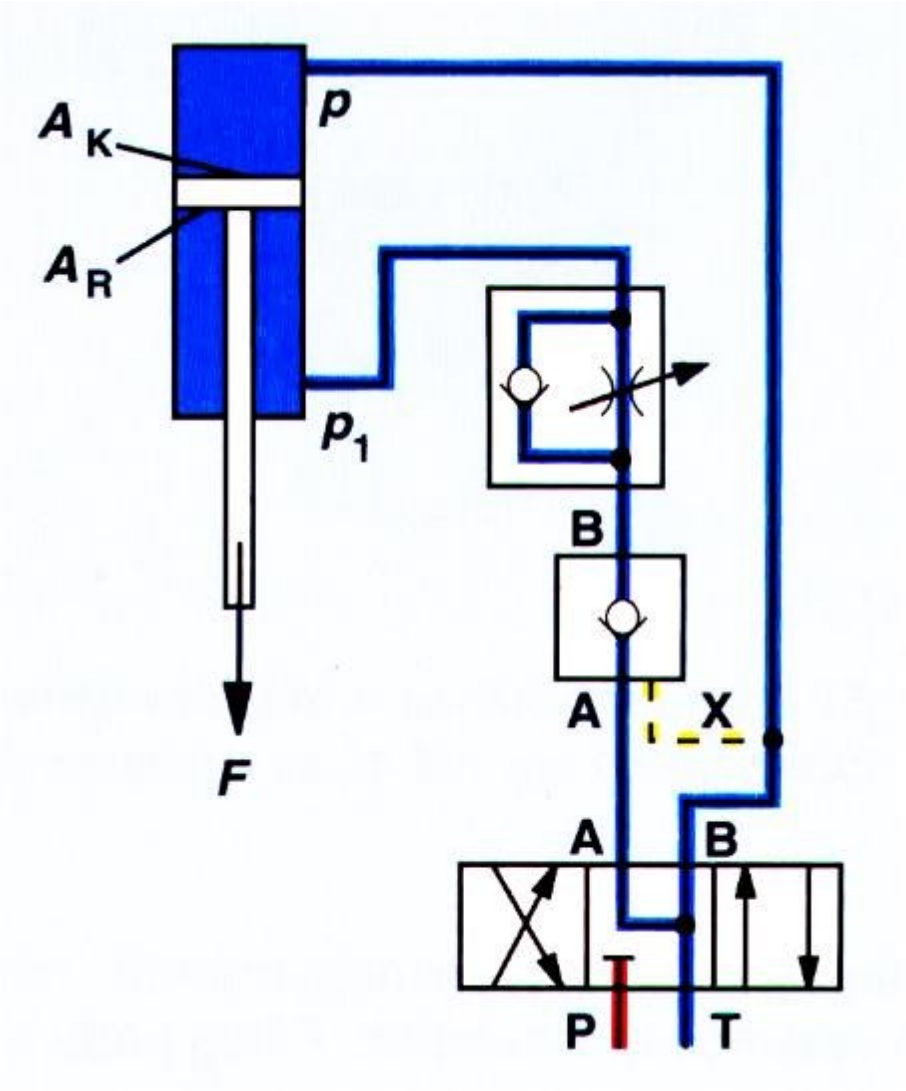
شیر یک طرفه با عملگر پیلوت

- کاربرد اصلی: نگهداری بار تخلیه در زمان مورد نظر





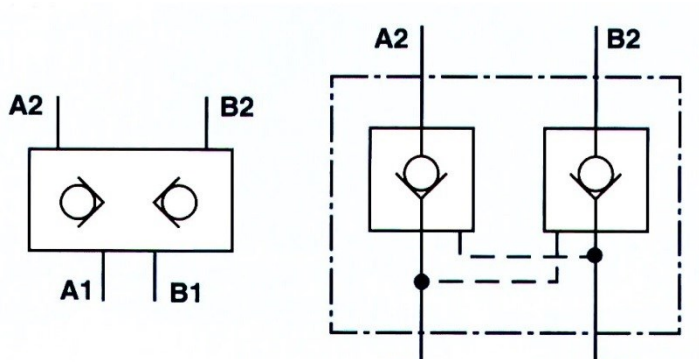
شیر یک طرفه با عملگر پیلوت

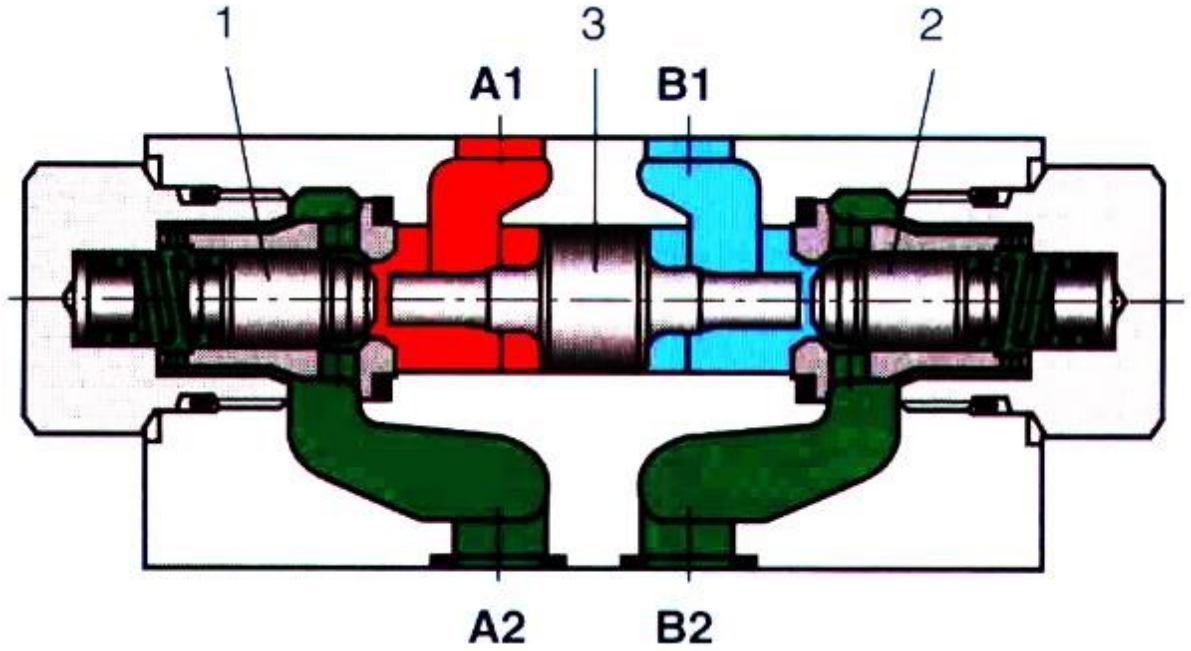


- در صورت عمل کردن پیلوت و باز شدن خط تخیله، فشار در خط پمپ و کنترل کاهش می‌یابد. تا زمانی که فشار p_1 به نسبت مشخصی از فشار p_2 رسید و شیر یک طرفه بسته شود.

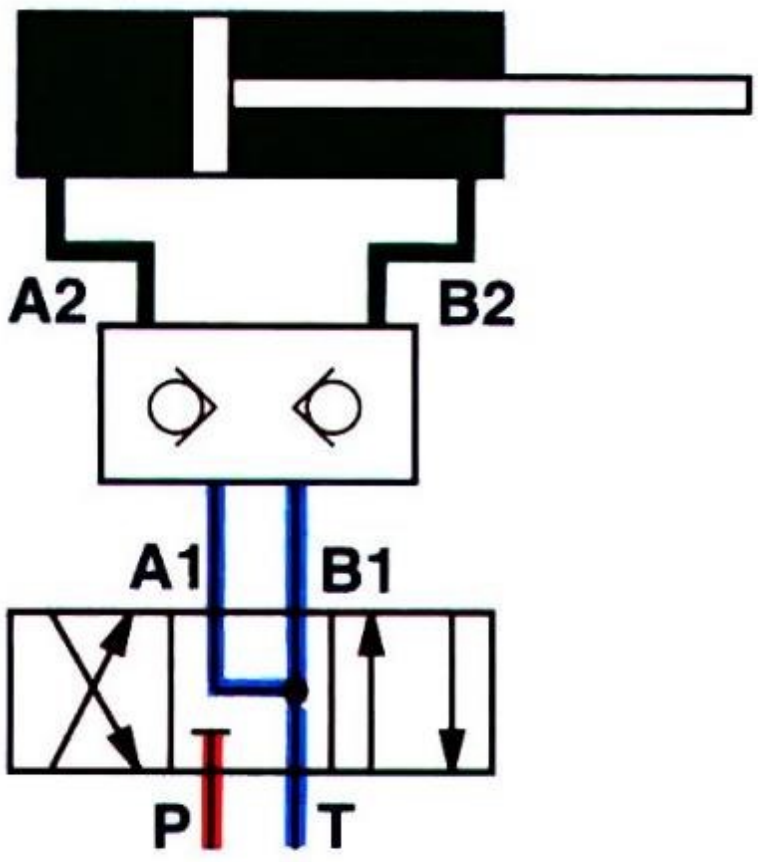
شیر یک طرفه ساندویچی

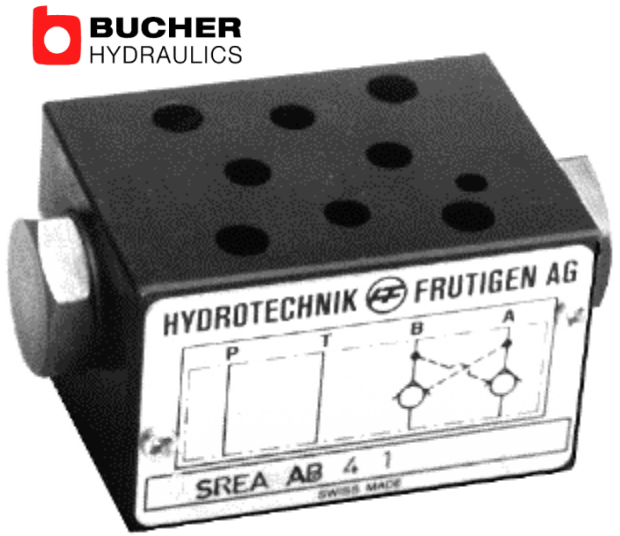
- برای کنترل جریان در دو مسیر عملگر بکار می رود.





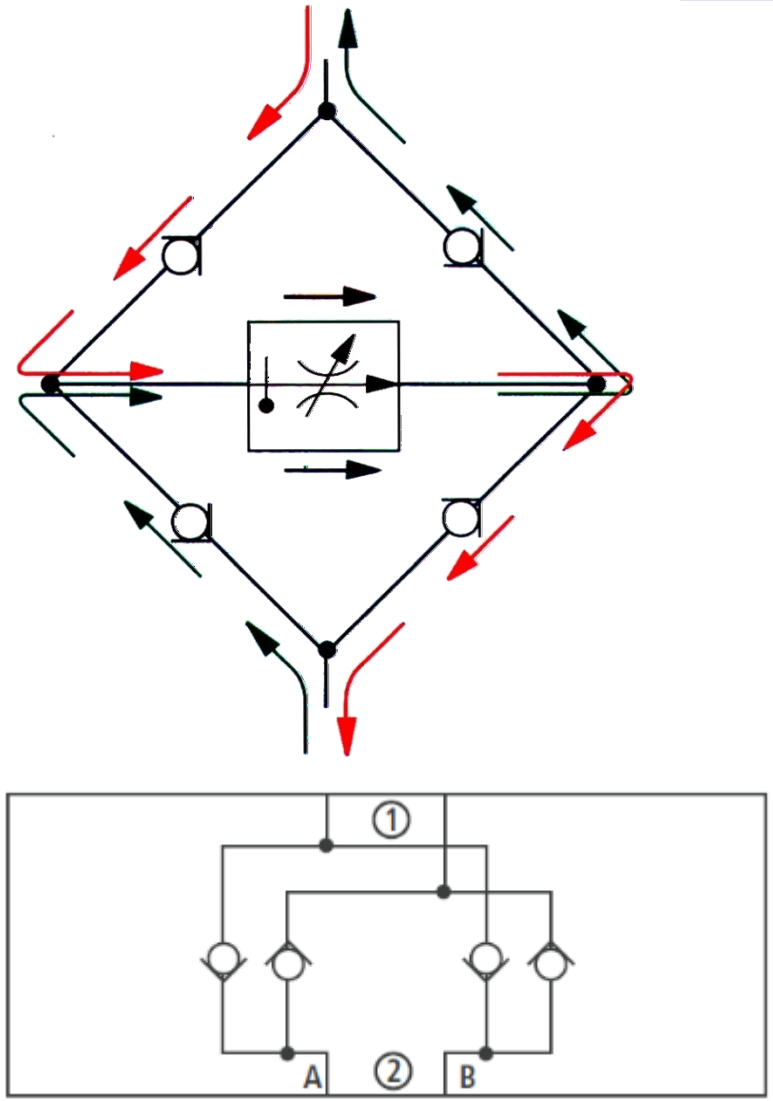
شیر یک طرفه ساندویچی







مدار یکسوساز



- مدار روبرو به عنوان مدار Graetz شناخته می‌شود. از نوع شیرهای کنترل جریان دو طرفه است



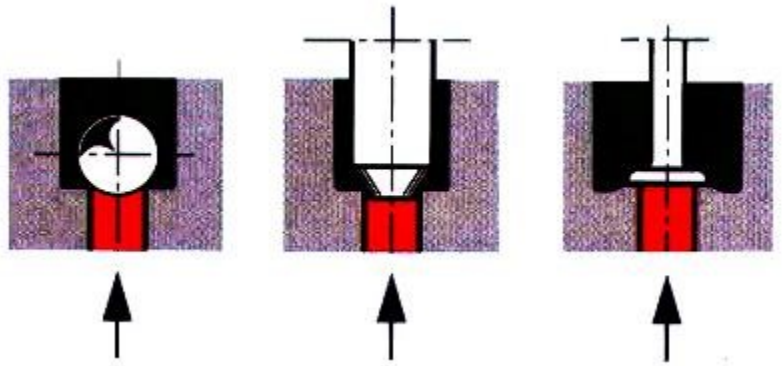
شیرهای کنترل جهت

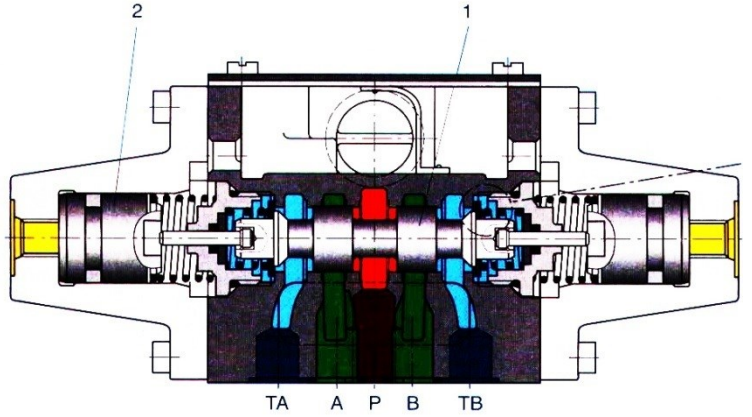
- شیرهای کنترل جهت (directional control valves)
  - برای کنترل جهت در سیستمهای هیدرولیک / نیوماتیک بکار می‌روند
  - وظیفه آنها هدایت روغن یا هوا به مواضع مختلف سیستم برای انجام هدف خاص است.

شیرهای کنترل جهت

- انواع دسته‌بندی شیرهای کنترل جهت
  - بر اساس استفاده از ماسوره‌ای یا سوپاپ
  - بر اساس عملکرد سوییچی یا امکان تنظیم پیوسته
  - بر اساس تعداد اتصال یا موقعیت
  - بر اساس نوع واحد کنترل و تنظیم موقعیت

شیرهای کنترل جهت

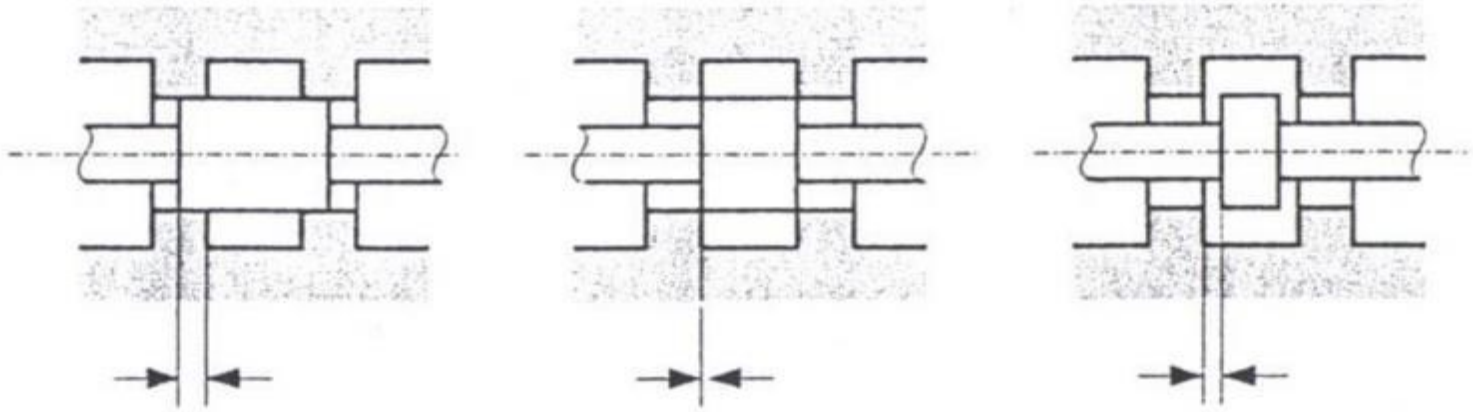




شیرهای ماسوره‌ای	شیرهای سوپاپی
همیشه نشتی دارند	کاملا آب‌بند هستند
نیاز به جابجایی‌های زیاد دارند	یک جابجایی کوچک سبب عبور جریان می‌شود
ارزان قیمت	گرانقیمت
در بیشتر مواقع به دلیل انعطاف‌پذیری و هزینه کم ترجیح داده می‌شودند.	برای کنترل جریان‌های زیاد بکار می‌روند

شیرهای کنترل جهت

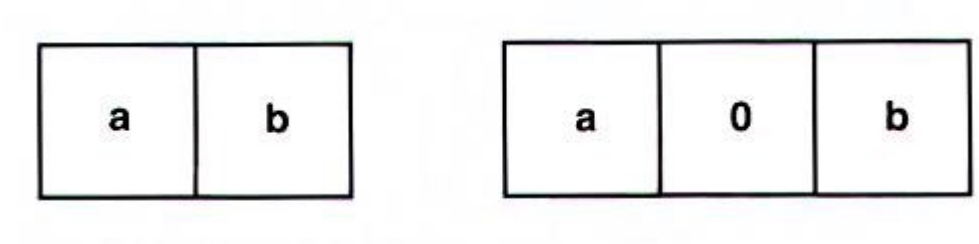
- عملکرد سوییچی / تنظیم پیوسته
  - سوییچی: در وضعیت باز یا بسته هستند
  - تنظیم پیوسته: مقدار باز شدن آنها توسط یک واحد کنترل الکتروهیدرولیک / الکترونیوماتیک یا الکتریکی تنظیم می‌شود.



Overlap > 0 Overlap = 0 Overlap < 0

شیرهای کنترل جهت

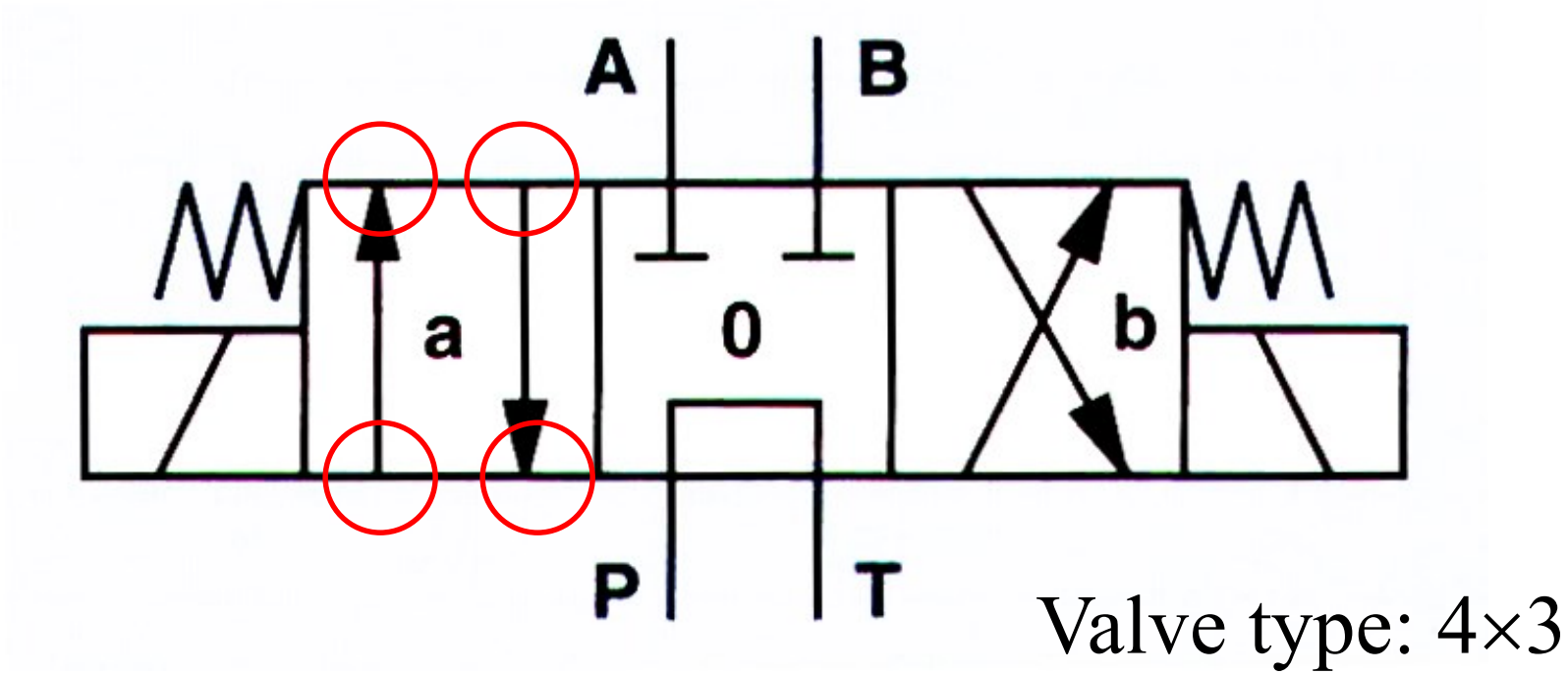
- تعداد اتصال و موقعیت
  - تعداد موقعیت می‌تواند از ۲ تا ۵ باشد



۲ موقعیت ۳ موقعیت

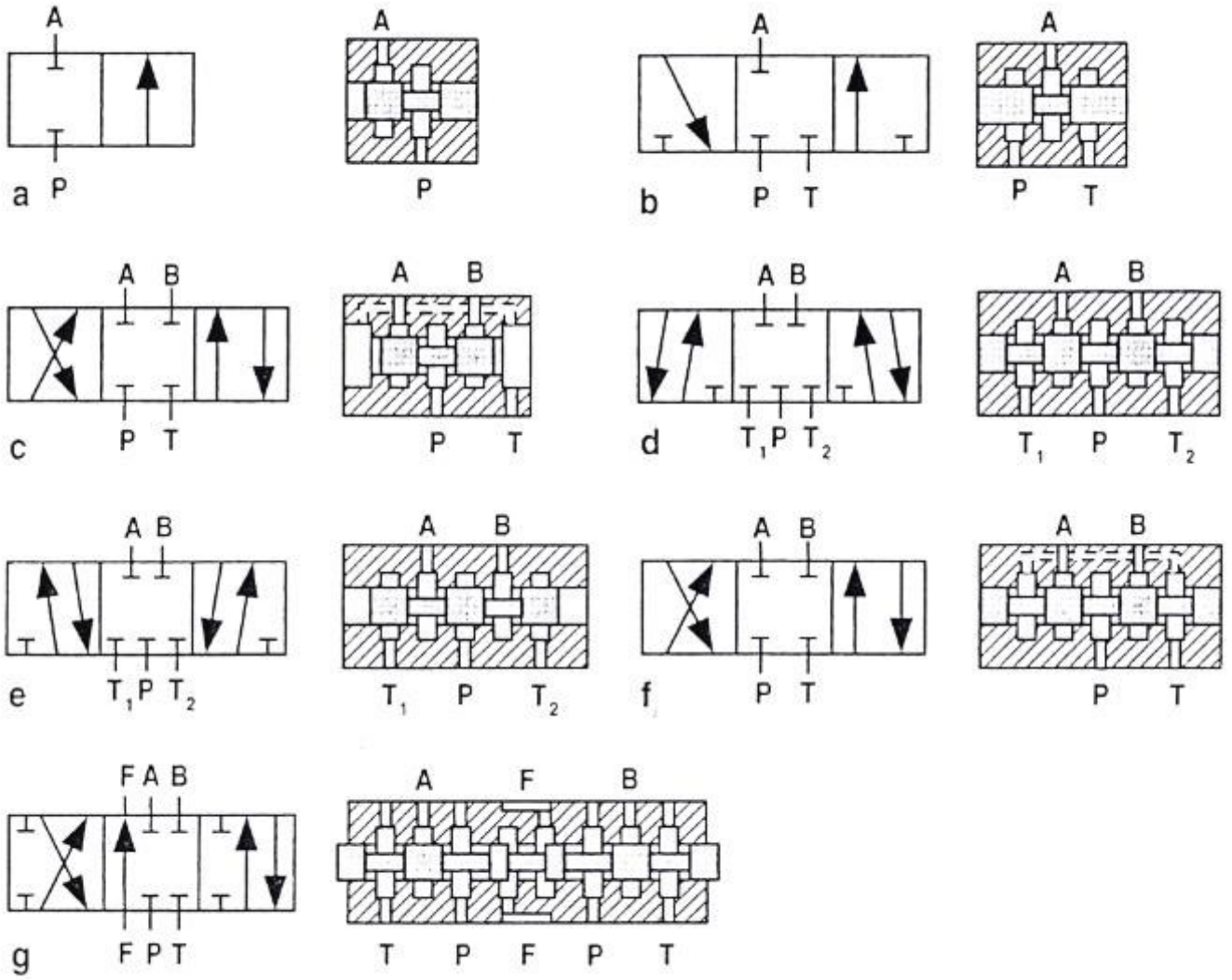
شیرهای کنترل جهت

- تعداد اتصال و موقعیت
  - تعداد اتصال (port) برابر تعداد تمامی نقاط اتصال در هر بلوک است



