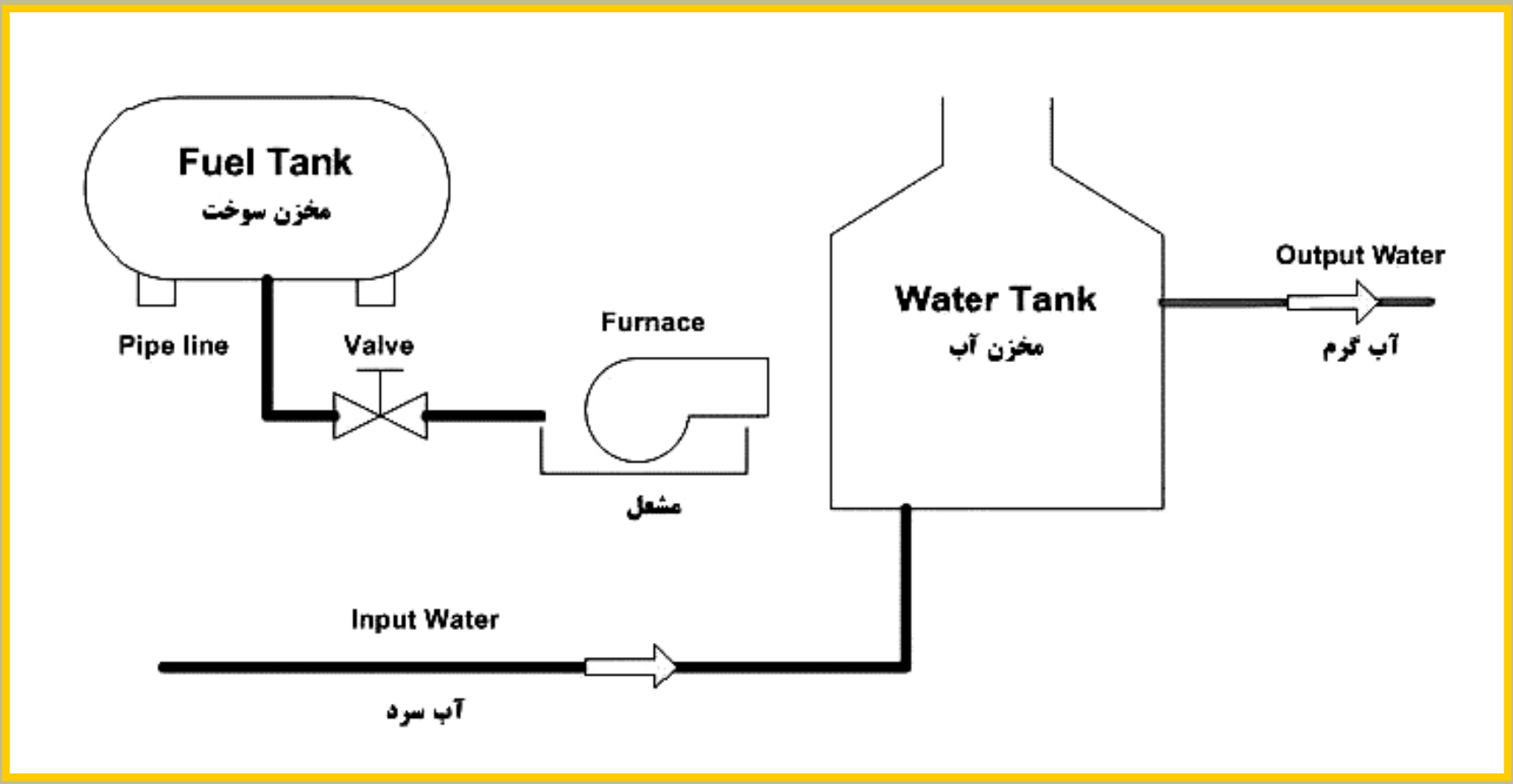
آشنایی با ابزار دقیق

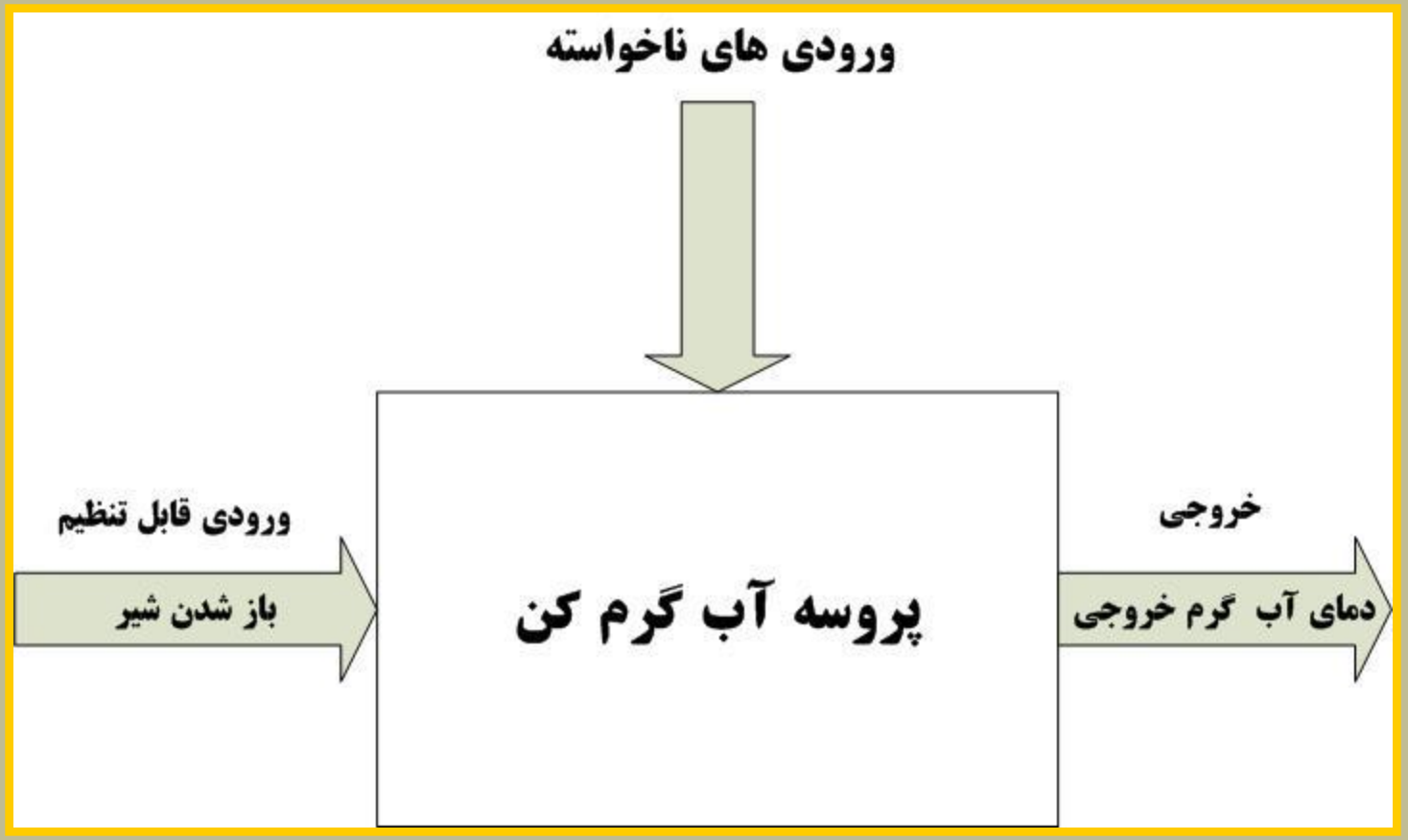
تهیه و تنظیم:
مهندس حمید کتیرایی

فصل اول
مبانی سیستم های کنترل

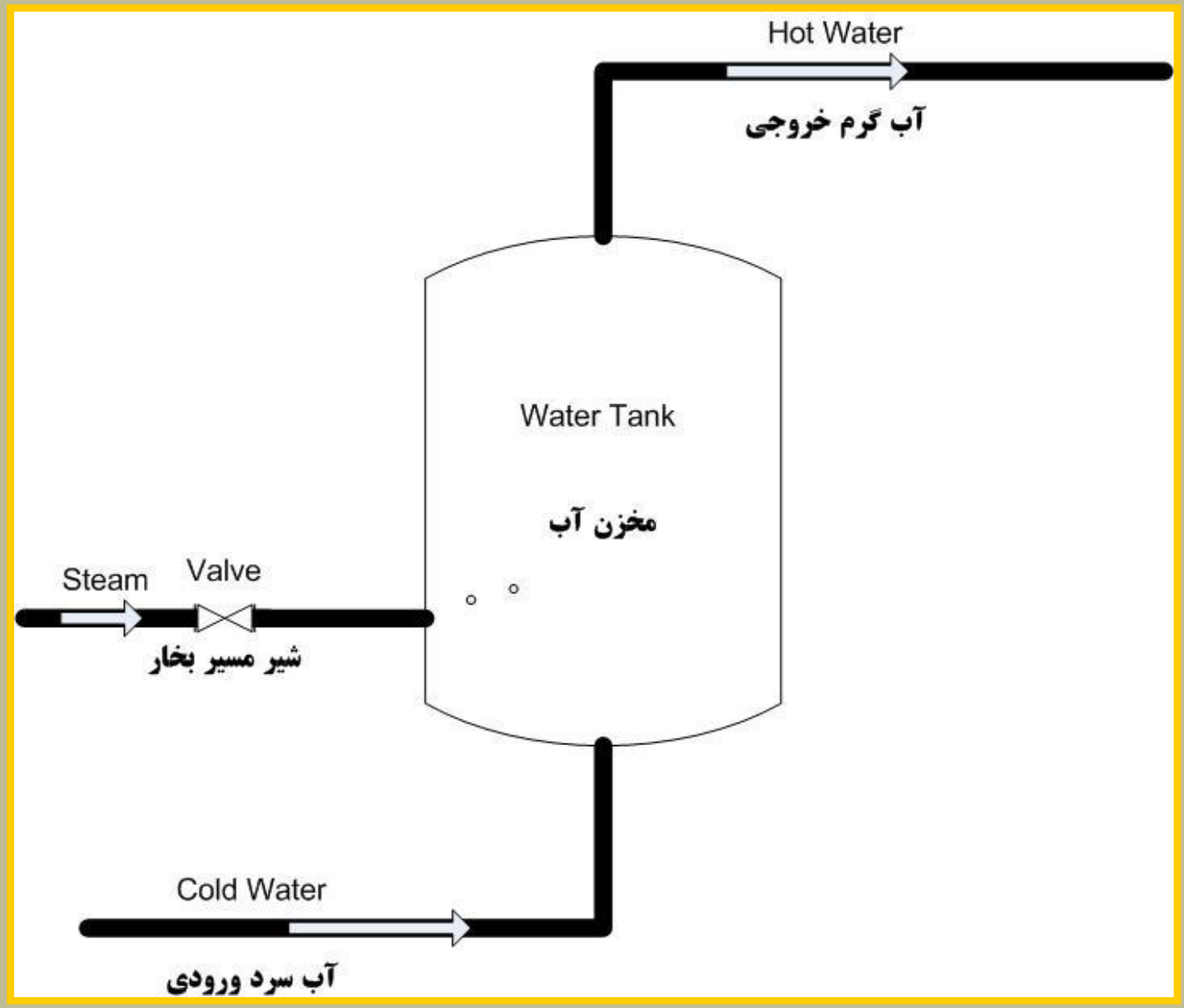
- اهداف آموزشی فصل اول :
- ۱– مرور مبا نی ، مفاهیم و تعاریف اولیه کنترل
- ۲– آشنا ئی با انواع سیستم کنترل از نظر نوع حلقه
- ۳– آشنا ئی با روشهای کنترل کمیتهای دما ، فشار ، فلو ولول در پروسه های صنعتی
- ۴– آشنائی با اجزاء سیستم کنترل حلقه بسته صنعتی

سیستم آبگرمکن ساده

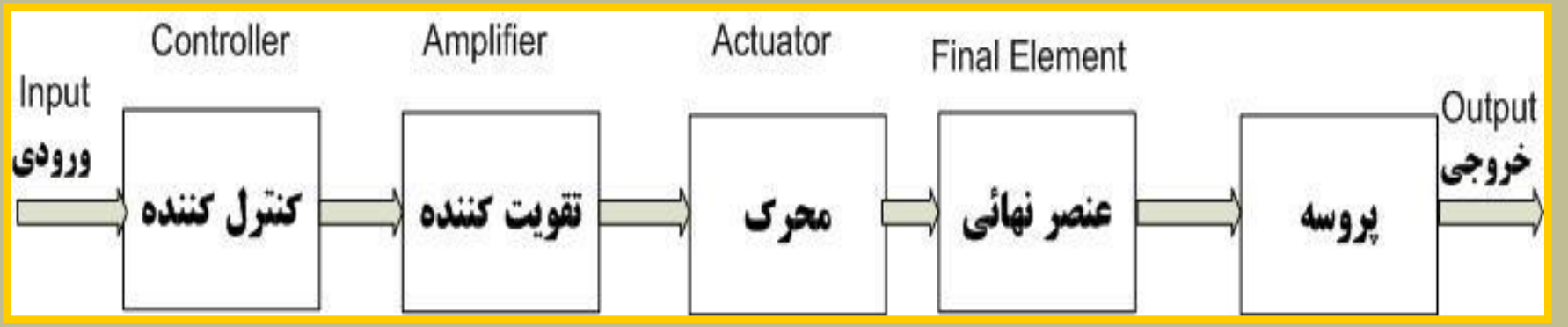



ورودی های ناخواسته
ورودی قابل تنظیم
باز شدن شیر
پروسه آب گرم کن
خروجی
دمای آب گرم خروجی

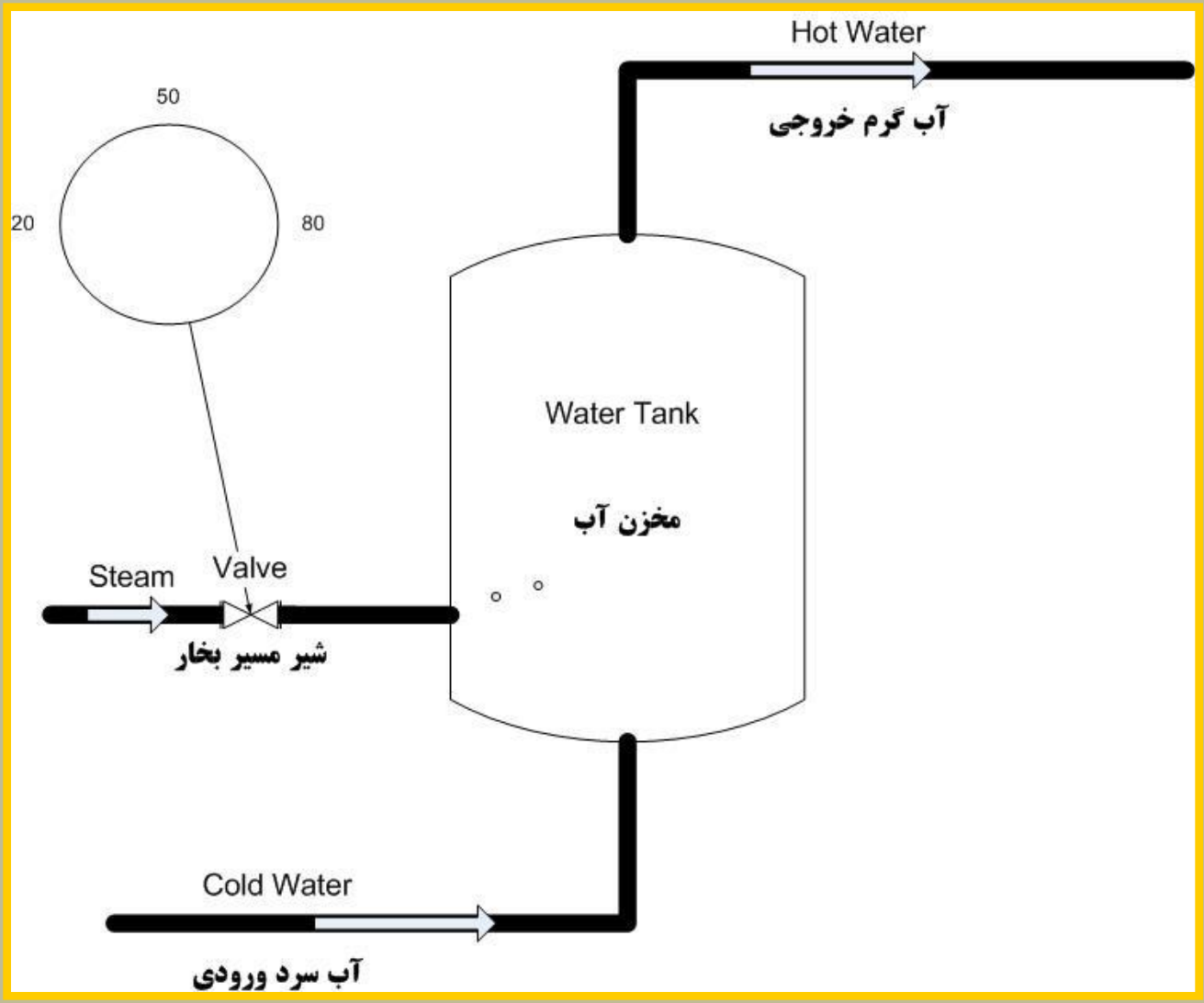
سیستم آبگرمکن Direct Contact Steam& Water



