جلسه پنجم و ششم

۲- سنسورهای اندازه گیری دما

از جمله پرکاربردترین کمیت مورد نیاز برای اندازه گیری، دما می باشد.

یک روش متداول در اندازه گیری دما، توجه به انبساط حرارتی ناشی از افزایش دما می باشد.

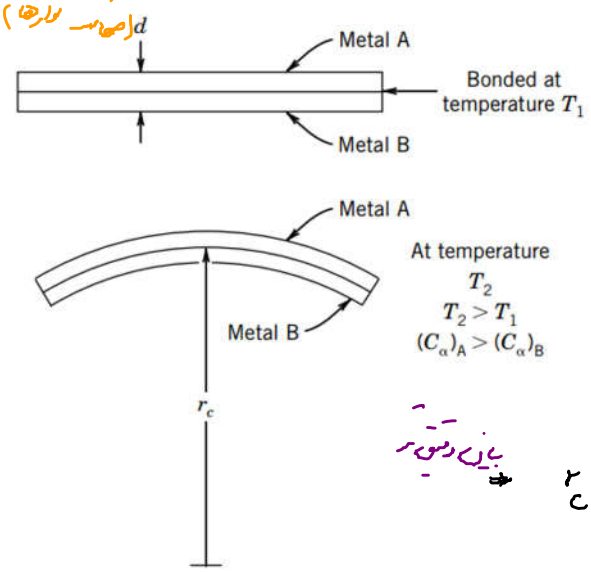
$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

ضریب انبساط حرارتی — طول اولیه — تغییر دما

به دلیل کوچک بودن تغییرات طول، به راحتی نمی توان ΔL را اندازه گیری کرد. به همین دلیل از این خاصیت استفاده می کنیم:

۲-۱) ترمومتر دو فلزی (Bimetallic-strip thermometer)

- این دماسنج براساس انبساط تفاضلی عمل می کند.



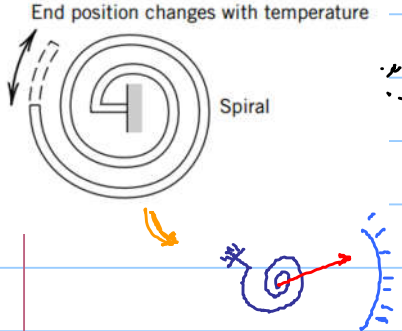
$$r_c \propto \frac{d}{[(C_\alpha)_A - (C_\alpha)_B](T_2 - T_1)}$$

شعاع انحنا — ضخامت نوارها — اختلاف ضرایب انبساط — اختلاف دما

با این دستگاه

$$r_c = \frac{\left[3(1+r_h)^2 + (1+r_h r_E)\left(r_E^2 + \frac{1}{r_h r_E}\right)\right] d}{6(\alpha_1 - \alpha_2)(1+r_h)^2 (T_2 - T_1)}$$

$$r_h = \frac{h_2}{h_1} \text{ (نسبت ضخامت‌ها)} \quad , \quad r_E = \frac{E_2}{E_1} \text{ (نسبت مدول الاستیسیته)}$$



- با افزایش $\frac{1}{r_c}$ (یا کاهش ضخامت d، افزایش $\alpha_1 - \alpha_2$، ...)، حساسیت دماسنج افزایش می یابد.

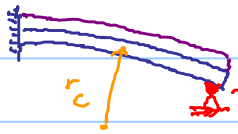
دو نوار معمول در دماسنج های نوار دوفلزی:

- $\alpha_1 = 16 \times 10^{-6} \frac{1}{C}$ فولاد زنگ نزن
- $\alpha_2 = 0.02 \times 10^{-6} \frac{1}{C}$ آلیاژی از نیکل و آهن

توجه: دقت به جدول بالا، مقادیر استفاده شده در دماهای پایین

توجه: عدم نیاز به منبع تغذیه، ارزان، سادگی و استفاده

- کاربرد: برودسنج‌ها، قطع جریان در هیترهای الکتریکی، اندازه‌گیری‌ها، زنگ‌ها و...



- ۲) سنسورهای مقاومتی (Resistive Temperature Detectors : RTD)

- اساس کار سنسورهای مقاومتی، تغییر مقاومت الکتریکی بر اثر دما می‌باشد.

- این نوع سنسورها از فلزات (به صورت خالص یا آلیاژ) و یا نیمه‌هادی‌ها و اکسید فلزات با نام ترمیستور (از اکسیدهای مس، کبالت، منگنز، نیکل) ساخته می‌شوند.

- یک نوع دسته‌بندی سنسورهای مقاومتی، ضریب دمای مثبت (Positive Temp. Coeff: PTC) یا نوع RTD و ضریب دمای منفی (Negative Temp. Coeff.: NTC) یا نوع ترمیستور می‌باشد.

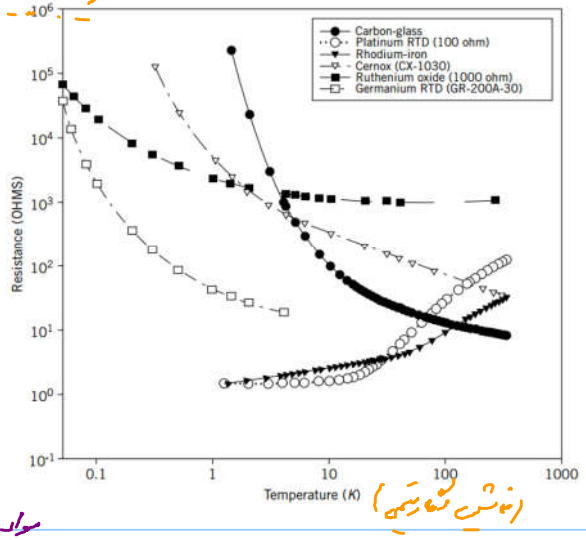
$$R = \rho \frac{l}{A}$$

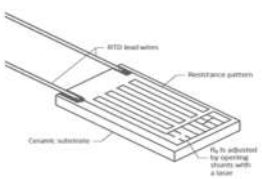
$$R = R_0 \left(1 + \alpha (T - T_0) + \text{جمله غیرخطی}\right)$$

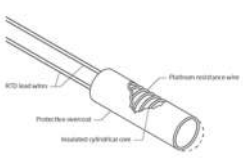
T_0: دمای مرجع

Electrical Resistivity for various materials at 20 °C

Material	Resistivity (Ω m)		α =Temp. Coeff. ($°C^{-1}$)
Silver	1.59	$x10^{-8}$	0.0038
Copper	1.68	$x10^{-8}$	0.0039
Gold	2.4	$x10^{-8}$	0.0034
Aluminum	2.65	$x10^{-8}$	0.00429
Tungsten	5.6	$x10^{-8}$	0.0045
Iron	9.71	$x10^{-8}$	0.005
Platinum	10.6	$x10^{-8}$	0.003927
Mercury	98	$x10^{-8}$	0.0009
Nichrome (Ni,Fe,Cr alloy)	100	$x10^{-8}$	0.0004
Constantan (Cu 60 ; Ni 40)	49	$x10^{-8}$	0.00001
Carbon* (graphite)	3-60	$x10^{-5}$	-0.0005
Germanium*	1-500	$x10^{-3}$	-0.05
Silicon*	0.1-60	...	-0.07
Glass	1-10000	$x10^{+9}$	...
Hard rubber	1-100	$x10^{+13}$	...