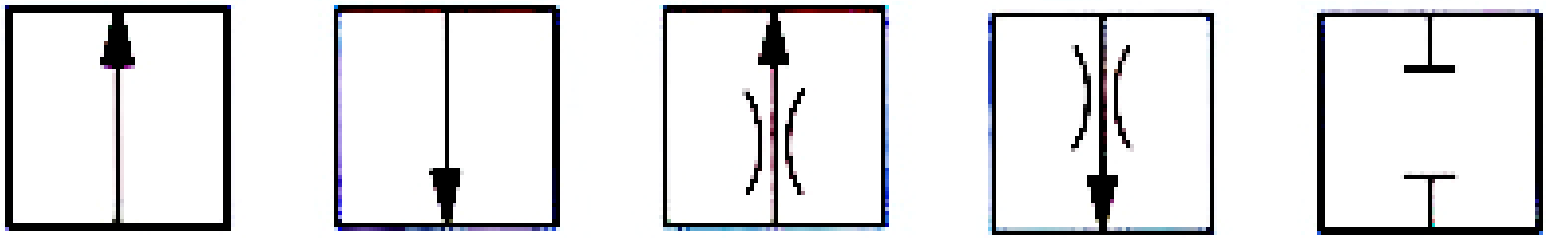
Valve type: 4×3

شیرهای کنترل جهت



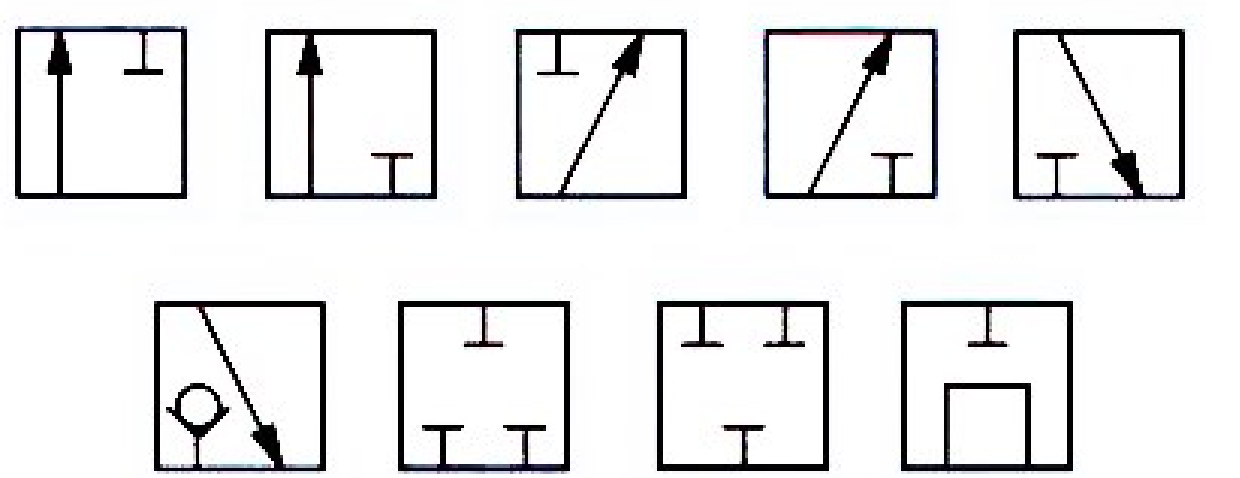
شیرهای کنترل جهت

- انواع بلوک ۲ راهه



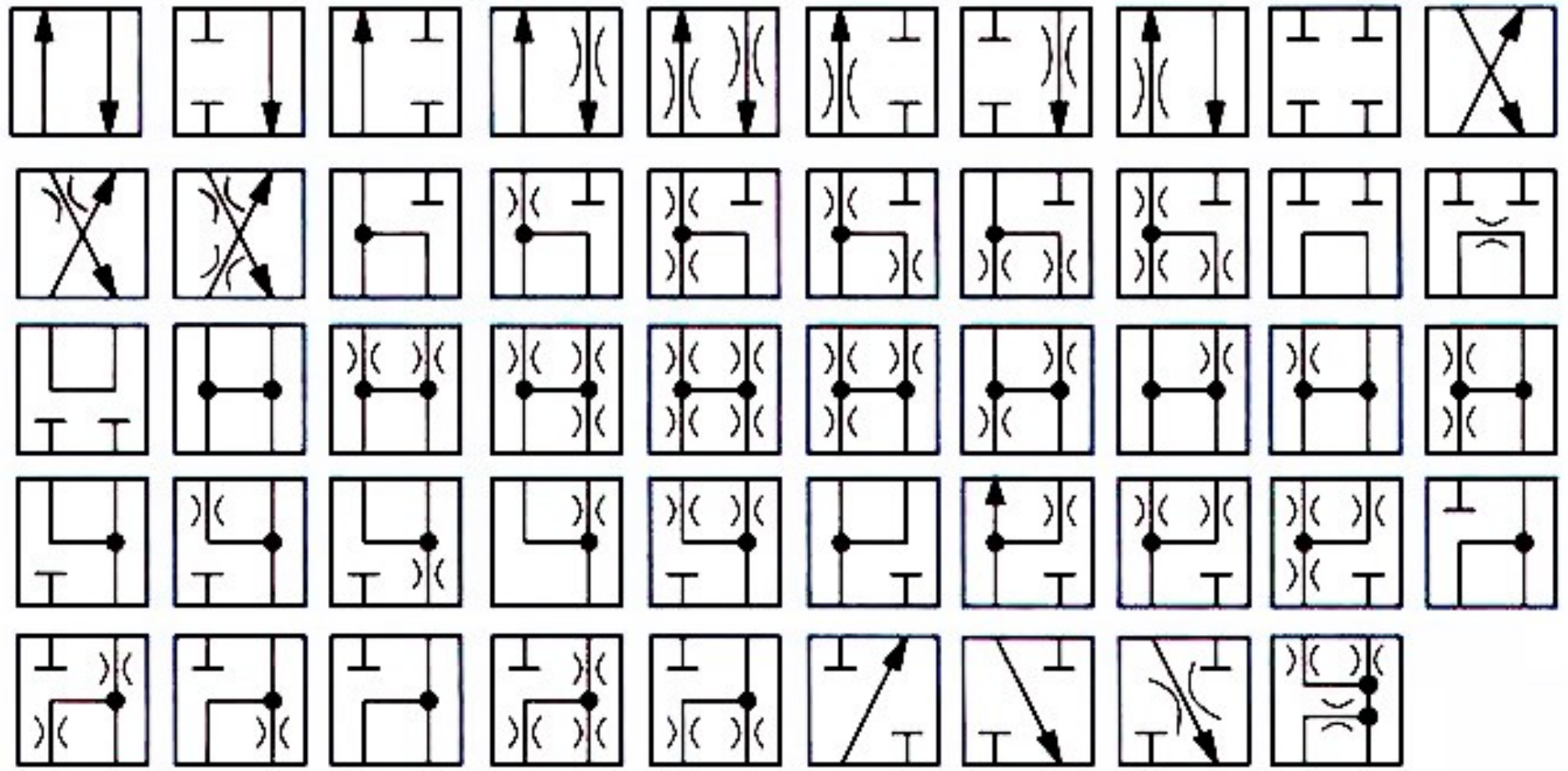
شیرهای کنترل جهت

- انواع بلوک ۳ راهه



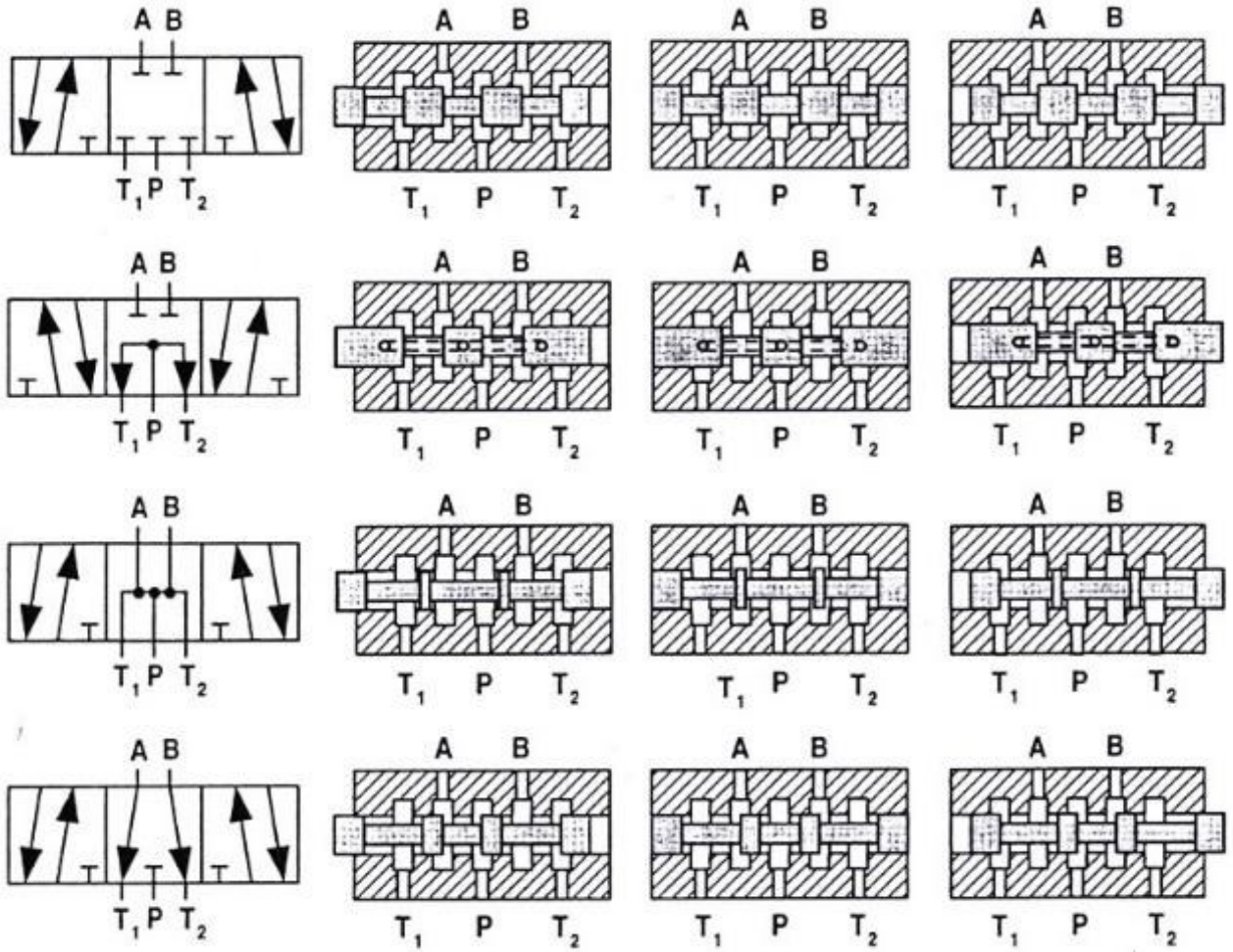
شیرهای کنترل جهت

- انواع بلوک ۴ راهه



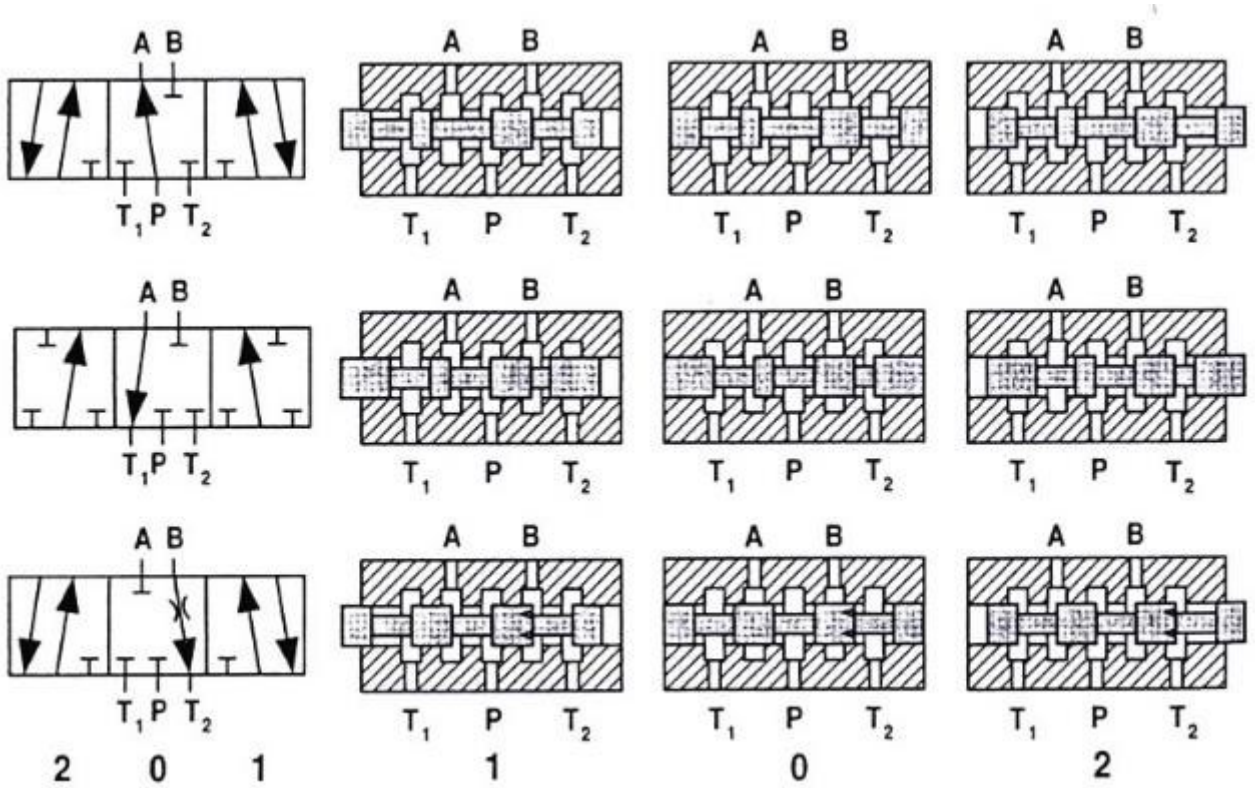
شیرهای کنترل جهت

- انواع بلوک ۵ راهه



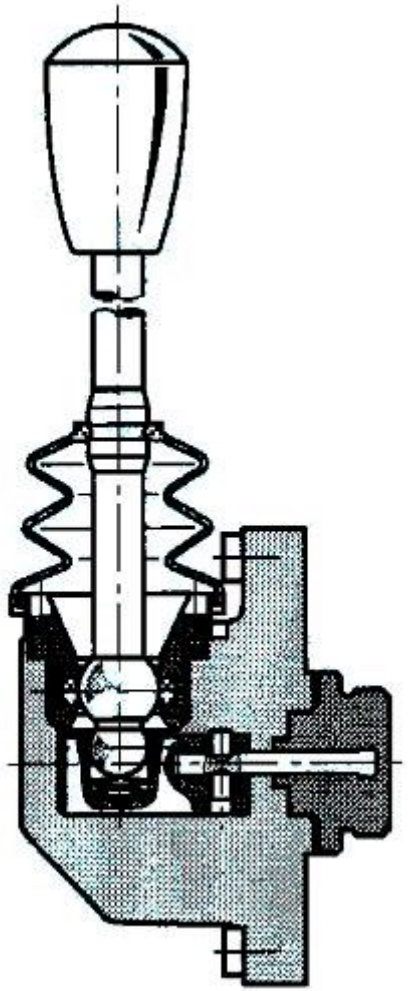
شیرهای کنترل جهت

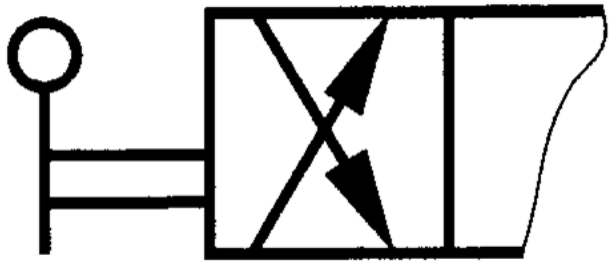
- انواع بلوک ۵ راهه



شیرهای کنترل جهت

- نوع عملگر: دستی



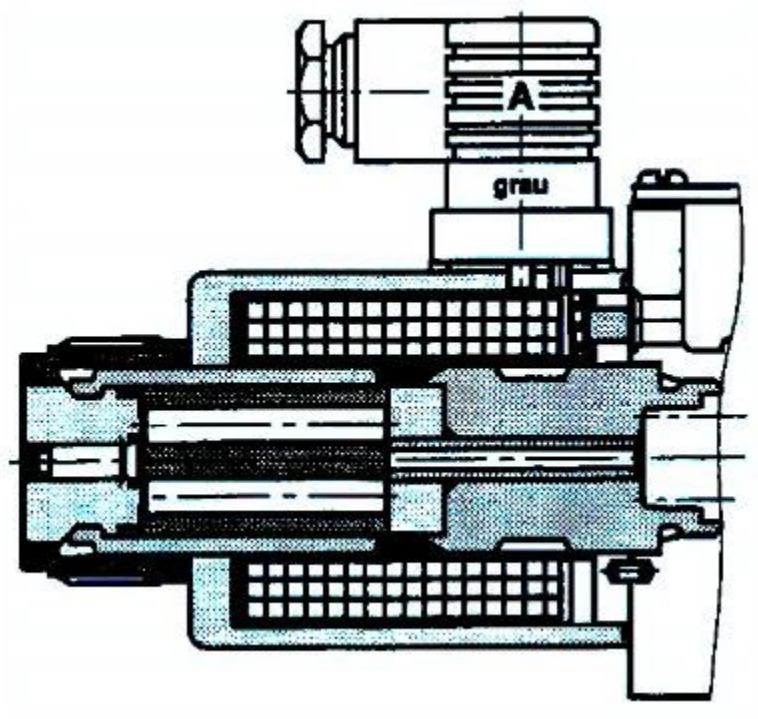


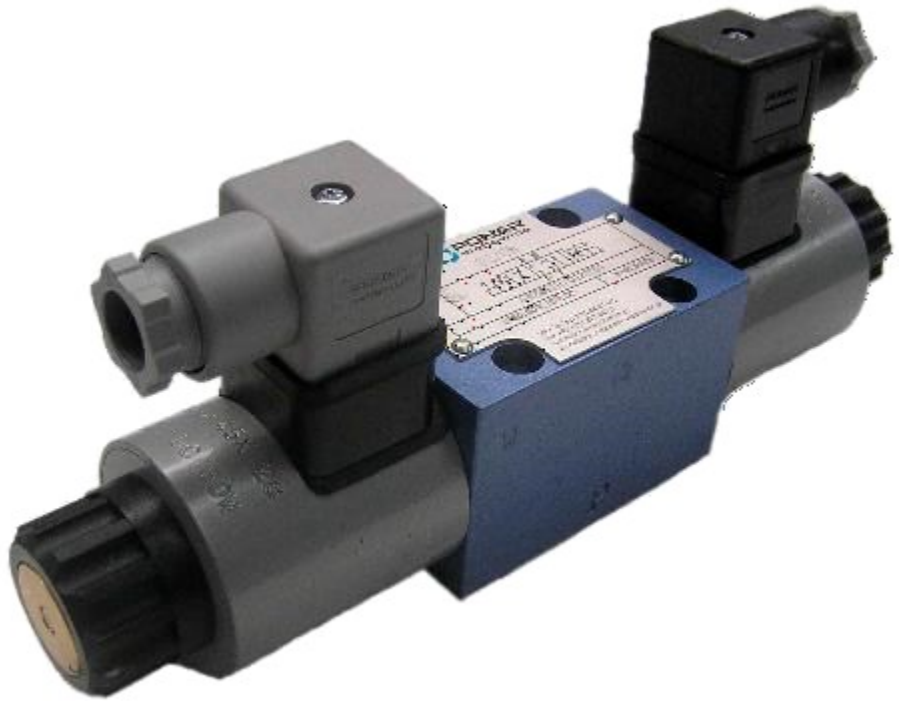


شیرهای کنترل جهت

- نوع عملگر: الکتریکی







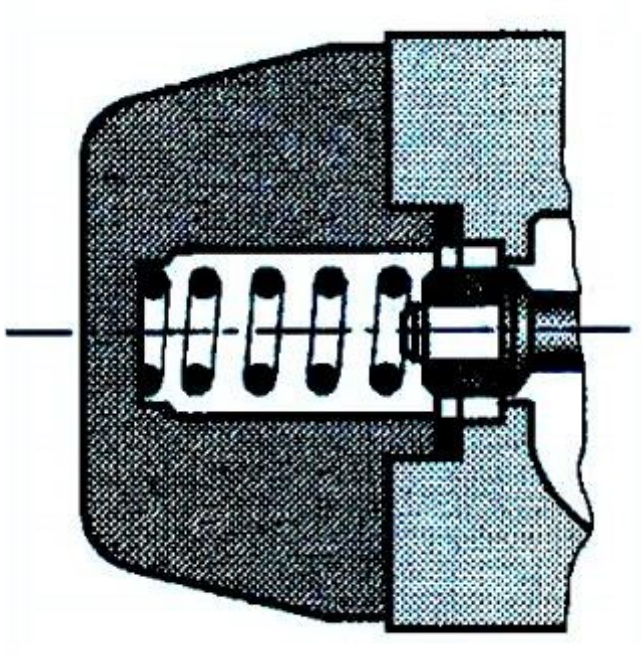
شیرهای کنترل جهت

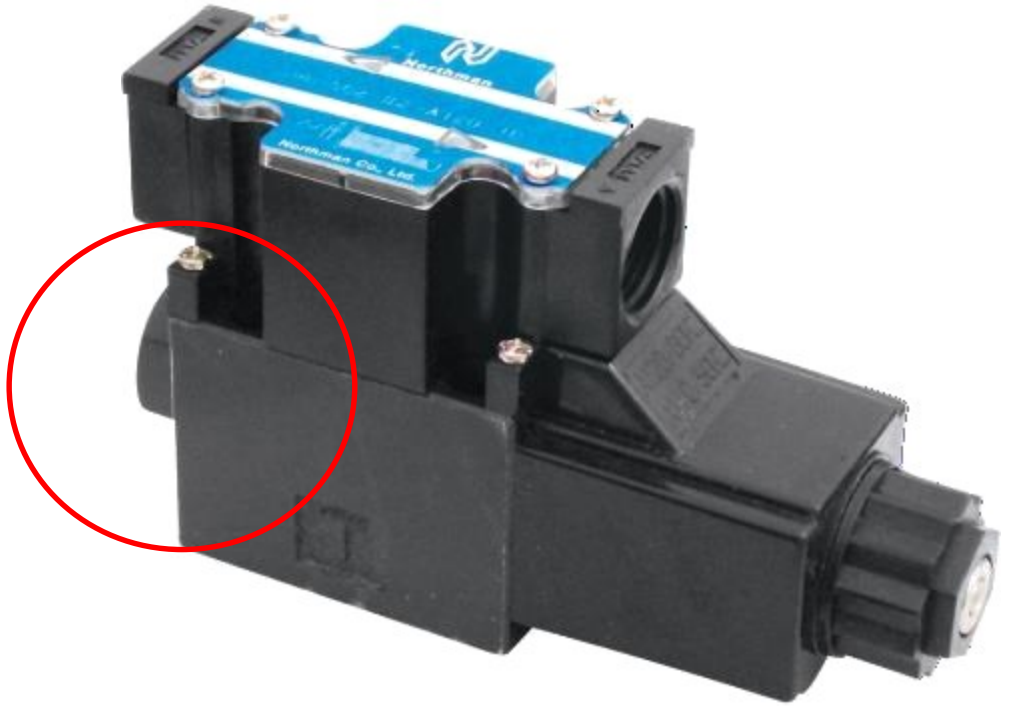
- نوع عملگر: فنری

Spring return –

Single acting –

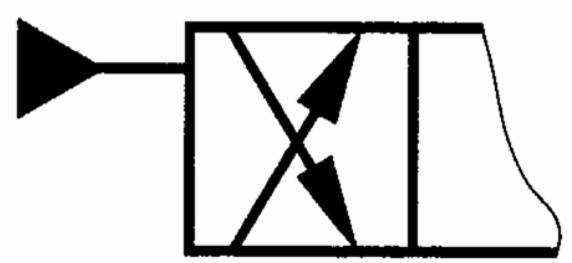


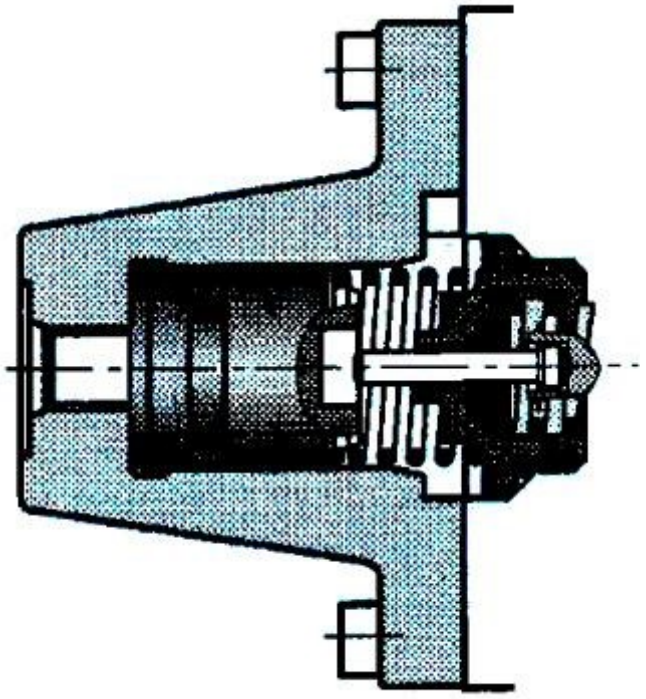




شیرهای کنترل جهت

- نوع عملگر: سیال
- Fluid power

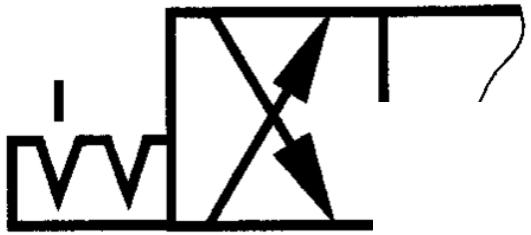


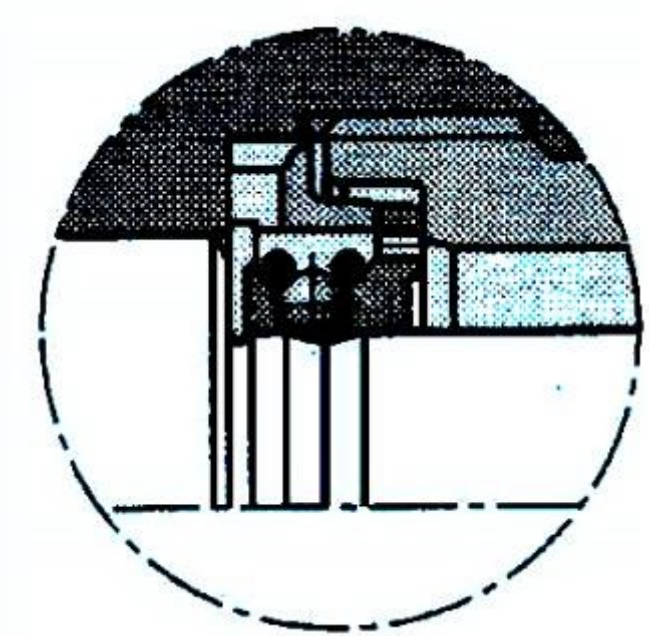




شیرهای کنترل جهت

- نوع عملگر: دندانه‌ای



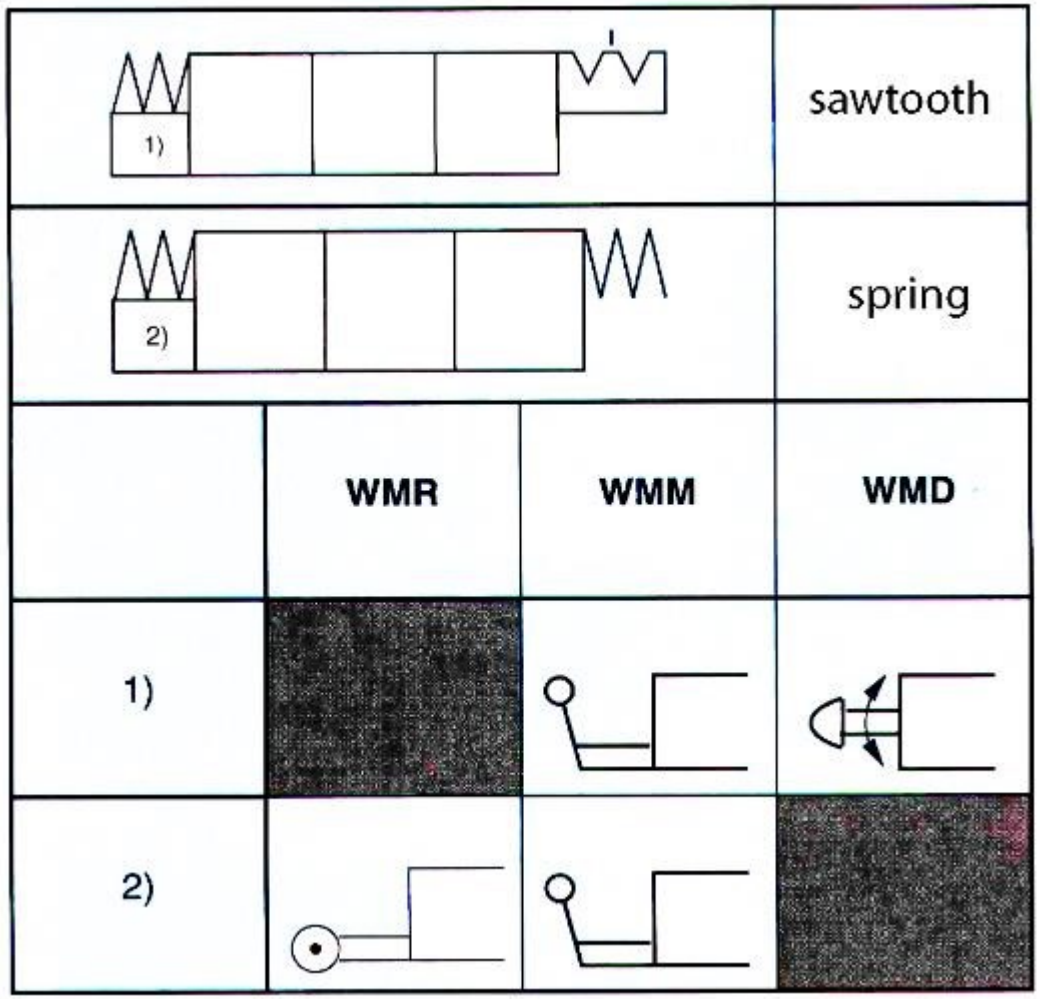




شیرهای کنترل جهت

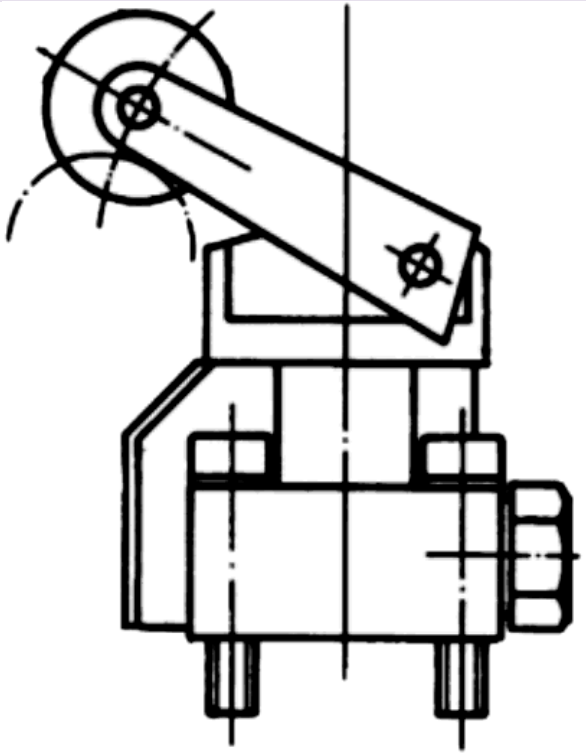
- نوع دو انتهای شیرهای کنترل جهت می‌تواند به صورت زیر باشد.

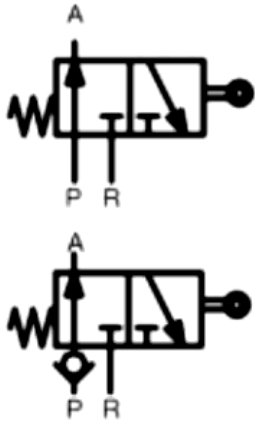
- نوع فنری آن به عنوان سنسور موقعیت مورد استفاده قرار می‌گیرد



شیرهای کنترل جهت

- سنسور موقعیت











شیرهای کنترل جهت

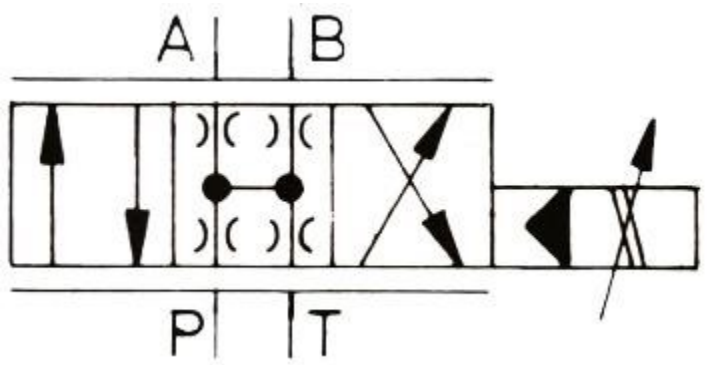
- تنظیم پیوسته
  - شیرهای سرو (servo valves)
  - شیرهای تناسبی (proportional valves)

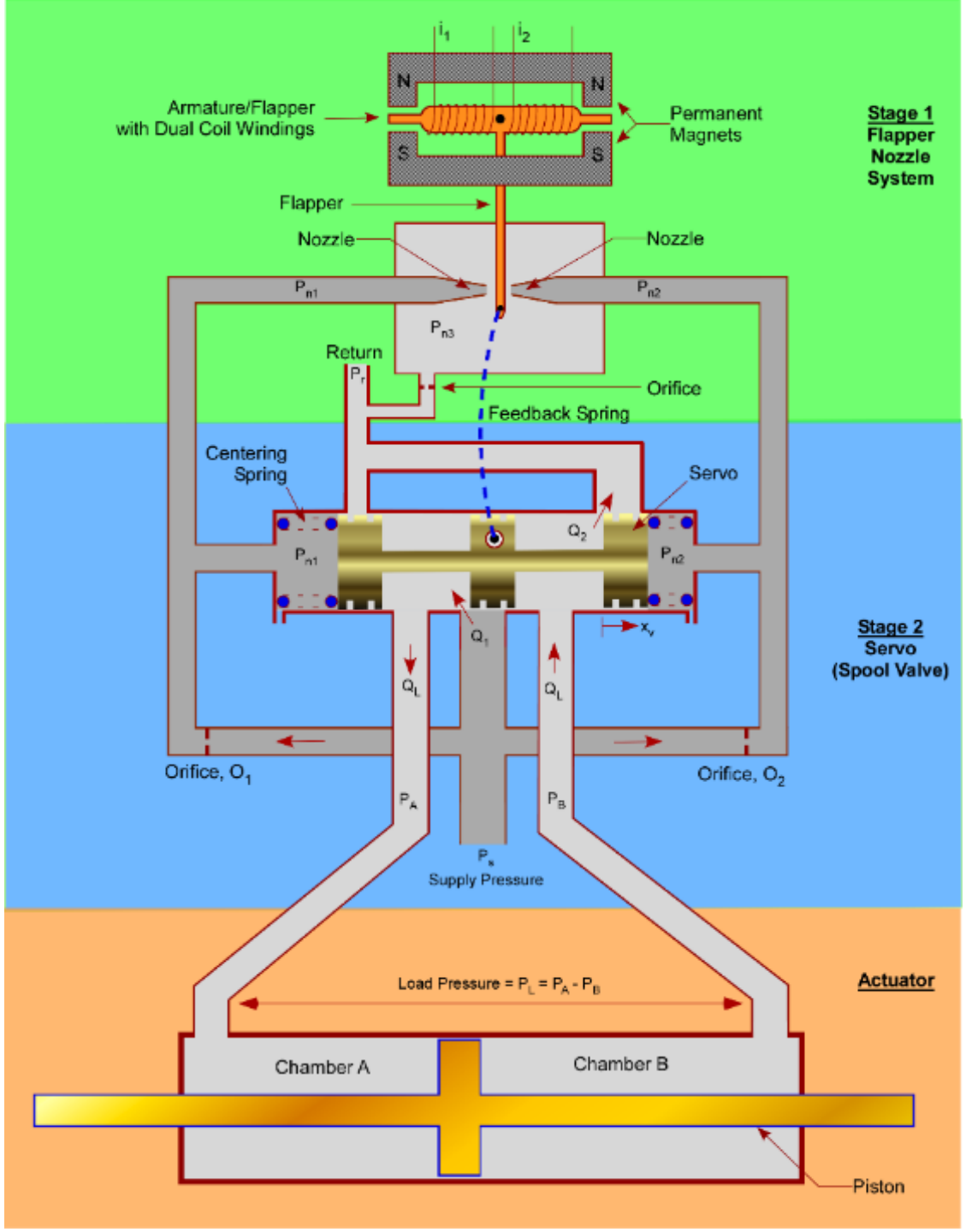
شیرهای سروو

- شیرهای سروو (servo valves)
  - این شیرها می‌توانند با یک توان ورودی کوچک، یک توان خروجی بسیار بزرگ را کنترل کنند.
  - امکان جابجایی جرم بسیار زیاد در زمان کوچک برای کنترل دقیق در برابر نیروی متغیر را دارند.
  - معمولا بسیار گرانقیمت بوده، زیرا با دقت بسیار بالایی ساخته می‌شوند.
  - بکارگیری آنها هزینه نیز زیادی دارد زیرا سیال باید به خوبی فیلتر شود.
  - معمولا دارای ۲ مرحله (در دبی‌های بیشتر ۳ مرحله) تقویت دارند

شیرهای سروو

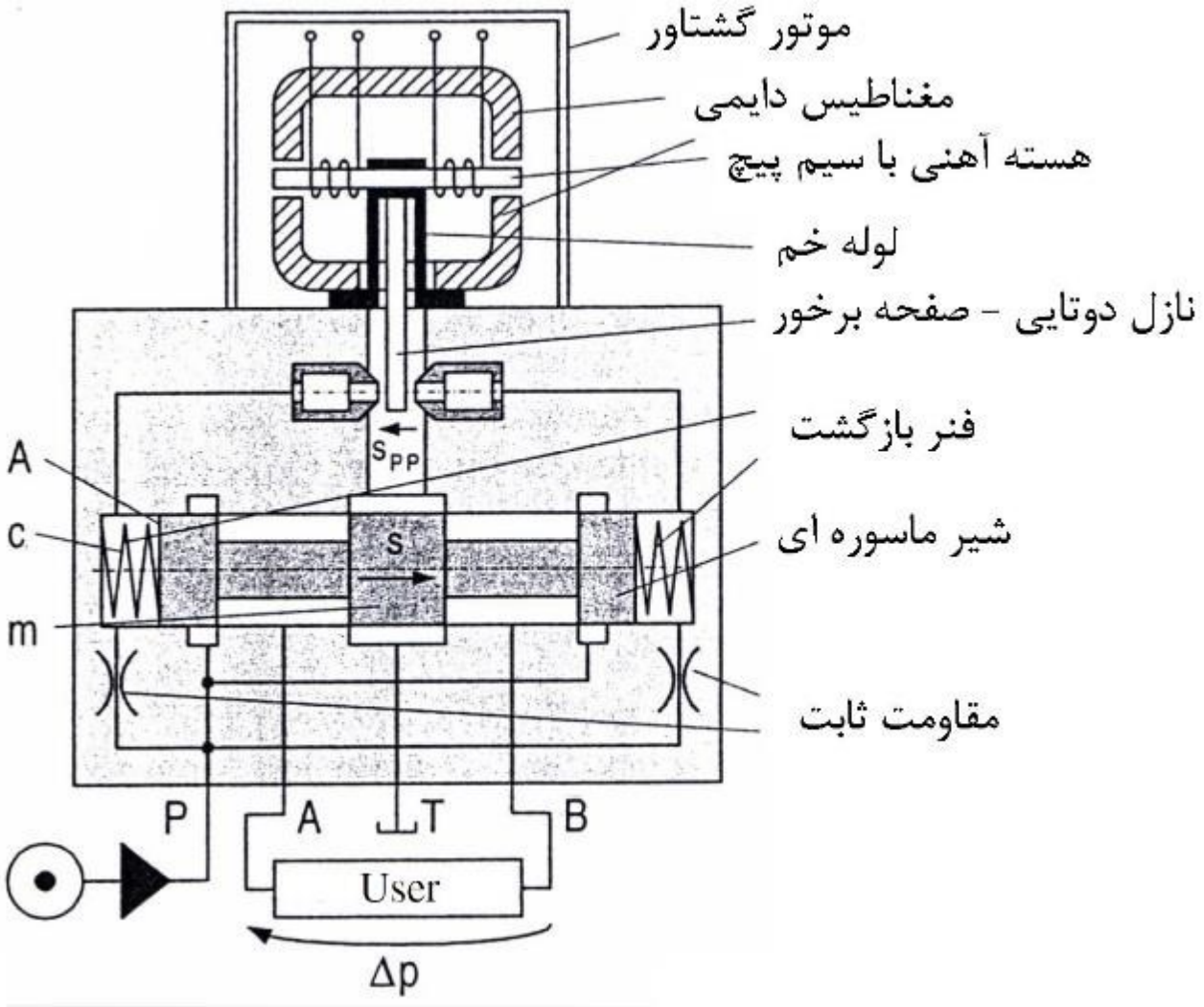
- شیرهای سروو دو مرحله‌ای





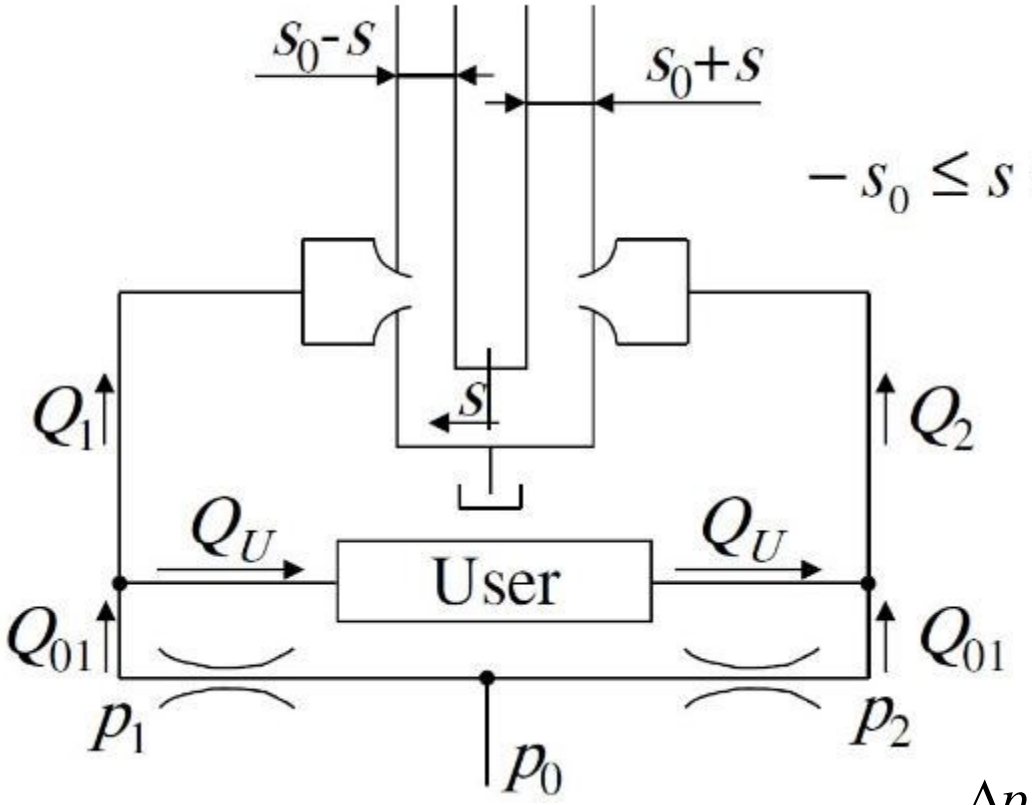
شیرهای سروو

- ساختار شیر



شیرهای سروو

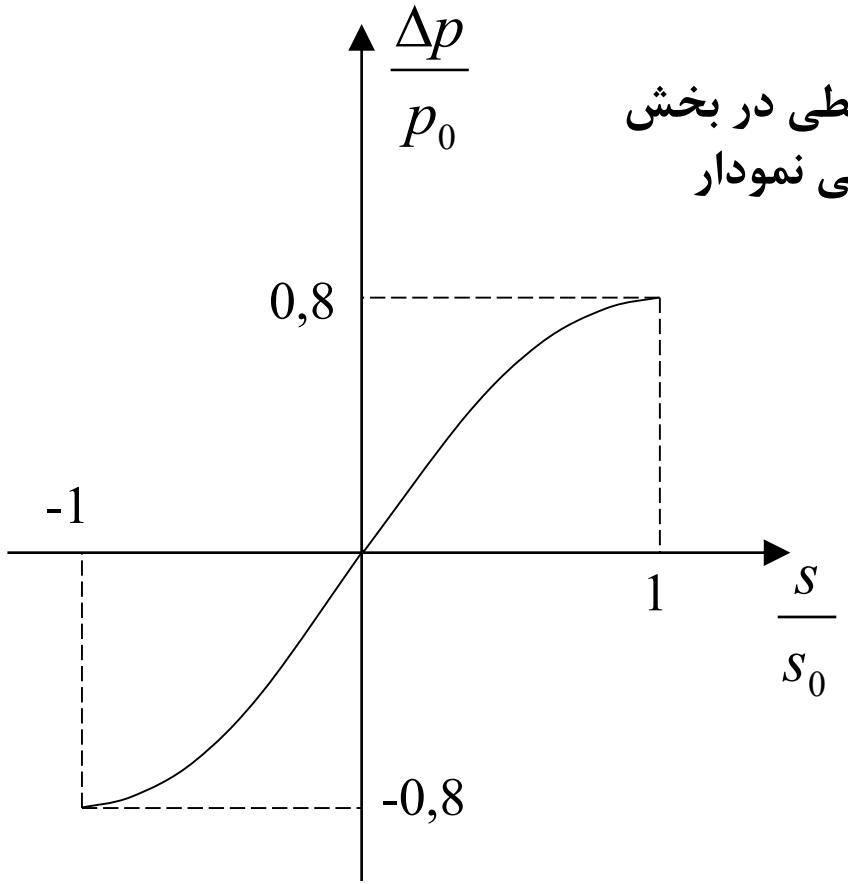
- نحوه عملکرد شیر سروو



$$\Delta p = p_0 \cdot \left(\frac{1}{1+\left(1-\frac{s}{s_0}\right)^2} - \frac{1}{1+\left(1+\frac{s}{s_0}\right)^2} \right)$$

شیرهای سروو

- نمودار تغییرات فشار به جابجایی



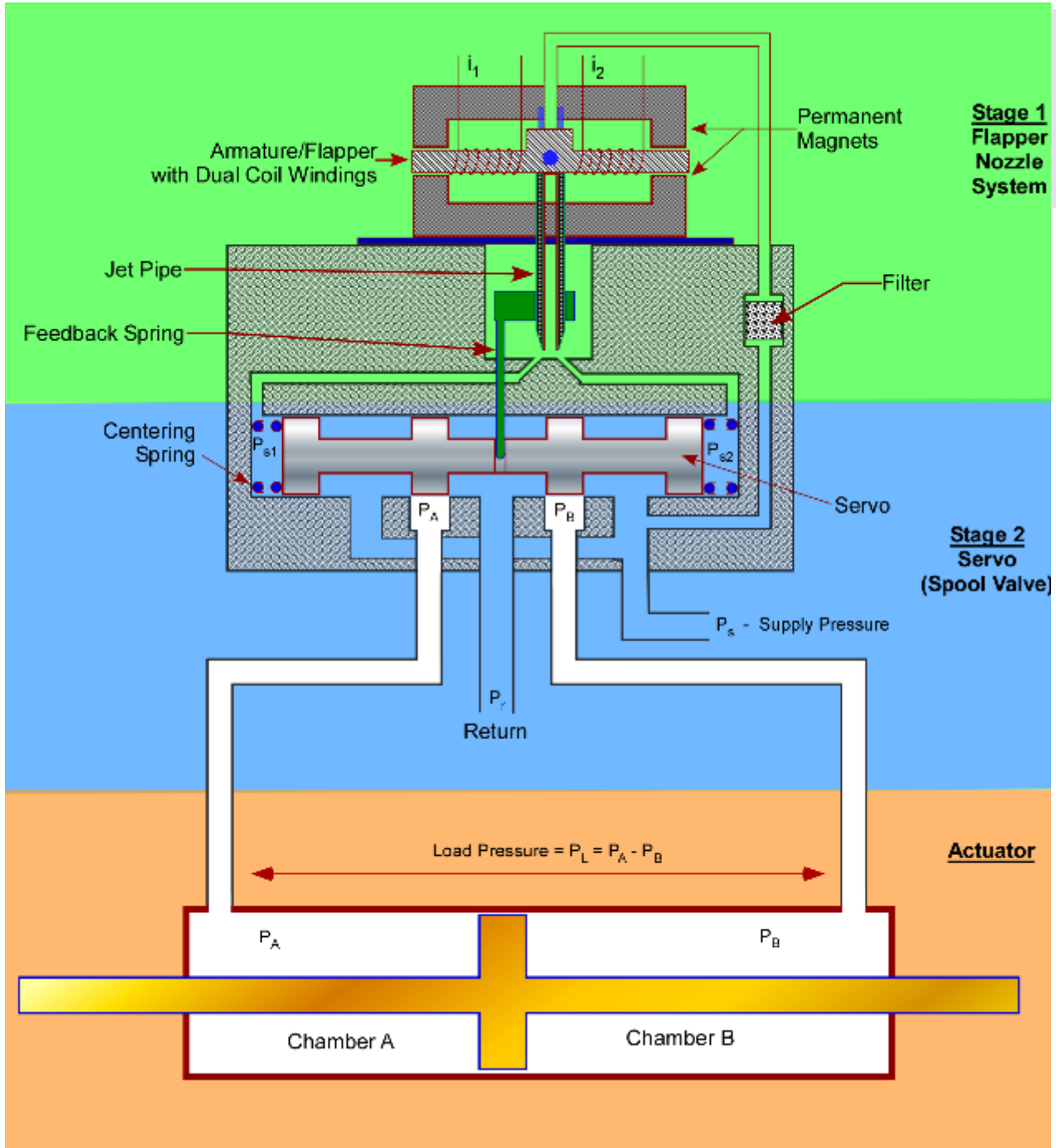
شیرهای سروو

- عملکرد
  - در صورت عدم وجود جریان، جابجایی وجود نداشته، شیر در وسط قرار می‌گیرد.
  - در صورت برقراری جریان، هسته آهنی حرکت کرده، صفحه متصل به آن نیز جابجا و در نتیجه فشار افت می‌کند.

  - با توجه به فواصل کوچک کیفیت ساخت باید بسیار بالا باشد

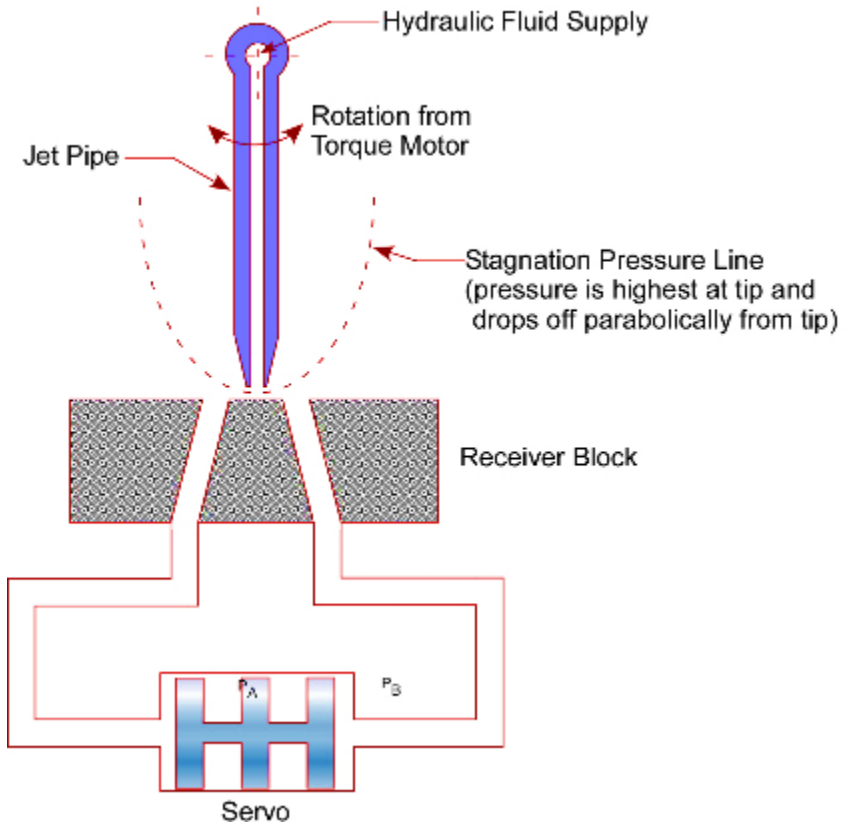
شیرهای سروو

- نوع دیگری از شیرهای سروو دو مرحله‌ای، نوع لوله جت سرو عملگر است.