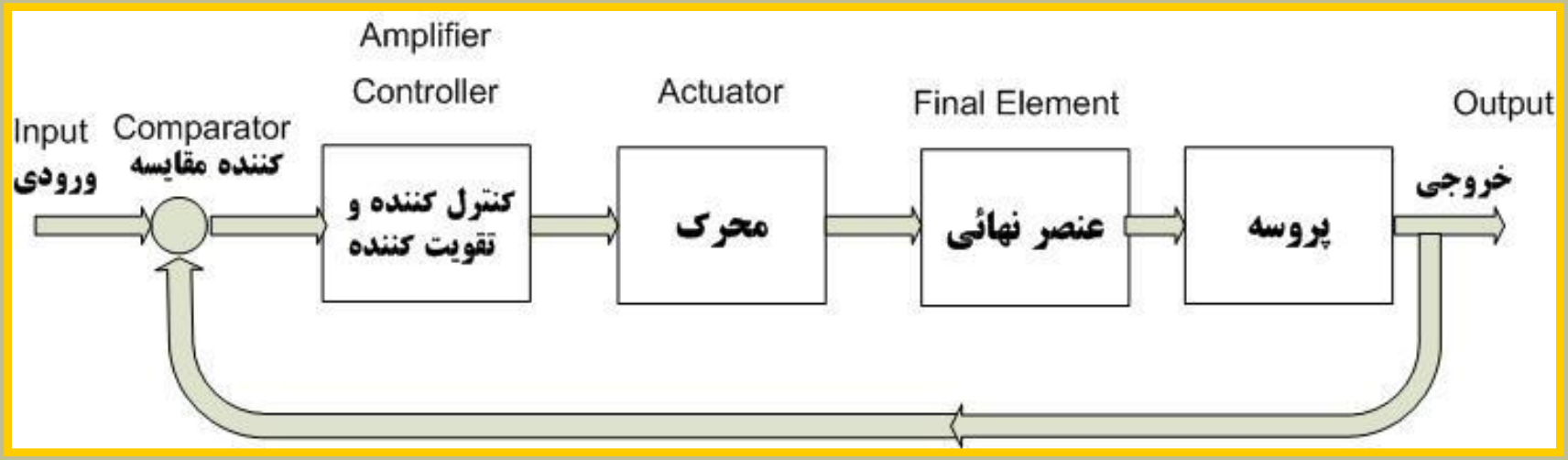
بلوک دیاگرام سیستم کنترل حلقه باز



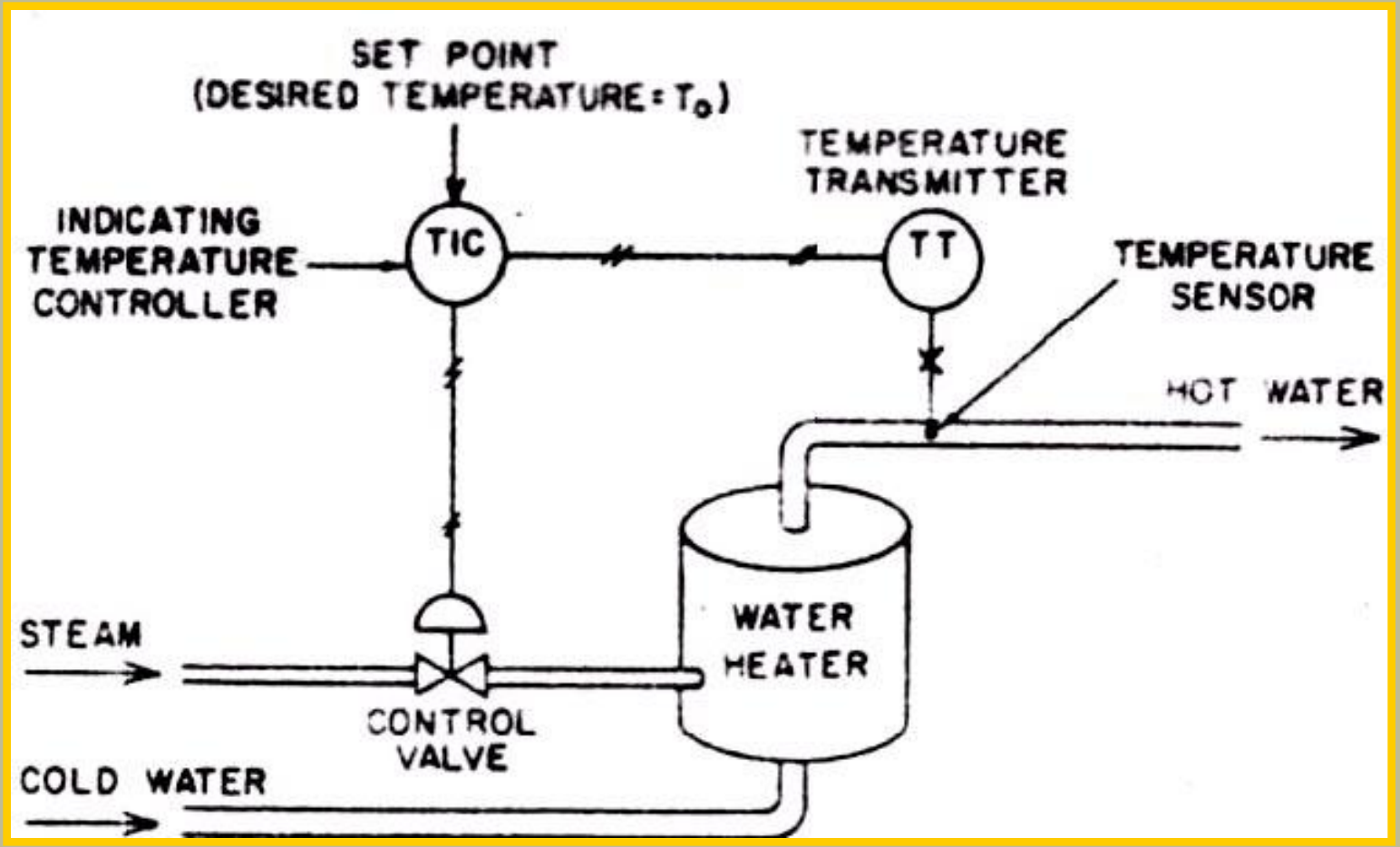
کنترل حلقه باز سیستم آبگرمکن



بلوک دیاگرام سیستم کنترل حلقه بسته



سیستم کنترل حلقه بسته اتوماتیک



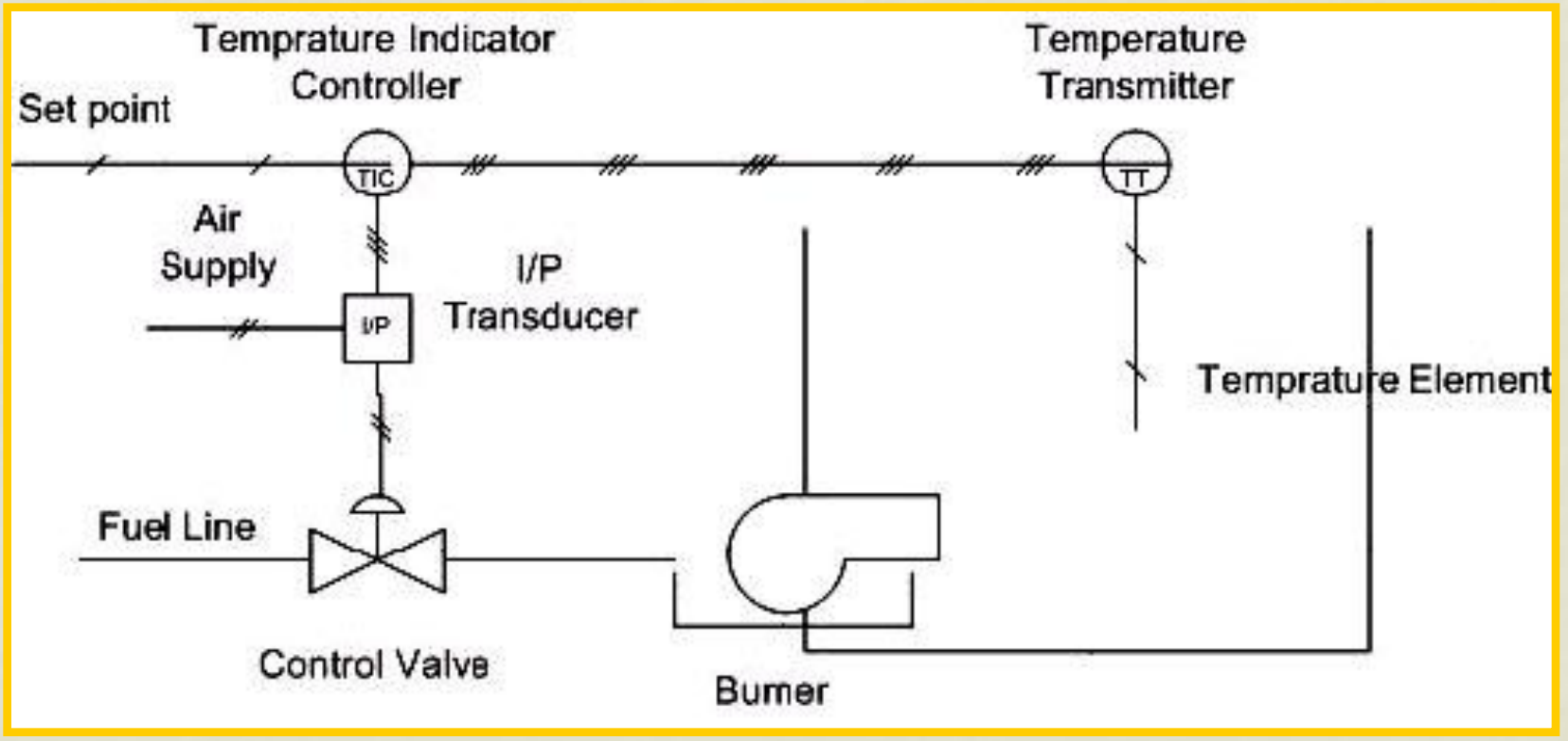
خصوصیات سیستم کنترل حلقه بسته

۱– سیستم ناپایدار توسط حلقه با المان‌های مناسب می‌تواند پایدار گردد .
۲– حساسیت نسبت به تغییر پارامترهای حلقه کاهش می‌یابد .
۳– اثر اغتشاشات را کم می‌نماید.

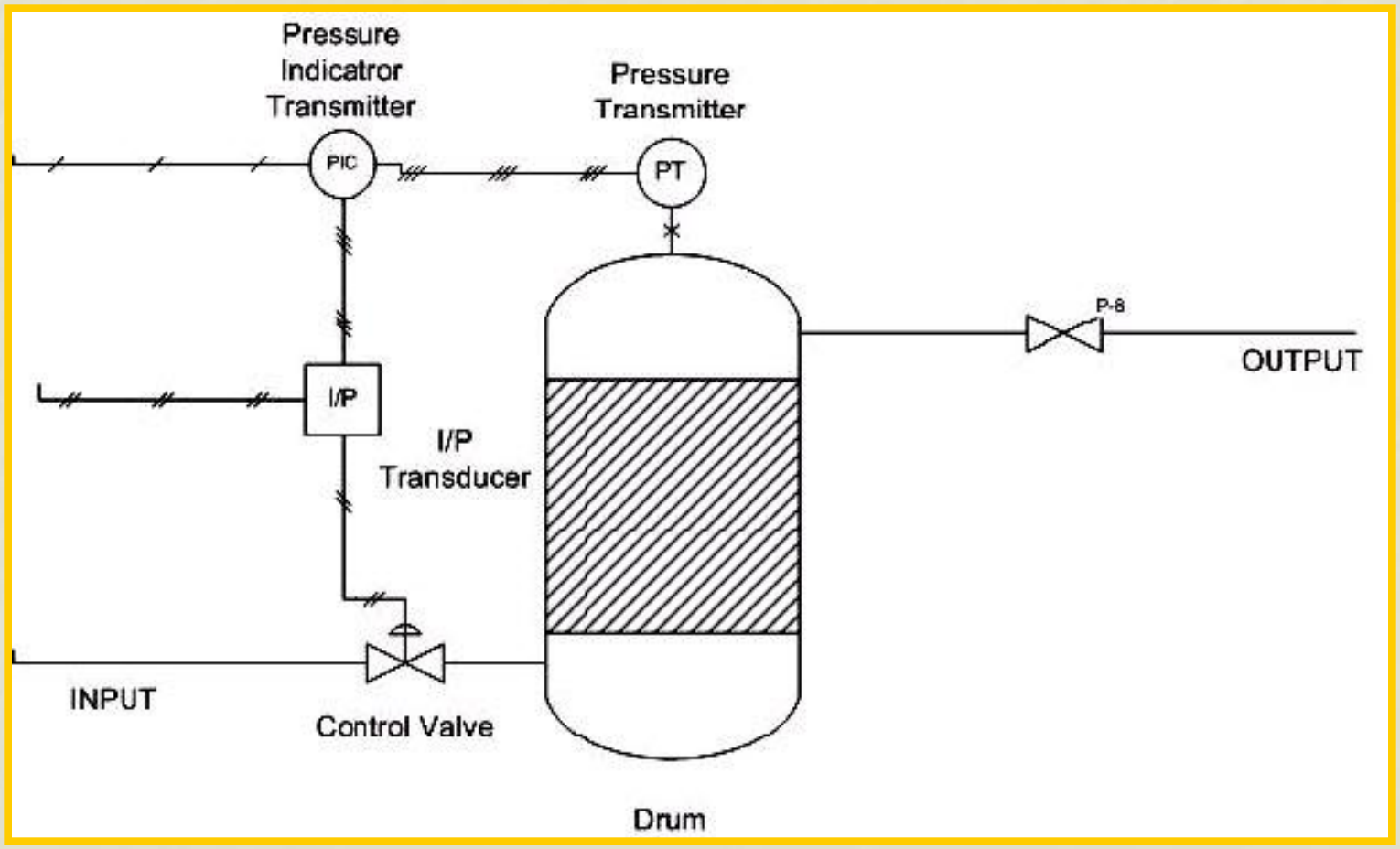
معایب:
۱– بدلیل تأثیری که در محل قطب‌ها دارد ممکن است سیستم را ناپایدار کند.
۲– هزینه ساخت افزایش می‌یابد.

مزیت سیستم‌های حلقه بسته:
۱– حذف خطای المان‌های سیستم
۲– حذف اغتشاش در کنترل کننده و سیستم
۳– ایجاد دقت بیشتر
۴– نزدیک بودن به فرآیندهای واقعی

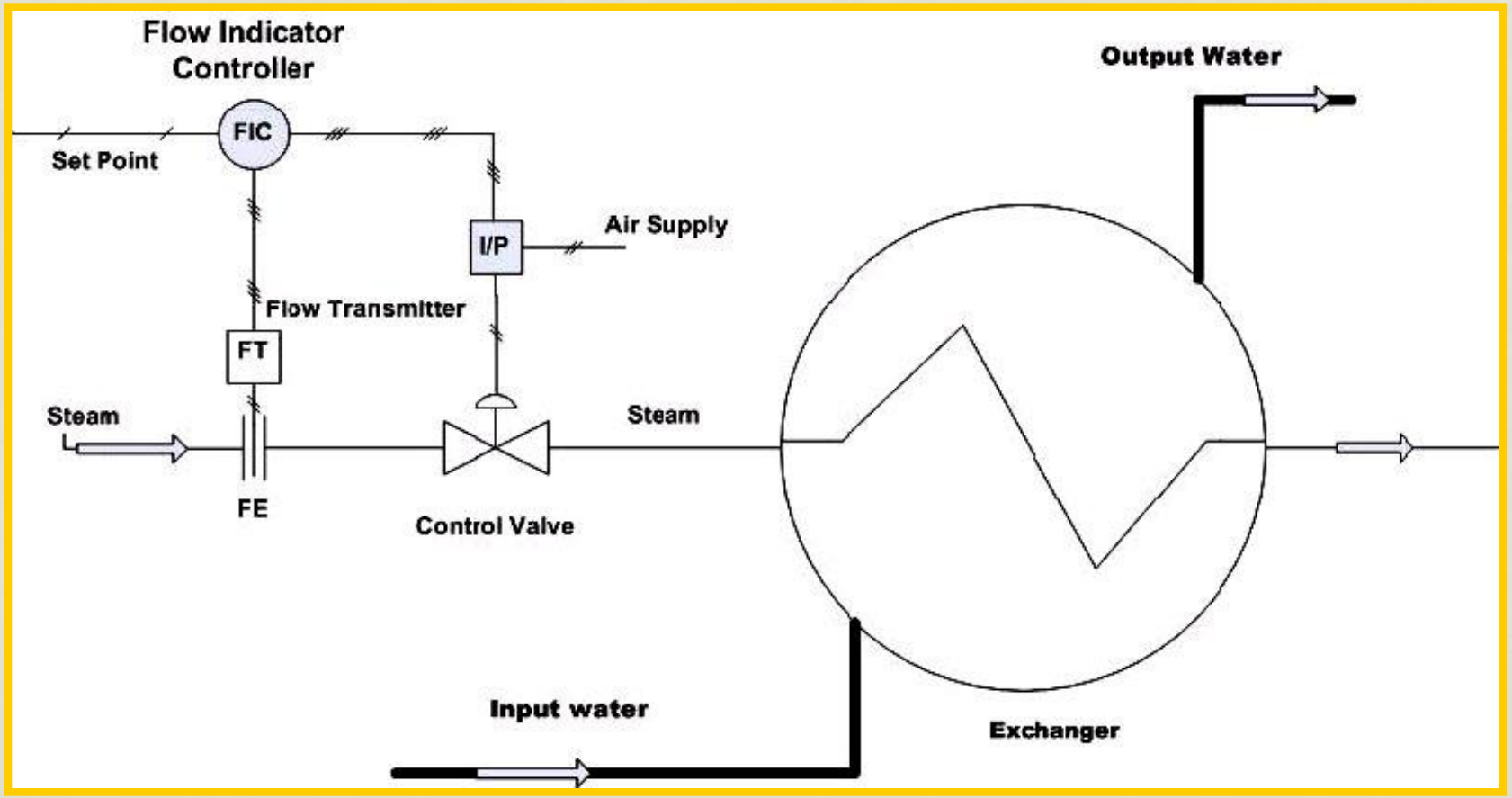
مثال کنترل دما



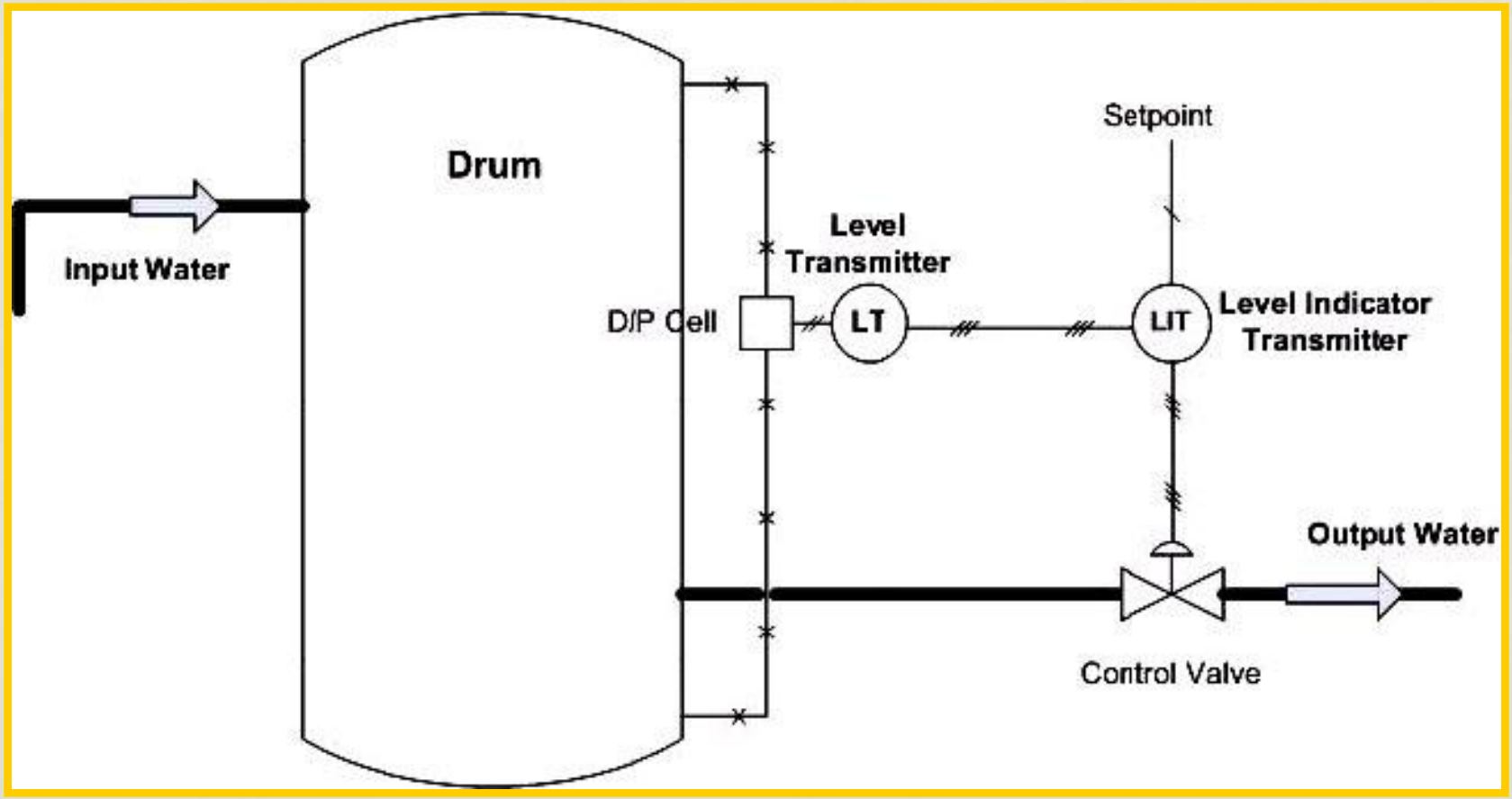
مثال کنترل فشار



مثال کنترل جریان (Flow)