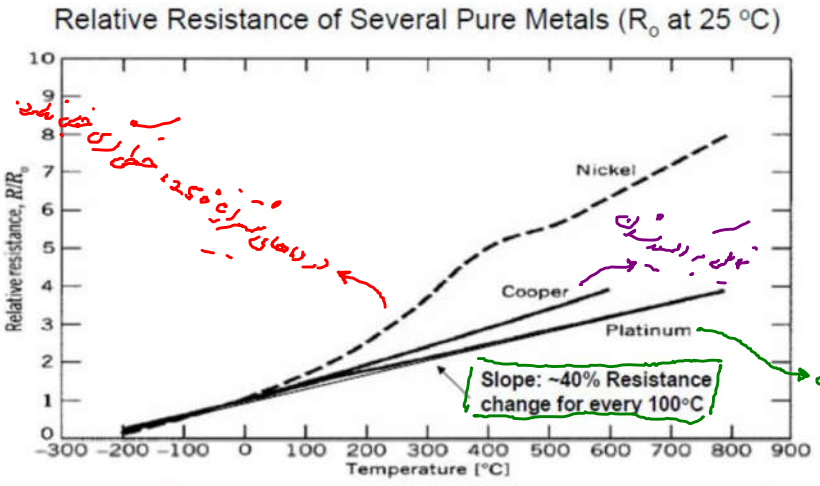


- این نوع سنسورها به صورت سیم، سیم‌پیچ، نوار و... ساخته می‌شوند.

- در تئوری، همه فلزات می‌توانند برای ساخت المنت‌های RTD به کار روند؛ اما از پلاتین به عنوان بهترین RTD ها بهره گرفته می‌شود. زیرا

این فلز دارای مقاومت ویژه بالا (مقاومت به خوردگی)، کمترین حساسیت به آلودگی، نقطه ذوب بالا، تغییرات خطی مقاومت در محدوده

بسیار زیاد دمایی و دوام در خلوص بالا می‌باشد.



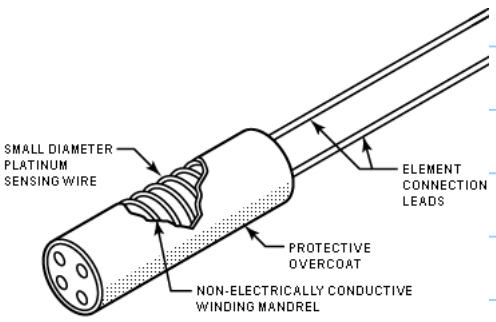
- سنسورهای RTD را در مدار پل وتستون قرار می‌دهند.

- امروزه متداول‌ترین RTD ها، PT-100 با مقاومت 100Ω می‌باشد. (← در RTDها، هرچه مقاومت و حساسیت بیشتر است)

برتری مقاومت‌های پلاتینی است؛ سیم‌های رابط با مقاومت 1Ω می‌توانند روی PT-100 خطای معادل 2.6°C ایجاد کنند!)

Glass Wire Wound
Platinum RTD Elements

Industrial RTD Probes with
Aluminum Protection Head

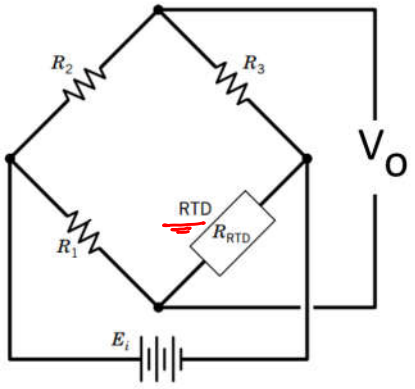


$$R_{RTD} = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

دمای مرجع $T_0 = 0$

ΔT

- یکی دیگر از مدارهای پل جهت اندازه‌گیری دما توسط RTD پلاتینی را نشان می‌دهد:



$$V_o = \left(\frac{R_0(1+\alpha\Delta T)}{R_0(1+\alpha\Delta T)+R_1} - \frac{R_3}{R_3+R_2} \right) E_i$$

- در این مدار پیش‌بینی شده، اگر محدوده اندازه‌گیری دما ΔT خیلی کوچک باشد ($\Delta T \ll R_0$)، در این صورت ولتاژ خروجی پل با تقریب خوبی نسبت به T خطی می‌باشد. (V_o متناسب با $E_i T$ $\propto$)

- از تغییرات ΔT بزرگ بوده، ΔR_T در مقایسه با R_0 قابل توجه باشد، برای حفظ رابطه خطی ولتاژ خروجی بر حسب دما، می‌توان با انتخاب $R_3 \ll R_2$ به رابطه تقریبی زیر رسید: (چرا؟)

$$V_o \approx E_i \frac{R_3}{R_2} \alpha T$$

* توجه: با بهره‌گیری از یک RTD در مدار پل شبیه شکل بالا، می‌توان یک منبع ولتاژ وابسته متناسب با دما ایجاد کرد! (V متناسب با T!) ← در فصل بعد خواهیم دید با بهره‌گیری از تقویت‌کننده‌ها، می‌توان یک منبع تعدیه (جهت جبران سازی در سیستم‌های کنترل یا ...) متغیر با کمیت مورد نظر (در اینجا دما) به وجود آورد.

- از مشابه اندازه‌گیری اختلاف دو دمای T_1 و T_2 بود، می‌توان از دو سنسور RTD در بازوهای مجاور پل بهره گرفت (به عنوان مثال یک RTD دیگر به جای مقاومت R_1 در مدار شکل بالا به دمای T_2 قرار دارد.) ← ولتاژ خروجی متناسب با $(T_1 - T_2)$

- ترمیستورها (Thermistor) : برخلاف RTD های فلزی، از مواد نیمه‌هادی یا سرامیک ساخته می‌شوند.

- می‌توان آن‌ها را در اندازه‌های بسیار کوچک ساخت.

