



دانشگاه شیراز
دانشکده کشاورزی
گروه مهندسی بیوسیستم

ابزار اندازه گیری و سیستم های کنترل Instrumentation and Control Systems

فصل چهارم:

سنسورهای اندازه گیری دما

- ❖ دما یکی از ویژگیهای ماده است که میزان گرمی و سردی آنرا نشان می دهد و جهت جریان گرما را مشخص می کند.
- ❖ گرما انرژی است که به دلیل اختلاف دما بین دو جسم مبادله می شود.
- ❖ دما یکی از مهمترین کمیت ها در کنترل فرآیندهای صنعتی
- ❖ دما برخلاف دیگر کمیت ها مثل طول، زمان و جرم، کمیتی است که معمولا به صورت غیرمستقیم اندازه گیری می شود.

❖ تعریف یک مقیاس اندازه گیری برای دما به آسانی تعریف یک مقیاس اندازه گیری برای سایر کمیت ها مثل طول یا جرم نمی باشد ، زیرا دما را نمی توان بر حسب دیمانسیون های دیگر بیان کرد. از این رو ما هیچ گاه حرارت را به طور مستقیم اندازه گیری نمی کنیم بلکه اثری را که حرارت از خود بر جای میگذارد را اندازه گیری می کنیم. این اثر میتواند انبساط یا انقباض یک جسم یا تغییر مقاومت یک عنصر باشد

برای اندازه گیری دما ۴ واحد وجود دارد:

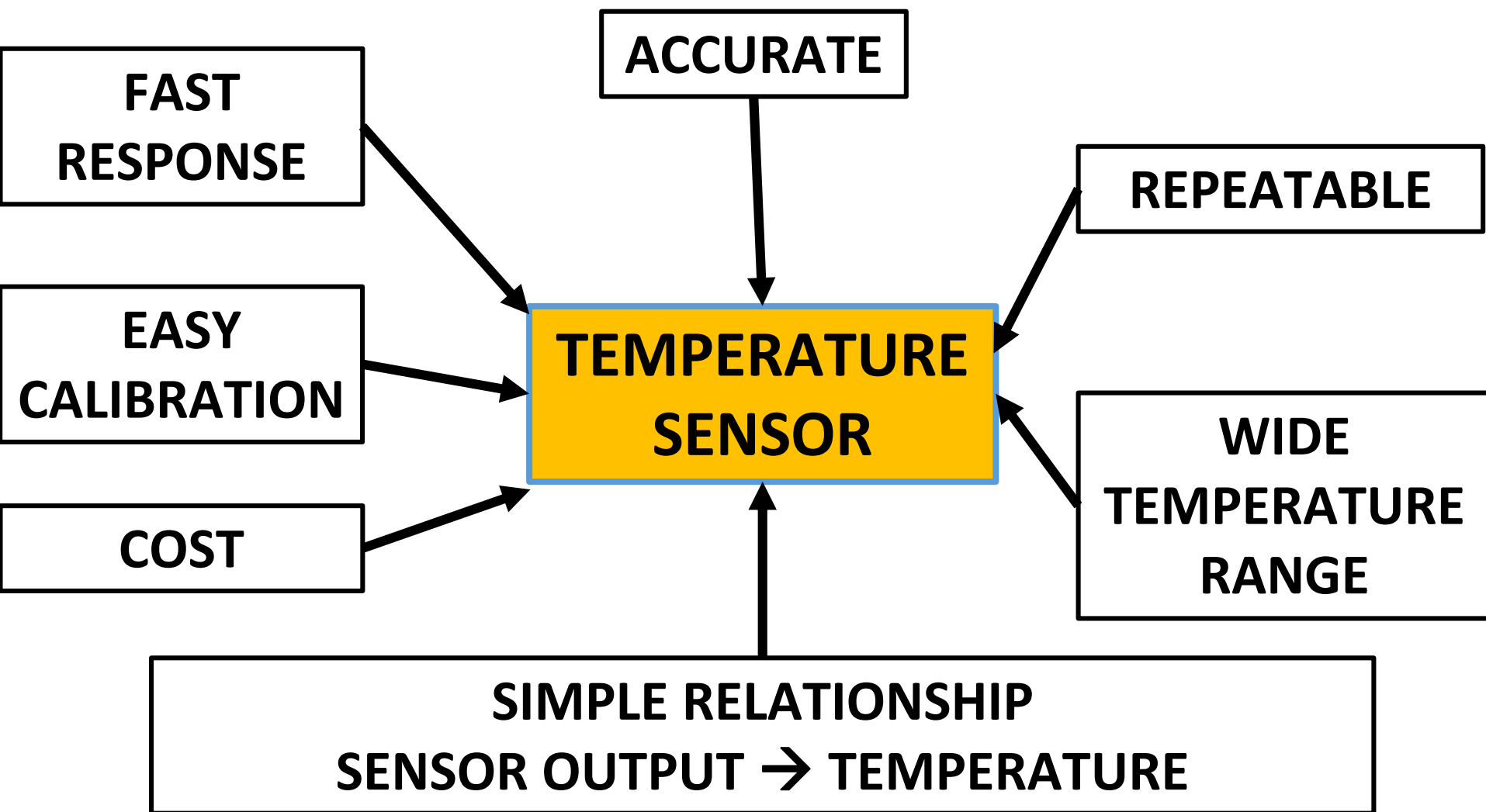
۱- درجه سلسیوس (سانتیگراد) Celcius

۲- درجه فارنهایت Fahrenheit

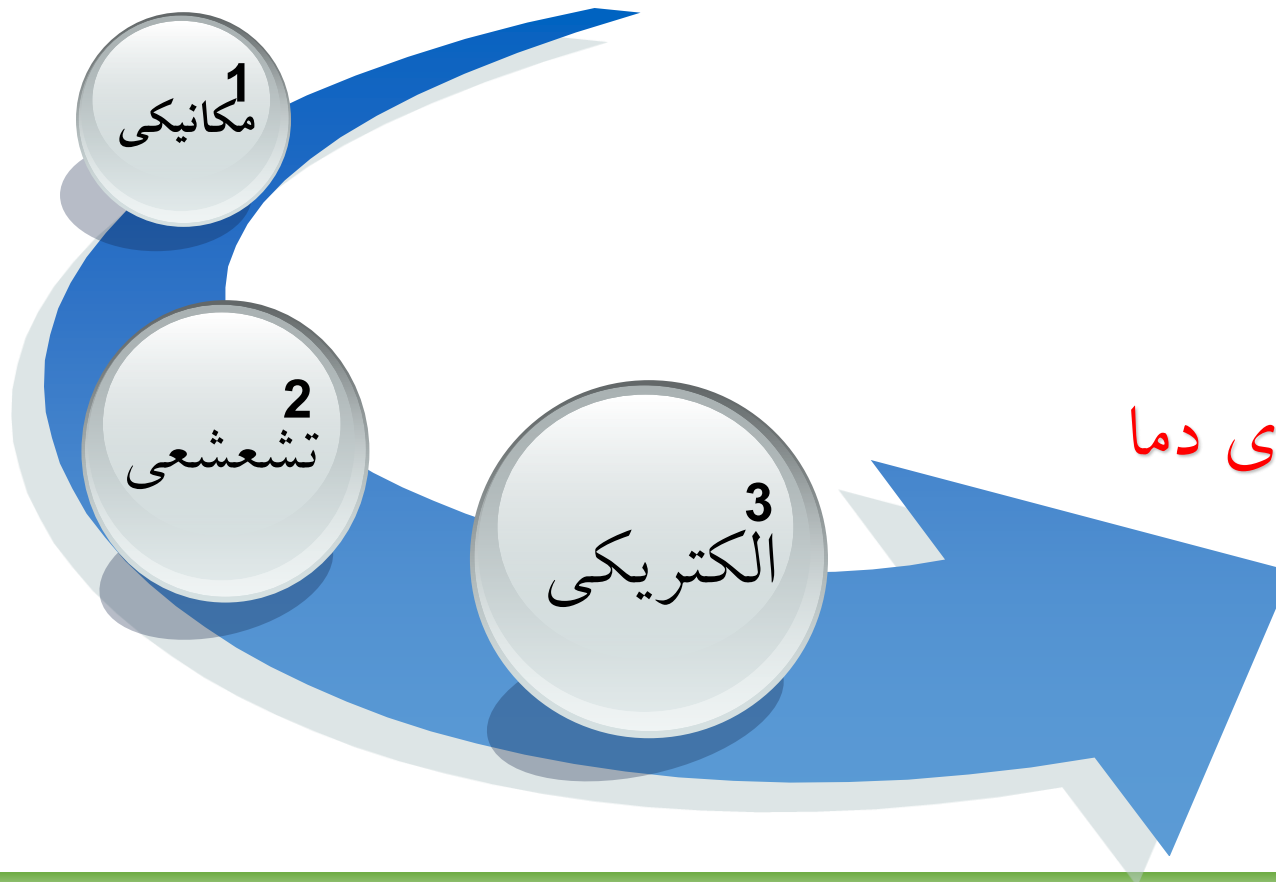
۳- درجه کلوین Kelvin

۴- درجه رانکین Rankine

Desirable Temperature Sensor Characteristics



اندازه گیرهای دما بر سه دسته کلی تقسیم می شوند:



اندازه گیرهای دما

حرارت سنج ها محتوی مایعات

حرارت سنج های فشار بخار

حرارت سنج های گازی

حرارت سنج های بی متال

اندازه گیری مکانیکی دما

حرارت سنج محتوای مایعات

❖ مبنای کار : اندازه گیری تغییرات حجم و شکل مواد در اثر تغییرات حرارت

❖ سیالات مورد استفاده : الکل ، انواع هیدروکربنها و فلز جیوه

❖ انواع اندازه گیرهای مایعات :

➤ با استفاده از لوله شیشه ای

➤ با استفاده از دم (sealed bellows)

➤ با استفاده از لوله بوردن

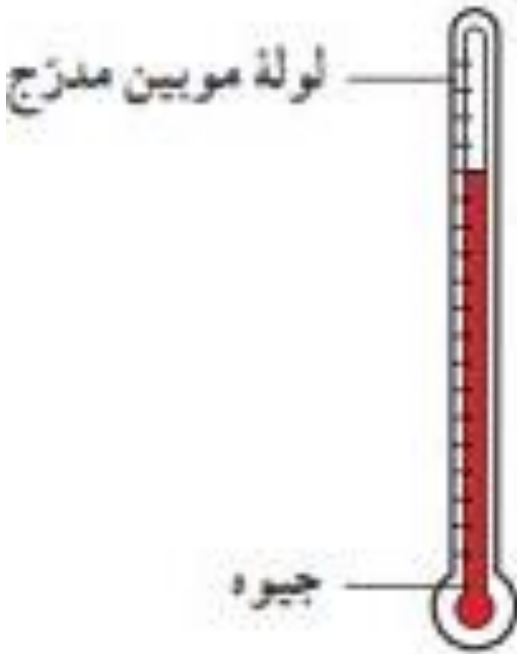
❖ محدوده اندازه گیری دما سنج های محتوای مایع معمولاً از ۷۰ تا ۱۲۰۰ درجه فارنهایت میباشد

حرارت سنج محتوای مایعات

❖ با استفاده از لوله‌ی شیشه‌ای

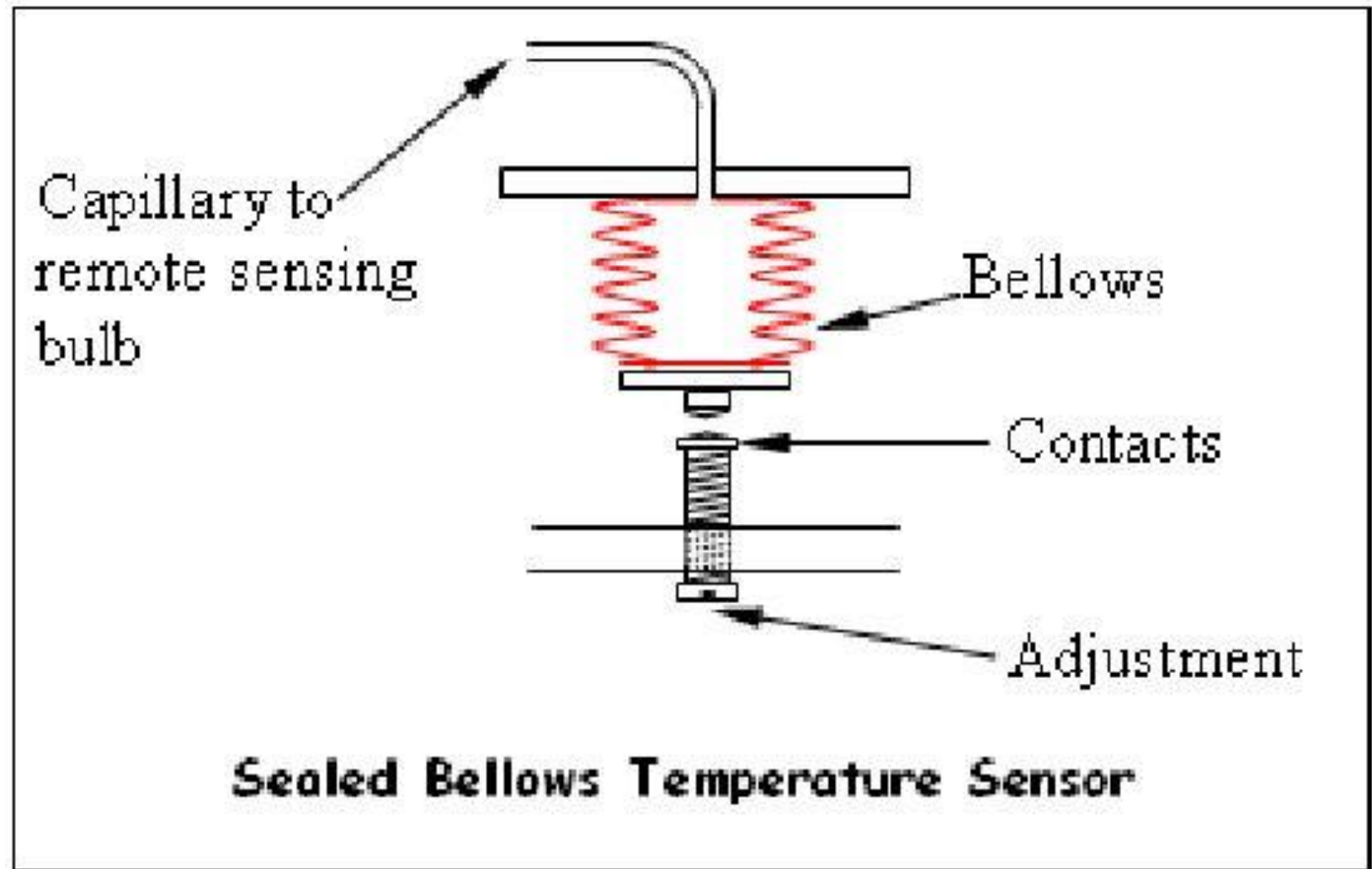
- الکل و جیوه از متداولترین مایعاتی هستند که در این نوع دماسنجها مورد استفاده قرار می گیرند. مزیت الکل در بزرگ بودن ضریب انبساط آن نسبت به جیوه است اما محدود به اندازه گیری درجه حرارت های پائین است. از معایب این نوع دماسنجها این است که امکان خواندن عدد دماسنج از راه دور وجود ندارد. همچنین این نوع از دماسنجها بازه دمایی کوچکتری نسبت به دیگر انواع را اندازه می گیرند. به علاوه امکان شکستن آنها در اثر ضربه یا عواملی از این دست نیز فراوان است.

در این روش محدودیت حد بالا و پایین و همچنین محدودیت نقطه جوش مایع حرارت سنج که در درجه حرارت های بالاتر از نقطه جوش ، مایع حرارت سنج، بخار می شود و اندازه گیری را با مشکل مواجه میکند.



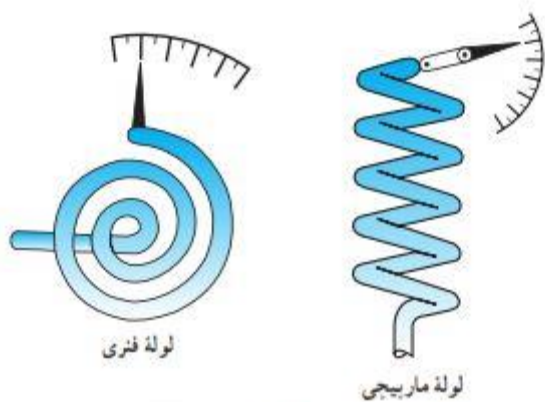
شکل ۱۹-۱ دماسنج جیوه‌ای

حرارت سنج با استفاده از لوله دم (sealed bellows)

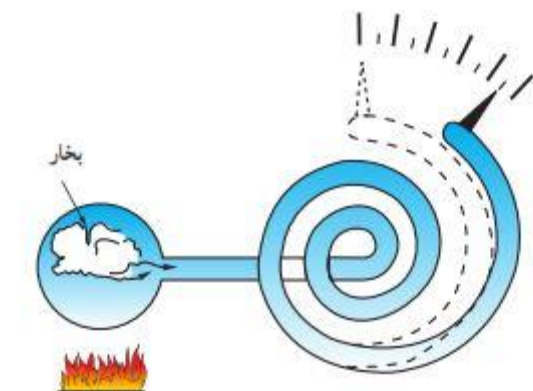


➤ با استفاده از لوله بوردن

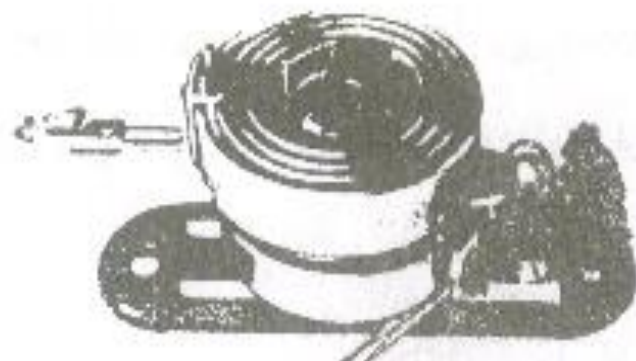
در این روش لوله دستگاه پر از مایع می شود و در اثر تغییر حجم ، مایع داخل لوله شکل ظاهری لوله را تغییر می کند و قرائت تغییرات جابجایی ، اندازه گیری درجه حرارت را ممکن می سازد



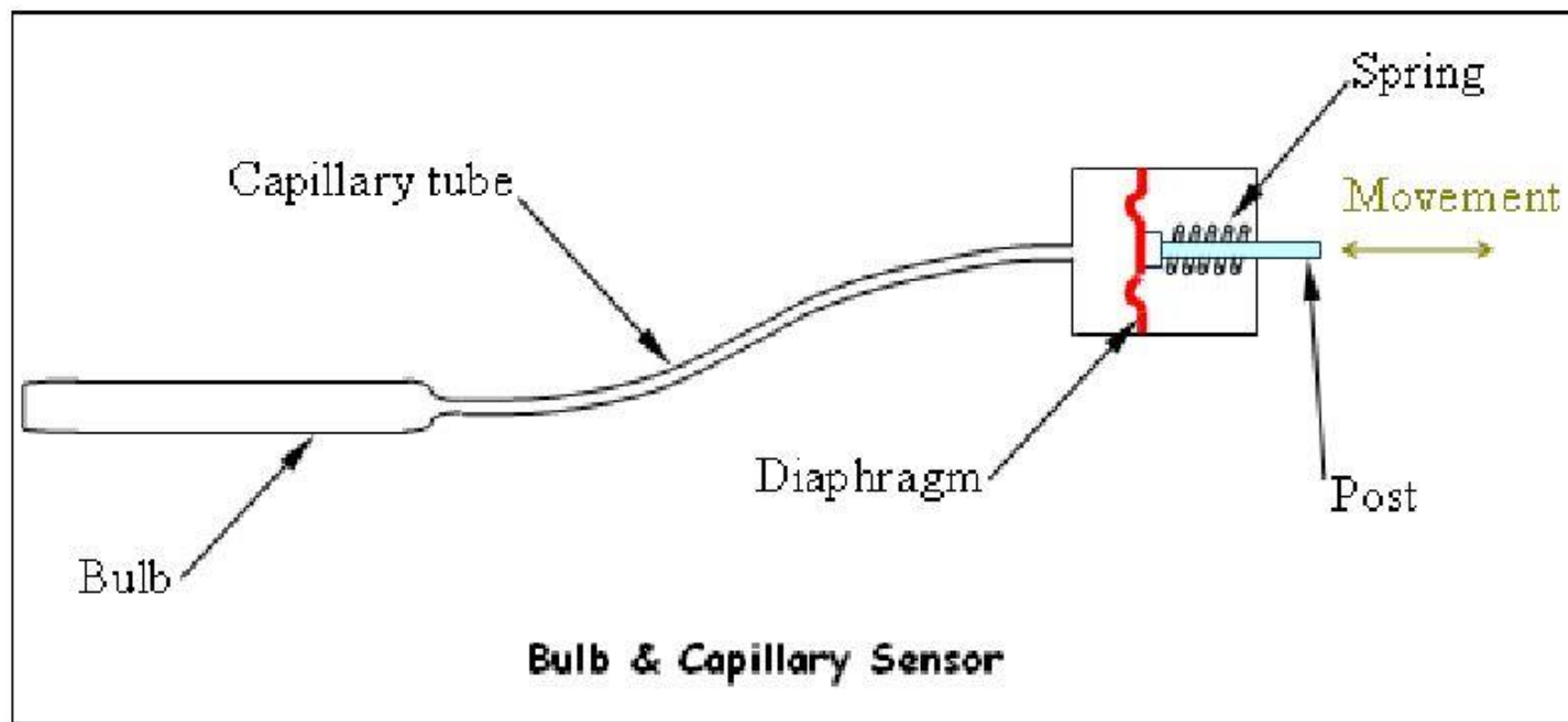
شکل ۲۱-۱- دماسنج فنساری با دو نوع لوله بوردن



شکل ۲۲-۱- نحوه تغییر عقربه در لوله فنری بوردن با افزایش حرارت

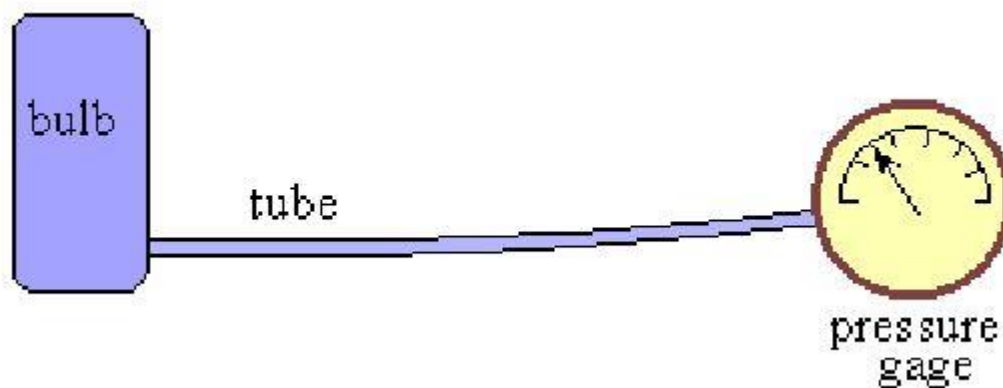


حرارت سنج محتوی سیالات



حرارت سنج محتوی گاز

ترمومتر و یا دماسنج گازی که به ترمومتر دنباله دار هم معروف است در حقیقت از همان قوانین ساده گازهای کامل استفاده کرده و با توجه به افزایش فشار در اثر افزایش دما در حجم ثابت با اندازه گیری این فشار و کالیبره آن بر حسب دما مقدار دما را اندازه گیری کرد . در حقیقت دماسنج گازی نوع فشار سنج محسوب میگردد . مزیت این دماسنج نسبت به دماسنجهای بی‌مقال افزایش طول دنباله آن تا چند متر است . در حقیقت دنباله این ترمومترهای از یک لوله موئین تشکیل شده که معمولاً به کمک شیلد از محیط اطراف عایق میشوند و تنها قست حباب شکل انتهای آن حساس به دما بوده و به عنوان سنسور تجهیز در نظر گرفته میشود . در مدل‌های پیشرفته تر دماسنج های گازی جهت خنثی نمودن ختای



حرارت سنج محتوی گاز

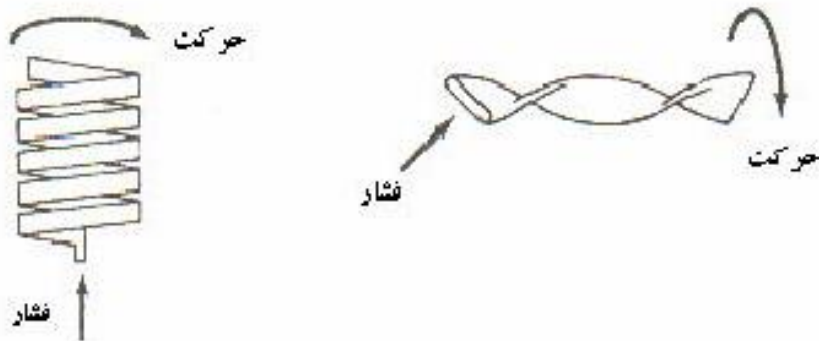


❖ مبنای کار : تقریبا مشابه حرارت سنج های محتوای مایعات هستند با این تفاوت که در اینجا به جای مایع از گاز استفاده شده است

❖ گازهای مورد استفاده : ازت و هلیم و نیتروژن

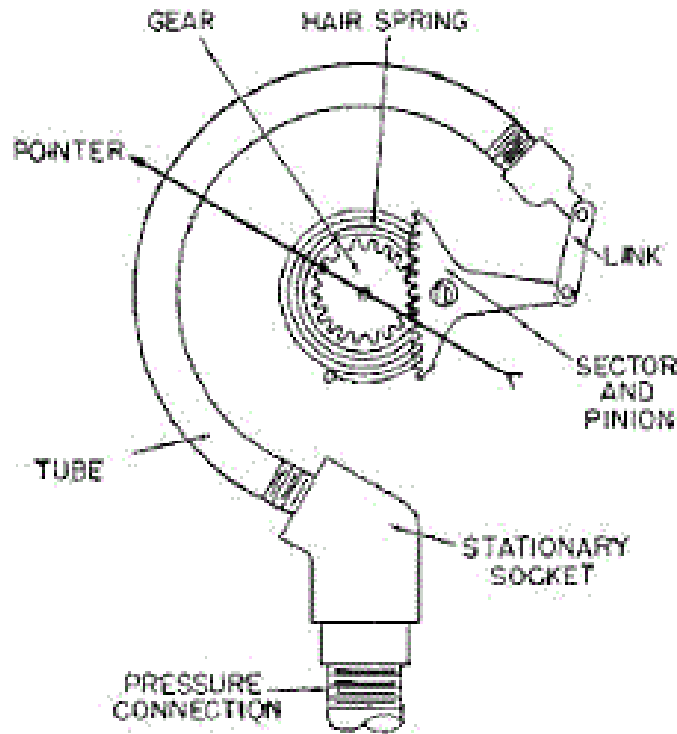
❖ محدوده اندازه گیری دما سنج های محتوای گاز از ۴۵۰- تا ۱۰۰۰ درجه فارنهایت میباشد

شکل (2-15): شکل کلی اندازه گیرهای دما از طریق فشار گاز



شکل (2-16): شکلهای دیگر لوله بودن

اندازه گیری دما برپایه فشار گاز



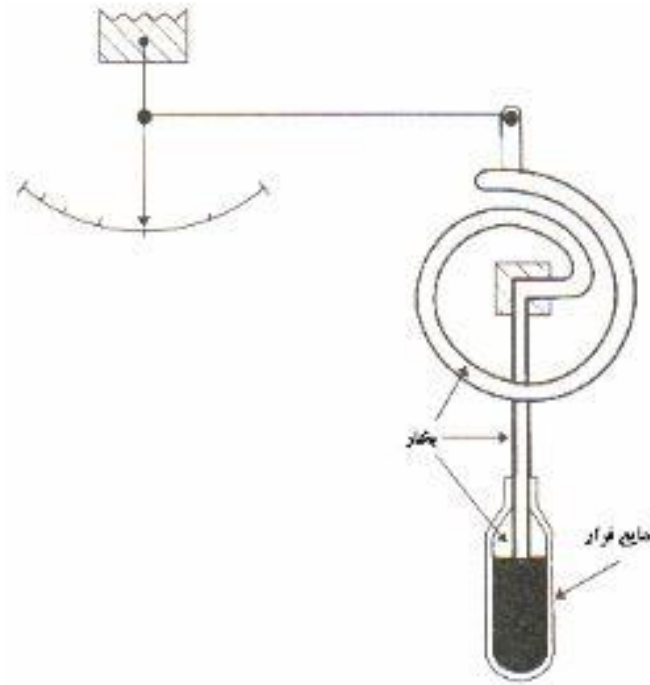
انبساط حرارتی حباب و لوله موئین میتواند باعث ایجاد خطا در اندازه گیری شود، بنابراین برای کاهش خطای اندازه گیری، حباب و لوله موئین باید از فلزی انتخاب شوند که ضریب انبساط حرارتی آنها خیلی کمتر از ضریب انبساط مایع باشد، تا تاثیر انبساط حباب و لوله موئین مینیمم شود. مقدار انبساط علاوه بر دما به حجم اولیه ماده نیز بستگی دارد، بنابراین حجم حباب باید به اندازه ای باشد که انبساط گاز داخل آن در مقایسه با انبساط خود حباب بسیار بیشتر باشد. همچنین گاز مورد استفاده نباید از لحاظ شیمیایی باعث خوردگی مخزن و لوله ها شود.