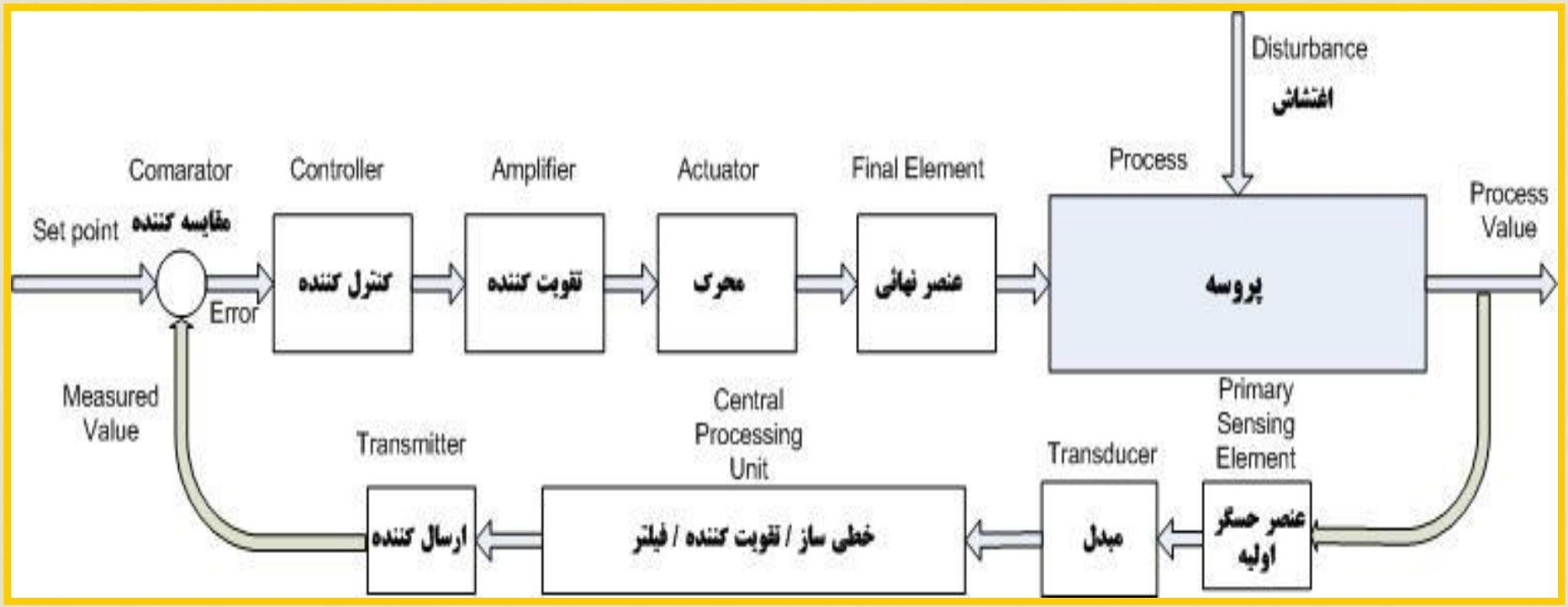
مثال کنترل سطح (Level)



سیستمهای کنترلی به دو دسته تقسیم می شود

- سیستمهای خودکار
- سیستمهای غیر خودکار

اجزاء سيستم هاي كنترل حلقه بسته صنعتی



فصل دوم
اندازه گیرها

اهداف آموزشی فصل دوم:

۱- آشنايي با سيستمهاي اندازه‌گيري

- تعريف اندازه‌گيري
- اسبابهاي اندازه‌گيري و وظايف آنها
- كاربردهاي سيستمهاي اندازه‌گيري
- عناصر تشكيل‌دهنده يك سيستم اندازه‌گيري
- خصوصیت های اندازه‌گیرها

۲- اندازه گیرهای وضعیت(جا بجایی)

۳- دما و روش‌هاي اندازه‌گيري آن

۴- فشار و روش‌هاي اندازه‌گيري آن

۵- شدت جريان و روش‌هاي اندازه‌گيري آن

۶- كنترل سطح و روش‌هاي اندازه‌گيري آن

تعريف اندازه‌گيري

عبار تست از مقايسه آن كميت با يك استاندارد، از پيش تعريف شده كه حاصل مقايسه به صورت عدد بيان مي‌شود

اسبابهاي اندازه‌گيري و وظايف آنها

سيستمها و اسبابهاي اندازه گيري در كاربردهاي صنعتي و مهندسي سه وظيفه عمده بر عهده دارندكه عبارتند از:

۱- نمايش

۲- ثبت

۳-كنترل

كاربردهاي سيستمهاي اندازه‌گيري

۱-نظارت بر فرآيندها

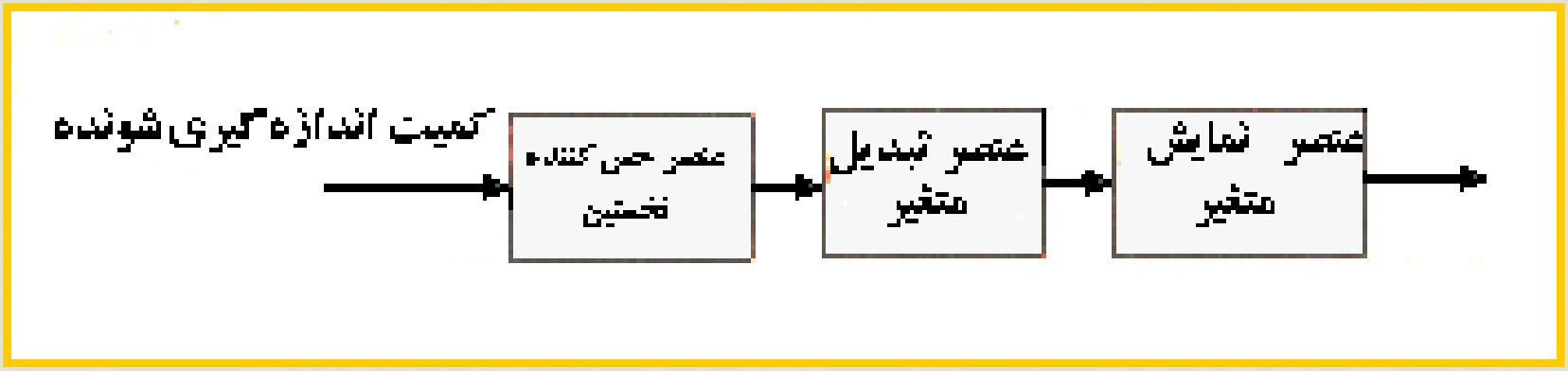
۲-كنترل فرآيندها

۳- تحليل آماري مسائل مهند سی

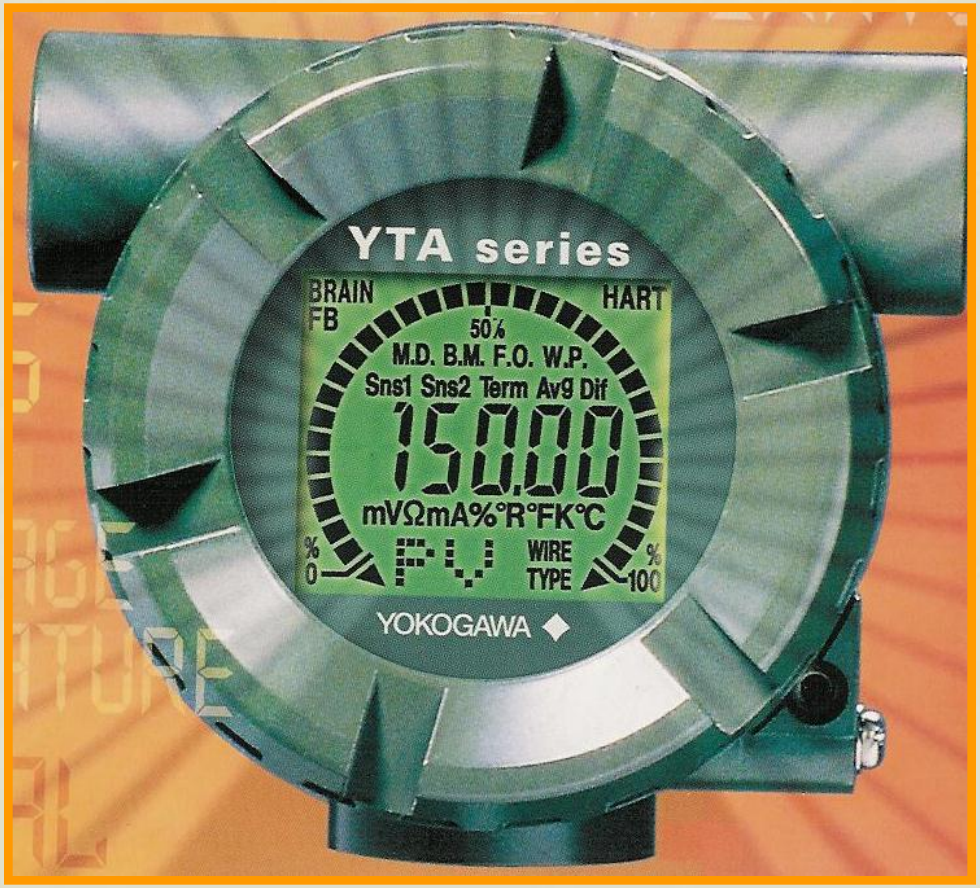
عناصر تشکیل‌دهنده یک سیستم اندازه‌گیری

۱– عناصر حس کننده نخستین(سنسور Sensor)

۲– عناصر تبدیل متغیرها(ترانسدیوسر Transducer)
۳– عنصر نمایش داده‌ها(ترانسمیتر Transmiter)

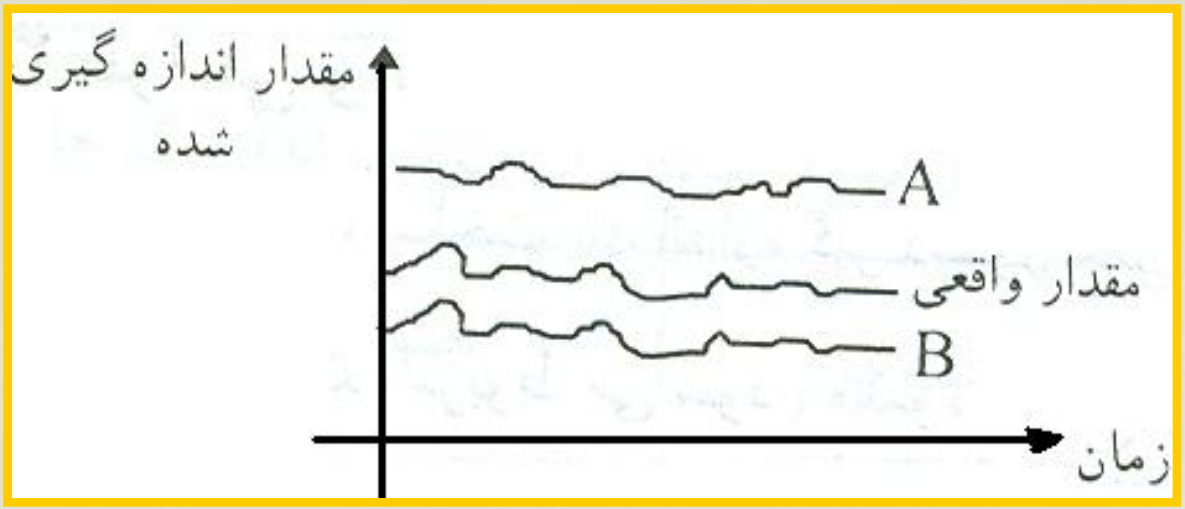


ترانسمیتر از نوع دما

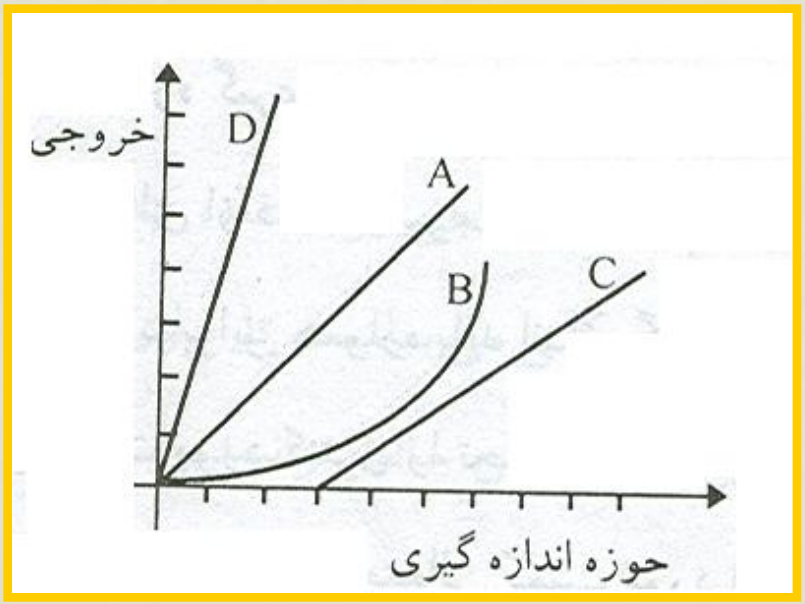


خصوصیت های اندازه گیرها

۱– حوزه اندازه گیری (range)
۲–صفر اندازه گیری(zero)
۳–انحراف از صفر(zero drift)
۴–حساسیت(sensitivity)
۵–حد تفکیک(resolution)
۶– پاسخ دهی(response)
۷- خطی بودن (Linearity)
۸–پسماند (Hysteresis)
۹– دقت(accuracy)
۱۰– تکرارپذیری



منحنی دقت دو اندازه گیر



منحنی خروجی اندازه گیرها

- طراحی وساخت اندازه گیرها

اصول کنترل انرژی
مقاومت
اندکتانس
کاپاسیتانس
تغییرمقاومت باتنش
تغییرمقاومت بادما
تغییرمقاومت با نور
مقاومت مغناطیسی
اثر هال

اصول تبدیل انرژی
الکترومغناطیس
پیزوالکتریک
ترموالکتریک
فوتوالکتریک

اندازه گیرهای وضعیت(جابجایی)

اندازه گیرهای مقاومتی
اندازه گیرهای سلفی
اندازه گیرهای خازنی
ترانسفورماتور تفاضلی خطی
LVDT(linear variable differential transformer)
اندازه گیروضعیت آلتراسونیک

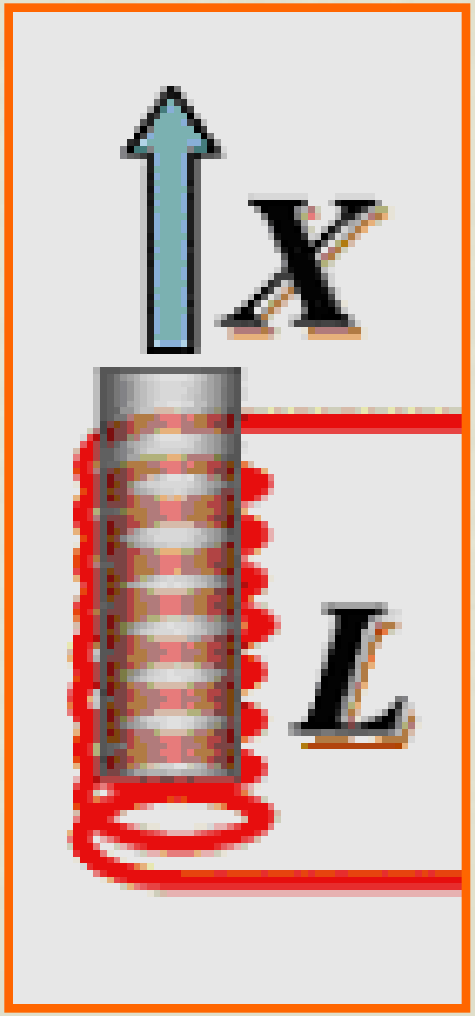
اندازه گیرهای مقاومتی

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

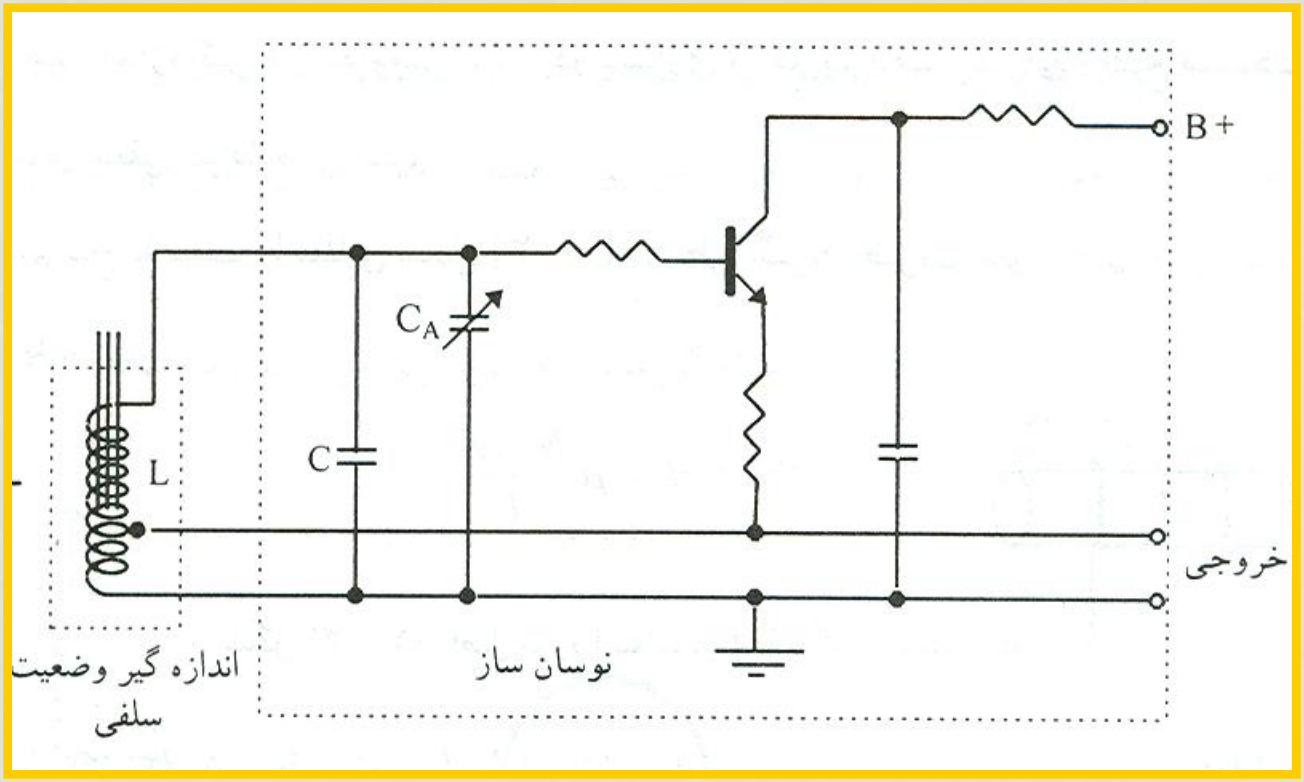
- **مزایای این اندازه گیر**
  - ۱- ساده بودن
  - ۲- ارزان بودن
  - ۳- سهولت کاربرد
- **معایب این اندازه گیر**
  - ۱ - استهلاک مکانیکی(دراثرچرخش احتمال سایش وجود دارد)
  - ۲- محدود بودن حوزه اندازه گیری
  - ۳- ایزولاسیون ضعیف ورودی-خروجی