- اگرچه بعضی از آن‌ها از نوع PTC هستند (نظیر سلنیم باریوم و یا سیلیستورها (silistor))، اما عموماً از نوع NTC

آن‌ها عموماً توصیه است و با تقریبی، می‌توان رابطهٔ غیرخطی تغییر مقاومت ترمیستور با دما را بشکل زیر نوشت:

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

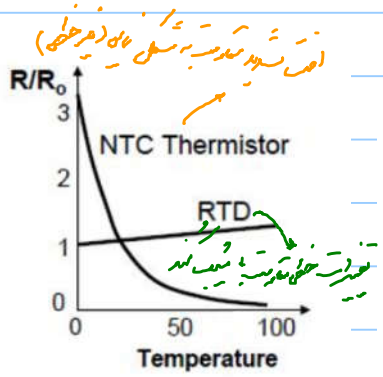
R_0: مقاومت در دمای مرجع T_0

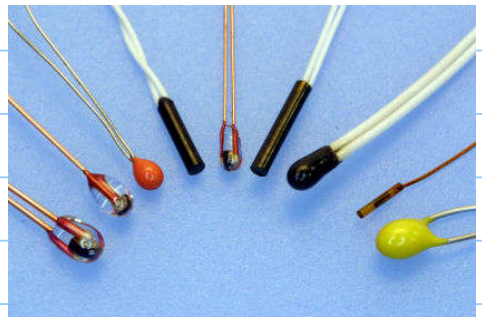
دما بر حسب کلوین

اغلب ترمیستورها در یک بازهٔ دمایی کوچک $3000\ K < \beta < 5000\ K$

این اندازه‌گیری بازه‌های نسبتاً کوچک دما (کمتر از ۲۰۰ درجه) را

- از جمله مزایای ترمیستورها، اندازه‌های کوچک، پاسخ سریع به تغییرات دما و مقاومت بالایی آن‌ها (سیم‌های رابط) می‌باشد.

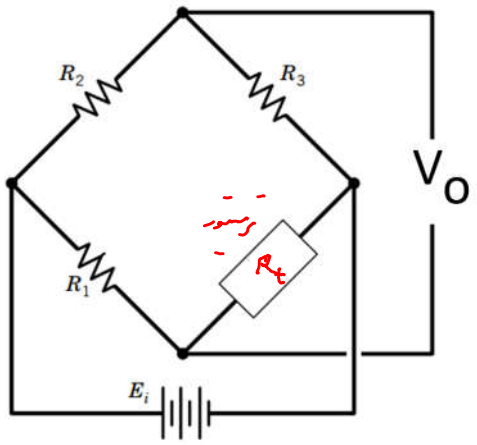


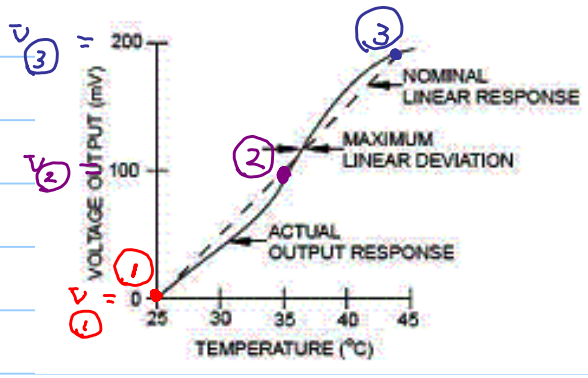


- اگرچه رابطهٔ دما-مقاومت در ترمیستورها غیرخطی است، اما با انتخاب مناسب سایر مقاومت‌های پل و بهره‌گیری از خاصیت غیرخطی پل، می‌توان طوری عمل کرد که رابطهٔ ولتاژ-دما تا حدودی خطی شود! به این روش

این نسبت به سایر مقاومت‌های پل را به گونه‌ای انتخاب کنیم تا معادله ولتاژ-دما حداقل در یک نقطه (مثلاً ابتدای میانه و انتهای بازه مورد نظر) از یک خط راست عبور نماید.

$$R_t = R_0 \, e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$ T_0 ← (298K ≡) 25°C





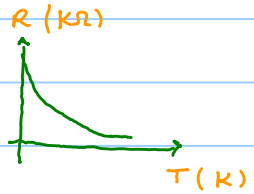
(1) برای نقطه : $V_{(1)} = 0 = \left(\frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_{298}\ (\leftarrow 25^\circ C)}} - \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_3}}\right) E_i$

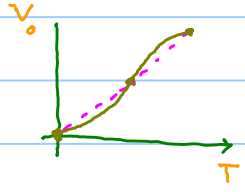
(2) برای نقطه : $V_{(2)} = \left(\frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_{308}}} - \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_3}}\right) E_i$

اینجا R_3 یا R_1

(3) برای نقطه : $V_{(3)} = \left(\frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_{318}}} - \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_3}}\right) E_i$

(مراحل خطی کردن ترمیستور با استفاده از این نمودار بالا :)

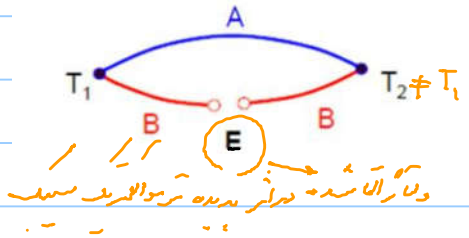




۳) ترموکوپل (Thermocouple) :

- ترموکوپل یک سنسور دمایی است که از دو ماده رسانای غیرهمسان در تماس دو به دو تشکیل شده است. اساس عملکرد ترموکوپل ها بر اثر ترموالکتریک سیبک (Seebeck Effect) می باشد.

* اثر سیبک : اگر دو سیم فلزی غیرشبیه A و B در دماهای متفاوت T_1 و T_2 به یکدیگر متصل باشند، در بین نقاط مذکور اختلاف پتانسیل E تولید می شود که تابعی از جنس سیم ها و دمای T_1 و T_2 است.



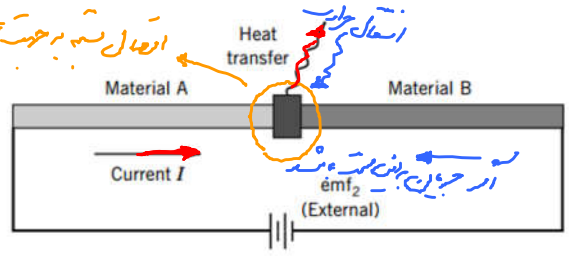
ولتاژ القا شده در اثر پدیده ترموالکتریک سیبک

- اثر سیبک خود ناشی از دو پدیده ترموالکتریک دیگر به نام های پلتیر و تامسون است.

* اثر پلتیر (Peltier Effect) : زمانی که دو هادی با چگالی الکترون های آزاد متفاوت در دماهای یکسان به یکدیگر متصل باشند، الکترون ها از هادی با چگالی الکترون های آزاد بیشتر به سمت چگالی الکترون های آزاد کمتر حرکت کرده و باعث ایجاد اختلاف پتانسیل می گردد که تابع جنس مواد (میزان الکترون های آزاد و سطح انرژی آن ها) و دمای نقطه اتصال است. به این اختلاف پتانسیل، ولتاژ پلتیر گفته می شود. ($\Delta V = E_p(A,B)T$ ←)

بیان دیگر: با عبور جریان الکتریکی از اتصال دو فلز، اتصال بسته به جهت جریان الکتریکی گرم یا سرد می شود.

