

سنسورهای دما و ترانسدیوسرهای حرارتی

گردآورنده: محمد کاظم محمدی-سروش



برای رشته های:

کنترل و ابزار دقیق ، الکترونیک ، برق و قدرت

زمستان ۱۳۸۹



۴-۱ گرما و دما

کمیت فیزیکی که ما آن را گرما می نامیم یکی از اشکال مختلف انرژی است و مقدار گرما معمولاً برحسب واحد ژول سنجیده میشود. مقدار گرمایی که در یک شی موجود است قابل اندازه گیری نمی باشد اما می توان تغییرات گرمای موجود در یک شی که بر اثر تغییر دما و یا تغییر در حالت فیزیکی (جامد به مایع، مایع به گازف یک شکل کریستالی به شکل کریستالی دیگر) ایجاد میشود اندازه گیری کرد.

بنابراین از این جنبه دما میزان گرما برای ماده است تا وقتی که حالت فیزیکی آن بدون تغییر باقی بماند.

ارتباط بین دما و انرژی گرمایی بسیار شبیه به ارتباط بین سطح ولتاژ و انرژی الکتریکی است.

سنسورهای دمای رایج تماماً وابسته به تغییراتی هستند که همراه با تغییرات دمای ماده به وجود می آید. ترانسیدوسرهای انرژی الکتریکی به انرژی گرمای جریان عبوری از یک هادی استفاده می کنند اما ترانسیدوسرهای گرمایی به انرژی الکتریکی به طور مستقیم این تبدیل را انجام نمی دهند و مطابق با قوانین ترمودینامیک نیازمند تغییرات دمایی برای عمل کردن هستند

بدین گونه که در دمای بالاتر گرما می گیرد و در دمای پایین تر این مقدار گرما را تخلیه می کند.

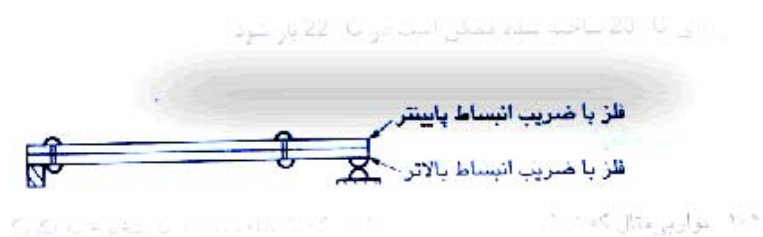
۲-۴ نوار بی متال

آشکارسازی حرارتی در موارد متنوعی مانند آشکار کردن آتش سوزی، گرمایش تا یک حد معین و یا تشخیص عیب در یک سردکننده مورد استفاده قرار می گیرد. ساده ترین نوع سنسور حرارتی از نوع بی متال است که اصول کار آن در شکل به تصویر کشیده شده است. ترکیب فوق شامل دو نوار فلزی از دو جنس مختلف است که با نقطه جوش و یا پرچ کردن در دو نقطه به یکدیگر متصل شده اند. جنس فلز دو نوار به گونه ای انتخاب می شود که ضرایب انبساطی خطی آنها با یکدیگر تفاوت زیادی داشته باشند. مقدار انبساط یا ضریب انبساط خطی عبارت است از خارج قسمت تغییر مقدار طول به تغییر دما و این مقدار برای همه فلزات مقداری است مثبت بدین معنی که با افزایش دما طول نوار افزایش می یابد. مقادیر ضریب انبساط را برای چند نوع فلز بر حسب واحد $k \times 10$ بیان کرده است.

خمیدگی پدیده آمده در نوار بی متال را می توان وسط هر یک از انواع ترانسدیوسرهای جابه جایی که در فصل مورد بررسی قرار گرفت تشخیص

داد اما اغلب اوقات از خود نوار بی متال برای راه اندازی کنتاکتهای یک کلید استفاده می شود و معمولا خود بی متال یک از کنتاکتهای کلید است. نوع رایج نوار بی متال هنوز هم در انواعی از ترموستاتها مورد استفاده قرار می گیرد اگر چه بی متال در آنها به صورت حلزونی پیچیده شده است. این شکل بی متال باعث افزایش حساسیت بی متال می شود چون حساسیت بی متال با طور نوار بستگی مستقیم دارد. در صورتی که محدوده دما و تغییرات آن کم می باشد مقدار انحراف دقیقتا متناسب با تغییر دما خواهد بود.

این نوع ترموستاتها دارای مشخصه نامطلوب هیستریزیس هستند به طوری که به عنوان مثال ترموستاتی که برای مقدار دمای 20c ساخته شده ممکن است در 22c باز شود.



شکل نوار بی متال که تشکیل شده از دو نوار فلزی که با نقطه جوش و یا میخ پرچ به یکدیگر متصل شده اند. معمولاً برای اینکه حساسیت نوار بی متال نسبت به تغییرات دما بیشتر شود آن را با طول بیشتر ساخته و سپس به صورت حلقه ای فنری در می آورند و یا آن را به صورت قرصهای فلزی روی یکدیگر جوش می دهند.

مقادیر انبساط خطی برای چند نوع فلز-مقدار انبساط بایستی در عدد ۱۰ ضرب شوند. به دلیل اینکه دو فلز تشکیل دهنده بی متال دارای مقادیر انبساط مساوی نیستند با تغییر دما همانگونه که در شکل مشخص شده است. نوار بی متال دچار خمیدگی می شود.

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



و مجددا در 18c بسته شود این خاصیت ممکن است باعث نوسان مشخصات قطع و وصل ترموستات و کاهش کارایی ترموستات شود. به عنوان مثال اگر برای کنترل دمای اتاقی از چنین ترموستاتی استفاده شود دما در حد مطلوب کنترل نخواهد شد و ترموستات فقط در حد کلید قطع و وصل عمل خواهد کرد. با استفاده از یک المنت تسریع کننده می توان تا حدودی اثر هیستریزیس را کاهش داد. تسریع کننده در واقع شامل یک مقاومت با مقدار زیاد است که نزدیک بی مثال نصب می شود. اصول کار به این ترتیب است که وقتی کنتاکتهای ترموستات گرم کننده اتاق وصل می شوند جریانی از مقاومت تسریع کننده عبور می کنند به طوری که سرعت گرم شدن ترموستات ترموستات بیشتر از سرعت گرم شدن محیط خواهد بود. برای اطلا بیشتر از مشخصات کنتاکتهای سویچ مطالعه نمایید.

ساختار فوق باعث میشود قبل از آنکه اتاق به دمای مورد نظر برسد ترموستات قطع کند. سپس جریان در مقاومت تسریع کننده قطع می شود و بعد از آن ترموستات سریعتر از اتاق خنک می شود بگونه ای که عمل وصل شدن ترموستات سریعتر از آنچه باید اتفاق می افتد به هر جهت استفاده از تسریع کننده می تواند منجر به رسیدن به درجه حرارت مورد نظر به گونه ای یکنواخت شود. هم اکنون ترموستاتهای حساس تری ساخته شده که به وسیله ترمیستور عمل می کند.

نوارهای بی متال در اشکال فیزیکی متنوعی ساخته می شوند و بخصوص نوع دیسکی آن کاربرد زیاد دارد زمانی که تغییر دمایی رخ می دهد یک دیسک از نوع بی متال به طور ناگهانی قوس دار می شود که باعث می شود بدون هیچ واسطه ای یک تغییر شکل فنری برای صفحه اتفاق بیفتد. این اساس کار سویچهای حرارتی است که برای جلوگیری از افزایش گرمای تجهیزات الکترونیکی مورد استفاده قرار میگیرد. این سویچهای حرارتی را میتوان به خنک کننده های آلومینیمی (هیت سینک) موتورهای کوچک، ترانسفورمرها، کتری و برقی و سایر وسایلی که به نوعی در آنها احتمال گرم شدن بیش از حد وجود دارد و دارای سطحی فلزی هستند چسبانید.

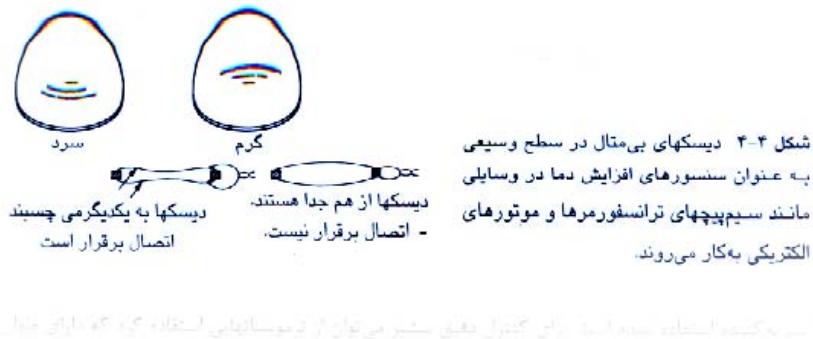
سویچهای حرارتی به دو شکل در حالت عادی از (N.O Normally Open) و در حالت عادی بسته (N.C Normally closed) قابل تهیه می باشند و انتخاب یکی از این دو نوع بستگی به این دارد که آیا سویچ حرارتی بایستی بالا رفتن دما و یا پایین آمدن دما را آشکار کند. سویچهای حرارتی از پیش تنظیم شده دارای نوسان هیستریزیسی در حدود 3-5C از دو طرف نقطه دمایی مورد نظر هستند چون در آنها از

حالت عادی هیستریزیسی در حدود 3-5C از دو طرف نقطه دمایی مورد نظر هستند چون در آنها از



شکل ۳-۴ استفاده از المنت تسریع کننده به همراه ترموستات بی متالی. استفاده از تسریع کننده باعث می شود سرعت افزایش دما در ترموستات بیش از سرعت افزایش دمای محیط باشد و با این ایده تا حدود زیادی مزاحمت هیستریزیس حذف می شود.



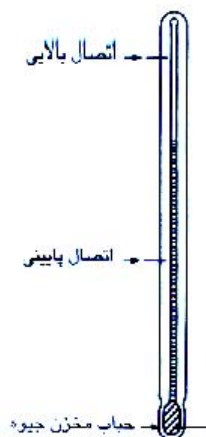


تسریع کننده استفاده نشده است. برای کنترل دقیق بیشتر می‌توان از ترموستاتهای استفاده کرد که دارای طول و طبیعتا هیستریزیس ونوسان از تنظیم در آنها کمتر است.

همه انواع نوارهای بی‌متال با عنصر حساس طویل که در ترموستاتها مورد استفاده قرار می‌گیرد بایستی در فواصل زمانی معینی تنظیم مجدد شوند زیرا نوار بی‌متال همواره در معرض تغییرات تدریجی خزش قرار می‌گیرد و این تغییرات روی تنظیم ترموستات تاثیر می‌گذارد.

۳-۴ انبساط مایع و گاز

اصول قدیمی تر سنجش بر اساس دما انبساط مایعات استوار است و در کلیدهای فشار از اصول کاری دما سنج جیوه ای معمولی استفاده شده است. ساده ترین سنسور از این نوع برگرفته از دماسنج جیوه ای است که درون لوله موبین آن دو الکتروود سیمی جاسازی شده است به دلیل اینکه جیوه فلزی هادی و در دمای معمولی مایع است. زمانی که سطح جیوه به الکترودهایی که مکان آنها بستگی به دمای بالاتر دارد می رسد از طریق الکتروودها مداری الکتریکی ایجاد می شود.



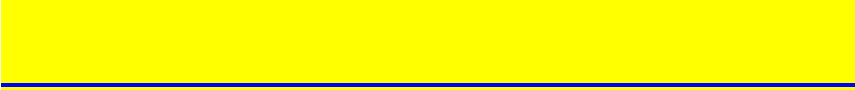
شکل ۴-۵ یک کلید حرارتی که با استفاده از یک دماسنج جیوه ای معمولی و جاسازی الکتروودهای سیمی در لوله شیشه ای دماسنج ساخته شده است.