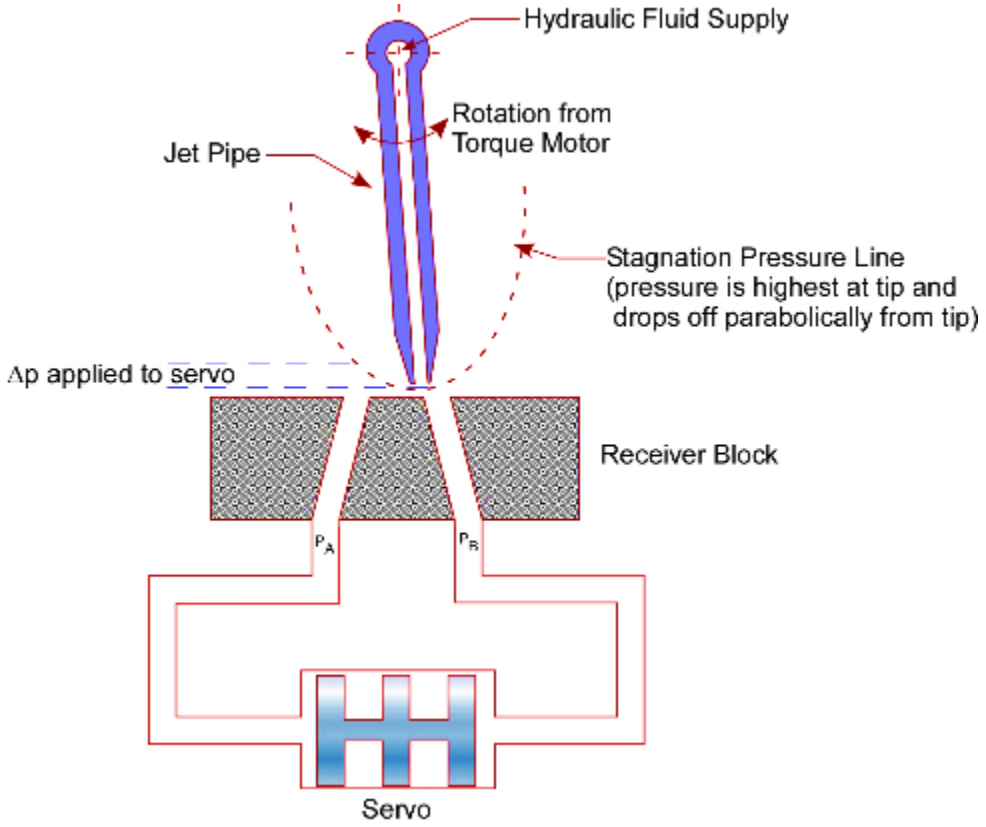


شیرهای سروو

- Jet Pipe



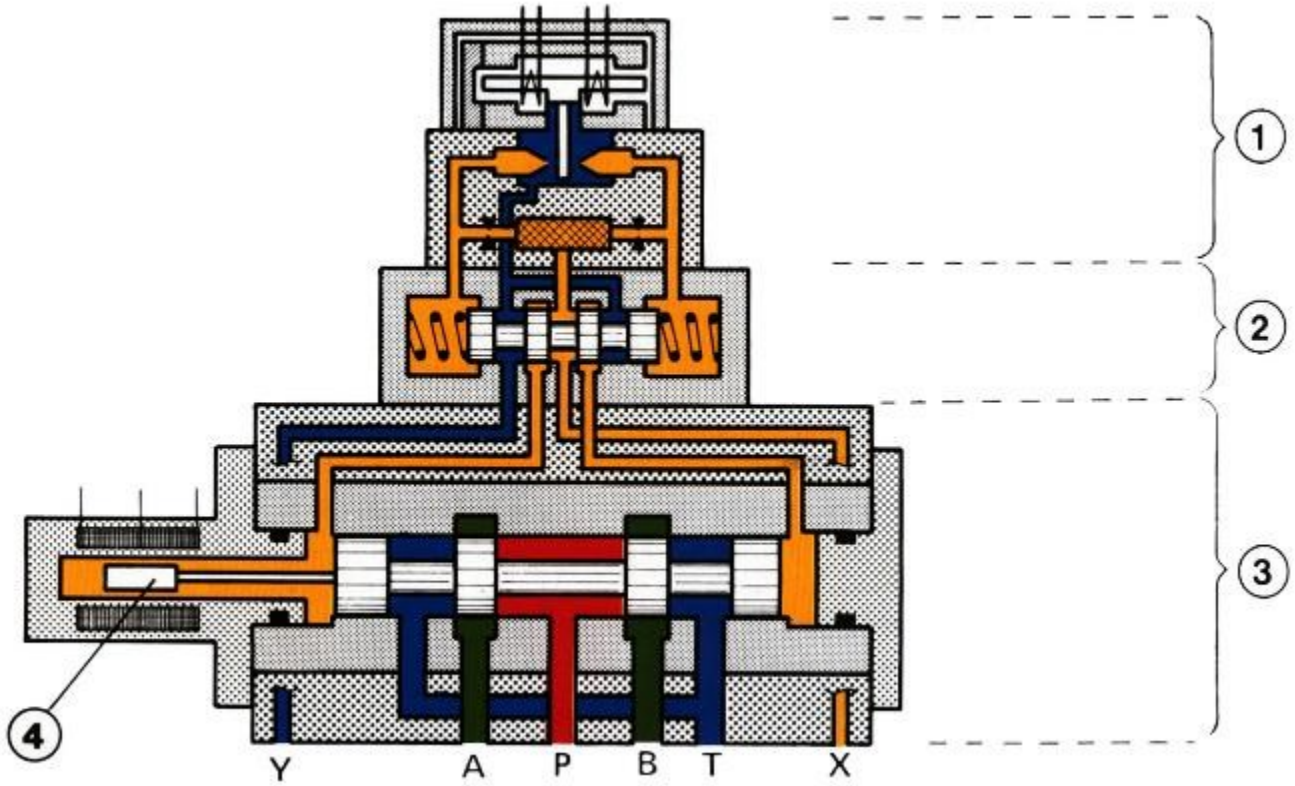
(a) Jet Pipe Centered



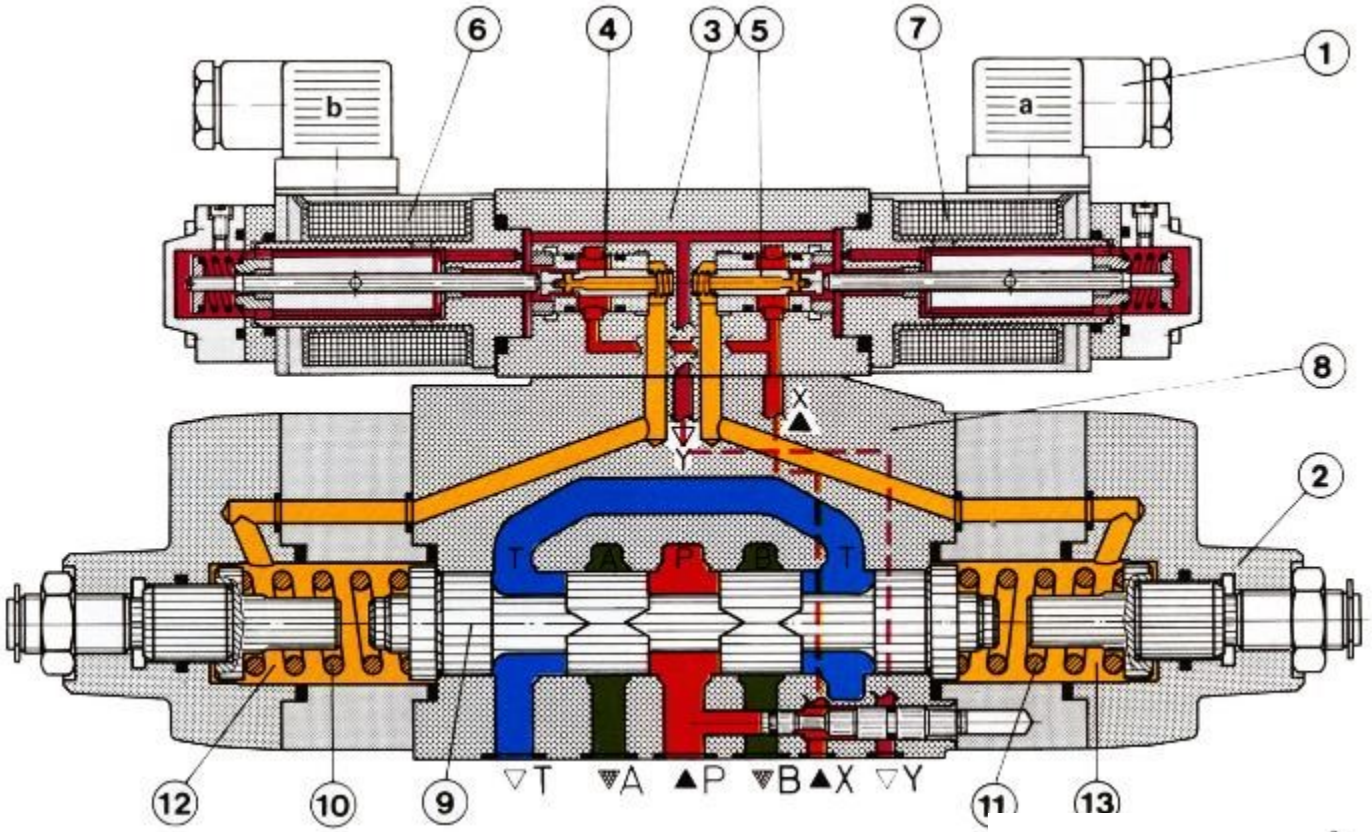
(b) Jet Pipe Rotated to Right

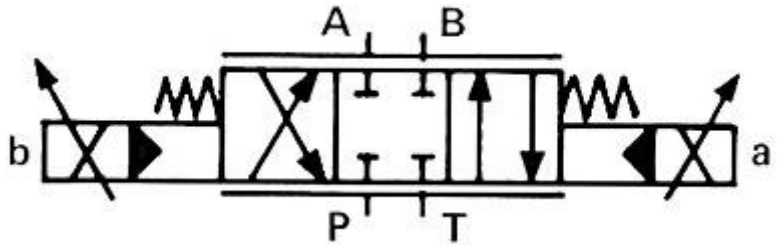
شیرهای سروو

- نوع دیگری از شیرهای سروو، از نوع سه مرحله‌ای است.
- این نوع شیرها برای توانهای بسیار بالا بکار می‌رود.



شیرهای تناسبی





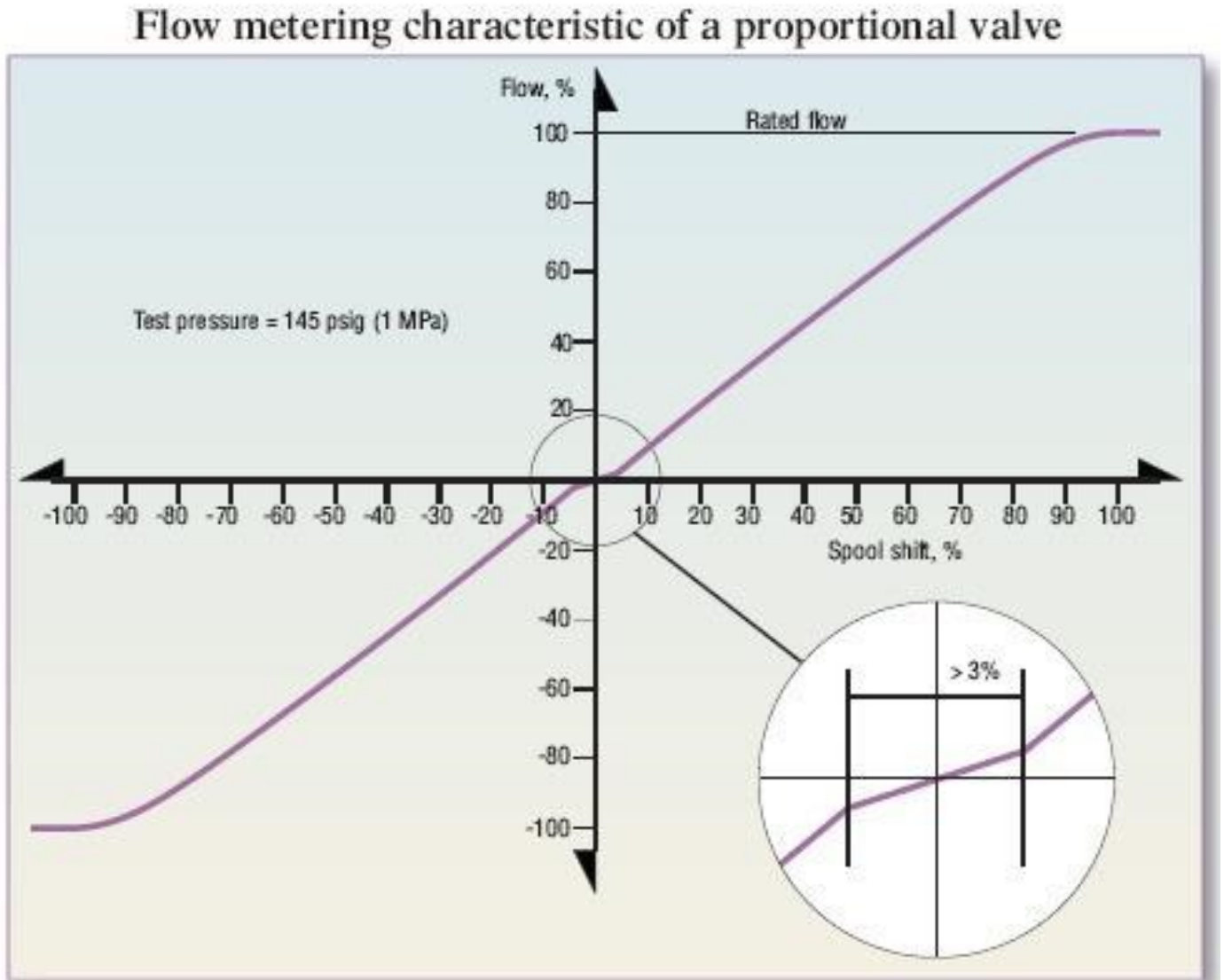
شیرهای تناسبی

- در این نوع شیر، از مغناطیس‌های تناسبی قابل تنظیم، برای کنترل دقیق و پیوسته موقعیت شیرهای کنترل جهت استفاده می‌شود.

- نیروی مغناطیس متناسب با مقدار جریان اعمالی و تقریبا مستقل از موقعیت است.

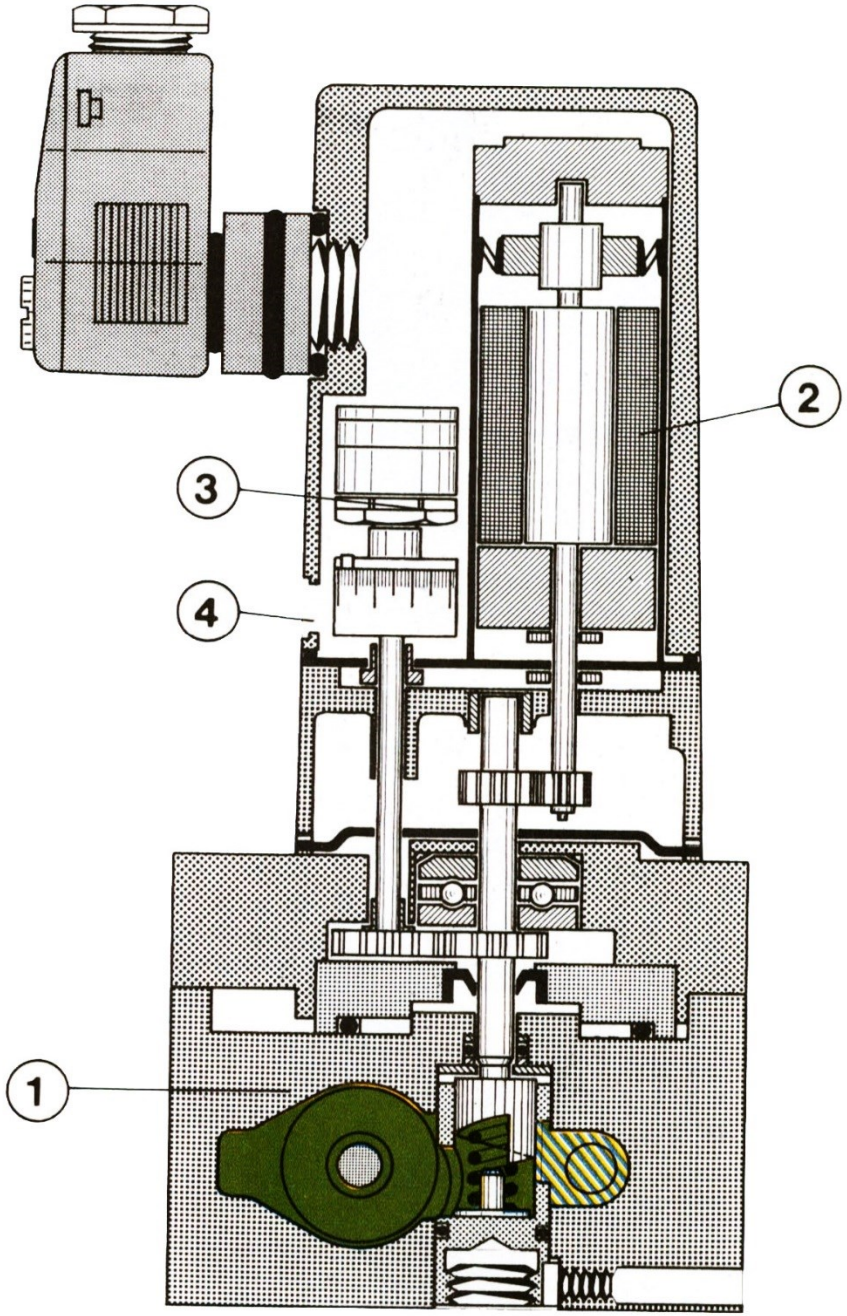
- برای کاهش اثر هیسترزیس همراه با آن از سیستم کنترل فیدبک موقعیت استفاده می‌شود.

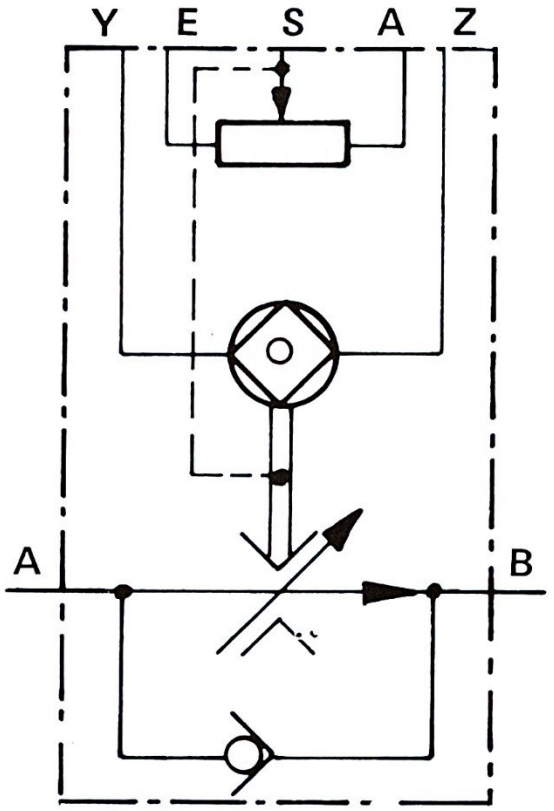
شیرهای تناسبی



شیرهای تناسبی

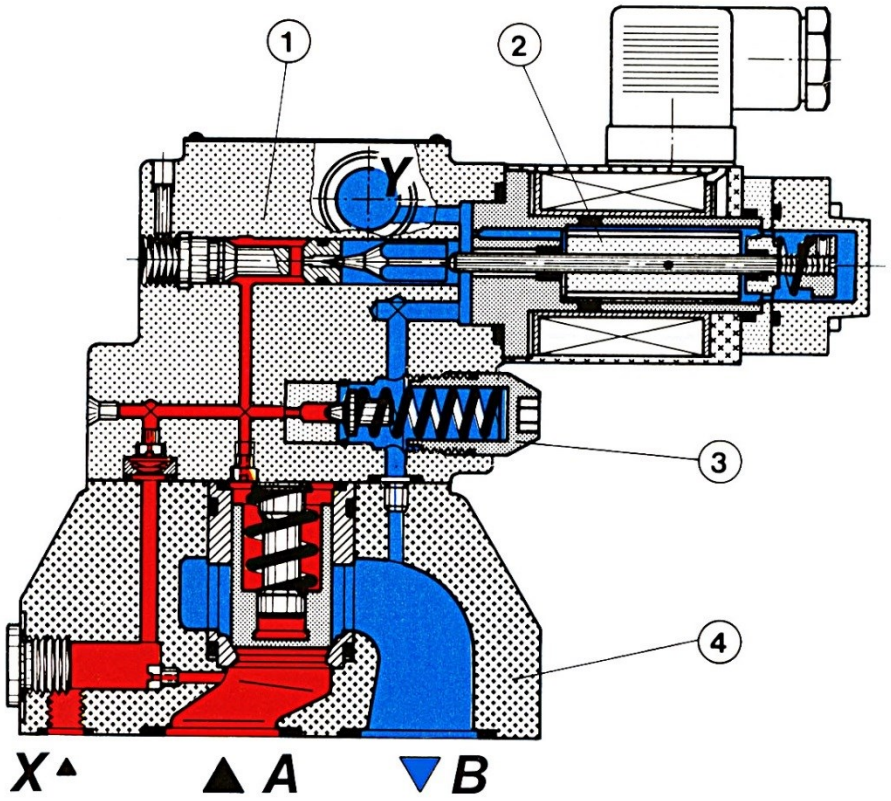
- اغلب این شیرها برای کنترل جریان بکار می‌روند.

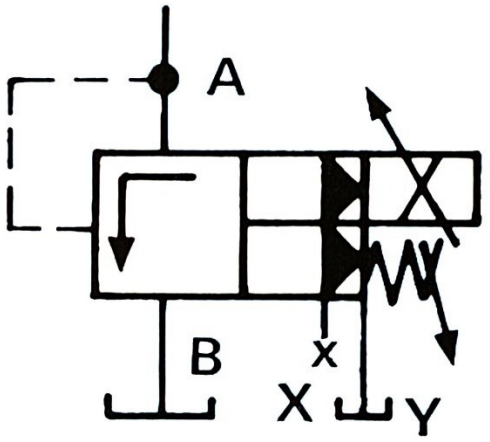




شیرهای تناسبی

- در شیرهای فشار بجای فنر، از مغناطیس استفاده شده است
  - دقت این نوع شیر بسیار زیاد است.



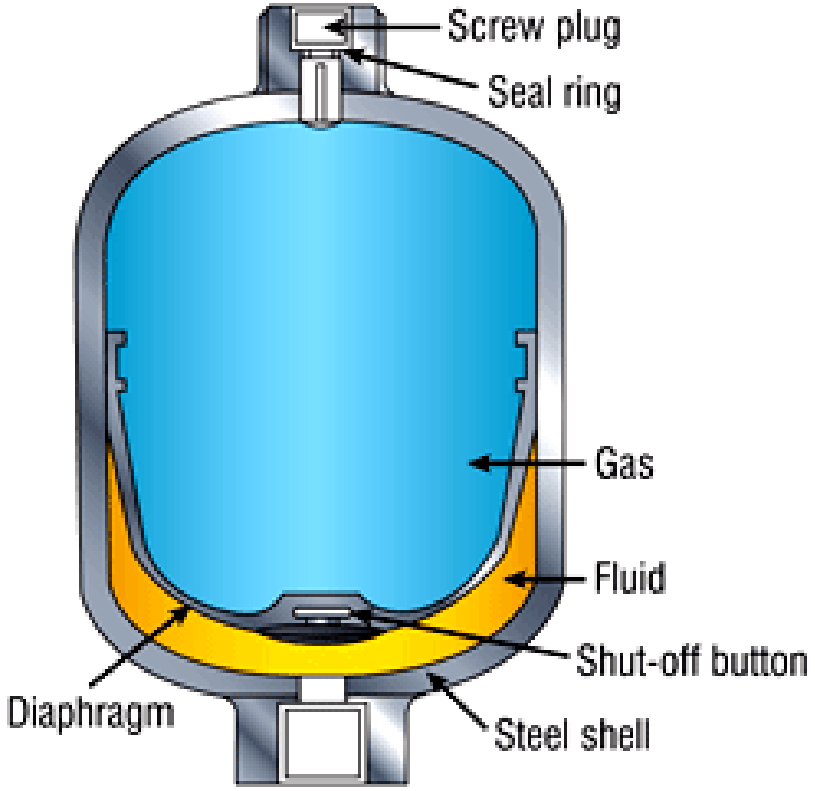


تجهیزات جانبی درسیستمهای هیدرولیکی

ساختار و عملکرد

انباره هیدرولیکی

- انباره (Accumulator)
  - ذخیره انرژی
  - ذخیره سازی سیال
  - عملکرد اضطراری
  - جبرانسازی نیرو
  - استهلاک شوک مکانیکی
  - جذب نوسان فشار
  - جبرانسازی نشتی ها

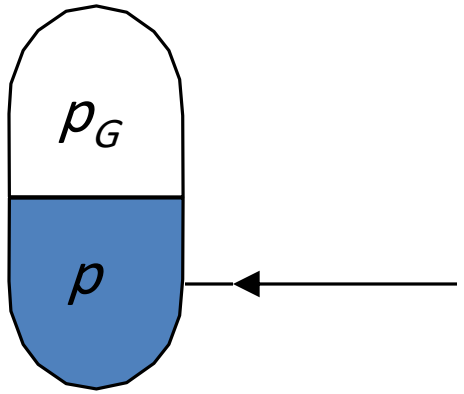


انباره هیدرولیکی

- ظرفیت هیدرولیکی انباره

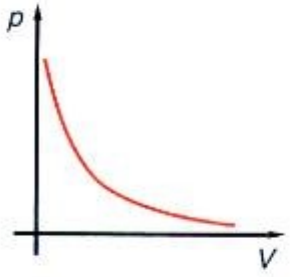
$$C_{accumulator} = \frac{V_1}{n \cdot p} \cdot \left(\frac{p_G}{p} \right)^{\frac{1}{n}}$$

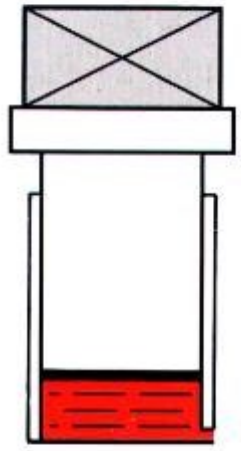
– N : انبساط پلی تروپیک



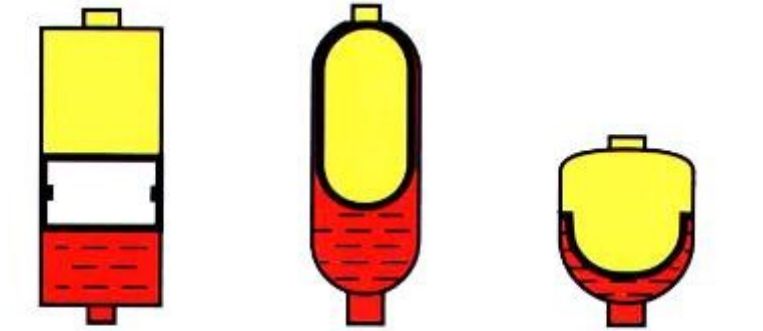
انباره هیدرولیکی

انباره گازی (هیدرونیوماتیک)



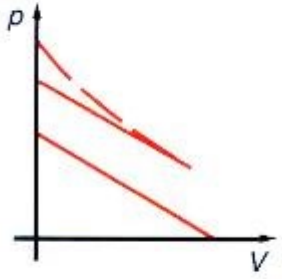


غشایی کیسه‌ای پیستون



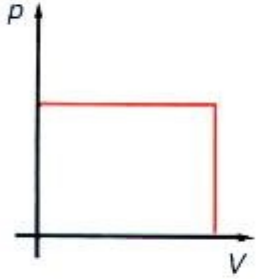
Membrane Bladder Piston

با نیروی فنری



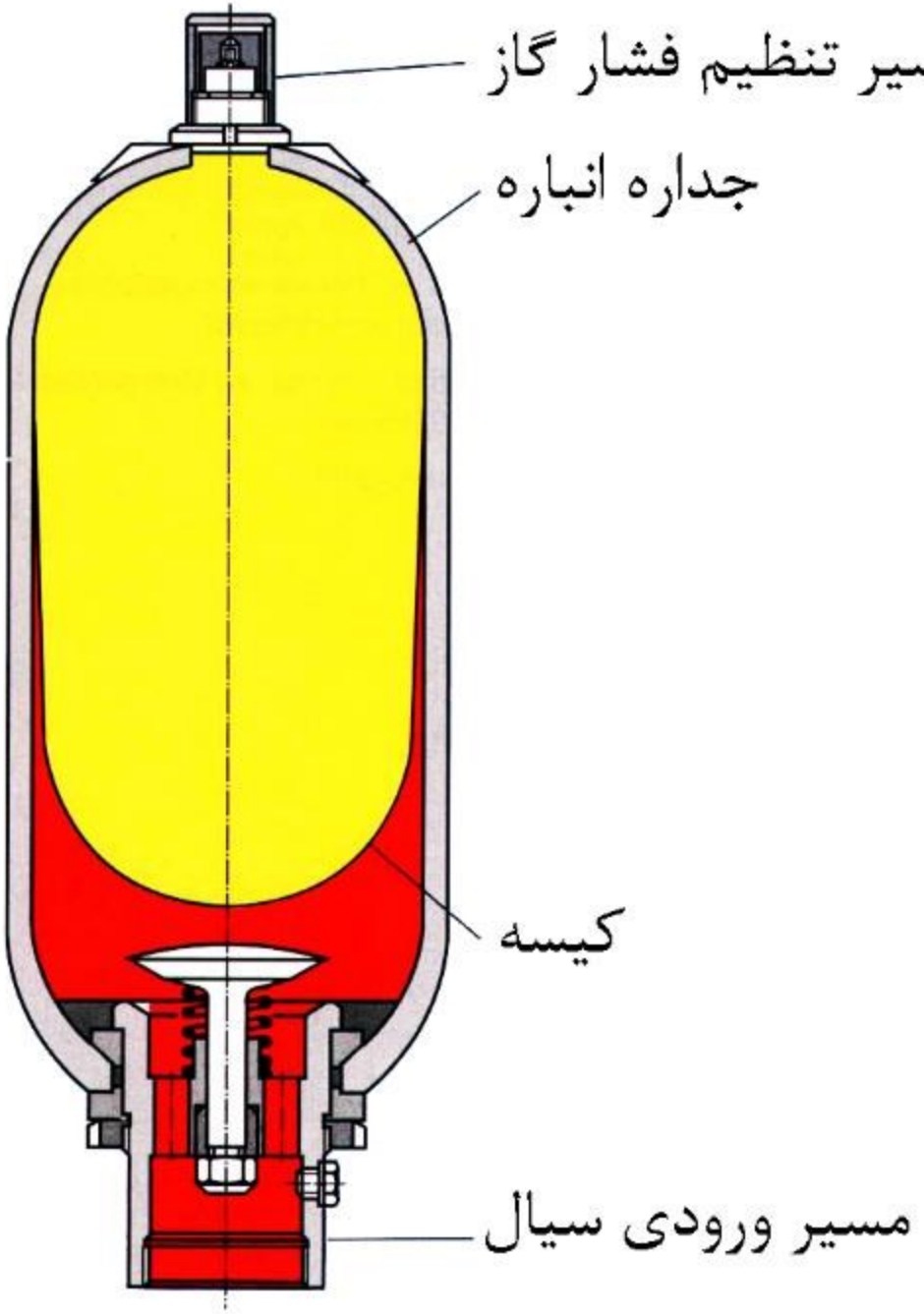


با نیروی وزنه

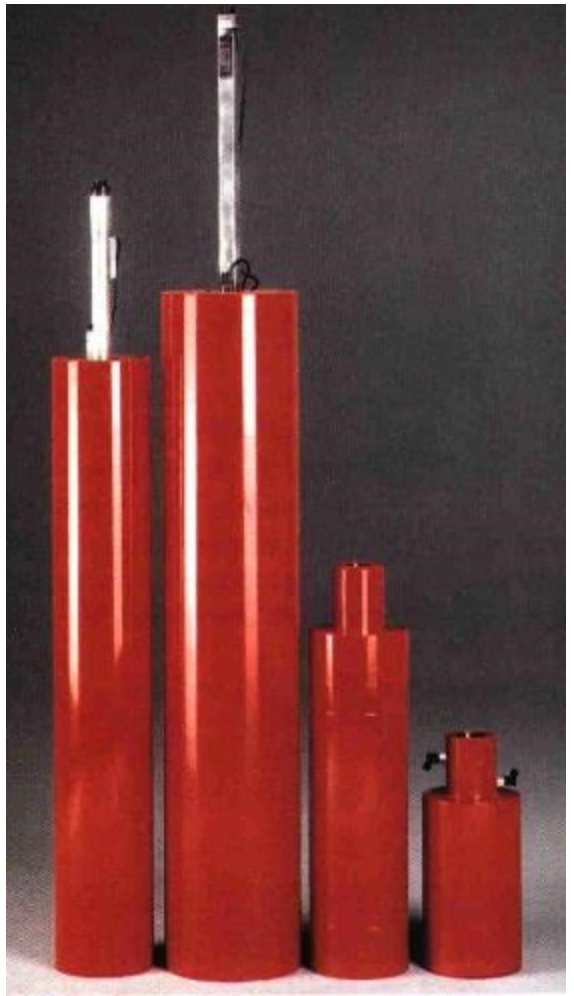


انباره هیدرولیکی

- ساختار انباره
  - کیسه معمولا با گاز CO_2 پر می شود.



انباره هیدرولیکی



پیستون



غشایی



کیسه ای

مخزن روغن

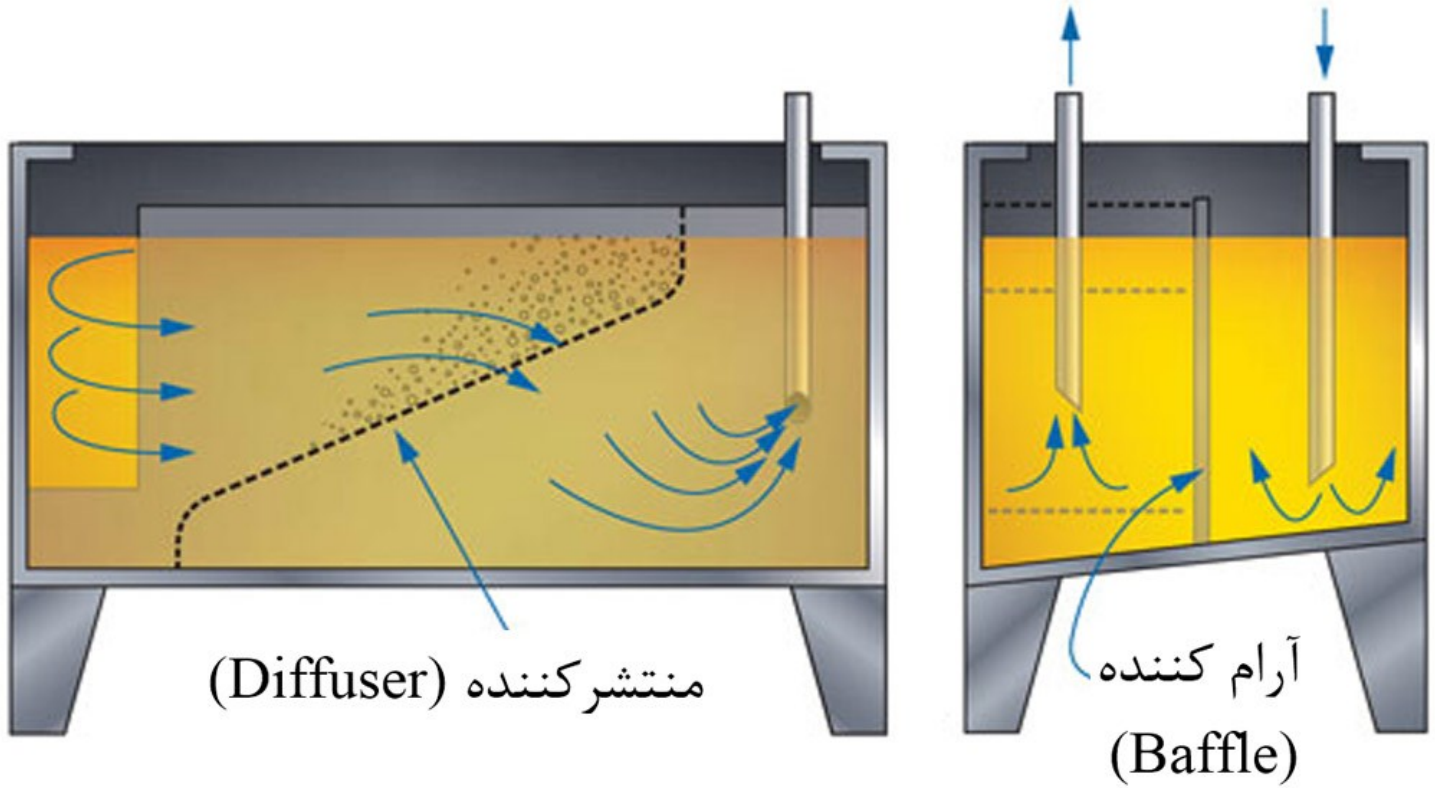
- وظایف:
  - ذخیره‌سازی حجم معینی از سیال
  - انتقال حرارت به خارج از سیستم
  - گاززدایی از روغن (صفحات بزرگ / زمان ماند طولانی)
  - جداسازی آب چگالیده
  - حمل اجزای سایر بخش‌های سیستم هیدرولیک (پمپ، شیر، لوله‌ها و...)

مخزن روغن



مخزن روغن

- ساختار مخزن برای هواگیری و رسوب زدایی از روغن



مخزن روغن

- Power pack
  - معمولا مخزن به همراه مجموعه ای از اجزای مختلف به صورت شکل می باشد:




Oil pump
Motor
Check valve
Cooling fan
Manifold block
Solenoid valve
Hydraulic filter
Pressure Gauge
Hydraulic oil level gauge

لوله و انواع آن

- لوله‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

1. صلب
2. نیمه صلب
3. انعطاف‌پذیر یا شلینگ

لوله و انواع آن

- لوله‌های صلب
  - لوله‌های صلب فولادی در ۴ وزن زیر در دسترس است.
    - استاندارد یا رده ۴۰
    - فشار قوی (XS) یا رده ۸۰ برای فشار ۱۰۰۰ psi
    - رده ۱۶۰ برای فشار ۳۰۰۰ psi
    - ابرفشار قوی (XXS)



لوله و انواع آن

Nominal Size	O.D. Inches	Schedule 40		Schedule 80	
		Wall	Weight, Lb/Ft	Wall	Weight, Lb/Ft
1/8	0.405	0.068	0.24	0.095	0.31
1/4	0.540	0.088	0.43	0.119	0.54
3/8	0.675	0.091	0.57	0.126	0.74
1/2	0.840	0.109	0.85	0.147	1.09
3/4	1.050	0.113	1.13	0.154	1.48
1	1.315	0.133	1.68	0.179	2.17
1 1/4	1.660	0.140	2.27	0.191	3.00
1 1/2	1.900	0.145	2.72	0.200	3.63
2	2.375	0.154	3.66	0.218	5.03

Nominal Size	O.D. Inches	Schedule 160		Schedule XXS	
		Wall	Weight, Lb/Ft	Wall	Weight, Lb/Ft
1/8	0.405	N/A	N/A	N/A	N/A
1/4	0.540	N/A	N/A	N/A	N/A
3/8	0.675	N/A	N/A	N/A	N/A
1/2	0.840	0.188	1.31	0.294	1.72
3/4	1.050	0.219	1.95	0.308	2.44
1	1.315	0.250	2.85	0.358	3.66
1 1/4	1.660	0.250	3.77	0.382	5.22
1 1/2	1.900	0.281	4.86	0.400	6.41
2	2.375	N/A	N/A	N/A	N/A

لوله و انواع آن

- لوله‌های نیمه صلب

– لوله‌های بی‌درز فولادی، آلومنیومی، و مسی که در دستگاه‌های بادی و روغنی بکار می‌روند.