این پدیده برگشت پذیر است؛ به عبارتی با گرم کردن یا سرد کردن اتصال دو فلز، بین آن ها اختلاف پتانسیل ایجاد می شود:



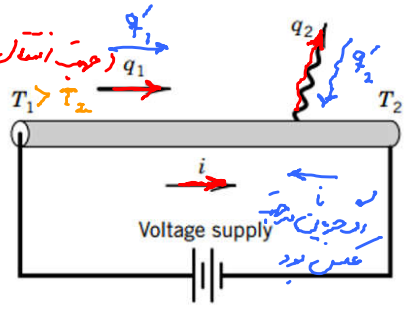
اتصال بسته به جهت جریان الکتریکی گرم یا سرد می شود

انتقال حرارت

از جریان بین نقطه شده

* اثر تامسون (Thomson Effect) : در اثر اختلاف دما در دو سر یک هادی همگن، ولتاژی تولید می‌شود به نام

آن ولتاژ تامسون نامیده می‌شود. ($\Delta V = E_{\sigma A}(T_1, T_2)$)



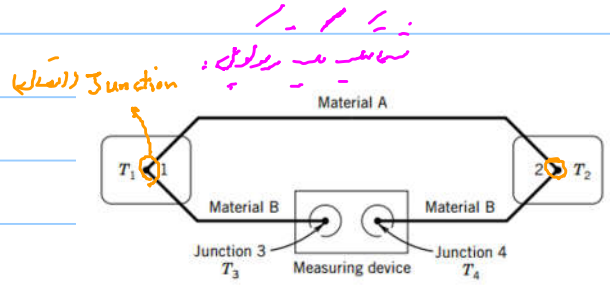
q_1 Energy flow as a result of a temperature gradient
q_2 Heat transfer to maintain constant temperature

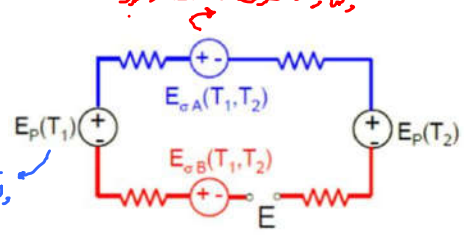
← عوامل مؤثر جریان ناشی از اختلاف دما بین دو نقطه:

در صورتی که جریان الکترون و گرما هم‌جهت باشند، گرما می‌دهد.

در صورتی که جریان الکترون و گرما غیرهم‌جهت باشند، گرما می‌گیرد.

- به ترموکوپل باز گردیم؛ همانطور که در نقطه اتصال ترموکوپل (J_1 و J_2) در دماهای مختلف قرار داده شود، در مدار باز یک ولتاژ برآیند (E) ایجاد می‌گردد که تابعی غیرخطی از دما می‌باشد.





$$E = E_{\sigma B}(T_1, T_2) + E_p(T_1) - E_{\sigma A}(T_1, T_2) - E_p(T_2)$$

با این رابطه به محاسبه ولتاژهای ترموکوپل به صورت مجزا می‌پردازیم. با فرض مشخص بودن جنس مواد A و B و دمای T_2،

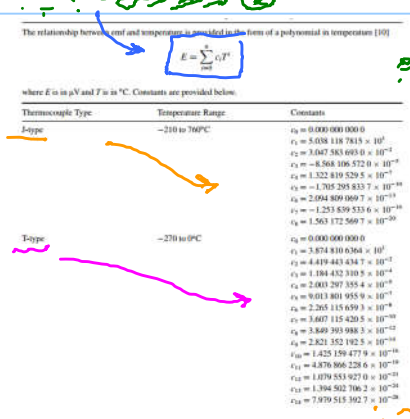
هدف محاسبه E یا T_1 است که به طرق مختلف حاصل می‌شود:

(1) به صورت جدولی: E برحسب T_1 و T_2

مثال: ترموکوپل نوع J:

Temperature (°C)	Thermocouple emf (mV)									
	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.451
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759
110	5.814	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306
120	6.360	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854
130	6.909	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404
140	7.459	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955
150	8.010	8.065	8.120	8.175	8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507
160	8.562	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060
170	9.116	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614
180	9.669	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168
190	10.224	10.279	10.335	10.390	10.446	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723
200	10.779	10.834	10.890	10.945	11.001	11.056	11.112	11.167	11.223	11.278
210	11.334	11.389	11.445	11.501	11.556	11.612	11.667	11.723	11.778	11.834
220	11.889	11.945	12.000	12.056	12.111	12.167	12.222	12.278	12.334	12.389
230	12.445	12.500	12.556	12.611	12.667	12.722	12.778	12.833	12.889	12.944
240	13.000	13.056	13.111	13.167	13.222	13.278	13.333	13.389	13.444	13.500
250	13.555	13.611	13.666	13.722	13.777	13.833	13.888	13.944	13.999	14.055
260	14.110	14.166	14.221	14.277	14.332	14.388	14.443	14.499	14.554	14.609

(2) به کمک فرمول‌های چندجمله‌ای



(3) به صورت جداول حساسیت ترموالکتریکی

مواد نسبت به پلاتین در دمای صفر درجه

ماده	حساسیت ترموالکتریکی S $\left(\frac{\mu V}{^\circ C}\right)$
کنستانتان	-35
آلومل	-13.6
کرومل	+25.5
پلاتین	+7.5

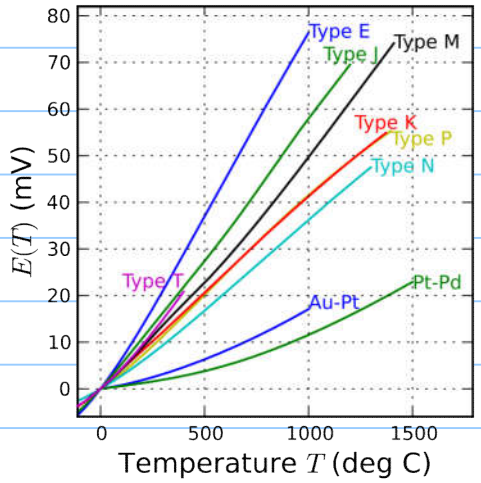
$S_{A/B} = S_A - S_B$ ← حساسیت نسبی بین A و B

T_1 ← E و $T_2 = 18^\circ C$ و $T_2 = 0^\circ C$

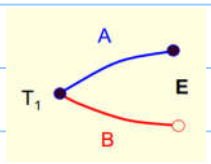
- انواع ترموکوپل ها :