اندازه گیرهای سلفی

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



آشکار ساز اندازه گیر سلفی



مزایای این اندازه گیر

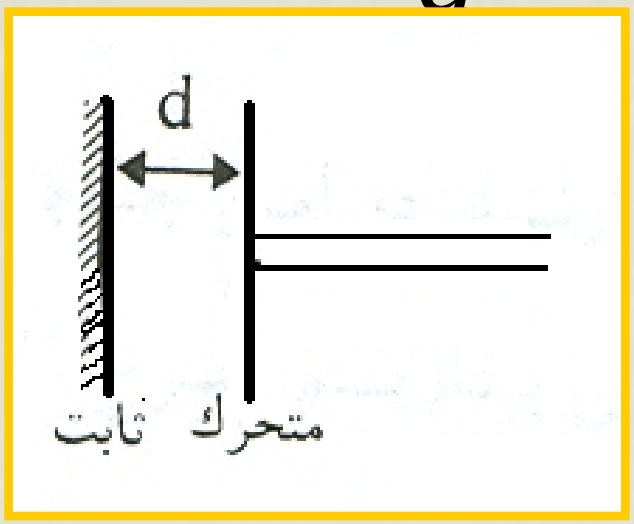
۱–استهلاک کم
۲–ایزولاسیون ورودی–خروجی
۳– عدم حسا سیت به گرد و غبار

معایب این اندازه گیر

۱–محدود بودن حوزه ا ندازه گیری
۲–قیمت بالا
۳–پیچیدگی مدارات جانبی
۴–تاثیر عوامل محیطی در دقت اندازه گیری(اثر محیط فلزی بر میدان مغنا طیسی اندازه گیر)

اندازه گیرهای خازنی

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

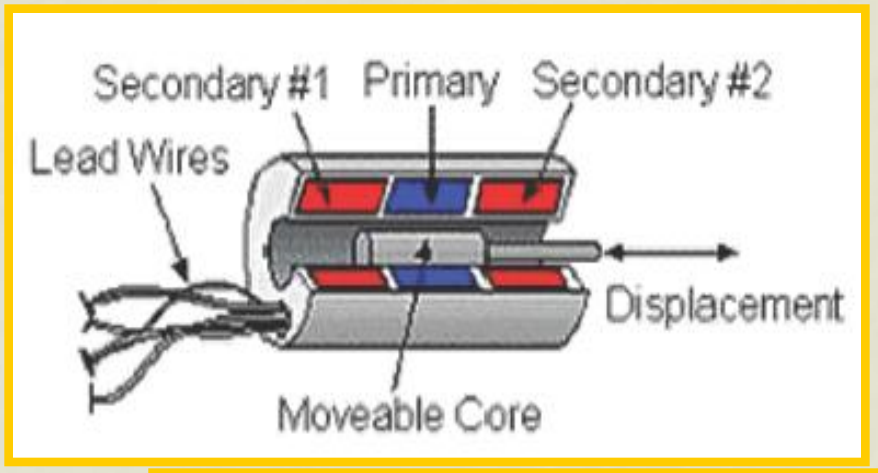


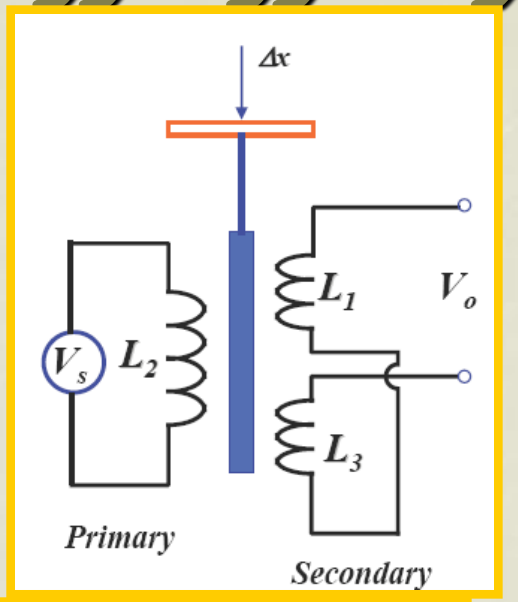
مزایای این اندازه گیر

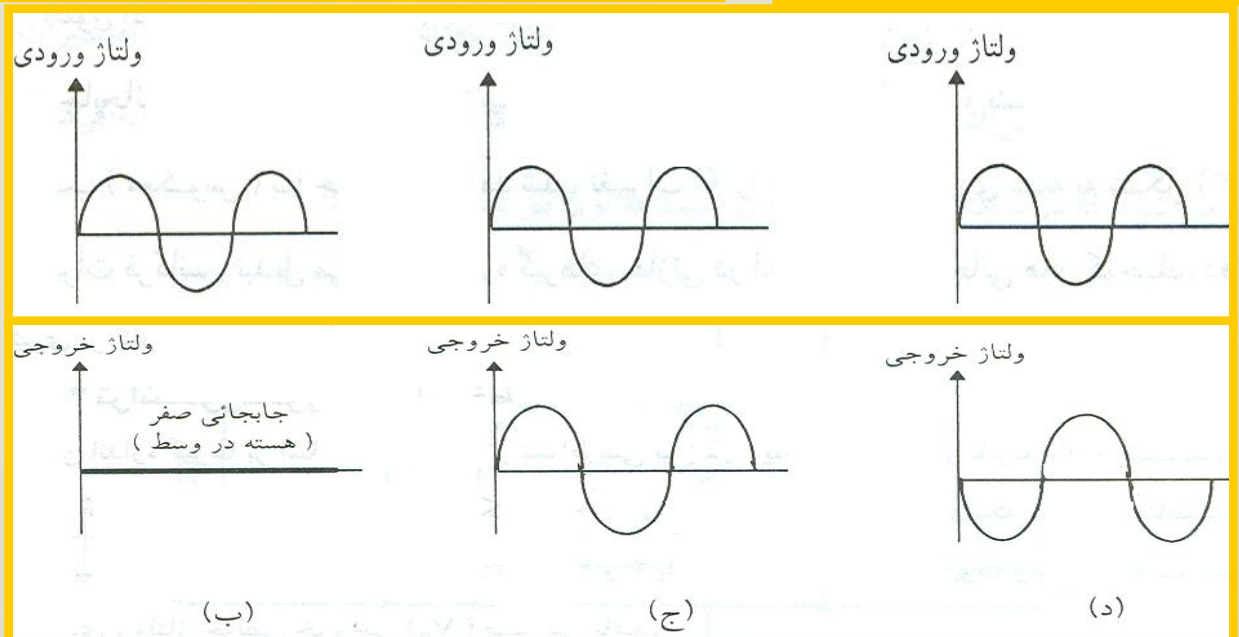
۱– دقت وحساسیت بهتر در اندازه گیر

۲– میدا ن مغناطیسی محیط کار در اندازه گیری تاثیری ندارد

ترانسفورماتور تفاضلی خطی LVDT







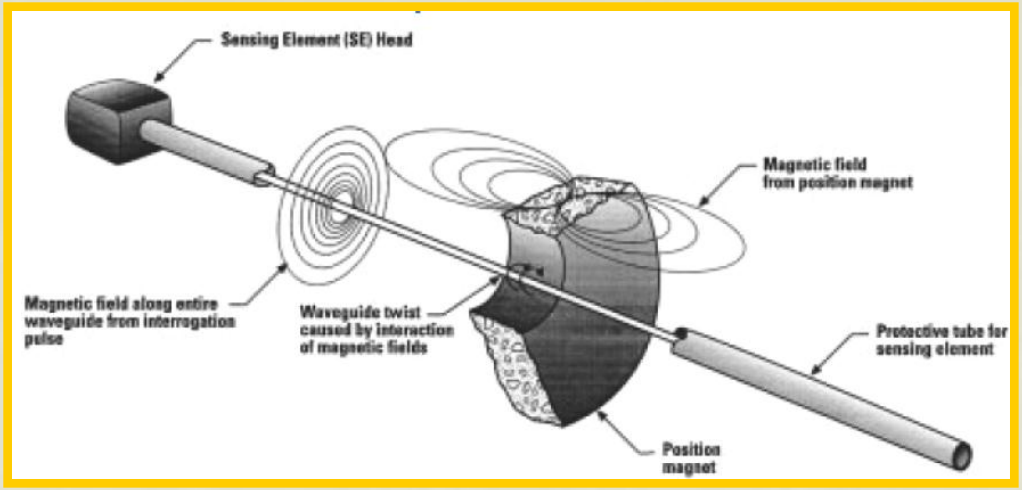
مزایای این اندازه گیر

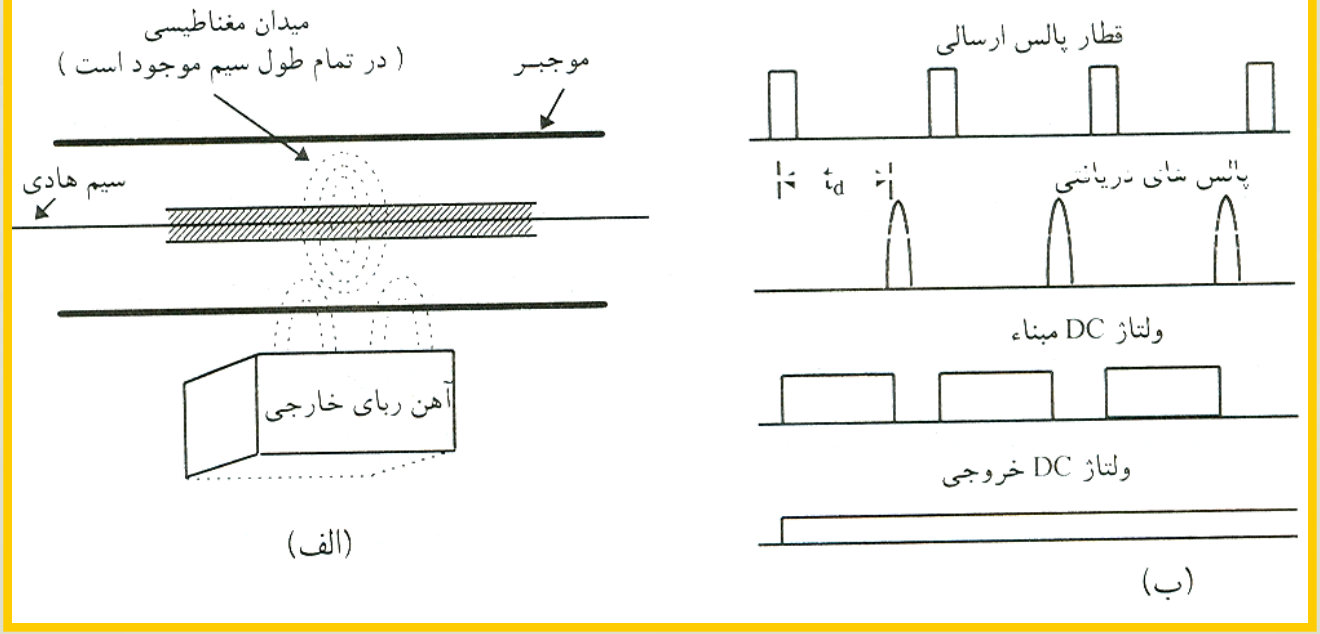
۱– مدارات ساده و ارزا نترنیاز دارد
۲– پلاریته ولتاژ خروجی از آنها جهت حرکت نسبت به وضعیت صفر را مشخص می کند
۳– حوزه اندازه گیری حدود سانتیمتر است
۴– بسیار محکم و با استقامت
برای افزایش حوزه ا ندازه گیری می توان از اهرم یا چرخ دنده استفاده نمود

معایب این اندازه گیر

حساسیت به میدان مغناطیسی

اندازه گیرهای آلتراسونیک





مزایای اندازه گیر آلتراسونیک

۱– این اندازه گیر در طولهای مختلف تا حدود ۱۰ متر ساخته میشود

۲– دقت و سرعت خوبی دارد

۳–حد تفکیک آن حدود ۰.۱ میلی متر می باشد

دما و روشهای اندازه‌گیری آن

۱– انبساط یک ماده بوسیله دما، که تغییری در طول، حجم و فشار ایجاد می‌کند که نمونه بارز آنها ترمومترهای جیوه‌ای یا الکلی هستند.

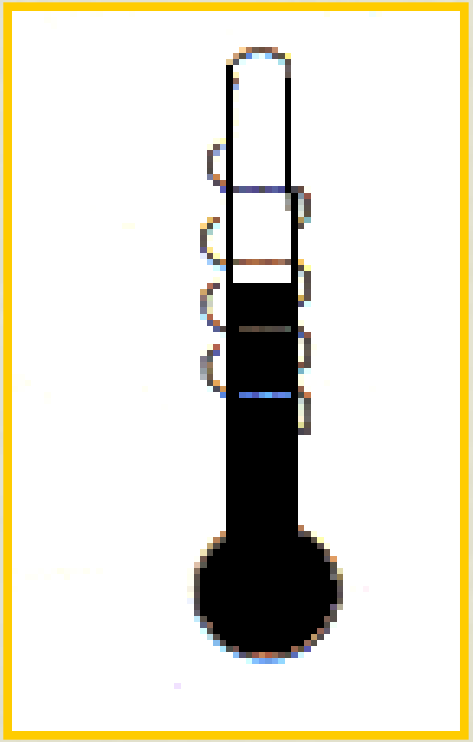
۲– تغییر در مقاومت الکتریکی بوسیله دما، که در اندازه‌گیرهای مقاومتی و ترمیسترها استفاده می‌شوند.

که در ۳– تغییر در ظرفیت اتصال دو فلز غیرمشابه بوسیله دما، ترموکوپل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴– تغییر در انرژی تابشی بوسیله دما، که در اندازه‌گیرهای تشعشعی و نوری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اندازه‌گیرهای انبساطی

حدپایین وبالای حوزه اندازه گیری،نقطه انجمادوجوش مایع موردنظر محدودمیشود.



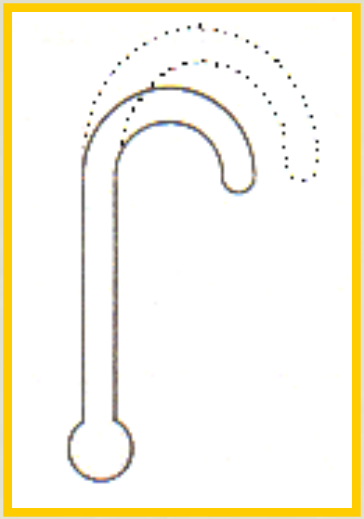
ترمومتر جیوه‌ای

اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار گاز

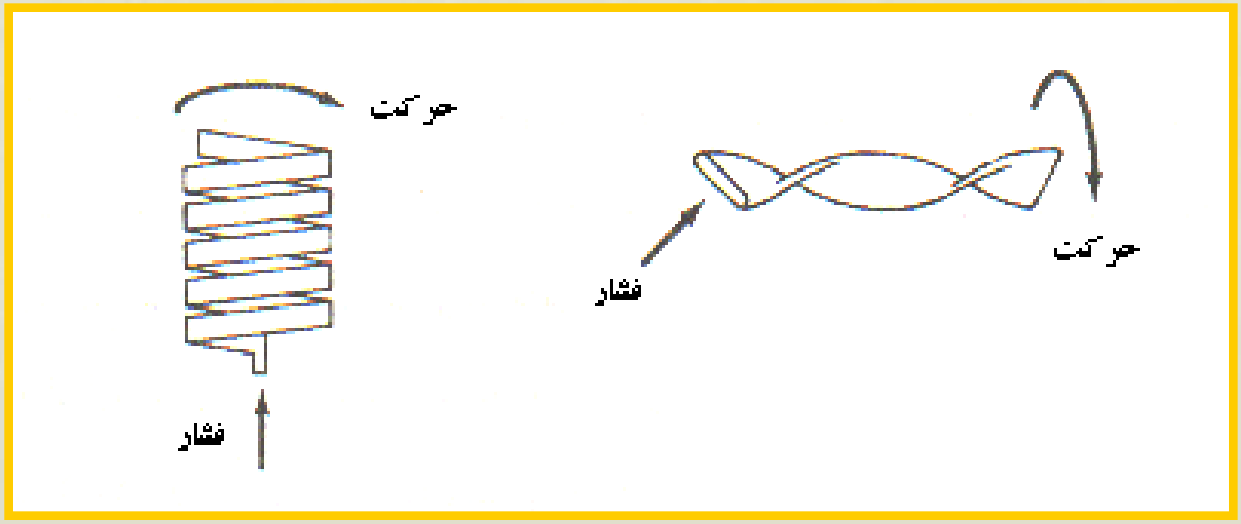
$$\frac{PV}{T} = cons\tan t$$

P:فشار گاز
V: حجم گاز
T: دمای گاز

اساس کار اندازه گیر از طریق فشار



شکلهای دیگر لوله بوردن

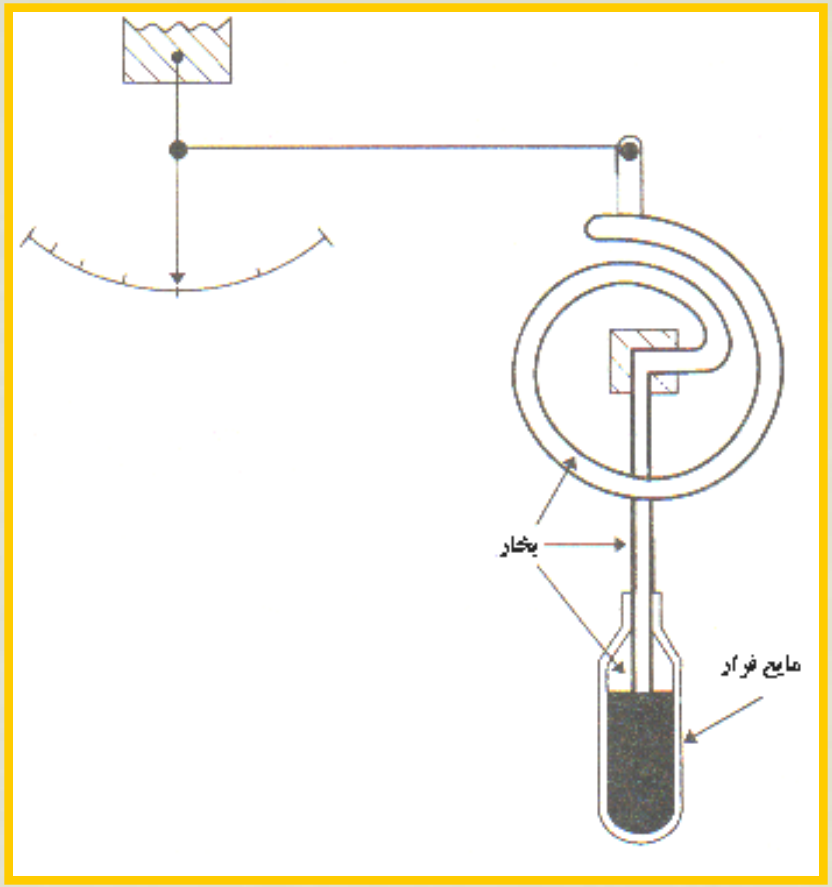


اندازه‌گیرهای دما از طریق فشار بخار

خصوصیت های مایع اندازه گیر

۱– نقطه جوش مایع می بایستی کمتر از کمترین دمائی باشد که می‌خواهیم اندازه‌گیری کنیم.

۲– مایع مورد استفاده می بایستی از لحاظ شیمیایی بی‌اثر باشد تا موجب خوردگی مخزن و لوله‌ها نشود.