بدین وسیله میتوان رسیدن به دمای از پیش تعیین شده ای را تشخیص داد اما تنها برای یک عمل سویچ از آن استفاده می شود و راهی برای تغییر دمای سویچ در آنها وجود ندارد. اگر چه میتوان از سطح جیوه برای تغییر فرکانس

یک مدار نوسانی استفاده کرد و بر پایه آن یک سیستم تشخیص دمای تناسبی ایجاد کرد ولی این روش بندرت مورد استفاده قرار می گیرد. سنسورهایی که برای اندازه گیری دما و برای غیر از عمل سویچ مورد استفاده قرار می گیرد عمدتاً از نوع الکترونیکی هستند و از قطعاتی مانند ترموکوپل و ترمیستور در آنها استفاده می شود و از قطعاتی که براساس انبساط مکانیکی کار می کنند و تنها در کارهای قطع و وصل استفاده میشود.

معمولی ترین آنها نوع پیشرفتهای از دماسنج مخزنی است که بسیار هم رایج است و دارای قسمت حساسی است که شامل مخزنی پر از مایع است و توسط یک لوله موئین به کلید فشاری وصل است. لازم نیست مایع درون مخزن حتماً جیوه باشد و امروزه در مواردی از نوعی ترکیبی به عنوان مایع منبسط شونده استفاده می شود.

به دلیل اینکه در مواردی بایستی مخزن مایع در فاصله دورتری قرار گیرد و اتصال الکتریکی هم لازم ندارد می توان از این وسیله برای کاربرد در محیطهای خطرناک استفاده کرد و متناسب با آن نوع مایع را هم انتخاب کرد. طول لوله متصل کننده مخزن به سوئیچ فشاری بایستی تا حدی باشد که حجم مایع اشغال کننده آن تنها بخش کوچکی از حجم کلی مایع باشد. زیرا دمای مایع داخل لوله موئین هم روی فشار تاثیر خواهد داشت.



استفاده از هوا و یا هر گاز بی اثر بی جای مایع باعث افزایش حساسیت و دقت دماسنج می شود ولی سویچ فشاری بایستی بتواند به فشارهای خیلی کمتر از آنچه توسط مایع منبسط شده اعمال می شود پاسخ دهد.

یکی از ضعفهای سیستم فوق به طور کلی بر این است که مخزن حساس بایستی دارای حجم مناسبی از مایع باشد و بنابراین نمی بایستی کوچک باشد. علاوه بر آن به دلیل اینکه این حجم ماده منبسط شونده بایستی همراه با نوسانات دمای محیط گرم و سرد شود برای عمل شدن این تغییرات زمانی مناسبی لازم است و مخازن دماسنجهای نمی توانند سریعا از تغییرات دما پیروی کنند. ضروری نیست سنسور فشار یک قطعه قطع و وصل کننده باشد و با استفاده از یک دیافراگم که به یک پتانسیومتر متصل است و یا ترانسدیوسر پیزوالکتریک و یا LVDT می توان سنسور دمای مایع مخزنی را به یک ابزار دقیق اندازه گیری دما تبدیل کرد ولی در هر صورت این چنین ابزاری کاربردهای زیادی ندارد.



شکل ۴-۶ مخزن مایع و روش اندازه‌گیری سنسور فشار برای تشخیص دما. حجم مایع در لوله موئین بایستی در مقایسه با مایع داخل مخزن قابل صرف نظر کردن باشد.



تئوری

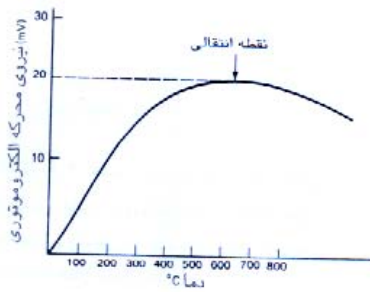
از ترموکوپل همواره به عنوان عنصر حس کننده در سنسور حرارتی و یا سویچ حرارتی استفاده می شود. اصول کاری ترموکوپلذ براساس دو فلز غیرمشابه است که بین آنها نقطه اتصال کوچکی ایجاد شده و با تغییر دمای محیط پتانسیل نقطه اتصال تغییر می کند. پتانسیل نقطه اتصال برای یک نقطه اتصال قابل اندازه گیری نیست اما زمانی که دو نقطه اتصال در یک مدار قرار گیرند به طوری که هر یک از دو نقطه اتصال در دمای متفاوت با دیگری قرار داشته باشد آنگاه ولتاژی در حد چند میلی ولت بین آن دو نقطه ایجاد می شود.

در صورتی که دو نقطه اتصال در محیطی با دمای یکسان قرار داشته باشد ولتاژ مزبور افزایش خواهد یافت تا اینکه به مقدار نهایی ولتاژ برسد. منحنی مشخصه نمونه نشاندهنده این است که ترموکوپل به دلیل رفتار غیرخطی مشخصه و حالت معکوسی که در دماهای بالاتر از دمای نقطه بازگشت برای مشخصه پیش می آید تنها در فاصله دمایی محدودی دارای کاربرد مفید است.



شکل ۷-۴ ساختمان یک ترموکوپل، که در این مثال برای ساخت آن از آلیاژ مس و کنستانتان استفاده شده است.

شکل ۷-۴ ساختمان یک ترموکوپل، که در این مثال برای ساخت آن از آلیاژ مس و کنستانتان استفاده شده است.



شکل ۸-۳ یک مشخصه ترموکوپل، نشاندهنده انحنا و نقطه انتقالی است که در آن مشخصه معکوس می‌شود. تعداد کمی از ترکیبات فلزی وجود دارند (مانند مس / نقره) که دارای نقطه انتقالی نیستند اما دارای خروجی ولتاژ بسیار ضعیفی هستند.

ترموکوپل از اثر سی یک استفاده می‌کنند که از نظر تئوری بیانگر معادله

EMF زیر است:

$$E = a + b\theta + c\theta^2$$

ضریب انبساط	فلز/آلیاژ	ضریب انبساط	فلز/آلیاژ
-3.3	کنستانتین	۰.۴	آلومینیم
1.88	آهن	۰.۷۵	مس
1.2	مولیبدن	۰.۶۵	منگنز
45.0	سیلیکن	۱.۵	نیکل
0.8	تنگستن	۰.۷	نقره

در این معادله c,b,a ثابتهایی هستند که به نوع فلزات به کار رفته در ترموکوپل بستگی دارند و اختلاف دمای بین آنهاست. اگر اتصال نقطه سرد در 0C نگهداشته شود آنگاه معادله EMF خواهد شد.

$$E = aT^2 + \beta T$$

که در آن ثابتهای اندازه گیری شده برای زوج فلزها هستند و T اختلاف دما می باشد. در دمای پایین تر از دمای نقطه انتقالی مقدار a معمولا کوچک است به طوری که EME تقریبا به طور مستقیم متناسب با اختلاف دماست.

- اثر پلای تی یر که بعدا تعریف خواهد شد بر عکس اثر سی بک است و
- اثر کلون خیلی کمتر شناخته شده است و مربوط به EMF تولید شده در یک هادی بدون نقطه اتصال دو فلزی است. در چنین هادی اختلاف دما بین دو قسمت مختلف یک هادی باعث ایجاد EMF در آن می گردد/

وقتی جریان الکتریکی در یک هادی که دو انتهای آن در دو دمای متفاوت نگهداشته می شوند برقرار می شود مقدار گرما از هادی متصاعد می شود که مقدار آن متناسب با حاصلضرب جریان و گرادیان حرارتی است.

• هر مدار عملی شامل یک ترموکوپل دارای بیش از دو نقطه اتصال از فلزات متفاوت خواهد بود و مدارات بایستی بگونه ای طراحی شوند که تنها اتصالات مورد نظر در دماهای متفاوت قرار گیرند.

خروجی یک ترموکوپل دارای دامنه کوچکی است به طوری که برای اختلاف دمای 10°C مقدار خروجی در محدوده چند میلی ولت می باشد و مقادیر نمونه نیروی محرکه الکتروموتوری (EMF) برای چند نمونه فلز و آلیاژ در حالتیکه فلز دوم جفت فلز ترموکوپل پلاتین باشد آورده شده است. مقادیر EMF اختلاف دما برای سه نوع ماده رایج ترموکوپل فهرست شده است. از انواع ترموکوپلهای فوق نوع مس کنستانتان عمدتاً برای محدوده دماهای پایین تر و نوع پلاتین/رادیوم برای دماهای بالاتر مورد استفاده قرار می گیرد. به دلیل اینکه ولتاژ خروجی ترموکوپل پایین است بایستی سیگنال خروجی ترموکوپل تقویت دامنه شود

جدول ۳-۴ جزئیات بیشتری از مشخصات سه نوع مهم ترموکوپل، که نشاندهنده محدوده مفید اختلاف دما و مقادیر EMF برحسب mV است، در شرایطی که انتهای سرد ترموکوپل در دمای 0 °C قرار دارد.

دما (°C)	مس / کستنان	T آهن / کستنان	پلاتین / پلاتین رادیم
-20	-0.75	-1.03	
-10	-0.38	-0.52	
0	0.00	0.00	0.00
10	0.39	0.52	0.05
20	0.79	1.05	0.11
30	1.19	1.58	0.17
40	1.61	2.12	0.23
50	2.04	2.66	0.30
60	2.47	3.20	0.36
70	2.91	3.75	0.43
80	3.36	4.30	0.50
90	3.81	4.85	0.57
100	4.28	5.40	0.64
200	9.28	10.99	1.46
300	14.86	16.57	2.39
400	20.87	22.08	3.40
500		27.59	4.46
600		33.28	5.57
700		39.30	6.74
800		45.71	7.95
900		52.28	9.21
1000		58.23	10.51
1200			13.22
1500			17.46

مگر در مواردی که از ترموکوپل به همراه یک میلی ولت متر حساس برای اندازه گیری دما استفاده می شود، اگر نیاز به این باشد که از خروجی ترموکوپل برای راه اندازی چیزی بیشتر تراز حرکت عقربه استفاده شود در آن صورت لازم است با استفاده از یک تقویت کننده عملیاتی و یا تقویت کننده چاپر آن را تقویت DC کنیم. نوع تقویت کننده ای که لازم است بایستی بدقت انتخاب شود زیرا بایستی دارای پایداری جریان شتتی مطلوبی باشد مگر اینکه امکان تنظیم مجدد تقویت کننده به طور مکرر فراهم باشد. در چنین شرایطی تقویت کننده چاپر برای اغلب موارد ترجیح داده می شود.

در صورتی که لازم باشد یک عمل کلیدی روشن/خاموش انجام شود ترموکوپل بایستی به همراه یک کنترل کننده که از مدار اشمیت تریگر استفاده می کند به کار برده شود زیرا بایستی توسط اشمیت تریگر بایاس نقطه کار به گونه ای میزان شود که بتوان دمای سویچ را از پیش تنظیم کرد.

مدار معمولی دارای خاصیت تقویت کنندگی است. زیرا محدوده هیاهای خروجیهای ترموکوپل قابل مقایسه با پتانسیل های اتصال در مدارات تقویت کننده است. سعی در استفاده از ورودیهای خیلی کوچک برای عمل سویچ همواره به مشکلاتی در مورد هیستریزیس و حساسیت منجر می شود.