حرارت سنج فشار بخار

❖ مبنای کار: اندازه گیری فشار ناشی از تبخیر یک مایع است زیرا فشار بخار یک مایع تابعی از درجه حرارت است. فشار بخار یک مایع تابعی از دمای آن است. از این اصل میتوان برای اندازه گیری دما استفاده نمود. ساختمان این سنسور مشابه نمونه قبل است. تنها تفاوت آن این است که بجای گاز از یک مایع فرار مانند اتر استفاده میشود.

❖ سیالات مورد استفاده: الکل، اتر، دی اکسید سولفور، تولوئن

❖ محدوده اندازه گیری دما سنج های فشار بخار از ۳۰۰- تا ۳۵۰ درجه فارنهایت میباشد



شکل (2-17): شکل کلی اندازه گیرهای دما از طریق فشار بخار

اندازه گیری دما از طریق فشار بخار

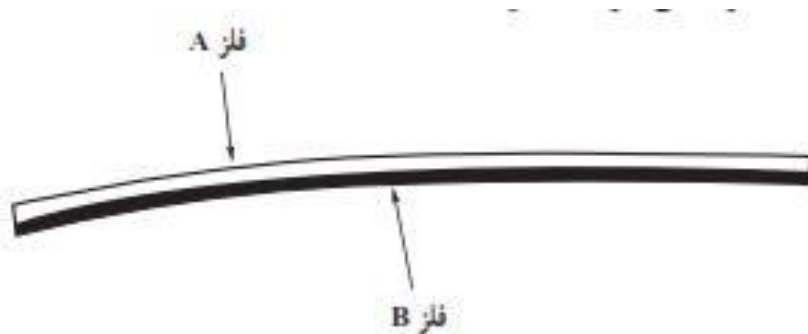
➤ برخلاف نوع قبل که فشار اندازه گیری شده مستقیماً متناسب با دمای مخزن بود، فشار بخار یک مایع رابطه کاملاً غیر خطی با دما دارد. با توجه به اینکه در این روش فشار بخار اندازه گیری میشود، انبساط حباب تاثیری در خروجی ندارد و بنابراین این سنسورها میتوانند دارای حجم های بسیار کوچکتري نسبت به نوع گازی باشند در نتیجه این اندازه گیرها دارای سرعت پاسخ دهی بهتری نسبت به نوع گازی میباشند

حرارت سنج بی متال Bimetal

❖ مبنای کار : اختلاف انبساط دو فلز به هم متصل شده باعث ایجاد حرکت و در نتیجه این حرکت نشان گر تغییرات درجه حرارت میباشد

❖ فلزات مورد استفاده : عموماً مس یا الیازهای مس یا برنج و فولاد نیکل دار

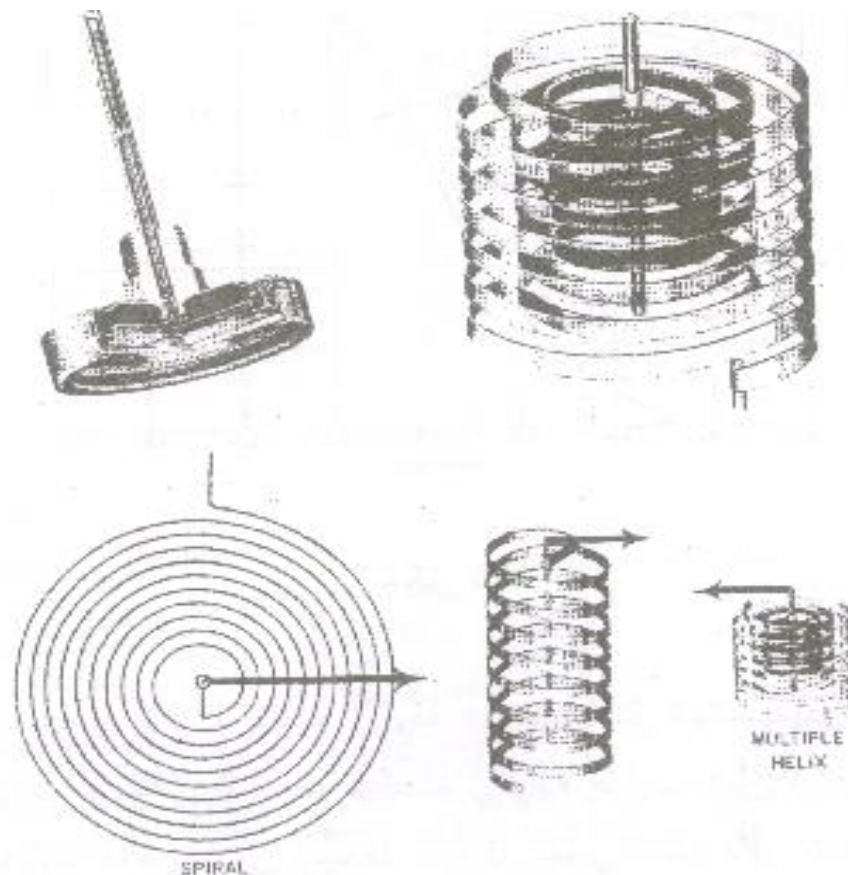
❖ محدوده اندازه گیری ۷۵ - تا ۱۵۰۰ درجه سلسیوس میباشد و دقت بهترین نوع آنها ۰/۵٪ می باشد.



شکل ۲۴-۱ فلز با قابلیت انبساط بیشتر در سمت خارج انحنا قرار می گیرد.

فلز/آلیاژ	ضریب انبساط	فلز/آلیاژ	ضریب انبساط
آلومینیم	2.4	برنج	2.7
برنز	1.9	کرم	0.85
کنستانتین	1.50.2	مس	1.6
Invar	2.6	آهن	102
منیزیم	1.3	منگنز	1.6
نیکل	1.4	پلاتین	0.90
نقره	0.65	فولاد زنگ نزن	1.0
تان탈یم	0.43	قلع	2.7
تنگستن		روی	2.6

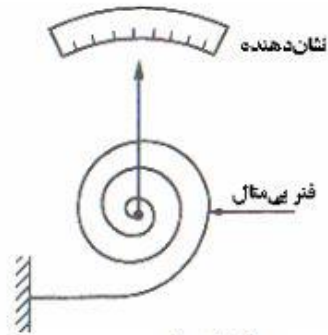
اشکال مختلفی از انواع بی متال Bimetal



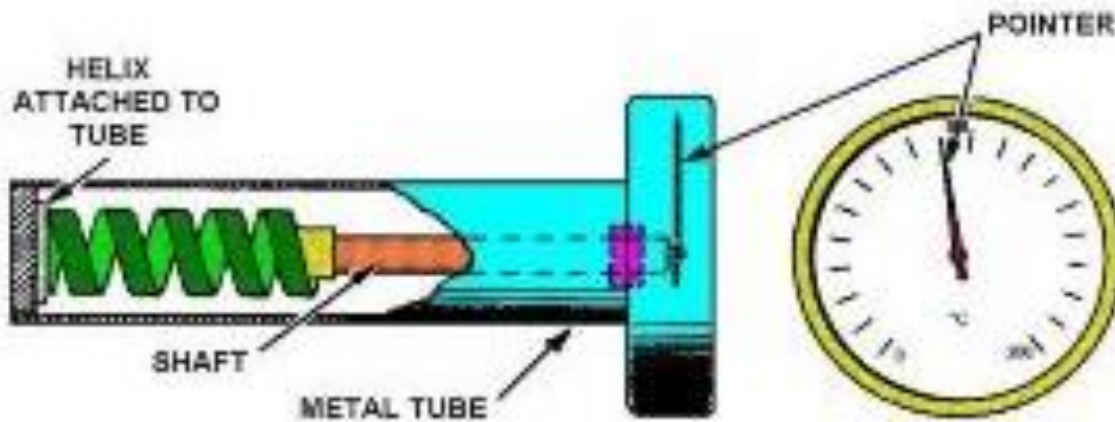
نمونه های صنعتی ترمومتر بی متال

محدوده دمای اندازه گیری دماسنج های بی متال، از ۱۵۰- تا ۵۵۰ درجه سلسیوس می باشد.

استفاده از بی متال برای اندازه گیری پیوسته دما

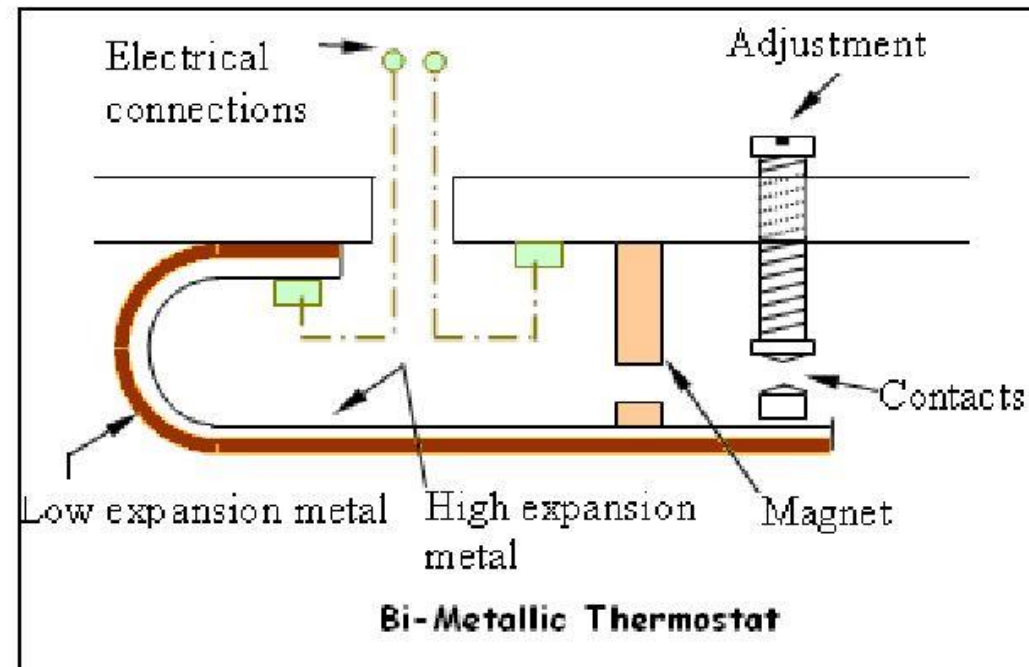
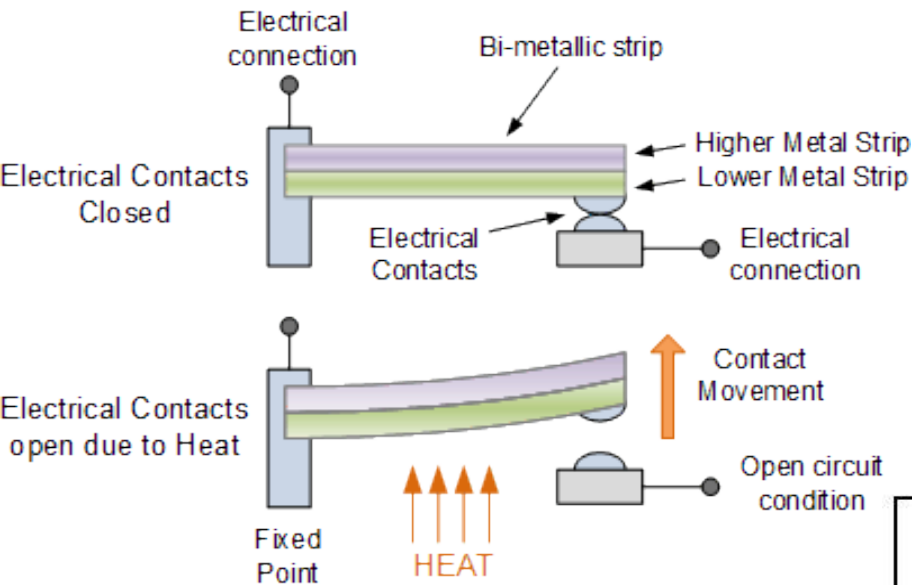


(الف) (ب)
 شکل (2-19): الف: اندازه گیر دمای دو فلزی حلزونی شکل
 ب: اندازه گیر واقعی دما دو فلزی

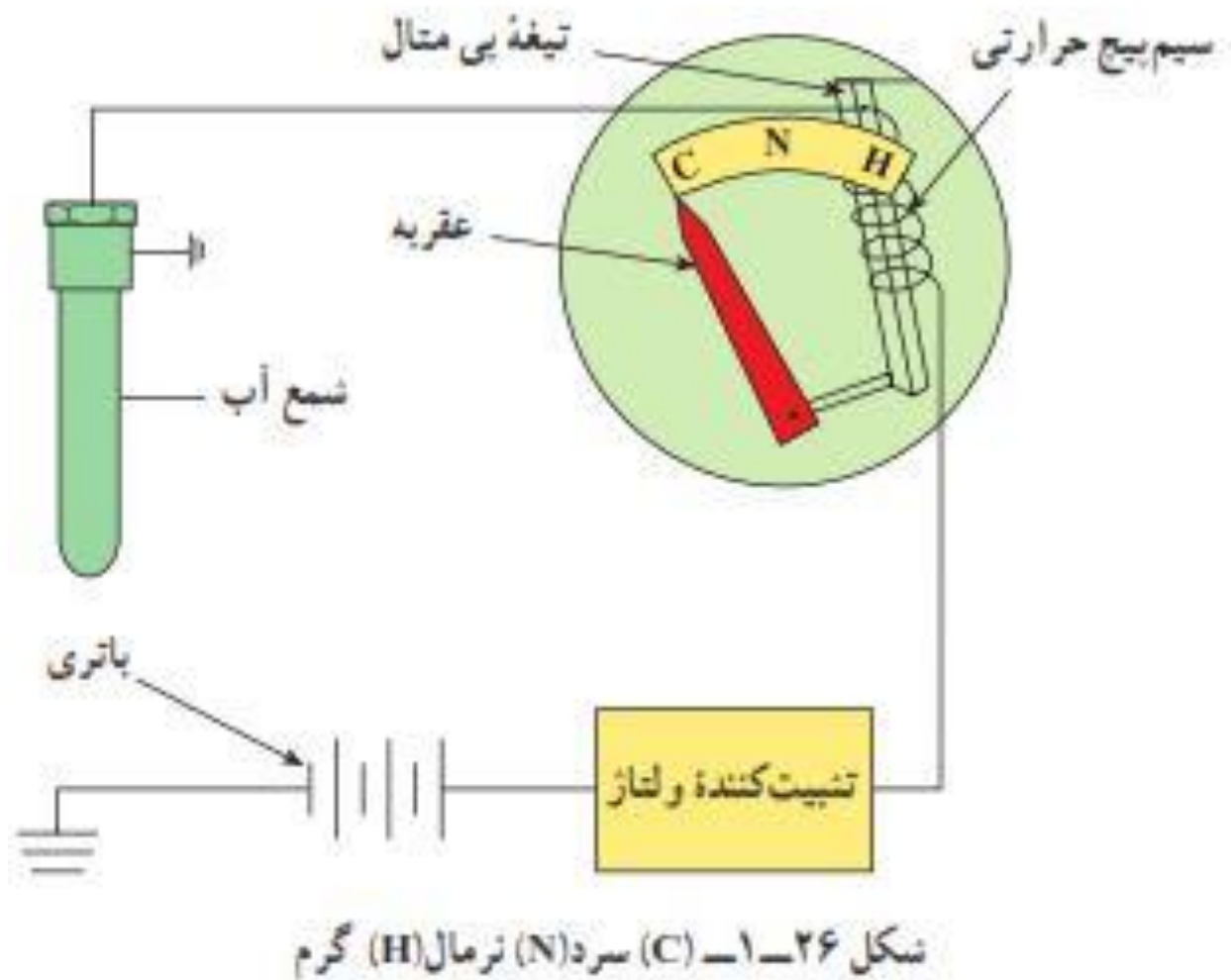


شکل 3-7 دما سنج بی متال یا دو فلزی

استفاده از بی متال بعنوان ترموستات



کاربرد بی متال در نشان دهنده دمای آب موتور



حرارت سنج های ترموکوپلی

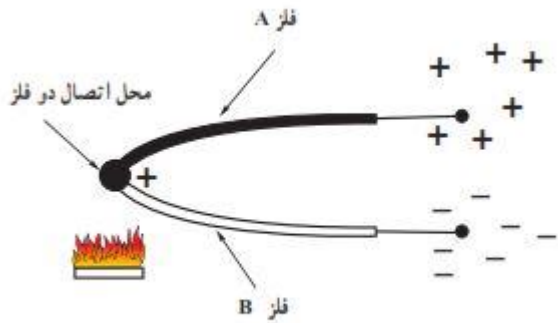
حرارت سنج ها مقاومتی **RTD**

حرارت سنج های ترمیستوری

حرارت سنج های نیمه هادی (اتصال PN)

اندازه گیری الکتریکی دما

ترموکوپل ها Thermocouples

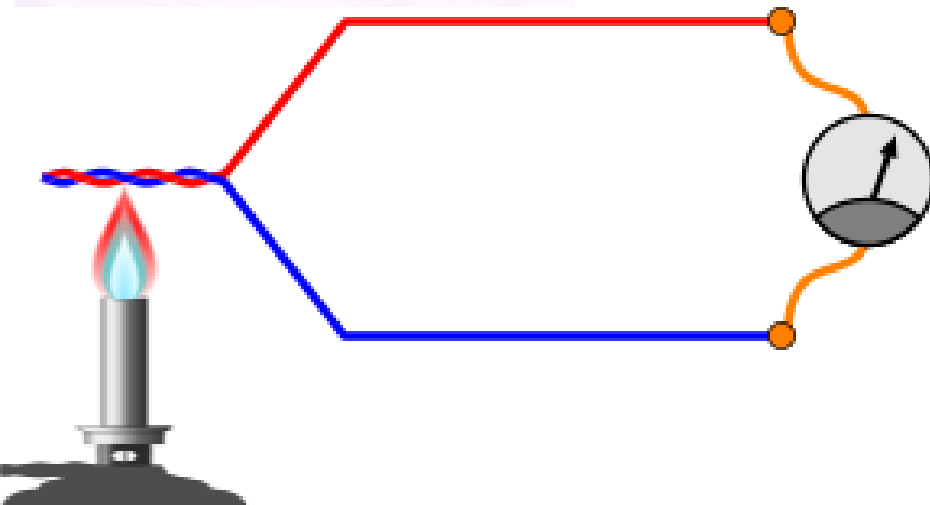


شکل ۲۸-۱ تغییر درجه حرارت یک فلز باعث حرکت الکترون ها می شود.

❖ اساس کار ترموکوپل پدیده ترموالکتریک (**SEEBACK**) است ، بر طبق آن هر گاه دو فلز غیر یکسان تشکیل یک مدار بسته دهند و محل های اتصال آنها در دو دمای مختلف قرار گیرد ، در مدار جریان الکتریکی حاصل میشود

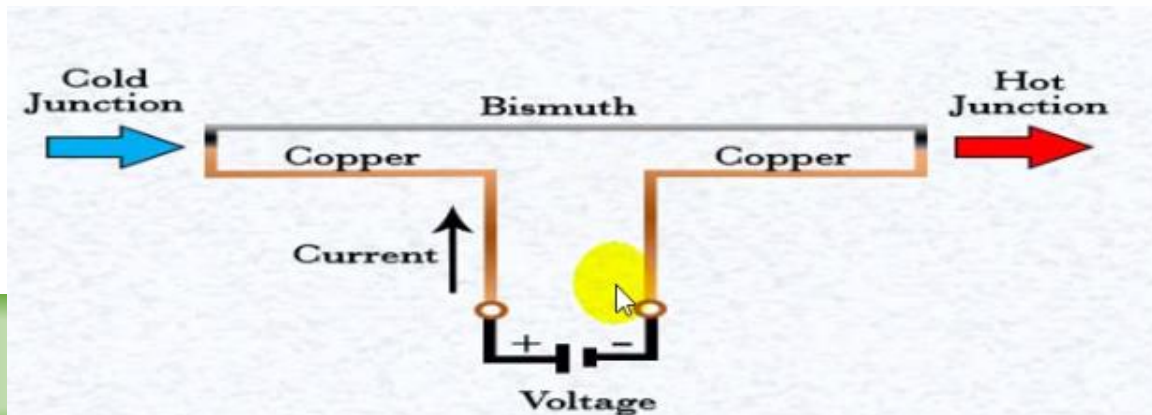
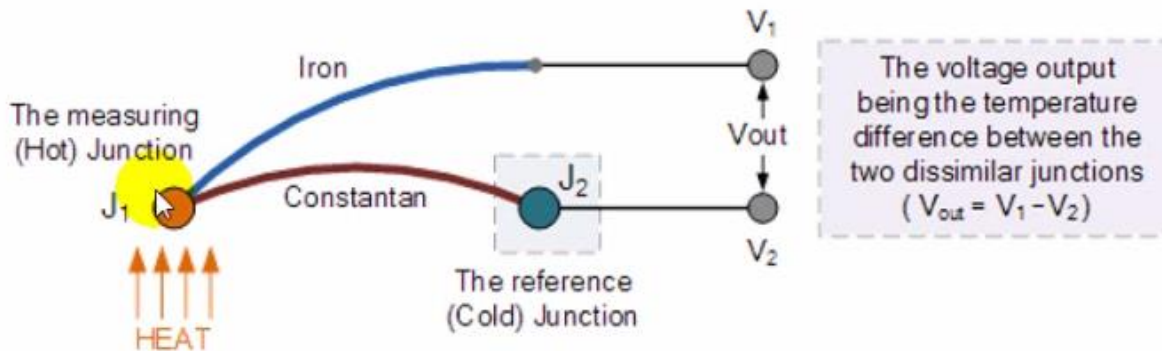
❖ متداول ترین اندازه گیرهای دما در صنعت ترموکوپل ها هستند

❖ از مزایای آنها می توان به سادگی ، ارزانی دوام و دقت خوب اندازه گیری آنها اشاره



Thermocouples

1. *Seebeck effect.* It states that the voltage produced in a thermocouple is proportional to the temperature between the two junctions.
2. *Peltier effect.* It states that if a current flows through a thermocouple one junction is heated (puts out energy) and the other junction is cooled (absorbs energy).



نام گذاری ترموکوپل ها : نام گذاری ترموکوپل ها بر اساس نام دو فلز تشکیل دهنده ی آن می باشد.

جدول زیراسامی ومشخصات ترموکوپل هابر اساس استانداردISAرا نشان می دهد.