- لوله‌های فولادی بی درز (SAE 1010) با تابکاری کامل
- لوله‌های فولادی بی درز ضد زنگ تابکاری کامل
- لوله‌های بی درز آلومینیومی (B50S-0)
- لوله‌های بی درز مسی با تابکاری کامل

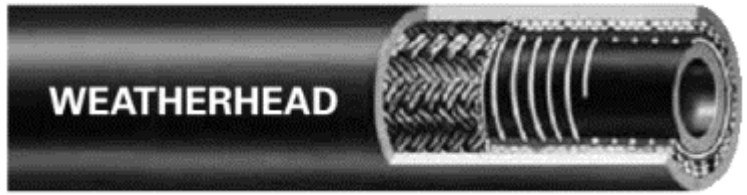


لوله و انواع آن

- لوله‌های انعطاف‌پذیر یا شلینگ
  - زهواره: سازه نگهدارنده لوله
    - کتان، الیاف مصنوعی، پنبه نسوز، سیم
    - بافته شده، گیس بافت، تابیده، مارپیچی



لوله و انواع آن

















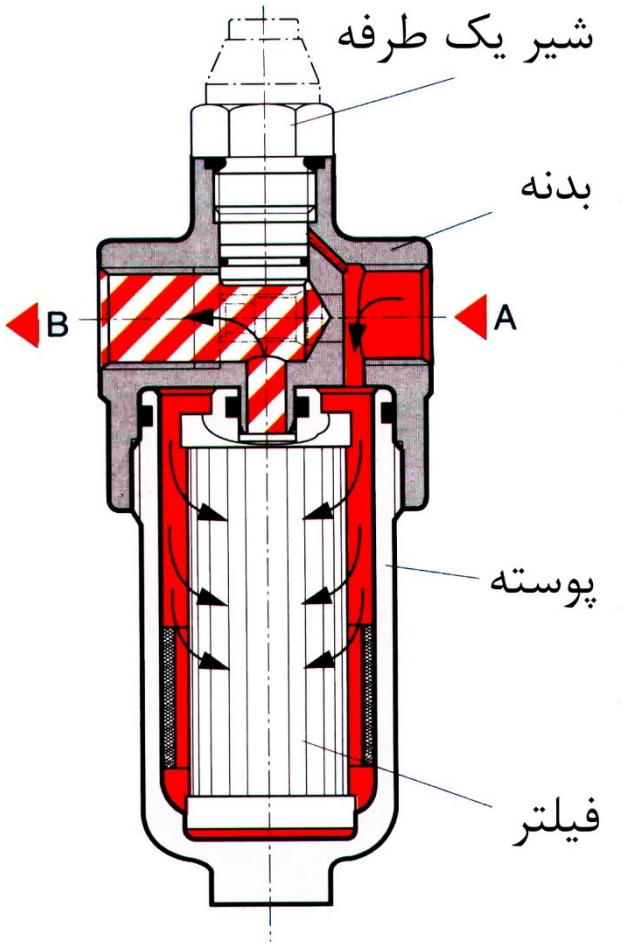
لوله و انواع آن





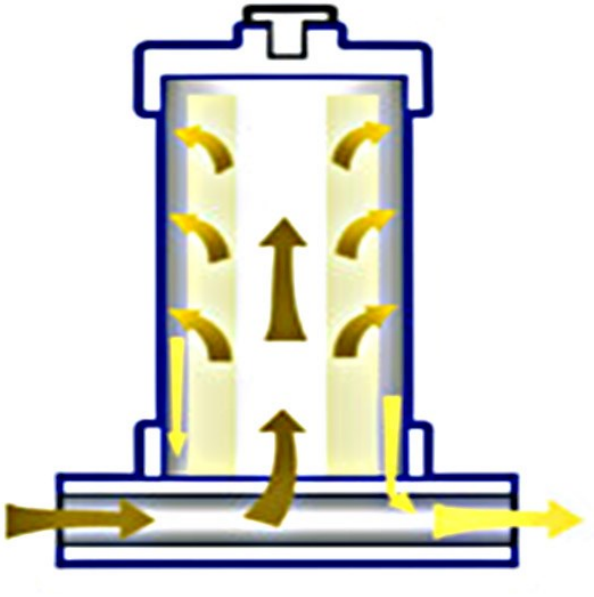
فیلتر

- دلیل استفاده از صافی یا فیلتر
  - پیشگیری از ورود ذرات گرد و غبار به اجزای حساس پمپ



فیلتر

- انواع فیلتر
  - فیلترهای سطحی (Surface filter)
  - فیلترهای حجمی یا عمقی (Volume filter)



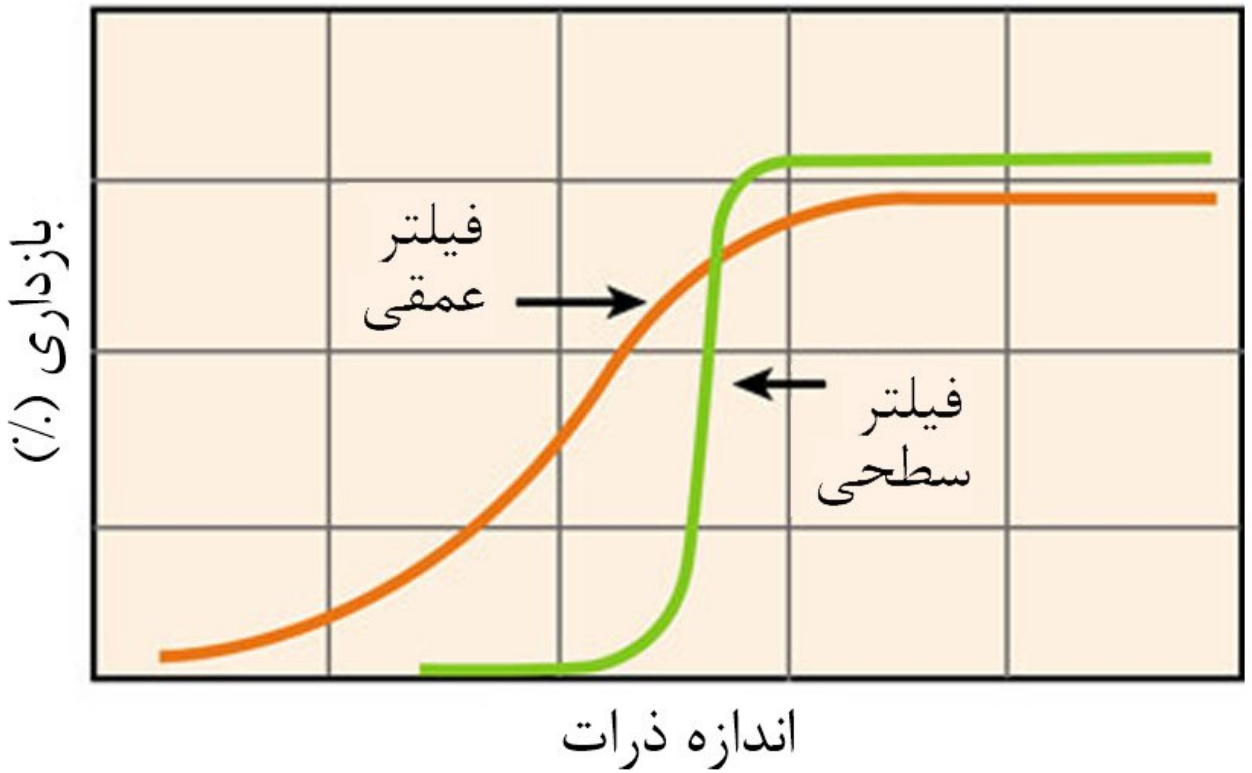
فیلتر سطحی



فیلتر عمقی

فیلتر

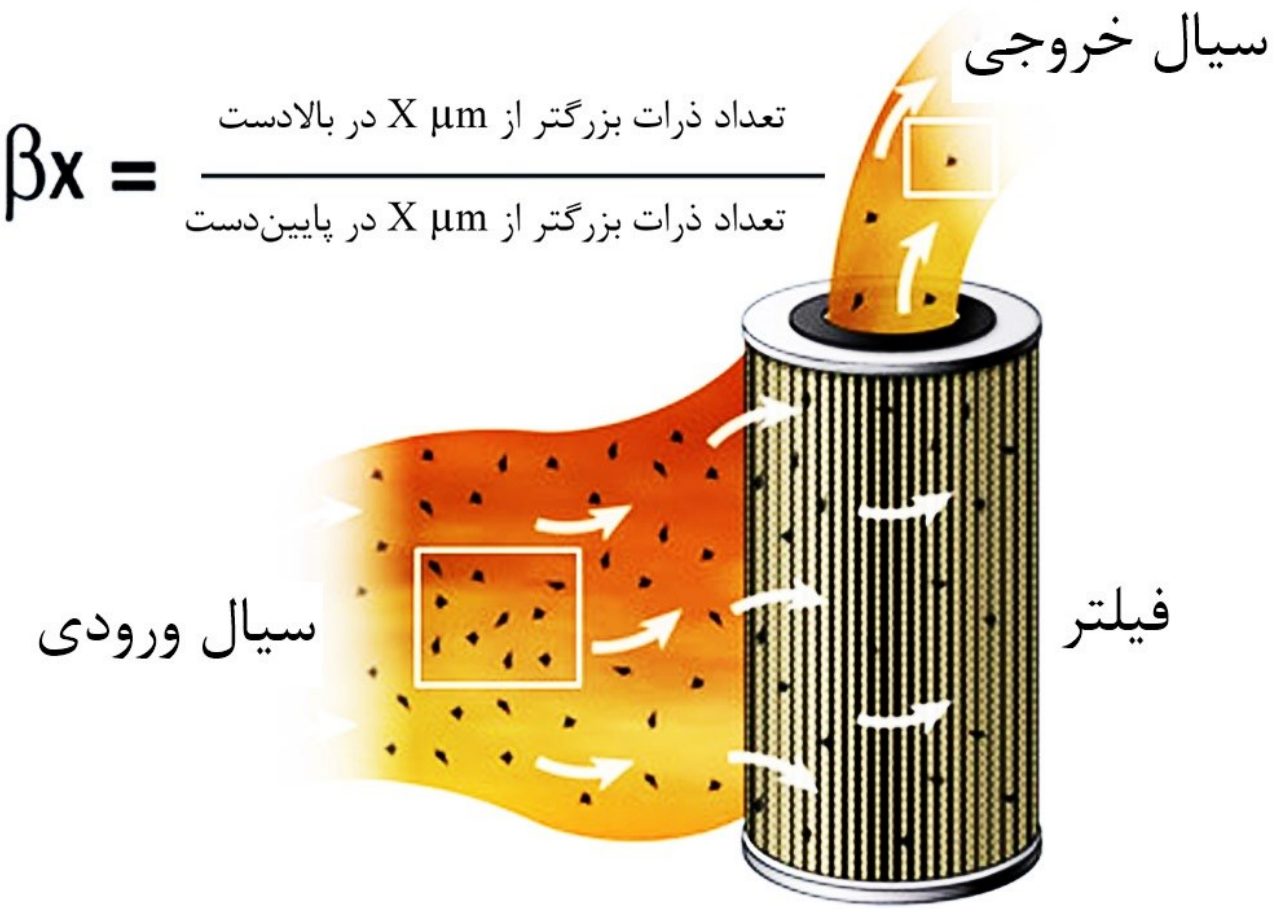
- تاثیر اندازه ذرات بر میزان بازداری در فیلترهای عمقی و سطحی



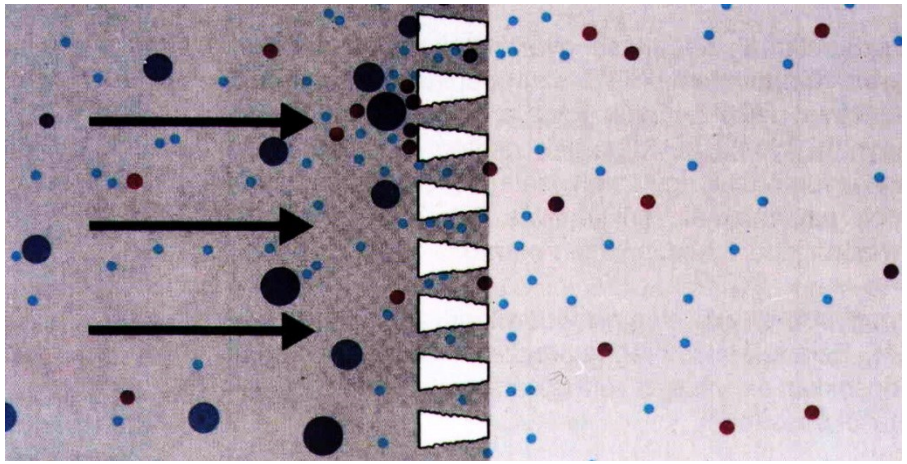
فیلتر

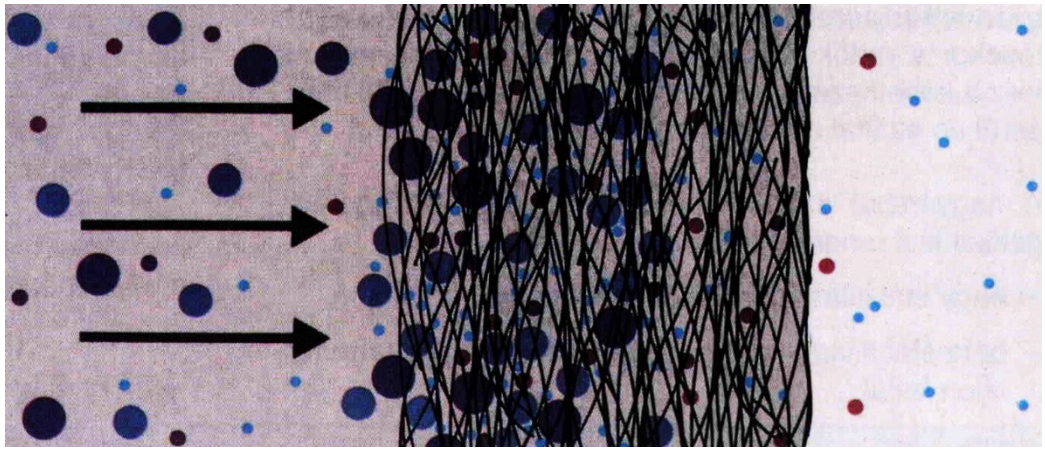
- ضریب کارایی فیلتر

$$\beta x = \frac{\text{تعداد ذرات بزرگتر از X µm در بالادست}}{\text{تعداد ذرات بزرگتر از X µm در پایین‌دست}}$$



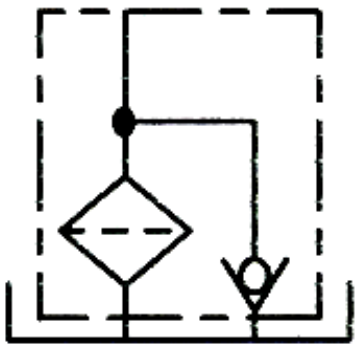
فیلتر





فیلتر

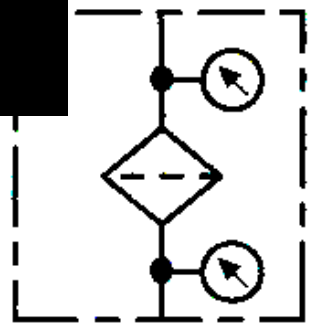




- فیلتر مکشی (Suction filter)
  - برای محافظت از پمپ برای ذرات بزرگتر از ۱۰ میکرون
  - هزینه پایین
  - تعمییرات مشکل (بخصوص در هنگام نصب در زیر سطح سیال)
  - مجهز به شیر یک طرفه بوده، فشار باز شدن آن بسیار پایین است (جلوگیری از کاویتاسیون)
  - بهترین درجه فیلتر کردن
    - مش فولاد ضدزنگ: ۲۵ تا ۹۰ μm
    - کاغذ، پشم شیشه و پلی‌استر: ۱۰ μm
    - پشم شیشه: ۱۰ تا ۲۵ μm

فیلتر



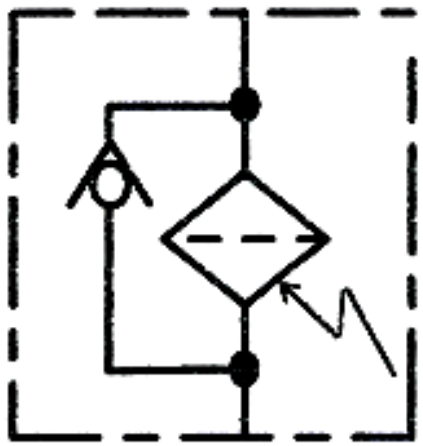


- فیلتر فشاری(Pressure filter)
  - هزینه متوسط (بسته به اندازه و فشار)
  - درجه بالای فیلتر کردن
  - بهترین درجه فیلتر کردن
    - مش فولاد ضدزنگ: ۲۵ تا ۶۶۰ µm
    - کاغذ، پشم شیشه و پلی‌استر: ۱ تا ۲۰ µm

فیلتر



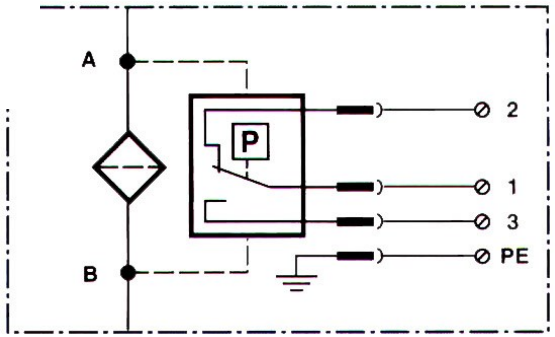
- فیلتر مسیر بازگشت (Return-line filter)
  - بسیار ارزان
  - تعمیر آسان
  - بدون از کار افتادگی
    - چون همراه با فیلتر داپلکس استفاده می شود
  - درجه فیلتر کردن عالی
    - مش فولاد ضدزنگ: ۴۰ تا ۹۰ µm
    - کاغذ: ۱۰ µm
    - پشم شیشه: ۱۰ تا ۲۵ µm



فیلتر



- سیستم فیلتر بای‌پس
  - بسیار پرهزینه، که البته به دلیل طول عمر و نرخ پایین کنه شدن سیال هیدرولیک به سرعت جبران می‌شود
  - درجه فیلتر کردن بسیار بالا ۰.۵ µm
  - حذف رسوب و لجن از سیال
  - بدون شوک فشار هنگام عبور از فیلتر
  - امکان فیلتر کردن off-line

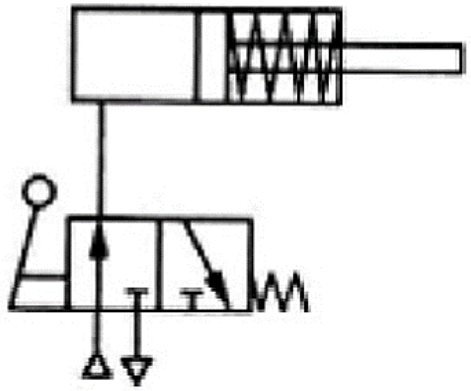


ایجاد حرکت اتوماتیک

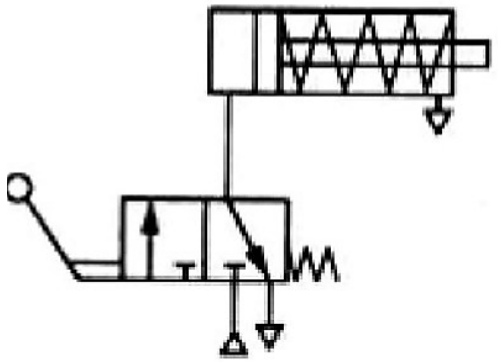
کنترل در سیستمهای نیوماتیکی

کنترل حرکت یک جک یک طرفه

- برای این منظور می توان از یک شیر N.C. 3×2 بهره برد.

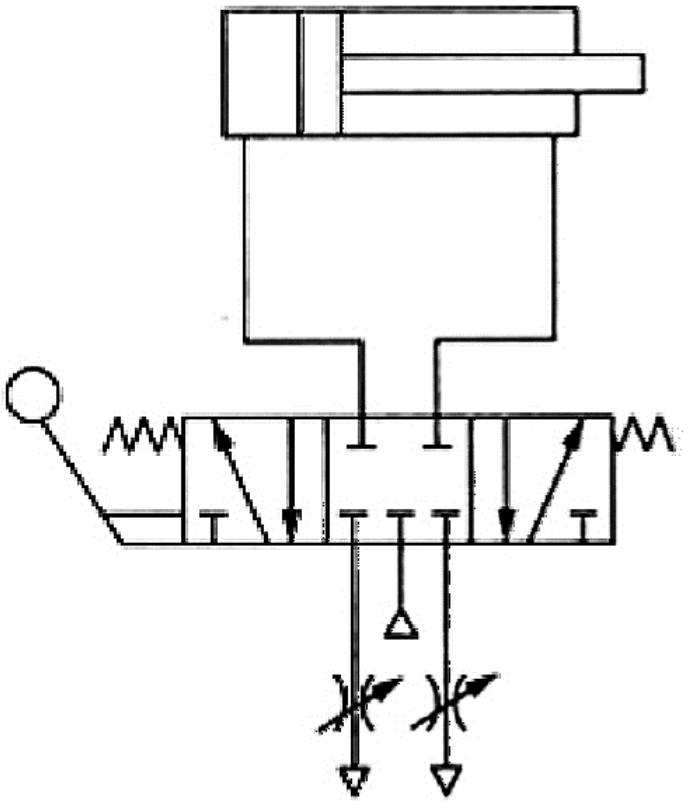


وضعیت ۲: شیر باز، جک در وضعیت باز شده



وضعیت ۱: شیر بسته، جک در وضعیت برگشت

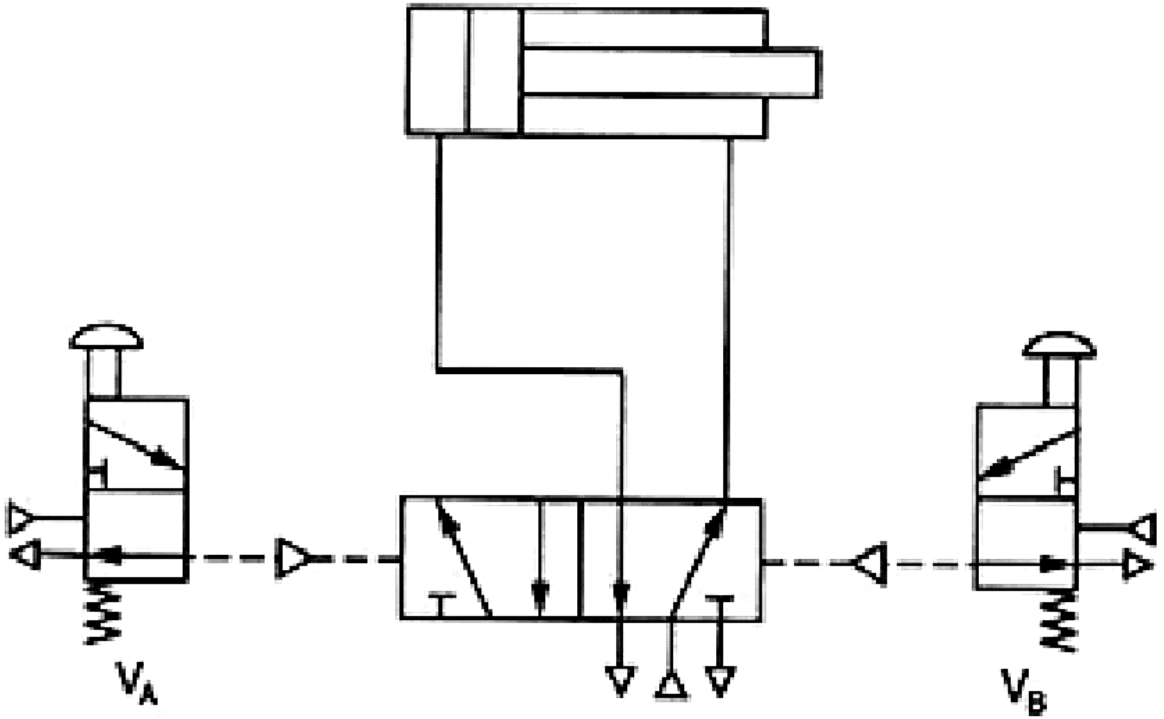
کنترل حرکت یک جک دوطرفه



- اگرچه می توان از شیرهای کنترل جهت متفاوتی استفاده نمود، ولی از روش های مرسوم برای این منظور استفاده از شیر 5×2 یا شیر 5×3 بهره برد.
- تفاوت آنها در وضعیت بدون حرکت بلوک وسط است.

کنترل حرکت با شیرهای کنترل و فرمان پیلوت

- در سیستم های نیوماتیک، ممکن از فشار خط قدرت متفاوت از فشار خط کنترل باشد. برای این منظور استفاده از شیرهای فرمان و پیلوت برای کنترل موقعیت، گزینه مناسبی است.

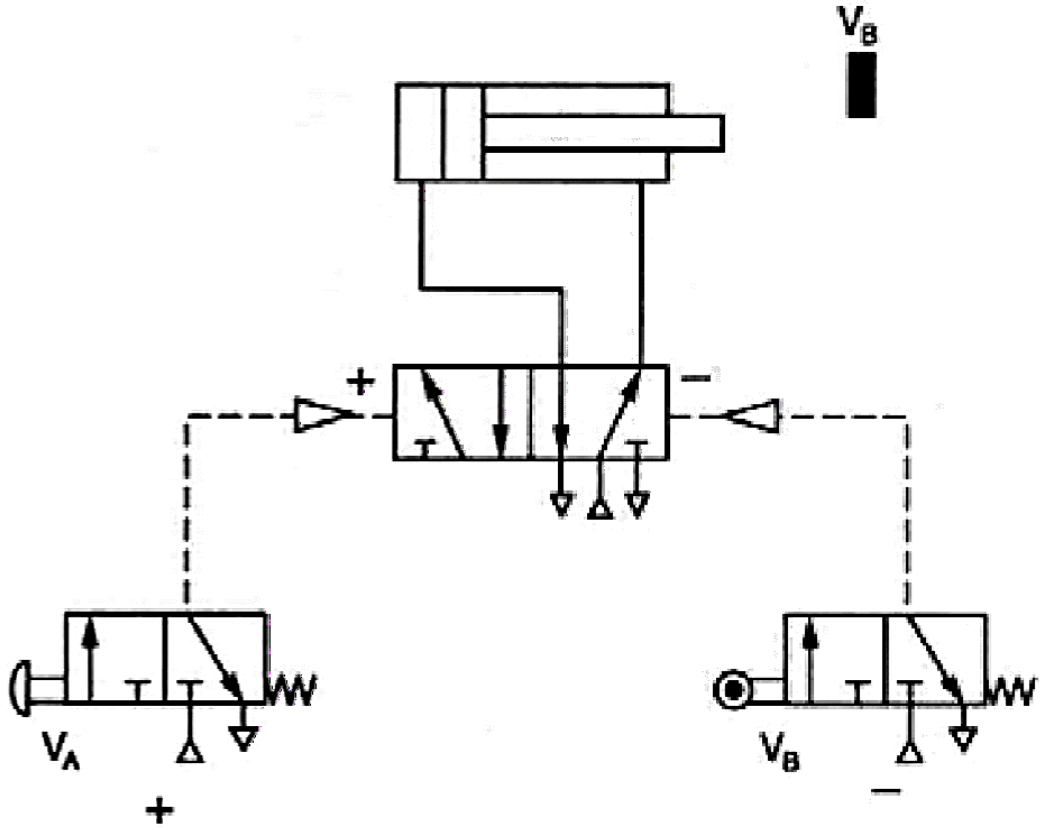


خط چین نشانگر خط فشار پیلوت است

حرکت اتوماتیک جک دوطرفه

اضافه کردن ۱ یا چند سنسور می تواند نقطه شروع و پایان حرکت جک ها را مشخص نماید.

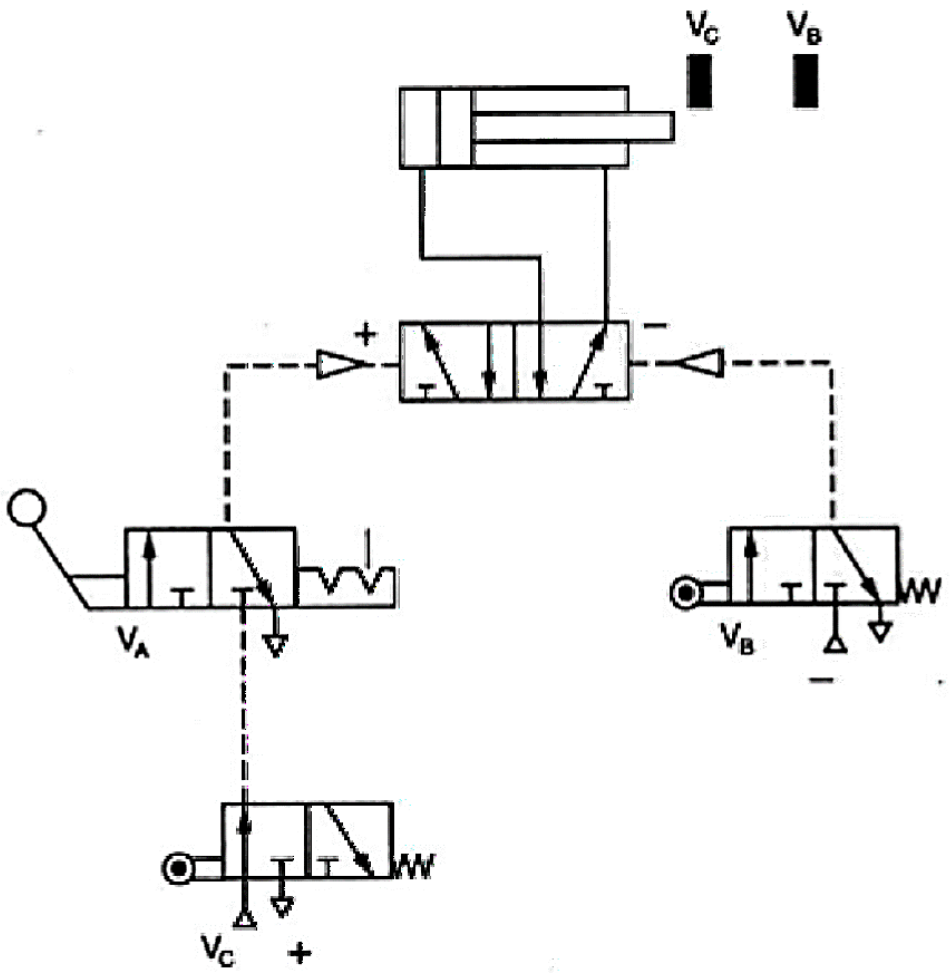
در این صورت امکان ایجاد حرکت اتوماتیک فراهم خواهد شد.



با فشار دکمه فشاری، جک به سمت جلو حرکت و پس از برخورد انتظار می رود به عقب برگردد

* (ولی تا زمانی که دست از دکمه برداشته شود، برنمی گردد)

حرکت اتوماتیک جک دوطرفه



- می توان با در نظر گرفتن ۲ شیر فرمان (سنسورهای موقعیت) و یک شیر 5×2 حرکت رفت و برگشت اتوماتیک ایجاد نمود.

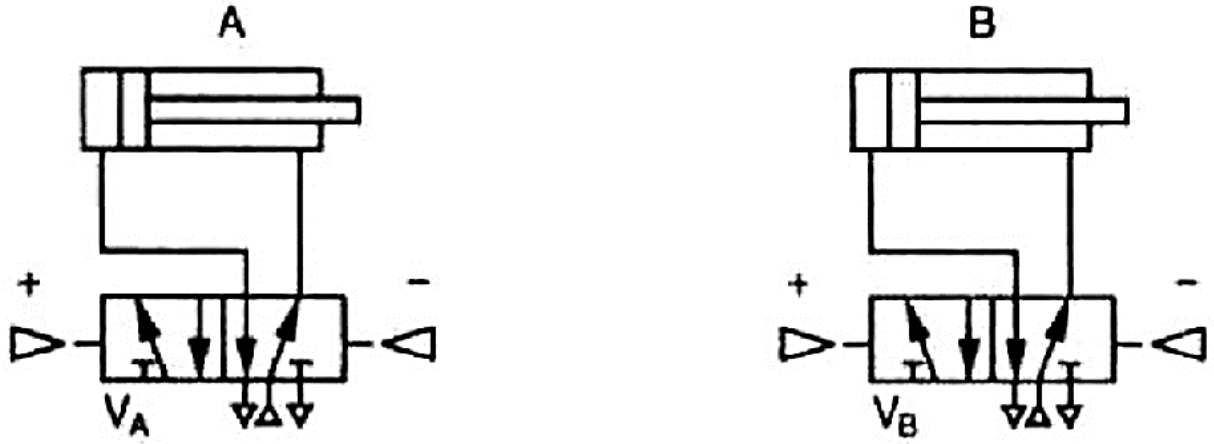
- تا زمان باز بودن شیر 3×2 حرکت رفت و برگشت ادامه خواهد یافت.

حرکت ترکیبی توسط چند جک

- با استفاده از سنسورهای موقعیت می توان حرکت های ترکیبی نیز ایجاد نمود. به عنوان مثال:

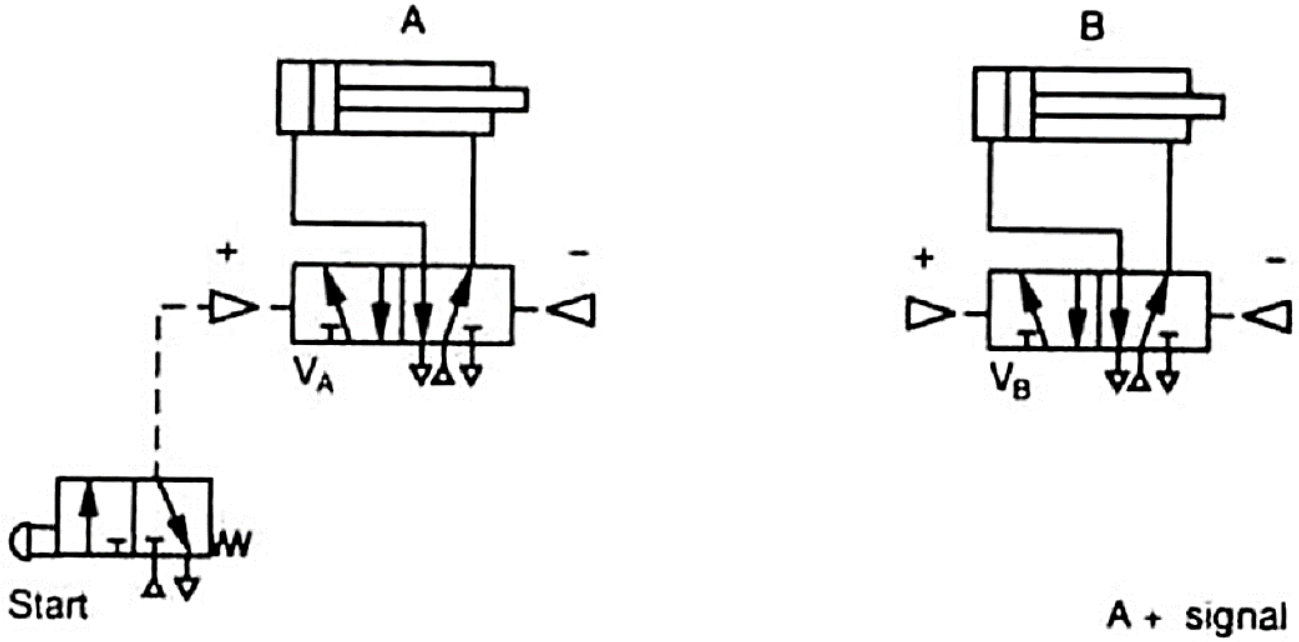
A+ B+ A- B- repeat

- مرحله اول: انتخاب شیر 2×5 برای حرکت جک ها



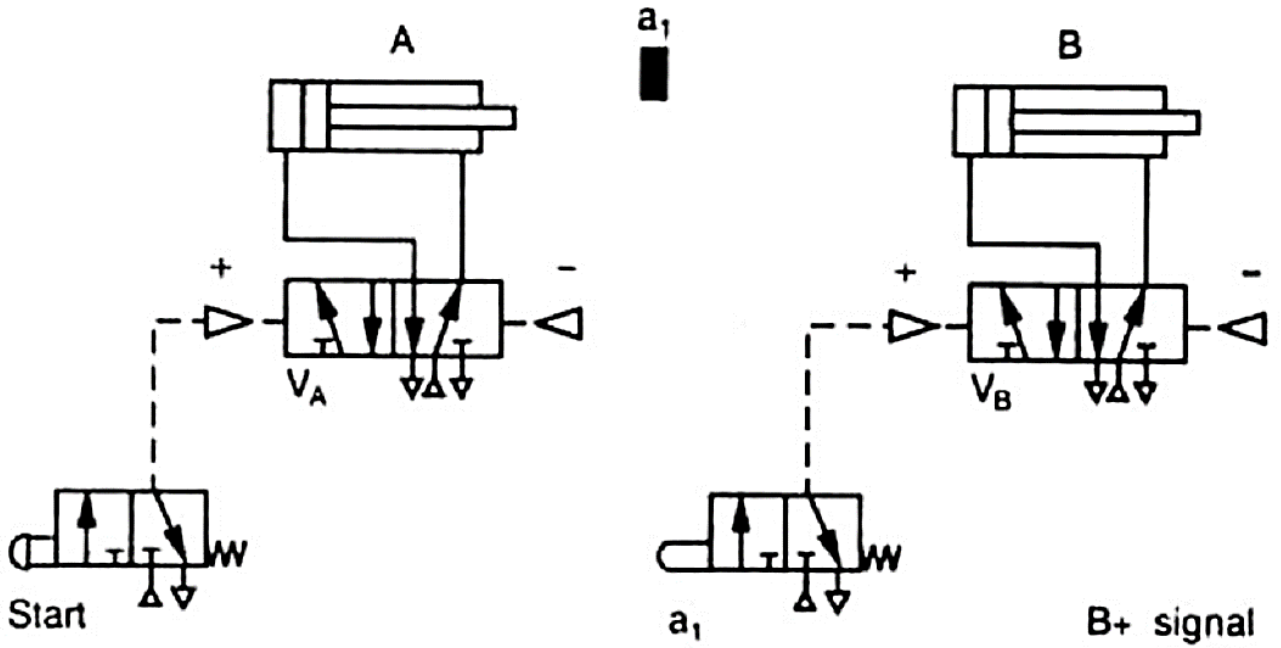
حرکت ترکیبی توسط چند جک

- مرحله دوم: انتخاب شیر 3×2 برای شروع حرکت.
  - با فشار دکمه حرکت A+ انجام می شود.



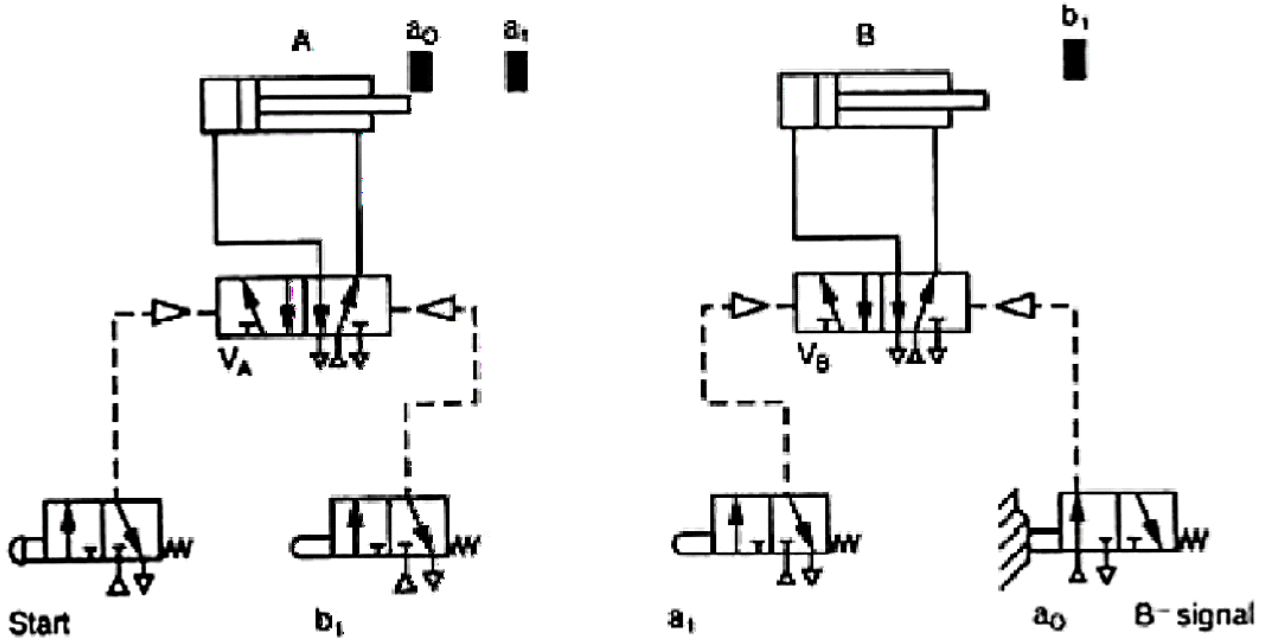
حرکت ترکیبی توسط چند جک

- مرحله سوم: سنسور 3×2 فشاری .N.C در نقطه a_1
  - تشخیص رسیدن جک A به پایان کورس آن
  - برقراری سیگنال هوا برای انجام حرکت B+



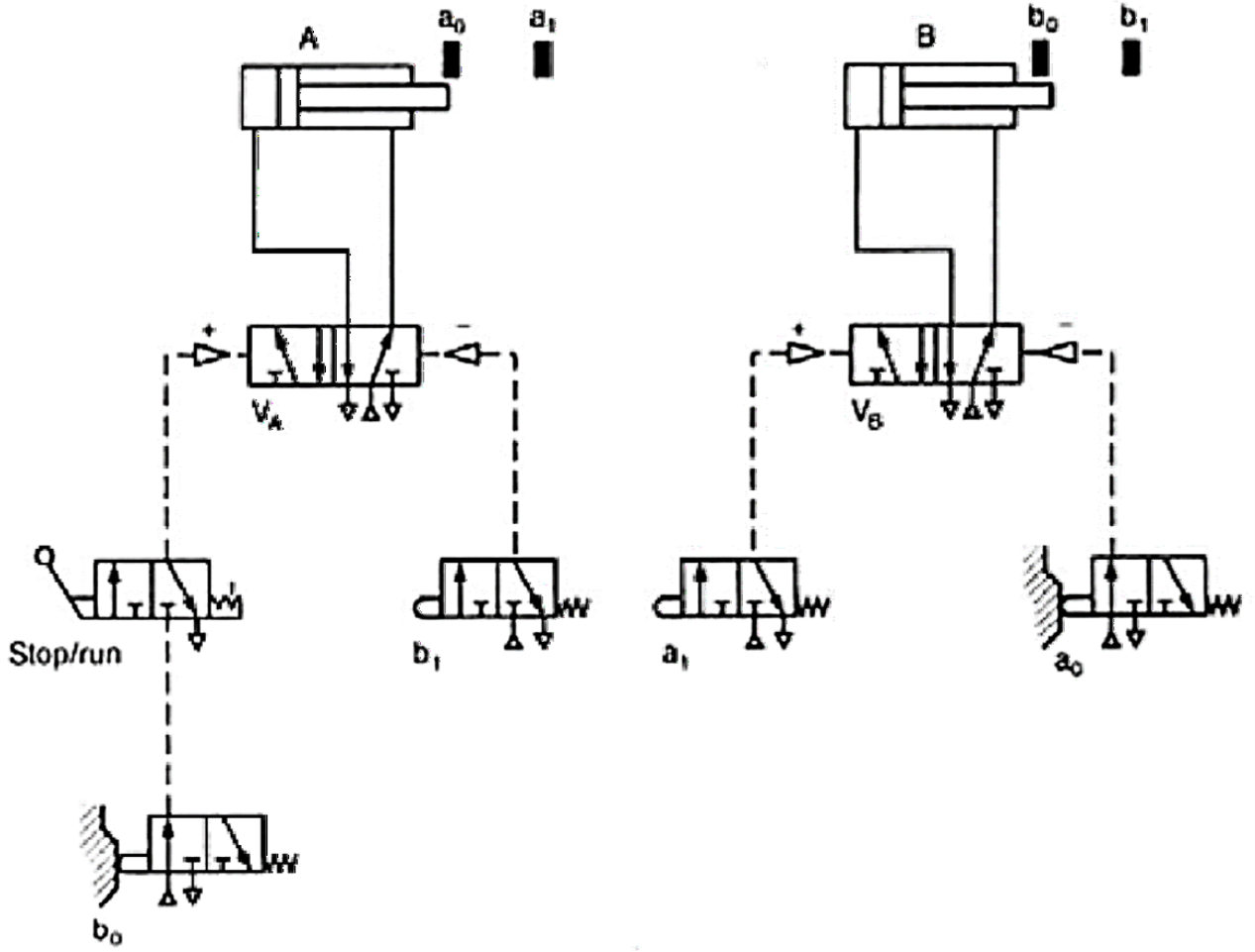
حرکت ترکیبی توسط چند جک

- مرحله چهارم: سنسور 3×2 فشاری .N.C در نقطه b_1 و
  - درگیری در نقطه b_1 سبب بازگشت و حرکت -A می شود
  - سنسور a_0 به معنی درگیر بودن برای تشخیص نقطه اولیه حرکت کل مجموعه و امکان تکرار حرکت ها است.

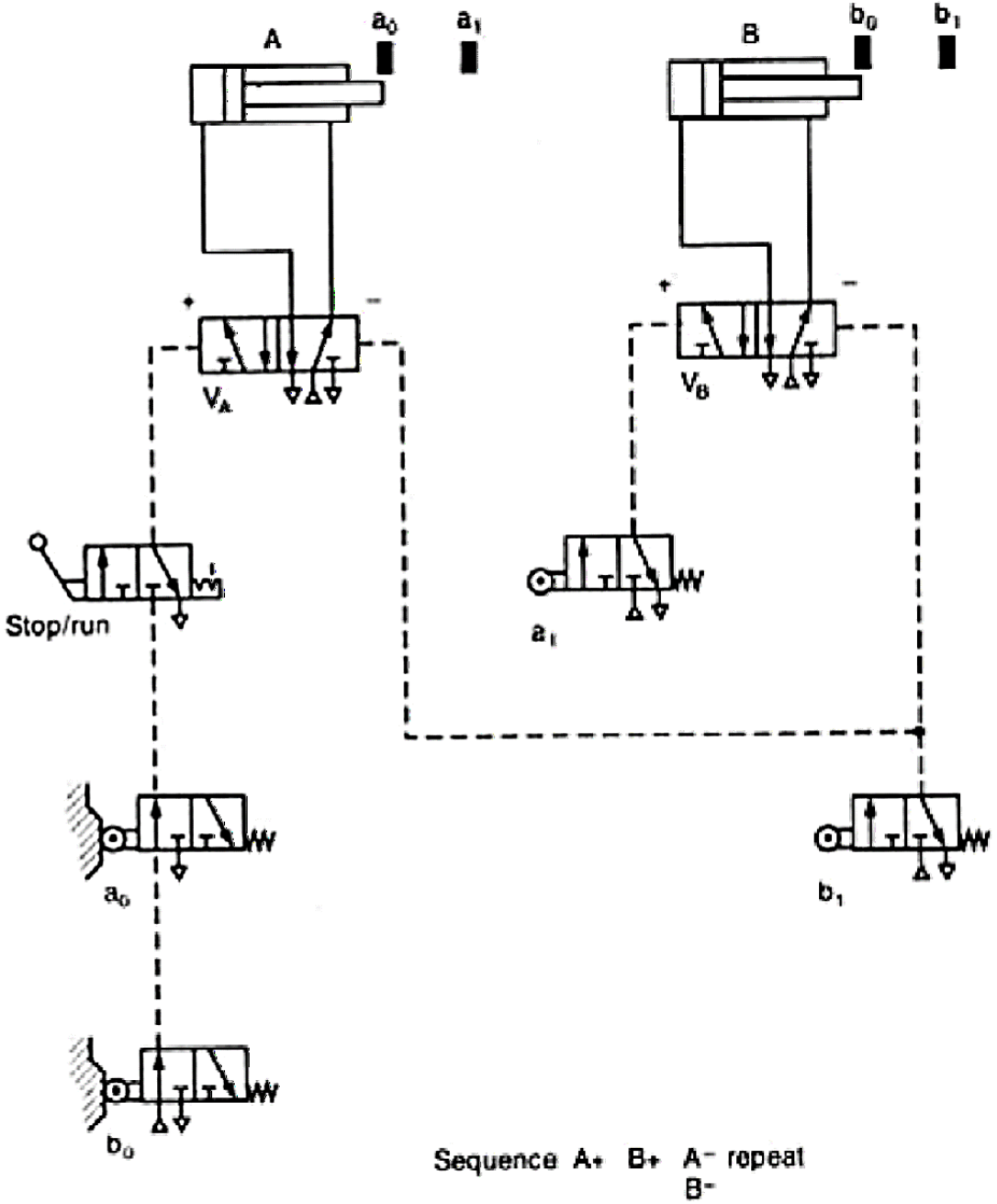


حرکت ترکیبی توسط چند جک

- مرحله نهایی: درگیری سنسور در نقطه b_0 نشانگر بازگشت جک B و برقراری جریان هوا برای جک A جهت شروع مجدد حرکت است.