امتیاز خاص ترموکوپلها این است که قسمت حس کننده آن خودشان خیلی کوچک است و امکان این هست که ترموکوپلها در فضاهای خیلی کوچک جاسازی شوند و بتوان پاسخ مناسبی را نسبت به تغییرات سریع دما دریافت کرد. طبیعت الکترویکی و روش کار به صورتی است که مدارات لازم برای خواندن خروجی ترموکوپل را می توان در فاصله دورا ز خود سنسور نصب کرد. بایستی توجه داشتکه در هر جا که یک هادی فلز با یک هادی فلزی دیگر تماس داشته باشد اثرات ترموکوپل ظاهر می شود به گونه ای که اختلاف دماهای موجود در مدار چاپی نیز میتوانند باعث تغییر در مقدار ولتاژ خروجی ترموکوپل هایی بشوند که ولتاژشان با آنها قابل مقایسه است. بنابراین شلک

ساختمان تقویت کننده هایی که برای ترموکوپلها استفاده می شوند بسیار مهم است و به نوعی تنظیم صفر نیاز دارند.

کاربرد عملی

ترموکوپلها در صنعت موارد استفاده زیادی دارند به طوری که به عنوان یکی از مهمترین قسمت‌های سنسور های دما به کار می روند. از میان بسیاری از ترکیبات ممکن فلزات برای تشکیل ترموکوپل تنها تعداد کمی از آنها دارای رفتار خطی مناسب و مقاومت قابل توجه در مقابل دمای زیاد هستند.

یادداشتها

نوع S با استفاده از ۹۰٪ پلاتین ۱۰٪ آلیاژ رادیم و پلاتین خالص به عنوان فلز دوم ساخته میشود. نوع R با استفاده از ۸۷٪ پلاتین، ۱۳٪ آلیاژ رادیم و پلاتین خالص به عنوان فلز دوم ساخته میشود. نوع J یا کوپل -کرم-آلومل) با استفاده از آلیاژهای نیکل-کرم و نیکل-الومینیوم ساخته میشود. نوع T یا کوپل مس کنستانتان با استفاده از آلیاژهای مس و مس-نیکل ساخته می شود. نوع E و یا کوپل کرم-کنستانتان با استفاده از آلیاژهای نیکل-کرم و مس-نیکل ساخته می شود.

راجترین انواع ترموکوپلها به همراه حروف کد مربوط به آنها

توضیحات	Mv بازای هر 100c	محدوده دما	فلزات به کار رفته	کد
احتیاج به پوشش سرامیکی دارد	0.645	0-1400c	ptRh/pt	s
احتیاج به پوشش سرامیکی دارد	0.647	0-1400c	PtRh/Pt	
به وسیله اکسیژن واسیدها آسیب می بیند	5.268	0-800c	Fe/CuNi	
با عوامل تجزیه کننده و خورنده تماس نداشته باشد	4.095	0-1100c	NiCr/NiAl	
مورد استفاده در محدوده دمای کم	4.277	+400c تا	Cu/CuNi	
دارای ولتاژ خروجی بیشتر	6.137	-200	NiCr/CuNi	

این موارد شامل دو گروه هستند انواع فلز پایه مانند آهن-کنستانتان و انواع

فلزات مرغوب مانند پلاتین رادیم-پلاتین. ترموکوپلهای از جنس فلز مرغوب این

نامگذاری به دلیل مقاومت آنها در مقابل همه اسیدها شناخته شده است در

دماهای بالتر کاربرد دارند اما ولتاژ خروجی آنها کم است و به منظور

جلوگیری از خرابیناشی از اکسیدشدنی بایستی آنها را روکش کرد.

ترموکوپلهایی که از فلز آهن به عنوان یکی از دو جنس سیم استفاده می کنند

بایستی در مقابل زنگ زدن و به طور کلی هر نوع اکسیداسیون محافظت شوند.

تفاوتهای بین اندازه گیری دما با ترموکوپل و دیگر وسایل اندازه گیری دما

همواره مورد تایید قرار نمی گیرد. اندازه گیری توسط ترموکوپل همواره به

صورت یک اندازه گیری تفاضلی است بدین صورت که اختلاف دمای بین

اتصال سرد با همان اتصال مرجع یادمای اتصال گرم و یا اتصال اندازه گیری را محاسبه می کند. اگر هیچ کدام از فلزات مورد استفاده در ترموکوپل از همان جنس فلز کابل‌های رابط نباشند دو مجموعه اتصال جدید به وجود خواهد آمد.

جداول مورد استفاده برای ترموکوپل از همان جنس فلز کابل‌های رابط نباشند دو مجموعه اتصال جدید به وجود خواهد آمد.

جداول مورد استفاده برای ترموکوپل با این فرض تهیه شده اند که اتصال مرجع همواره د ردمای 0C قرار دارد.

در عرصه صنعت این فرض بندرت واقعیت پیدا می کند و بنابراین برای اینکه داده های فوق کارایی داشته باشد بایستی جبران سازیهایی انجام شود به طوری که قرائت خروجی ترموکوپل براساس دمای حقیقی نقطه مرجع اتصال ترموکوپل صورت بگیرد.

روش معمول جبران سازی اتصال سرد را میتوان در قسمت تقویت کننده/ خروجی ابزار به کاربرد برای تشخیص دما در اتصال ویا اتصالات مرجع از یک سیم پیچ فلزی و یا یک ترمیستور استفاده می شود و خروجی حاصل از این سنسور به منظور تصحیح اثر به یک طبقه جمع کننده داخل ابزار اعمال میشود. این روش براحتی در تجهیزات مجهز به میکروکنترلر توسط یک

جدول تصحیح مقادیر که در یک حافظه ROM نگهداری می شود قابل انجام سات اما در روشهای قدیمی آنالوگ عمل فوق با استفاده از یک طبقه جمع کننده انجام می شد.

بایستی توجه داشت که تصحیح فوق که بایستی اعمال شود با توجه به مشخصات کابلی است که جزو متعلقات ترموکوپل است. تعویض کابل فوق با کابلی از جنس دیگر به عنوان مثال اضافه کردن طول کابل ترموکوپل به وسیله یک کابل مسی باعث میشود عوامل تصحیح در نظر گرفته شده در داخل ابزار اندازه گیری صحت و اعتبار خود را از دست بدهند زیرا اکنون دو اتصال جدید به اتصالات ترموکوپلی اولیه اضافه شده اند.

اگر چه ترموکوپلها برای اندازه گیری دقیق ایده آل نیستند معمولتر این است که اتصال و یا اتصالات مرجع در دمای واحدهای مرجع قرار داده شوند. حالت نقطه ذوب یخ واحد مرجع با استفاده از اتصالات سرد پله تی تر در 0C نگهداشته می شود برعکس اثر ترموکپل و سنسورهای دقیق برای دمای مرجع مانند نوعی فانوسی با استفاده از انبساط حاصل از تغییرات حالت آب به یخ کار می کنند.

روش تجاری تثبیت نقطه مرجع صفر بدین صورت بود که از یک فلاسک خلا که از مخلوط آب و یخ پر شده بود استفاده می شد متنها در اندازه گیری با این

روش اختلافهای زیادی پیش می آمد و احتیاج به دقت اندازه گیری زیادی داشت.

ایراد عمده ای که این روش در بر دارد این است که از درون یخچال خارج می شود غالباً در دمای 15 C و یا کمتر است و آب اطراف آن در حدود دمای 5 C است بنابراین نقطه اتصال مرجع مطمئناً در دمای اشتباه قرار دارد و ضمناً همین دما هم به مقدار قابل توجهی تغییر خواهد کرد.

مخلوط آب و یخ در صورتی مناسب است که آب عاری از مواد معدنی ناخالصی باشد و یخ از آب یکنواختی تشکیل شده باشد یخ به صورت پودر باشد و حالت تکه تکه نداشته باشد یخ به مدت زمان قابل توجهی در تماس با آب بوده و به شکل یکنواختی بهم زده شود و نقطه اتصال مرجع یا یخ تماس نداشته باشد.

سیستم مرجع جعبه داغ از یک بلوک آلومینیومی محکم تشکیل شده که حفره ای در آن دریل کاری شده و اتصال مرجع در آن حفره قرار داده می شود. دمای بلوک ثابت باقی می ماند و معمولاً در دمایی است که به مقدار کافی از دمای محیط بالاتر و در ناحیه دمای $55-65\text{ C}$ قرار دارد. توسط یک گرم کننده دمای بلوک سریعاً تا سطح پایدارش بالا برد می شود و زمانی که دما به سطح کنترل شده رسید گرم کننده خاموش می شود. از این زمان به بعد دما

توسط یک ترمیستور و یک عنصر گرم کننده که در یک حلقه با یک تقویت کننده قرا ردارد کنترل میشود. تجهیزات جنب ترموکوپل بایستی دارای مداراتی باشد که با اضافه کردن ولتاژ کوچکی به خروجی ترموکوپل قرائت ولتاژ حاصل از افزایش دمای نقطه مرجع را تصحیح کند.

روش دیگر که به صورت غیرفعال است. عبارت است که از جاسازی نقطه مرجع در یک بلوک فلزی به صورتی که بلوک فلزی کاملاً عایق کاری شده باشد. در شرایط فوق تغییرات دما فقط با کندی زیاد اجام می شود. سنسور دیگر داخل بلوک به تجهیزات وصل است و سیگنال تصحیح برای دمای اتصال مرجع را تولید می کند.

اتصالات بین ترموکوپل و سیستم قرائت اندازه گیری دارای اهمیت است. زمانی که فاصله بین ترموکوپل و بزار اندازه گیری قابل توجه باشد بایستی از کابل‌های رابط یا جبران سازی برای اتصال این دو استفاده کرد. اختلاف بین این دو در این است که سیم‌هایی که برای طولانی کردن استفاده می شود از همان جنس ماده ای هستند که برای ترموکوپل استفاده شده است و می تواند در همان دماهای مورد استفاده قرار گیرد. کابل‌های جبران سازی از مواد ارزان قیمت استفاده می کند و فقط تا دمای محیط 80C قابل استفاده اند. کابل‌های جبران سازی بایستی با نوع ترموکوپل مورد استفاده تطبیق شده

باشد و هر دو این کابل‌های طولانی کردن و جبران سازی بایستی تا پلاریته مناسب متصل شوند.

کابل‌هایی که با استاندارد انگلیسی (BS1843.1952) تولید می شوند تمام از رمزگذاری‌هایی استفاده می کنند که در آن سیم منفی به رنگ آبی است. اما در کابل‌های US ANSI سیم قرمز برای منفی استفاده می کنند در استانداردهای آلمانی مشخصات DIN سیم قرمز برای قطب مثبت است. در هر حال از رنگ دیگر برای پلاریته مخالف استفاده می شود به دلیل اینکه رنگ‌های سیم‌ها به صورت بین المللی استاندارد نشده اند حتما بایستی نام کشور مبدا سازنده کابل طولانی کردن و کابل جبران سازی و سفارش دهنده کابل‌های مبدا آلمان ممکن است برای فروش در آمریکا ساخته شده باشند و از کدهای ANSI در آنها استفاده باشد.

هر نوع ترموکوپلی که مورد استفاده قرار گرفته باشد بایستی برای جلوگیری از تماس مستقیم مواد ترموکوپلی با فلزات نوب شده گازهای داغ و یا گازها و مایعات ایجاد کننده خوردگی مطابق با کاربرد اتصال اندازه گیری به وسیله غلاف و روکش مناسب پوشیده شوند. در بعضی کاربردها بخصوص در مواردی که لازم است پاسخ سریعی دریافت شود مثلا در مورد اندازه گیری دمای گاز میتوان اتصال اندازه گیری را بدون روکش نصب کرد

اگر چه در صورتی که گاز باعث ایجاد خوردگی شود نمی توان اتصال را خارج از روکش نصب کرد و به جای روش فوق بایستی از نوع روکش عایق استفاده کرد. به طوری که یا کاملاً از نظر الکتریکی عایق باشد و یا از نوع زمین بوده به طوری که اتصال با روکش اتصال کامل داشته باشد. نوع اخیر در مقابل مواد خوردنده دارای حفاظت خوبی است و به طور قابل ملاحظه ای دارای پاسخ سریعی است.