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



Connectors			Connectors			
ANSI Code	ANSI/ASTM E-230 Color Coding		Maximum T/C Grade Temp. Range	IEC 584-3 Color Coding		IEC Code
	Thermocouple Grade	Extension Grade		Thermocouple Grade	Intrinsically Safe	
J			-210 to 1200°C -346 to 2193°F			J
K			-270 to 1372°C -454 to 2501°F			K
T			-270 to 400°C -454 to 752°F			T
E			-270 to 1000°C -454 to 1832°F			E
N			-270 to 1300°C -450 to 2372°F			N
R	NONE ESTABLISHED		-50 to 1768°C -58 to 3214°F			R
S	NONE ESTABLISHED		-50 to 1768°C -58 to 3214°F			S

Thermocouples

Type	Positive wire <i>characteristic</i>	Negative wire <i>characteristic</i>	Plug	Temp. range
T	Copper (blue) <i>yellow colored</i>	Constantan (red) <i>silver colored</i>	Blue	-300 to 700 °F
J	Iron (white) <i>magnetic, rusty?</i>	Constantan (red) <i>non-magnetic</i>	Black	32 to 1400 °F
E	Chromel (violet) <i>shiny finish</i>	Constantan (red) <i>dull finish</i>	Violet	32 to 1600 °F
K	Chromel (yellow) <i>non-magnetic</i>	Alumel (red) <i>magnetic</i>	Yellow	32 to 2300 °F
N	Nicrosil (orange)	Nisil (red)	Orange	32 to 2300 °F
S	Pt90% - Rh10% (black)	Platinum (red)	Green	32 to 2700 °F
B	Pt70% - Rh30% (grey)	Pt94% - Rh6% (red)	Grey	32 to 3380 °F



ترموکوپل ها Thermocouples

بر طبق جدول فوق میتوان ترموکوپل ها را بر دو دسته کلی تقسیم نمود :

➤ ترموکوپل با فلزات پایه

➤ ترموکوپل با فلزات اصیل (کمیاب)

برای اندازه گیری دماهای کمتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد از ترموکوپلهای فلزات

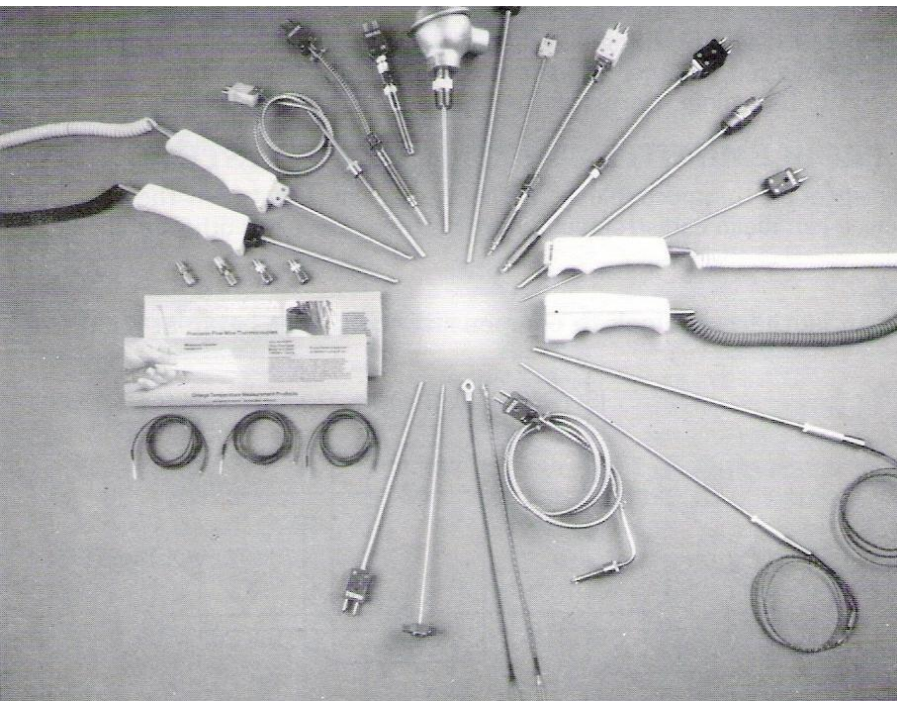
پایه (مس آهن نیکل) یعنی نوع T , J , K , E استفاده میشود

برای اندازه گیری دماهای حدود ۲۰۰۰ درجه

سانتیگراد از ترموکوپلهای فلزات اصیل

(پلاتین و رادیوم) یعنی نوع R , S استفاده

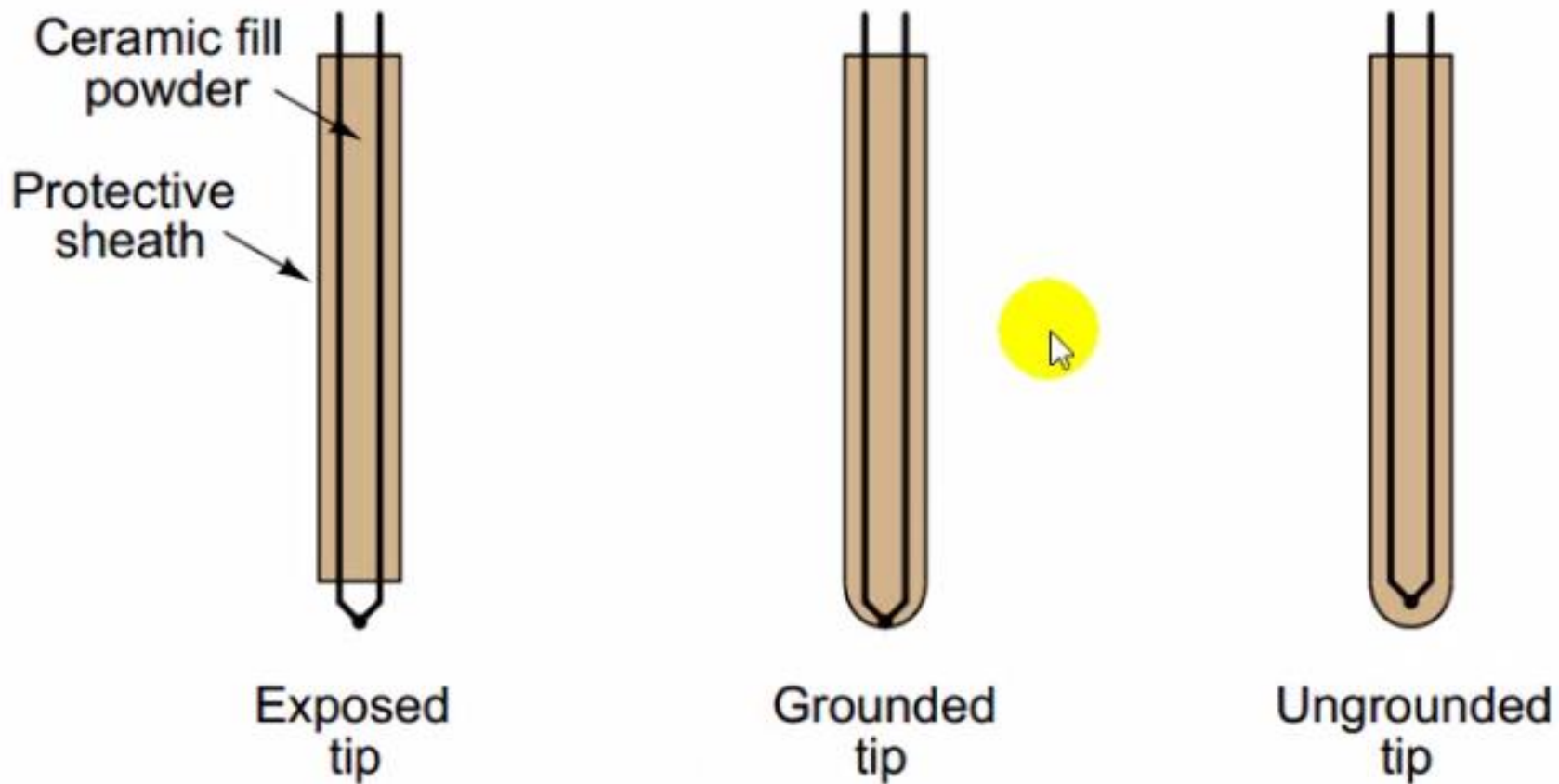
میشود



$$E = \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2$$

α و β ثابت های دی الکتریک

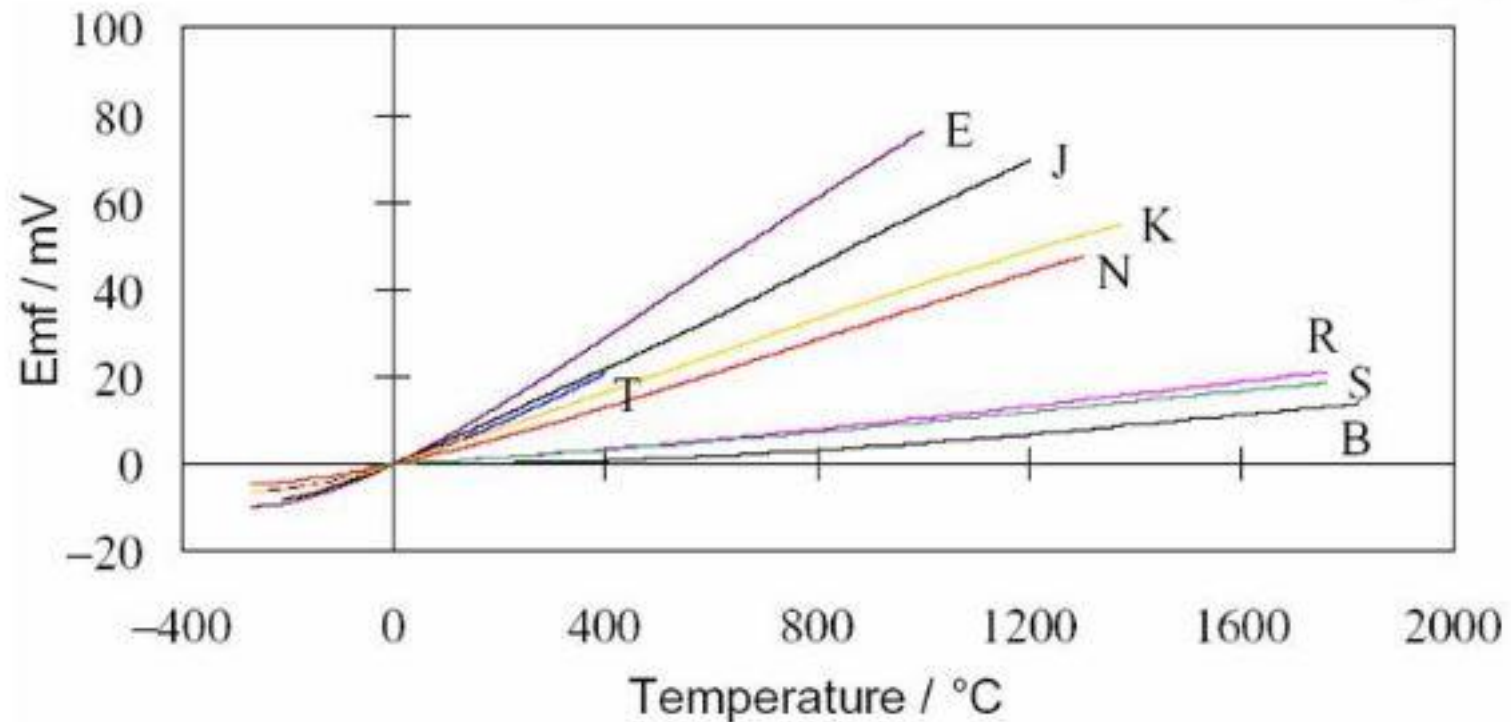
انواع هد ترموکوپل ها Thermocouples



□ نوع زمین شده دارای حساسیت و سرعت بیشتر است اما آسیب پذیری آن بیشتر است.

ترموکوپل ها Thermocouples

در شکل (21-2) مشخصه ولتاژ بر حسب اختلاف درجه حرارت اتصال گرم با سرد، برای چند نمونه ترموکوپل آمده است.



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

شکل (21-2): شکل موج ولتاژ ترموکوپل بر حسب دما



شکل (2-23): ترموکوپل و ترموول واقعی

حرارت سنج های ترموکوپلی

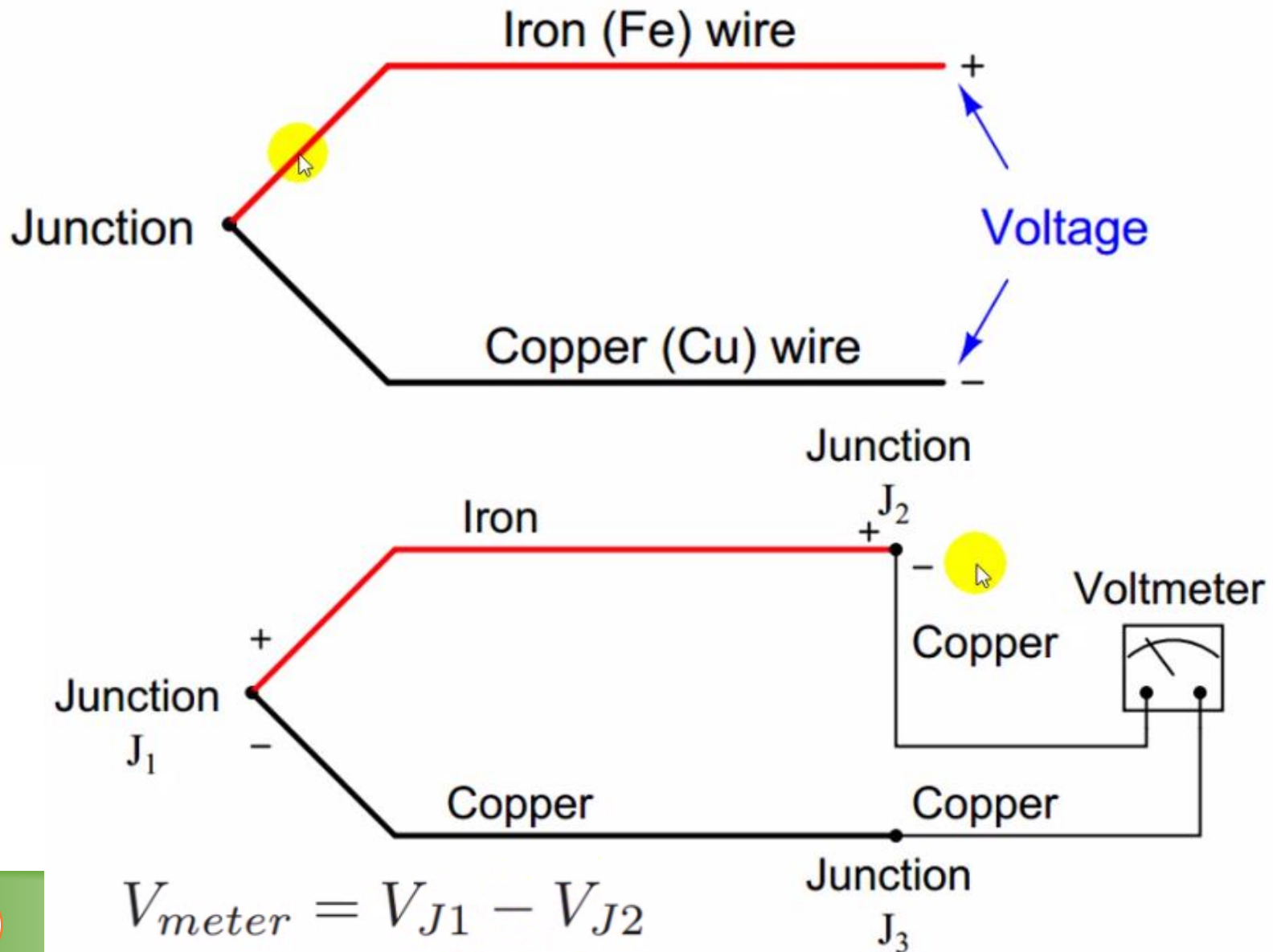


نمونه ای از غلاف ترموکوپل

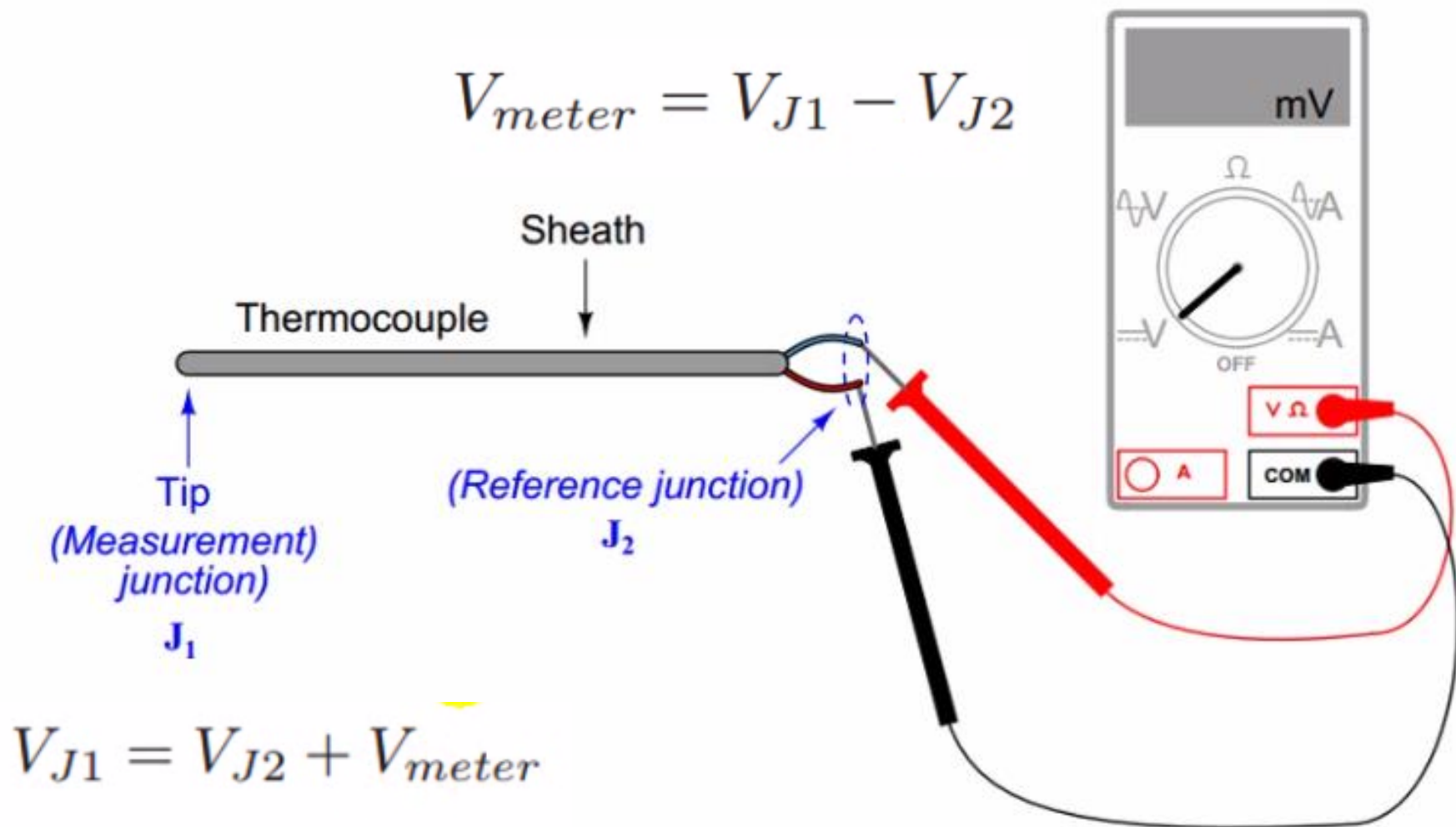


Thermocouples

□ ترموکوپل بر اساس اثر سیبک کار می کند و با اندازه گیری ولتاژ تولید شده، دمای پیوند محاسبه می شود.



بدست آوردن دستی دما در ترموکوپل ها



بدست آوردن دستی دما در ترموکوپل ها

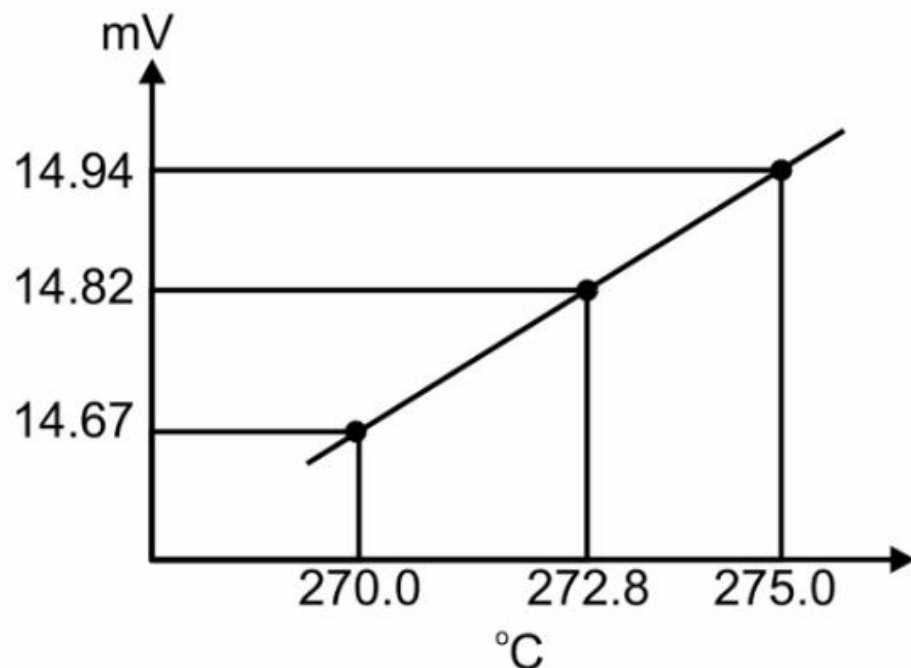
○ تعیین ولتاژ تفاضلی با ولت متر

○ تعیین دمای مرجع با دماسنج

○ تبدیل دمای مرجع به ولتاژ با استفاده از ج

○ اضافه کردن ولتاژ دمای مرجع به ولتاژ تفا

○ تبدیل ولتاژ پیوند به دما با مراجعه دوباره



□ در صورتیکه ولتاژها و یا دماها دقیقاً در جدول نبودند، از درونیابی بین نقاط پسین و پیشین استفاده کنید

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391
10	0.391	0.431	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.790
20	0.790	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.033	1.074	1.114	1.155	1.196
30	1.196	1.238	1.279	1.320	1.362	1.403	1.445	1.486	1.528	1.570	1.612
40	1.612	1.654	1.696	1.738	1.780	1.823	1.865	1.908	1.950	1.993	2.036
50	2.036	2.079	2.122	2.165	2.208	2.251	2.294	2.338	2.381	2.425	2.468
60	2.468	2.512	2.556	2.600	2.643	2.687	2.732	2.776	2.820	2.864	2.909
70	2.909	2.953	2.998	3.043	3.087	3.132	3.177	3.222	3.267	3.312	3.358
80	3.358	3.403	3.448	3.494	3.539	3.585	3.631	3.677	3.722	3.768	3.814
90	3.814	3.860	3.907	3.953	3.999	4.046	4.092	4.138	4.185	4.232	4.279

$$T_{ref} = 25.5 \text{ C} \gg V = 0.992 + \frac{0.992 - 1.033}{25 - 26} (T - 25) \gg V_{25.5C} = 1/0125mV$$

Look-Up Table for a Type T Thermocouple

Voltage difference of the hot and cold junctions: $V_D = 3.409 \text{ mV}$

What is the temperature of the hot junction if the cold junction is at 22°C ?

ITS-90 Table for Type T thermocouple											
$^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric voltage in mV											
-10	-0.383	-0.345	-0.307	-0.269	-0.231	-0.193	-0.154	-0.116	-0.077	-0.039	0.000
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391
10	0.391	0.431	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.790
20	0.790	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.033	1.074	1.114	1.155	1.196
30	1.196	1.238	1.279	1.320	1.362	1.403	1.445	1.486	1.528	1.570	1.612
40	1.612	1.654	1.696	1.738	1.780	1.823	1.865	1.908	1.950	1.993	2.036
50	2.036	2.079	2.122	2.165	2.208	2.251	2.294	2.338	2.381	2.425	2.468
60	2.468	2.512	2.556	2.600	2.643	2.687	2.732	2.776	2.820	2.864	2.909
70	2.909	2.953	2.998	3.043	3.087	3.132	3.177	3.222	3.267	3.312	3.358
80	3.358	3.403	3.448	3.494	3.539	3.585	3.631	3.677	3.722	3.768	3.814
90	3.814	3.860	3.907	3.953	3.999	4.046	4.092	4.138	4.185	4.232	4.279
100	4.279	4.325	4.372	4.419	4.466	4.513	4.561	4.608	4.655	4.702	4.750
110	4.750	4.798	4.845	4.893	4.941	4.988	5.036	5.084	5.132	5.180	5.228

At 22°C , the reference junction voltage is 0.870 mV

The hot junction voltage is therefore $3.409 \text{ mV} + 0.870 \text{ mV} = 4.279 \text{ mV}$

The temperature at the hot junction is therefore 100°C

Voltage difference of the hot and cold junctions: $V_D = 4.472 \text{ mV}$
 What is the temperature of the hot junction if the cold junction is at -5°C ?

ITS-90 Table for Type T thermocouple											
$^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Thermoelectric voltage in mV										
-10	-0.383	-0.345	-0.307	-0.269	-0.231	-0.193	-0.154	-0.116	-0.077	-0.039	0.000
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391
10	0.391	0.431	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.790
20	0.790	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.033	1.074	1.114	1.155	1.196
30	1.196	1.238	1.279	1.320	1.362	1.403	1.445	1.486	1.528	1.570	1.612
40	1.612	1.654	1.696	1.738	1.780	1.823	1.865	1.908	1.950	1.993	2.036
50	2.036	2.079	2.122	2.165	2.208	2.251	2.294	2.338	2.381	2.425	2.468
60	2.468	2.512	2.556	2.600	2.643	2.687	2.732	2.776	2.820	2.864	2.909
70	2.909	2.953	2.998	3.043	3.087	3.132	3.177	3.222	3.267	3.312	3.358
80	3.358	3.403	3.448	3.494	3.539	3.585	3.631	3.677	3.722	3.768	3.814
90	3.814	3.860	3.907	3.953	3.999	4.046	4.092	4.138	4.185	4.232	4.279
100	4.279	4.325	4.372	4.419	4.466	4.513	4.561	4.608	4.655	4.702	4.750
110	4.750	4.798	4.845	4.893	4.941	4.988	5.036	5.084	5.132	5.180	5.228

Voltage difference of the hot and cold junctions: $V_D = 4.472 \text{ mV}$

What is the temperature of the hot junction if the cold junction is at $-5 \text{ }^\circ\text{C}$?

ITS-90 Table for Type T thermocouple											
$^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric voltage in mV											
-10	-0.383	-0.345	-0.307	-0.269	-0.231	-0.193	-0.154	-0.116	-0.077	-0.039	0.000
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391
0	0.000	0.039	0.078	0.117	0.156	0.195	0.234	0.273	0.312	0.352	0.391
10	0.391	0.431	0.470	0.510	0.549	0.589	0.629	0.669	0.709	0.749	0.790
20	0.790	0.830	0.870	0.911	0.951	0.992	1.033	1.074	1.114	1.155	1.196
30	1.196	1.238	1.279	1.320	1.362	1.403	1.445	1.486	1.528	1.570	1.612
40	1.612	1.654	1.696	1.738	1.780	1.823	1.865	1.908	1.950	1.993	2.036
50	2.036	2.079	2.122	2.165	2.208	2.251	2.294	2.338	2.381	2.425	2.468
60	2.468	2.512	2.556	2.600	2.643	2.687	2.732	2.776	2.820	2.864	2.909
70	2.909	2.953	2.998	3.043	3.087	3.132	3.177	3.222	3.267	3.312	3.358
80	3.358	3.403	3.448	3.494	3.539	3.585	3.631	3.677	3.722	3.768	3.814
90	3.814	3.860	3.907	3.953	3.999	4.046	4.092	4.138	4.185	4.232	4.279
100	4.279	4.325	4.372	4.419	4.466	4.513	4.561	4.608	4.655	4.702	4.750
110	4.750	4.798	4.845	4.893	4.941	4.988	5.036	5.084	5.132	5.180	5.228

At $-5 \text{ }^\circ\text{C}$, the cold junction voltage is -0.193 mV

The hot junction voltage is therefore $4.472 \text{ mV} - 0.193 \text{ mV} = 4.279 \text{ mV}$

The temperature at the hot junction is therefore $100 \text{ }^\circ\text{C}$

Example #2 – Type “T” Thermocouple

$$V_D = 2.687 \text{ mV}$$

$$T_{ref} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

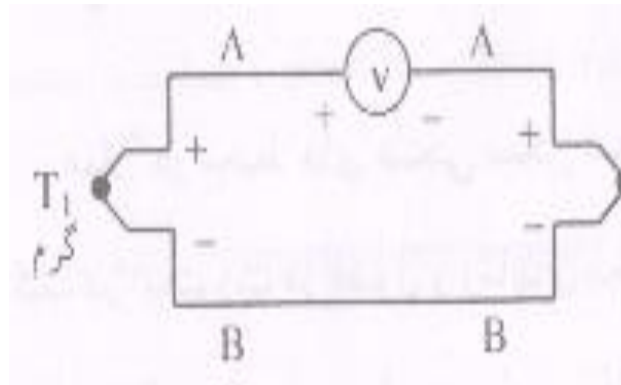
$$T_{ref} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \gg V_{25^{\circ}\text{C}} = 0.992 \text{ mV}$$

$$V_J = (2.687 + 0.992) \text{ mV} = 3.679$$

$$T = 87 + \frac{87 - 88}{3.677 - 3.722} (V - 3.677) \gg T_J = 87.044 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

حرارت سنج های ترموکوپلی

- ساده ترین طرح یک اندازه گیر دما توسط ترموکوپل به صورت زیر است

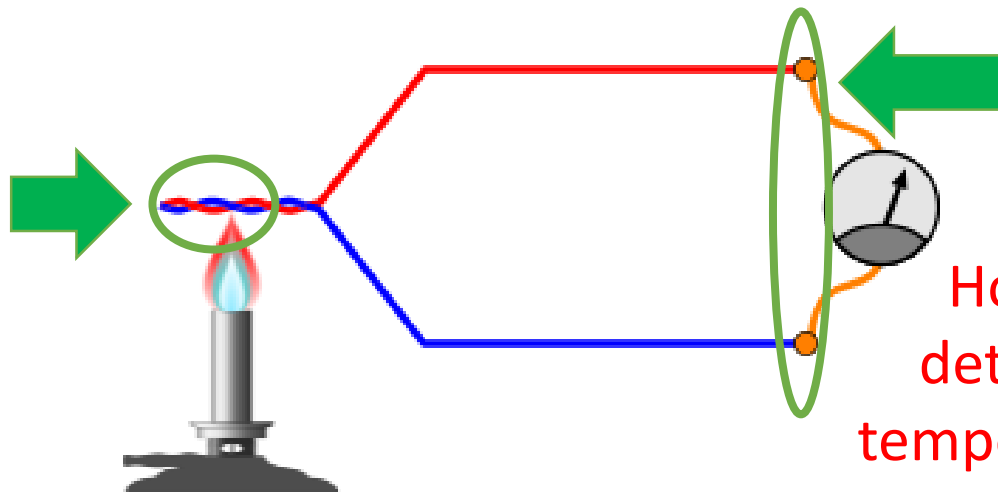


ولی این طرح به دلیل احتیاج به دمای مرجع مناسب نمی باشد

Measuring Temperature

- To measure temperature using a thermocouple, you can't just connect the thermocouple to a measurement system (e.g. voltmeter)
- The voltage measured by your system is proportional to the temperature difference between the primary junction (hot junction) and the junction where the voltage is being measured (Ref junction)

To determine the absolute temperature at the hot junction...