ایجاد دو حرکت همزمان



Sequence A+ B+ A- repeat
B-

A+ B+ A- repeat
B-

تداخل سیگنال ها

- فرض کنید می خواهیم حرکت زیر را ایجاد نماییم:

A+ B+ /B- A-

- مشکل اصلی این حرکت زمانی آشکار که در حرکت سوم یعنی B- جک B، به نقطه شروع حرکت خود باز می گردد.
- این امر باعث تداخل بین دو حرکت خواهد شد.
- نتیجه آن ثابت ماندن جک A به صورت باز و عقب و جلو رفتن پیاپی جک B خواهد شد.

مدارهای موازی

- برای حل مشکل تداخل سیگنال های استفاده از مدارهای موازی پیشنهاد شده است.

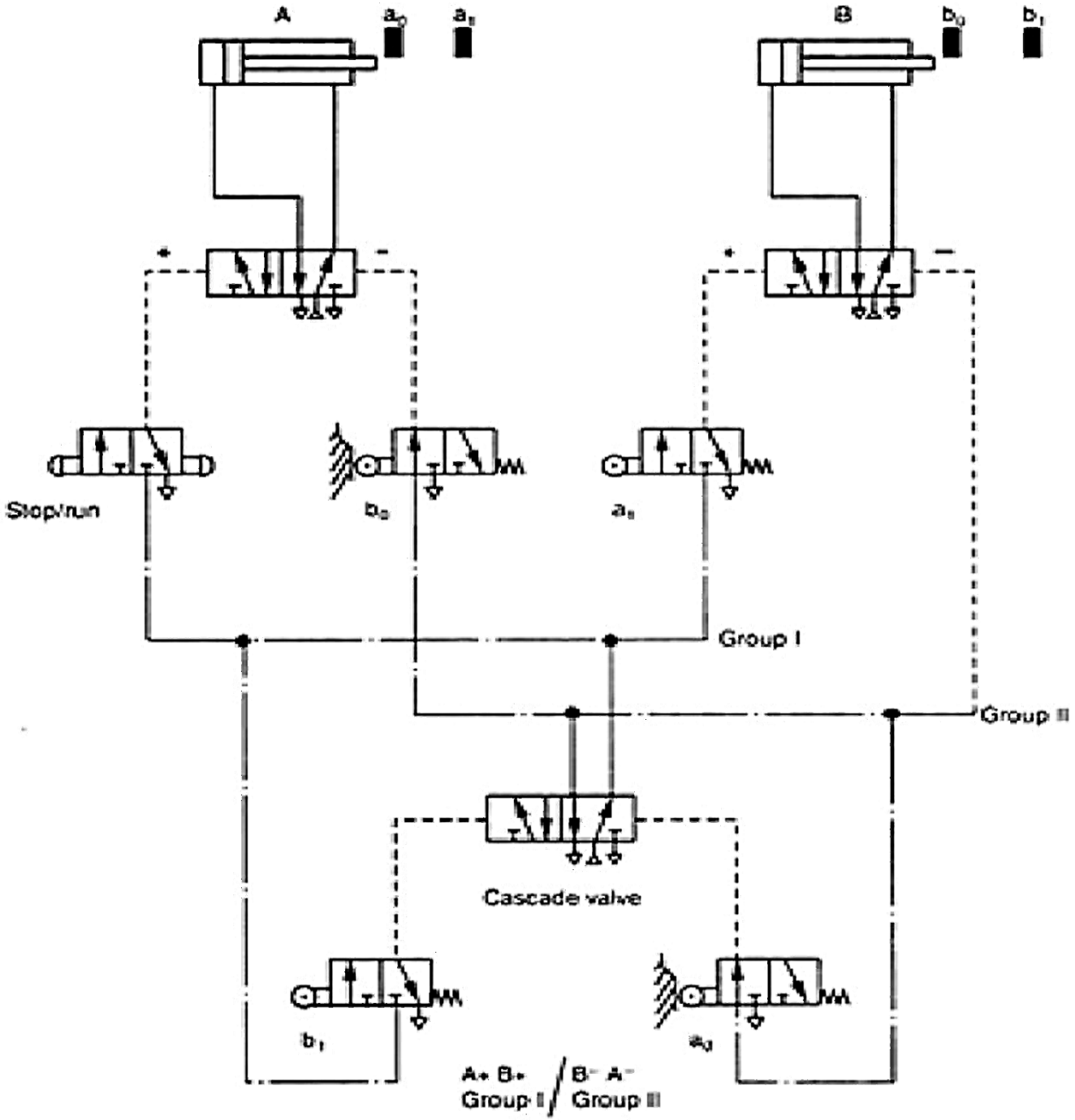
A+ B+ /B- A-
GI GII

- برای این منظور، حرکت ها به دو گروه باز شونده و جمع شونده تقسیم می شوند.

مدارهای موازی

- مرحله ۱: کل ترتیب به گروه های تقسیم کنید که در آن هیچ یک از جک ها بیش یک بار تکرار نشوند.
- مرحله ۲: جک ها، شیرهای اصلی و جهت حرکت را مشخص کنید. کلید قطع و وصل در مدار را در نظر بگیرید.
- مرحله ۳: یک شیر 5×2 یا 5×3 را به عنوان تقسیم کننده گروه ها انتخاب و هر یک از گروه های ۱ و ۲ را به بالای آن متصل کنید.
- مرحله ۴: از اولین گروه و با سنسورهای نیوماتیک ترتیب حرکت را مشخص کنید. اولین گام در هر گروه، فعال سازی خط فشار آن است (بر روی شیر تقسیم کننده)

مدارهای موازی

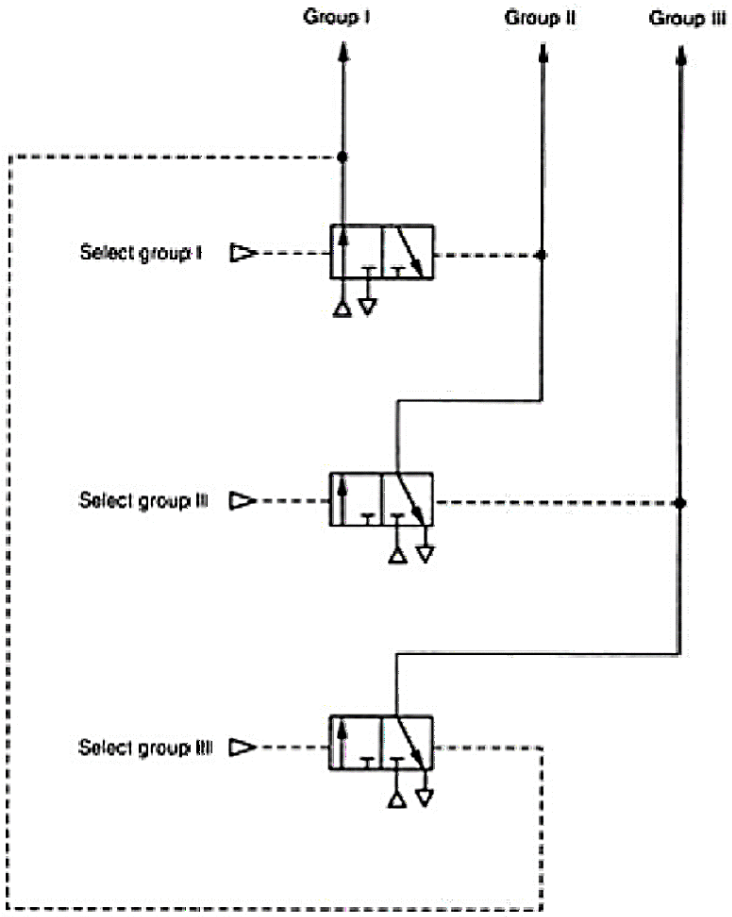


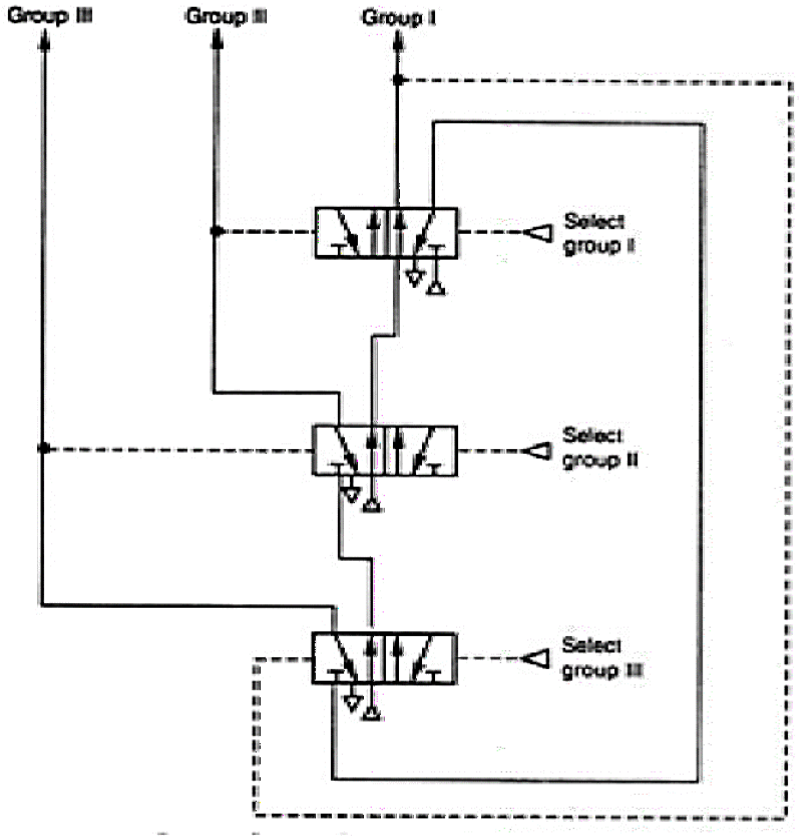
A+ B+ /B- A-

GI GII

مدارهای موازی

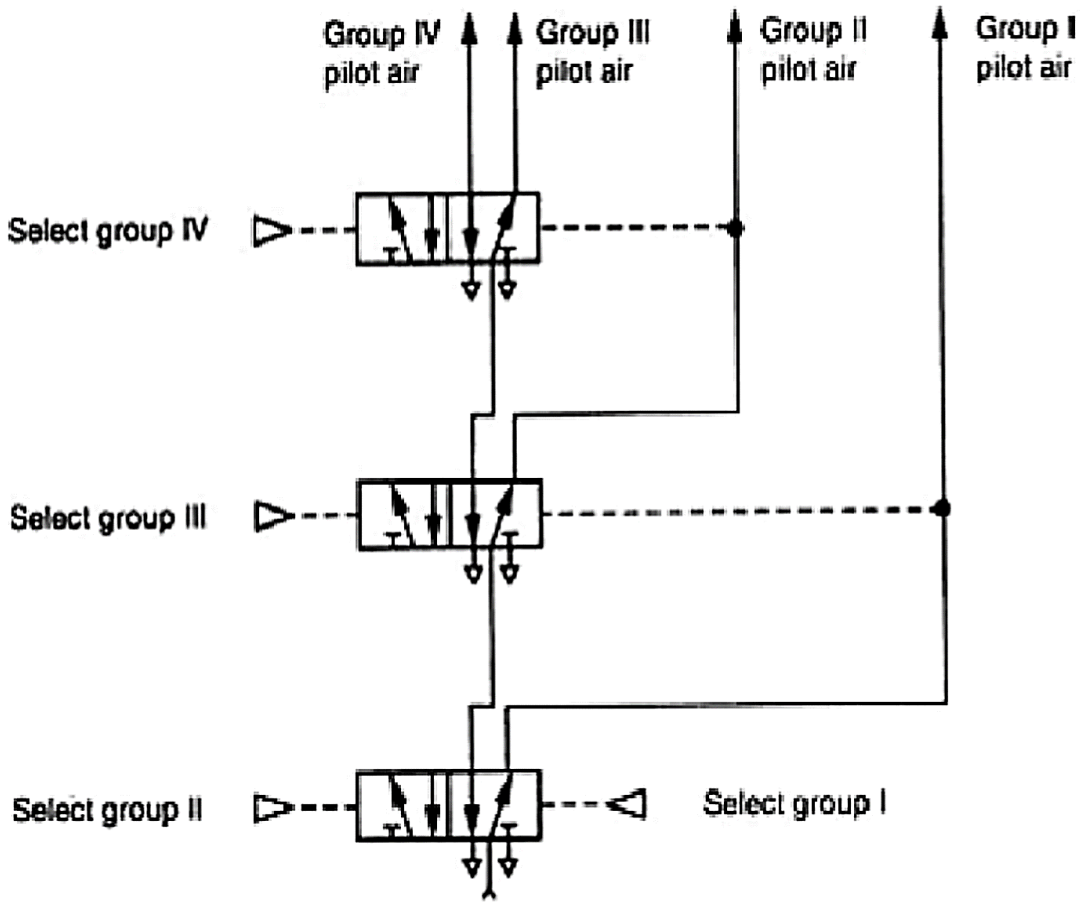
- استفاده از شیرهای 3×2 یا 5×2 برای ایجاد





مدارهای موازی

- استفاده از شیرهای 5×2 برای ایجاد چهار گروه موازی



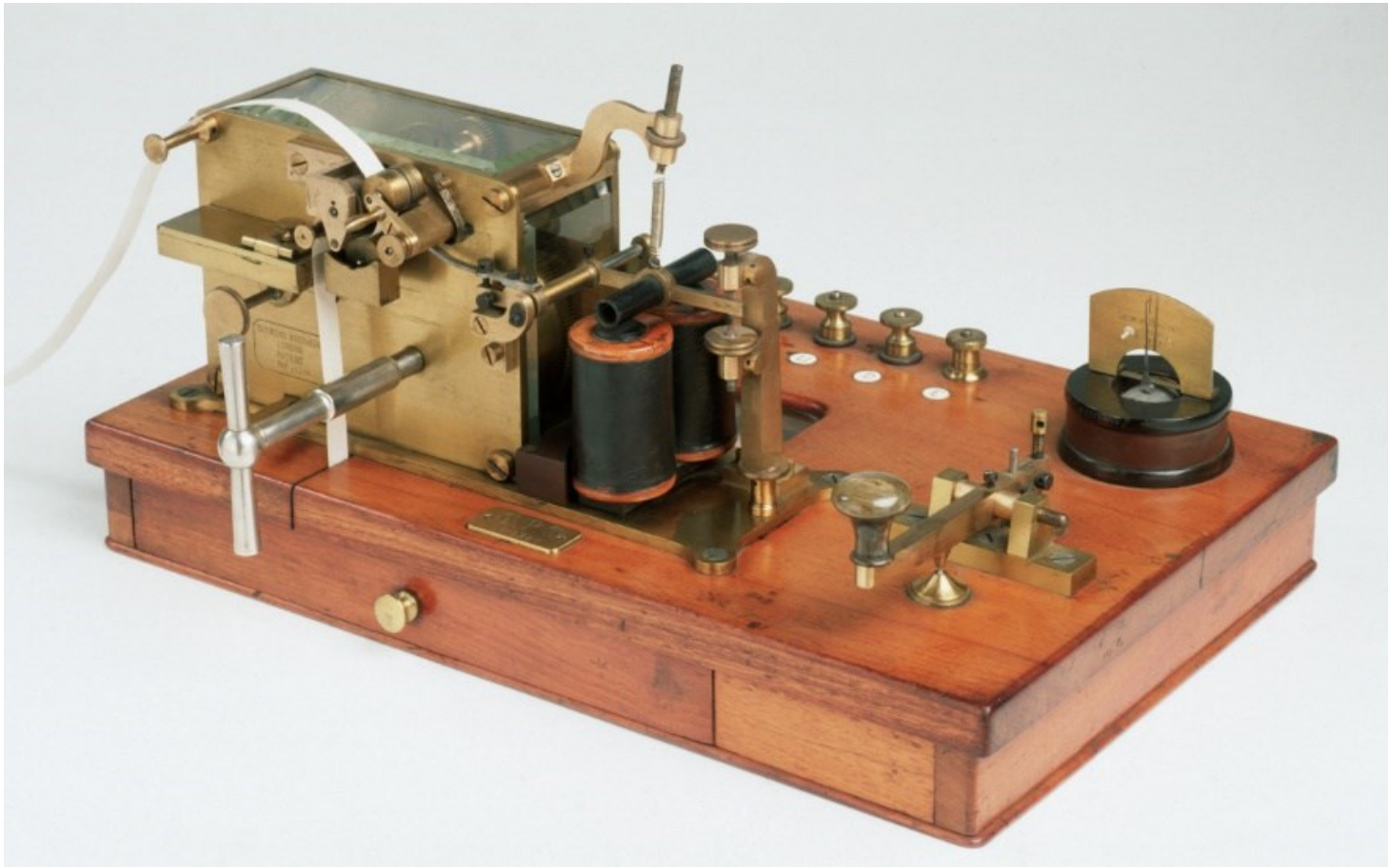
کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی

اصول و برنامه نویسی

عملکرد رله ای

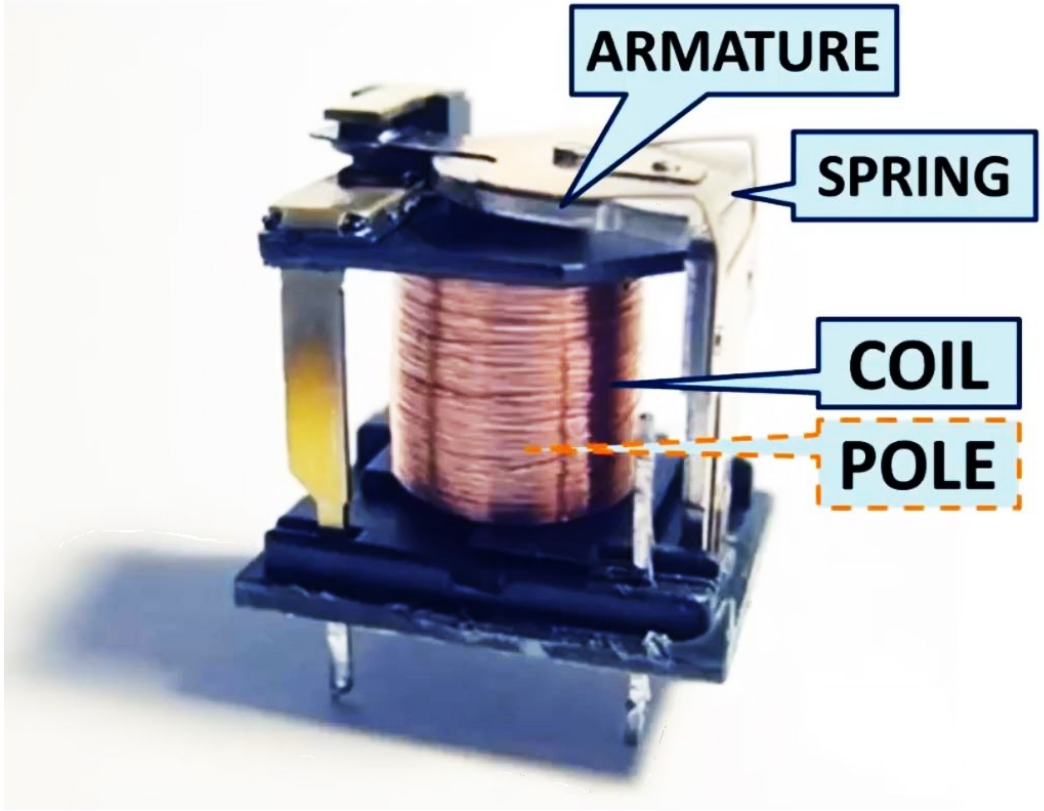
- یکی از کاربردهای قدیمی استفاده از رله ها، تلگراف (Telegraph) است.

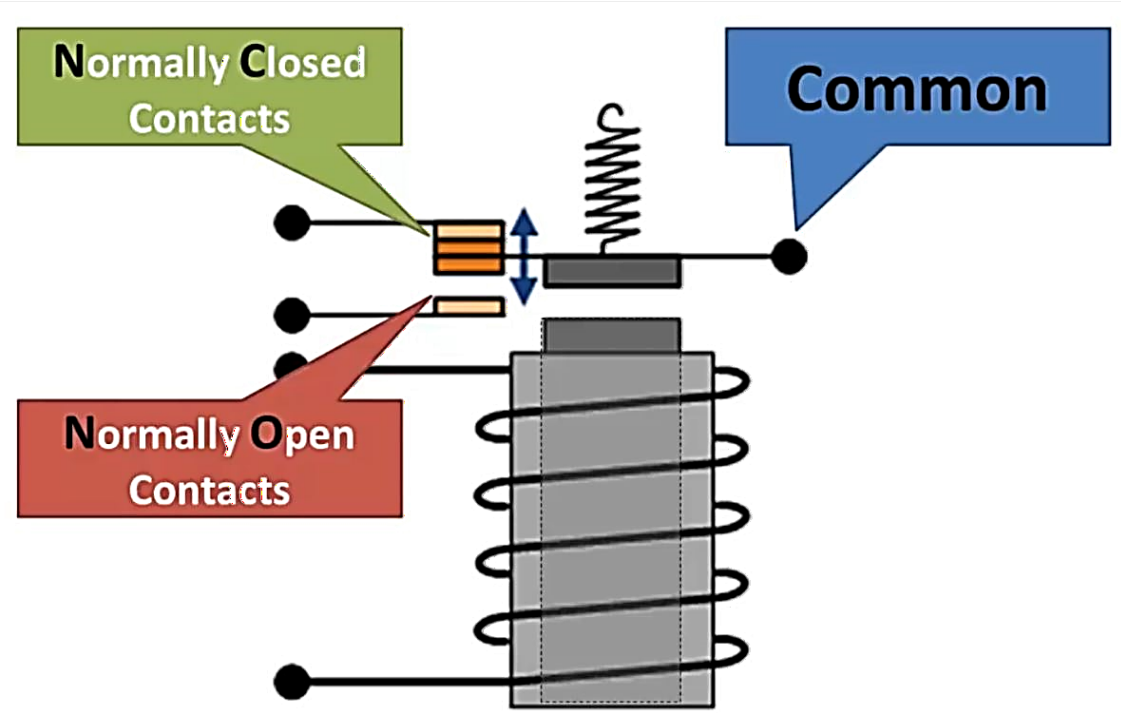




عملکرد رله ای

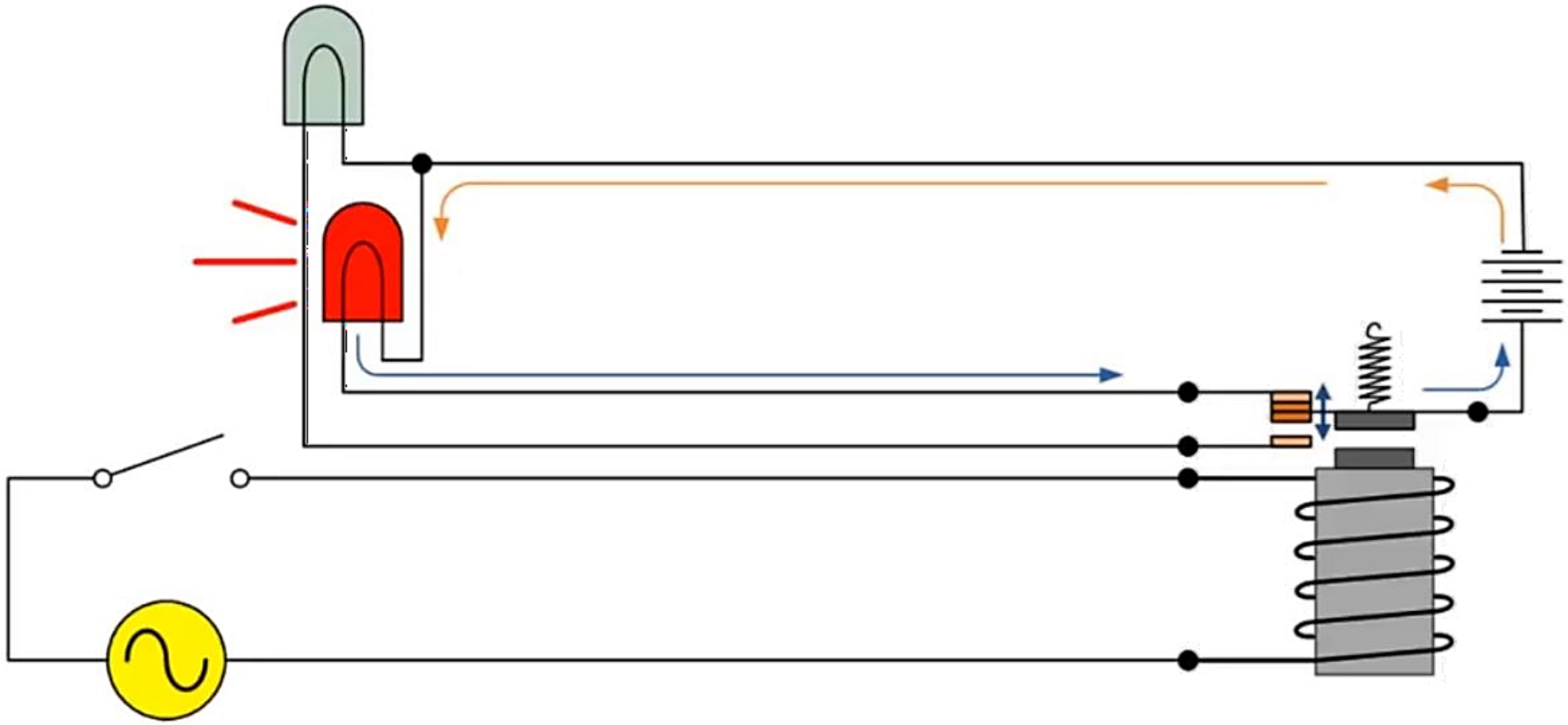
- این رله دارای ۲ اتصال در "حالت عادی باز" یا N.O. و "در حالت عادی بسته" یا N.C. دارد.



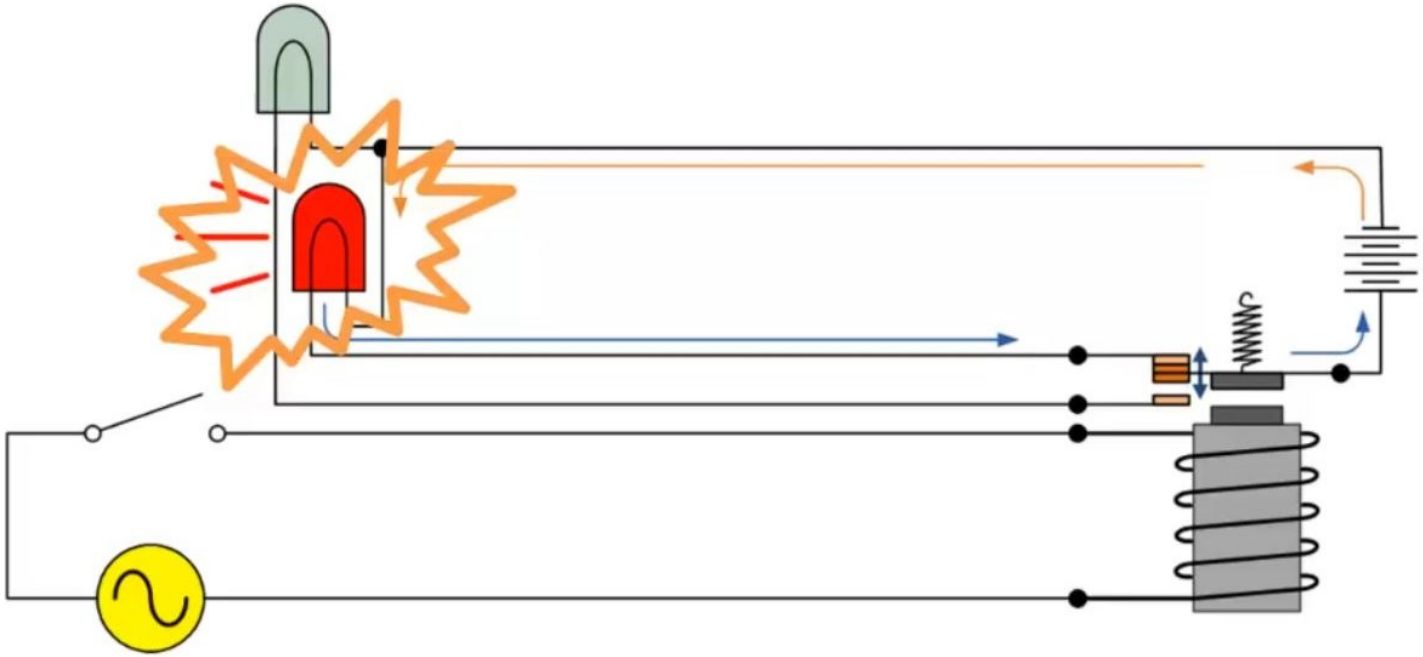


عملکرد رله ای

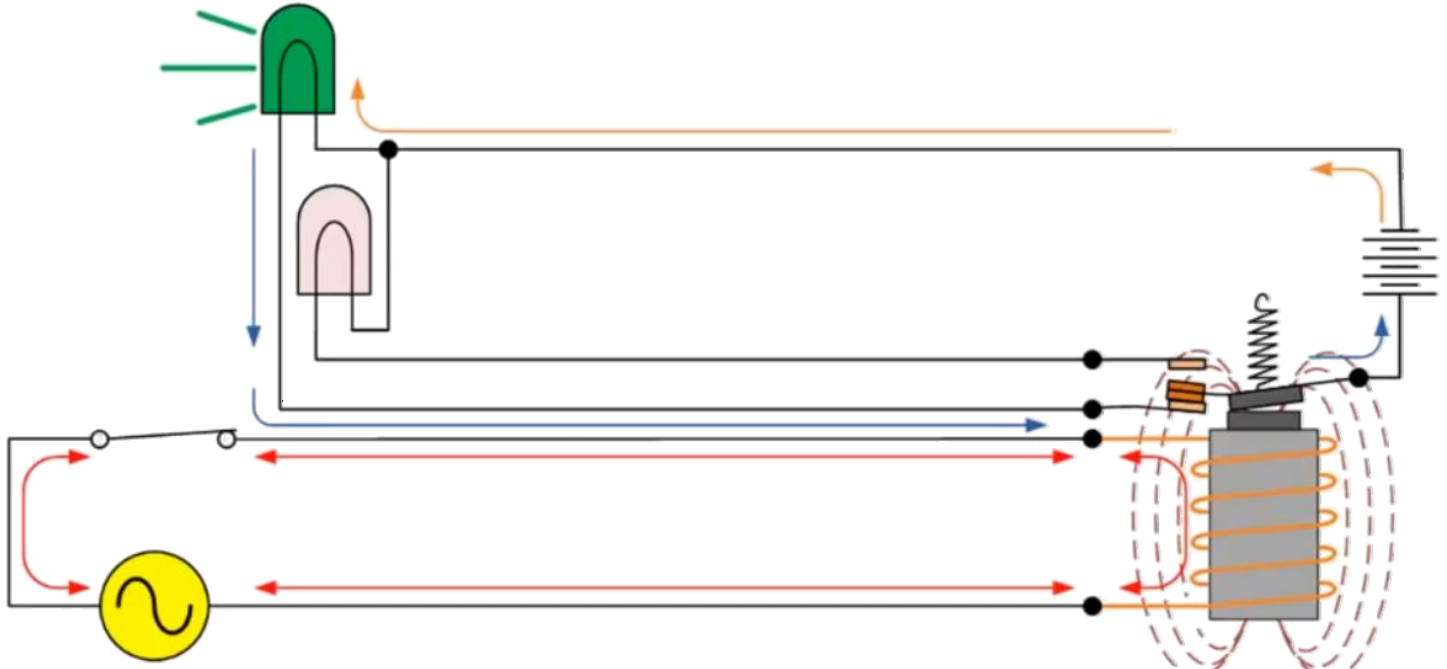
- قرارگرفتن این ۲ اتصال یا Contact در مدار می تواند به شکل زیر باعث برقراری ارتباط :



عملکرد رله ای

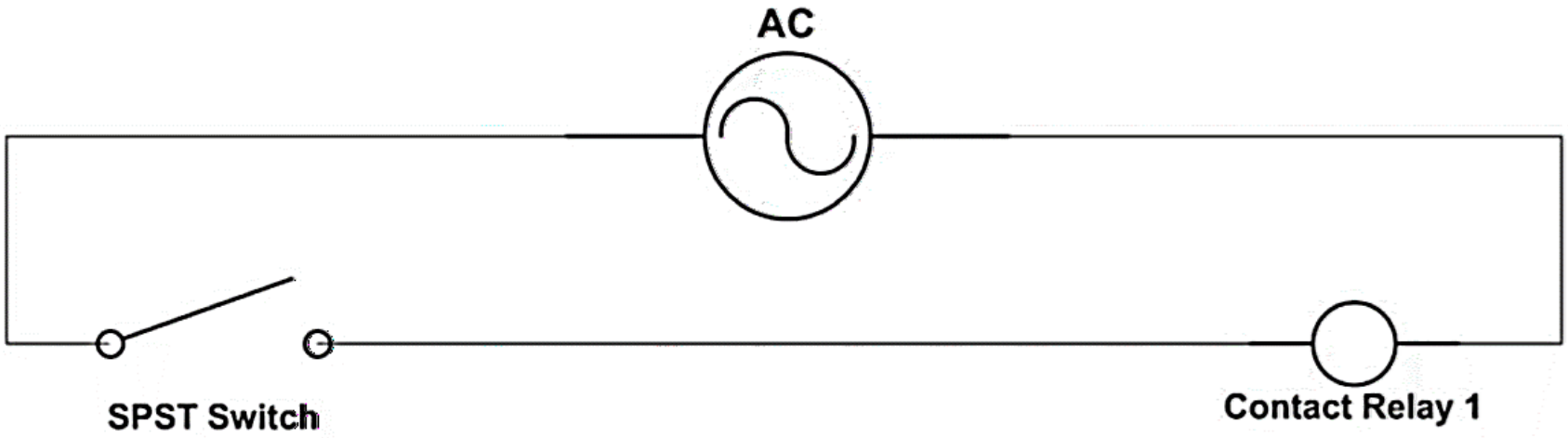


- اثر وصل و قطع شدن کلید شاسی:
- RED <<< S1 = open
- Green <<< S1 = close



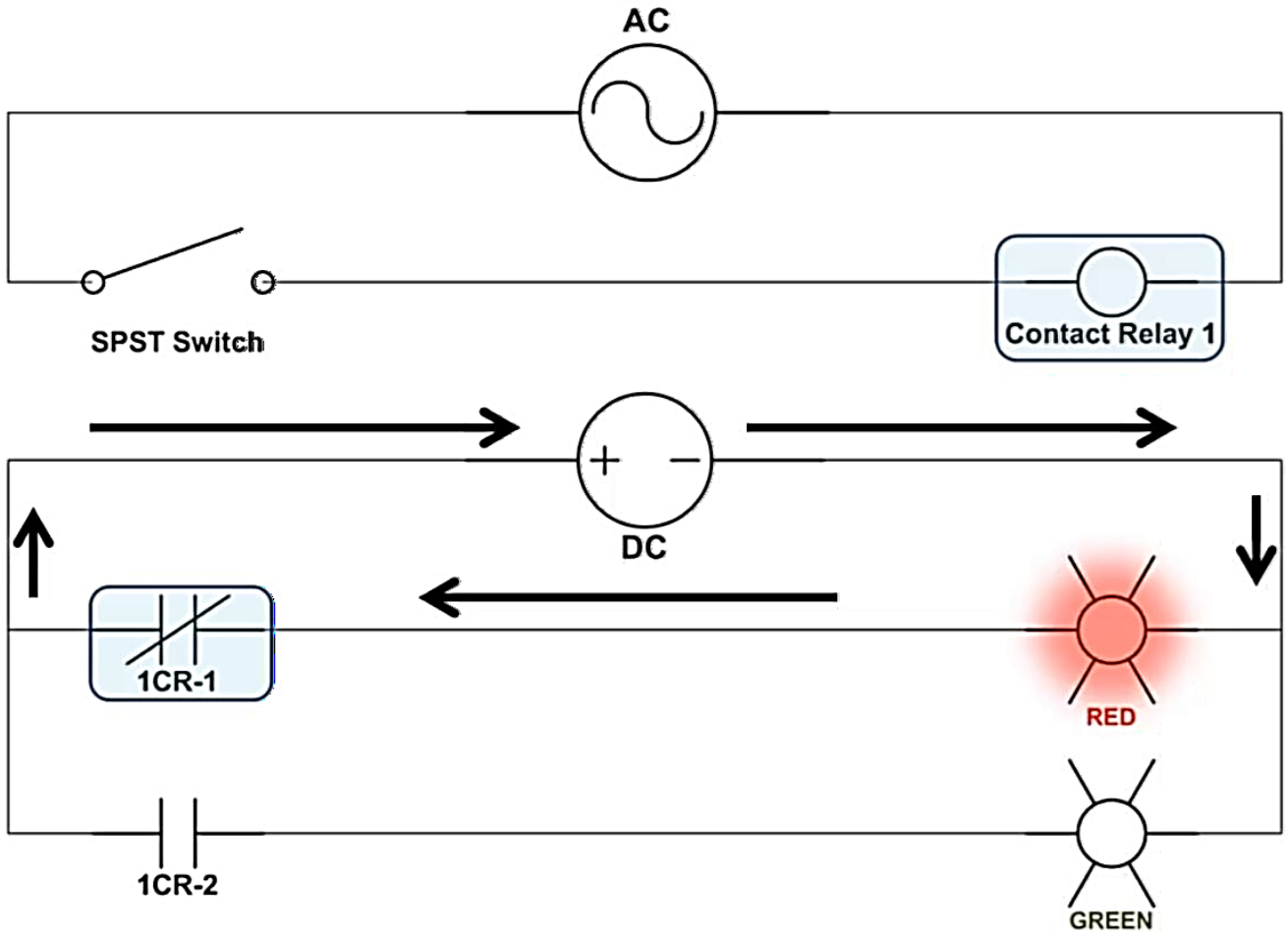
عملکرد رله ای

- فرض کنید CR یا Contact Relay را در مدار شکل زیر نظر گرفته شود به صورتی خود رله امکان قطع و وصل یک مقدار ثانویه را داشته باشد.
- در این صورت با فشار کلید، رله در وضعیت ۱ به ۲ حرکت خواهد کرد



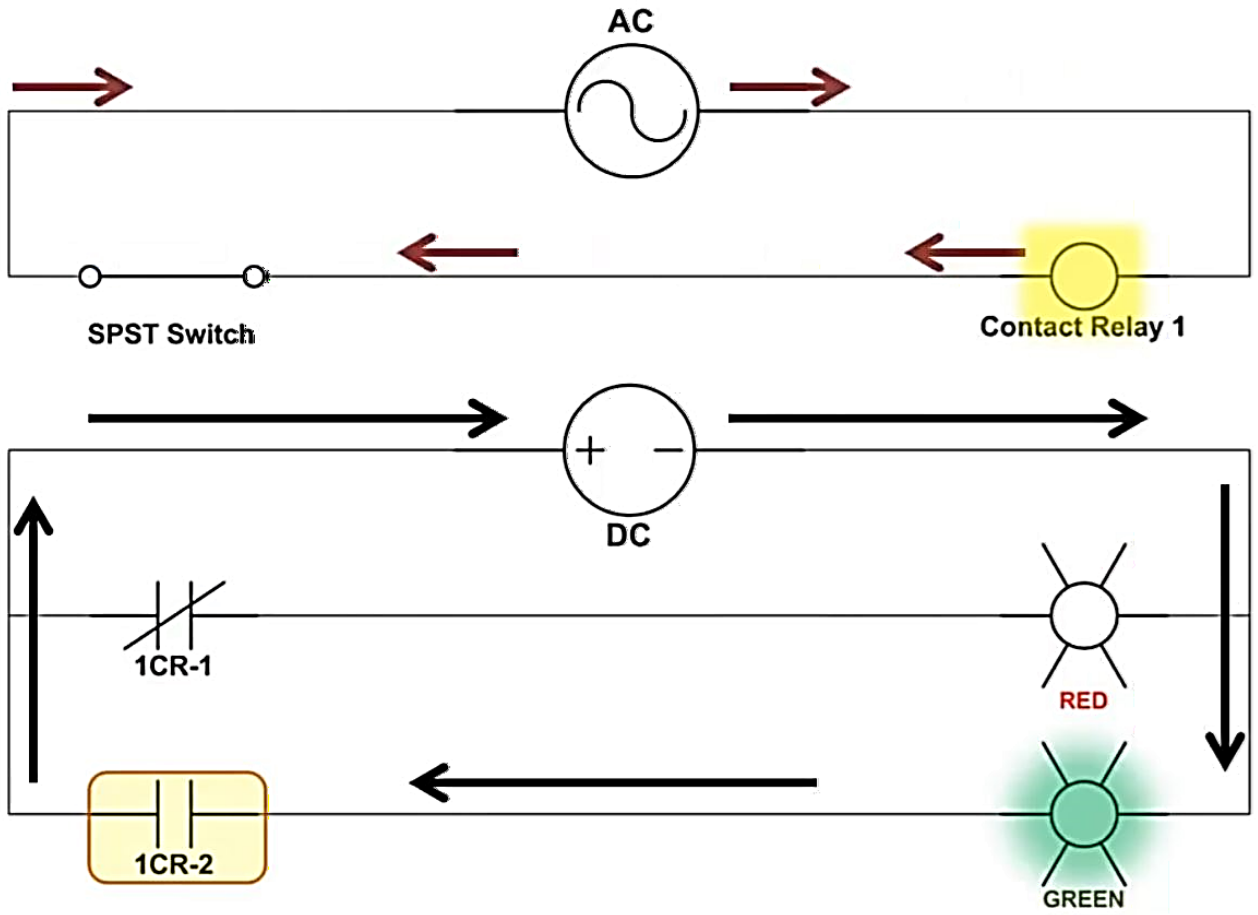
عملکرد رله ای

- وضعیت ۱ : بخش .N.C در CR فعال است و لامپ قرمز روشن.