Type	Material Combination: Positive	Material Combination: Negative	Applications
E	Chromel(+)	Constantan(−)	Highest sensitivity (<1000°C)
J	Iron(+)	Constantan(−)	Nonoxidizing environment (<760°C)
K	Chromel(+)	Alumel(−)	High temperature (<1372°C)
S	Platinum/ 10% rhodium	Platinum(−)	Long-term stability high temperature (<1768°C)
T	Copper(+)	Constantan(−)	Reducing or vacuum environments (<400°C)

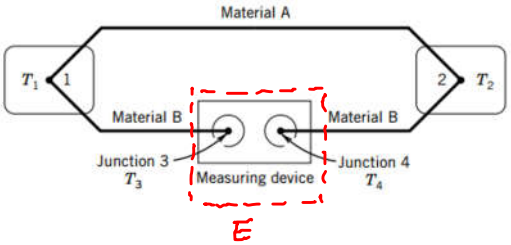
ترتیب A,B :



- مثال: بیان دقیق رابطه ولتاژ ترموکوپل براساس ضرایب سیبک بیان شده :



$E = S_{B/A} \cdot T_1 = (S_B - S_A) \cdot T_1$ (→ البته در حالت دقیق تر رابطه به شکل $\alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 + \dots$ میشد)

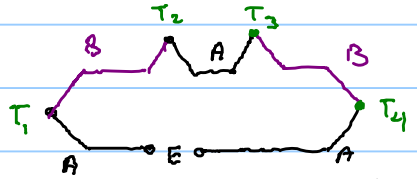


$E = S_{B/A} T_1 + S_{A/B} T_2$ $\Rightarrow$ $E = S_{B/A} (T_1 - T_2)$

$S_{A/B} = -S_{B/A}$

نکته: با بالا نمی دقیق تر رابطه حداری توان همان بالا ($T_1 - T_2$) نوشته باشد.

- مثال: چهار عدد ترموکوپل از نوع کرومل - آلومل به صورت سری با هم بسته شده اند. اتصالات سرد آن در دمای $T_4 = 25°C$, $T_3 = 20°C$, $T_2 = 15°C$, $T_1 = 10°C$ قرار داده شده است. اگر دو سر مدار به یک ولت متر وصل شده باشد، ولت متر چه عددی را نشان می دهد؟



$E = S_{A/B} T_1 + S_{B/A} T_2 + S_{A/B} T_3 + S_{B/A} T_4 \Rightarrow E = S_{A/B} (T_1 - T_2 + T_3 - T_4)$

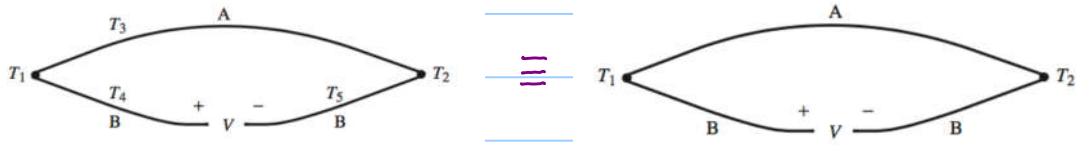
$S_{A/B} = S_{Chromel/Alumel} = S_{Chromel} - S_{Alumel} = 25.5 - (-13.6) = 39.4 \frac{\mu V}{°C}$

$\Rightarrow E = 39.4 (10 - 15 + 20 - 25) = -394 \mu V = -3.94 mV$

- قوانین مربوط به ترمولوپل در اندازه‌گیری دمای اجسام مورد نظر :

۱) قانون دمای سیم‌های رابط : ولتاژ ترموالکتریک مستقل از دمای سیم‌های رابط بوده و فقط به دمای محل اتصالا

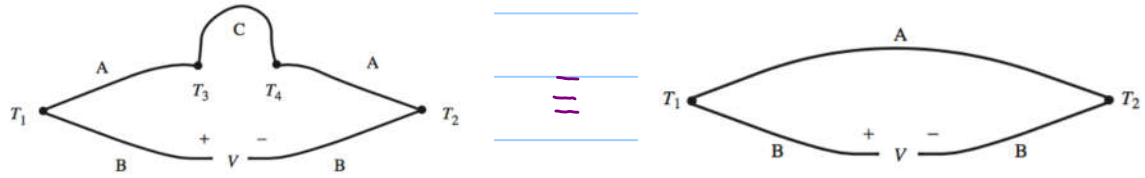
وابسته است. (یعنی محیط‌های ضخیم سیم‌های رابط تاثیری در شرایط مختلف دمای محیطی قرار گیرند)



۲) قانون سیم سوم یدی : درصورتی که فلز سوم C به بخش A یا B اضافه شود به شرطی که اتصالات

جدید دارای دمای یکسانی باشند ، emf تغییر نخواهد کرد. (یعنی استفاده بهره‌برداری از ولت‌سنج بدون ایجاد اتصال به

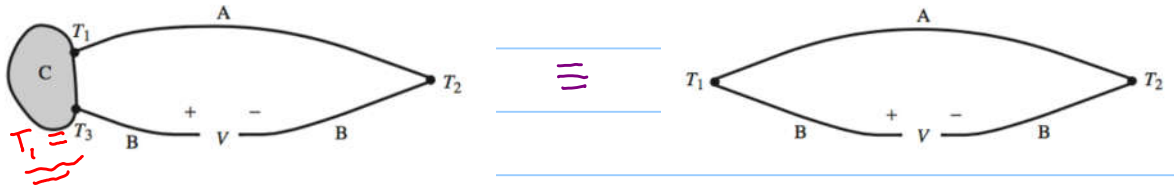
مدار)



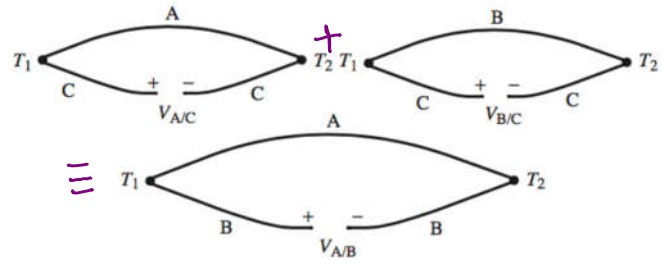
۳) قانون بهره‌گیری از سیم سوم در اتصال : اگر فلز سوم C بین A و B درجوه در اتصال قرار گیرد ، درصورتی که

محل اتصالات AC و BC دارای دمای یکسانی باشند ، تاثیری emf تغییر نمی‌کند. (یعنی سیم‌های A و B

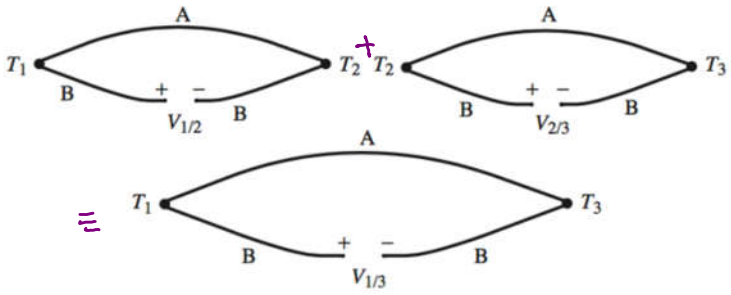
می‌توانند توسط فلز سوم به هم جوش داده شوند. همچنین می‌توان ولتمتر را در محل اتصال مرجع در مدار قرار داد.)