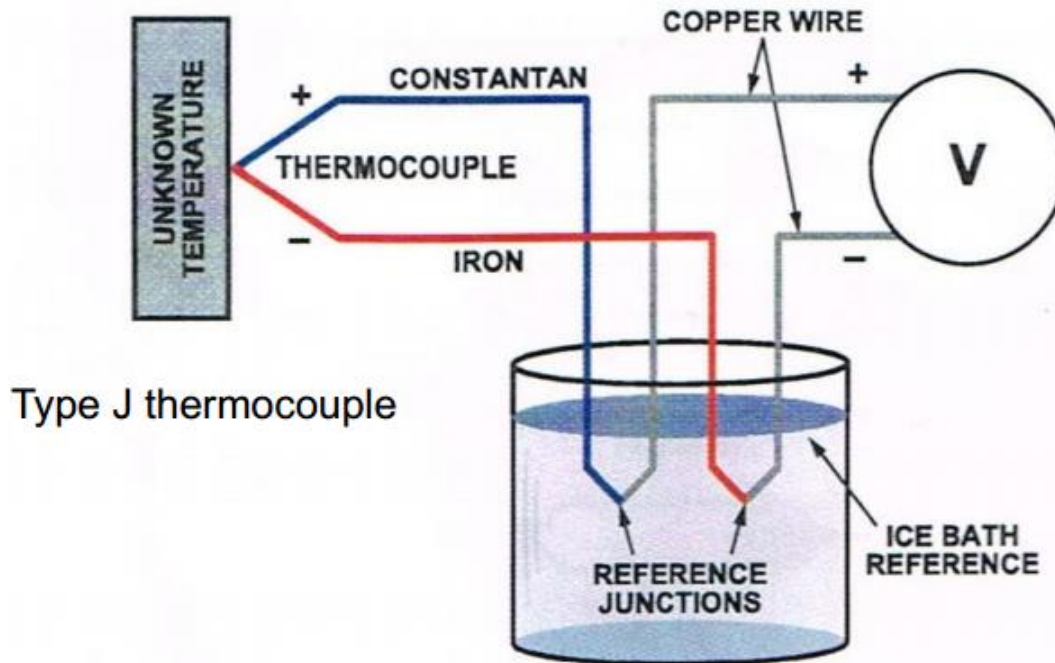
You need to know the temperature at the Ref junction!

How can we determine the temperature at the reference junction?

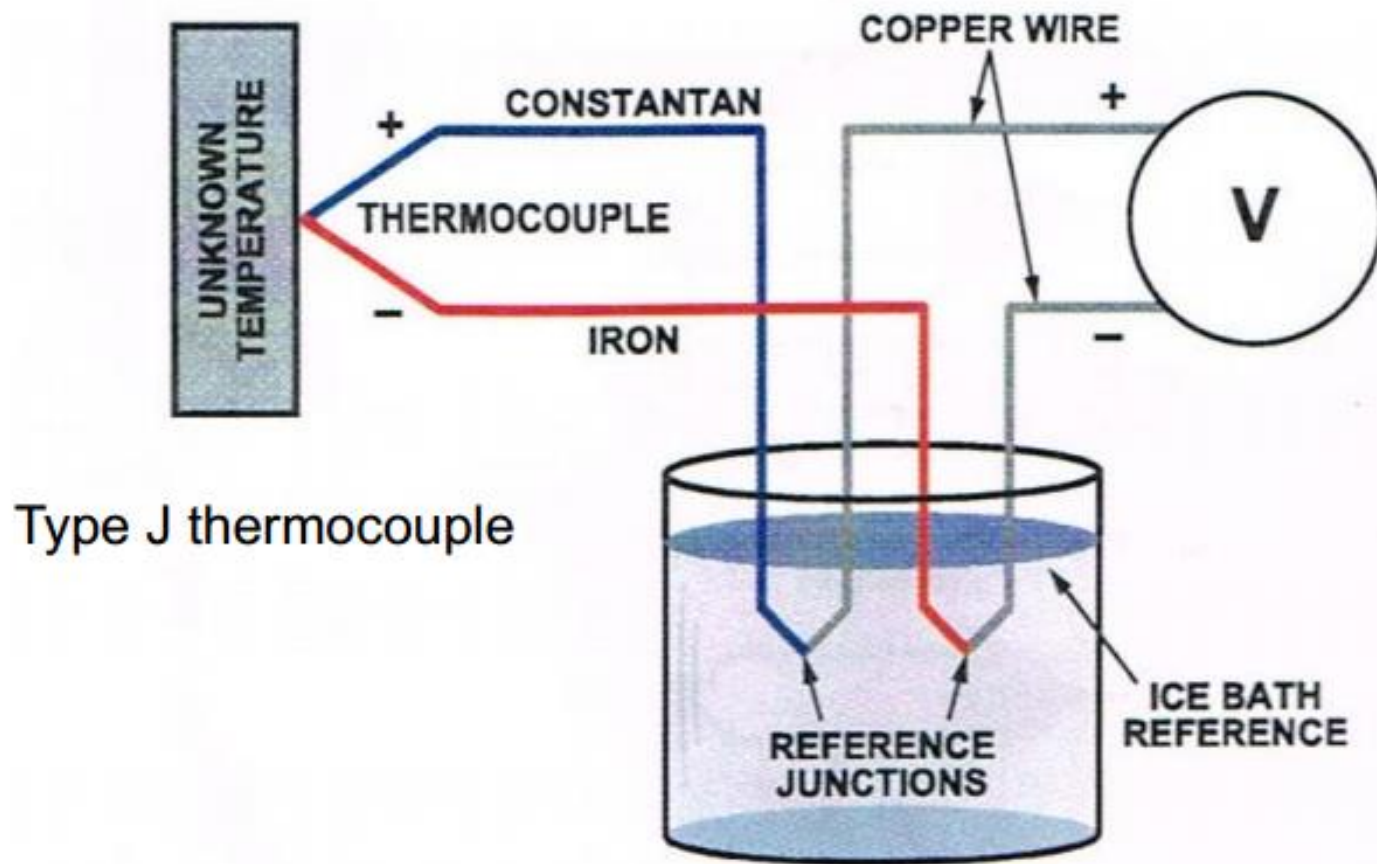
Ice Bath Method (Forcing a Temperature)

- Thermocouples measure the voltage difference between two points
- To know the absolute temperature at the hot junction, one must know the temperature at the Ref junction

جبران پیوند مرجع



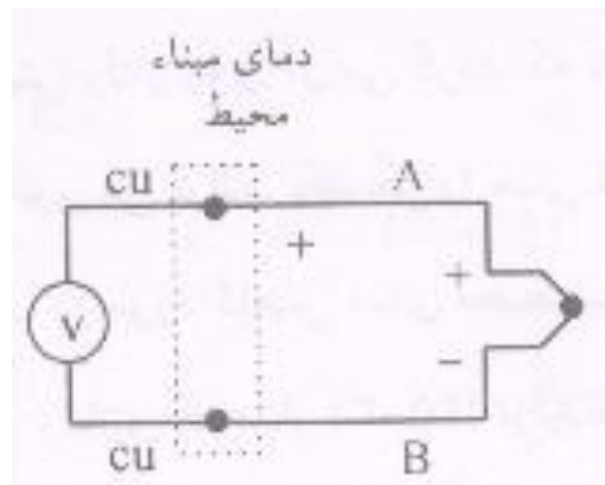
Is This Really Practical For a Rocket?



What is another method of determining the temperature at the reference junction?

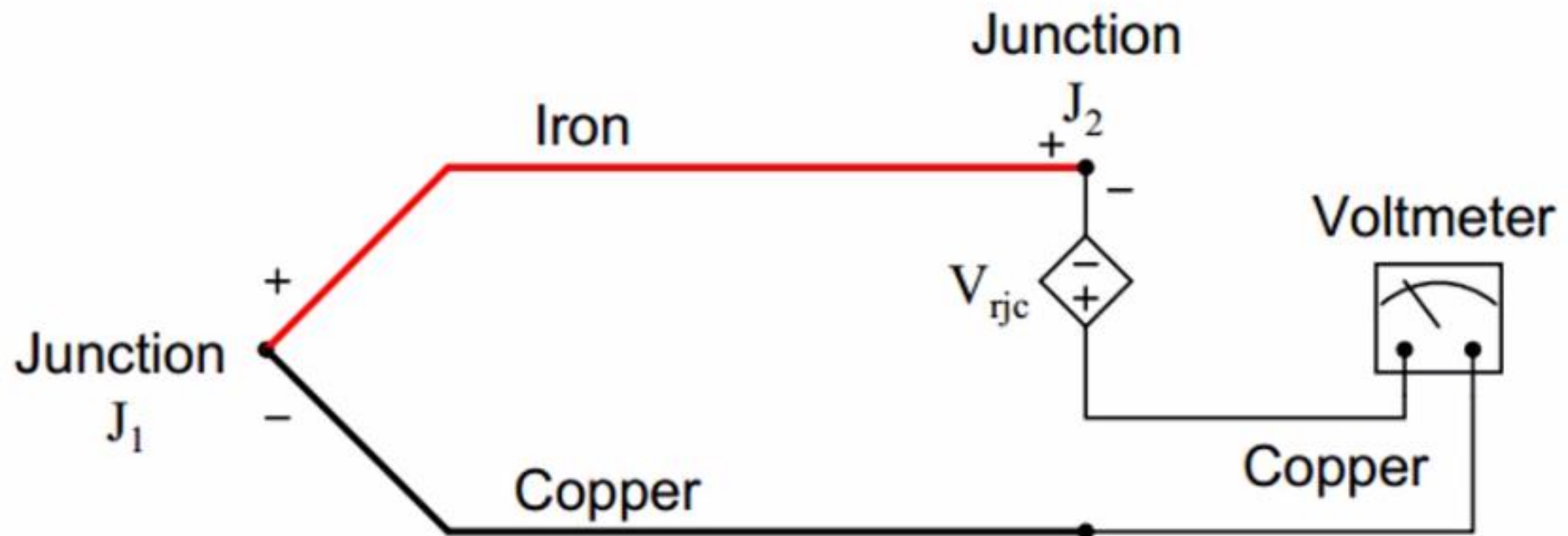
حرارت سنج های ترموکوپلی

- طرح عملی تری که میتواند ما را کمک کند به صورت زیر است



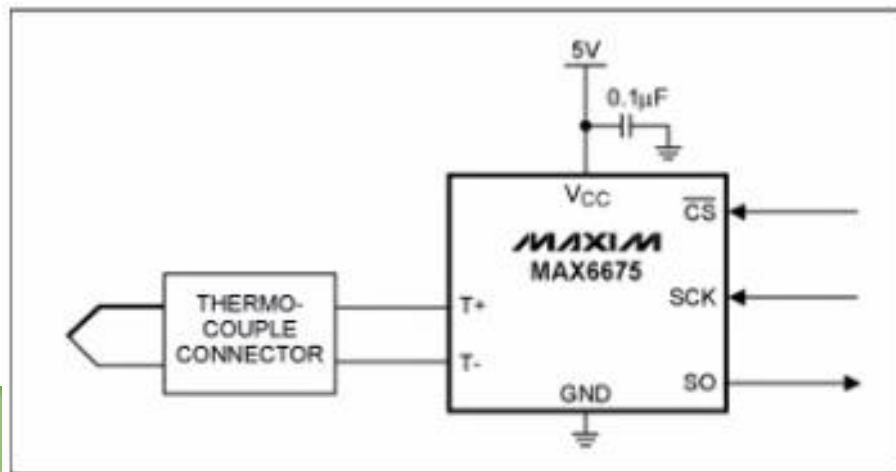
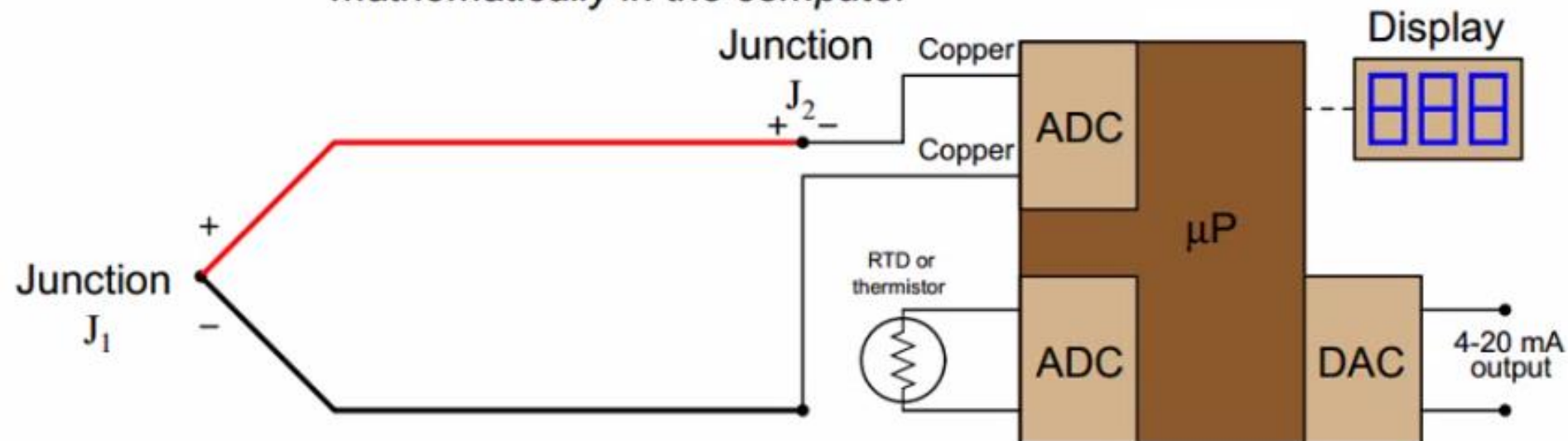
- ❖ در این طرح دو سیم **A , B** در کنار هم و به موازات یکدیگر قرار می گیرند ، و تا زمانی که با هم دما باشند هیچ سیگنال خطایی به وجود نمی آید
- ❖ عیب عمده این روش نیز این است که به دلیل عدم وجود دمای مبنا در این نوع اتصال ، در صورت تغییر دمای محیط ، خروجی با خطا توام می شود

*Compensating for the effects of J_2
using a “reference junction compensation”
circuit to generate a counter-voltage*



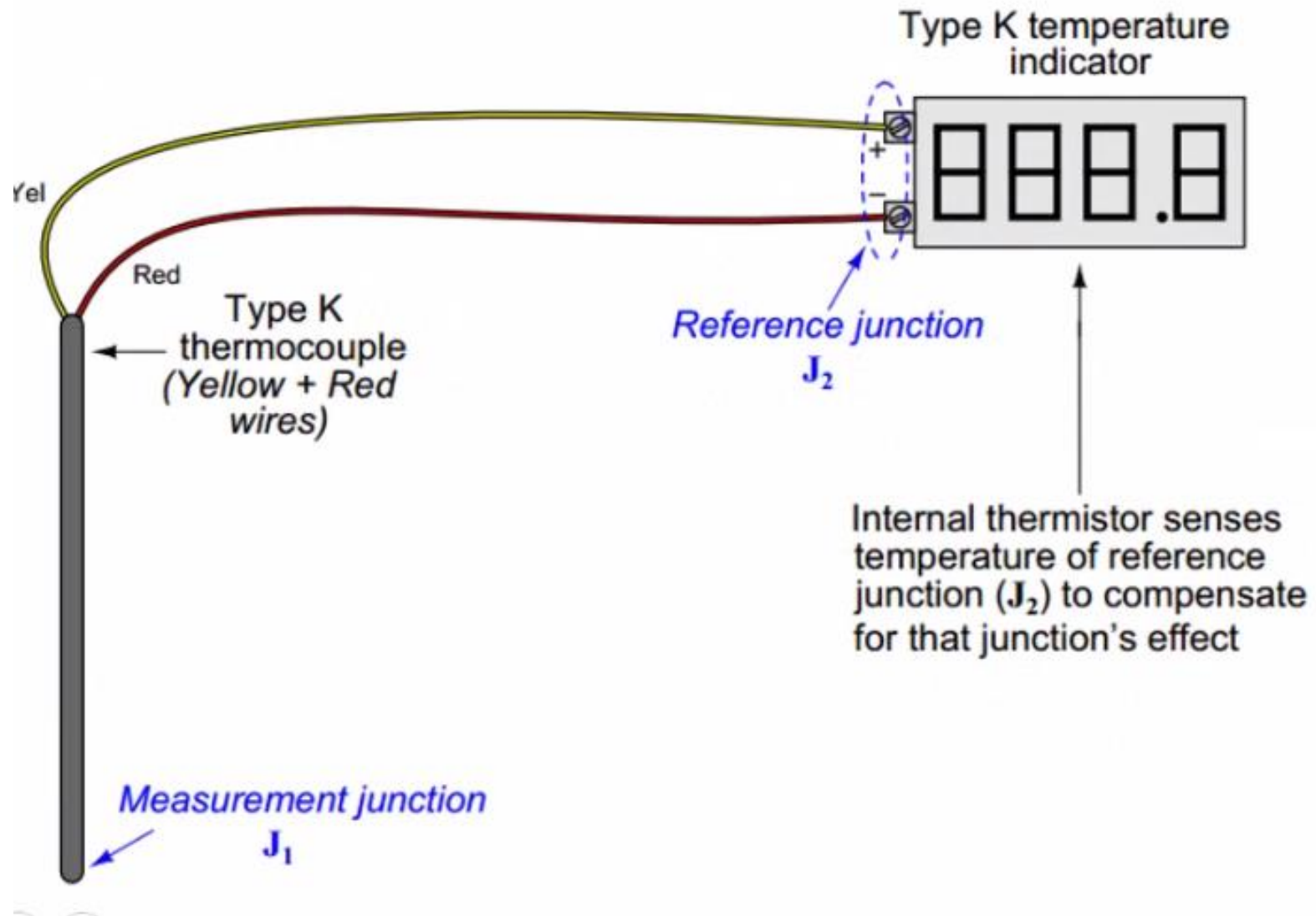
جبران ساز پیوند مرجع

Compensating for the effects of J_2 using a second input channel to sense ambient temperature and correcting mathematically in the computer