عملکرد رله ای

- وضعیت ۲ : بخش .N.O در CR فعال است و لامپ سبز روشن.



عملکرد رله ای

- این ایده اولیه طراحی کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی یا PLC ها است.
- می توان برای قطع و صل رله ها از دستورهای برنامه ریزی شده استفاده کرد.
- ایجاد حالت های مختلف دستوری در خروجی ها امکان پذیر است

کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی

- **سه بخش اصلی PLC**

ورودی ها

برنامه

خروجی ها



کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی

- ورودی ها به سنسورها متصل شده و از محیط اطراف به PLC اطلاعات می دهند.
- برنامه از مجموعه ای از دستورالعمل های منطقی استفاده کرده که خروجی ها را بر اساس ورودی ها هدایت می کند.
- خروجی ها به تجهیزاتی که نیاز به کنترل دارند متصل می شوند.

کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی









انواع PLC

نوع جعبه ای



نوع مدولار یا رک



کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی

- زمینه های کاربرد
  - خطوط تولید و ماشینکاری
  - غذا- نوشیدنی
  - فلزات
  - توان و قدرت
  - معدن
  - پتروشیمی- شیمیایی

PLC ها چگونه کار می کند؟

- مزایای PLC ها
  - سیم کشی کمتر
  - انجام سیم کشی بین دستگاه ها و اتصالات رله در برنامه PLC
  - سهولت و تسریع اعمال تغییرات
  - کاهش زمان توقف و تسهیل برنامه نویسی به دلیل وجود ابزار عیب یابی
  - کارکرد طولانی مدت پیش از خرابی به دلیل وجود اجزای قابل اطمینان

PLC ها چگونه کار می کند؟

- انواع ورودی:
  - دکمه های فشاری
  - سوئیچ های مجاورتی
  - سنسورهای فتوالکتریک
  - سنسورهای دما
  - سنسورهای فشار



سنسور فشار



سنسور فتوالکتریک



دکمه فشاری

PLC ها چگونه کار می کند؟

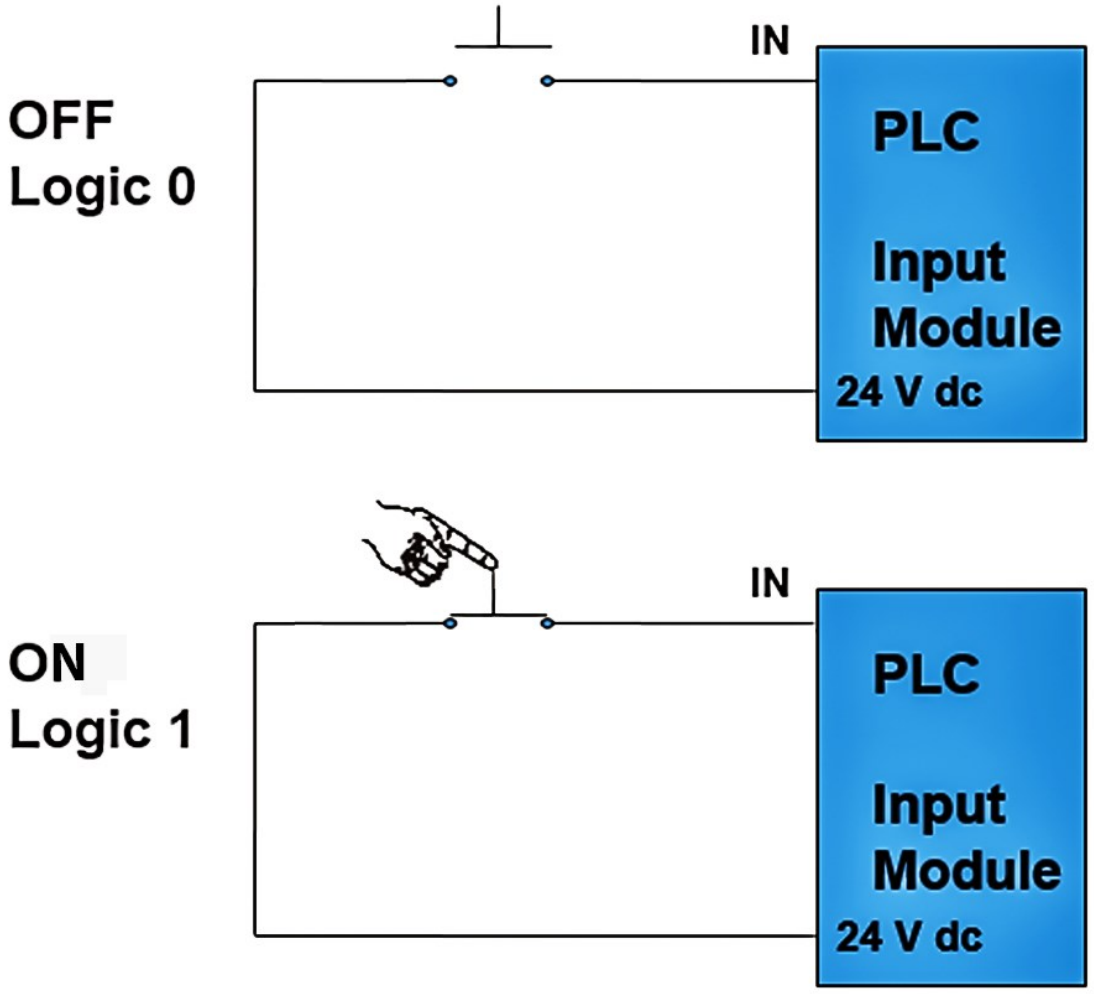
- انواع خروجی
  - موتورها
  - سولنوئیدها
  - چراغ های نشانگر
  - بارهای مقاومتی
  - کنتاکتورها



موتور

PLC ها چگونه کار می کند؟

- منطق کار در ورودی
- کنترل کننده روشن- خاموش
  - دودوئی (صفر یا یک)



اصول دیاگرام های منطقی

- جبر بولی یا Boolean Algebra
  - وجود یا عدم وجود یک شرط
  - باز یا بسته بودن یک شیر
  - روشن یا خاموش بودن یک کلید

روشن	خاموش	**کلید**
باز	بسته	**شیر**
صحیح	غلط	**مقدار**
1	0	**بولی**

اصول دیاگرام های منطقی

- بولی
- روشن (on = 1)
- خاموش (off = 0)

A	$\overline{A}$
1	0
0	1



اصول دیاگرام های منطقی

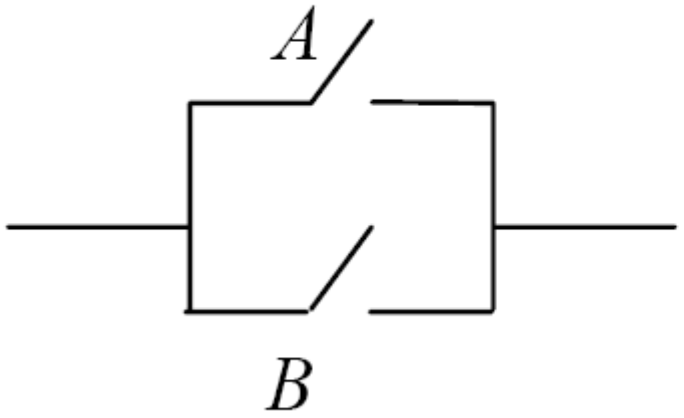
- اپراتور "AND"



A	B	$A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

اصول دیاگرام های منطقی

- اپراتور "OR"



A	B	$A+B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

اصول دیاگرام های منطقی

- **جبر بولی (منطق بولی)**

A) **قوانین جابجایی**

$$A + B = B + A$$

$$A \cdot B = B \cdot A$$

(Commutative Laws)

B) **قوانین شرکت پذیری**

$$A + (B + C) = (A + B) + C$$

$$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$$

(Associated Law)

اصول دیاگرام های منطقی

- **جبر بولی (منطق بولی)**

C) **قوانین توزیع پذیری**

$$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$$

$$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$$

(Distributive Laws)

D) **قوانین جذب**

$$A \cdot (A + B) = A$$

$$A + (A \cdot B) = A$$

(Absorption Law)

اصول دیاگرام های منطقی

- **جبر بولی (منطق بولی)**

E) **برگشت**

$$\overline{\overline{A}} = A \qquad \text{(Involution)}$$

F) **قوانین وارونگی (نظریه دمورگان)**

$$\overline{(A + B)} = \overline{A} \cdot \overline{B} \qquad \text{NOR}$$

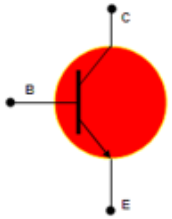
$$\overline{(A \cdot B)} = \overline{A} + \overline{B} \qquad \text{NAND}$$

انواع ترانزیستور

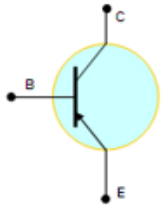
بسته به علامت پایه های base، emitter و collector و جهت جریان در ترانزیستورها، دو نوع مختلف برای آن وجود دارد.

۱- NPN

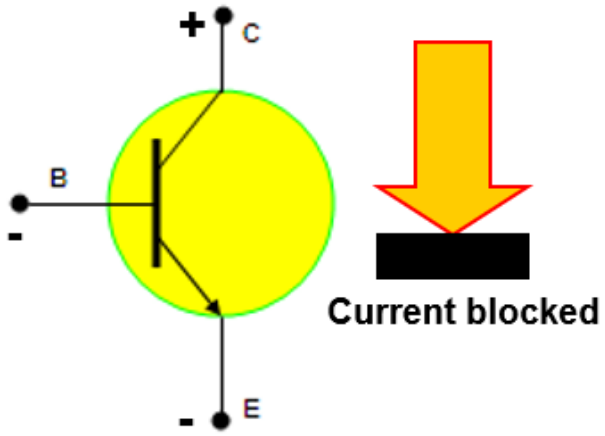
۲- PNP

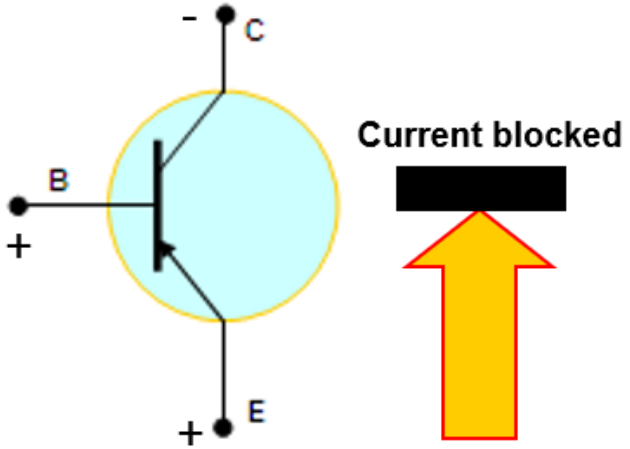


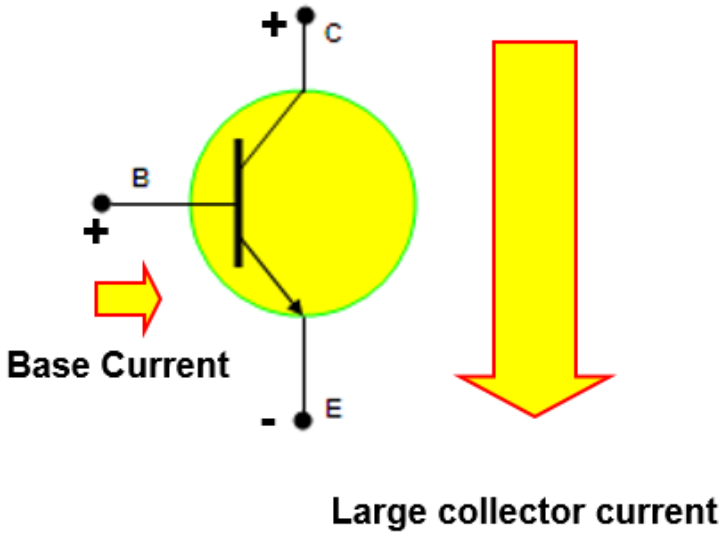
Transistor NPN

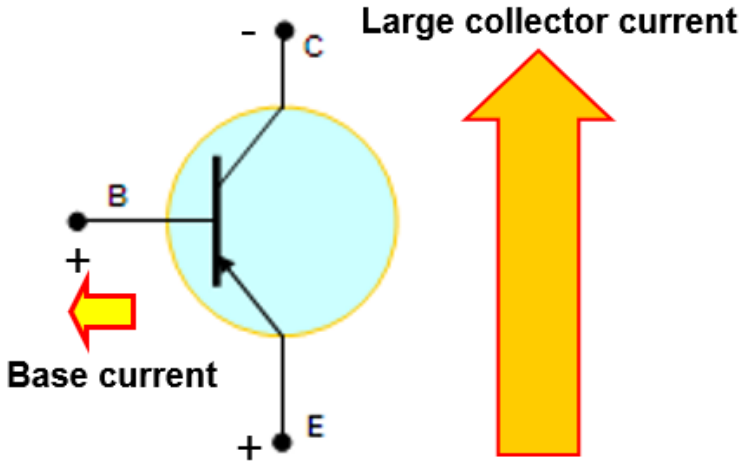


Transistor PNP

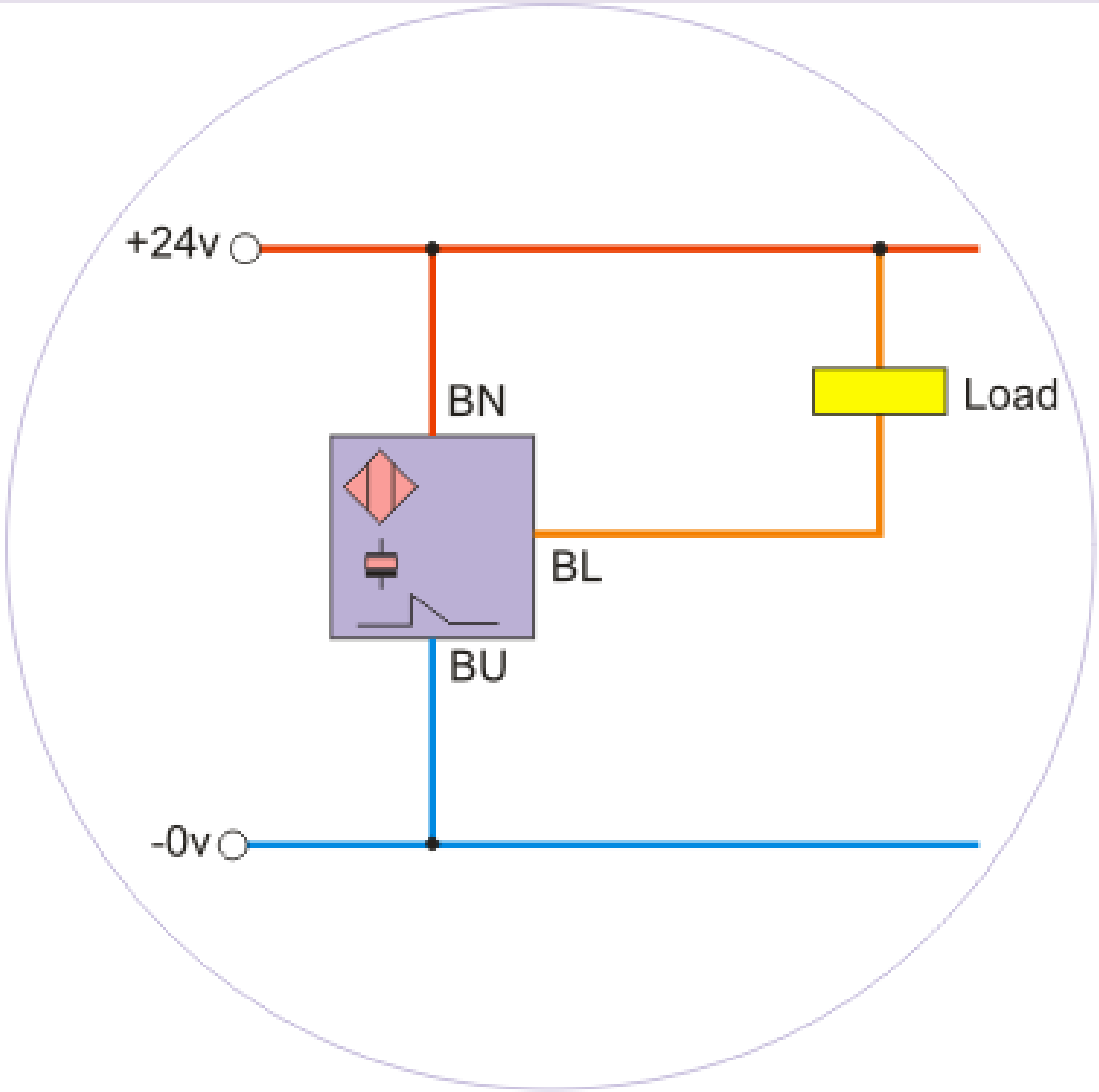




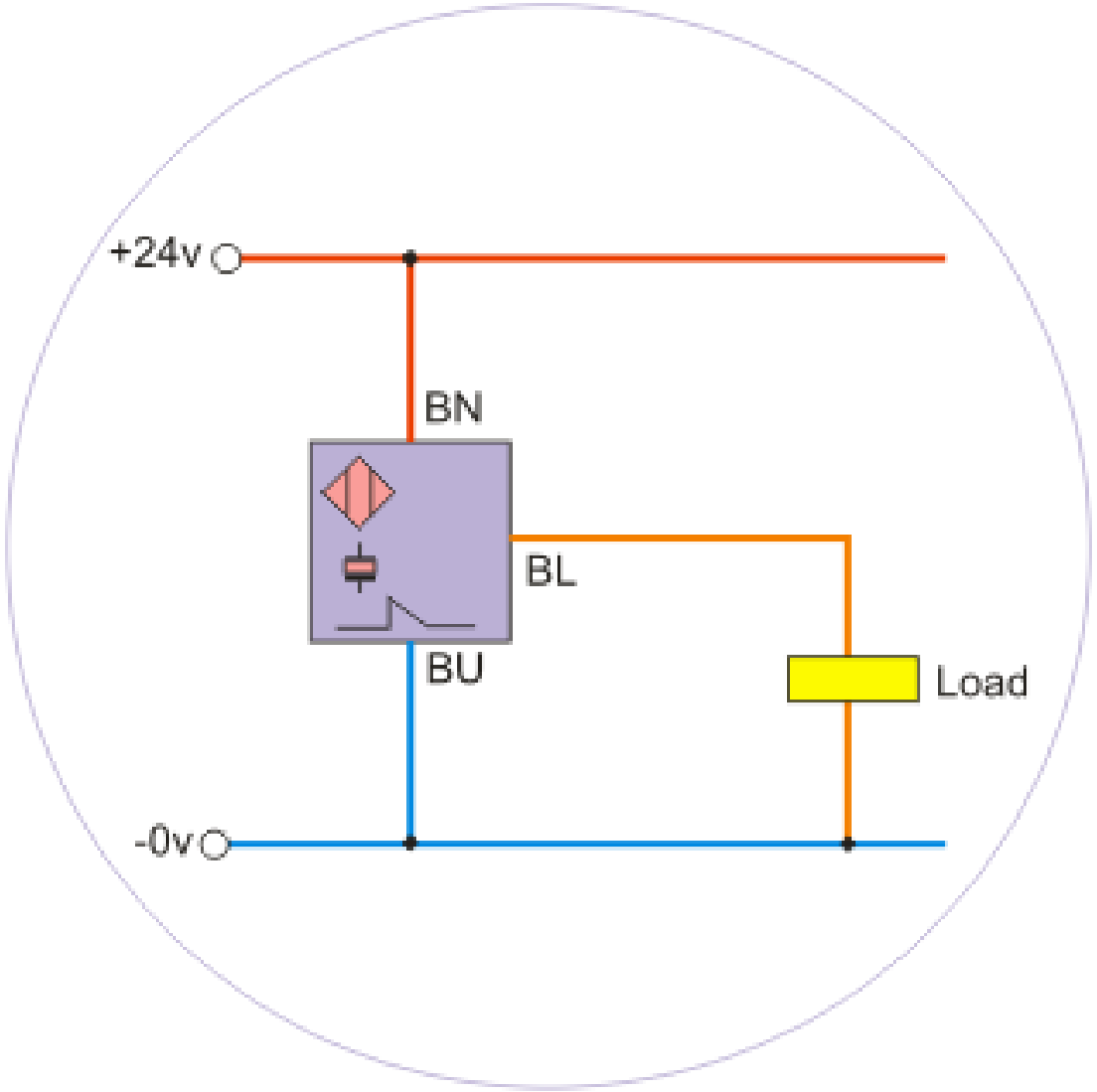




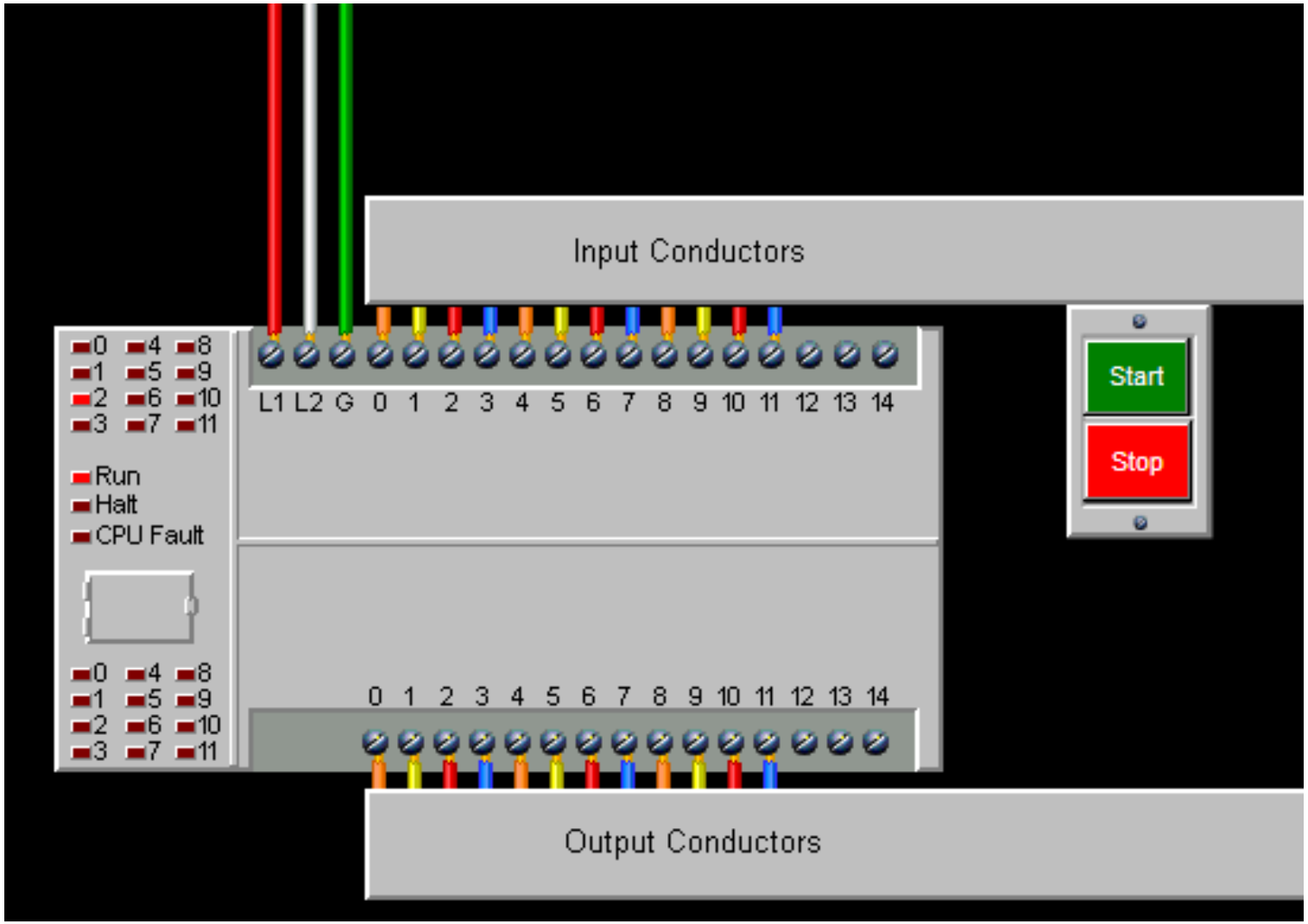
ترانزیستورهای NPN



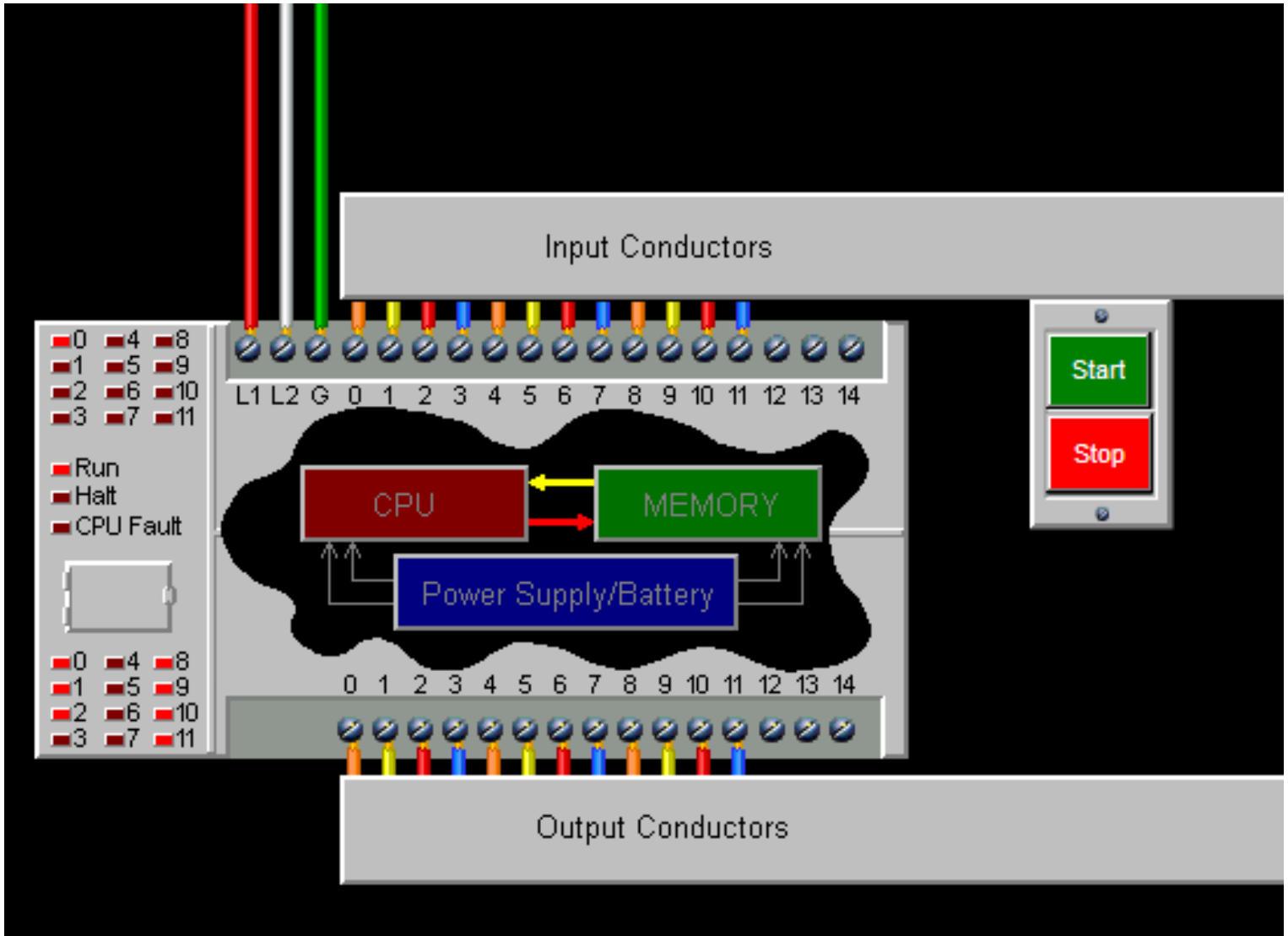
ترانزیستورهای PNPs

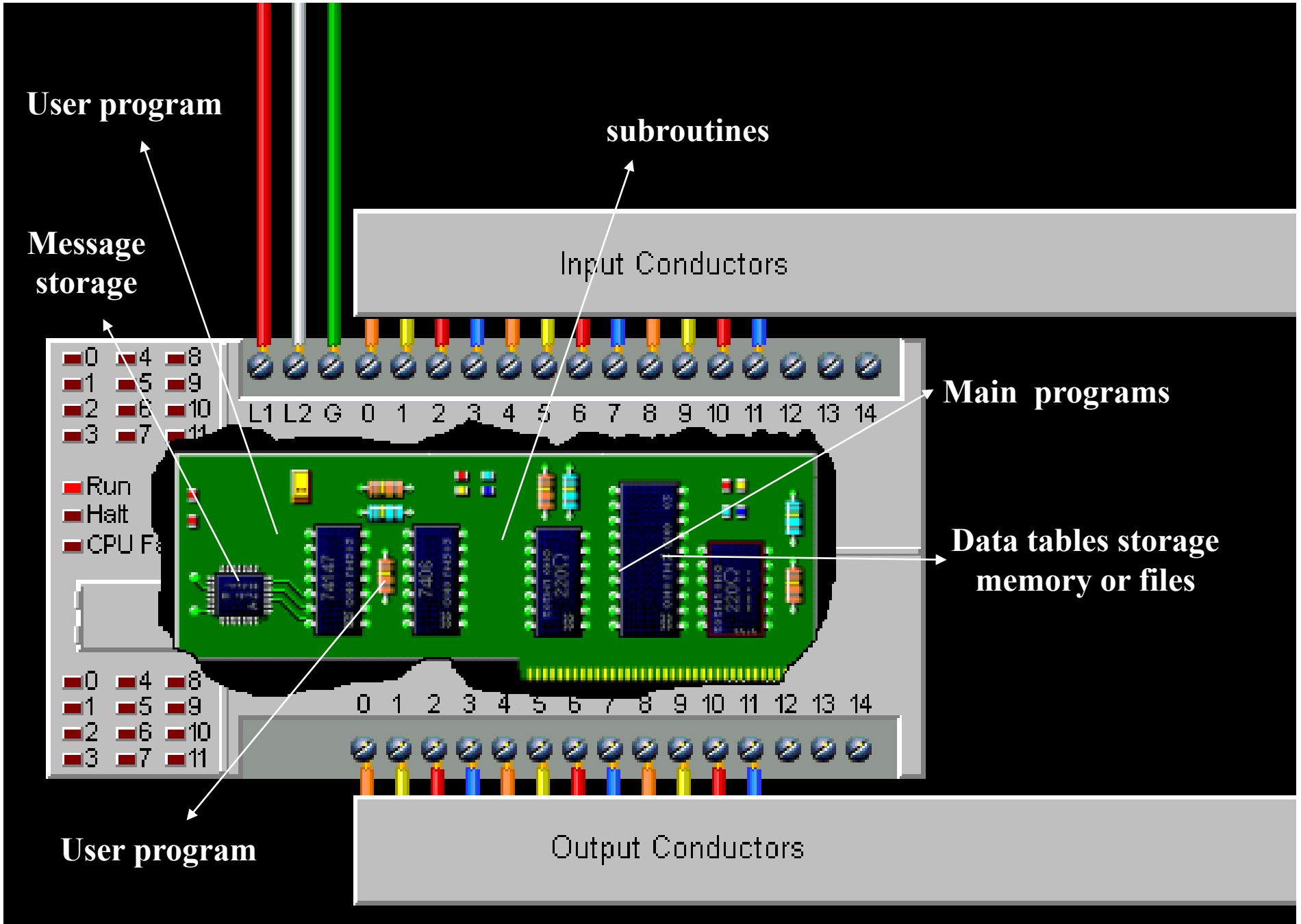


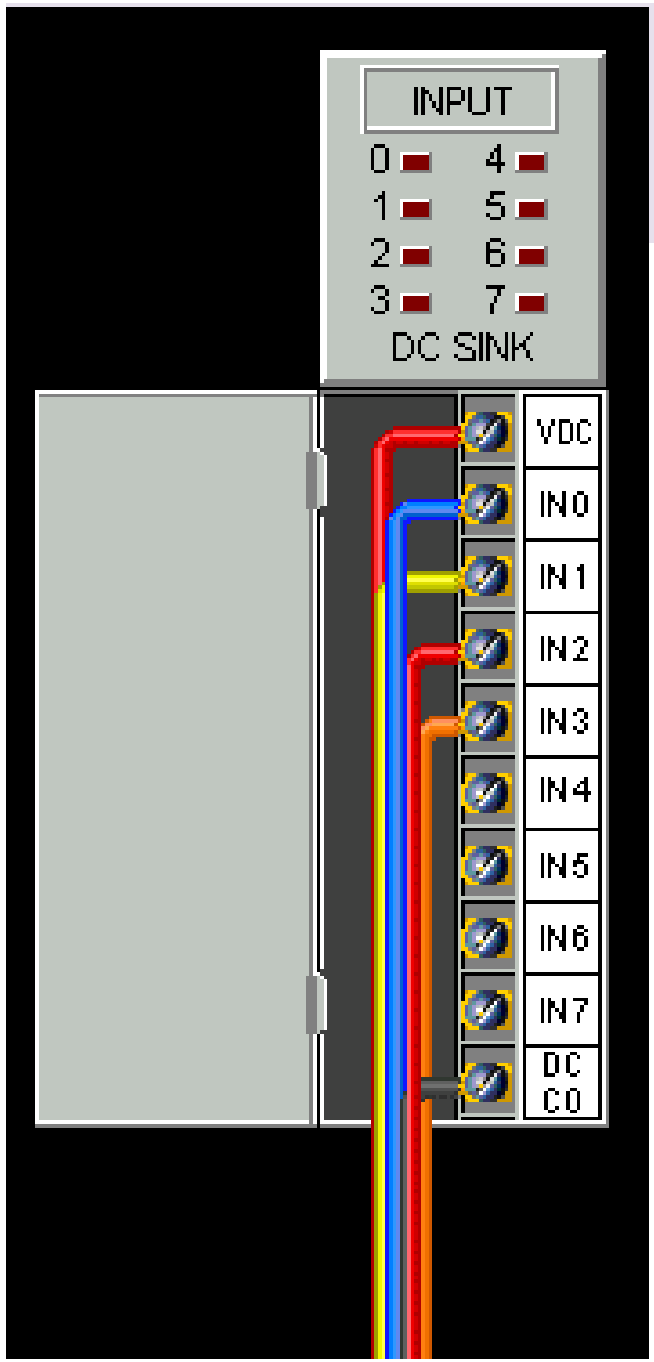
ساختار داخلی PLC ها

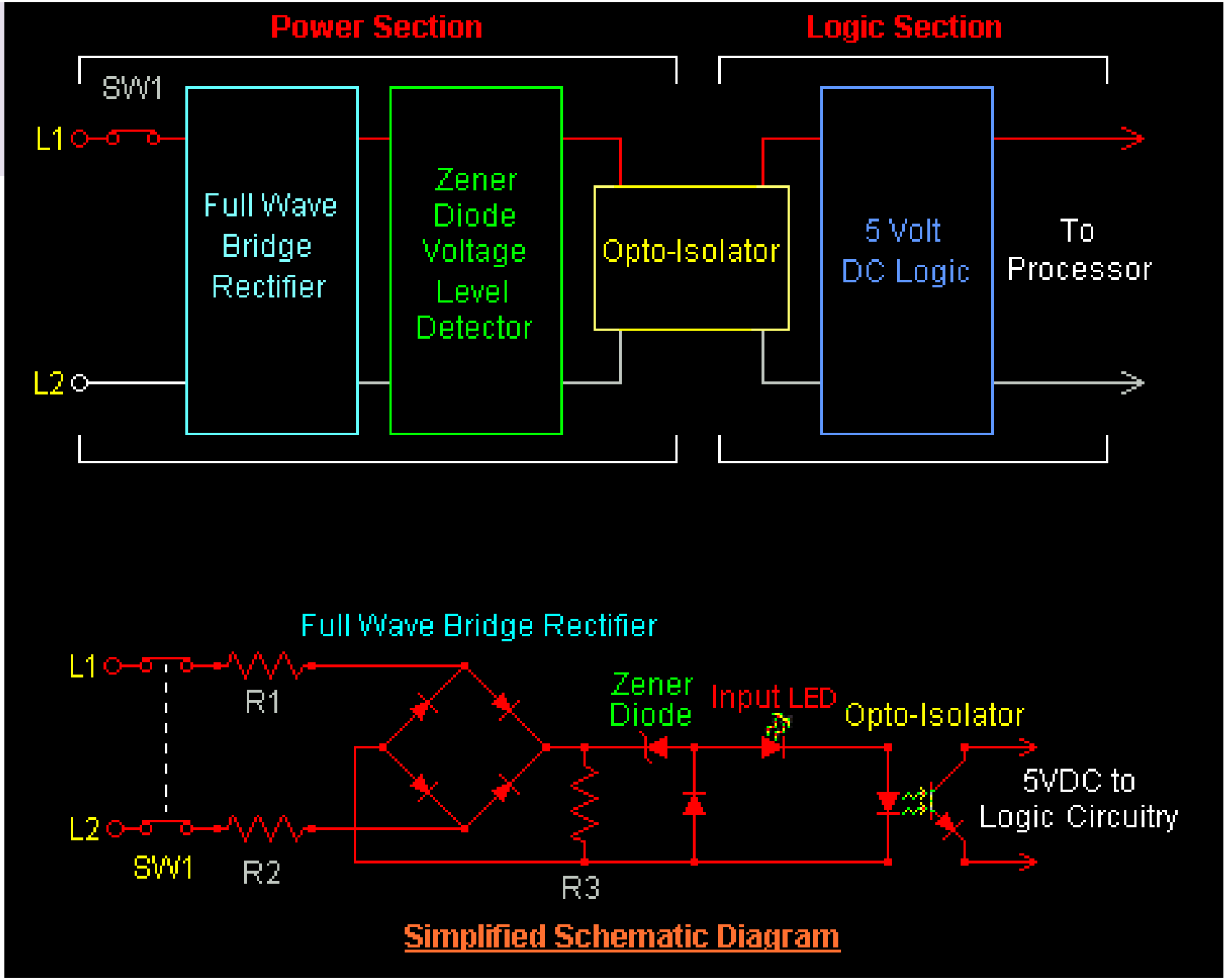


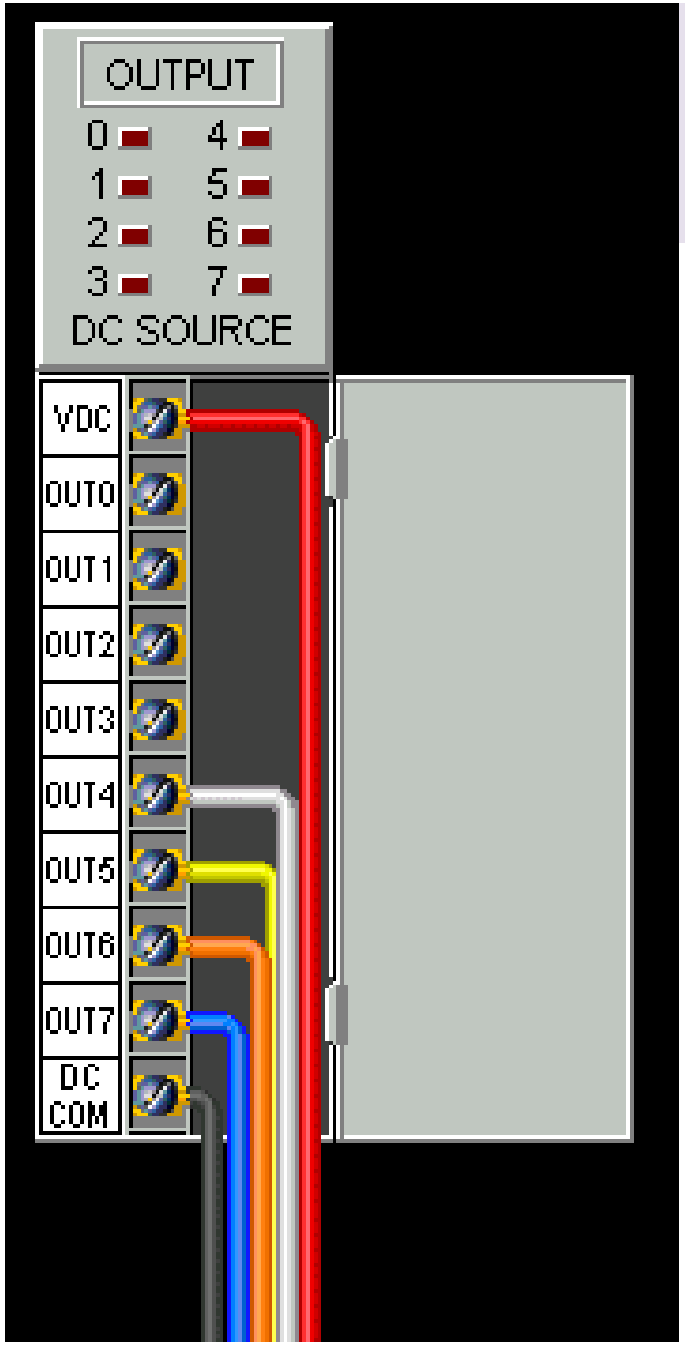
ساختار داخلی PLC ها

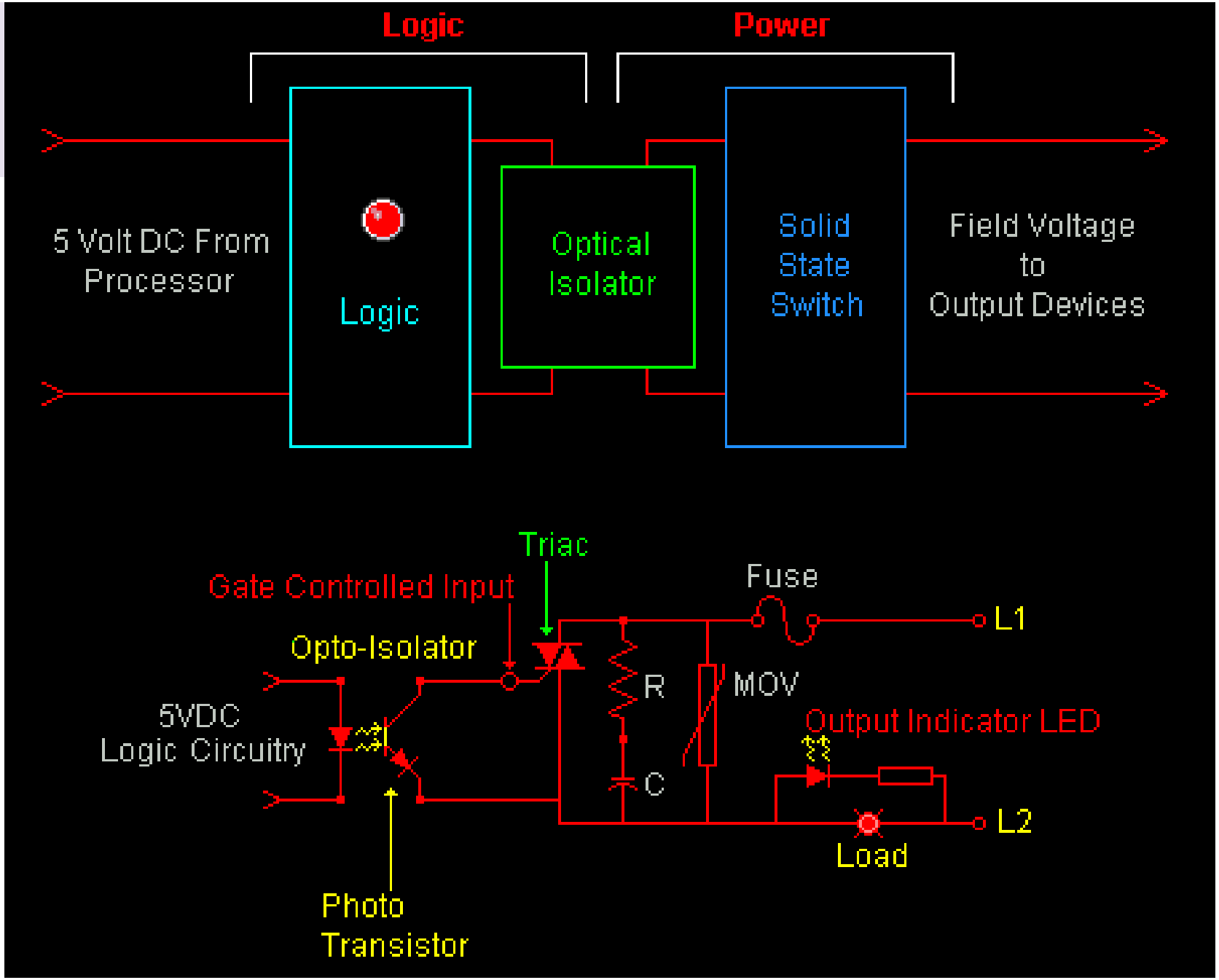



User program
subroutines
Message storage
Input Conductors
Main programs
Data tables storage memory or files
User program
Output Conductors
Run
Halt
L1 L2 G 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14