4) قانون مدارات سری : emf دوسر AB در سریالی از emf های AC و CB محاسبه شود.



5) قانون دمای میانی :



$$V_{1/3} = V_{1/2} + V_{2/3}$$

مثال : فرض کنید که می‌خواهیم دمای T_1 را که به یک منبع داخل کوره متصل است با یک ترموکوپل نوع K (کرومل-آلومل) اندازه‌گیری کنیم. اتصال مرجع را در یخ خالص ($T_2 = 0^\circ C$) و اتصال مرجع را در همان کوره ($T_2 = T_1$) قرار می‌دهیم. emf اندازه‌گیری شده از ولت‌متر 5.3 mV می‌باشد. با توجه به جدول ترموکوپل‌های نوع K، دمای T_1 را محاسبه کنید.

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138

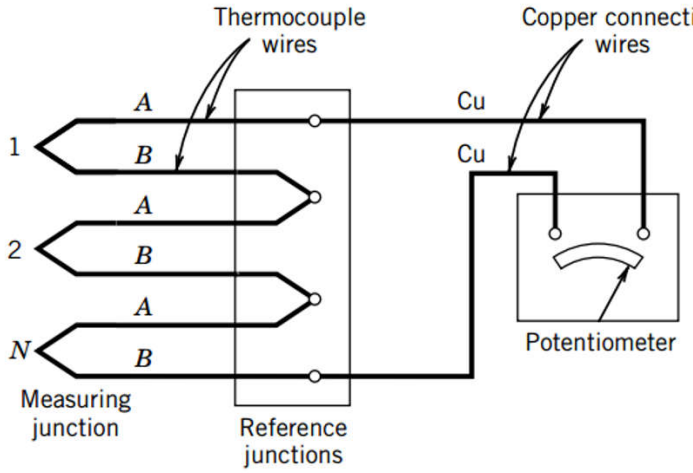
دمای میانی

$E_{T_{2,0}} = E_{20,0} = 0.798$ mV

$E_{T_{1,0}} = 5.3 + 0.798 = 6.098$ mV

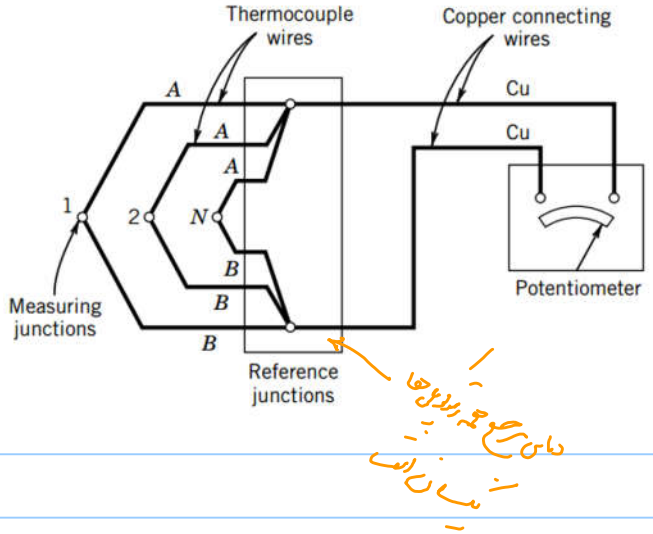
$\Rightarrow$ از جدول : $T_1 = 149^\circ C$

- جهت بالا بردن حساسیت ، می‌توان تعداد زیادی ترموکوپل را به صورت سری به یکدیگر متصل نمود؛ به طوری که تمام اتصالات مرجع در دمای یکسان (مرجع) و اتصالات اندازه‌گیری در دمای یکدیگر ($\equiv$ دمای T_1) به کار روند ← به این ترکیب اصطلاحاً ترموپیل (Thermopile) گفته می‌شود. ← از این حساسیت و دقت عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری دما به خصوص در مطالعات اختلاف کم دمای مورد نظر،



دمای مرجع.

- ترموکوپل های سری: برای اندازه‌گیری میانگین دمای تعدادی نقطه مشخص می‌توان از آرایش سری ترموکوپل‌ها بهره گرفت.



دمای مرجع همه ترموکوپل‌ها نسبت به یکدیگر یکسان است

$$\overline{emf} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(emf)_i$$

$$\overline{T} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(T_i)$$

ب 4 - آی سی های سنسور دما به صورت المنت (I.C. Sensors)

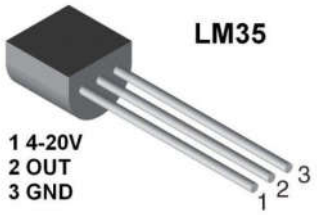
- در این نوع سنسورها، با بهره گیری از مواد نیمه هادی (حساس به حرارت) به ساخت مدارات مجتمع پرداخته شده است که ولتاژ یا جریان متناسب با دمای مطلق (بر حسب کلوین) ایجاد می کند.

- این سنسورها می توانند نسبت به تغییرات دما، عکس العاده حساس عمل کنند.

- نقطه ضعف حسگرهای سنسورهای، با محدوده اندازه گیری دما ($-50^{\circ}C < T < 250^{\circ}C$) می باشد.

- از جمله معروف ترین آی سی های دمایی، سنسور LM35 است که در مدل های کپسوله به صورت (با پایه های $+V$، زمین، V_o) می شود.

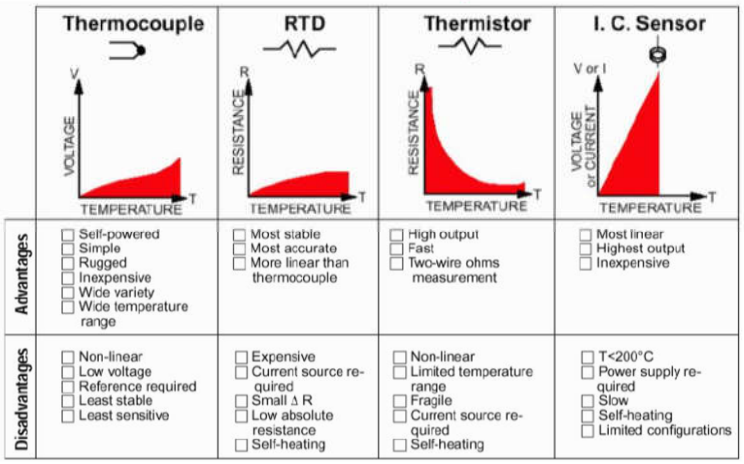
سه خروجی سنسور



AD590

- مقایسه اجمالی سنسورهای دمایی معرفی شده :