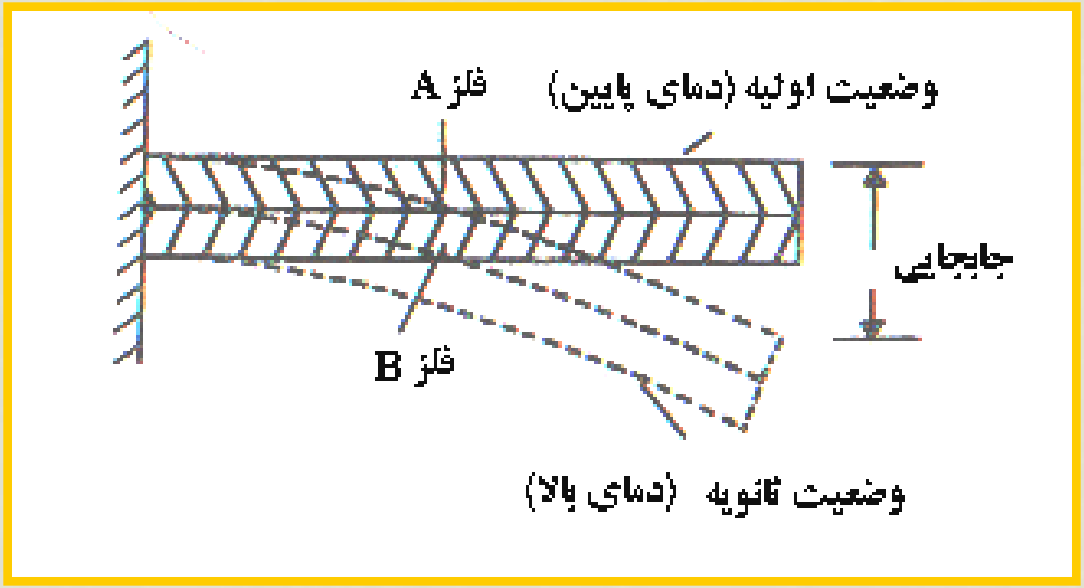
شکل کلی اندازه‌گیرهای دما
از طریق فشار بخار

معایب این اندازه گیر

۱– تغییر حجم لوله با درجه حرارت

۲– کامل نبودن گاز مورد استفاده

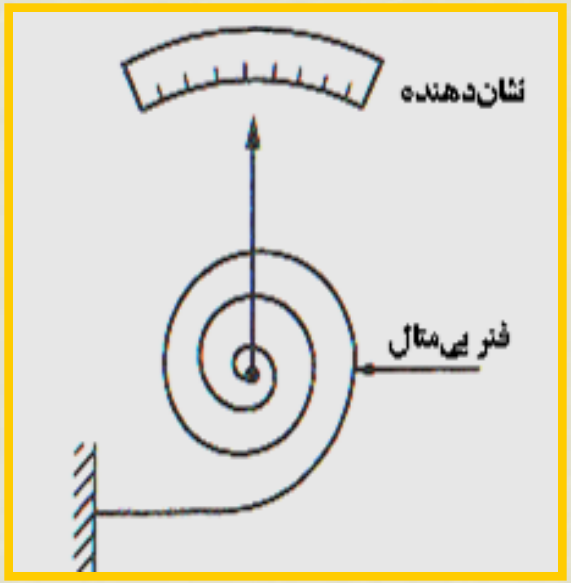
اندازه گیر دما از نوع دو فلزی (Bimetal)



محاسن:
۱–ارزان
۲–محکم وبا دوام
۳–ساده

کاربردها:
۱–کنترل‌های خاموش– روشن
۲– حفاظت و هشدار دهنده‌ها

اندازه‌گیر دمای دو فلزی حلزونی شکل



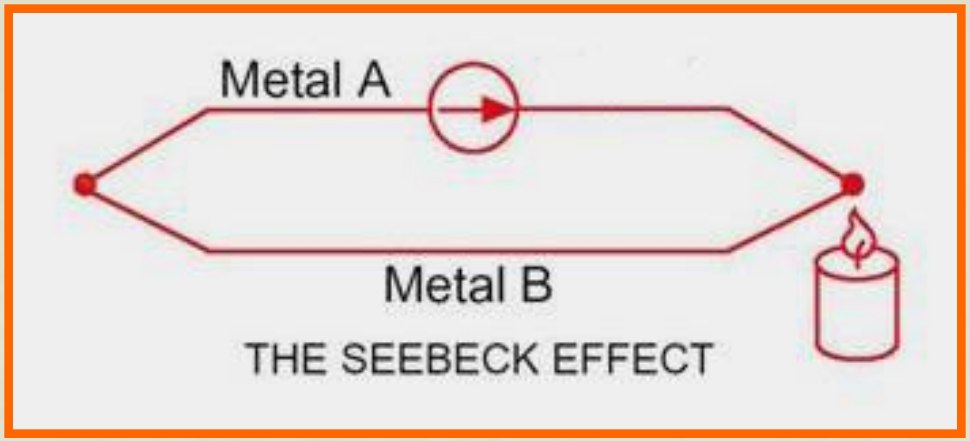
اندازه گیر واقعی دما دو فلزی

اندازه گیرهای الکتریکی دما

۱–ترموکوپل ها
۲–اندازه گیرهای مقاومتی دما
۳–اندازه گیرهای نیمه هادی دما

ترموکوپل ها

ترموکوپل‌ها بر اساس پدیده سیبک کار می کنند. (seebeak)



پدیده سیبک

ولتاژ سیبک

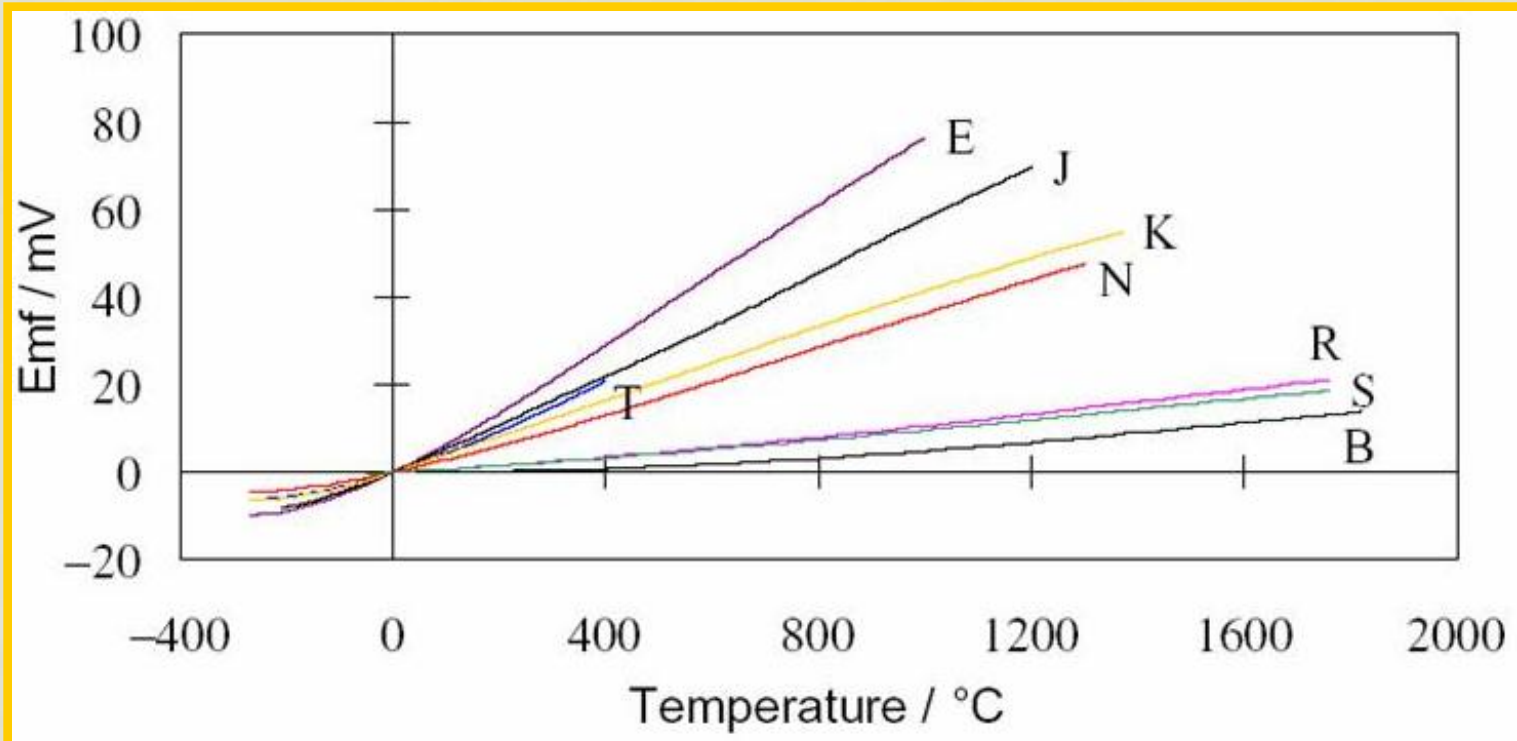
$$E_{AB} = 1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + ... \alpha_n T^n$$

$$E_{AB} \approx \alpha_1 T$$

مشخصات ترموکوپل هابر اساس استاندارد ISA

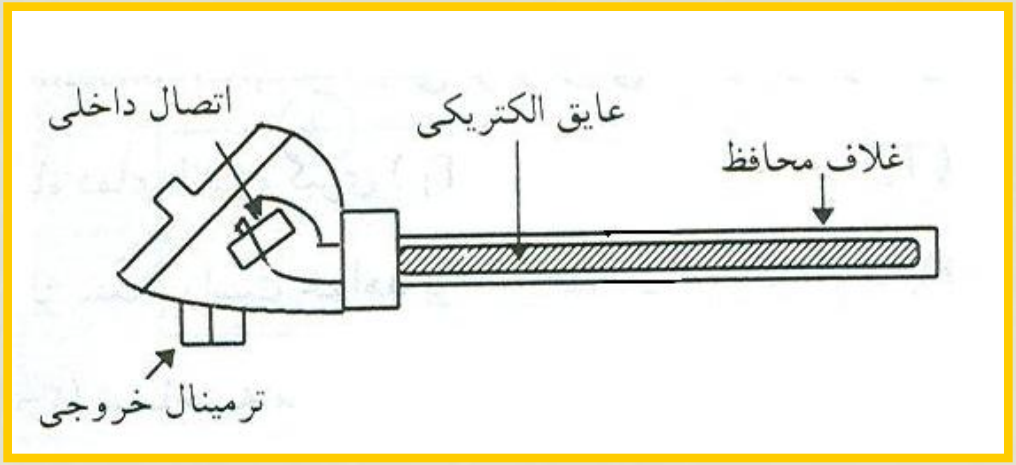
نام ترموکوپل	سیم مثبت (P) سیم منفی (N)	جنس فلز	°C حوزه اندازه گیری
B	BP BN	روبیدیوم ۳۰٪ – پلاتین روبیدیوم ۶٪ – پلاتین	۱۸۰۰ تا ۰
E	EP EN	کروم – نیکل مس – نیکل	۱۰۰۰تا ۱۹۰-
J	JP JN	آهن مس – نیکل	۱۰۰۰تا ۰
K	KP KN	کروم – نیکل سیلیکن – آلومینیوم – نیکل	۱۲۰۰تا ۰
R	RP RN	روبیدیوم ۱۳٪ – پلاتین پلاتین	۱۷۹۰تا ۰
S	SP SN	روبیدیوم ۱۰٪ – پلاتین پلاتین	۱۷۹۰تا ۰
T	TP TN	مس مس– نیکل	۳۸۰ تا ۱۹۰-

شکل موج ولتاژ ترموکوپل بر حسب دما



Notation: E = Emf = Electromotive Force = Thermoelectric Voltage
$S = dE/dT$ = Seebeck Coefficient = Sensitivity

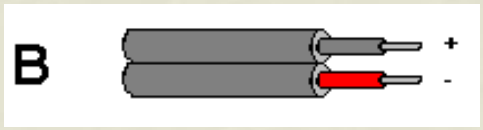
برش یک ترانسمیتر دما همراه با ترموول

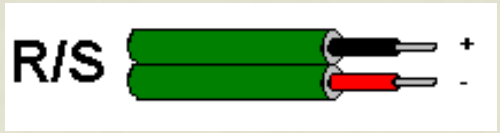


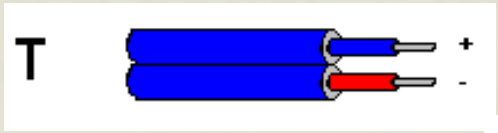
شکل واقعی ترموکوپل وترموول

رنگ سیمها بر اساس استاندارد های مختلف

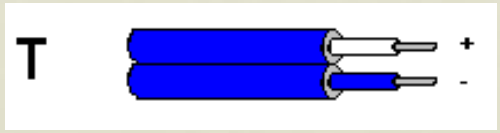
United States ASTM:

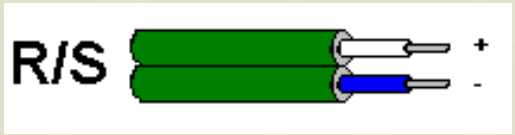




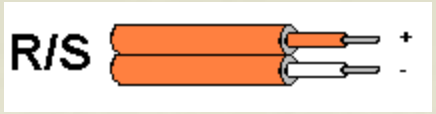


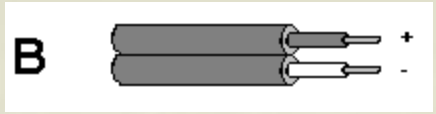
British BS1843: 1952:

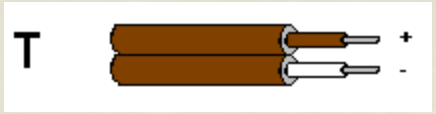




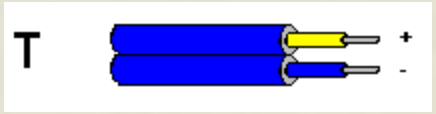
British BS4937: Part 30: 1993:

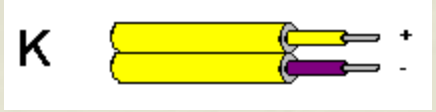




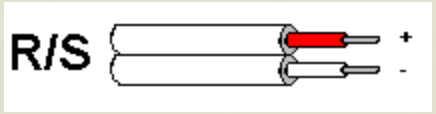


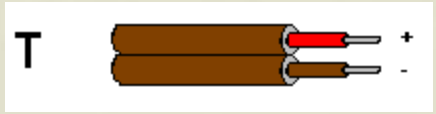
French NFE:



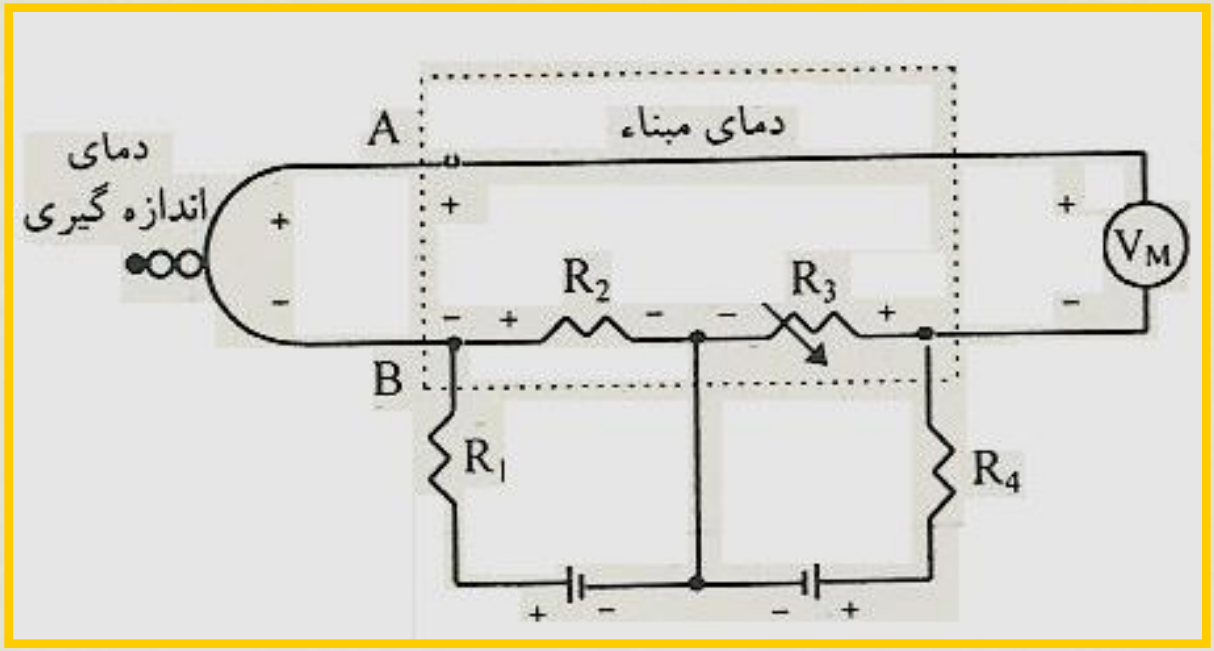


German DIN:





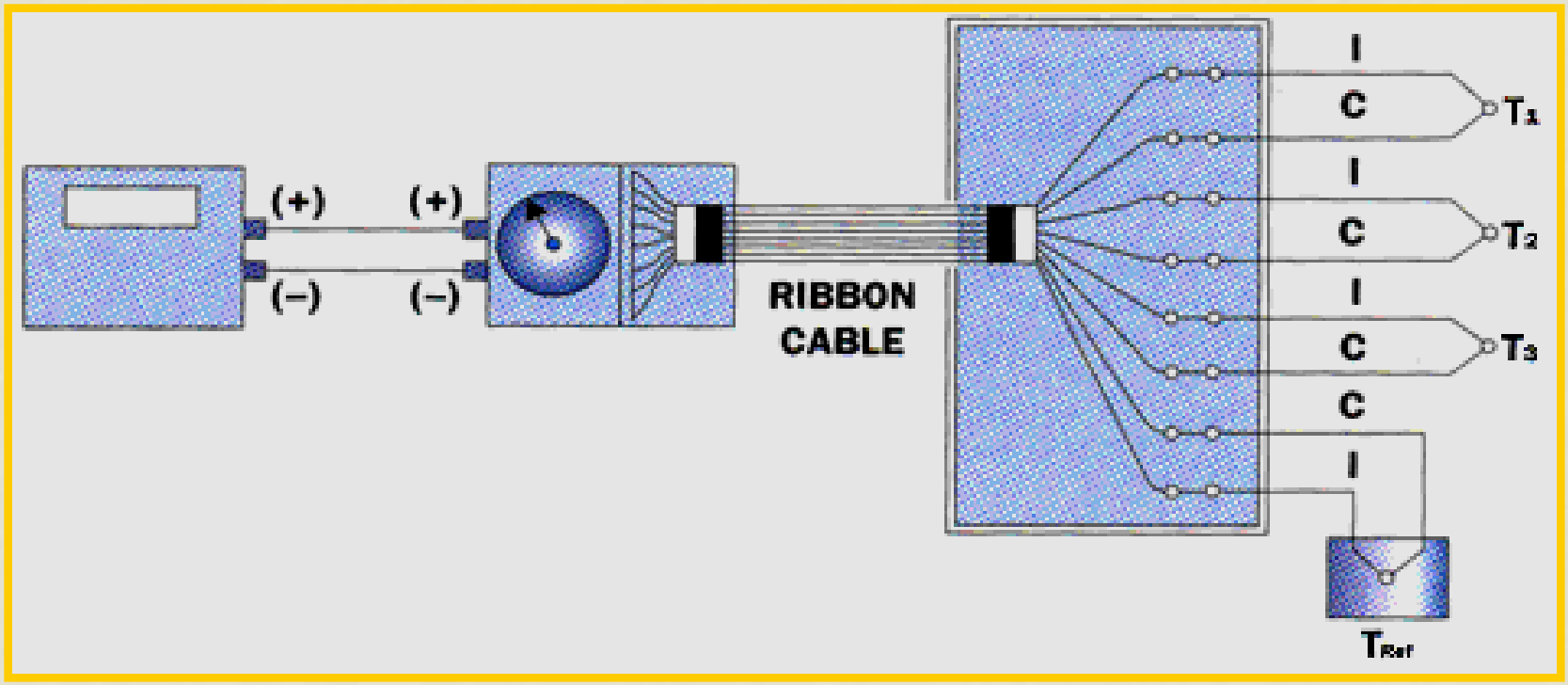
مدار جبران ساز ترموکوپل



مزایای ترموکوپل ها

۱– سادگی
۲–دوام واستحکام مناسب
۳–ارزان
۴–دقت مناسب
۵–حوزه اندازه گیری وسیع(۱۸۰۰ _۲۰۰–)
۶–سرعت پاسخ دهی خوب
۷–استفاده در شرایط محیطی مختلف