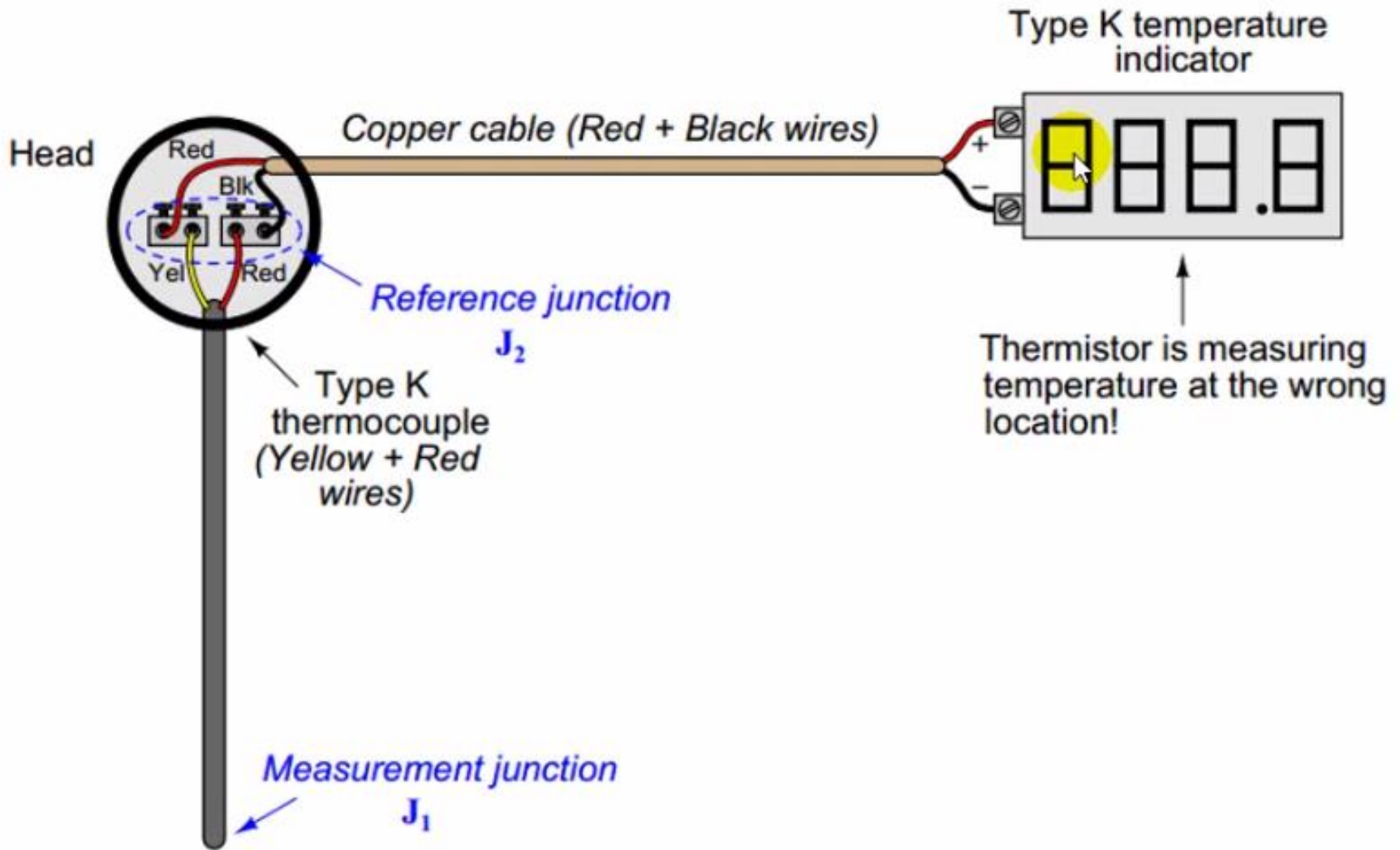


ابزار اندازه گیری و سیستم های

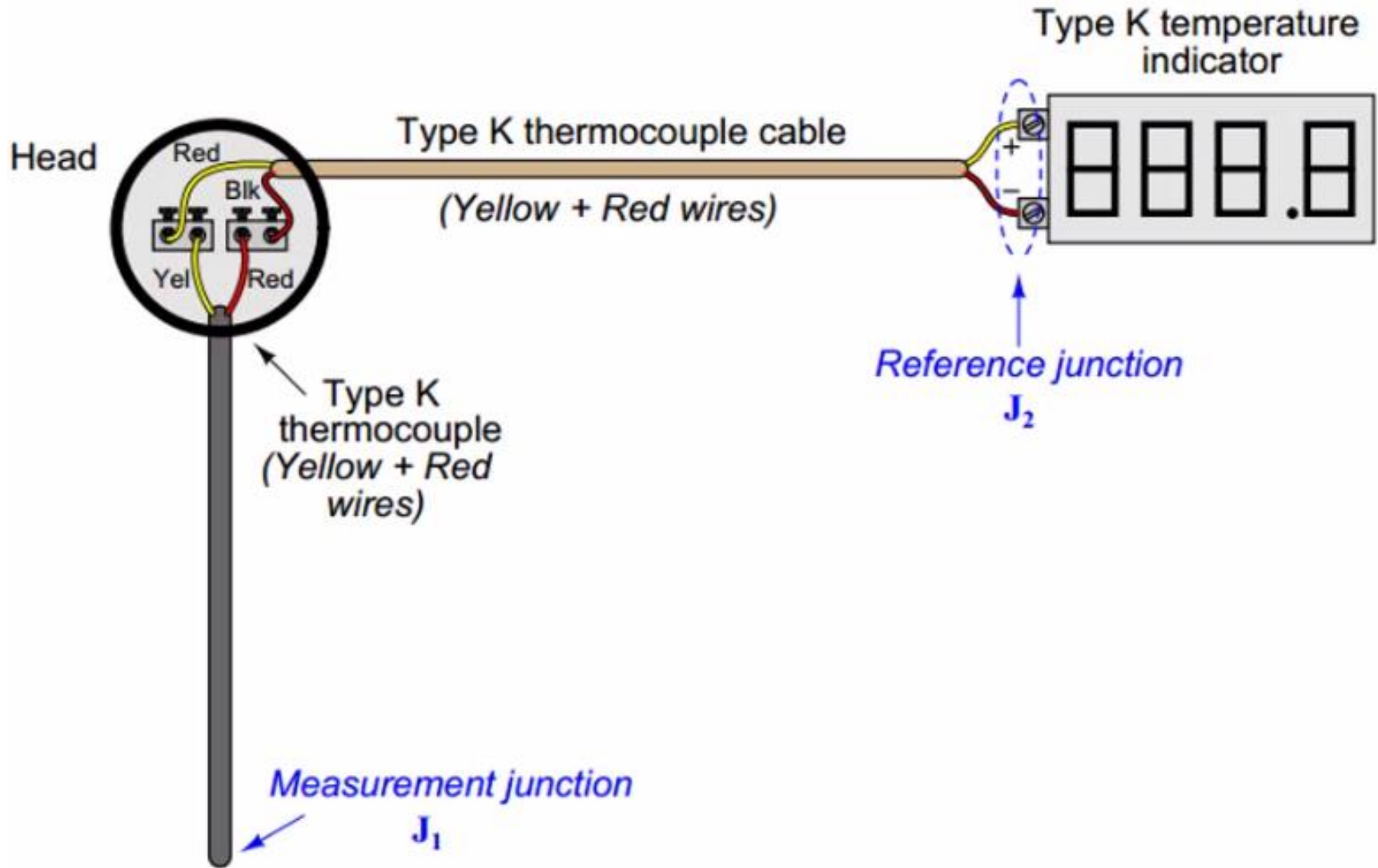
کابل توسعه



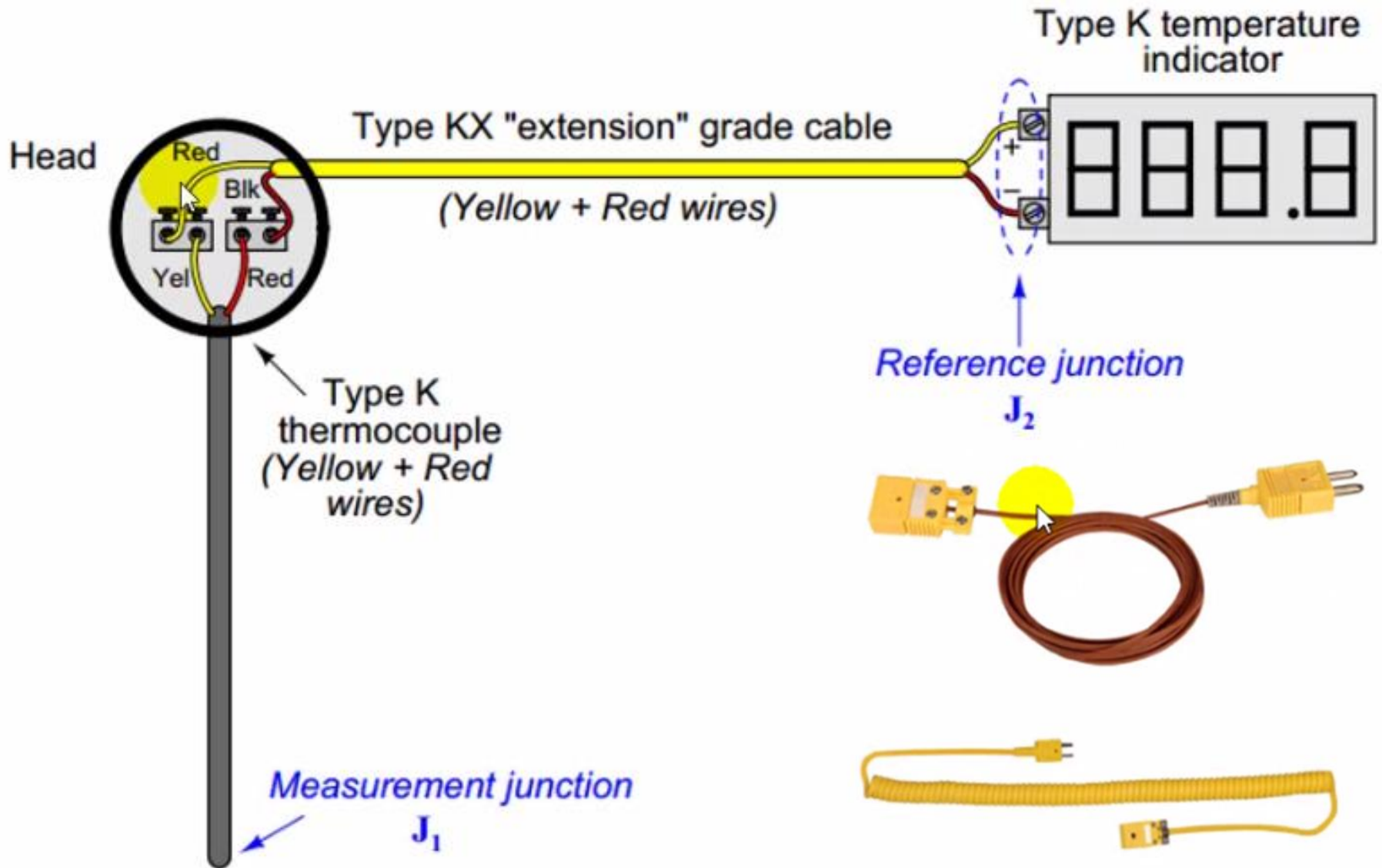
کابل توسعه



کابل توسعه



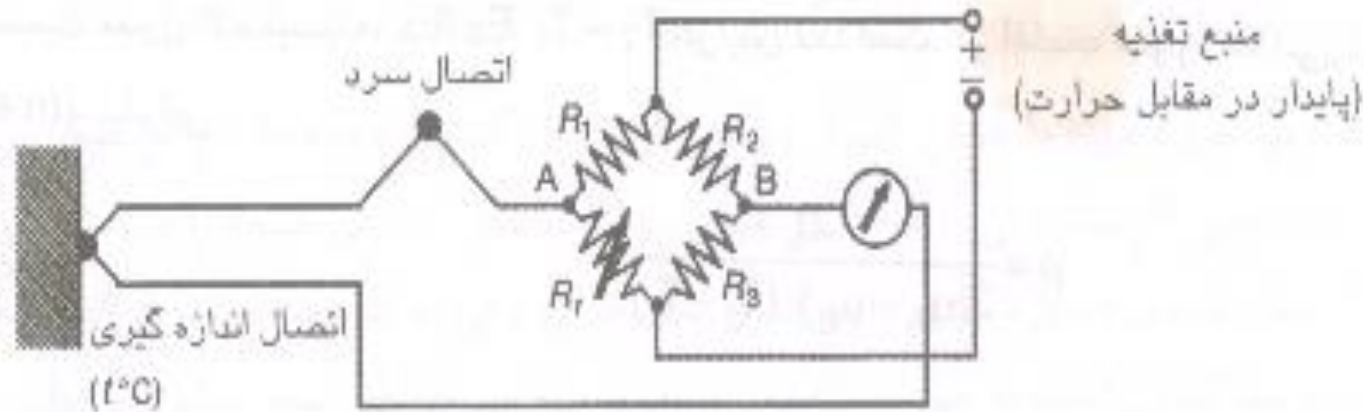
کابل توسعه



حرارت سنج های ترموکوپلی

- در محیط های صنعتی عملاً دمای محیط از ۱۵ درجه در زمستان تا ۳۰ درجه در تابستان تغییر می کند و همچنین نگهداشتن اتصالات سرد ترموکوپل در دمای مرجع کنترل شده عملاً غیر ممکن است. این ضعف را توسط روش جبران سازی اتصال سرد بر طرف می کنیم.

❖ این مدار و کلیه تجهیزات آن ابتدا در دمای صفر درجه کالبره میشود و پل متعادل می شود هنگامی که دمای محیط تغییر کند ، یک ولتاژ عدم تعادل در دو سر **A** , **B** به وجود می آید ، متناسب با این ولتاژ مقاومت ترمیستور که در یک بازوی پل قرار گرفته است نیز تغییر میکند که این امر باعث حذف تغییرات دمای محیط می شود و همیشه دما بر مبنای صفر درجه سنجیده می شود .

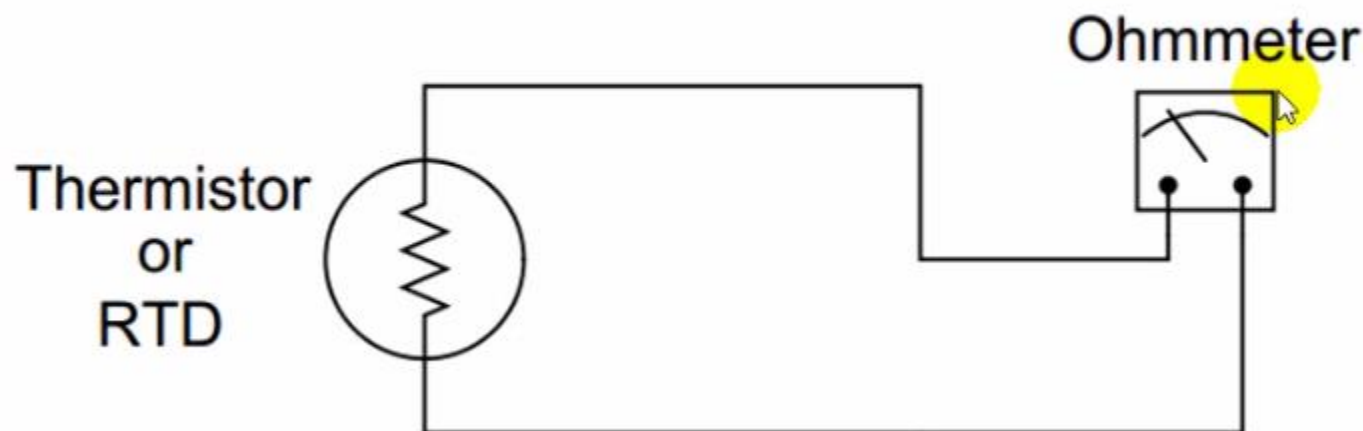


Thermowell

- ❖ برای حفاظت فیزیکی ترموکوپل و همچنین جلوگیری از خوردگی و آلودگی که منجر به اختلال در کار آن می شود غالباً دو سیم آن را داخل لوله و یا روکشی از جنس فولاد زنگ نزن و یا مس که قابل انعطاف است قرار می دهند
- ❖ البته این کار باعث افزایش ثابت زمانی سیستم می شود
- ❖ این غلاف همچنین امکان نصب ترموکوپل را در محل مورد نظر فراهم می آورد
- ❖ محل و چگونگی نصب ترموکوپل اهمیت فراوانی دارد زیرا که نقاط نزدیک به هم در یک پروسه ممکن است دماهای متفاوتی داشته باشند
- ❖ پس باید ترموکوپل را نوعی نصب نمود که نقطه اندازه گیری منطبق با نقطه اتصال دو فلز در ترموکوپل باشند

Thermistor and RTD

این سنسورها از موادی ساخته شده اند که با تغییر دما مقاومت آنها تغییر می کند.



ترمیستور از اکسید فلزات و RTD از فلزات خالص تولید می شوند.

ترمیستور دارای دو نوع NTC و PTC است اما RTD فقط نوع PTC وجود دارد.

ترمیستور دارای حساسیت خیلی زیاد و غیرخطی است اما RTD حساسیت خیلی کم تقریبا خطی دارد. ✓

حرارت سنج های مقاومتی (Resistance Temperature Detector)

در فلزات، با افزایش دما، مقاومت اهمی فلزات افزایش می یابد. از همین خاصیت تغییرات مقاومت اهمی فلزات بر اثر تغییر دما، برای اندازه گیری حرارت در صنعت استفاده می شود.

در اکثر فلزات شناخته شده، تغییرات مقاومت اهمی نسبت به تغییرات دما، خطی نیست. مثلاً در یک فلز مشخصی، اگر دمای فلز از صفر به 10° درجه سانتی گراد افزایش پیدا کند، مقاومت اهمی آن فلز 5Ω زیاد می شود و اگر دمای همان فلز از 10° درجه سانتی گراد به 20° درجه سانتی گراد افزایش یابد، مقاومت اهمی آن فلز $7/2$ اهم زیاد می شود.

تنها فلزی که تقریباً تغییرات مقاومت اهمی آن نسبت به تغییرات دما، خطی است، فلز پلاتین (Pt) است. هر چند که این فلز بسیار گران بها است – به طور متوسط دو برابر قیمت طلا – اما برای اندازه گیری دما از آن استفاده می کنند.

حرارت سنج های مقاومتی RTD

رابطه بین دما و مقاومت فلزات بصورت زیر می باشد:

$$R=R_0[1+\alpha_1(T-T_0)+\alpha_2(T-T_0)^2+\dots]$$

که در اینجا R مقاومت در دمای T و R_0 مقاومت در دمای مرجع (T_0) است و ضرایب α ثابت های دمایی مقاومت مورد نظر می باشند. برای دماهای پایین رابطه فوق را به صورت زیر ساده می نمایند:

$$R=R_0[1+\alpha(T-T_0)]$$

که α بر حسب $^{\circ}\text{C}^{-1}$ بیان می شود و به عنوان نمونه برای چند فلز به صورت زیر است:

فلز	$\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$
پلاتین	۰/۰۰۳۹
مس	۰/۰۰۴۳
نیکل	۰/۰۰۶۸

چنانچه در اثر تغییر دما از T_1 به T_2 مقدار مقاومت از R_1 به R_2 برسد، خواهیم داشت:

$$R_2-R_1=R_0\alpha(T_2-T_1)$$

مبدل پلاتینی در دماهای $^{\circ}\text{C} -270$ الی $^{\circ}\text{C} 1000$ کار می کند ولی عملاً تا حدود $^{\circ}\text{C} 600$ از آن استفاده می شود. این مبدلها قیمت بالایی دارند.

Thermistor and RTD

$$R_T = R_{ref} [1 + \alpha(T - T_{ref})]$$

R_T = Resistance of RTD at given temperature T (ohms)

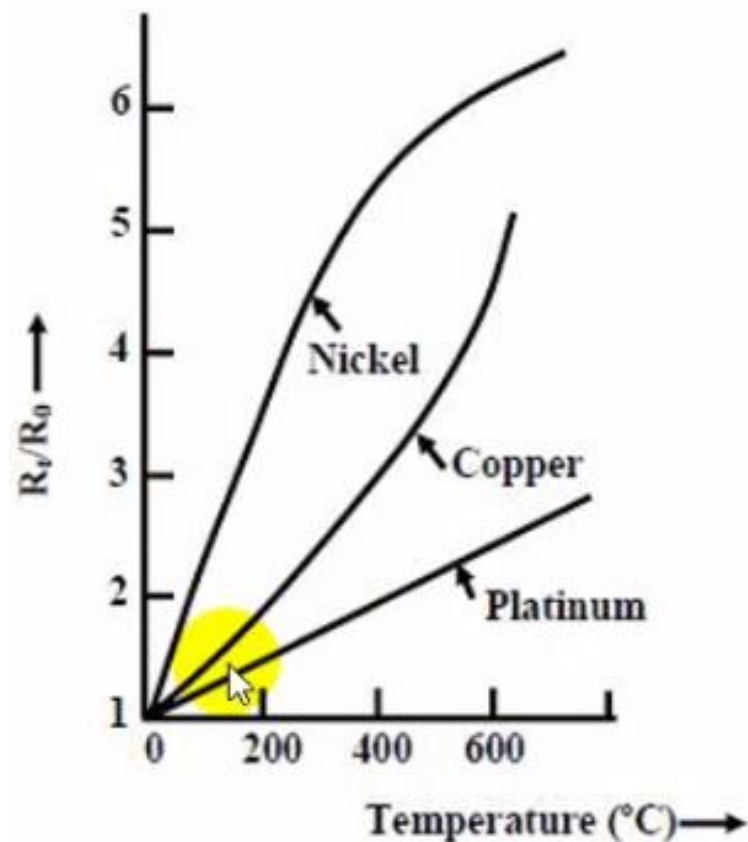
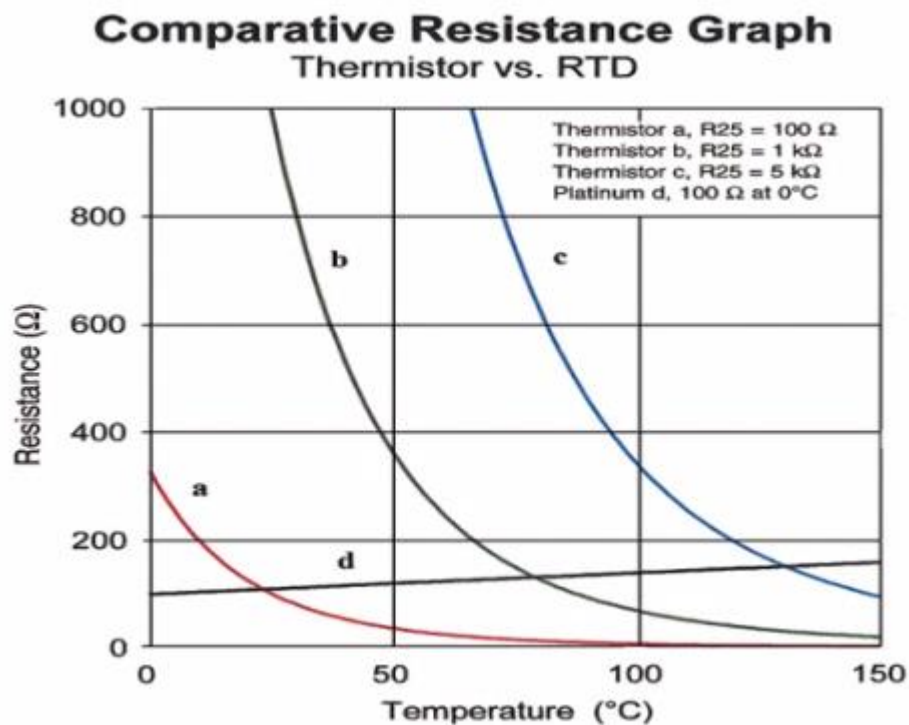
R_{ref} = Resistance of RTD at the reference temperature T_{ref} (ohms)

α = Temperature coefficient of resistance (ohms per ohm/degree)

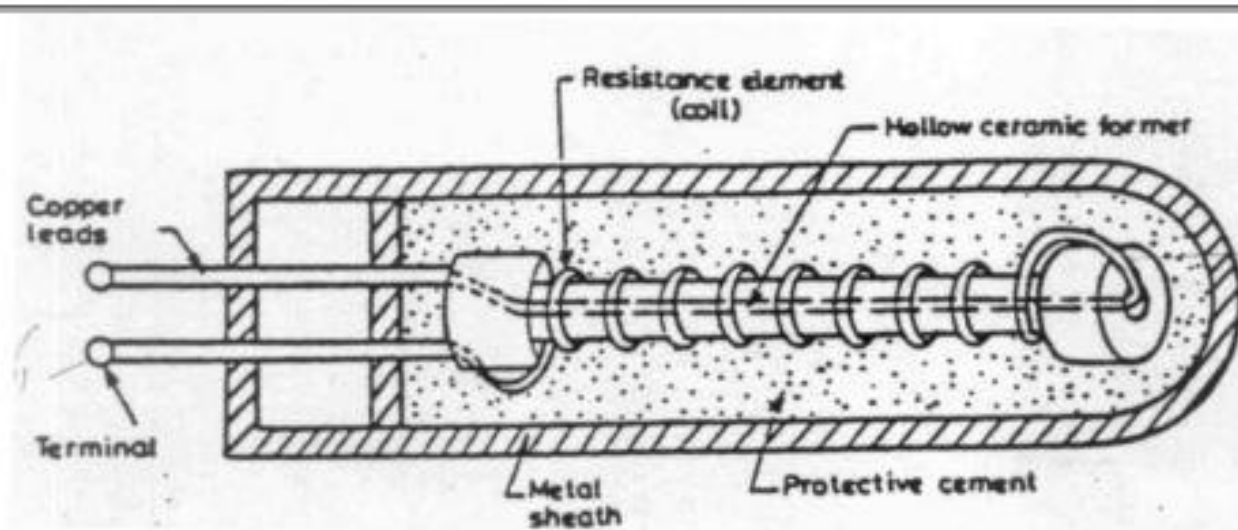
Example:

$$R_T = 100 \, \Omega [1 + (0.00392)(35^\circ \text{ C} - 0^\circ \text{ C})] = 100 \, \Omega [1 + 0.1372]$$

$$R_T = 113.72 \, \Omega$$

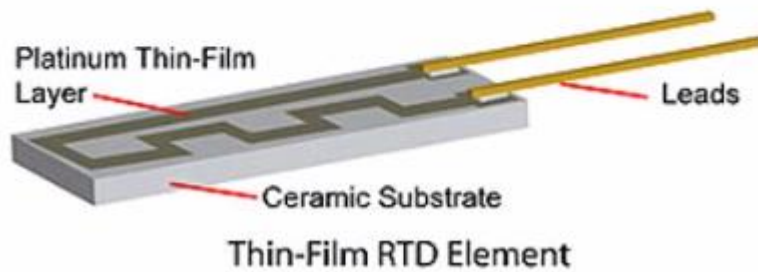
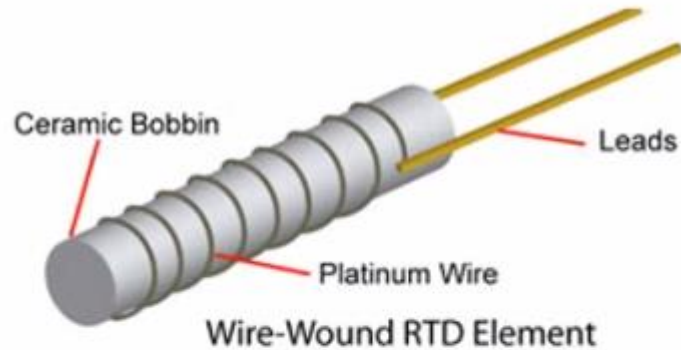
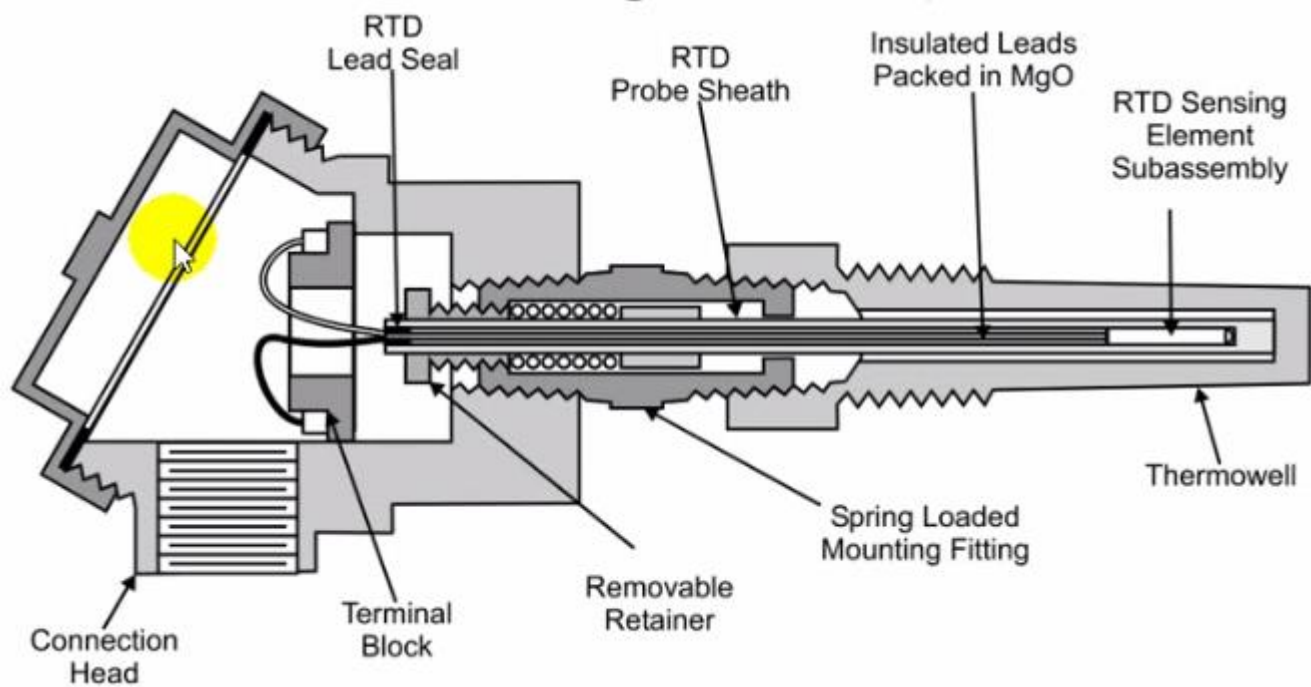


حرارت سنج های مقاومتی (Resistance Temperature Detector)

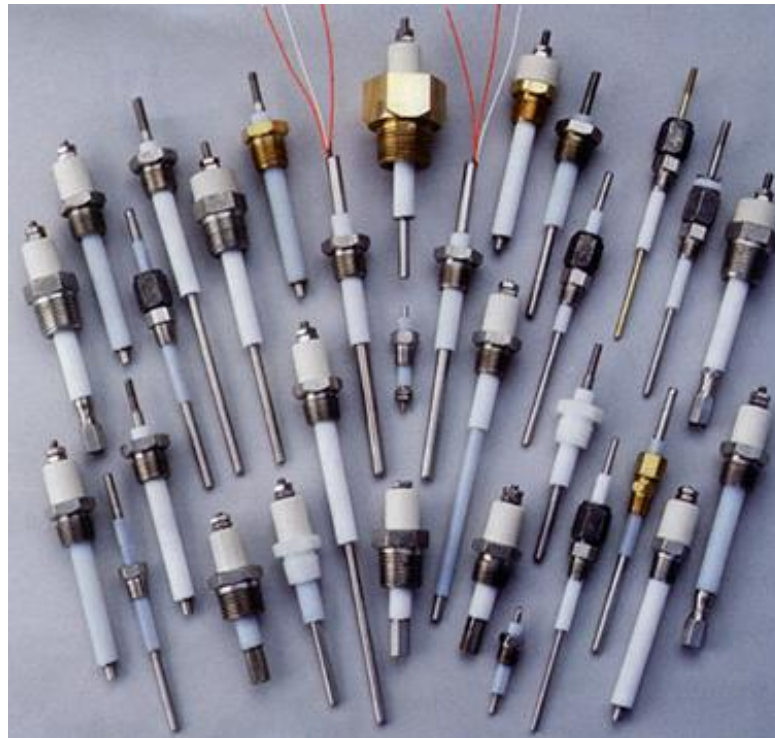


یک نمونه حسگر مقاومت فلزی (RTD)

در این نمونه سیم پلاتین بدور یک لوله سرامیک عایق پیچیده شده و دو سر آن به اتصالات مسی جوش داده شده اند. این دو اتصال به عنوان دو سر مقاومت مجهول به پل وتستون متصل می شوند (برای تبدیل تغییرات مقاومت به تغییرات ولتاژ)



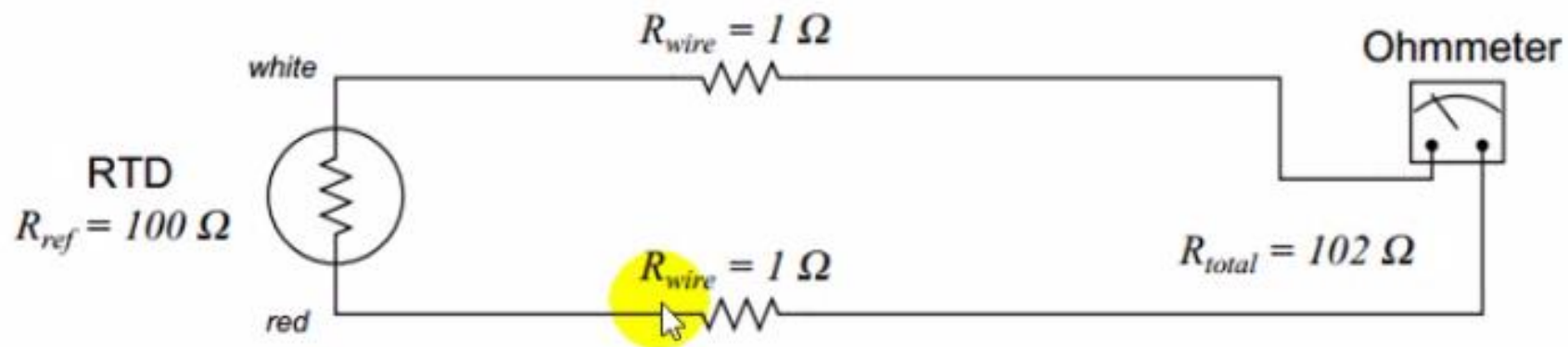
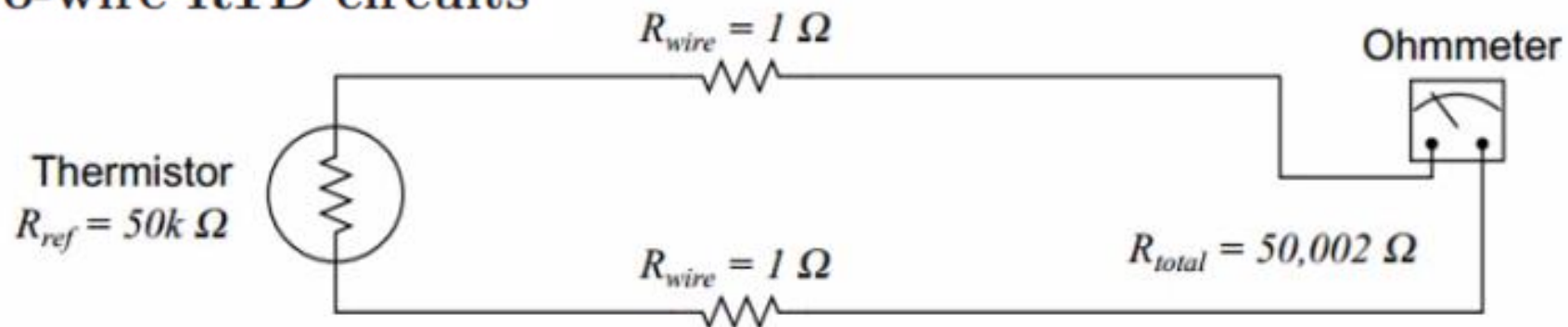
حرارت سنج های مقاومتی



چند نمونه از حرارت سنج های مقاومتی فلزی

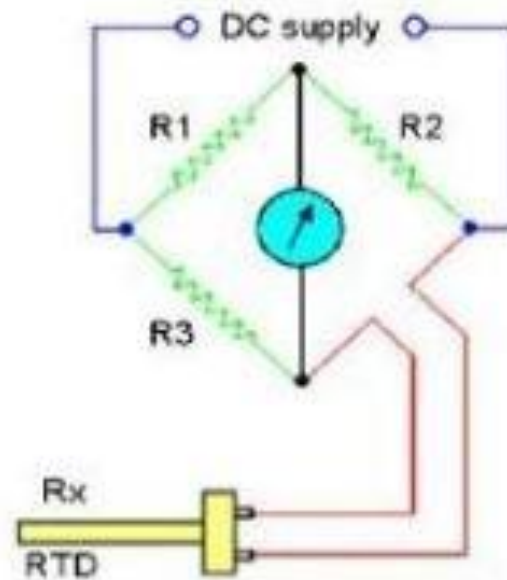
❑ مقاومت RTD نسبت به ترمیستورها خیلی پایین است.