Sensor Type	Limits of Application (°C)	Accuracy[1,2]	Dynamics: τ (s)	Advantages	Disadvantages
Thermocouple					
type E: chromel-constantan	-100 to 1000	±1.5 or 0.5% for 0 to 900 °C	see note 3	-good reproducibility -wide range	-minimum span of 40 °C -temperature vs. emf not exactly linear -drift over time -low emf corrupted by noise
type J: iron-constantan	0 to 750	±2.2 or 0.75%			
type K: chromel-nickel	0 to 1250	±2.2 or 0.75%			
type T: copper-constantan	-160 to 400	±1.0 or 1.5% for -160 to 0 °C			
RTD	-200 to 650	0.15 + 0.2|T|	see note 3	-good accuracy -small span possible -linearity	-self-heating -less physically rugged -self-heating error
Thermister	-40 to 150	± 0.10 °C	see note 3	-good accuracy -little drift	-highly nonlinear -only small span -less physically rugged -drift
Bimetallic	-	± 2%	-	-low cost -physically rugged	-local display



- RTD ها در مقایسه با ترموکوپل ها، سنسورهای پایدارتر و دقیق‌تری هستند و برای بازه‌های دمایی گسترده‌تر و در نقاط اندازه‌گیری طولانی‌تری دارند.

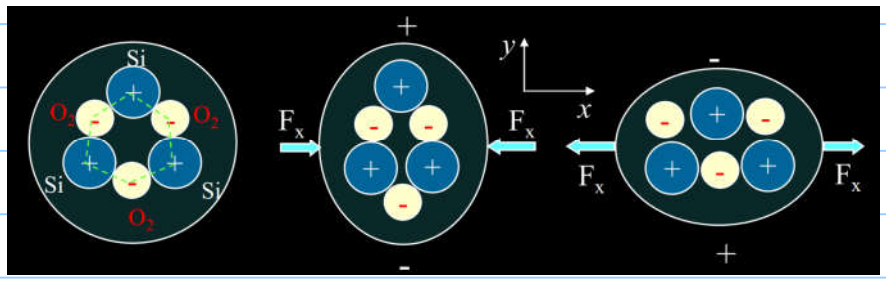
- ترموکوپل ها در مقایسه با دماسنج های جیوه‌ای سرعت پاسخ بالاتری دارند، مقاوم‌تر و محدوده بسیار وسیع‌تری از دما را پوشش می‌دهند.

مواد پیزوالکتریک (Piezoelectric Crystal Sensor)

- مواد پیزوالکتریک: موادی هستند که با اعمال تنش (فشار، کشش، برش) به آن‌ها، بارالکتریکی تولید می‌کنند ← عکس

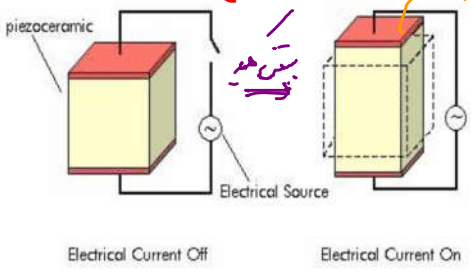
این پدیده نیز برای آن‌ها صادق است: اعمال ولتاژ به آن‌ها سبب ایجاد جابجایی در بلور می‌شود ← مثل دلتا جم

به عنوان سنسور و هم به عنوان عملگر قابل استفاده هستند.

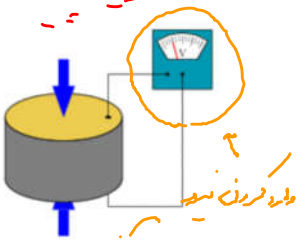


کریستال کوارتز

کریستال پیزو در نقش عملگر (actuator)



کریستال پیزو در نقش سنسور



- پرکاربردترین ماده پیزوالکتریک، کوارتز می‌باشد. با این حال کریستال‌های ضعیف (نظیر نمک راشل، نمک انگلیس)، کریستال‌های ضعیف (نظیر آلومینیوم فسفات) و سرامیک‌های (نظیر تیتانات باریم ($BaTiO_3$)) که پیزوالکتریک سوپر، شامل زیرکونات سرب (که PZT معروف است) و دیگر مواد پیزوالکتریک می‌باشند.

- مواد پیزوالکتریک کاربردهای زیادی در ساخت سنج‌هایی نظیر سنج فشار و نیروسنج، سنسور، میکروفون و اسپیکر و ... دارند.

۴) اندازه‌گیری فشار

- ترنسدیوسرهای فشار، ابزار دقیق هستند که فشار اعمال را از طریق اندازه‌گیری جابجایی، نیرو و یا پیچ سیستم الاستیک

- سنسورهای اندازه‌گیری فشار به دو دسته

۴-۱) ترنسدیوسر فشار بوردن (با بهره‌گیری از ترنسفورماتور تفاضلی)

- فشار داخل مخزن، خفه فشار سمت چپ لوله بوردن

- با ورود لوله بوردن (یک عنصر الاستیک) منبسط و این حرکت موجب جابجایی

- هسته LVDT و ولتاژ در خروجی (V_o) می‌گردد. سیم‌پیچ‌ها به ترتیب کاهش اسپون،

- می‌توان فشار مخزن را با توجه به ولتاژ خروجی اندازه‌گیری نمود.

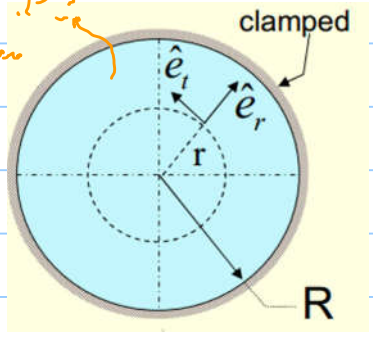
- این ترنسدیوسر برای کاربردهای استاتیکی و شبه استاتیکی مناسب می‌باشد، اما با توجه به جرم‌های لوله، سیال داخل لوله

و هسته ترنسفورماتور تفاضلی، پاسخ فرکانسی را تا ۱۰ Hz محدود می‌کند. ($f \lesssim 10\,Hz$)

۴-۲) ترنسدیوسر فشار دیافراگمی

- در این نوع ترنسدیوسر، از دیافراگم، استوانه‌توخالی به‌عنوان عضو الاستیکی و از نیروی جهت تراکت میدان کرنش

اعمال به دیافراگم و درنتیجه اندازه‌گیری فشار استفاده می‌شود.