INPUT
0
1
2
3
4
5
6
7
DC SINK
VDC
IN0
IN1
IN2
IN3
IN4
IN5
IN6
IN7
DC
C0

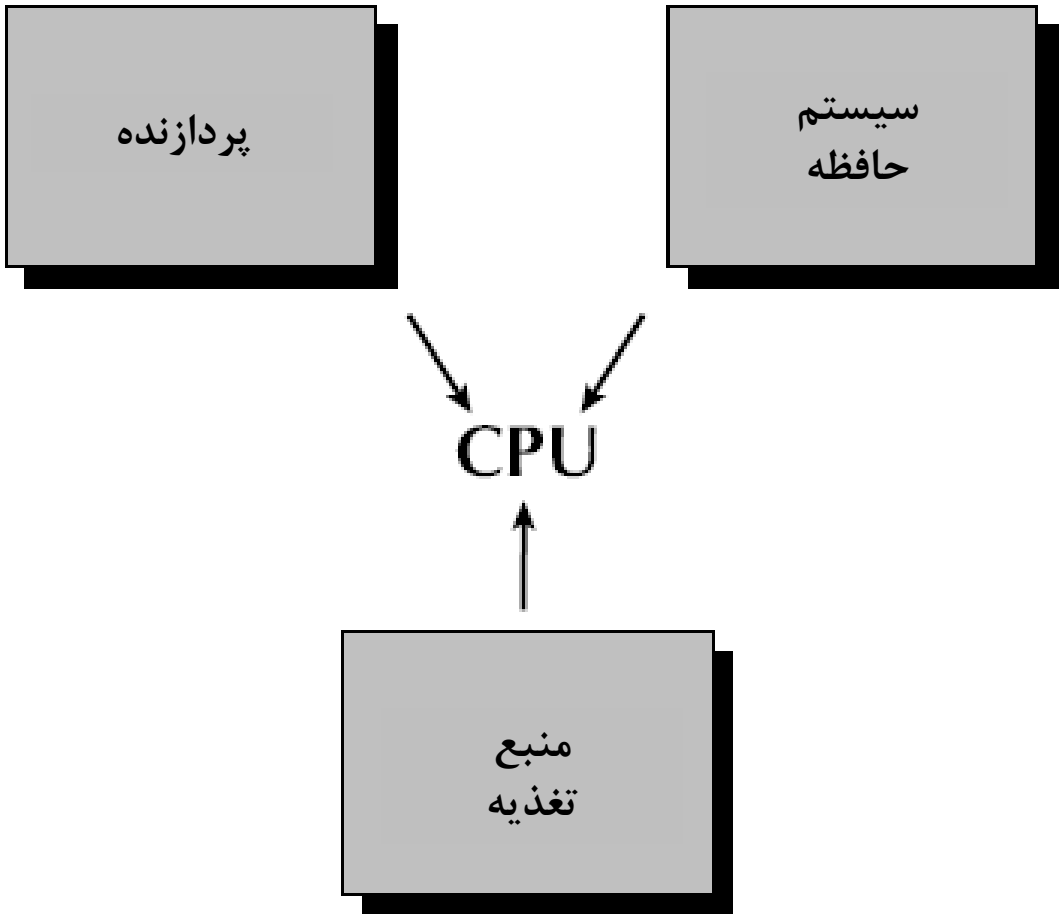

Power Section
Logic Section
SW1
L1
L2
Full Wave
Bridge
Rectifier
Zener
Diode
Voltage
Level
Detector
Opto-Isolator
5 Volt
DC Logic
To
Processor
Full Wave Bridge Rectifier
L1
R1
L2
SW1
R2
R3
Zener
Diode
Input LED
Opto-Isolator
5VDC to
Logic Circuitry
Simplified Schematic Diagram


OUTPUT
0
1
2
3
4
5
6
7
DC SOURCE
VDC
OUT0
OUT1
OUT2
OUT3
OUT4
OUT5
OUT6
OUT7
DC COM


Logic
Power
5 Volt DC From Processor
Logic
Optical Isolator
Solid State Switch
Field Voltage to Output Devices
Triac
Gate Controlled Input
Fuse
L1
Opto-Isolator
5VDC Logic Circuitry
R
MOV
Output Indicator LED
C
L2
Load
Photo Transistor

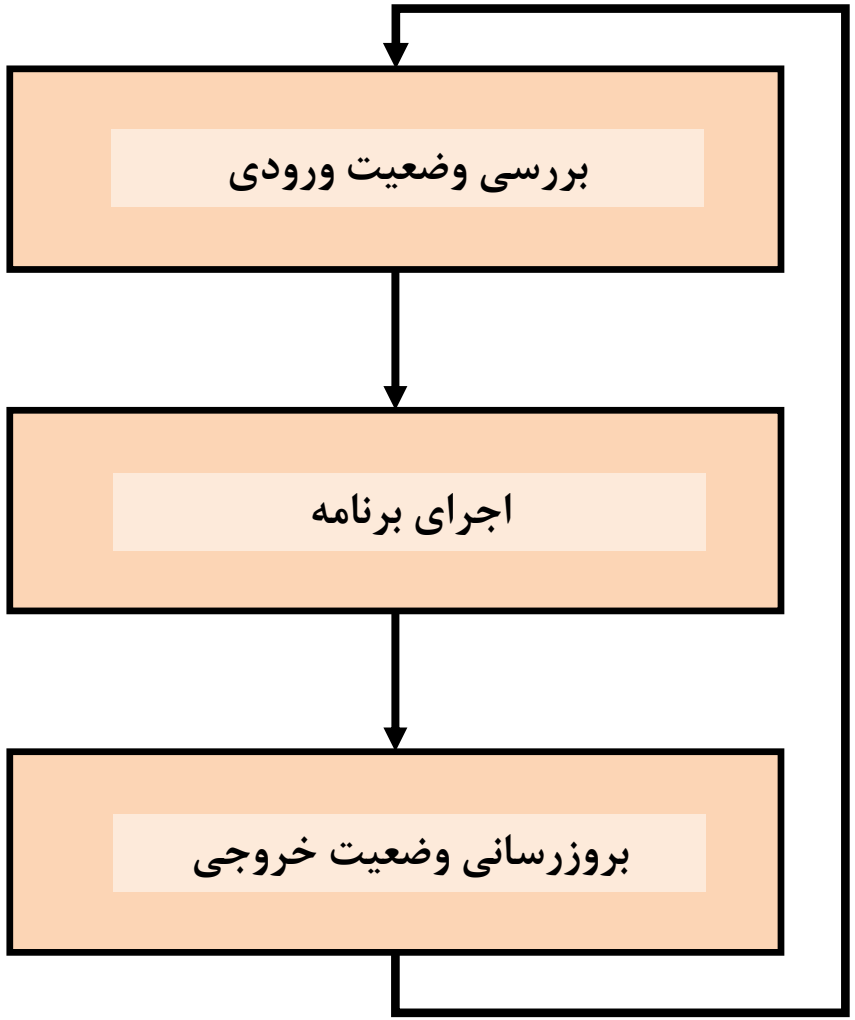
ساختار داخلی PLC ها

- CPU دارای سه بخش اصلی است:
  - پردازنده
  - سیستم حافظه
  - منبع تغذیه



عملکرد PLC

- پیمایش فرآیند اجرای برنامه PLC است.
- زمان چرخه مجموع زمان برای یک حلقه است.



زبان های برنامه نویسی

- نحوه برنامه نویسی در PLC شامل سه روش مختلف می باشد، که حداقل ۲ مورد آن برای بسیاری از این سیستم ها بکار می رود:

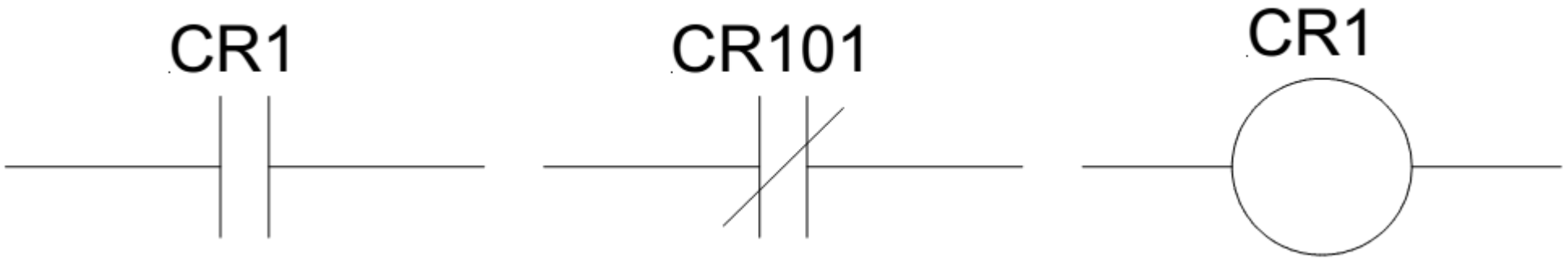
– STL (قدیمی ولی متداول) (اگر چه در حال حاضر کمتر توسط کاربران استفاده می شود ولی در محیط برنامه نویسی بسیاری از PLC ها همچنان وجود دارد)

– نمودارهای نردبانی (زبان مشترک و مرسوم ترین)

– بلوک تابع (محدود به برخی PLC ها مانند زیمنس)

نمودار نردبانی

- نمادهای رله

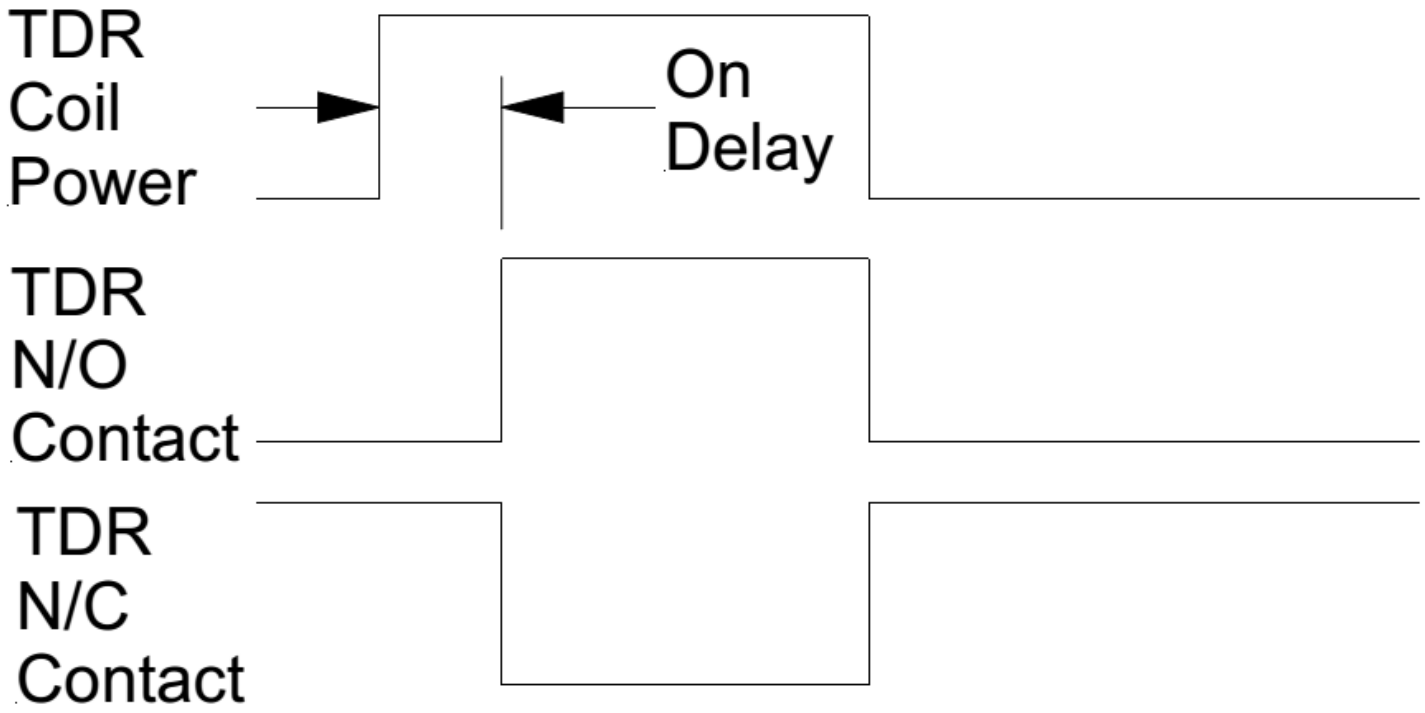


- نمادهای رله ASCII

```
  CR1          CR101          CR1
----| |----  ----|/|----  ----(   )----
```

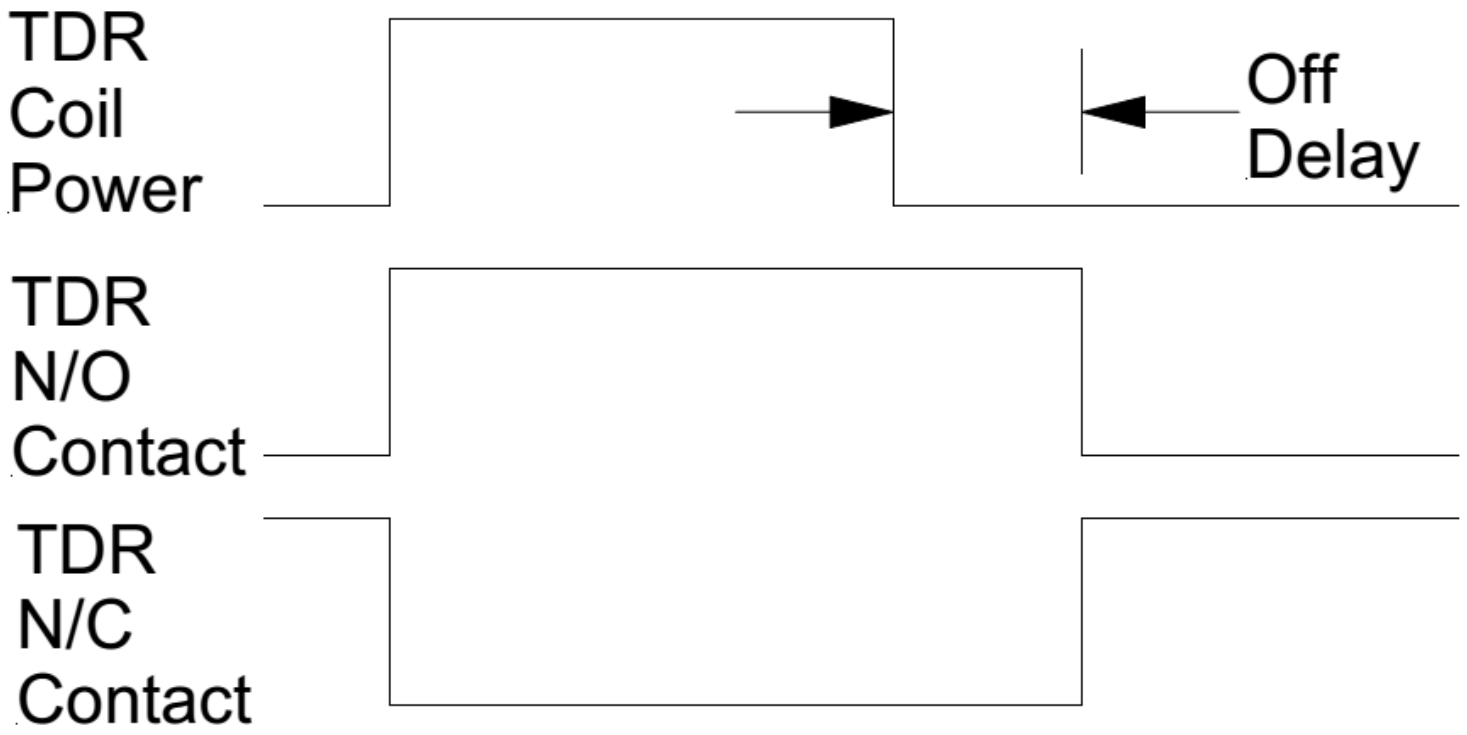
نمودار نردبانی

- رله تایمر تاخیردار



نمودار نردبانی

- رله تایمر بدون تاخیر



اجزای جانبی

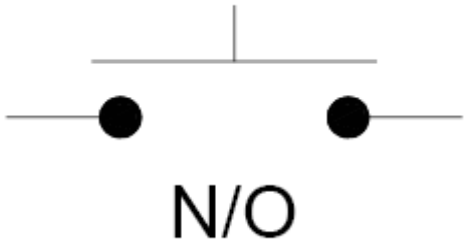
- سوئیچ های فشاری لحظه ای



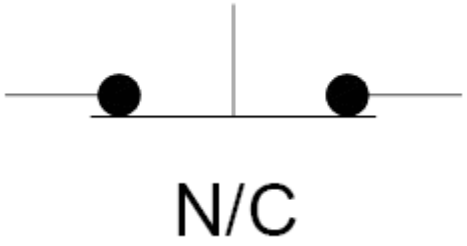
اجزای جانبی

- سوئیچ های فشاری لحظه ای

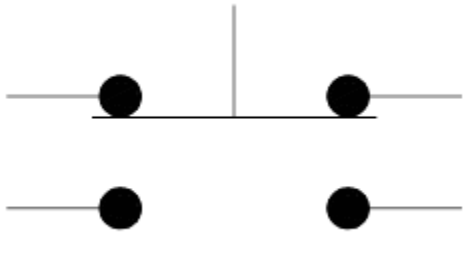
- Momentary Pushbutton Switches



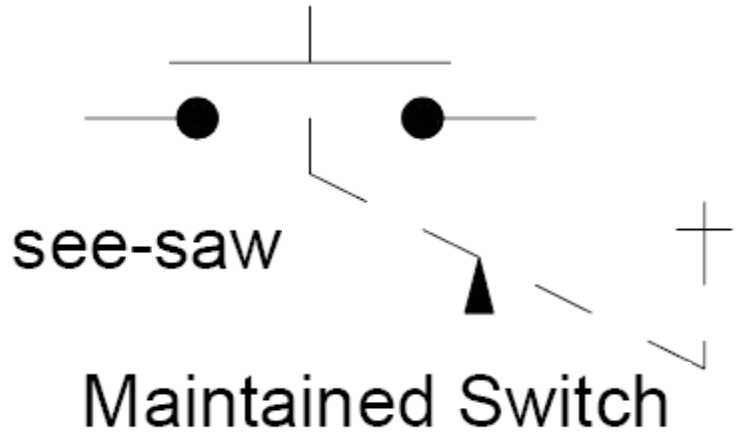
N/O



N/C



N/O and N/C

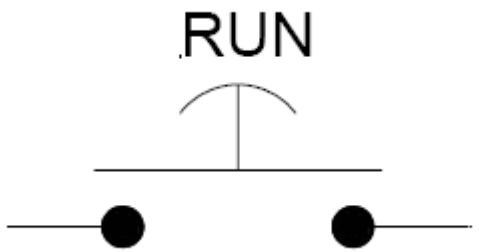


Maintained Switch

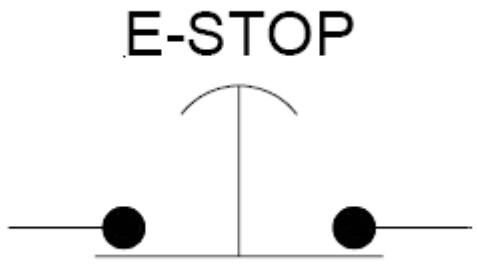
اجزای جانبی

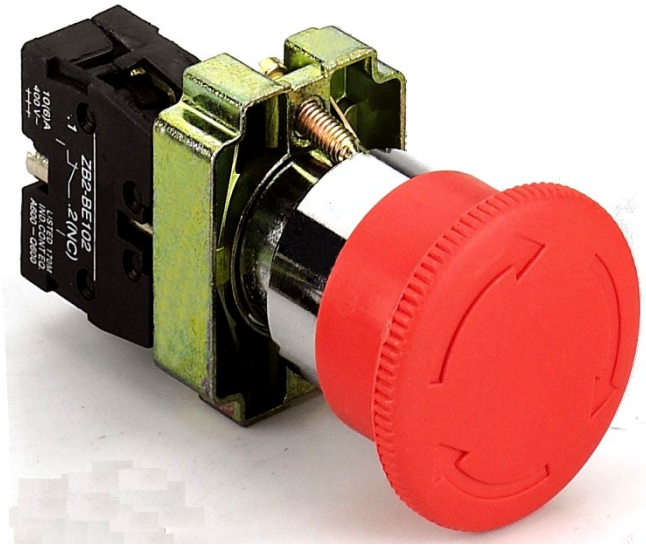
- دکمه های فشاری سر قارچی

- Mushroom Head Pushbutt





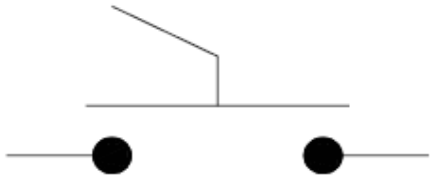


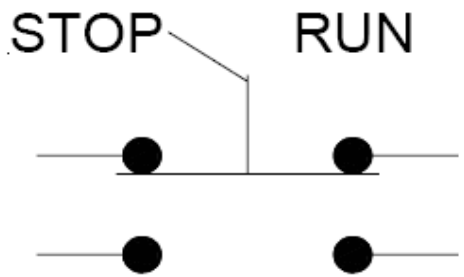


اجزای جانبی

- کلید انتخابی

- Selector Switch









اجزای جانبی

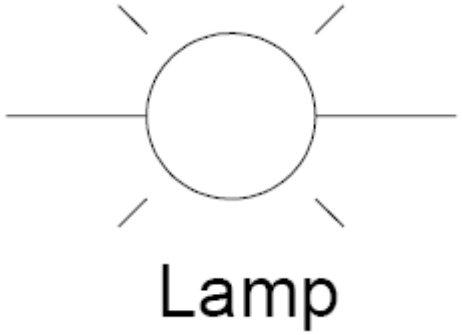
- سوئیچ حدی (Limit Switches)





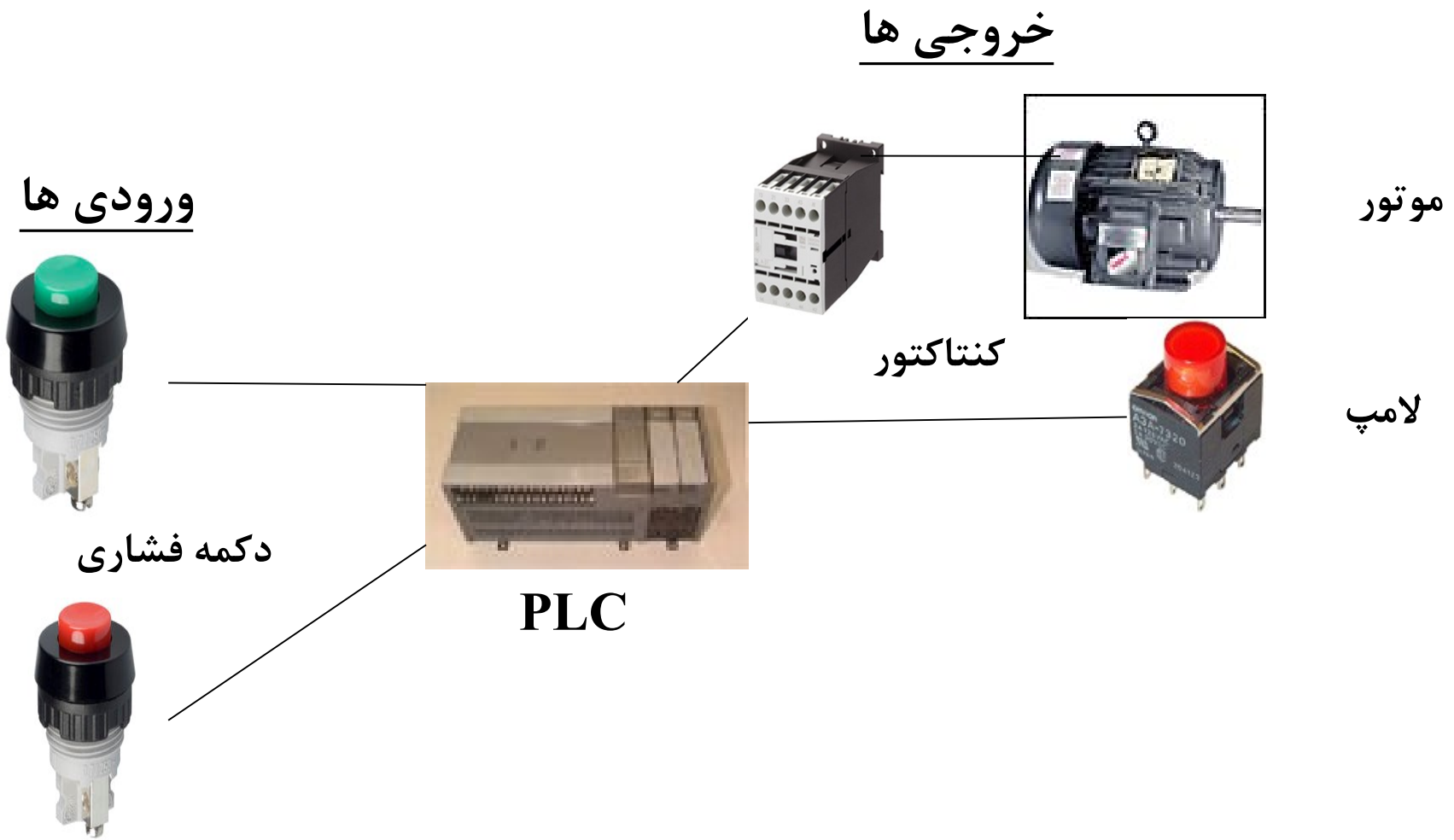
اجزای جانبی

- لامپ (Lamp)