ترموپیل



اندازه گیرهای مقاومتی دما

۱–اندازه گیرهای با ضریب حرارتی مثبت (PTC)
۲-اندازه گیرهای با ضریب حرارتی منفی (NTC)

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

A :سطح مقطع
L :طول سیم
P :مقاومت مخصوص

PTC (Positive-temperature coefficient)

فلزات مقاومت الکتریکی شان با افزایش دما افزایش وبا کاهش دما کاهش می یابد این عناصر را اصطلاحا PTC گویند.

$$R = R_0(1+\alpha_1 T+\alpha_2 T^2+\alpha_3 T^3+....\alpha_n T^n)$$

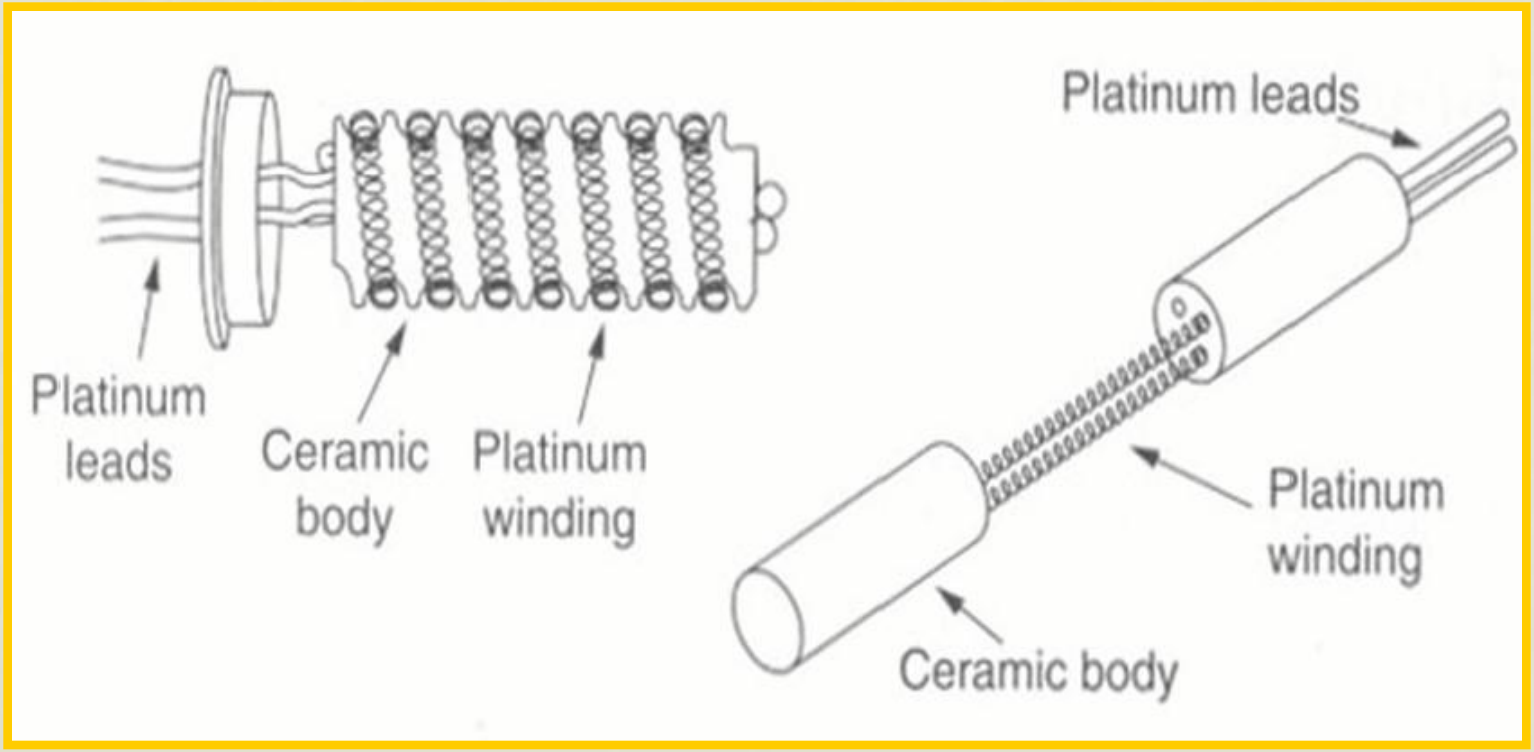
$$R \cong R_0(1+\alpha_1 T\ )$$

مشخصه چند فلز معروف از نوع PTC

	پلاتین	مس	نیکل	تنگستن
ضریب تغییر مقاومت Ω/Ω_0 C^o	۰/۰۰۳۸۵	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۴۵
مقاومت مخصوص (Ω cm)	$۹/۸۱ \times ۱۰^{-۶}$	$۱/۵۲ \times ۱۰^{-۶}$	$۵/۹۱ \times ۱۰^{-۶}$	$۴/۹۹ \times ۱۰$
خطی بودن	خوب	خوب	ضعیف	ضعیف
حوزه اندازه گیری مفید C^o	۲۶۰- تا ۸۰۰	۱۰۰- تا ۱۵۰	۱۰۰- تا ۵۰۰	۷۰- تا ۲۷۰۰

محدود مقاومتی PTC ها بین۱۰اهم تا ۲۵کیلو اهم است
(سنسور با مقاومت بالا کاربرد زیادی دارد)به دو دلیل:
۱– وزن مقاومتهای اتصال کمتر است
۲– ولتاژنسبتا بالایی بوسیله سنسور ایجاد میگردد

برای بالا بردن میزان مقاومت معمولا آنرا بصورت سیم پیچ در می آورند.



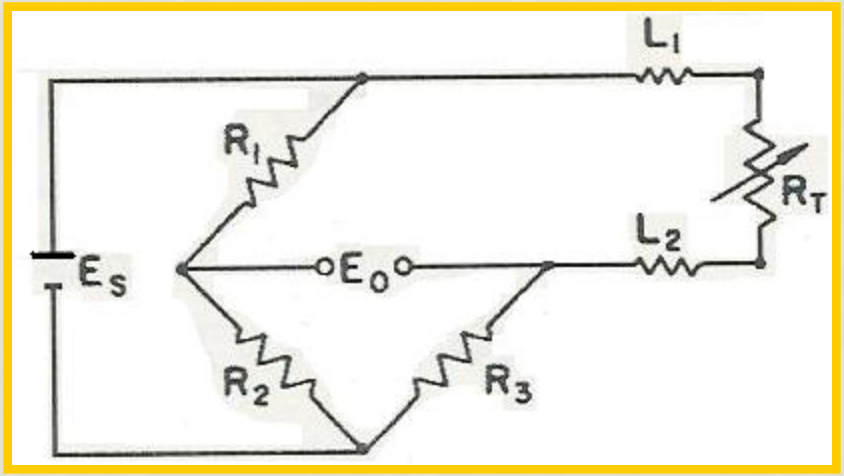
انواع اتصالات RTD

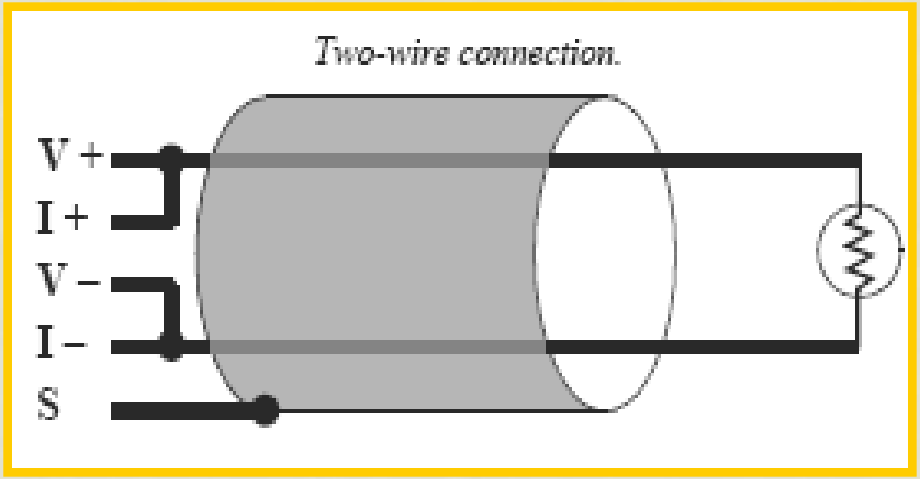
1- اتصال دو سیمه

۲- اتصال سه سیمه

۳- اتصال چهار سیمه

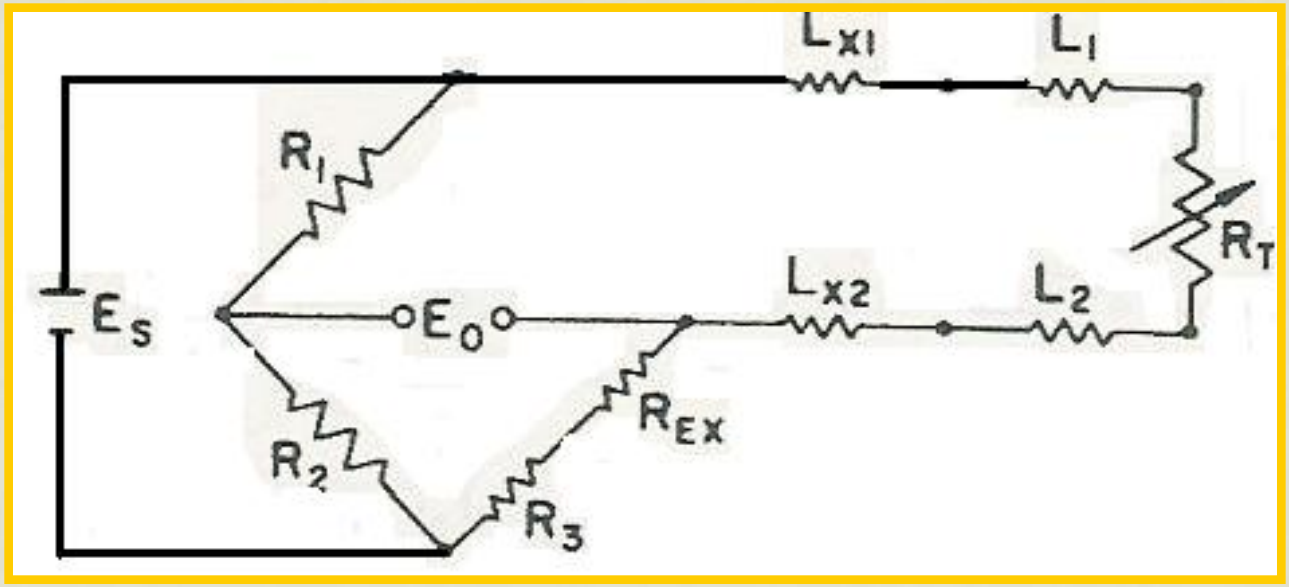
مدار اتصال دوسیمه





$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_T + L_1 + L_2}{R_3}$$

اتصال دوسیمه همراه با جبران ساز



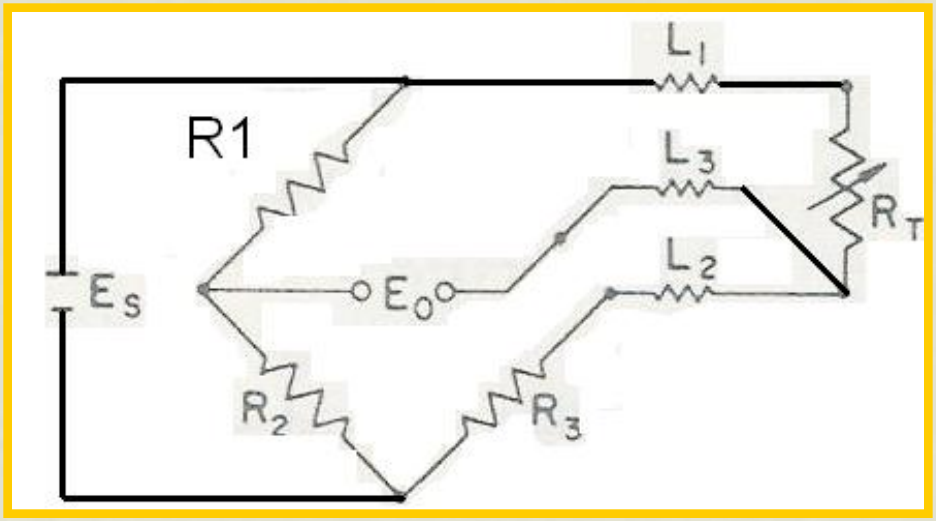
$$R_T + L_1 + L_2$$

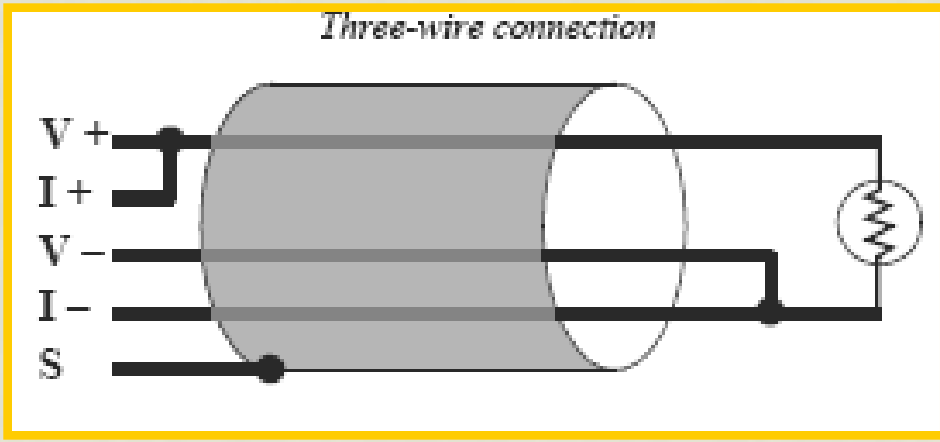
$$R_1 = R_2$$

$$R_{EX} = L_{X1} + L_{X2}$$

معمولادر صنعت از اتصال دو سیمه کمتر استفاده میشود.

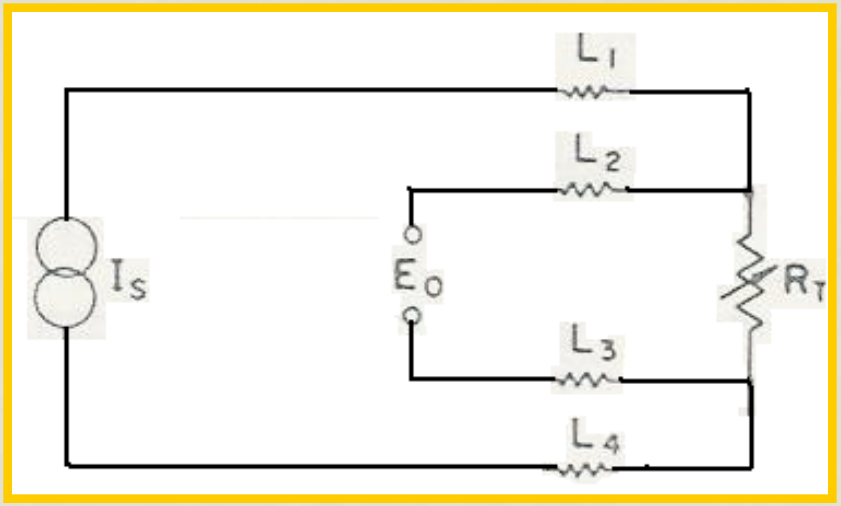
اتصال سه سیمه

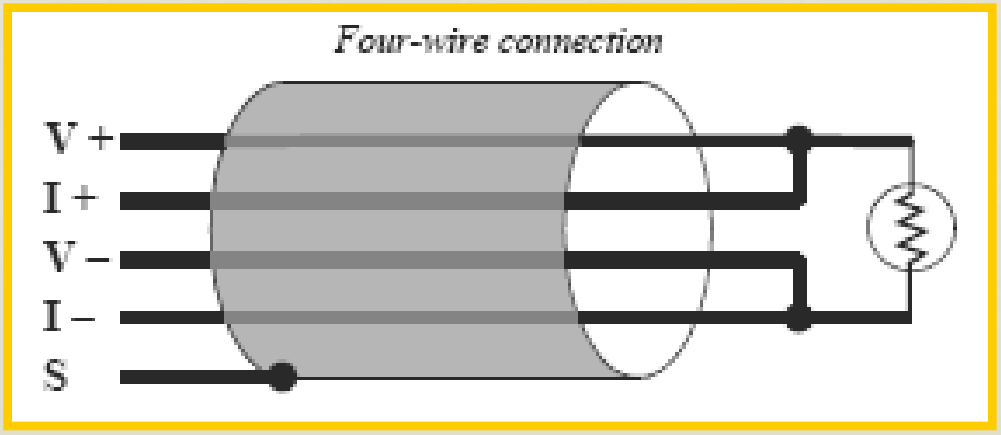




$$R_1 = R_2 = R_3 + L_2 = R_T + L_1$$

اتصال چهار سیمه





حدود تغییرات RTDوترموکوپل

Table 7: Sensor Specifications

Sensor Type		Range	Resolution [1]	Accuracy [1]
Thermocouple	B	0 to +1820°C	0.1°C	3.3°C
	C	0 to +1820°C	0.1°C	2.1°C
	E	-270 to +990°C	0.1°C	0.8°C
	J	-210 to +760°C	0.1°C	0.6°C
	K	-270 to +1360°C	0.1°C	1.0°C
	N	-270 to +1347°C	0.1°C	0.9°C
	T	-270 to +400°C	0.1°C	0.6°C
	S	0 to +1760°C	0.1°C	3.0°C
	R	0 to +1760°C	0.1°C	2.8°C
Thermistor	Omega 44006 or 44031	-55°C to +145°C	0.01°C	0.05°C
RTD	Cu 10Ω, 0.0367Ω/°C	0 to +119°C	0.1°C	0.6°C
	Pt 100Ω, 0.385Ω/°C	-200 to +800°C	0.05°C	0.2°C
		-200 to +409°C	0.0125°C	0.2°C
	Pt 100Ω, 0.392Ω/°C	-200 to +800°C	0.05°C	0.2°C
		-200 to +409°C	0.0125°C	0.2°C
	Ni 120Ω, 0.380Ω/°F [5]	-100 to +482°F	0.1°F	0.3°F
	Ni 200Ω, 1.10Ω/°C	-58.9 to +151.6°C	0.02°C	0.07°C
	Ni 1KΩ, 5.60Ω/°C	-50.0 to +129°C	0.025°C	0.08°C
Gage [6]		-500 to +500 mV	5µV [7]	30µV
DC Voltage		-5 to +5V [3]	500µV	600µV
		-5 to +5V	200µV	600µV
		-500 to +500mV	20µV	40µV
		-100 to +100mV	5µV	30µV
Current Loop [2]		4 to 20mA	0.01%	0.08%
Resistance		0 to 400Ω	0.02Ω	0.04Ω
		0 to 3KΩ	0.125Ω	0.25Ω
		0 to 600KΩ	31Ω	130Ω
Disabled [4]		Not Applicable — sensor removed from scan loop		