هر دو نوع کابل کاملاً روکش شده بایستی در محیطهای دارای فشار بالا مورد استفاده قرار گیرند. در جدول مواد تشکیل دهنده رایج در ساخت روکش ترموکوپل برای مصارف صنعتی لیست شده است. رایجترین نوع روکش برای اندازه گیری ترموکوپلهای مخصوص حوض فلز مذاب علی الخصوص برای آلیاژهای روی سرب از جنس آلیاژ با ۲۷٪ کرم می باشند. در محیطهایی که با اکسید سولفور سروکار دارند به عنوان مثال گازهای حاصل از سوخت ذغال و یا نفت فولاد زنگ نزن بهتر از آلیاژهای نیکل جواب می دهند و برای روکش ترموکوپلهای از جنس فلزات نجیب بایستی از مواد سرامیکی استفاده کرد.



کدهای رنگی مورد استفاده در کابل‌های رابط طولانی کردن و کابل‌های جبران

سازی در انگلیس و آمریکا و آلمان

کد	انگلیس	امریکا	آلمان
الف: کابل‌های طولانی کردن			
E	بیرونی	ارغوانی	-
	مثبت	ارغوانی	-
	منفی	قرمز	-
	بیرونی	سیاه	آبی
J	مثبت	سفید	سبز
	منفی	قرمز	قرمز
	بیرونی	زرد	سبز
K	مثبت	زرد	قرمز
	منفی	قرمز	سبز
	بیرونی	آبی	قهوه ای



قرمز	آبی	سفید	T مثبت
قهوه ای	قرمز	آبی	منفی
ب: کابل‌های جبران سازی-نوع U برای فلزات نجیب، نوع VX جهت فلزات پایه			
سفید	سبز	سبز	U بیرونی
قرمز	سیاه	سفید	مثبت
سفید	قرمز	آبی	منفی
قرمز	قهوه ای	سفید	VX مثبت
سبز	قرمز	آبی	منفی

۴-۵ سنسورهای مقاومت فلزی (metal-resistance sensors)

تمام هادیهای فلزی دارای این خاصیت هستند که همگام با تغییر دما مقاومت ویژه آنها نیز تغییر می کند.

توضیحات	ماکزیم C	مواد
بستگی به این دارد که ایا تحت نور سرد یا نور گرم قرار گیرد.قابلیت اکسیدشدن دارد.	500-800	فولاد نرم
مورد استفاده در قلع ویا سرب مذاب قابلیت اکسیدشدن دارد.	1000	کرم آهن ۲۷٪
مقاومت زیاد درمقابل اکسیداسیون و خوردگی	800	فولاد زنگ نزن استیل ۱۸/۸
از این ماده نبایستی در محیط حاویاکسیدسولفور استفاده کرد.	1100	اینکوئل (آلیاژ نیکل)
مورد استفاده در روکش بیرونی، مقاوم در مقابل شوک حرارتی. می تواند اکسیده شود.	1500	سیلیکون کاباید
مورد استفاده درفلزات نجیب، دارای مقاومت زیاد در مقابل مواد شیمیایی است	1600-1900	سرامیک آلومینا

واین تغییر در مقاومت ویژه به نوبه خود باعث تغییر در مقاومت هادی

میشود.جدول این مطلب را توضیح داده است.تغییر مقاومت هادی در یک

محدوده وسیع دمایی نسبت به خروجی ترموکوپل خطی تر است.

اگر چه در دماهای بالاتر مشخصه نسبت به خط مستقیم دارای انحراف است.

جدول مقاومت ویژه و تغییر مقاومت با دما

یک سیم با سطح مقطع یکنواخت به مساحت A ، طول S و مقاومت ویژه p

دارای مقاومت R است که با رابط زیر بیان می شود:

$$R = pS/A$$

با افزایش دما به مقدار $\theta^\circ C$ تغییر ذیل روی میدهد:

طول سیم به مقدار $S\alpha\theta$ افزایش می یابد که در آن مقدار انبساط طولی سیم

است. سطح مقطع سیم به مقدار 2ϵ افزایش می یابد که در آن A سطح مقطع

سیم در $0C$ است مقاومت ویژه به مقدار p افزایش می یابد که در آن p مقاوت

ویژه و a ضریب دمای مقاومت ویژه می باشد.

در مورد اغلب فلزات مقدار انبساط از مرتبه $2 \div 10^5 \times K^{-1}$ و ضریب دمای

مقاومت ویژه از مرتبه $4 \times 10^{-3} \times k^{-1}$ می باشد که در حدود ۲۰۰ بار بزرگتر

است. به طوری که تغییرات در ابعاد به مقدار خیلی کمی روی مقاومت تاثیر

می گذارد. لذا می توان از ضریب دمای مقاومت ویژه همانند ضریب دمای

مقاومت استفاده کرد. بنابراین رابطه تغییر مقاومت به صورت زیر خواهد بود:

$$R_\theta = R_0(1 + \alpha\theta)$$

که در رابطه فوق R_θ نشانگر مقاومت در دمای R_0, θ نشانگر مقاومت در

$a, 0^\circ C$ = ضریب دمای مقاومت ویژه θ = اختلاف دما می باشد.

جدول ضرایب دمایی مقاومتی برای چند نوع فلز

ضریب $\times 10^{-3}$	فلز	ضریب ($\times 10^{-3}$)	فلز
4.3	مس	4.2	آلومینیم
6.5	نیکل	6.5	آهن
3.9	نقره	3.4	پلاتین

ولی دست کم اینکه مانند مشخصه ترموکپل دارای خاصیت برگشت پذیری نیست. مقدار انحراف به وسیله اثر مربع و مولفه های قانون مکعب معادله حادث شده است و این اثرات تنها در دماهای بالا مهم هستند و مورد اغلب فلزات اولین ضریب تغییر مقاومت (آلفا) از نظر مقدار به عدد $1/273(0.00366)$ عدد انبساط ویژه طور عمده کنسانتان دارای مقداری در حدود ۱۰٪ مقدار توسط برای فلزات خالص بوده و مقدار فوق برای مانگانیوم حتی از این هم پایین تر است. هر دو ماده فوق از آلیاژهای مس نیکل و منگنز هستند.

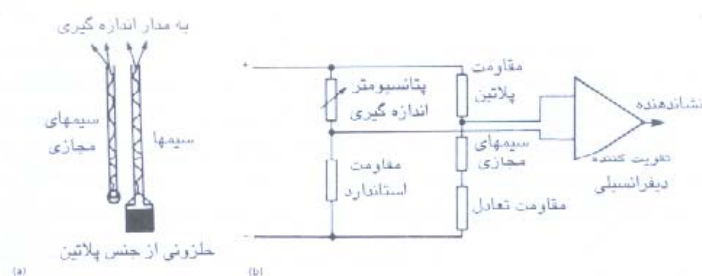
مانگانیوم حتی از این هم پایین تر است. هر دو ماده فوق آلیاژهای مس، نیکل و منگنز هستند.

برای محدوده های دمای نسبتاً کوچک و تا 400°C تغییرات مقاومت نیکل و آلیاژهای نیکل مورد استفاده قرار می گیرد. برای محدوده های دمای بالاتر به

دلیل مقاومت بسیار بالاتر آنها در مقابل اکسیداسیون پلاتین و آلیاژهای آن مناسب تر هستند. برای اهداف اندازه گیری سنسور مقاومت را میتوان به همراه یک مجموعه سیمها که دمای آن هم تغییر می کند به یک پل اندازه گیری وصل کرد.

یک مقاومت پلاتین به این شکل را میتوان به عنوان یک اندازه گیر دما به کاربرد. دماسنج استاندارد آزمایشگاه فیزیک ملی از نوع انبساط گازی است اما این وسیله دماسنجی احتیاج به تنظیم ماهرانه و زمان بردارد. به طوری که ترمومترهای مقاومت پلاتینی که با استاندارد ترمومترگازی کالیبره شده اند به عنوان استاندارد ثانویه در سطح وسیعی استفاده می شود که اغلب به اشتباه نیمه استاندارد خوانده می شود اندازه عنصر حسگر و ظرفیت

شکل ۹-۴ آرایش دماسنج مقاومت پلاتین با استفاده از سیمهای مجازی و استاندارد



شکل ۹-۴ آرایش دماسنج مقاومت پلاتین با استفاده از سیمهای مجازی که به منظور جبران سازی تغییر مقاومت سیمها به وسیله اندازه گیری به کار رفته است: (a) آرایش فیزیکی، (b) مدار الکتریکی.

گرمایی آن باعث می شود پاسخ ترمومتر در مقایسه با دستگاه های از نوع کاملاً الکترونیک مانند ترموکوپلها کندتر باشد.

اگر نیاز به عمل سویچ کردن باشد میتوان از یک مدار پل که به یک ترمومتر مقاومت پلاتین وصل شده استفاه کرد و خروجی این مقدار را به یک مدار از نوع تحریک متصل کرد. از این روش بندرت استفاه می شود زیرا ترمومتر از نوع مقاومتی دارای این مزیت است که پاسخ آن نسبت به انواع دیگر ترمومتر ها خطی تر است و ضمناً عمل سویچ را میتوان با تجهیزات ارزانتری انجام داد.

دماسنج مقاومتی (Resistance thermometer)

دماسنج مقاومت پلاتین در گذشته تنها به عنوان یک استاندارد آزمایشگاهی استفاده می شد ولی پیشرفتهایی که در ساختمان این نوع دماسنجهای و به طور کلی دماسنجهای مقاومتی حاصل شده است منجر به استفاه از این نوع دماسنجهای در زمینه هایی شده است که قبلاً تنها ترموکوپلها در آن زمینه کاربرد داشتند بخصوص بسیاری از فرایندهای صنعتی که زمانی لازم بود

کاملاً کنترل شوند تا تغییرات دما در حدود 10c باشد اکنون بایستی در محدوده تغییرات بسیار کمتری کار کند.

امروزه تاکید بر کنترل کیفیت و یکنواخت بودن محصول نیازمند این است کنترل دما در فرآیند تولید خیلی بیشتر از گذشته مورد توجه قرار گیرد.