Two-wire RTD circuits



حرارت سنج های مقاومتی

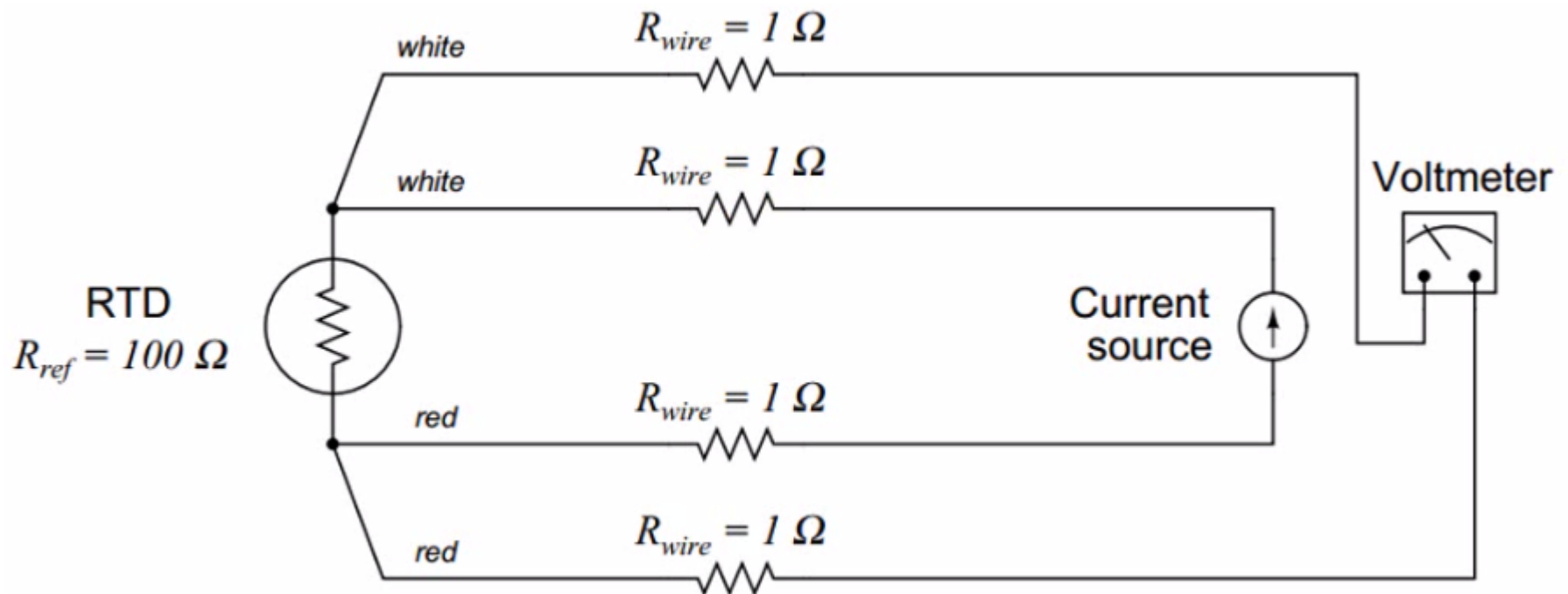
دما سنج های از نوع RTD معمولاً از جنس پلاتین، مس و نیکل ساخته می شوند. تغییرات مقاومت این فلزها با دما خطی است. پاسخ RTD به دما نسبت به ترموکوپل سریعتر می باشد. شکل زیر یک RTD از نوع دوسیمه را نشان می دهد:



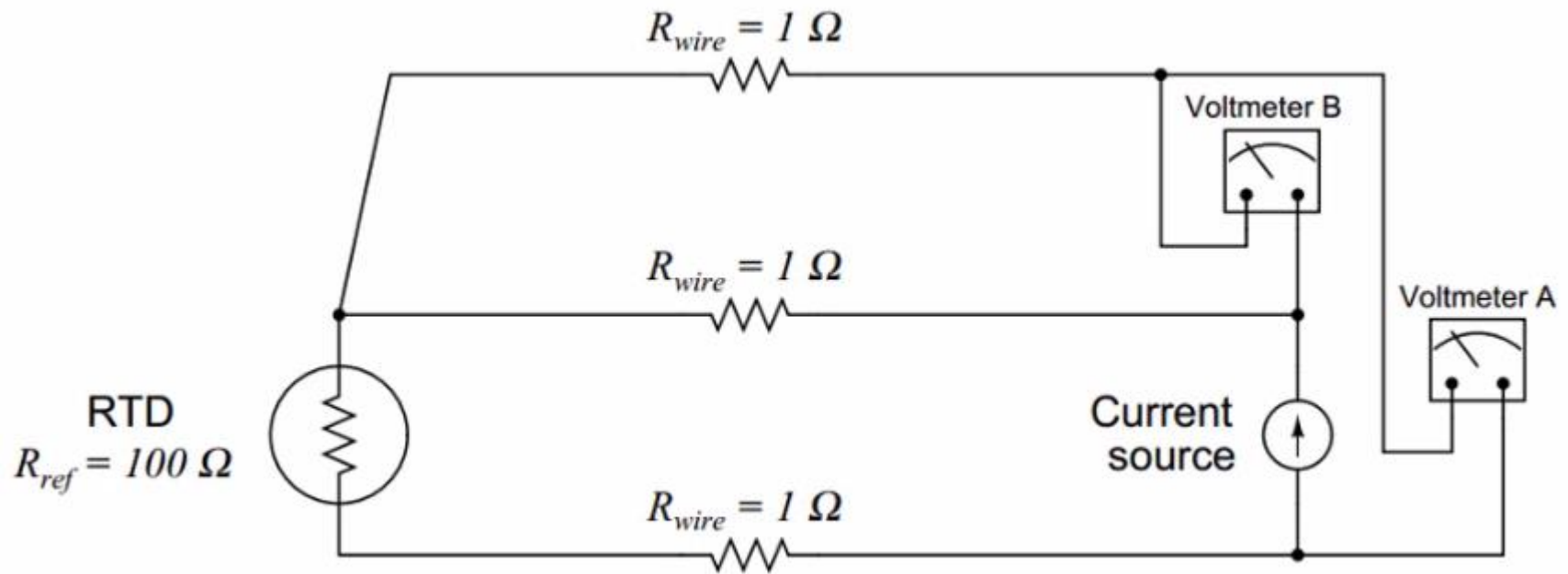
شکل ۳-۴ دما سنج RTD دوسیمه

□ توسط پل وتستون نیز می توان تغییرات مقاومت را به ولتاژ تبدیل کرد.

Four-wire RTD circuits



Three-wire RTD circuits



حرارت سنج های مقاومتی RTD

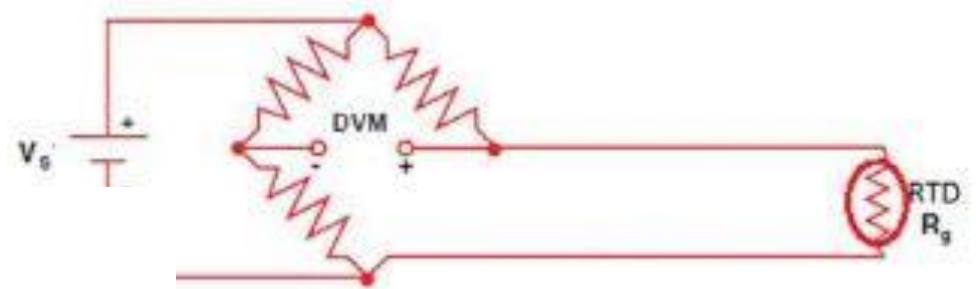


Fig.3. Two wires RTD Bridge

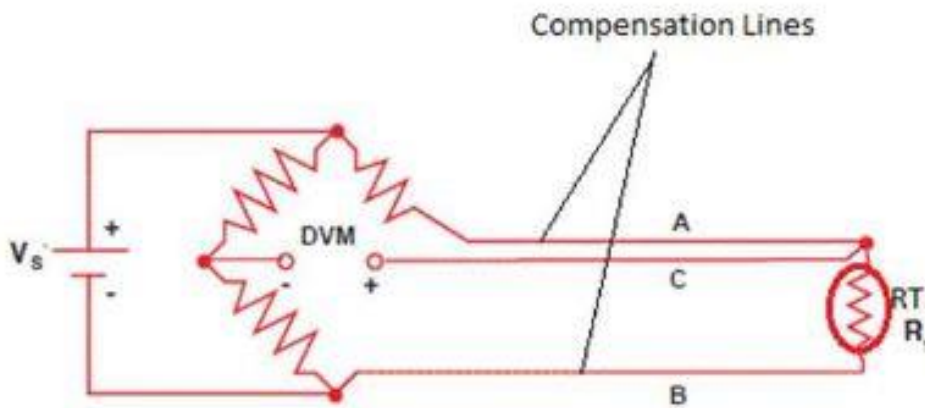
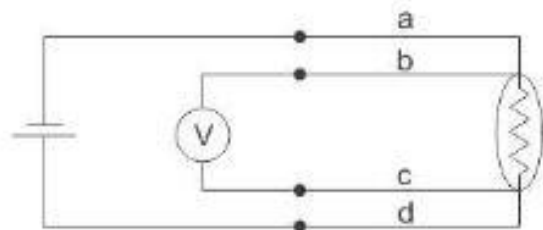


Fig.4. Three wires RTD Bridge



Four wires RTD Bridge



حرارت سنج های مقاومتی RTD

Pt100 -

Pt100 یک مقاومت اهمی از جنس پلاتین است که در صفر درجه سانتی گراد مقاومت اهمی آن 100Ω است. به کمک Pt100 می توان دمای -200 درجه سانتی گراد تا 850 درجه سانتی گراد را اندازه گرفت.

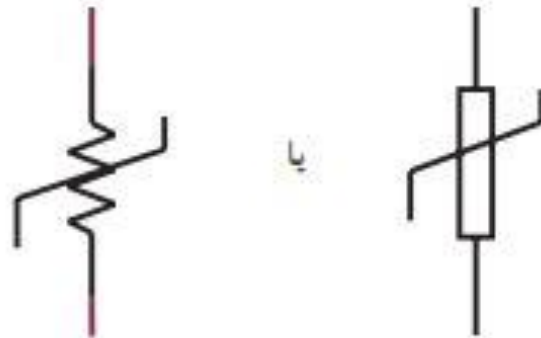
Pt100 معمولاً همراه با یک ترانس مبدل استفاده قرار می گیرد. به کمک ترانس مبدل می توان رنج دمای مورد نظر اندازه گیری را تبدیل به جریان استاندارد $4mA$ تا $20mA$ کرد و سپس با وسایل اندازه گیری ساده آن را اندازه گرفت و یا کنترل کرد. شکل ۱-۳۳ یک نمونه Pt100 را نشان می دهد.



شکل ۱-۳۳ - شکل ظاهری یک Pt100

Pt100 را با سمبل شکل ۱-۳۴ در نقشه‌های الکتریکی

نشان می‌دهند.



نماد ۱-۳۴ سمبل Pt100

Pt100 را به صورت دو سیمه، سه سیمه و چهار سیمه

می‌سازند که نوع سه سیمه آن از بقیه رایج‌تر است.

از Pt100 در صنعت برای اندازه‌گیری دمای سیالات با

دمای کمتر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به فراوانی استفاده می‌کنند

ضمن این که می‌توان از Pt100 برای اندازه‌گیری دمای محیط،

دمای سیلوهای حبوبات و ... نیز استفاده کرد. دقت اندازه‌گیری

دما با Pt100 بسیار بالاست.

<i>Comparison of RTD Types</i>				
Evaluation criteria	Platinum RTD 100Ω wire wound and thin film	Platinum RTD 1000Ω thin film	Nickel RTD 1000Ω wire wound	Balco RTD 2000Ω wire wound
Cost –OEM quantity	High	Low	Medium	Medium
Temperature range	Wide -400 to 1200°F (-240 to 649°C)	Wide -320 to 1000°F (-196 to 538°C)	Medium -350 to 600°F (-212 to 316°C)	Short -100 to 400°F (-73 to 204°C)
Interchangeability	Excellent	Excellent	Fair	Fair
Long term stability	Good	Good	Fair	Fair
Accuracy	High	High	Medium	Low
Repeatability	Excellent	Excellent	Good	Fair
Sensitivity (output)	Medium	High	High	Very high
Response	Medium	Medium to fast	Medium	Medium
Linearity	Good	Good	Fair	Fair
Self-heating	Very low to low	Medium	Medium	Medium
Point (end) sensitivity	Fair	Good	Poor	Poor
Lead effect	Medium	Low	Low	Low
Physical size / packaging	Small to medium	Small to large	Large	Large

مقایسه ترموکوپل ها و RTd

Temperature Sensor Selection Guide		
	RTD	Thermocouple
Temperature Range	-200°C to 850°C -328°F to 1562°F	-190°C to 1821°C -310°F to 3308°F
Accuracy	$\pm 0.001^{\circ}\text{F}$ to 0.1°F	$\pm 1^{\circ}\text{F}$ to 10°F
Response Time	Moderate	Fast
Stability	Stable over long periods <0.1% error/5 yr.	Not as stable 1°F error/yr.
Linearity	Best	Moderate
Sensitivity	High sensitivity	Low sensitivity

مقایسه ترموکوپل ها و pt100

جدول ۹: مقایسه ویژگیهای نسبی ترموکوپل ها و دماسنج مقاومت پلاتینیومی .

ترموکوپل	مقاومت پلاتینیومی
دقت ۰/۵ تا ۵ درجه سلسیوس	دقت ۰/۱ تا ۱ درجه سلسیوس
محدوده ۲۰۰- تا ۱۷۵۰+ درجه سلسیوس	محدوده ۲۰۰- تا ۶۵۰+ درجه سلسیوس
ضریب قیمت ۱	ضریب قیمت ۲/۵
حساس در نوک	حساس در طول بدنه
پاسخ ۵۰ میلی ثانیه تا ۵ ثانیه	پاسخ ۱ تا ۵۰ ثانیه
می تواند بسیار کوچک باشد	اندازه بزرگ

مقایسه ترموکوپل ها و pt100

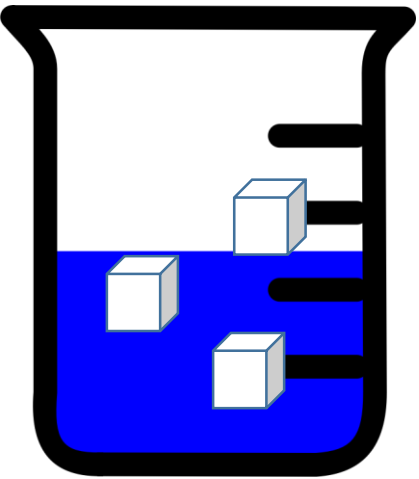
-	به مرجع صفر نیاز است
-	برای دمای سطح قابل استفاده است
تحت تاثیر لرزش قرار می گیرد	مقاوم در برابر لرزش
به منبع تغذیه نیاز دارد	به منبع تغذیه نیاز نیست
جریان باید محدود شود	بدون اثر گرم شدن
پایداری عالی	تغییرات زیاد
می تواند ضعیف باشد	بسیار مقاوم
از کابل های مسی استفاده می کند	به رابط های خاص نیاز است
خروجی تغییر مقاومت ۰/۴ اهم بر درجه	خروجی ۱۰ تا ۴۰ میکرو ولت بر درجه
سلسیوس	سلسیوس
می تواند پوشانده نشود	نیاز به پوشاندن دارد

Calibration

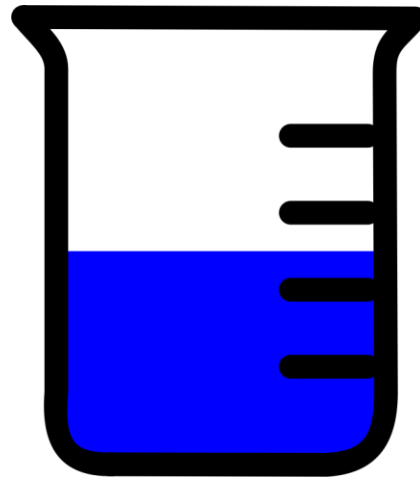
- How could we calibrate a temperature sensor?



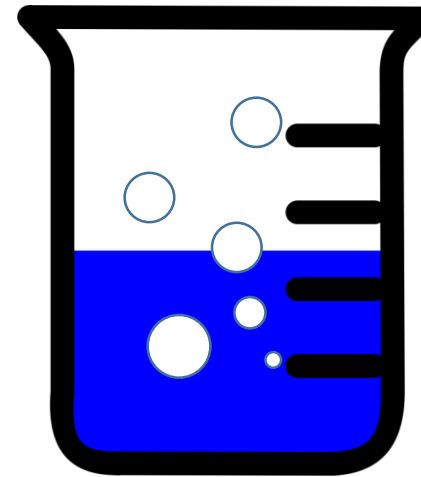
SOURCE: http://www.thermoworks.com/products/calibration/usb_reference.html



0 °C



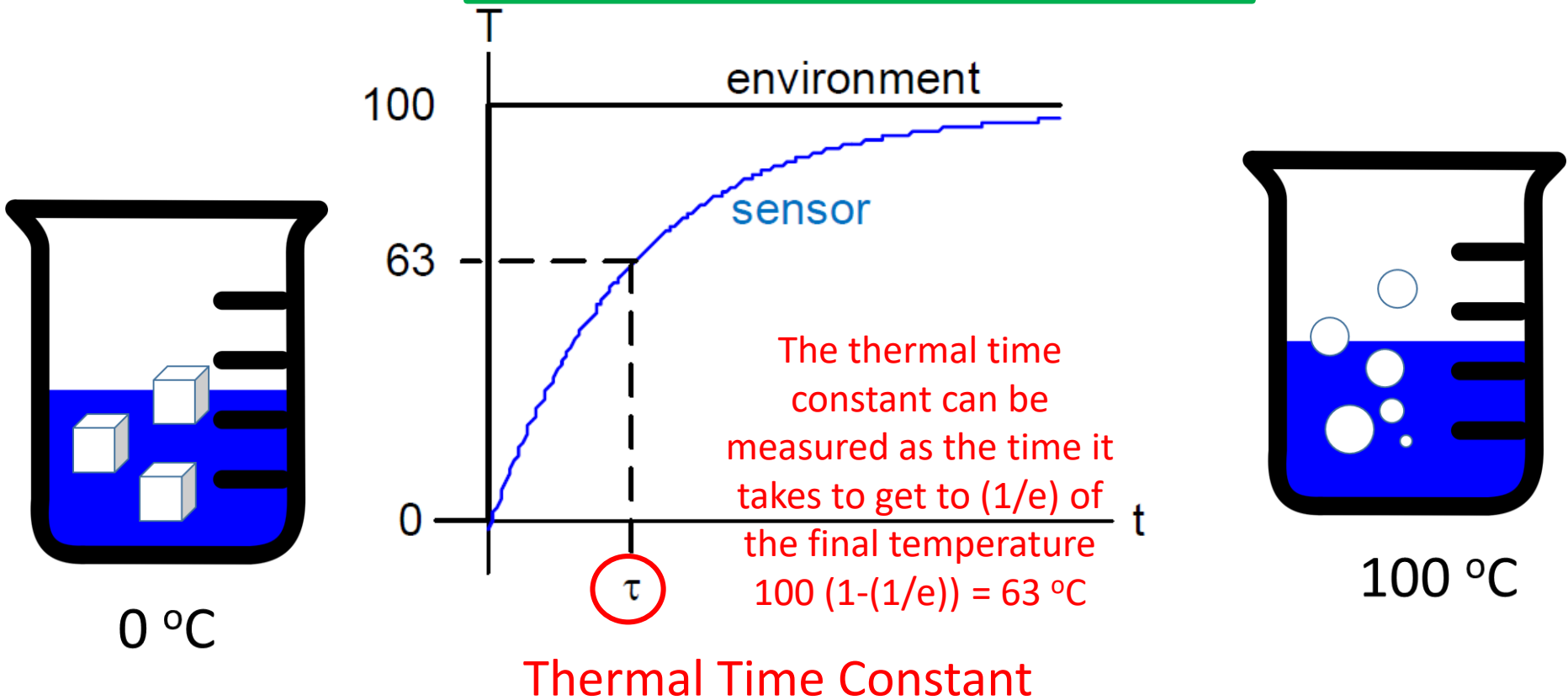
25 °C



100 °C

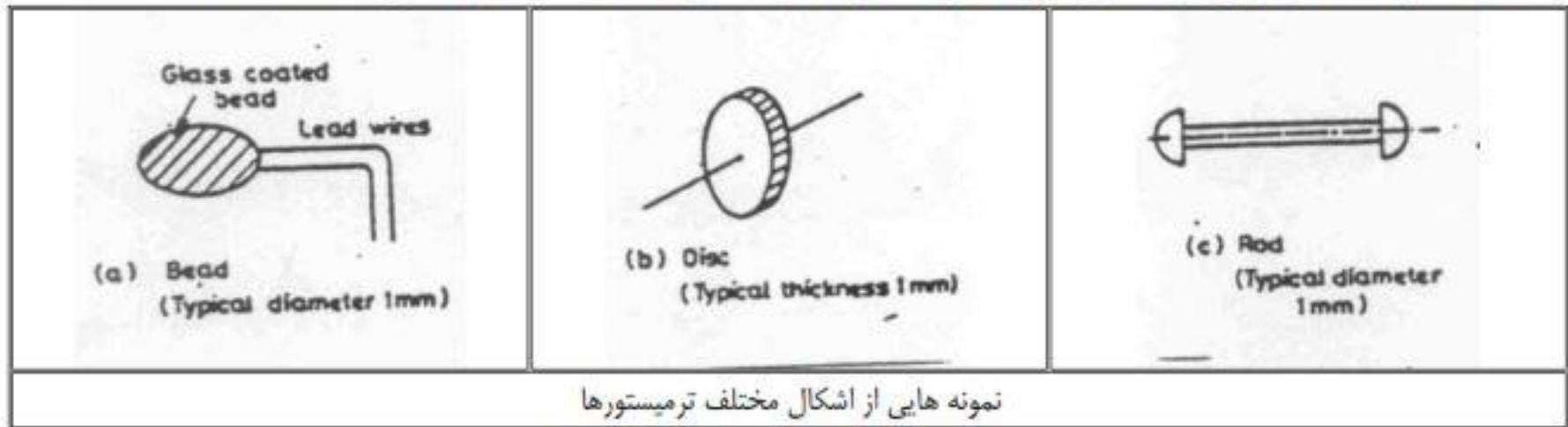
Thermal System Step Response

$$T_{\text{sensor}}(t) = T_2 + [T_1 - T_2] e^{-\frac{t}{\tau}}$$



ترمیستور Thermistor

ترمیستور مقاومتی است حساس به گرما که از مواد نیمه رسانا ساخته می شود. ظاهراً مانند سرامیک است و در شکل ها و ابعاد گوناگون تولید می شود. نمونه هایی از ترمیستورها در شکل زیر نشان داده شده اند.



چنانچه اشاره شد ضریب دمای ترمیستورها بر خلاف فلزات منفی است و حدوداً ده برابر فلزاتی مانند پلاتین و مس می باشد. به عبارت دیگر ترمیستورها در برابر تغییرات دما حساس تر از مبدل‌های RTD می باشند. چرا که به ازای ΔT یکسان، مقاومت ترمیستور ده برابر بیشتر از مقاومت RTD تغییر می کند. چنانچه به دقت کالیبره شده باشند، حساسیت ترمیستورها تا ۰/۰۱ می رسد و برای دماهای از ۱۰۰- تا ۳۰۰° بکار می روند. ترمیستورها علاوه بر اندازه کوچکشان از نظر قیمت نیز بسیار ارزان هستند. مشکل اصلی ترمیستورها پاسخ شدیداً غیرخطی

ترمیستور Thermistor

و اثر خود گرمایی آنهاست. پاسخ ترمیستورها به صورت زیر می باشد:

$$R = R_0 e^{\beta(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$$

مقدار ثابت β از طریق آزمایش تعیین می شود.

مقاومت در دمای مرجع T_0 (بر حسب کلوین) $R_0 =$

مقاومت در دمای T (بر حسب کلوین) $R =$

ثابت ترمیستور که به مواد تشکیل دهنده آن بستگی دارد $\beta =$

برای اجتناب از داغ شدن و ایجاد خطای ترمیستورها، باید از شدت جریان های پایین استفاده کرد.