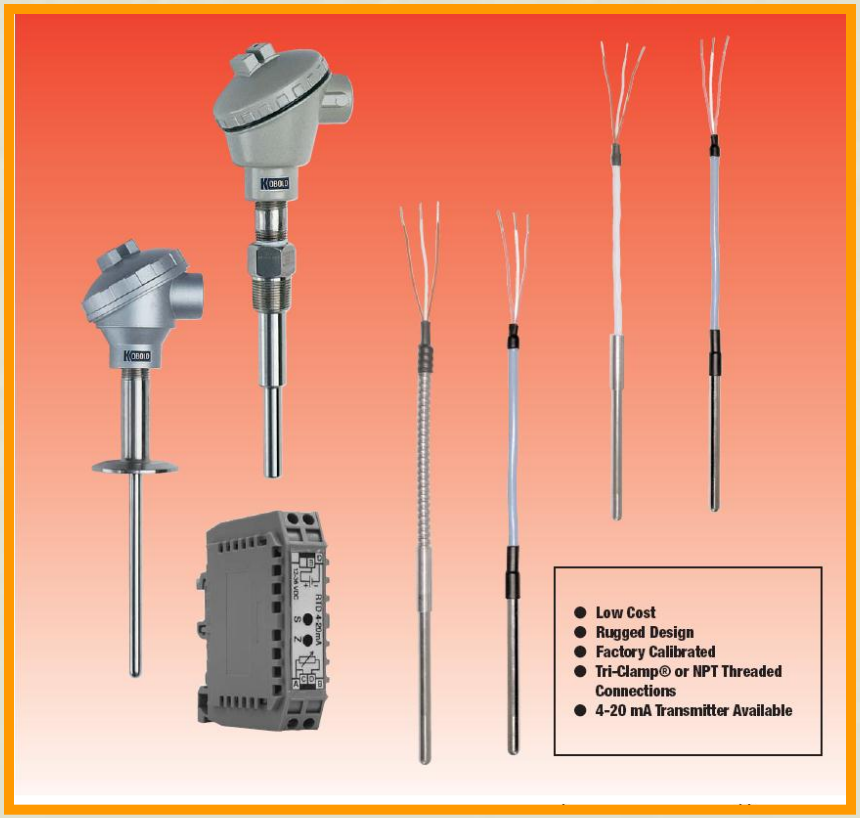
محاسن RTD

۱– رفتار خطی در گستره وسیع عملیاتی
۲– وسعت در رنج دمای اندازه گیری
۳– قابلیت انعطاف بیشتر از دیگر سنسور های دما
۴– پایداری بیشتر در دماهای بالا

معایب RTD

۱–حساسیت کم
۲–قیمت بالاتر در مقایسه با دیگر سنسور های مشابه
۳–قابلیت کمتر در اندازه گیری دمای فضای خیلی کوچک
۴– اثر پذیری زیاد از مقاومت کنتاکت ها و پالسهای اعمال شده وحرکات با شتاب

دو نمونه عملی از RTD



ترمیستورها (NTC)

ترمیستورها معروف‌ترین اندازه‌گیرهای دما با شیب منفی می‌باشند

ترمیستورهای امروزی قادر به اندازه‌گیری دماهای پائین

حدود ۱۰۰– تا دماهای بالا حدود ۵۰۰+ می‌باشند.

$$R = R_0 \exp \beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)$$

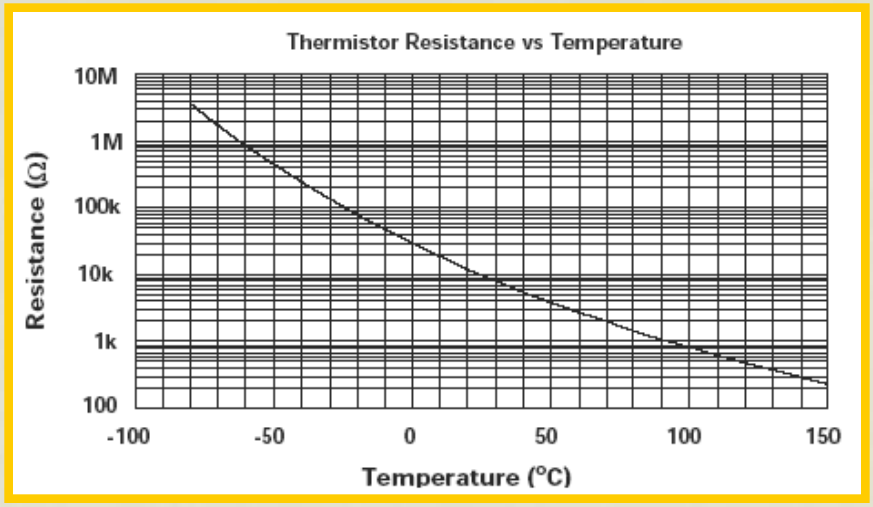
T :دما برحسب کلوین

R :مقاومت

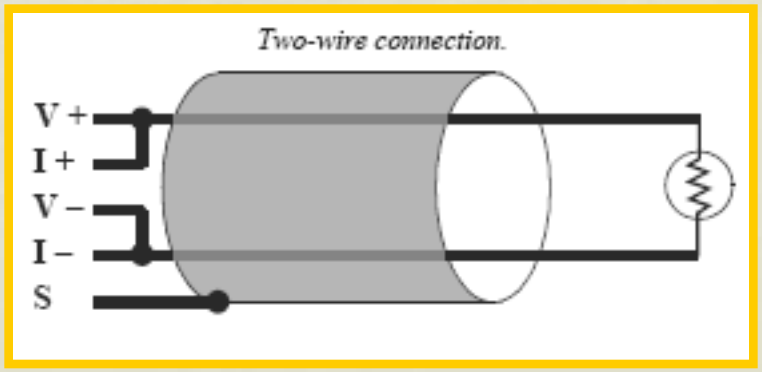
T_0 :معمولا 25^0C

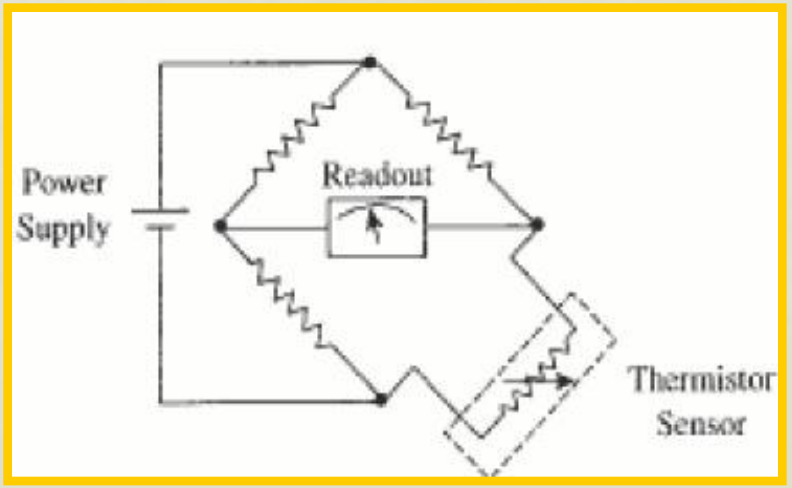
β :مقدار ثابت حدود ۴۰۰۰

منحنی مشخصه NTC



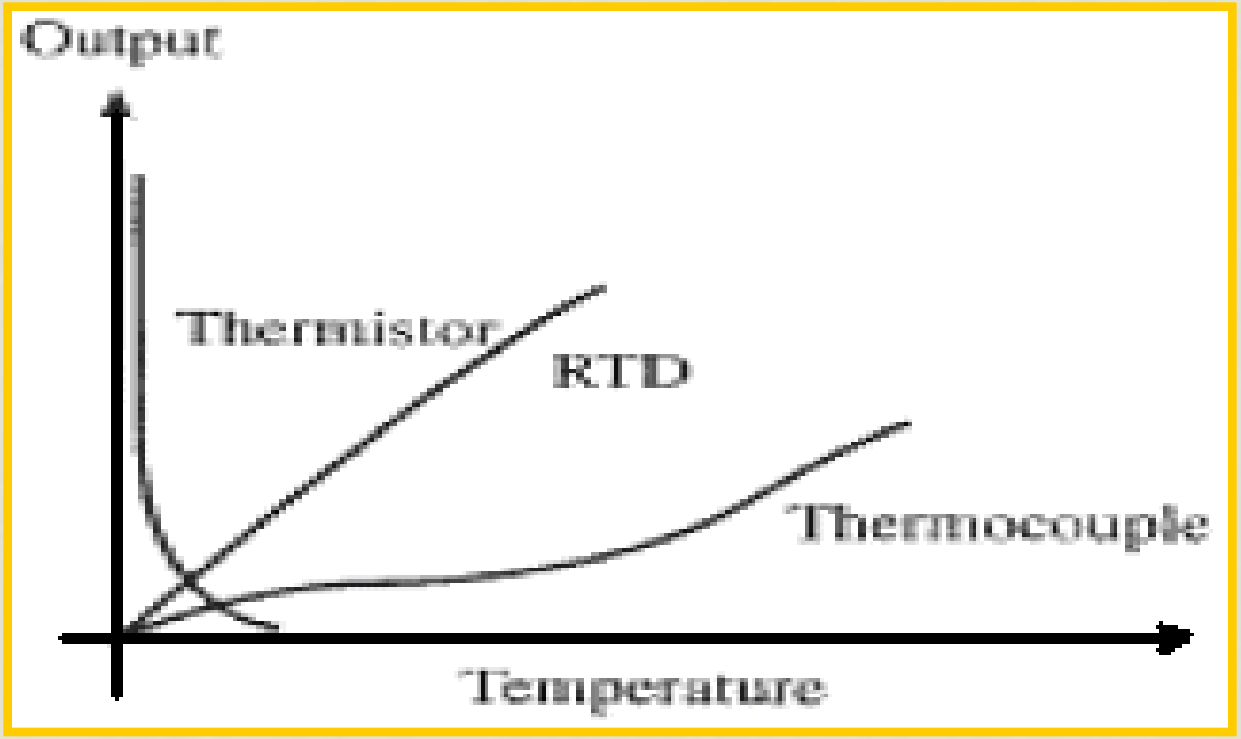
مدار وشرایط نصب



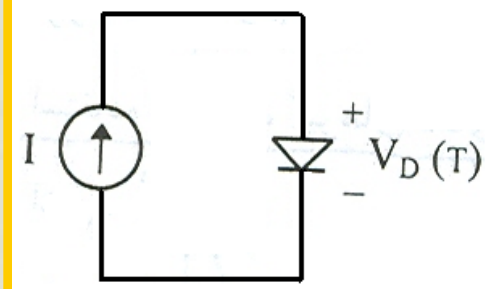


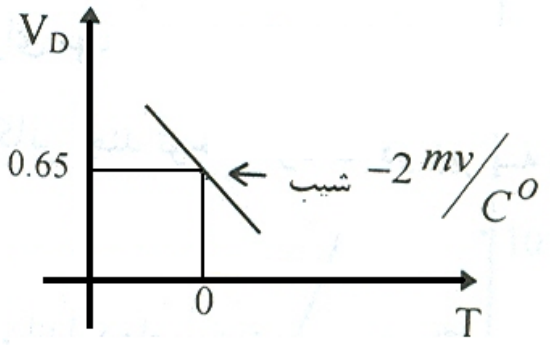
دو نمونه NTC

مقایسه بین اندازه گیرهای دما

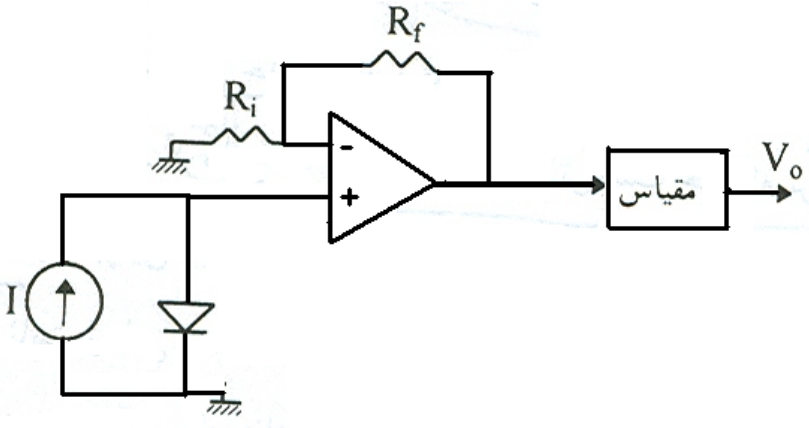


اندازه گیرهای نیمه هادی دما





آشکار سازاندازه گیر نیمه هادی



محاسن

سادگی

ارزان بودن

حوزه اندازه گیری تا ۲۰۰۰

معایب

رفتار ناپایدار وغیر خطی

در کاربردهای دقیق استفاده نمی شود

کاربرد آن در مدارهای ایمنی وآلارم می با شد.

اندازه گیرهای تشعشعی دما

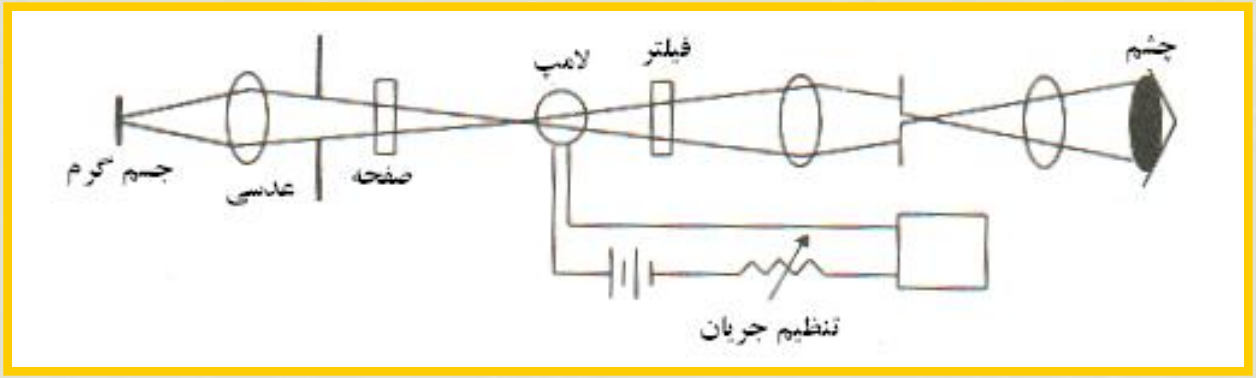
$$W^{BB}(\lambda,T)=\frac{C_1}{\lambda^5\left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda.T}\right)-1\right]}$$

انرژی تشعشعی: $W^{BB}(\lambda,T)$

مقادیر ثابت: C_1, C_2

طول موج : λ

اساس کار پیرومتر تشعشعی



فشاروروشهای اندازه گیری آن

فشار: يعني مقدار نيروي وارد شده بر واحد سطح :

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

فشار مطلق: عبارتست از تفاضل فشار مایع ومقدار صفر مطلق فشار

فشار گیج: عبارتست از تفاضل فشار مایع وفشار اتمسفر

فشار تفاضلی: عبارتست از تفاضل دو مقدار فشار مطلق

بطور کلی می توان گفت:

فشار اتمسفر +فشاری که فشار سنج نشان می دهد= فشار مطلق

انواع اندازه گیرهای فشار

۱– اندازه گیرهای مانومتری
۲– اندازه گیرهای با خاصیت ارتجاعی در برابر فشار
۳–اندازه گیرهای الکتریکی فشار

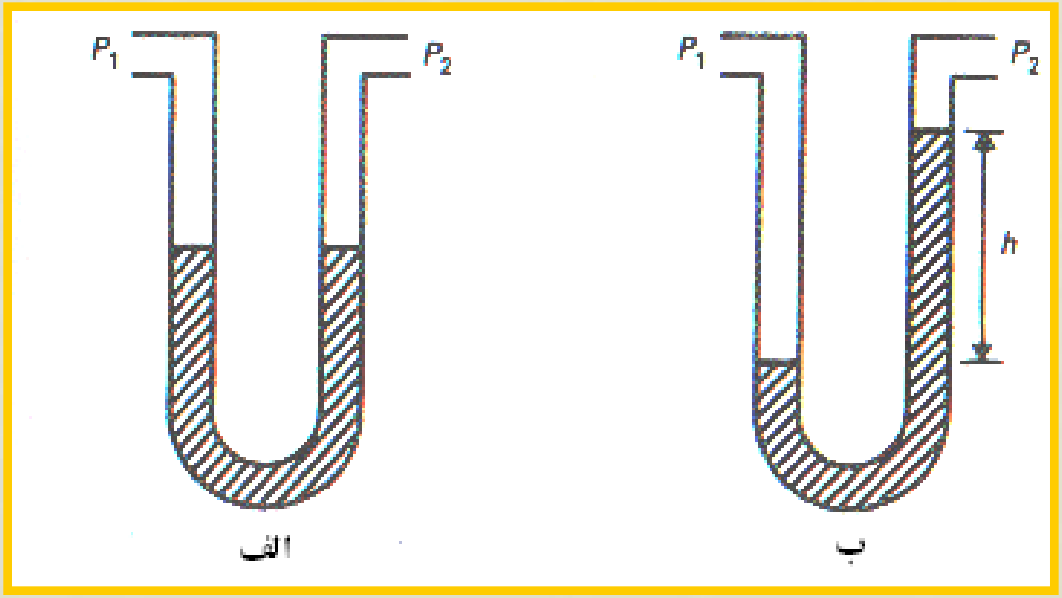
اندازه‌گیرهای مانومتری

ρ: جرم مخصوص مایع مانومتر

h: ارتفاع مایع

g: شتاب جاذبه

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho.g.h$$



دونقص این اندازه گیر

۱- تا حدی تبخیر می شود.