دیافراگم، صفحه‌ای با مدول E تحت فشار P

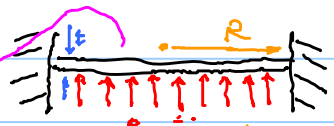
$$\sigma_r = \frac{3}{8}\frac{PR^2}{t^2}\left[(1+\nu)-(3+\nu)\frac{r^2}{R^2}\right] \xrightarrow{\varepsilon_r=\frac{\sigma_r-\nu\sigma_t}{E}} \varepsilon_r = \frac{3}{8}\frac{P(1-\nu^2)}{Et^2}\left(R^2-3r^2\right)$$

$$\sigma_t = \frac{3}{8}\frac{PR^2}{t^2}\left[(1+\nu)-(1+3\nu)\frac{r^2}{R^2}\right] \xrightarrow{\varepsilon_t=\frac{\sigma_t-\nu\sigma_r}{E}} \varepsilon_t = \frac{3}{8}\frac{P(1-\nu^2)}{Et^2}\left(R^2-r^2\right)$$

r : فاصله شعاعی نقطه مورد نظر از مرکز دیافراگم

at $r = 0 \rightarrow \varepsilon_r = \varepsilon_t \ (\varepsilon_{max})$

at $r = R \rightarrow \varepsilon_r < 0 \ , \ \varepsilon_t = 0$

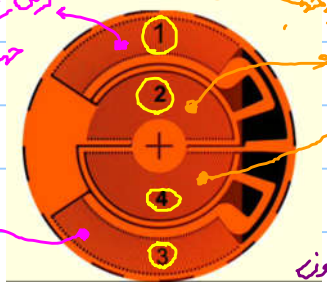


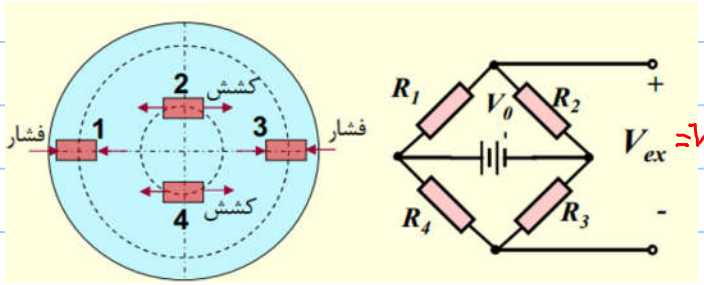
کرنش سنج ها در سطح بالایی مطابق شکل روبرو نصب می شوند :

فشار P ($0 < P < 30$ kpsi)

کرنش سنج های 1 و 3 شعاعی و در جهت کرنش های محیطی

کرنش سنج های 2 و 4 محیطی و در جهت کرنش های شعاعی





آرایش کرنش سنج ها و نحوه قرارگیری روی دیافراگم

کرنش سنج ها توسط کرنش سطح مورد نظر برانگیخته می شوند

$$V_0 \propto \frac{R^2(1-\nu^2)}{Et^2} P$$

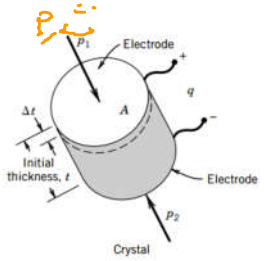
- فرکانس رزونانس ترانسدیوسر فشار از نوع دیافراگم :

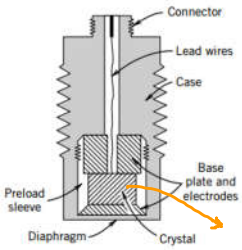
$$\omega_n = 2\pi f_n = 10.21 \frac{t}{R^2} \sqrt{\frac{E_m}{12\rho(1-\nu_p^2)}}$$

ضخامت — شعاع — ضریب پواسون — وزن مخصوص دیافراگم

- از دیگر محدودیت های فرکانسی این نوع ترانسدیوسرها آن است که محدوده توسعی عملکردی آن کمتر از 10 KHz خواهد شد.

3) فشارسنج پیزوالکتریک :





ولتاژ به وجود آمده در اثر پیزو

$$q = C V_0 = k \varepsilon_0 \frac{A}{t} V_0 \quad (1)$$

بار الکتریکی

$$q = S_q \cdot F = S_q \cdot P A \quad (2)$$

کریستال پیزو

حساسیت پیزو به بار

پیزو

$$(1) = (2) \rightarrow V_0 = \left(\frac{S_q}{k\varepsilon_0}\right) t \cdot P \rightarrow \boxed{V_0 = K' \cdot P}$$

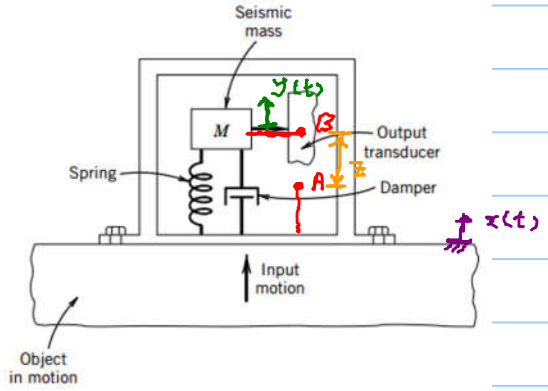
ثابت

حساسیت به ولتاژ کریستال پیزو S_V

با توجه به ولتاژ خروجی ترانسدیوسر پیزو، فشار قابل اندازه گیری است.

۵) ترنسدیوسرهای شتاب و ارتعاشات مکانیکی:

- روند کلی ترنسدیوسرهای شتاب و ارتعاشات مکانیکی، بر اساس قانون دوم نیوتن قابل توصیف است:



$$\Rightarrow \quad m\ddot{y} = -k(y-x) - c(\dot{y}-\dot{x})$$

تعریف می‌کنیم: $z = y - x$

$$\Rightarrow \quad m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = -m\ddot{x}$$

در حالت $x = X\sin\omega t$ باشد:

$$\Rightarrow \quad m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = mX\omega^2 \sin\omega t$$

$$\Rightarrow \quad \underset{\text{steady}}{z(t)} = Z\sin(\omega t - \phi)$$

دامنه اندازه‌گیری $z(t)$

$$Z = \frac{m\omega^2 X}{\sqrt{(k-m\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} = \frac{X\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left(1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(2\xi\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}}$$

- اگر فرکانس طبیعی ترنسدیوسر بزرگ باشد و در نتیجه بتوان فرض کرد $\frac{\omega}{\omega_n} \ll 1$:

$$\frac{1}{\sqrt{\left(1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(2\xi\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \to 1 \quad \Rightarrow \quad Z \simeq X\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 = \frac{1}{\omega_n^2}\underbrace{\left(\omega^2 X\right)}_{\ddot{X}}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\ddot{X} = \omega_n^2 Z}$$

شتاب پایه — فرکانس طبیعی سنسور — جابجایی نسبی

- ترانس با فرض ω_n بزرگ (= ضریب میرایی زیاد و جرم کم) و با اندازه‌گیری جابجایی نسبی z (بین دو نقطه A و B) می‌توان از طریق پتانسیومترهای خطی، دوربین‌های سنجی، LVDT یا پرتال‌های هوشمند، شتاب پایه ($\ddot{x}$) را اندازه‌گیری کرد.