- جنس ترمیستورها از مواد نیمه هادی مانند اکسیدهای نیکل، کبالت یا منگنز و سولفیدهای آهن، آلومینیم یا مس می باشد.

- محدوده دمایی معمول ترمیستورها از صفر مطلق تا ۳۱۵ درجه سلسیوس می باشد.



جدول ۱۰: فرمول ترمیستور که مقاومت را به دما مربوط می سازد .

ضریب حرارتی یک ترمیستور ثابت نبوده و مقدارش با تغییرات دما تغییر می کند . یک کمیت مفیدتر ، ثابت ترمیستور B است که برای پیدا کردن مقاومت در هر دمایی در محدوده کاری (به کمک یک زوج مقاومت دیگر و دمای داده شده) قابل استفاده است .

معادله عبارت است از :

$$R_2 = R_1 \cdot e^{\left(\frac{B}{\theta_1} - \frac{B}{\theta_2} \right)}$$

که θ و B دماها بر حسب کلوین (K) هستند .

به عنوان مثال ، اگر ثابت ترمیستور مقدار معلوم 3200 کلوین و مقاومت در 30 درجه سلسیوس برابر با 2 کیلو اهم باشد ، مقاومت در 45 درجه سلسیوس به صورت زیر محاسبه می گردد :

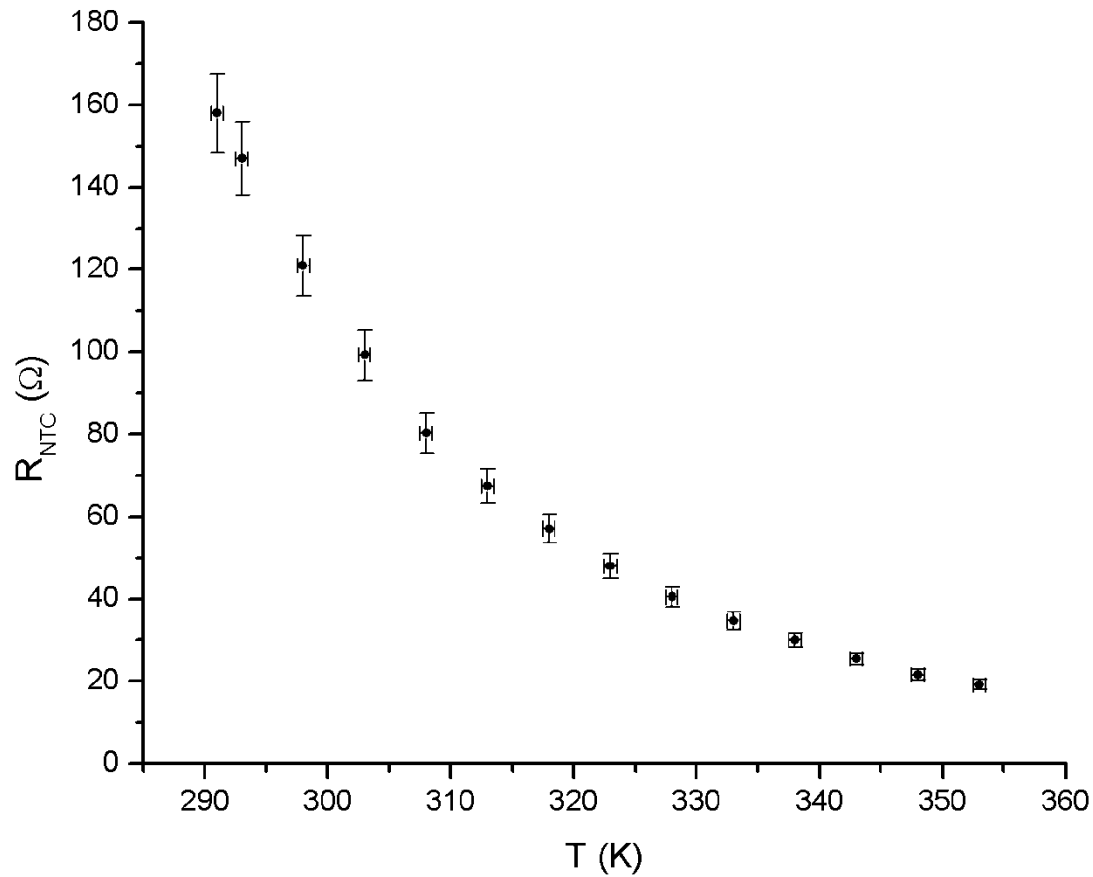
دماهای داده شده برابر با 293 و 318 کلوین هستند ، بنابراین مقدار داخل پرانتز $0/8586$ خواهد شد .

با استفاده از تابع نمایی یک ماشین حساب ، $R_2 = 2 * 2/359 = 4/719$ یعنی حدود $4/7$ به دست می آید .

ترمیستور Thermistor

- ❖ ترمیستورها مبدل های کوچکی از جنس نیمه هادی هستند
- ❖ ترمیستورها معمولاً به شکل مهره ، دایره و یا میله ساخته میشوند
- ❖ ترمیستورها بر دو نوع کلی تقسیم می شوند :
 - مقاومت با ضریب حرارتی منفی NTC
 - مقاومت با ضریب حرارتی مثبت PTC
- ❖ اگر ترمیستورها از ترکیب دو یا چند نوع اکسید فلزی مانند منیزیم ، منگنز ، نیکل ، قلع ، تیتانیم و ... ساخته شوند یک **Negative (NTC)** **Temperature Coefficient** یا مقاومت با ضریب حرارتی منفی حاصل میشود
- ❖ در یک NTC با افزایش دما ، مقاومت ترمیستور کاهش پیدا میکند

ترمیستور Thermistor



منحنی مشخصه تغییرات مقاومتی یک NTC بر حسب
تغییرات درجه حرارت

ترمیستور Thermistor



چند نمونه از NTC ها

❖ اگر ترمیستورها از ترکیب دو یا چند نوع فلز مانند باریوم ، سرب ساخته شوند یک

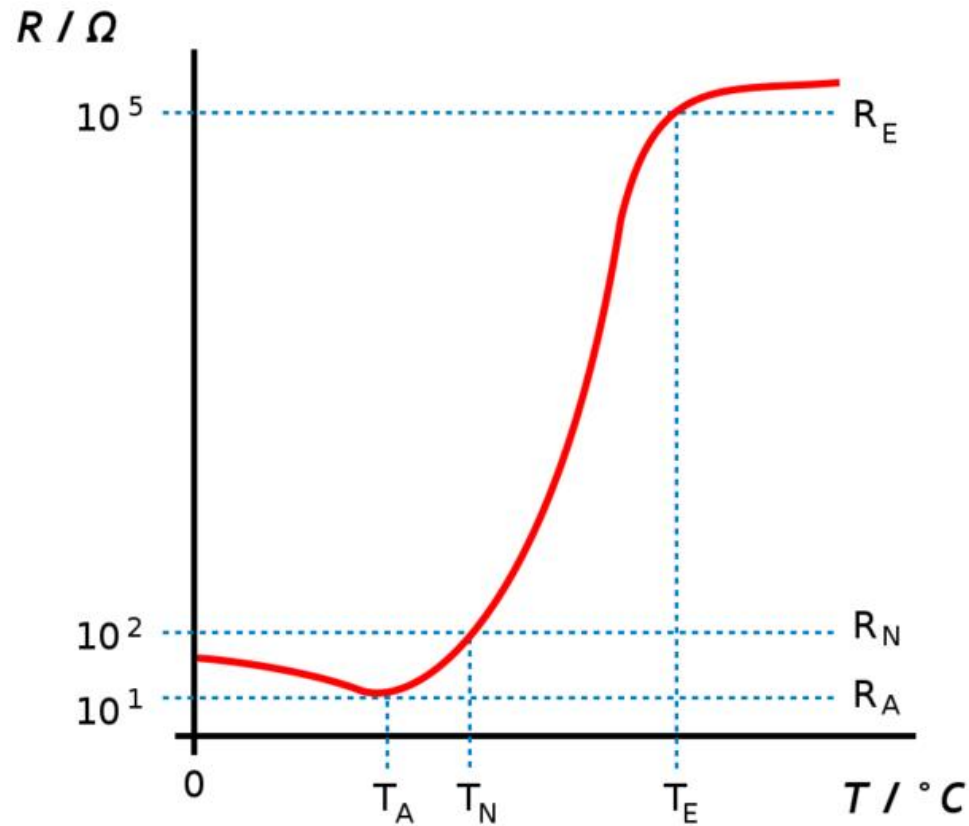
PTC (Positive Temperature Coefficient)

یا مقاومت با ضریب حرارتی مثبت حاصل میشود

❖ در یک PTC با افزایش دما ، مقاومت ترمیستور نیز افزایش پیدا میکند

❖ بیشترین استفاده PTC ها در حفاظت وسایل الکتریکی در برابر افزایش درجه حرارت میباشد.

ترمیستور Thermistor



منحنی مشخصه تغییرات مقاومتی یک PTC بر حسب
تغییرات درجه حرارت

ترمستور Thermistor



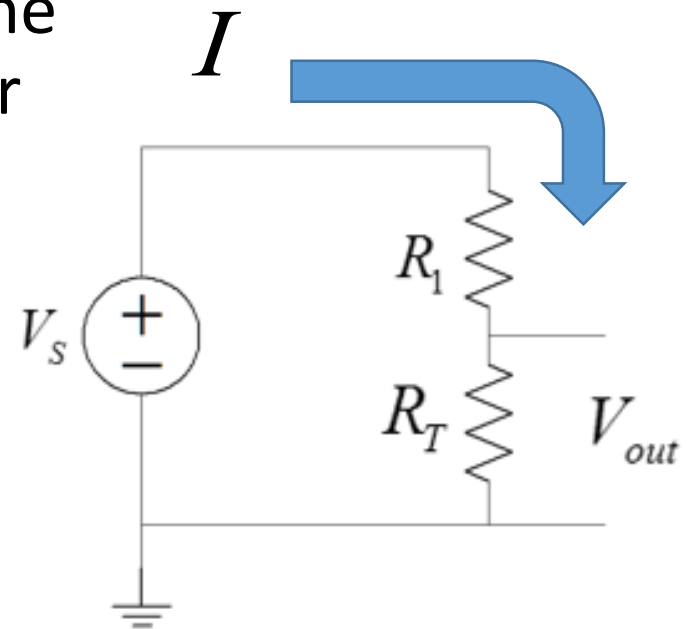
چند نمونه از PTC ها

Power Dissipation in Thermistors

- A current must pass through the thermistor to measure the voltage and calculate the resistance
- The current flowing through the thermistor generates heat because the thermistor dissipates electrical power

$$P = I^2 R_T$$

- The heat generated causes a temperature rise in the thermistor
- This is called **Self-Heating**
- **WHY IS SELF-HEATING BAD?**



Power Dissipation and Self-Heating

- Self-Heating can introduce an error into the measurement
- The increase in device temperature (ΔT) is related to the power dissipated (P) and the power dissipation factor (δ)

$$P = \delta \Delta T$$

Where P is in [W], ΔT is the rise in temperature in [$^{\circ}\text{C}$]

- Suppose $I = 5 \text{ mA}$, $R_T = 4 \text{ k}\Omega$, and $\delta = 0.067 \text{ W}/^{\circ}\text{C}$, what is ΔT ?

Power Dissipation and Self-Heating

- Self-Heating can introduce an error into the measurement
- The increase in device temperature (ΔT) is related to the power dissipated (P) and the power dissipation factor (δ)

$$P = \delta \Delta T$$

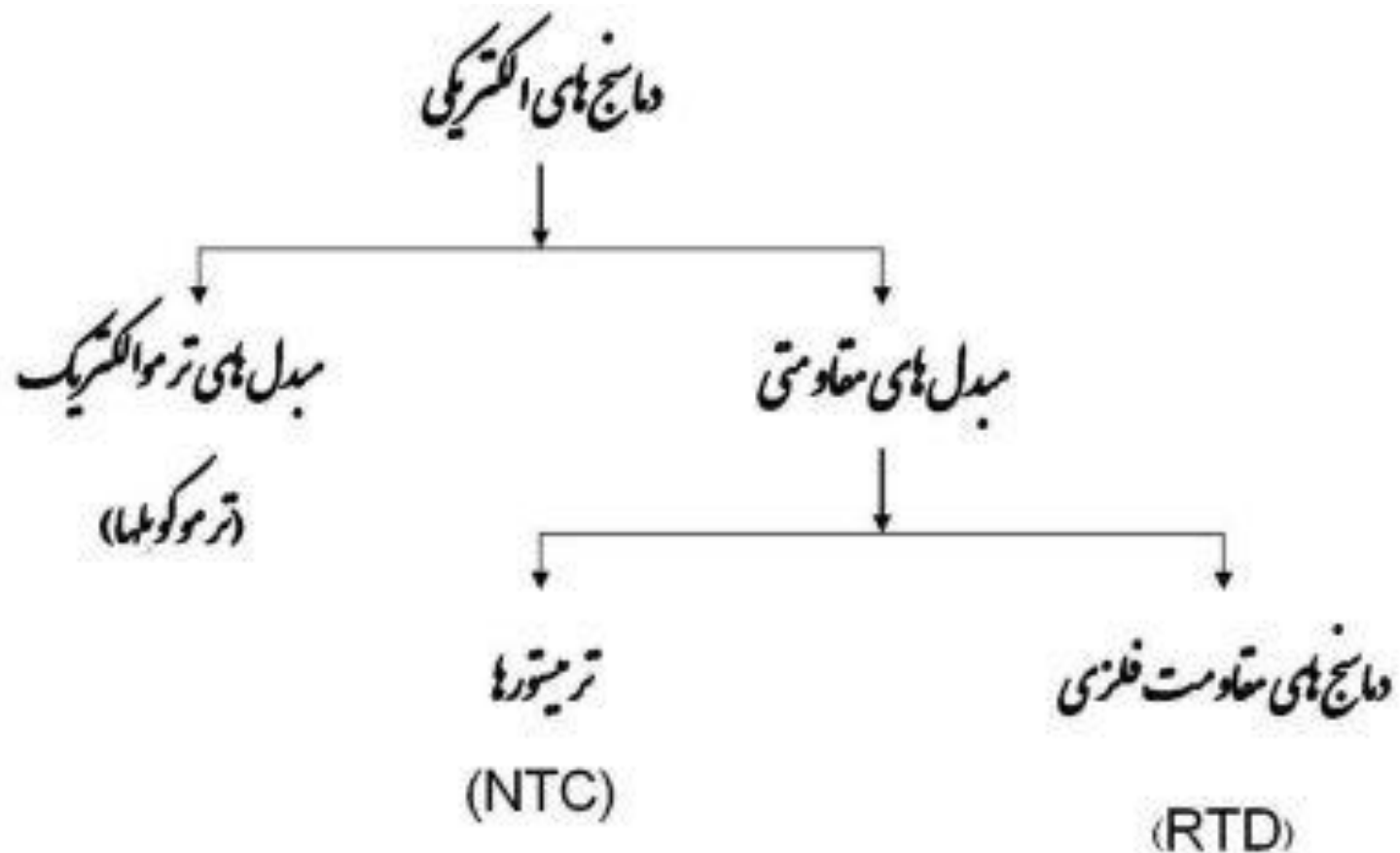
Where P is in [W], ΔT is the rise in temperature in [$^{\circ}\text{C}$]

- Suppose $I = 5 \text{ mA}$, $R_T = 4 \text{ k}\Omega$, and $\delta = 0.067 \text{ W}/^{\circ}\text{C}$, what is ΔT ?

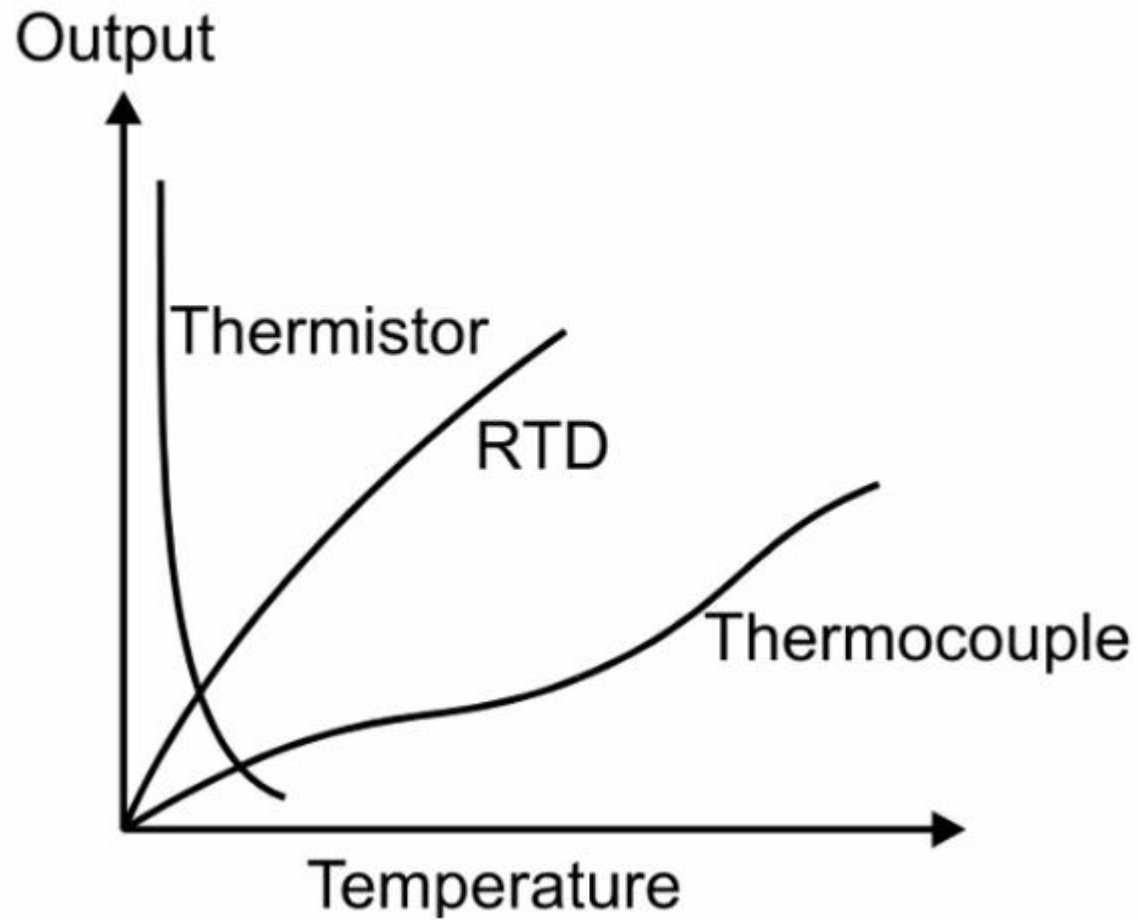
$$(0.005 \text{ A})^2(4000 \text{ }\Omega) = (0.067 \text{ W}/^{\circ}\text{C}) \Delta T$$

$$\Delta T = 1.5^{\circ}\text{C}$$

- What effect does a ΔT of 1.5°C have on your thermistor measurements?
- How can we reduce the effects of self-heating?

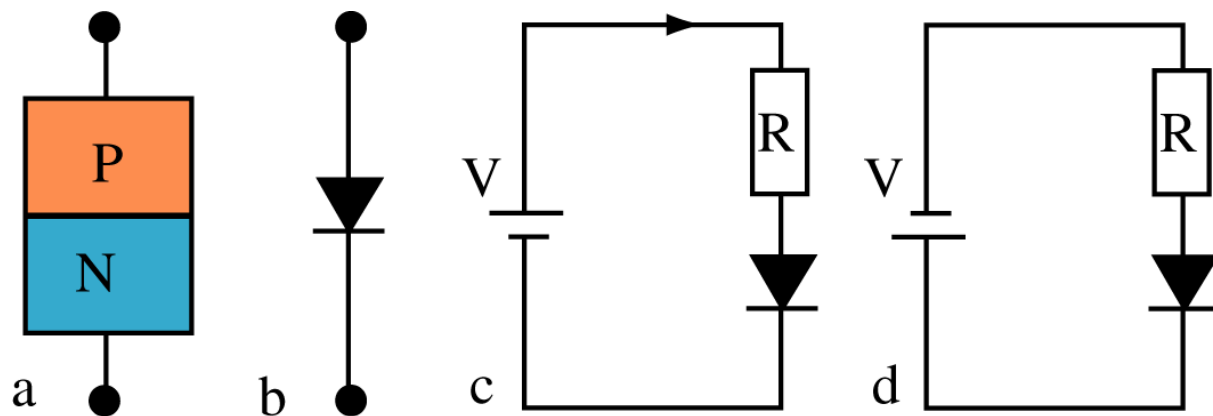


مقایسه



P-N Junction temperature sensors

مبنای کار: جریان عبوری از یک اتصال PN تابعی از درجه حرارت پیوند PN می باشد.



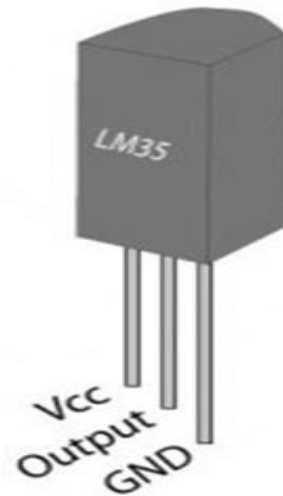
خروجی این IC ها ولتاژ یا جریان بوده و از مهم ترین مزایای آنها، خطی بودن ولتاژ یا جریان خروجی نسبت به درجه حرارت می باشد؛ به عنوان مثال، خروجی یک IC به ازای هر درجه سانتی گراد دما 1 mV ولتاژ در اختیار ما قرار می دهد.

سنسورهای مدار مجتمع (IC)

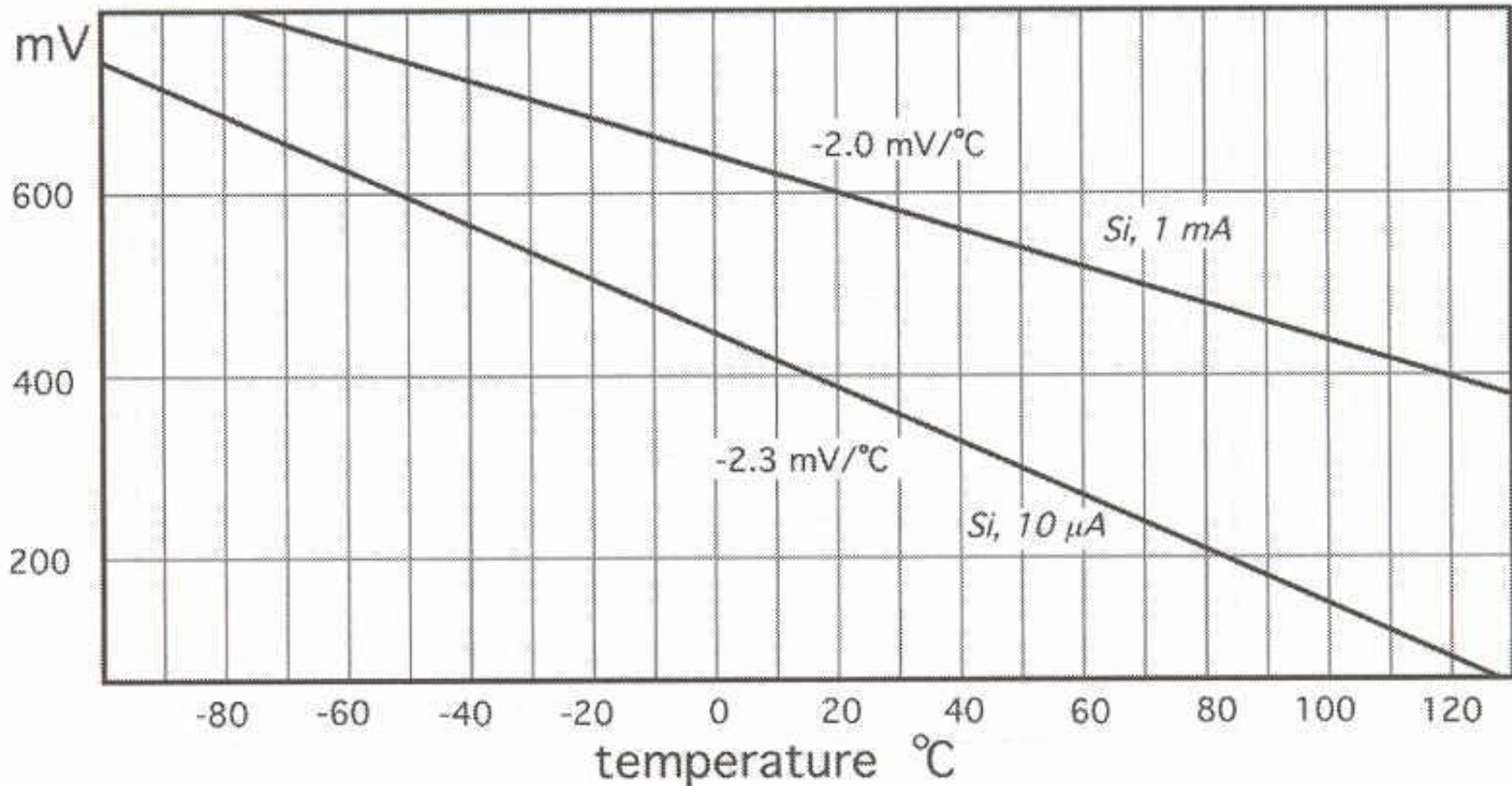
حسگرهای دمای مدار مجتمع ابزارهای نیمه هادی هستند که با روشی شبیه به روش ساخت دیگر ابزارهای نیمه هادی از قبیل میکروکنترلرها ساخته شده اند

LM35 یکی از معروفترین سنسور تشخیص دما موجود در بازار است

LM35 sensor



- Sensitivity: 1-10mV/°C (current dependent)



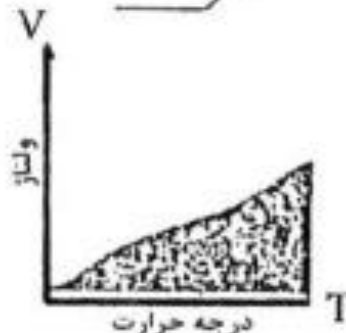
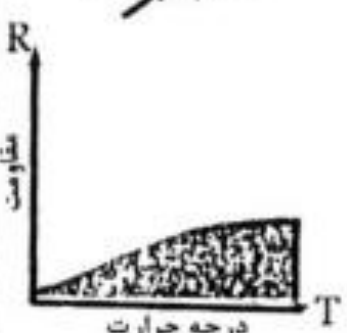
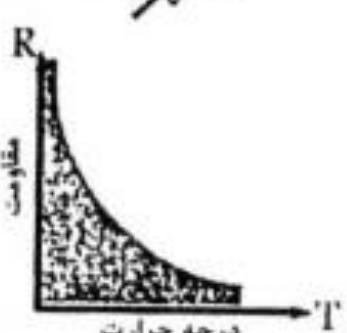
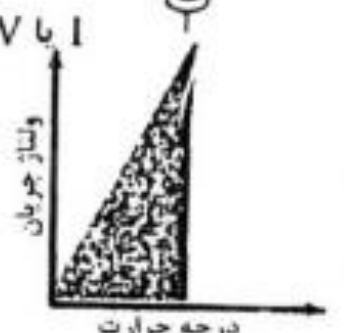
- 10-100 μ A typically (low currents - higher sensitivity)
- Maximum range (silicon) -55 to 150°C
- Accuracy: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ typical
- Self heating error: $0.5 \text{ mW}/^{\circ}\text{C}$