اگر چه تعدادی از مواد صنعتی موجودند که دماسنجهای مقاومتری مورد

استفاده قرار می گیرند ولی فلز پلاتین دارای این امتیاز قابل توجه است که می

توان از آن به عنوان ماده ای برای استاندارد بین المللی دما در محدوده 270c

تا 660 استفاده کرد. از نوع آزمایشگاهی دماسنج مقاومت پلاتینی برای کالیبره

کردن دماسنجهای دیگر استفاده می شود اما حجم زیادی از دستگاه اندازه

گیری را به خود اختصاص می دهد. نوع مینیاتوری این دماسنجهای نیز قابل

تهیه است که در آنها دقت مقاومت پلاتین مورد توجه قرار گرفته و در ضمن

جنس پلاتین در مقابل خوردگی محیط کار مقاوم است. اگر چه نیکل و مس هم

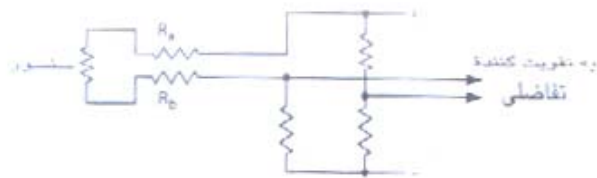
برای موارد خاصی در محدوده های دمای پایین تر ورد استفاده قرار می

گیرد ولی پلاتین دارای این امتیاز است که به صورت کاملاً خالص قابل تهیه

است و در مقابل خوردگی نیز مقاومت زیاد دارد مانند فلزات نجیب و نسبت

دما/مقاومت در مورد این فلز در محدوده وسیعی از دماها کاملاً خطی

است. در ضمن این فلز از نظر الکتریکی و مکانیکی بسیار پایدار است به طوری که انحراف مقدار مقاومت فلز با گذشت زمان دارای مقدار بسیار جزئی است. عوامل دیگری که باعث شده اند استفاده از دماسنجهای مقاومت پلاتین روز افزون شود پیشرفتهای سیستمهای اندازه گیری است که در آنها استانداردهای بالای مبتنی بر سیستم مقاومت پلاتین و کاربری آسانتر مراعات شده است. کابلهای رابط دماسنج مقاومت پلاتین را میتوان از جنس کابل مسی معمولی در نظر گرفت و احتیاجی به کابلهایی رابط جبران سازی نمی باشد. کالیبراسیون دماسنج مقاومت پلاتین تنها یک مرتبه انجام می شود و احتیاجی به جبران سازی اتصال سرد و یا استفاده از روکشهای ترموستاتی برای ایجاد یک اتصال مرجع نمی باشد. قسمت اندازه گیری دماسنج را میتوان ساده تر ساخت و در ضمن ایجاد طبقاتی اضافی به منظور جبران سازی ضرورتی ندارد.



مدار ساده پل وستون که در دماسنج مقاومتی مورد استفاده قرار می گیرد. مقادیر مقاومت کابل‌های Ra, Rb نیز علاوه بر مقاومت سنسور بایستی در اندازه گیری منظور شود.

ساختمان یک دماسنج صنعتی از نوع مقاومت پلاتین به طور کلی مقاومتر و خشن تر از نوع دماسنج سیم پیچ باز است که در یک آزمایشگاه استاندارد مورد استفاده قرار می گیرد. سیم پیچ داخل یک حلزونی و یا تحت شعاع کوچکی پیچیده شده است و در نهایت همه حلزونی داخل یک میله توخالی از جنس آلومینا آب بندی شده است.

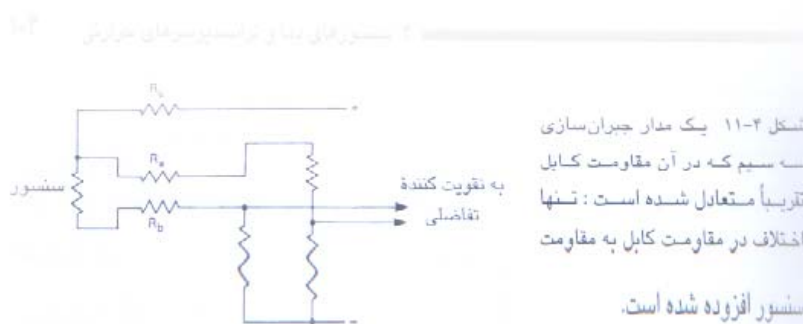
اندازه ابعاد چنین وسیله ای را میتوان تا حد قطر 0.8mm و طول 5mm کوچک در نظر گرفت و با داشتن ابعاد فوق و مشاهده دقیق مقاومت سیم پیچ می توان دقتی تا حدود 0.01% را به دست آورد. نوع دیگری از دماسنج صنعتی وجود دارد که در ساختمان آن از فیلم‌های لایه نازک پلاتین روی مواد سرامیکی استفاده شده است که بر خلاف نوع سیم پیچی شده به صورت تولید انبوه قابل تولید بوده و قیمت آن هم خیلی کمتر تمام میشود.

این نوع دماسنجهای برای بسیاری از مصارف صنعتی مناسب ترند اگر چه بایستی در استفاده از آنها دقت کافی مبذول داشت تا لایه نازک پلاتین در

مقابل گازها و مایع‌ای که در مجاورت آنها قرار گیرد به صورت کاتالیست‌های شیمیایی عمل نکند.

مدار الکتریکی مورد استفاده برای دماسنج مقاومت پلاتین به صورت یک مدار پل است و در بسیاری از موارد کاربرد یک مدایل وستون کافی است. در این نوع مدار مقاومت $R_a + R_b$ مربوط به دو سیم اتصال دهنده نیز اندازه گیری می‌شد اما اگر این مقاومت در مقایسه با سیم پیچ پلاتین قابل چشم پوشی باشد ۱٪ و یا کمتر آنگاه مقدارخطا نیز قابل اغماض خواهد بود در بعضی موارد به هر صورت سیمها دارای طول ذاتی قابل توجهی هستند و نمی‌توان از مقاومت آنها صرف‌نظر کرد و بنابراین باستی از مدارات دیگری استفاده کرد. اگر چه روش جبران سازی کامل که در شکل تصویر شده است که در آن سیم مورد استفاده قرار می‌گیرد به این صورت که دو سیم برای انتقال جریان مورد استفاده قرار گرفته و یک سیم تنها به عنوان سنسور ولتاژ عمل می‌کند. در این مدار مقاومت اضافه شده معادل با تفاضل بین کابل‌های اصلی رابط است و این مقدار مقاومت برای همه سیستم‌های اندازه گیری صنعتی عمل قابل چشم پوشی است. اساس سیستم فوق را می‌توان به یک سیستم چهار سیمه نیز تعمیم داد به طوری که دو رشته کابل جریان مدار پل را تامین کنند و دورشته دیگر به عنوان اتصالات ولتاژ عمل می‌کند.

در تمام کاربردهای دماسنج مقاومتی مقدار جریان مورد استفاده در مدار پل بایستی آنقدر ناچیز باشد که بتوان از خود گرمایی سنسور پایین صرف نظر کرد. این امر باعث تضاد بین حساسیت ودقت می شود زیرا هر چه جریان



یک مدار جبران سازی سه سیم که در آن مقاومت کابل تقریباً متعادل شده است: تنها اختلاف در مقاومت کابل به مقاومت سنسور افزوده شده است.

عبوری از مقاومت کم پلاتین بیشتر باشد ولتاژ اندازه گیری شده بیشتر خواهد بود و بنابراین استفاده از مدار پل آسانتر خواهد بود. با استفاده از تقویت کننده های الکترونیکی که دارای آمپدانس ورودی بسیار زیادی هستند می توان مدارات پل اندازه گیری را به گونه ای طراحی کرد که نه تنها جریان بسیار کمی لازم داشته باشد بلکه حساسیت دستگاه پل نیز در حد مطلوب ثابت باقی بماند. اما اگر بنا شد هد دماسنج مقاومت پلاتین که به پل اندازه

گیری وصل شده تعویض شود بایستی نکاتی را مورد توجه قرار داد تا اطمینان حاصل شود که جریان پل به اندازه کافی پایین بوده و باعث خود گرمایی نمی شود. مقاومت سنسورهای از نوع لایه فیلم از نوع قدیمی سیمی بیشتر است و نوع لایه ای احتیاج به جریانهای کمتری دارد. مقایسه ای بین ترموکوپل و ترموترهای مقاومتی انجام داده و با داشتن اطلاعات این جدول می توان سیستم اندازه گیری دمای مناسب را برای مصارف صنعتی انتخاب کرد.

۴-۶ ترمیستورها

ترمیستورها نوعی از مقاومت های حساس به دما هستند که با استفاده از ترکیبات فلزات سمی ساخته می شوند. روش تولید این مقاومت ها شبیه به روشی است که در مورد مقاومت های ترکیبی کربنی به کار می رود. بعضی از این ترکیبها دارای ضریب حرارتی مثبت هستند اما در اغلب موارد نمی توان مقدار مثبت و یا منفی ضریب حرارتی را تعیین کرد زیرا دارای مقدار ثابتی نیست. ترمیستورهای با ضریب حرارتی مثبت بسیار غیرخطی عمل می کنند اما اغلب ترمیستورهای با ضریب حرارتی منفی از یک رفتار ناهموار لگاریتمی اما با تغییرات آرام در مقدار مقاومت پیروی می کنند.

اگر مقدار مقاومت یک ترمیستور در یک دمای θ_2 داده شده باشد. با استفاده از فرمولی که در جدول داده شده است می توان مقدار مقاومت آن را در دمای دیگر θ_1 تعیین کرد.

استفاده از θ بجای T می تواند یادآور این نکته باشد که در رابطه فوق بایستی واحد مقدار دما برحسب کلوین باشد با اضافه کردن عدد 273+ به دمای برحسب واحد سلسیوس می توان دما را به واحد کلوین و یا دمای مطلق تبدیل کرد. اگر محاسبه دما تا دورقم اعشار مورد نظر باشد آنگاه بایستی از عدد 273.16 استفاده کرد.



جدول مقایسه مزیت‌های نسبی ترموکپلها و دماسنج‌های مقاومت پلاتین

مقاومت پلاتین	ترموکوپل
دقت 0.1 تا 1C	دقت 0.5 تا 5C
محدوده کار 200- تا +650 C	محدوده کار 200- تا +1750 C
ضریب ارزش 2.5	ضریب ارزش ۱
حساسیت در تمام طول ساقه	حساسیت در نوک
پاسخ ۱ تا 50j	پاسخ 50ms تا 5s
دارای اندازه بزرگ است	می تواند خیلی کوچک باشد
-	نیاز به نقطه صفر مرجع دارد
-	می توان برای اندازه گیری دمای سطح استفاده کرد
تحت تاثیر ارتعاش قرار می گیرد	در مقابل ارتعاش مقاوم است
نیاز به منبع تغذیه دارد	نیاز به منبع تغذیه ندارد
جریان بایستی در آن محدود شود	دارای اثر خودگرمایی نیست
دارای پایداری عالی است	در دراز مدت دارای انحراف از مقدار است
می تواند شکستنی هم باشد	بسیار محکم و خشن است
می توان از کابل مسی در آن استفاده کرد	سیمهای مخصوص لازم دارد
خروجی دارای تغییرات 0.4V بر C است	خروجی 10 تا 40 C
می توان آن را بدون غلاف نصب کرد	بایستی داخل غلاف نصب شود

جدول فرمول ترمیستور که مقاومت را به دما ارتباط می دهد

ضریب دمایی یک ترمیستور، مقدار ثابتی نیست اما با تغییرات دما مقدار آن

تغییر می کند. کمیت مفیدتری که تعریف شده است ثابت ترمیستور است که با

B معرفی میشود و در صورتی که دما و مقاومت مربوط به آن دما را داشته

باشیم می توانیم مقدار مقاومت در هر دمای دیگری را تعیین کنیم. رابطه مورد استفاده به شکل زیر است:

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

مقادیر B , برحسب واحد دمایی K کلوین بیان می شوند.