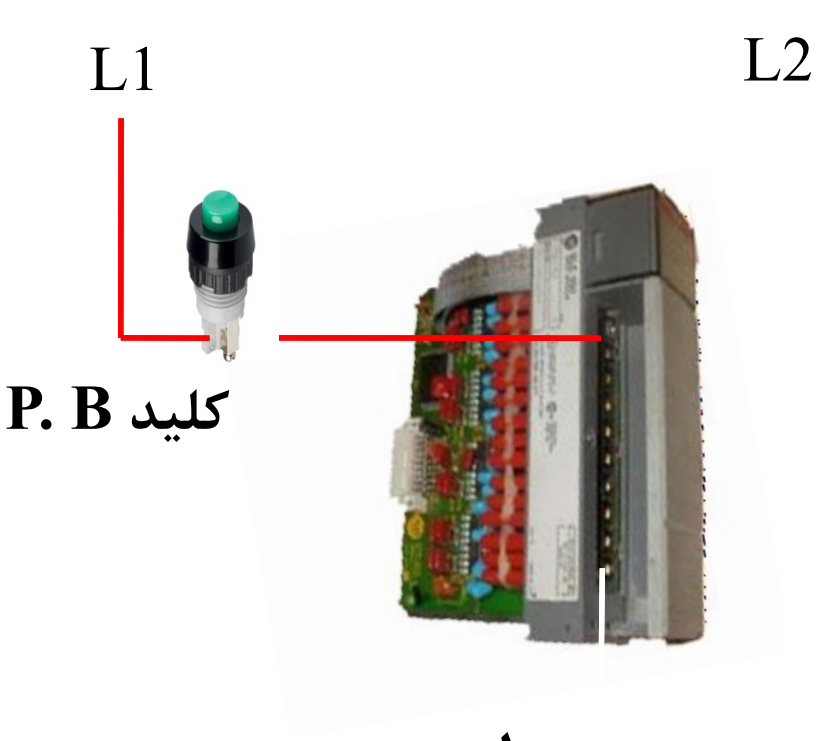


حلقه



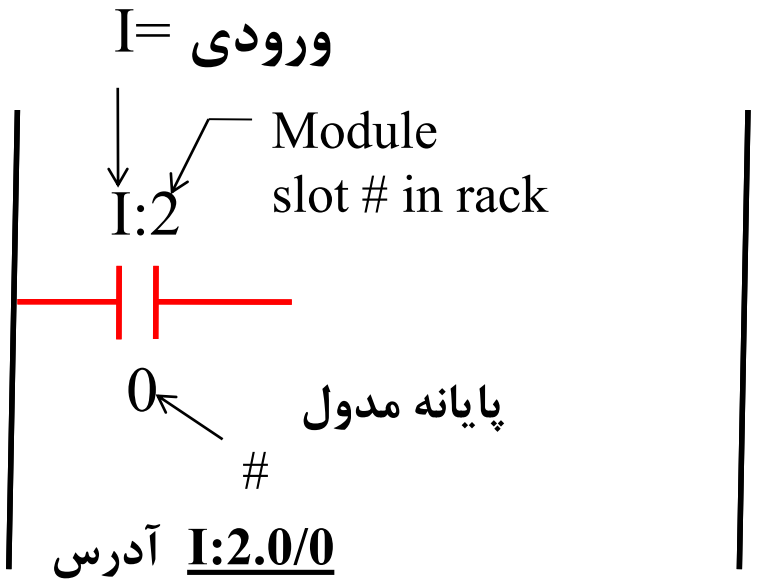
اجرای یک حلقه ساده

Allen-Bradley 1746-1A16



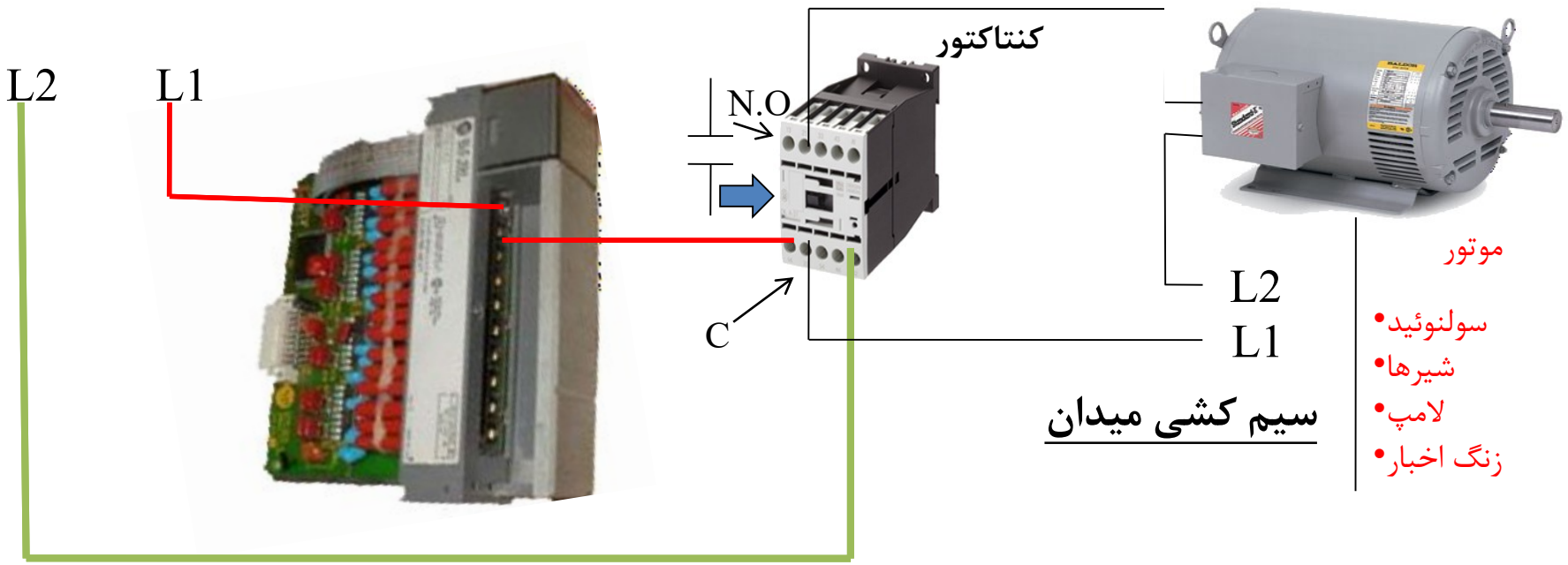
مدول ورودی

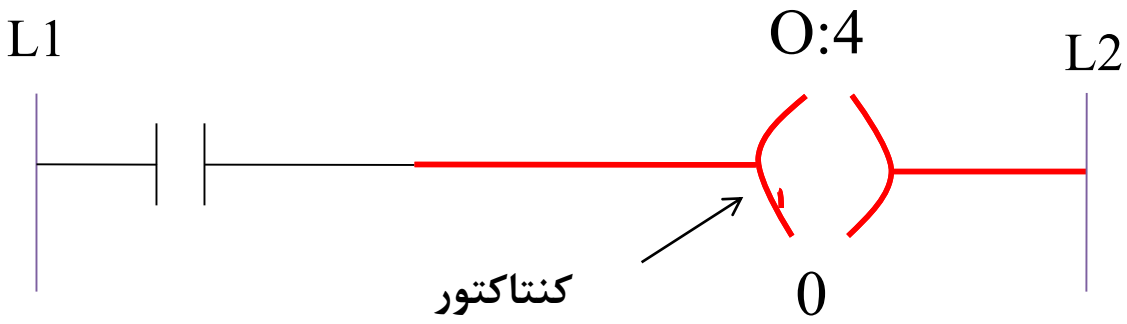
نمودار سیم کشی



برنامه نردبانی

اجرای یک حلقه ساده

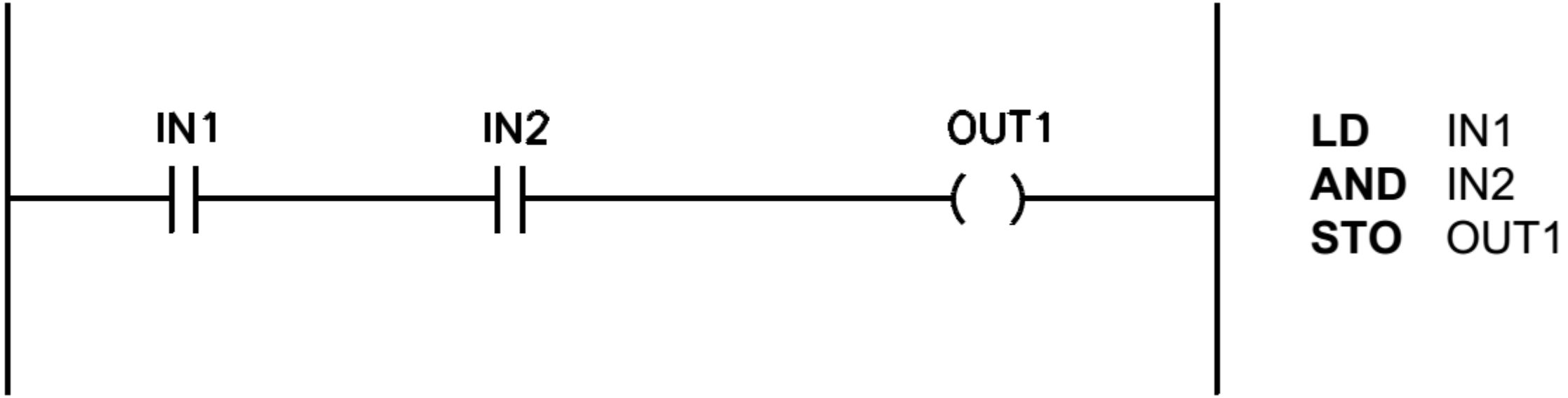




برنامه نردبانی

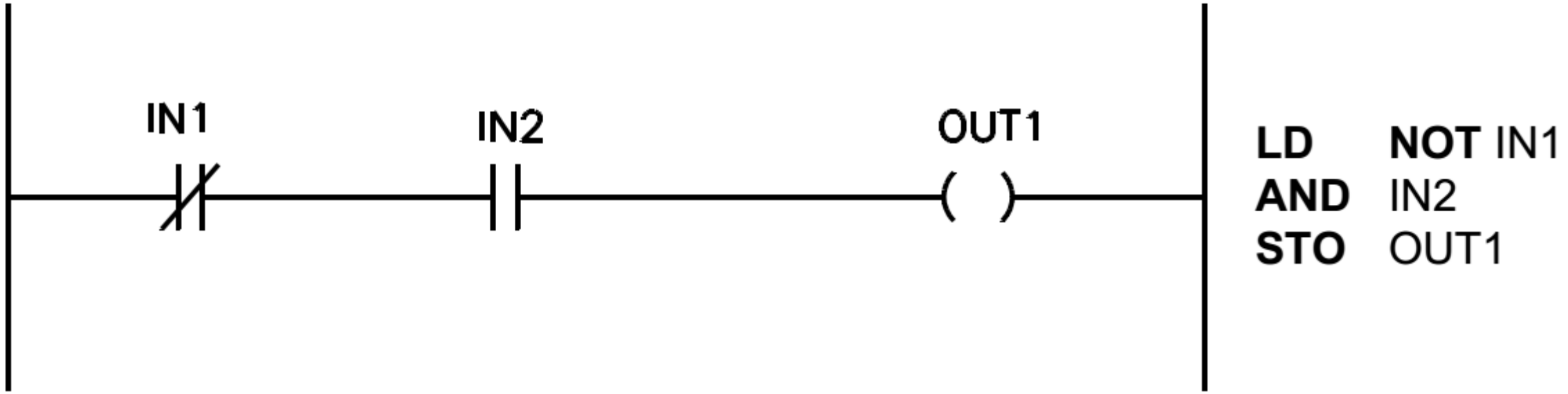
نمودار نردبانی AND

- ترکیب AND دو اتصال IN1 و IN2 برای کنترل سیم پیچ OUT1



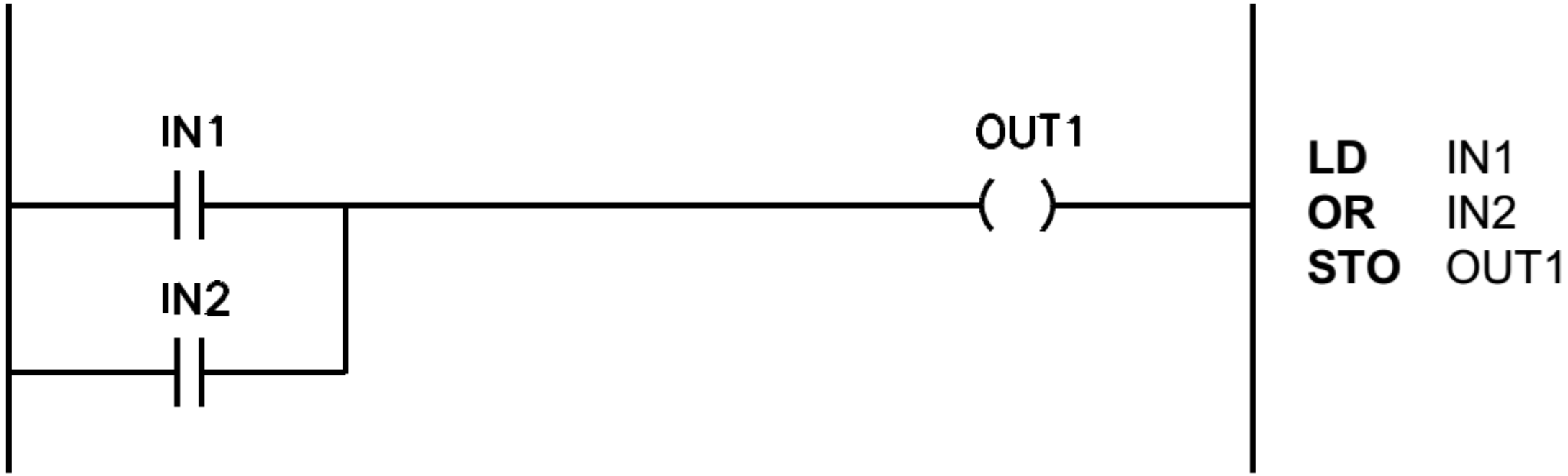
نمودار نردبانی AND

- مدیریت اتصالات نرمال بسته شده



نمودار نردبانی OR

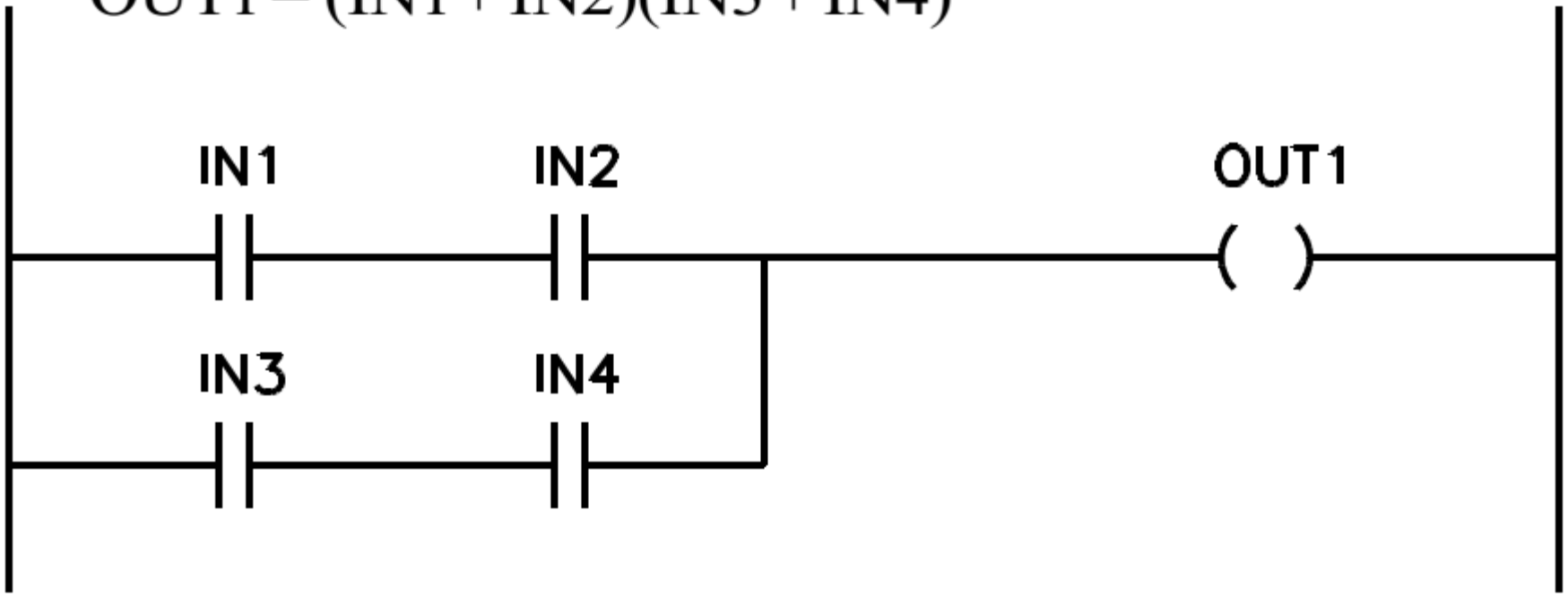
- نمودار نردبانی برای تابع OR



انشعابات ساده

- نمودار نردبانی تابع AND-OR-AND

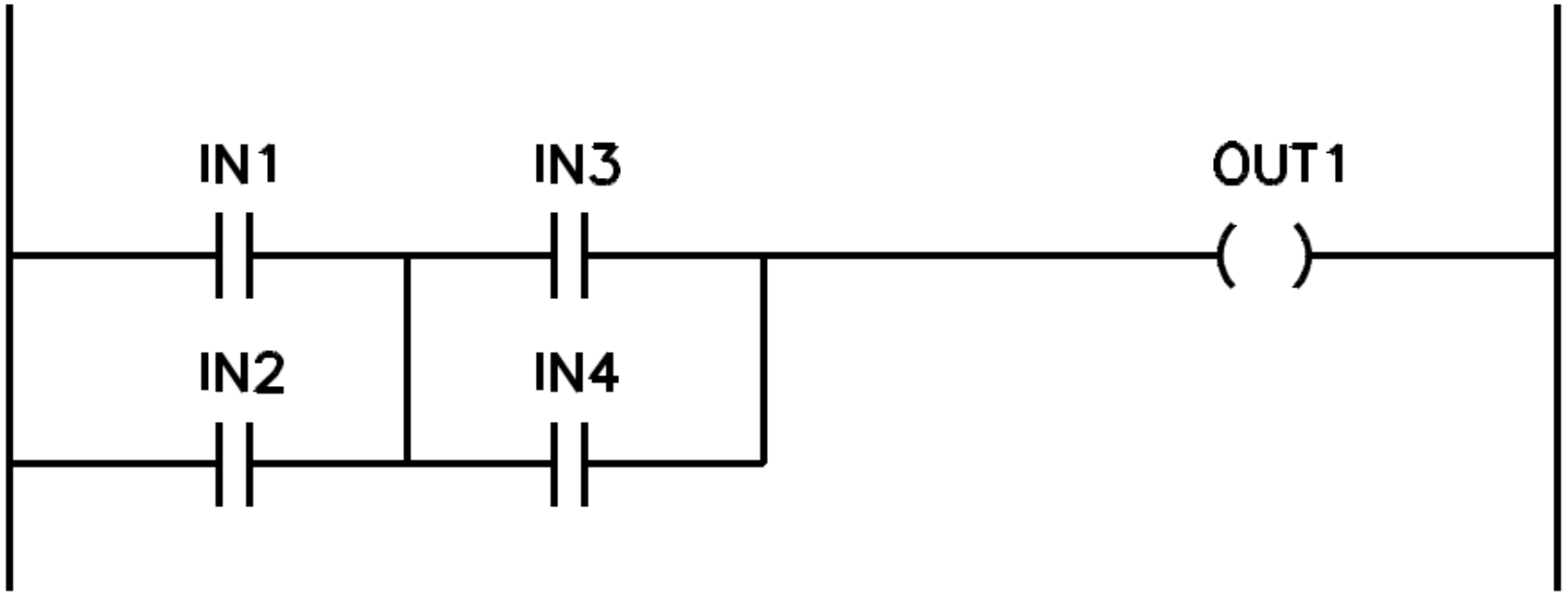
$$OUT1 = (IN1 + IN2)(IN3 + IN4)$$




```
1.   LD    IN1
2.   AND   IN2
3.   LD    IN3
4.   AND   IN4
5.   OR    LD
6.   STO   OUT1
```

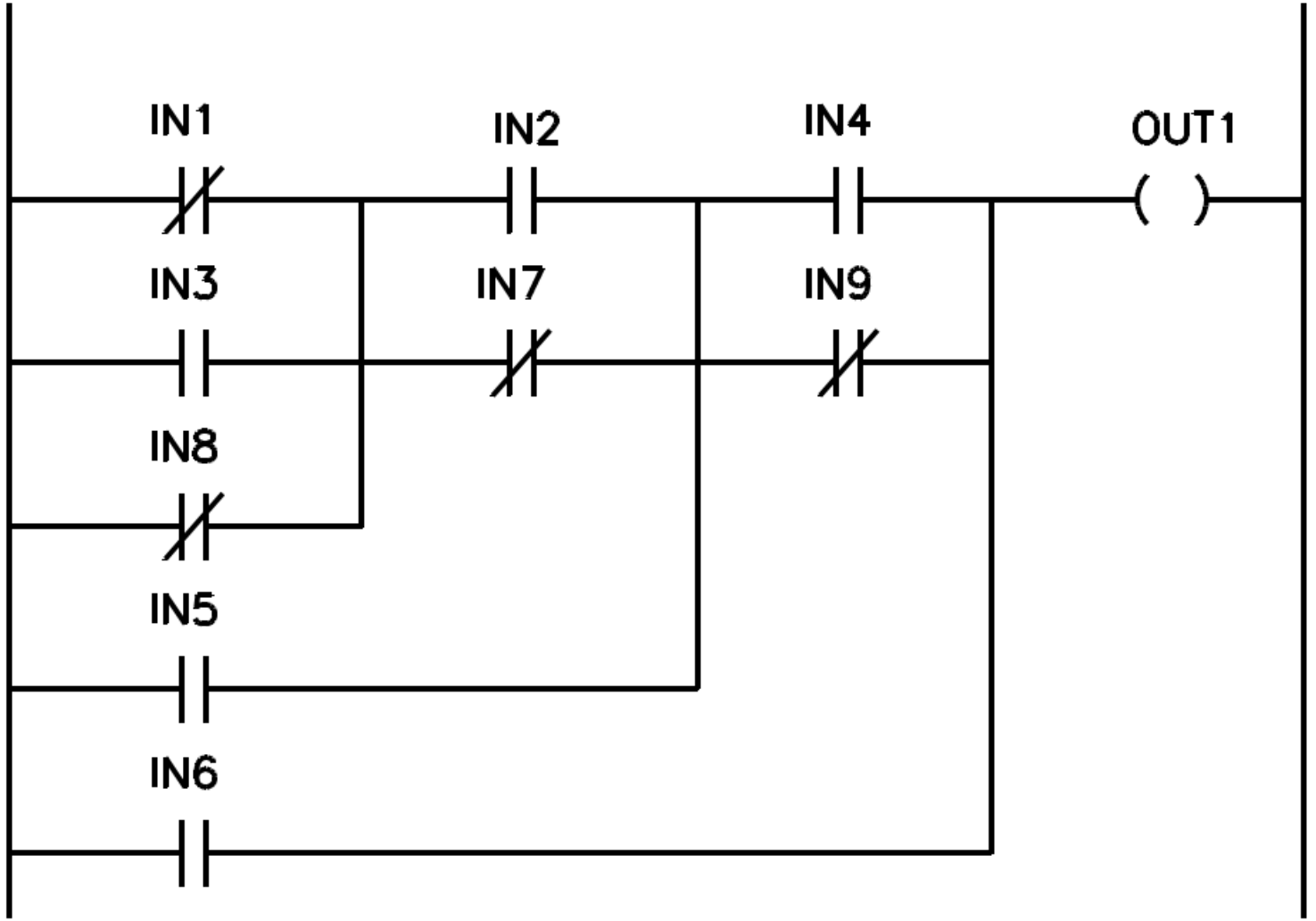
انشعابات ساده

- نمودار نردبانی تابع OR-AND-OR



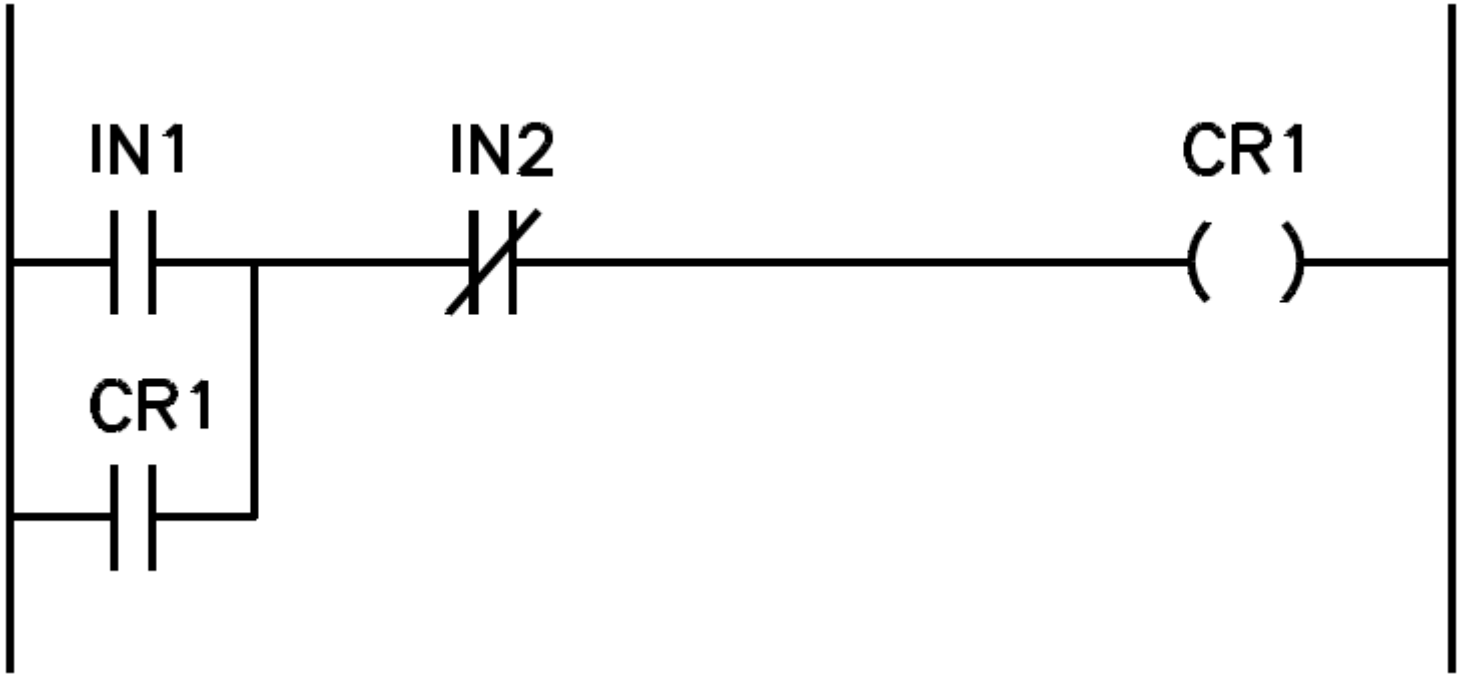

```
1.   LD    IN1
2.   OR    IN2
3.   LD    IN3
4.   OR    IN4
5.   AND   LD
6.   STO   OUT1
```

انشعابات پیچیده



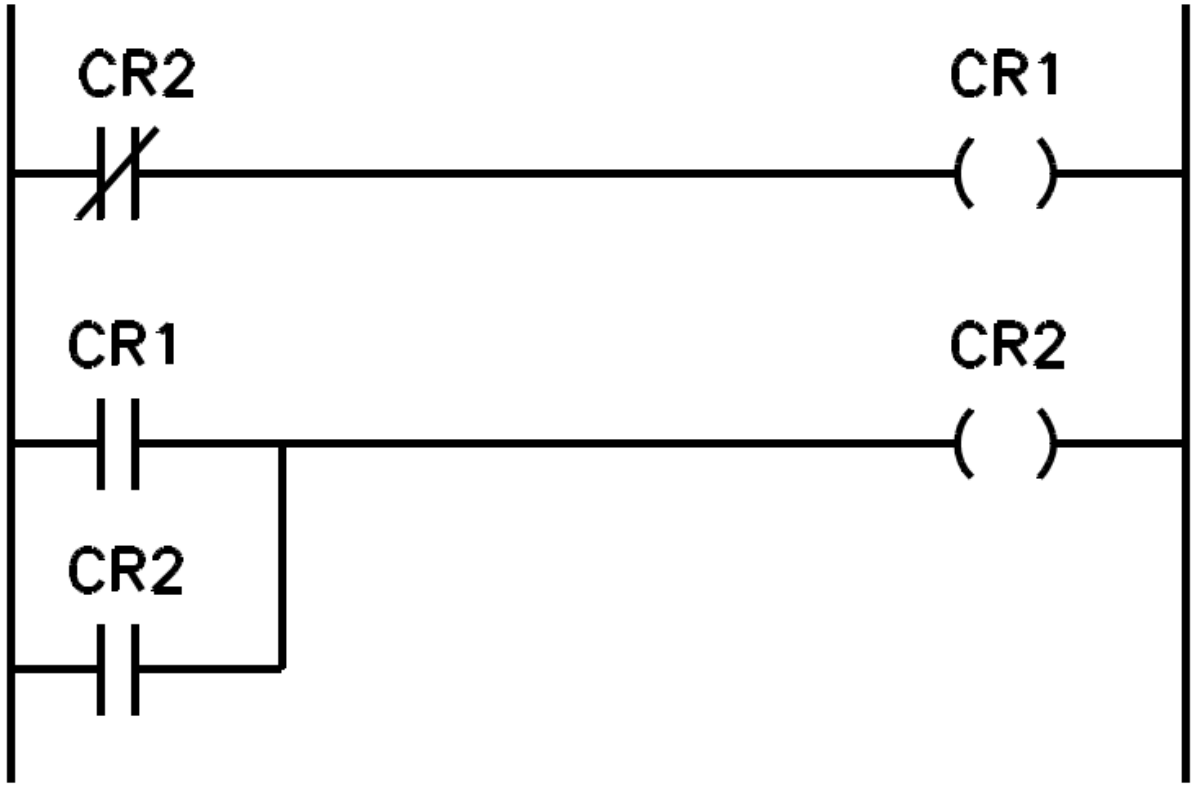
فلیپ فلاپ ها

- فلیپ فلاپ RS (مدار Latch)



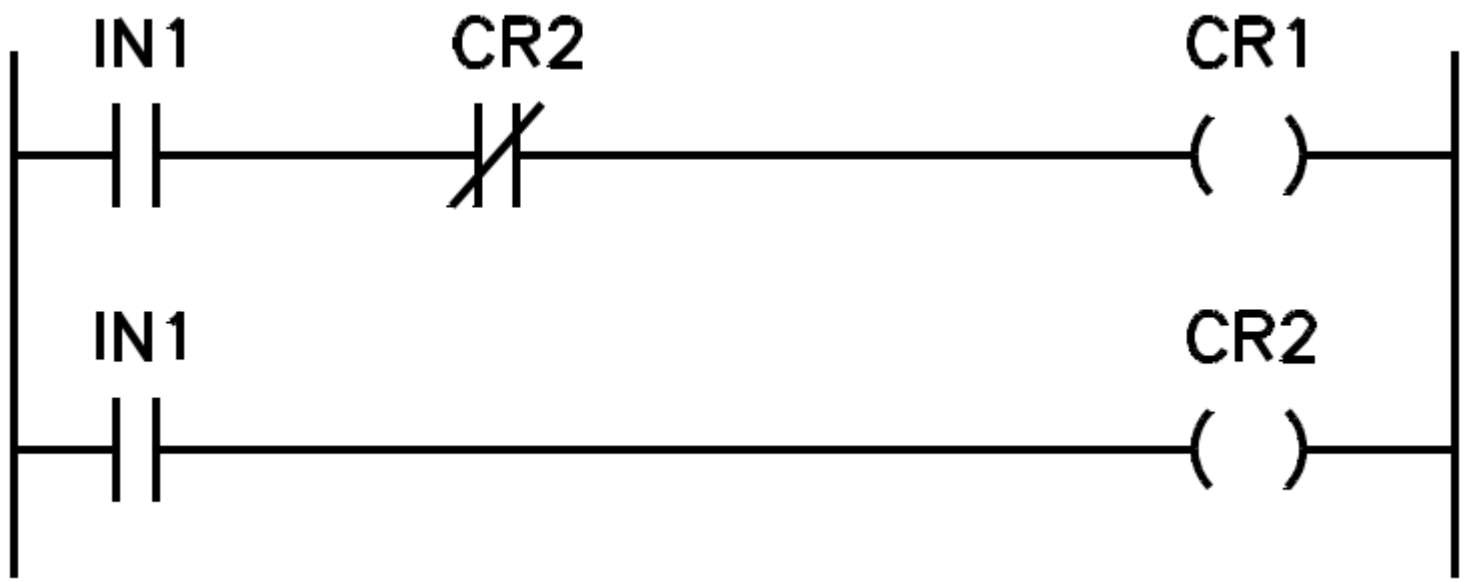
فلیپ فلاپ ها

- تک ضربه خودکار



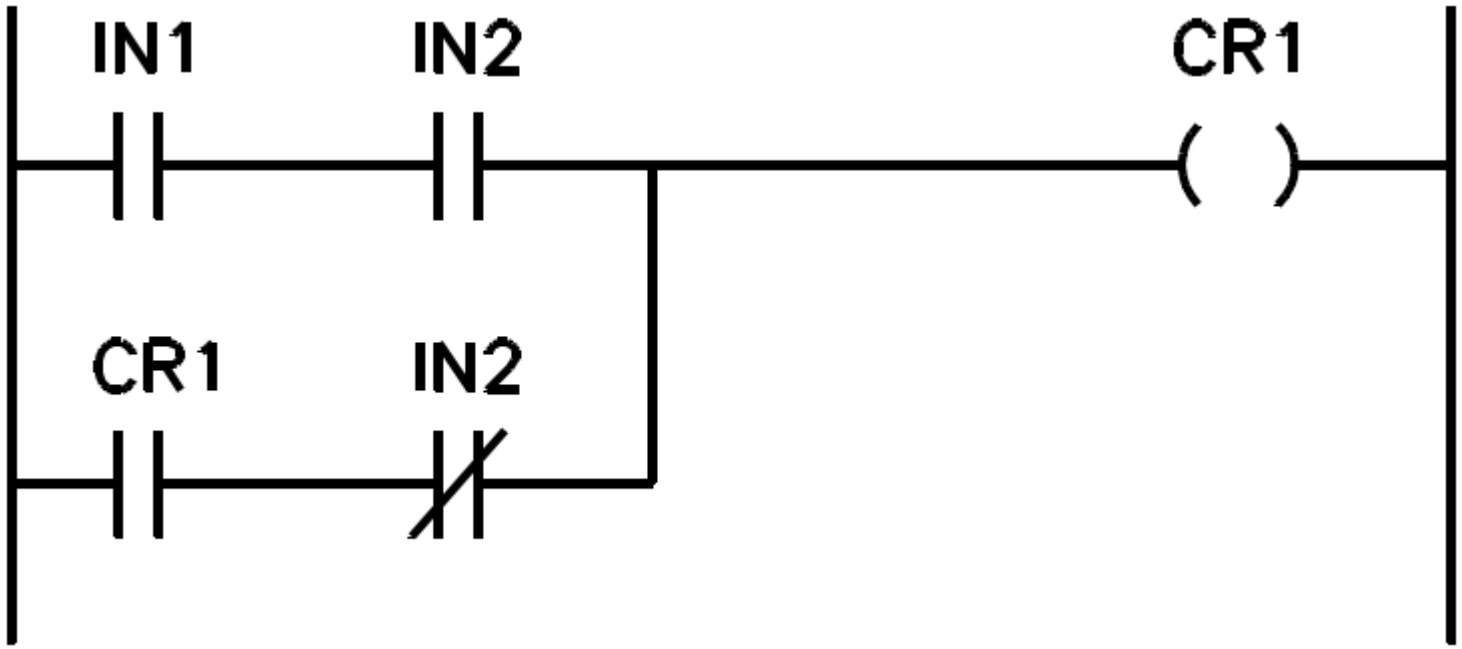
فلیپ فلاپ ها

- تک ضربه با راه اندازی خارجی



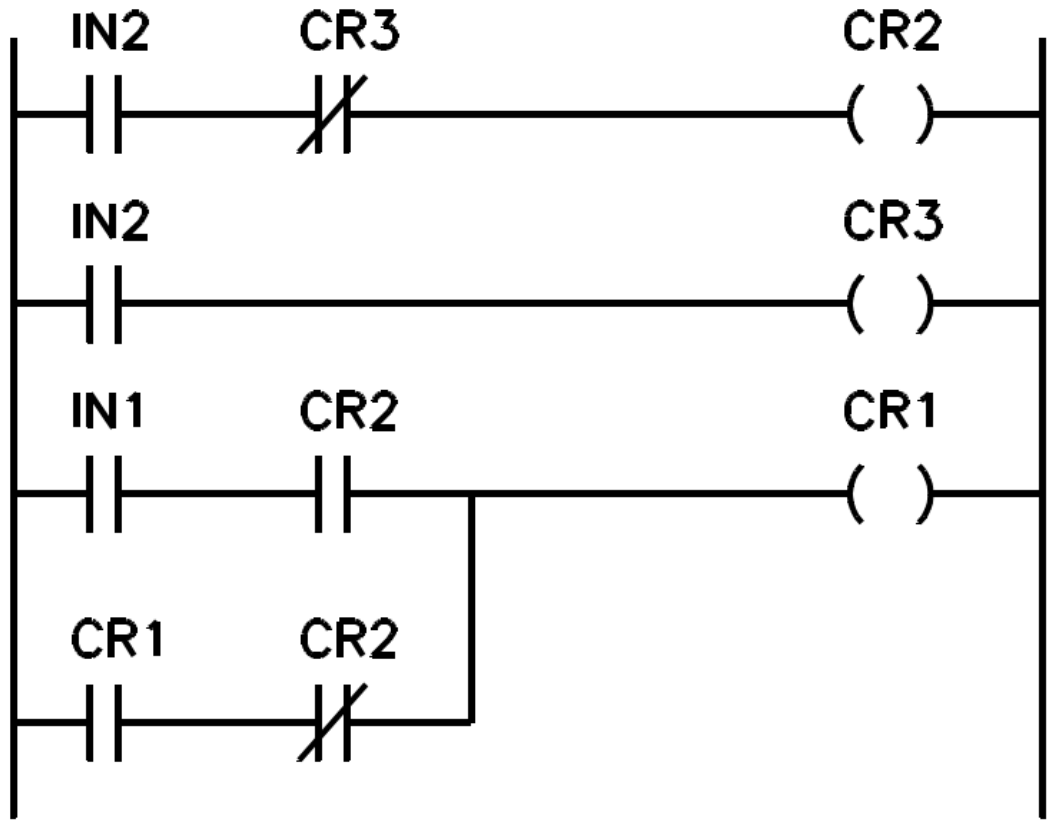
فلیپ فلاپ ها

- فلیپ فلاپ D (IN1 = D، راه اندازی = IN2)



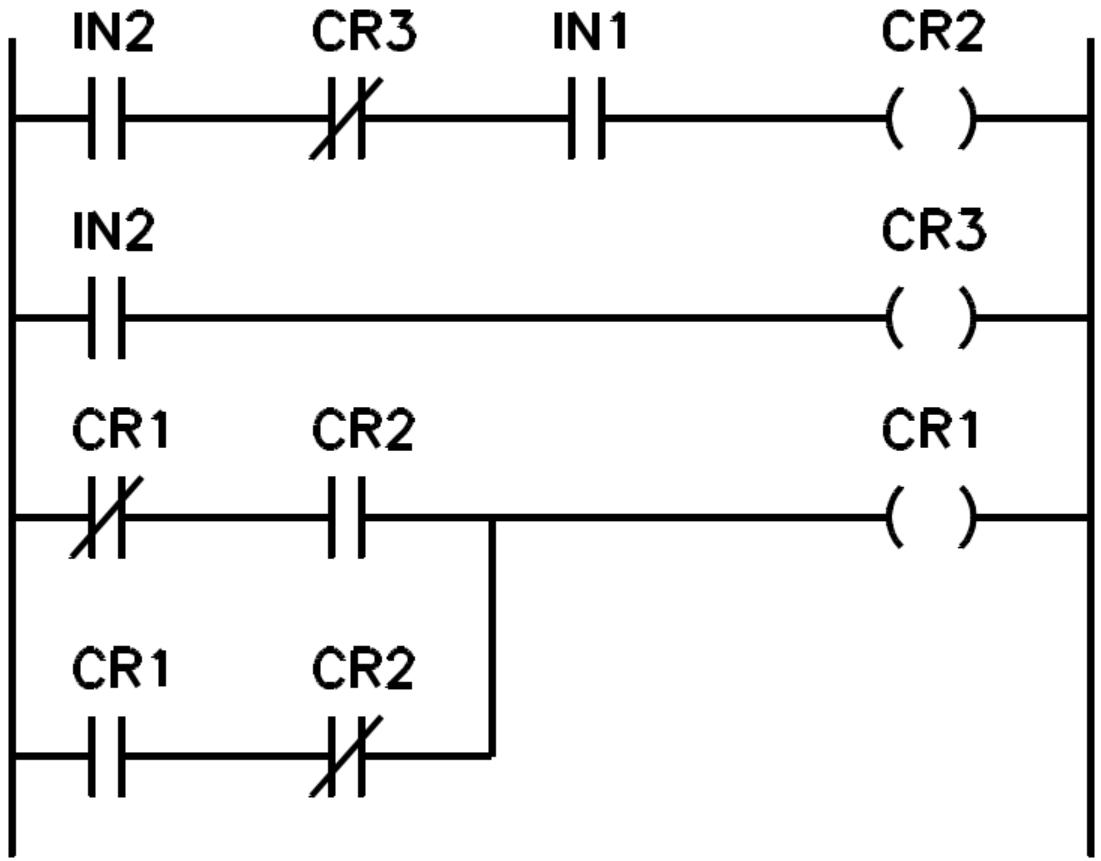
فلیپ فلاپ ها

- فلیپ فلاپ D (با یک راه انداز جستجو، IN1 = D ، راه اندازی = IN2)



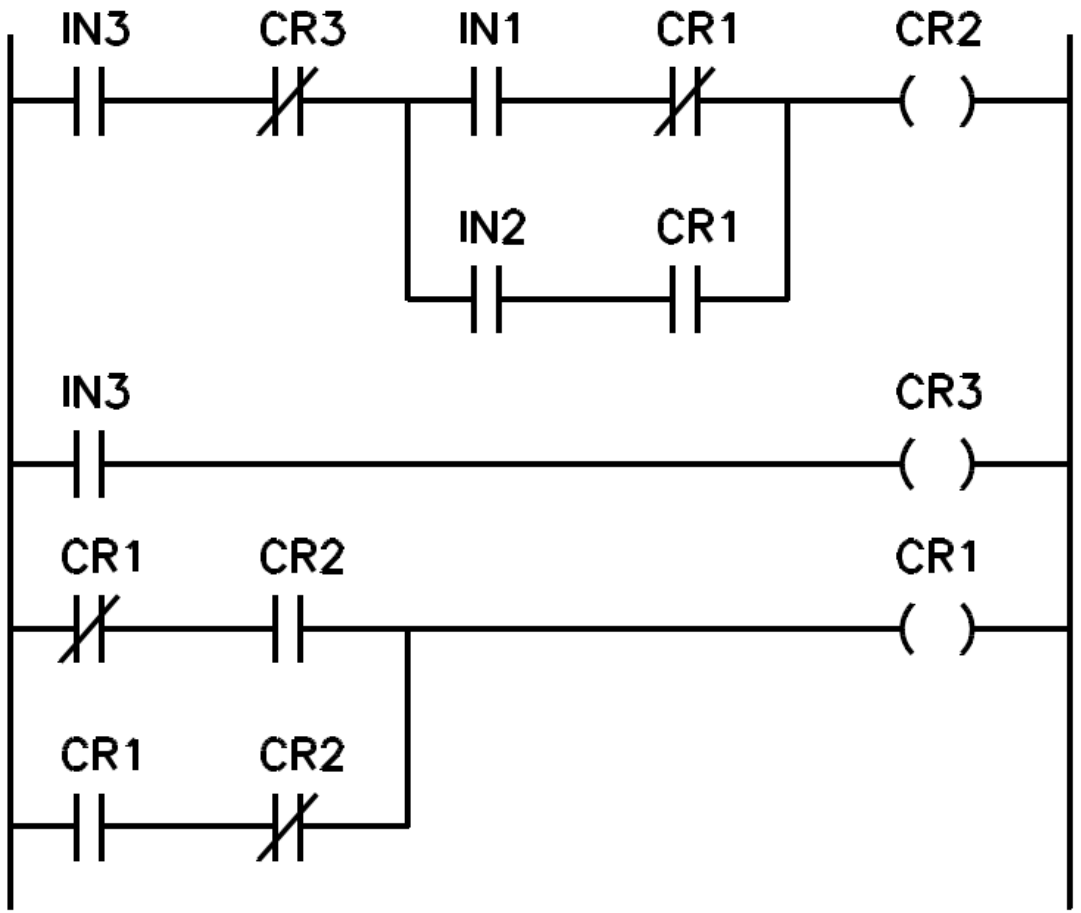
فلیپ فلاپ ها

- فلیپ فلاپ T (IN1 = T، راه اندازی = IN2)



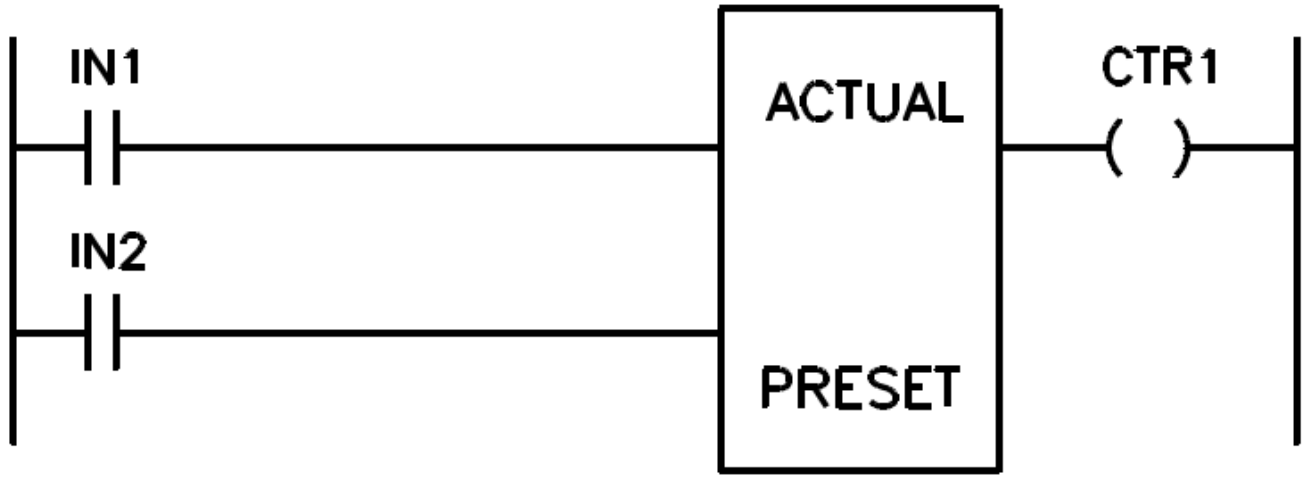
فلیپ فلاپ ها

- فلیپ فلاپ J-K (IN1 = J، IN2 = K، راه اندازی = IN3)



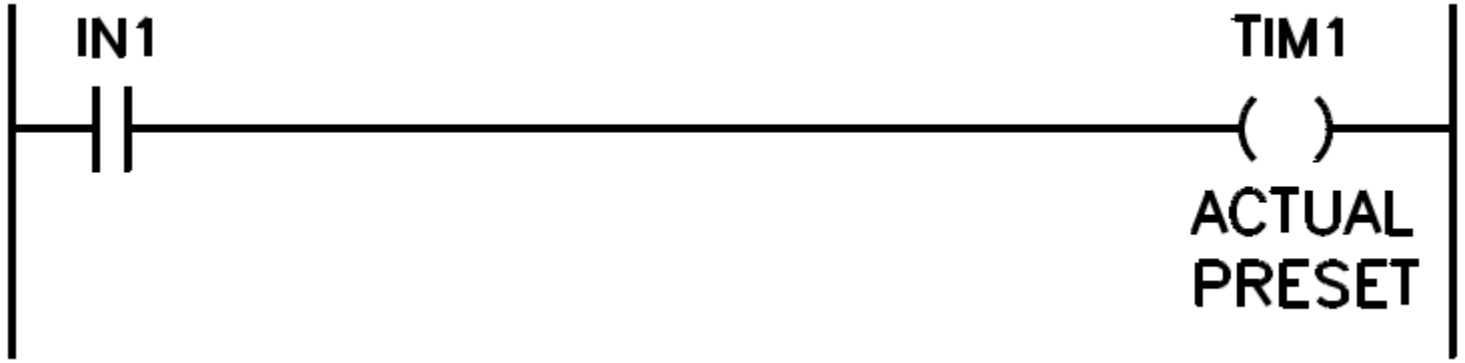
شمارنده ها

- شمارنده تابعی خاص بوده که در زبان برنامه نویسی PLC گنجانده شده است. این تابع به PLC اجازه می دهد هر زمان که منطق کنترلی در هر مرحله از نمودار نردبانی، از ۰ به ۱ می رسد، عددی را اضافه یا کم کند.



زمان سنج ها

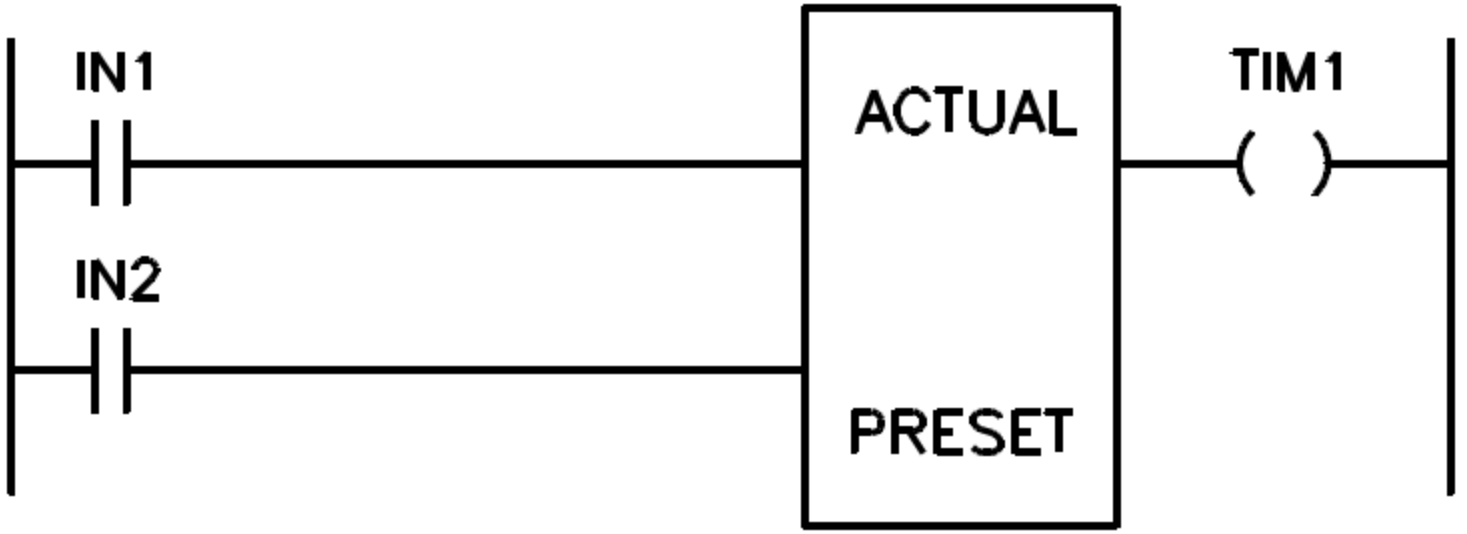
- زمان سنج تابعی نردبانی شمارنده خاص بوده که امکان اجرای عملیات زمان بندی را برای PLC میسر می کند. این کار بر اساس یک ساعت داخلی انجام می شود، معمولا ۰.۱ یا ۰.۰۱ ثانیه در هر پالس ساعت



Non-retentive Timer

تایمر ها

- تایمر نگهدارنده



حافظه یا رجیستر

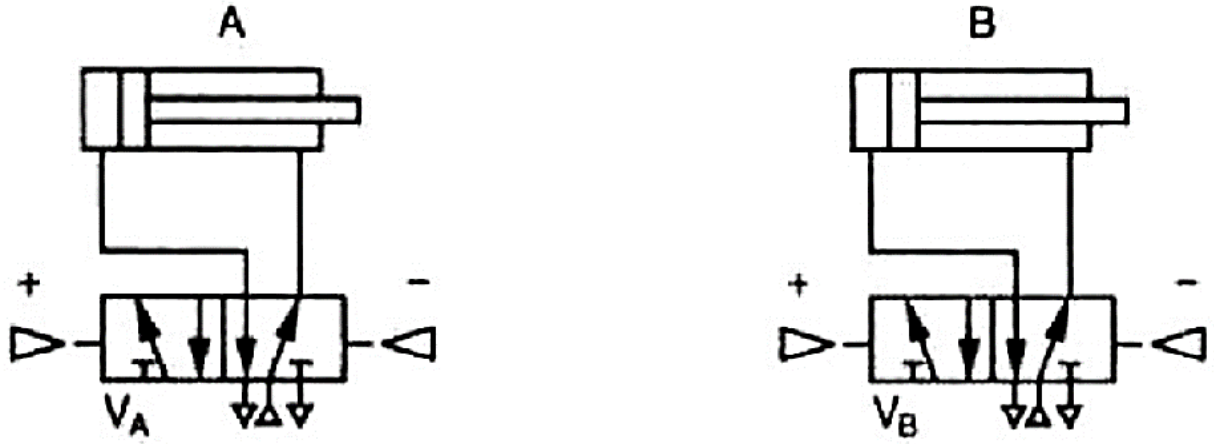
- نوع خاصی از حافظه PLC می تواند به صورت یک رجیستری قابل آدرس دهی در اختیار برنامه نویس قرار گیرد.
- این حافظه معمولا با حرف M نمایش داده می شود.
- به عنوان رله خروجی قابل set شدن است
- به صورت رله ورودی CR قابل فراخوانی است.

حرکت ترکیبی توسط چند جک

- با استفاده از سنسورهای موقعیت می توان حرکت های ترکیبی نیز ایجاد نمود. به عنوان مثال:

A+ B+ A- B- repeat

– با شیرهای 2×5 با تحریک برقی برای حرکت جک ها



برنامه نویسی با PLC

- فرض کنید می خواهیم حرکت زیر را ایجاد نماییم:

A+ B+ /B- A- repeat

– در محیط Ladder برنامه ای بنویسید که حرکت جک های A و B به ترتیب فوق را ایجاد نماید.

با سپاس از توجه شما