مشخصات فنی سنسور LM35

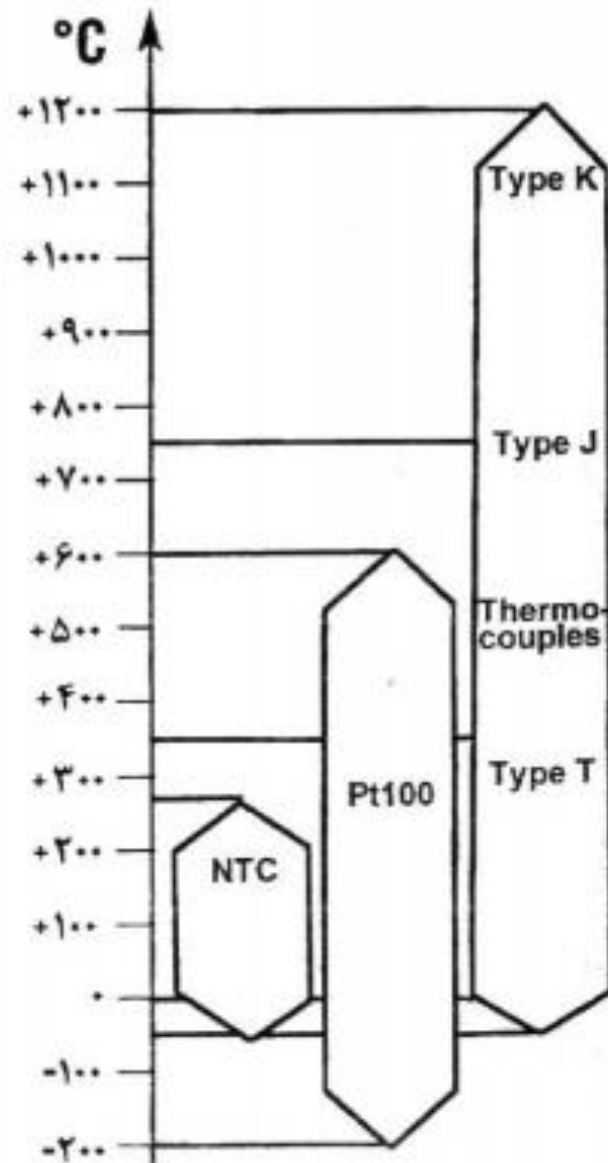
- این سنسور آنالوگ است -
- خروجی ۱۰ میلی ولت به ازای هر درجه سانتی گراد دارد -
- دارای اندازه گیر دقیق به درجه سانتی گراد است -
- عامل مقیاس خطی ۱۰ میلی ولت بر درجه است -
- دارای دقت تضمینی تا ۰.۵ درجه سانتی گراد است -
- مجاز برای درجه حرارت ۵۵- تا ۱۵۰+ درجه سانتی گراد -

جدول و نمودار مزایا و معایب سنسورهای الکتریکی درجه حرارت :

مزایا و معایب ۴ نمونه سنسور الکتریکی درجه حرارت با رسم نمودارهای مربوطه در جدول بعد نشان داده شده است:

	<p>ترموکوپل Thermocouple</p> 	<p>RTD</p> 	<p>ترمیستور Thermistor</p> 	<p>حس کننده I.C</p> 
مزایا	<p>خود تغذیه <input type="checkbox"/></p> <p>ساده <input type="checkbox"/></p>	<p>پایداری زیاد <input type="checkbox"/></p> <p>دقت زیاد <input type="checkbox"/></p> <p>خطی تر از ترموکوپل <input type="checkbox"/></p>	<p>خروجی بالا <input type="checkbox"/></p> <p>سریع <input type="checkbox"/></p>	<p>خطی <input type="checkbox"/></p> <p>خروجی زیاد <input type="checkbox"/></p> <p>ارزان <input type="checkbox"/></p>
پایداری کم	<p>غیر خطی <input type="checkbox"/></p> <p>ولتاژ کم <input type="checkbox"/></p> <p>حساسیت کم <input type="checkbox"/></p>	<p>گران <input type="checkbox"/></p> <p>احتیاج به منبع تغذیه جداگانه <input type="checkbox"/></p> <p>خود گرمایی <input type="checkbox"/></p>	<p>غیر خطی <input type="checkbox"/></p> <p>رنج درجه حرارت محدود <input type="checkbox"/></p> <p>خود گرمایی <input type="checkbox"/></p>	<p>مورد استفاده برای زیر ۲۰۰°C <input type="checkbox"/></p> <p>احتیاج به منبع تغذیه جداگانه <input type="checkbox"/></p> <p>کند <input type="checkbox"/></p> <p>خود گرمایی <input type="checkbox"/></p>

Sensor حس کننده	Temperature range رنج درجه حرارت
Thermocouple Type K (NiCr Ni)	-40 to + 1200°C
	-40 to + 1000°C
Type T	-40 to + 30°C
Type J	-40 to + 750°C
Pt 100	-100 to + 200°C
	-200 to + 600°C
NTC (Standard)	-50 to - 25.1°C
	-25 to + 74.9°C
	+75 to + 150°C
NTC (High temp)	-30 to - 20.1°C
	-20 to 0°C
	+0.1 to + 75°C
	+75.1 to + 275°C



پیرومترهای نوری

پیرومترهای تشعشعی

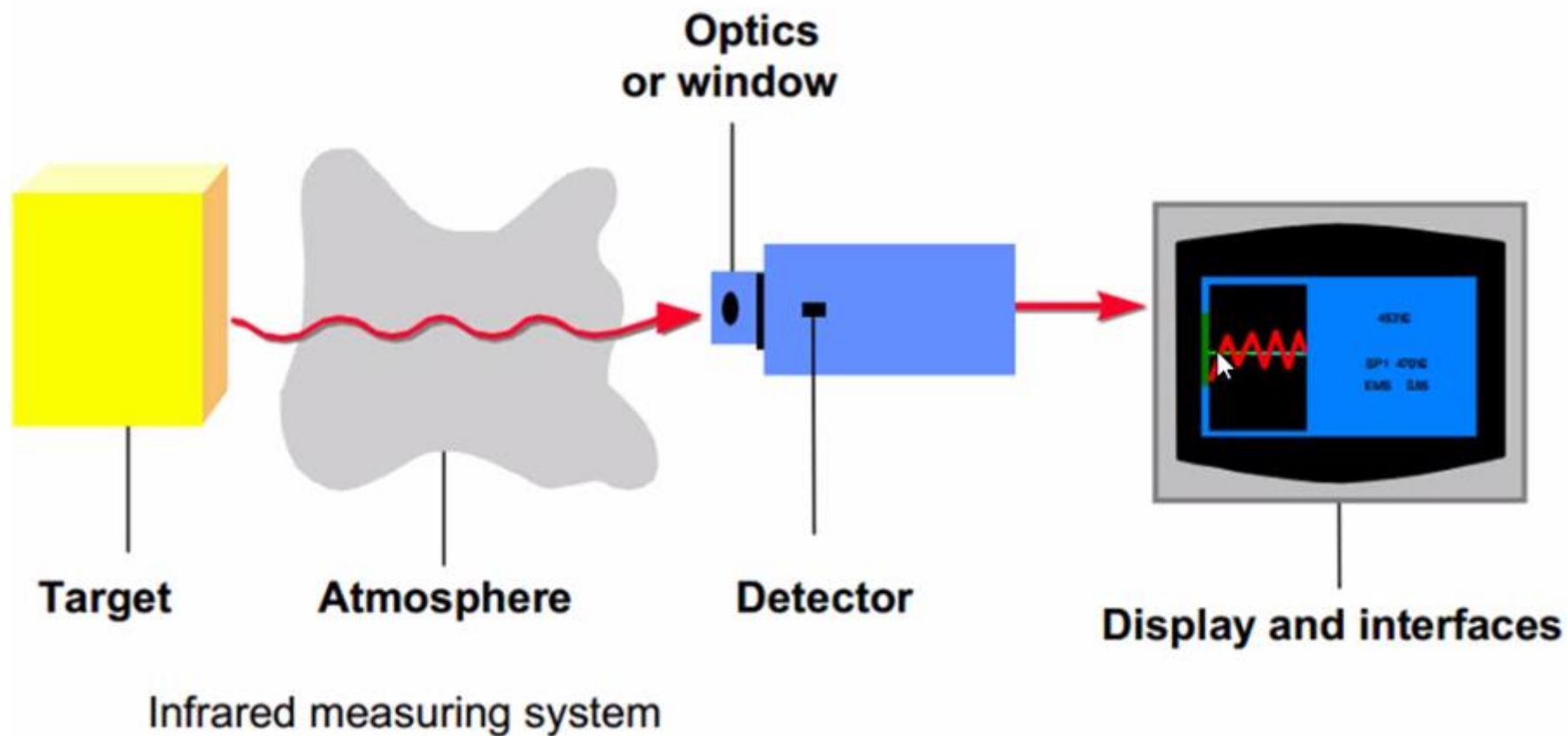
اندازه گیری تشعشعی دما

Non-contact temperature sensors

اندازه گیرهای تشعشعی Pyrometer

پایرومتر یکی از تجهیزات اندازه گیری دما به صورت غیر مستقیم می باشد که در صنایع فولاد، ذوب آهن و صنایعی که دمای آنها بالای ۱۰۰۰ درجه می باشد کاربرد دارد، می دانیم که بسیاری از سنسورهای اندازه گیری دما در تماس مستقیم با سیال فرآیندی، دما را اندازه گیری می کنند. اما در مواردی تماس اندازه گیر با فرایند غیرممکن است برای مثال هنگامی که دمای آن بسیار بالاست بگونه‌ای که هرگونه تماس موجب ذوب شدن و از بین رفتن اندازه گیر می شود و یا هنگامیکه فرایند دارای مواد زیانبار و مخربی هستند نمیتوان از سنسورهای تماسی استفاده نمود.





اندازه گیری تشعشعی دما

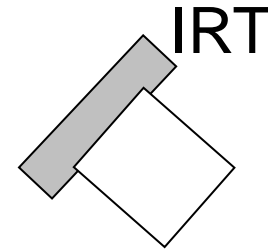
اصل فیزیکی مورد استفاده در اندازه گیری تشعشعی دما بدین صورت است که وقتی اجسام در دماهای بالاتر از صفر مطلق قرار می گیرند از خود انرژی آزاد می کنند این انرژی متناسب با توان چهارم دمای جسم می باشد که به صورت امواج الکترومغناطیسی متشکل از بسته های کوچکی به نام فوتون می باشند.

مزایای پایرومتر

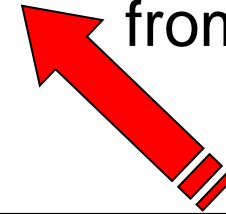
سنسورهای تشعشعی دما، انرژی تابشی اجسام را به شکل فوتون دریافت کرده و بر اساس آن دمای جسم را تعیین می کنند. با این تجهیزات می توان دماهایی که سایر تجهیزات اندازه گیری دما مانند ترموکوپل ها و ترمومترهای مقاومتری قادر به اندازه گیری آن نیستند را به راحتی اندازه گیری کرد.

همین طور دمای محیط هایی که وسیله سنجش را معمولاً نمی توان در تماس مستقیم با آن قرار داد، مثل داخل کوره ها یا روی شعله و یا دمای اجسام متحرک و دمای متوسط سطوحی که توزیع دمایی دارند، پایرومترها این مزیت جاگزینی را دارند، اما با این توصیف این وسایل معایبی هم دارند. به عنوان مثال قیمت بالاتر آنها نسبت به اغلب وسایل مذکور و نیاز به کالیبراسیون مجدد برای هر ماده خاص، از موارد ضعف این وسایل می باشد.

Infra-red Thermometer (IRT)



Looks at I-R
radiation
from object.



Sensor assumes object obeys the Stefan-Boltzmann law which links radiation emitted to object temperature:

$$\text{Radiation in W/m}^2 = \sigma T_{IRT}^4$$

where $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ and T is in $^{\circ}\text{K}$ ($^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.2$)

Senses radiation \rightarrow solves S-B equation $\rightarrow T_{IRT}$ signal

پایرومتر های نوری Infrared Pyrometer

❖ مبنای کار : در پایرومتر های نوری مقایسه دو رنگ ، یکی مربوط به جسم گداخته و دیگری مربوط به فیلامان پایرومتر مبنای تعیین درجه حرارت جسم می باشد

- هر ماده ای با دمای بالاتر از صفر مطلق از خود امواج الکترومغناطیس بصورت فوتون یا نوری ساطع می کند.
- مقدار تشعشع مواد وابستگی مستقیمی به دمای آنها دارد.

Stefan-Boltzmann Law

$$\frac{dQ}{dt} = e\sigma AT^4$$

$\frac{dQ}{dt}$ = Radiant heat loss rate (watts)

e = Emissivity factor (unitless)

σ = Stefan-Boltzmann constant ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}^4$)

A = Surface area (square meters)

T = Absolute temperature (Kelvin)



❑ مزیت اصلی این روش این است که نیازی به ارتباط مستقیم فیزیکی برای اندازه گیری دما نیست.

❑ امکان اندازه گیری دماهای خیلی بالا

❑ امکان اندازه گیری دمای پلانت هایی که با روش های قبلی نمی توان اندازه گیری کرد.



52

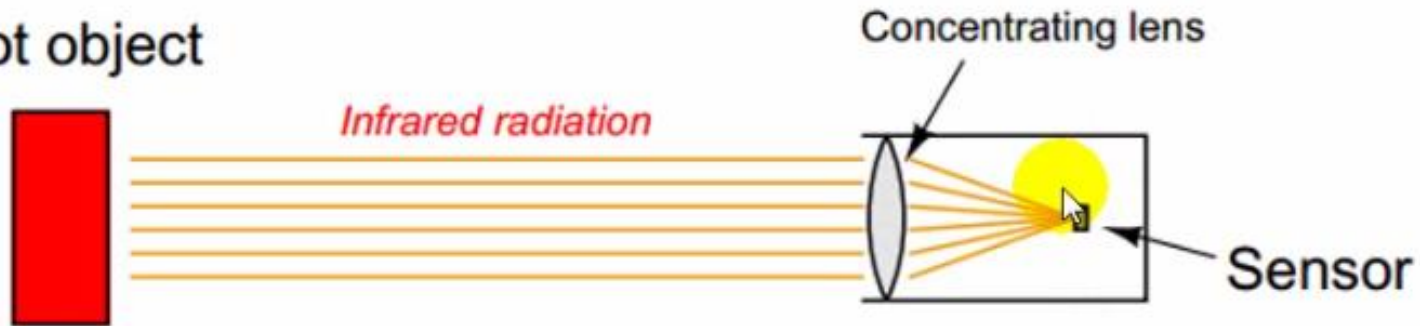
اندازه گیری تشعشعی دما



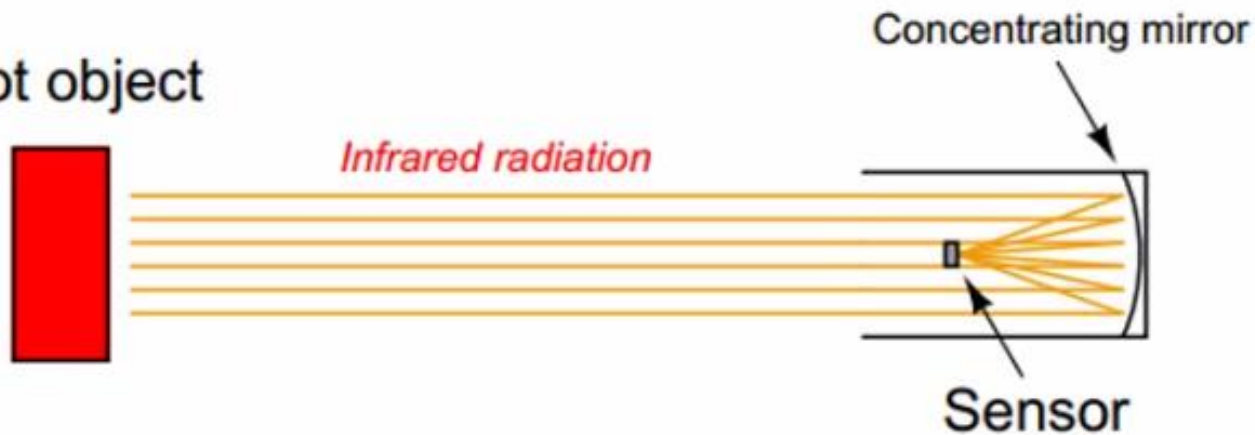
دو نمونه از پیرومتر های غیر تماسی

Two designs of non-contact pyrometer

Hot object



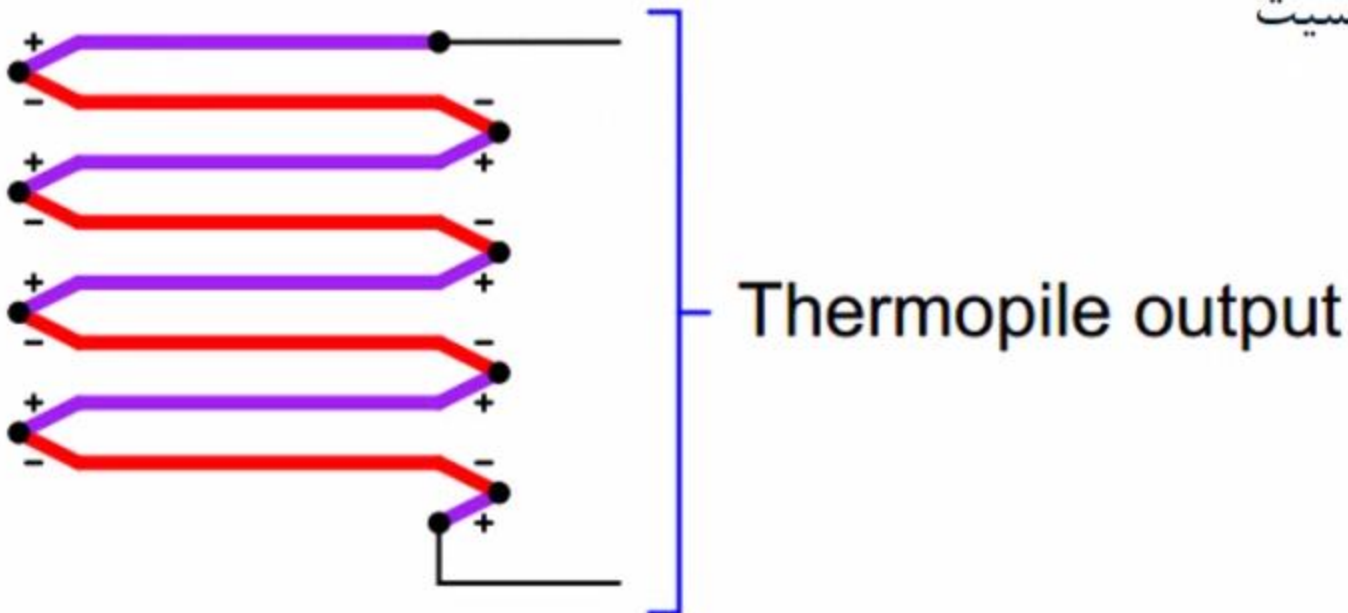
Hot object



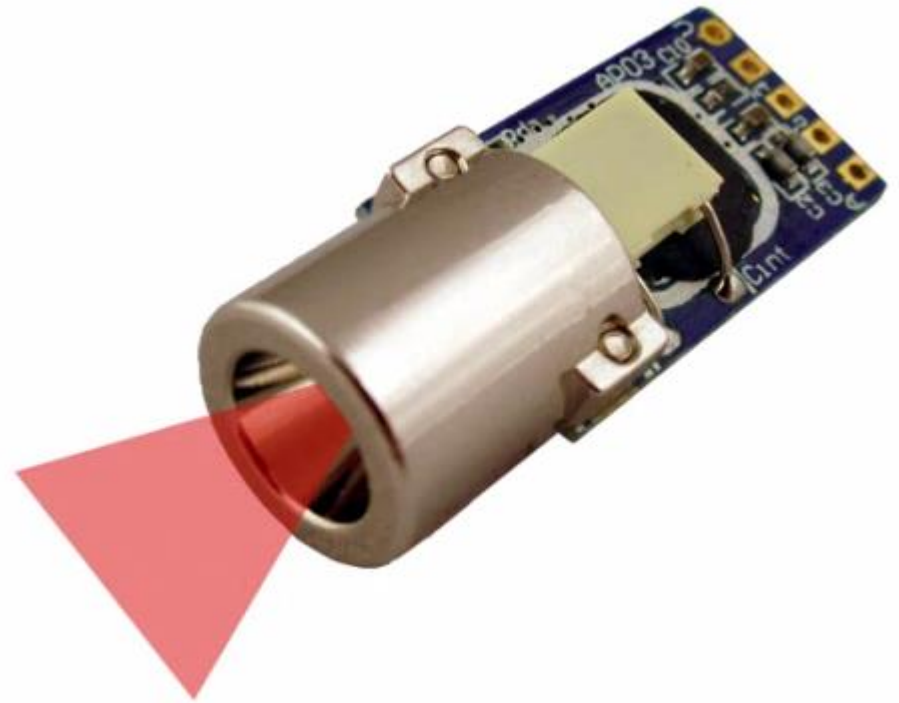
□ برای اندازه گیری دمای نقطه تمرکز اغلب از ترموکوپل های سری شده استفاده می شود.

- افزایش دقت

- افزایش حساسیت



❑ دماسنج بدون تماس مادون قرمز



Advantages

- Non contact measurement
- High temperature sensing
- Remote sensing
- Fast response and can sense objects in motion
- Sense small or area targets

Disadvantages

- Expensive
- Non linear response
- Subject to emissivity of material
- Require wide range of operation

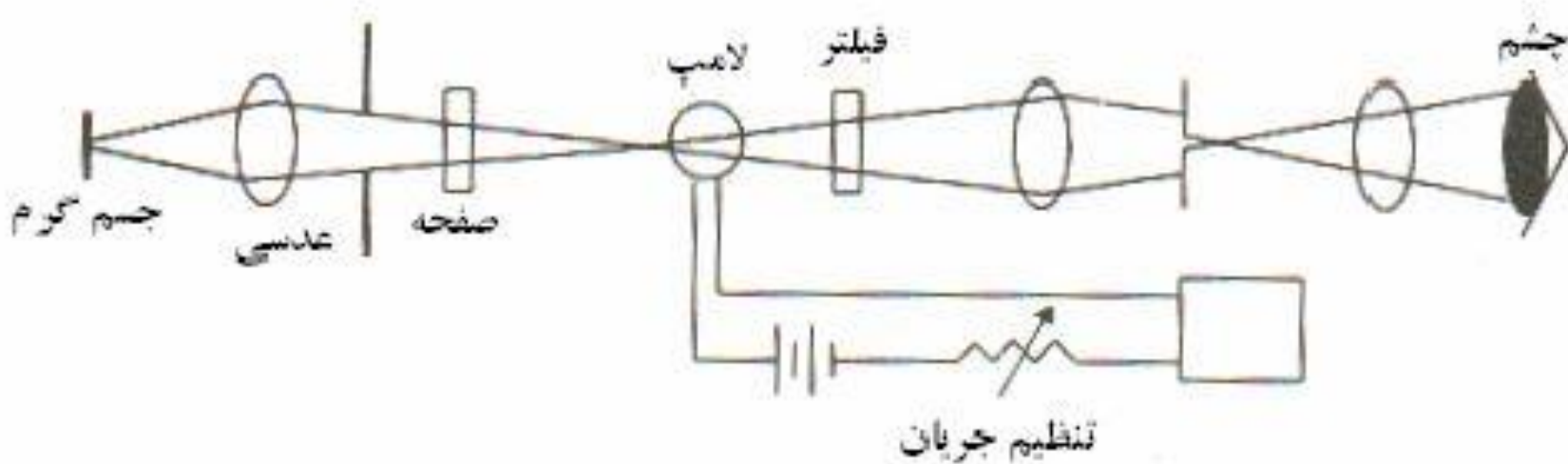
اندازه گیری تشعشعی دما

پایرومتر های تشعشعی

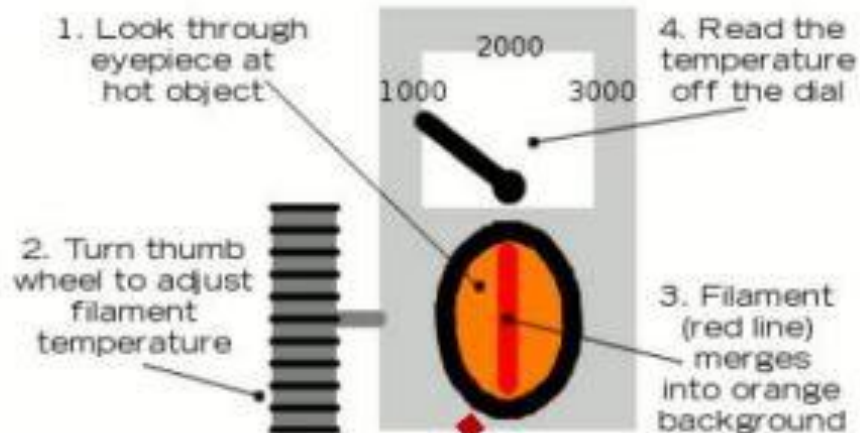


پایرومتر های تشعشعی

اندازه گیری تشعشعی دما



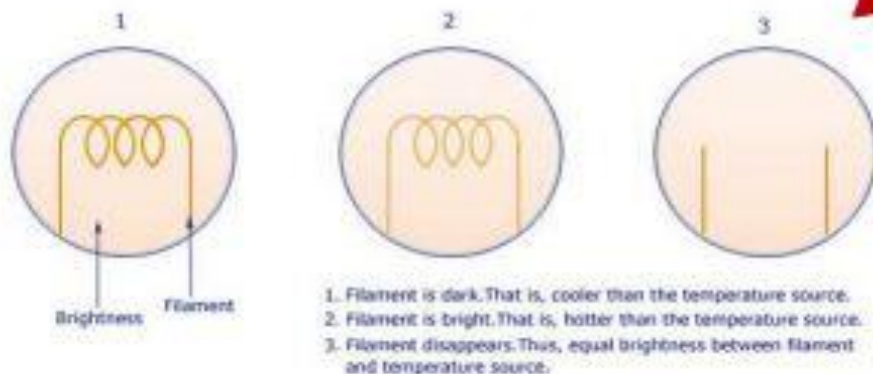
ساختمان داخلی پیرومتر های نوری



www.explainthatstuff.com

Photo: Left: A NASA scientist uses an optical pyrometer to measure the temperature of a rocket cone in a 1956 experiment. Photo by courtesy of [NASA Glenn Research Center \(NASA-GRC\)](https://www.nasa.gov/glossary/main_glossary_0-25/sort_by_relevance/NASA_GRC.html). Right: How it works.

Optical Pyrometer - Temperature Measurement



www.InstrumentationToday.com



دوربین های ترموگرافی







نمونه تصاویر ترموگرافی