به عنوان مثال اگر مقدار ثابت ترمیستور B معلوم و برابر با $3200K$ باشد و مقدار مقاومت در $30C$ برابر با $2K\Omega$ باشد آنگاه مقدار مقاومت در $45C$ را میتوان به صورت زیر محاسبه کرد:

دو مقدار دما عبارتند از $293K$, $318K$ و بنابراین مقدار عبارت داخل پرانتز برابر است با 0.8586 با استفاده از تابع \exp موجود در ماشین حساب خواهیم داشت $R_2 = 2 \times 2.358 = 4.719 \cong 4.7$

ترمیستورها در اشکال فیزیکی مختلفی مانند تکمه ای، تکمه ای ریز، صفحه ای، میله ای و همین طور محصور در محافظه فلزی ساخته می شود. ترمیستورهای با ضریب دمایی منفی (NTC) به منظور کنترل دما به عنوان مثال در کنترل کردن دمای پایین کوره در ترموستاتهای یخچال سنسور دمای اتاق و کنترل کننده های فرآیندها به کار می روند. محدوده دمایی کار آنها از $150C$ تا $200C$ بوده و بعضی از انواع آنها تا دمای $600C$ را می تواند تحمل کنند. محدوده دمایی که یک ترمیستور می تواند فعال باشد بستگی به

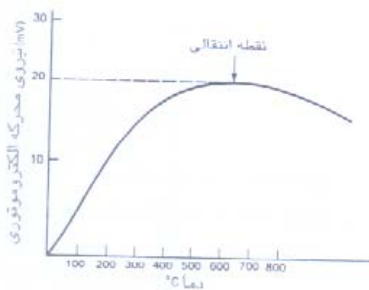
مدارات مربوطه دارد زیرا محدوده مقاومت در مقایسه با محدوده دما خیلی بزرگتر است مشخصه نمونه ترمیستور می تواند فعال باشد بستگی به مدارات مربوط دارد زیرا محدوده مقاومت در مقایسه با محدود دما خیلی بزرگتر است. مشخصه نمونه ترمیستور NTC در شکل نشان داده شده است و همگام با افزایش دما تغییر مقاومت آن دارای رشد منفی است. شکل مشخصه NTC بیشتر به یک تابع نمایی شبیه است تا یک تابع خطی و محدوده مفید دمایی نسبتاً کوچک است.

در هر یک از کاربردها ترمیستورهای NTC نسبت به ترموستاتهای بی متال قدیمی دارای امتیازاتی ویژه است که عمده ترین آن داشتن اثرات پس ماندی است (عمل وصل توسط ترمیستور در دمایی متفاوت بادمای قطع انجام می شود)

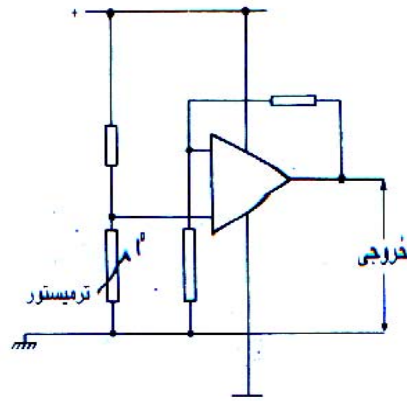
همچنین ترمیستورهای NTC را می توان در محفظه های خلا قرار داده و از آن برای محدودکننده های اسیلاتورها برای تقویت کننده های کنترل شوند با ولتاژ استفاده کرد.

به طور کلی بایستی در مدارات ترمیستور برای تنظیم نقطه کار از پتانسیومتر استفاده کرد اما به کاربردن ترمیستورهایی که منحنی آنها نشاندهنده مقاومتی در محدوده دمایی مورد نظر است می توان از هزینه مدار

کاست. همه انواع ترمیستورها دارای مقادیر ثابت تلفات حرارتی و ثابت زمانی مخصوص به خود هستند. ثابت تلفات مقدار توانی بر حسب میل وات است که لازم است تا دمای ترمیستور را به اندازه $1C$ نسبت به دمای محیط افزایش دهد. در ترمیستور از نوع محفظه خلا ثابت تلفات خیلی کوچک است و در حدود $12W/C$ است به طوری که مقاومت این نوع ترمیستور اساساً تنها توسط مقادیر خیلی کوچک جریان سیگنال تغییر می یابد. به طور نمونه برای ترمیستور حساس به دما مقادیر ثابت تلفات در محدوده $70-500Mw/c$ است.



شکل ۲-۸ یک مشخصه ترموکوپل، نشاندهنده انحنا و نقطه انتقالی است که در آن مشخصه معکوس می شود. تعداد کمی از ترکیبات فلزی وجود دارند (مانند مس / نقره) که دارای نقطه انتقالی نیستند اما دارای خروجی ولتاژ بسیار ضعیفی هستند.



شکل ۴-۱۳ یک مدار تشخیص دهنده دما با استفاده از ترمیستور NTC که در آن از یک تقویت کننده عملیاتی استفاده شده است. حساسیت مدار را می توان با تغییر دادن نسبت فیزیک تقویت کننده، افزایش و یا کاهش داد.

این اثر را می توان با استفاده از یک تقویت کننده عملیاتی با بهره ۱۰۰٪ (۱۰۰٪)



ثابت زمانی برای یک ترمیستور عبارت است از زمان لازم برای اینکه مقاومت ترمیستور به مقدار اولیه و مقدار نهایی ایجاد شده به وسیله تغییر دما تغییر یابد. ثابت زمانی برای شرایطی تعریف می شود که جریان قابل چشم پوشی باشد زیرا در غیر اینصورت عدد تغییر می کرد چون قسمتی از گرما منشا داخلی داشت نه خارجی. ممکن است عدد ۶۳٪ عجیب به نظر بیاید ولی این عدد ناشی از همان تعریف کلی ثابت زمانی مثلا در مورد مقاومت و خازن است. با چنین تعریفی مقدار ثابت زمانی به طور ذاتی در محدوده گسترده ای از تغییرات دما ثابت خواهد بود. برای ترمیستورهای با ابعاد کوچک به طور نمونه ثابتهای زمانی بین ۵ تا ۱۱ ثانیه است نوع تکمه ای مینیاتوری و نوع محفظه خلا و این مقدار برای انواع دیگر خیلی بزرگتر است برای نوع تکمه ای بزرگ بین ۱۸ تا ۲۵ ثانیه و در مورد ترمیستورهایی که داخل پراب حسگر دما نصب شده اند این مقدار بیش از ۱۸۰ ثانیه است.

ترمیستورهای NTC با مواد نیمه هادی قابل ساخت هستند به طوری که مقادیر ضرایب حرارتی آنها خیلی بیشتر مثبت تر از ضرایب حرارتی مقاومتها باشد. عبارت مقاومت برای قطعاتی با مقادیر ضرایب حرارتی کوچک منفی اطلاق می شود و عبارت ترمیستور در مورد قطعاتی که دارای ضرایب حرارتی

منفی بزرگ می باشند و به کار می رود. اغلب ترمیستورهایی که در مدارات حسگر دما به کار می روند از نوع NTC است.

ترمیستورهای PTC

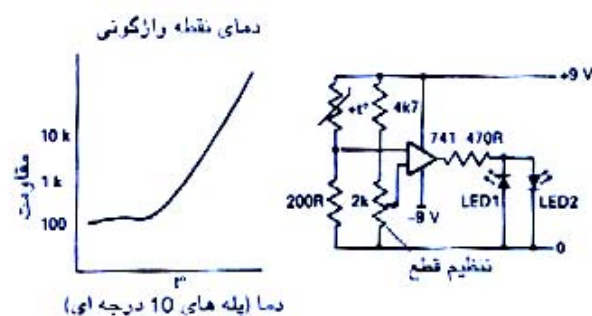
ترمیستورهای با ضریب حرارتی مثبت (PTC) قطعاتی است که همین اواخر ساخته شده اند و عمدتاً در مدارات حفاظتی برای تشخیص دما و یا جریان به کار می روند. بر خلاف نوع NTC ترمیستورهای PTC دارای مشخصه جریان-ولتاژی هستند که در آن تغییر جهت وجود دارد و دو نوع اصلی از آنها استفاده می شود که هر دو نوع وابسته به ترکیبات باریم، سرب و تیتانات استروسنیم هستند مواد سرامیکی. نوع حفاظت اضافه دمای قطعات PTC در یک دمای مرجع و یا دمای نقطه لغزش T دارای یک نقطه انتقال است. در دماهای کمتر از دمای نقطه لغزش مقاومت قطعه PTC کاملاً ثابت است. اما در محدوده دمای نقطه لغزش مشخصه PTC دچار تحول می شود و با افزایش دما مقاومت آنها سریعاً افزایش می یابد. در شکل نمودار گرافیکی نمونه مقاومت نسبت به دما به همراه یک مدار حس کننده واژگونی نشان داده شده است. از تغییر ناگهانی در مقاومت می توان به منظور راه اندازی یک

نشاندنده و یا فعال کردن مدارات دیگری که برای اهداف دیگری مثلا حفاظت موتور الکتریکی و یا خنک کننده ترانسفورمر به کار می روند استفاده کرد.

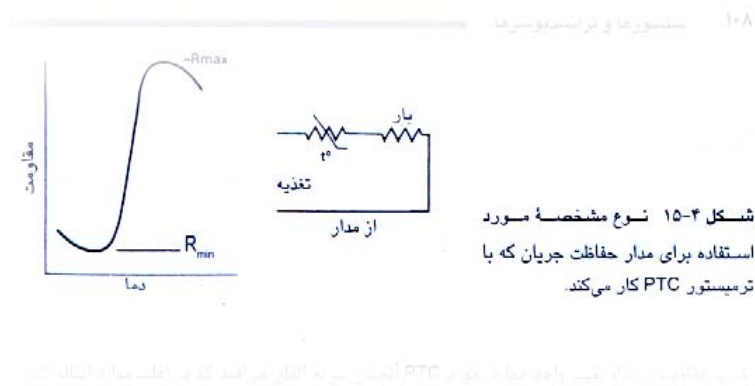
نوع دیگری از قطعه ترمیستور PTC را می توان برای موارد حفاظت از اضافه جریان به کار برد و مشخصه گرافیکی مقاومت به دمای آن در شکل آورده شده است. این منحنی از نظر ظاهری به شکل S بوده و دارای دو نقطه واژگونی است که یکی از آنها در نقطه مقاومت کمینه R_{min} و دیگری در نقطه مقاومت بیشینه R_{max} اتفاق می افتد. بین $c, 0$ R_{min} ضریب حرارتی منفی است و در دماهای واقع در ناحیه بالاتر از R_{max} نیز ضریب حرارتی منفی است. در نقاط واقع در بین R_{min} , R_{max} ضریب حرارتی دارای مقداری بزرگ و مثبت است. در این ناحیه از PTC تغییر مقاومت به ازای هر C دما، ۱۰۰٪ است.

اگر یکی از این قطعات در مدار الکتریکی با بار مصرفی به صورت سری قرار گیرد می تواند بار را از تحمل اضافه جریان حفاظت کند. در محدوده جریان کاری قطعه PTC در وضعیت کم قرار دارد و باعث می شود بیشتر ولتاژ اعمال شده روی دو سر بار بیفتد. هنگامی که جریان افزایش می یابد ترمیستور به طور ناگهانی به وضعیت PTC تغییر حالت می دهد و این تغییر وضعیت به دلیل افزایش افت ولتاژ در دو سر ترمیستور و در نتیجه

خودگرمایی آن است و این پدیده تا زمانی که جریان عبوری از کل مدار خیلی کوچک شود ادامه می یابد. مدار را می توان به گونه ای طراحی کرد که به طور خودکار ری ست شده و پس از آنکه ترمیستور خنک شد به وضعیت نرمال برگردد و یا اینکه با قطع کردن جریان به ترمیستور فرصت خنک شدن داده شود.



شکل ۴-۱۳ مشخصه یک ترمیستور PTC که جهت تشخیص اضافه دما به کار می رود.



شکل ۴-۱۵ نوع مشخصه مورد استفاده برای مدار حفاظت جریان که با ترمیستور PTC کار می کند.

تغییر مقاومت بازا تغییر واحد در مورد PTC آنچنان سریع اتفاق می افتد که در اغلب موارد اضافه کردن قطعات مداری مانند مدارات پل و اشمیت تریگر ضرورتی ندارد. در موارد اندکی از کاربردها PTC به صورت مستقیم مورد استفاده قرار می گیرد ولی معمولا عبور دادن جریان کنترل شده از داخل PTC مطلوب نیست و غالبا ترمیستور در یک مدار سویچ ترانزیستوری و یا مدار تقویت کننده عملیاتی قرار می گیرد. خروجی چنین مداری موکدا خطی نخواهد بود اما حساسیت می تواند افزایش یافته و پاسخ سریع شود. مزیت عمده چنین مداری در این است که عنصر حسگر خیلی کوچک خواهد بود.