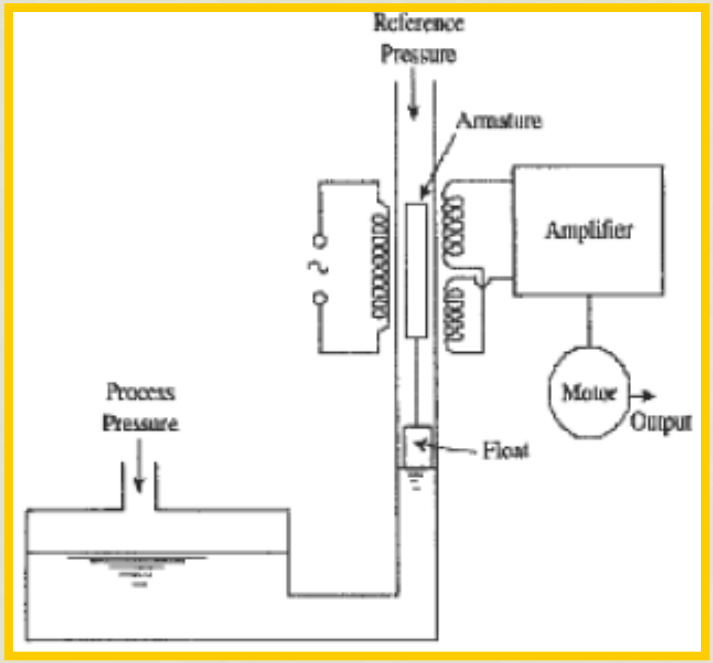
۲- چون شفاف است ارتفاع آن دیده نمی شود

معایب آن عبارتند از:

۱ - خطر شکستگی

۲- تبخیر مایع مانومتری

۳- تغییر خواص آن در شرایط آب وهوائی ودماهای مختلف



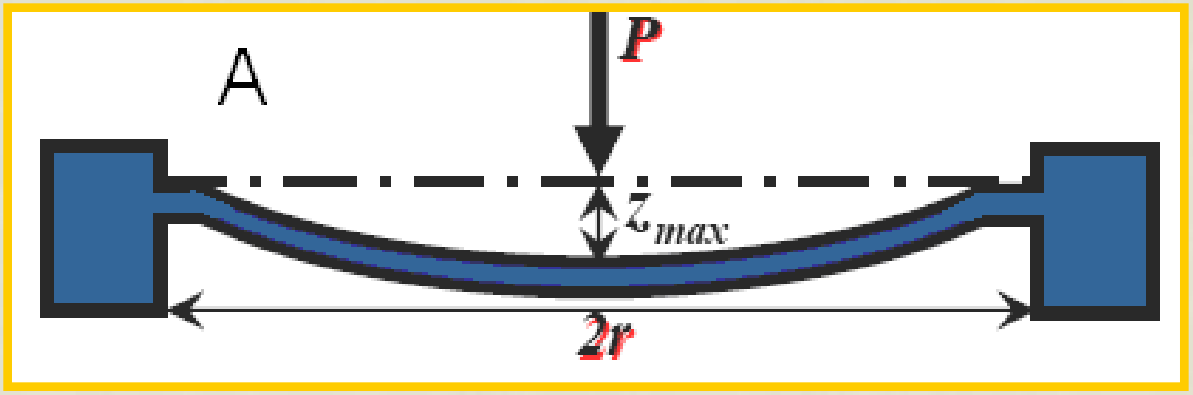
اندازه گیر مانومتری همراه با آشکارساز LVDT

اندازه‌گیرهای فشار با خاصیت ارتجاعی

۱– اندازه‌گیرهای فشار دیا فراگمی
۲– اندازه گیرهای فشار کپسولی
۳– اندازه گیرهای فشار لوله بوردن
۴– اندازه گیرهای فشار دم(بیلوز)

مزیت عمده اندازه گیر
۱– سادگی
۲– استحکام

اندازه‌گیرهای فشار دیافراگمی



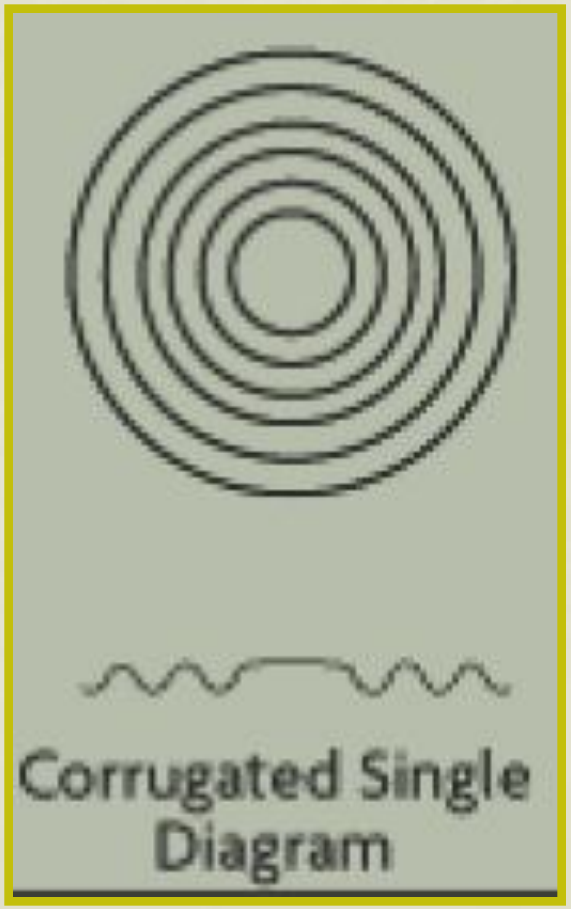
$$P = \frac{16Et^3}{3r^4(1-v^2)} z_{\max}$$

E :مدول الاستیسیته

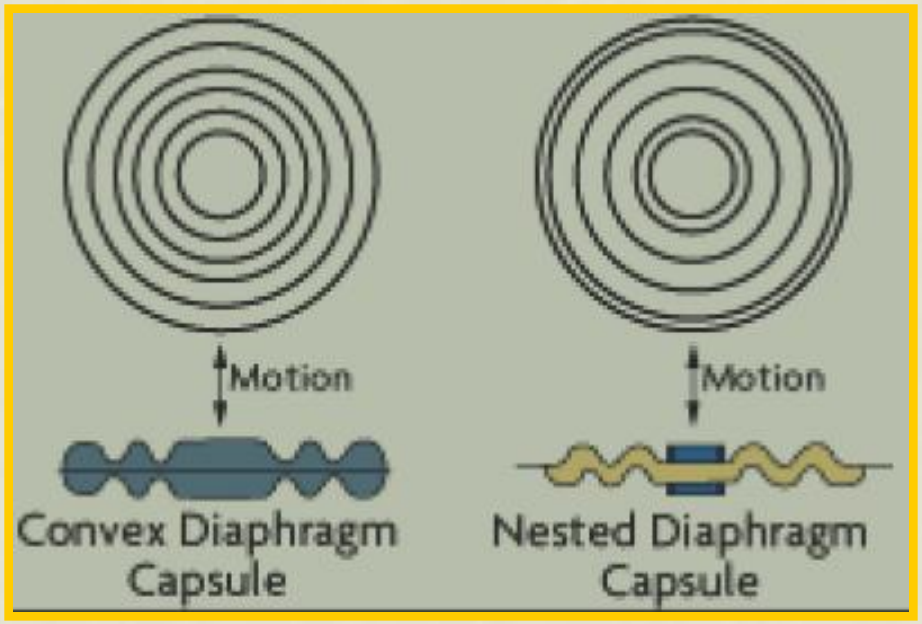
V:نسبت پواسن

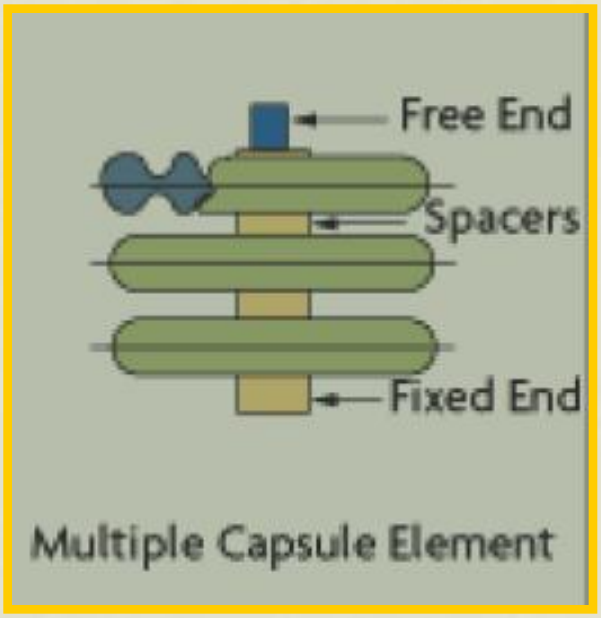
t: عرض دیافراگم

دیافراگم و ترانسمیتر از نوع دیافراگمی

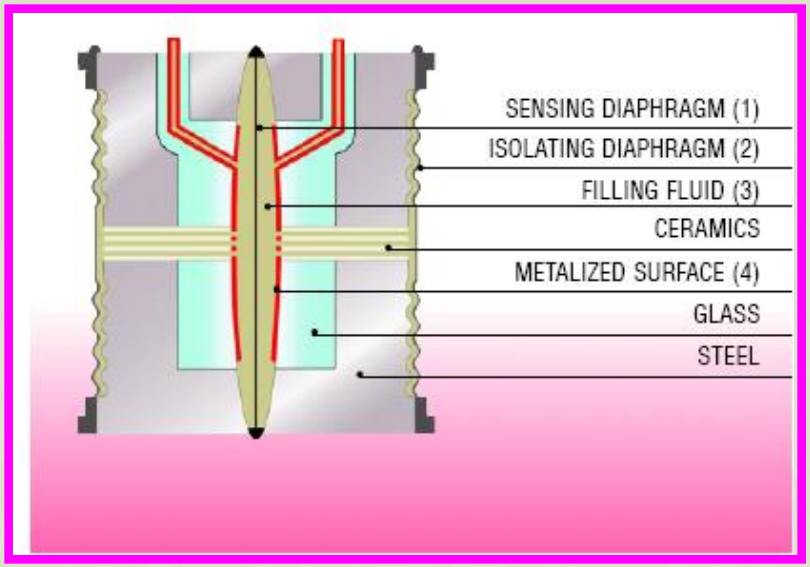


اندازه‌گیرهای فشار کپسولی (cell)





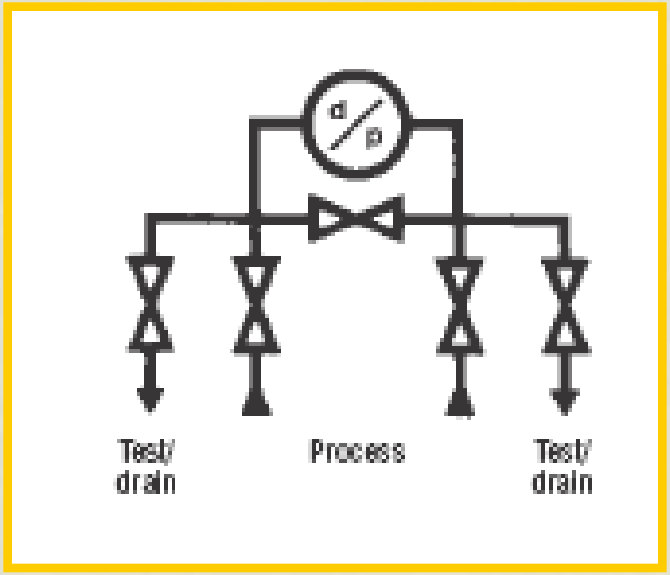
شمای کپسول (cell)



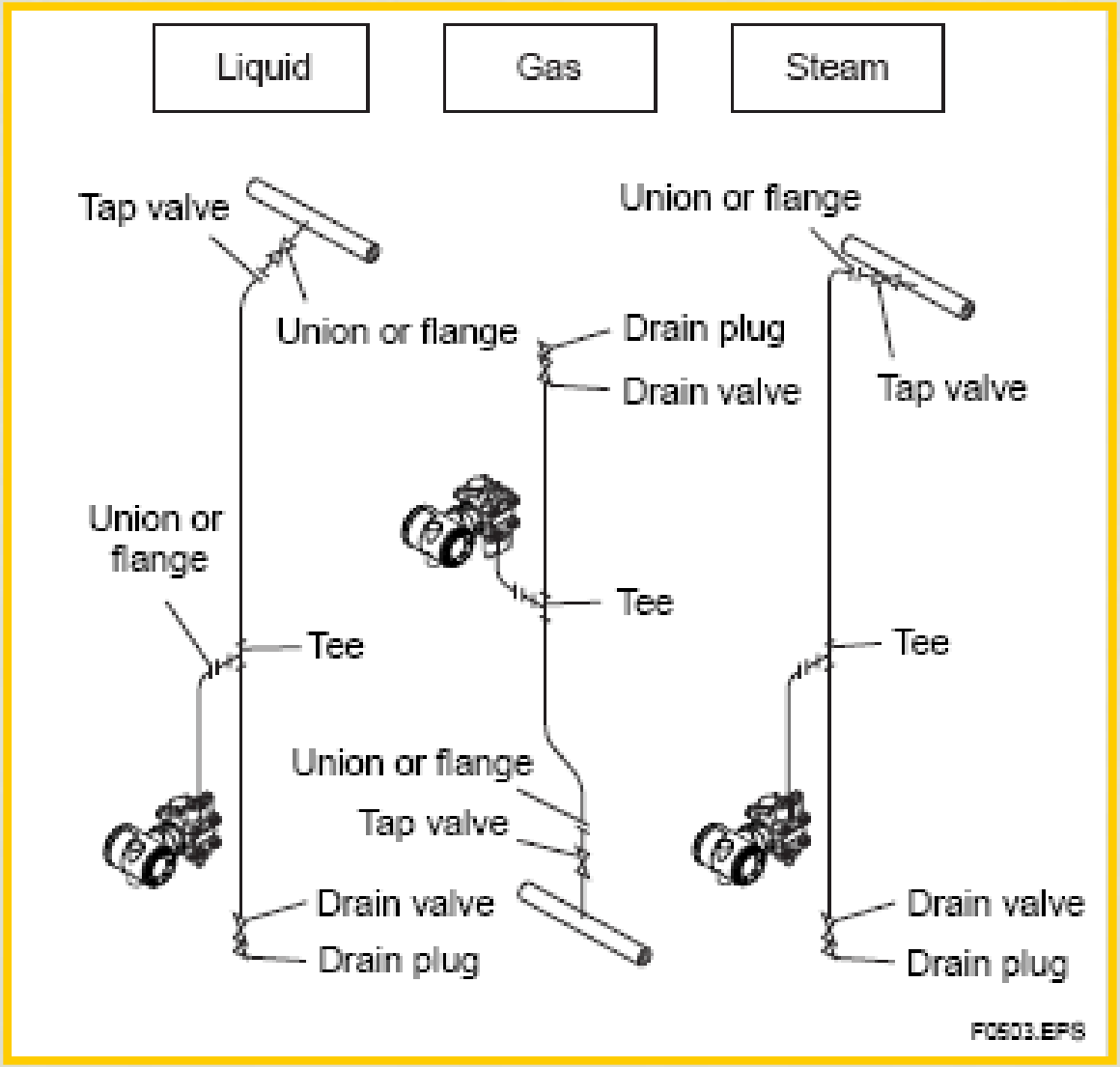
مدار داخلی کپسول

اجزاء مختلف ترانسمیتر فشار

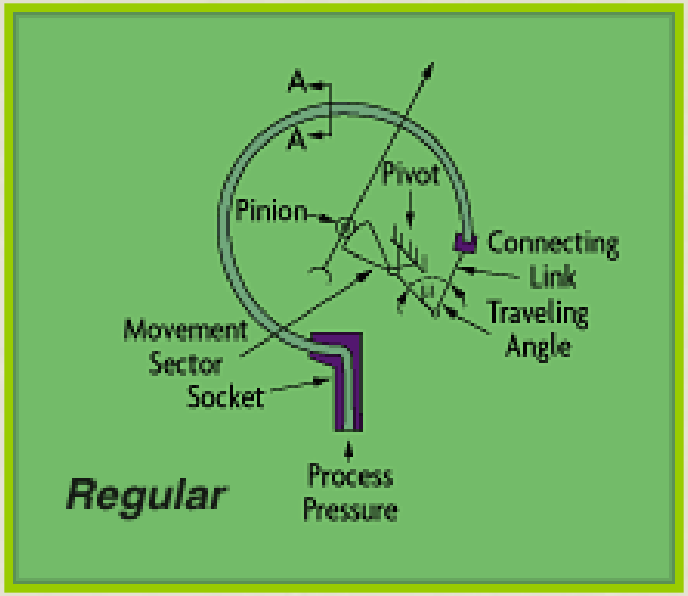
منی فولد پنج راهه

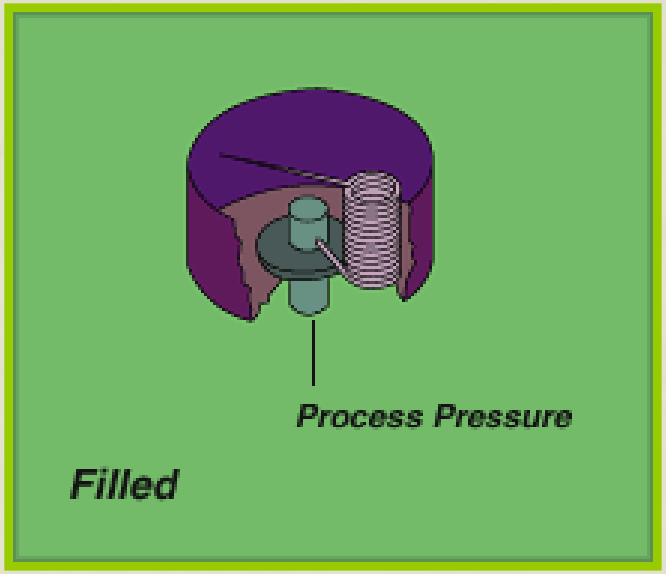


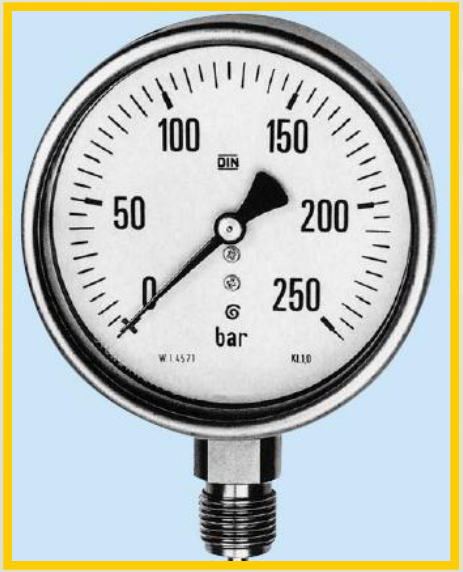
محل قرار دادن ترانسمیتر در مسیرهای مختلف



اندازه‌گیر لوله بوردن







خصوصیات اندازه گیر لوله بوردن

گیری لوله بوردن بیشتر از دیافراگم و کپسول می‌باشد۱– حوزه اندازه
۲– معمولا برای اندازه‌گیری فشارهای۳۵ kpaتا۱۰۰ kpa مورد استفاده واقع می‌شود
۳– درصورتیکه بخواهیم حوزه اندازه گیری را افزایش دهند لوله بوردن بصورت

مارپیچ در نظر گرفته میشود

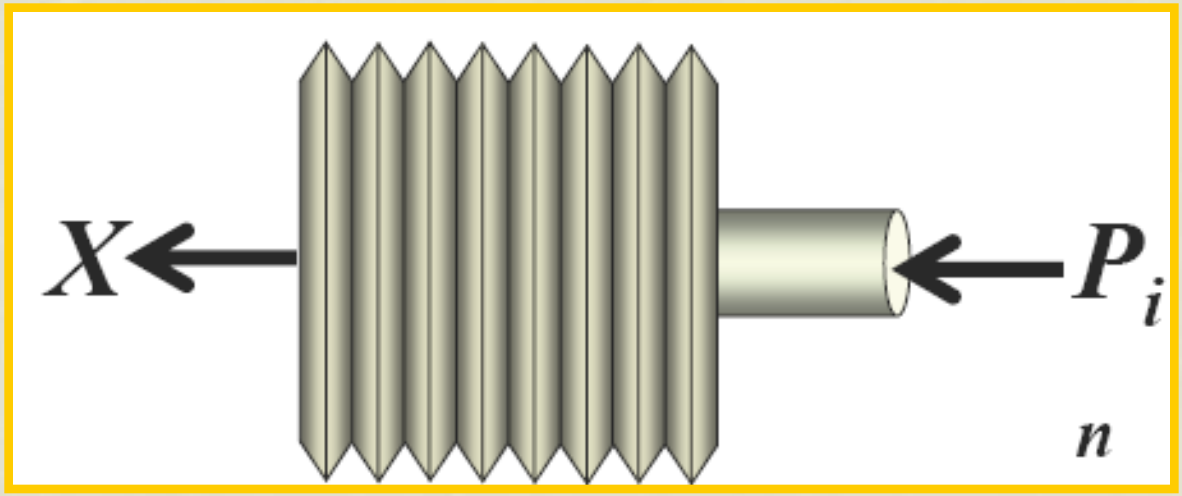
اندازه‌گیر دم (بیلوز)

P: فشار مورد اندازه‌گیري

A : سطح بیلوز

Ks:ضریب بیلوز (ضریب فنري)

$$X = K_s(PA)$$



معمولا در کنترل ولوهایPCVاز بیلوز استفاده میگردد.