بایستی توجه داشت که در صورتی که از تقویت کننده عملیاتی برای تقویت ولتاژ دو سر ترمیستور بخواهیم استفاده کنیم هر نوع ترمیستوری را میتوانیم برای تشخیص وحس کردن اضافه دما به کار بریم. استفاده از ترمیستور PTC دارای این مزیت است که د رانواع زیادی از کاربردهای تشخیص و حسگری می توانند از مداراتی استفاده کرد که احتیاج به تقویت کننده عملیاتی ندارند.

اتصال یک ترمیستور به یک مدار سویچینگ دارای این مزیت است که همانند مقایسه ای که در قطعات نوار بی متال انجام شد می توان آنها را با چیدمانی

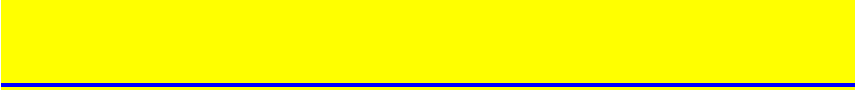
آرایش داد که هیستریزیس حاصل آن صفر باشد و در مواردی بایستی ضرورتاً از این آرایش بدون هیستریزیس استفاده کرد. اما در اغلب مواردی که خواهیم عمل سویچ کردن انجام دهیم برای جلوگیری از عکس العمل سریع آشکار ساز و قطع و وصل کردن غیرضروری در مواردی که جریان هوا به آشکارساز برخورد می کند به مقداری هیستریزیس احتیاج داریم. سیستمهای پیشرفته تر تشخیص و آشکارسازی دمایی که از ترمیستور استفاده می کنند دارای کنترل میکروپروسسوری هستند و نوعی از هیستریزیس زمانی در آنها مورد استفاده قرار می گیرد. خروجی تشخیص مقدار دما که از ترمیستور دریافت می شود و در فواصل زمانی کوتاه کنترل میشود و یک تغییر دما تنها در صورتی ثبت میشود که جهت تغییر دما پیوسته باشد. این روش نسبت به روش معمولی هیستریزیس در موارد تغییرات دما دارای پاسخ سریعتری است اگر چه لازم است فواصل زمانی تشخیص متناسب با نوع کاربرد تنظیم شود. در مواردی که ترانزیستور هم می توان به عنوان عنصر تشخیص دهنده دما استفاده کرد زیرا بسیاری از پارامترهای ترانزیستور از یک تابع نمایی منفی متناسب با دما تبعیت می کنند. خاصیت تقویت کنندگی در ترانزیستور استفاده از حساسیت دما در ولتاژ بیس امیتر به عنوان سیستم تشخیص دما را عملی می کند زیرا خروجی را می توان به صورت تقویت شده از کلکتور دریافت

کرد. به هر صورت استفاده از ترازیسورها به عنوان سنسور دما عمدتاً منحصر به مدارات جبران سازی دمای ترازیسورها و ای سیها می شود.

۴-۷ تشخیص انرژی گرمایی تابشی

انرژی تابشی که می تواند به شکل نور گرما امواج رادیویی و در مواردی به صورت تابش یونیزه باشد احتیاج به آشکار سازی دارد و محدوده وسیعی از طیف الکترومغناطیسی را میتوان به وسیله اثرات دمایی آن تشخیص داد. در فصل گذشته سنسورهای نوری به طور مفصل مورد بررسی قرار گرفتند اما وسیله ای بنام بولومتر وجود دارد که به دلیل رفتار اساساً گرمایی که دارد در این فصل مورد بررسی قرار می گیرد.

اساس کار بولومتر در شکل به تصویر آمده است. یک جسم سیاه تابش حرارتی را به طور کامل جذب می کند و بنابراین زمانی که انرژی تابشی به آن برخورد می کند دمای آن افزایش می یابد. سپس تغییر دما توسط روشهایی که قبلاً گفته شد آشکار سازی میشود. انواع قدیمی بولومترها که در قرن نوزدهم مورد استفاده قرار می گرفتند از نوع فلزی بودند و اثر افزایش دما به دلیل تابش توسط مدارات پل اندازه گیری حساس اشکار می شد. به دلیل اینکه تغییر دمای حاصل از انرژی تابش شده ناچیز بوده و بالطبع آن



تغییر مقاومت کوچکتر است. معمولا بولومترها به مدارات پل متصل می شوند به طوری خروجی حاصل از یک بولومتر که تحت تابش قرار نگرفته با خروجی حاصل از یک بولومتر که کاملا در معرض تابش قرار گرفته مقایسه می شود.

بولومترهای جدید با استفاده از سنسورهای نیمه هادی ساخته می شود و برای اینکه بیشتری مقدار جذب انرژی تابشی را داشته باشند کاملا سیاه هستند.

بازاء هر تغییر کوچکی در دما بیشترین مقدار تغییر مقاومت در ترمیستور ایجاد می شود و این خاصیت باعث شده است که این نوع قطعات برای ساخت بولومتر ایده آل باشند و طبعا چنین بولومترهایی نسبت به انواع قدیمی تر دارای حساسیت آشکارسازی بیشتری هستند. در این نوع کاربرد طبیعت غیرخطی ترمیستور کمتر اهمیت دارد زیرا معمولا تغییرات دما جزئی است.



سنسورهای دما در صنایع مختلف به کار می‌روند. در این بخش به بررسی سنسورهای دما خواهیم پرداخت. این سنسورها معمولاً تغییرات دما جزئی است.



شکل ۴-۱۶ بولومتر از یک سنسور دما تشکیل شده که سطح آن کاملاً سیاه است و در یک محفظه محصور می‌باشد (محفظه ترجیحاً خلأ). تشعشع حرارتی از پنجره عبور کرده و سنسور را گرم می‌کند. سنسور می‌تواند یک ترمیستور و یا یک ترموکوپل باشد.

۴-۸ آشکارسازهای پایروالکتریک (Pyroelectric detectors)

روکشهای پایروالکتریک موادی هستند که وقتی تحت تابش شعاعهای فروسرخ قرار می گیرند صفحات آنها بار دار میشود. در گذشته برای این مورد از لایه های پلاستیکی استفاده می شد اما ماده ای که اکنون برای آشکارسازی فروسرخ غیرفعال PIR مدرن مناسب تشخیص داده شده تانتالات لیتیم است. ساختمان یک آشکارساز مشابه با یک خازن است که یکی از صفحات آن از جنس فلز و صفحه دیگر آن یک ماده پایروالکتریک با صفحه هدایت کننده است. به دلیل اثر فروسرخ در جداسازی بارها روی ماده پایروالکتریک که به اشتباه اما به واقع پلاریزاسیون نیز نامیده میشود همزمان تغییر مقدار تابش فروسرخ ورودی مقدار بار الکتریکی وبالطبع آن ولتاژ بین دو صفحه خازن پایروالکتریک نیز تغییر می کند.

ثابت زمانی دارای مقدار بزرگی است به طوری که سرعت پاسخ به تغییرات در شعاعهای فروسرخ در محدوده 0.2 تا 1HZ است. به هر صورت به دلیل اینکه آشکارساز به شکل یک خازن است. دارای پاسخ از نوع DC نمی باشد به طوری که یک منتشر کننده فروسرخ غیرمتحرک قابل تشخیص و آشکارسازی نخواهد بود.

مضافاً به اینکه خازن دارای آمپدانس خیلی بالایی است به طوری که یک آشکارساز عملی پایروالکترونیک شامل یک خازن به همراه یک ترازیستور مس فت (MOSFET) درون یک محفظه واحد است و اتصالات خروجی از آن به سورس و درین مس فت متصل است. موارد اصلی کاربرد آشکارسازهای پایروالکترونیک در ساخت دزدگیر کلید اتوماتیک روشنایی و تجهیزات دربازکن اتوماتیک و سیستم مکان یابی است.

پارامترهای اصلی آشکارساز پایروالکترونیک عبارت است از قدرت معادل نویز NEP پاسخ دهی و پاسخ فرکانسی

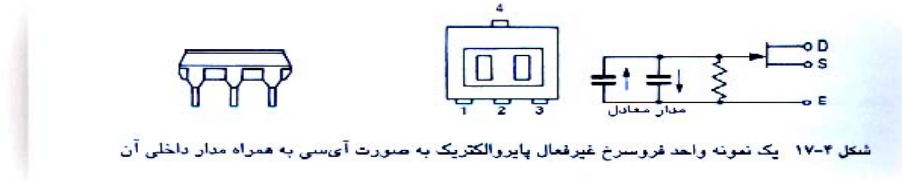
کمیت NEP برای یک انرژی منبع سرعت تغییرسیگنال و عرض بلند بیانگر پایین ترین حدی است که یک آشکارساز می تواند مفید باشد زیرا سیگنالهایی که پایین تر از این حد باشند زیر سطح نویز قرار می گیرند. در مورد یک آشکارساز نمونه برای یک منبع در یک دمای رنگی 500K در فرکانس 10HZ و عرض بلند 1HZ برای ماده پایروالکترونیک تانتالات لیتیم کمیت NEP دارای مقدار 10 W تعیین شده است.

پاسخ دهی را میتوان به صورت ولتاژ و یا جریان خروجی به عنوان ولت بر واحد انرژی تابشی و یا جریان بر واحد انرژی تابشی در یک طول موج مسلط و یا دمای رنگی منبع تعریف کرد. یک عدد نمونه برای پاسخ دهی ولتاژ مقدار

3200V/W است. پاسخ فرکانسی پاسخ دهی به معنای تغییر پاسخ دهی برای فرکانسهای مدولاسیون نه فرکانس تابش شده است و این مطلب همانگونه که در گذشته گفته شد بستگی به عمل یک فیلتر پایین گذر با یک قله کمتر از 1HZ دارد.

شکل یک نمونه واحد فرسرخ غیرفعال PIR را که با استفاده از محفظه سی DIL در ابعاد 8×7.5 با 8 پین ساخته شده نشان میدهد. مدار معادل آن تشکیل شده از دو خازن پایروالکتریک و به گونه ای وصل شده اند که ولتاژهای آنها به یکدیگر اضافه می شود و این ولتاژ جمع شده به گیت یک مس فت که سورس ودرین آن دو پین از محفظه ای سی را تشکیل می دهند اعمال می شود.

یک ولتاژ تغذیه بین 3 تا 15V برای راه اندازی مورد نیاز است و معمولاً ترانزیستور مس فت به شکل سورس فالوور و با یک مقاومت بین 100 تا $200K\Omega$ راه اندازی می شود. ماکزیمم جریان مصرفی $200\mu A$ است. پاسخ



شکل ۴-۱۷ یک نمونه واحد فروسرخ غیرفعال پایروالکترونیک به صورت آی‌سی به همراه مدار داخلی آن

نسبی برای یک فرکانس 0.2Hz دارای مقدار بیشینه است و در فرکانس 0.055Hz , 0.7Hz به 50% مقدار ماکزیمم افت می کند و باعث می شود آی سی نسبت به حرکت انسانها و حیوانات دارای رفتار مناسبی باشد.


این واحد ای سی را میتوان به همراه یک عدسی تراش خودره عدسی فرزنل به کار برد زیرا لازم است تابشهای فروسرخ ارسالی از شی به سطح پایروالکترونیک به صورت متمرکز وبا شدت هر چه بیشتر بتابد و در ضمن باعث می شود هر نوع حرکت شی متحرک با زاویه بیشتری کنترل شده وشعاعهای فروسرخ حاصل از شی متحرک گرم از زاویه دید بزرگتری توسط واحد PIR جاروب شود.

شکل یک مدار نمونه را نشان می دهدکه با استفاده از یک مدار سورس فالوور که توسط یک بار $200\text{K}\Omega$ به مس فت داخل وصل است راه اندازی شده است. خروجی حاصل از آشکارساز در دو طبقه از یک تقویت کننده عملیاتی ۴

واحدی تقویت می شود در شرایطی که بهره ولتاژ کلی در حدود 3200 است و این بهره ولتاژ توسط یک مقاومت متغیر که در مدار فیدبک IC2 قرار دارد قابل کنترل است. خروجی حاصل از IC2 توسط یک مقاومت متغیر $200K\Omega$ به مدار کنترل آستانه متصل است و توسط این مقاومت متغیرولتاژ آستانه ای که در آن ولتاژ سیگنال به ترازیستور خروجی $Tr1$ به منظور تقویت و شکل دهی سیگنال خروجی از آشکارساز هدایت می شود قابل تنظیم است. خروجی مورد نظر یک راه اندازی می کند و در ضمن یک خروجی برای راه اندازی مدار اعلام خطر فراهم می کند. در عمل مدار اعلام خطر در غیر موارد ضروری خاموش می شود اما معمولاً برای اینکه صحت عمل مدار در هر لحظه معلوم باشد LED فعال باقی می ماند.

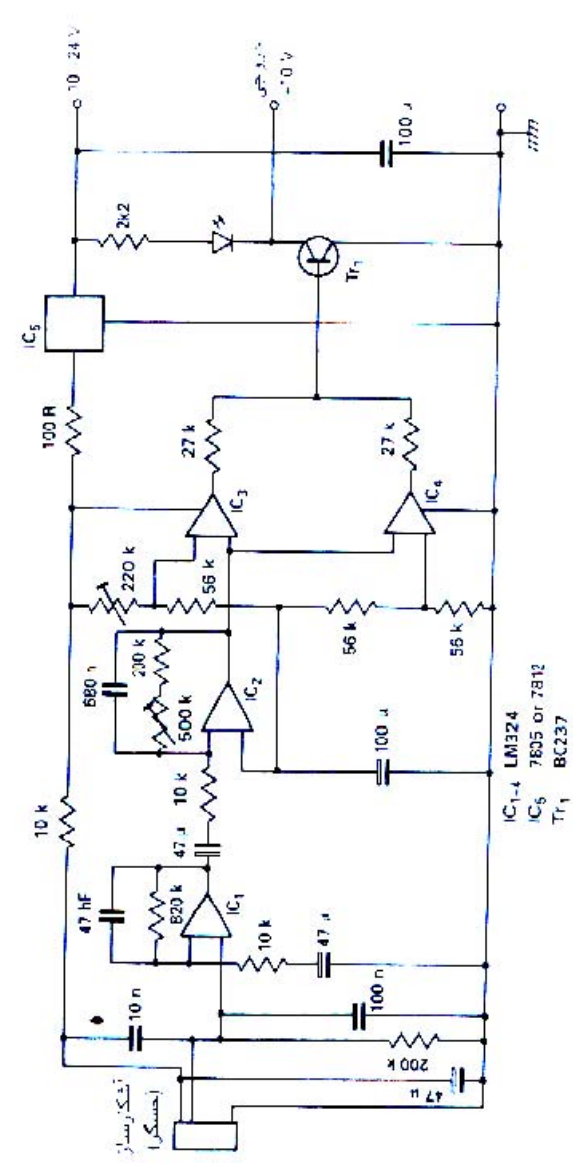
۹-۴ ترانسدیوسرهای حرارتی

المنت حرارتی یک نمونه آشنا از ترانسدیوسر برای تبدیل انرژی الکتریکی به گرمایی است و در اغلب موارد از نوع سیمی و از جنس آلیاژ نیکل ماند نیکرم ساخته می شود. این آلیاژ نیکل، کرم و آهن حتی در موقعی که کاملاً داغ شود دارای مقاومت قابل توجهی در مقابل اکسیدشدن است و مقاومت ویژه آن زیاد است بنابراین بدون احتیاج به سیمهای طولانی نازک برای گنج می توان



مقاومت زیادی به دست آورد. مقدار انرژی انتقال یافته توسط معادله زول
قابل محاسبه است اما سطح دمایی که به وسیله یک جریان تحویل شده ایجاد
می شود.

این مدار یک مدار تشخیص دهنده ولتاژ است که در صورت افت ولتاژ خروجی ترانزیستور، ولتاژ خروجی را به ۰ ولت می‌رساند.



انرژی تلف شده به صورت گرما

$$= VI$$

$$= \frac{V^2}{R}$$

$$= RI^2$$



شکل ۴-۱۹ اتلاف گرما. معادلات ژول (a) تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی را نشان می‌دهند، اما روش سرراستی وجود ندارد که توسط آن بتوان دمای نهایی جسم داغ را به دست آورد. در قسمت (b) یک منحنی نمونه دما برحسب توان تلف شده مربوط به یک مقاومت نشان داده شده است.

کمتر قابل پیش بینی است. یک جسم وقتی به دمای پایدار میرسد که سرعت از دست دادن انرژی در آن برابر با سرعت دریافت انرژی گرمایی باشد سرعت از دست دادن انرژی بستگی به عوامل متعددی از جمله اختلاف دمای جسم با دمای محیط اطراف دارد.

نکته ای که در محاسبات تبدیل انرژی غالباً فراموش می شود این است که مقاومت المنت گرم کننده ثابت باقی نمی ماند. جریان در یک المنت گرم کننده معمولاً به عنوان جریان کاری تعریف می شود و این همان جریانی است که از المنت گرم کننده است.

به عنوان مثال فرض کنید که یک بخاری برقی بایستی با ولتاژ 240V AC و جریان 2 A کار کند. از مطلب فوق این نکته نتیجه می شود که مقاومت المنت بخاری برقی زمانی که گرم است بایستی $120\ \Omega$ باشد. مقدار مقاومت در زما که المنت هنوز سرد است کمتر از این مقدار خواهد بود و اختلاف بین این مقادیر بستگی به اختلاف دمای المنت و محیط اطراف و همچنین جنس المنت دارد. اگر المنت مورد نظر از جنس نیکرم باشد و در 400C کار کند آنگاه مقدار مقاومت آن در دمای اتاق 25C حدود $113\ \Omega$ خواهد بود زیرا ضریب حرارتی نیکرم کوچک است اگر المنت گرم کننده از جنس نیکل خالص ساخته شده بود آنگاه مقدار مقاومت آن در دمای اتاق حدود $47\ \Omega$ می بود و ملاحظه می شود که تغییر قابل ملاحظه ای در مقاومت المنت به وجود آمده است. مبنای این محاسبات را نشان میدهد مقدار تغییرات بخصوص در مورد لامپهای التهابی قابل توجه تر است زیرا تفاوت بین دمای نقطه کار و دمای المنت در حالت سرد دمای محیط اتاق در آنها بیشتر است. در مواردی که می خواهیم مقادیر مقاومت چنین لامپهایی را در محاسبات و تصمیم گیریها وارد کنیم همواره بایستی نکات فوقرا مدنظر قرار دهیم زیرا مقادیر مقاومت سرد در مقایسه با مقاومت گرم بسیار جزیی است هر جسم هادی می تواند به

عنوان ترانسدیور انرژي الکتریکي به انرژي گرمایی به کار رود به طوری که استفاده از اجسام با مقدار منفي ضریب حرارتی نیازمند دقت ویژه اس.

عبور جریان از چنین اجسامی توسط یک منبع ثابت ولتاژ ابتدا باعث گرم شدن جسم شده و گرم شدن جسم به نوبه خود مقدار مقاومت آن را کاهش می دهد.

و بنابراین جریان افزایش می یابد. این فیدبک مثبت میتواند باعث فیوزی شدن و یا قطعی مدار شود مگر اینکه در قسمتی از مدار بتوان مقدار جریان را کنترل کرد قابل توجه ترین مثال در مورد این اثر نیمه هادیها و ترکیب عجیب شیشه است.

اثر پله تی یر که در سال ۱۸۲۲ کشف شد شکل دیگری از عمل ترانسدیوسر الکتریکي به گرمایی است و این اثر بر عکس عمل ترموکوپل سی بک است.

مجددا یک بار دیگر دو اتصال از فلزات غیرمشابه را تهیه کرده و در این حال یک جریان از مدار عبور می دهیم در نتیجه یک اتصال گرم شده و اتصال دیگر سرد میشود. تغییرات دما برای جریان داده شده در مورد اتصالات فلز به فلز ناچیز است اما می تواند برای اتصالات نیمه هادی به فلز به صورت قابل توجهی وجود داشته باشد که این روش مفیدی را برای کنترل دمادر فضاهای کوچک عرضه می کند.

۴-۱۰ ترانسدیوسرهای حرارتی به الکتریکی

تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی حرارتی دارای بازده 100% است اما تبدیل حرارتی به هیچ نوع انرژی دارای راندمان بیشتر از ۵۰% نمی باشد. دلیل این مطلب در قوانین ترمودینامیک خلاصه می شود و بر پایه این اصل قرارداد که مقدار گرمایی که در یک جسم وجود دارد مشخص نیست و هیچ گاه نمی توان تمامی این مقدار گرما را از جسم گرفت. هر تغییری از انرژی گرمایی به شکل دیگری از انرژی بایستی شامل مقداری ورودی انرژی گرمایی باشد که در دمای بالاتر توسط یک مبدل دریافت می شود و مقدار کمتری گرما که در دمای پایینتر به محیط تبدیل می دهد. بنابراین بازده نمی تواند بیشتر از حاصل تقسیم زیر باشد.

که در آن دما برحسب کلوین است و با توجه به این نکته که صفر کلوین منطبق بر نقطه دمای $0237.16C$ - می باشد. از این معادله بر می آید که تنها در صورتی تبدیل به مقدار ۱۰۰% انجام خواهد شد که مبدل گرمای خود را در OK دفع کند که عملاً فرض نادرستی است. علاوه بر آن این معادله بیان می کند که هر قسمت دیگری از عملیات تبدیل با ۱۰۰% کارایی انجام می شود.

فرآیند تبدیل از انرژی گرمایی به انرژی الکتریکی در مقیاس بزرگ به وسیله ورش تولیدبخار انجام می شود و جریان بخار باعث حرکت توربینهای متصل

به ژنراتورها می شود. منبع انرژی گرمایی می تواند فعل و انفعالات هسته باشد. استفاده از روش توربین گازی مستقیم و ژنراتور هزینه بر است و تنها به منظور پشتیبانی نیروگاههای هسته ای و سوخت فسیلی ذغال سنگ از آن استفاده می شود.

یکی از فواید کارایی پایین کل عملیات می تواند قابل دسترس بودن مقادیر زیادی آب با دمای بین ۴۰ تا 60C است و در بعضی کشورها نیروگاههای تولید برق گرمای هدر رفته موجود در این آبها را تحت عنوان CHP ترکیب توان و گرما به فروش می رسانند.

در کشور انگلیس همواره تاکید بر تولید برق سراسری و شبکه توزیع شده است و در چنین شرایطی CHP به هیچوجه عملی نشده است. ایده ساخت یک نیروگاه کوچک هسته ای که الکتریسته و گرمای مورد نیاز یک شهر را بدهد ظاهرا تاکنون پیاده نشده است اما به عنوان یک گزینه اثر گذار بر جلوگیری از سوزاندن نیمی از محتویات سیاره زمین می توانند مورد توجه قرار گیرد.

در مقایسه با راندمان ۴۰ درصدی که از یک نیروگاه خیلی بزرگ و باطراحی عالی ذغال سنگ به دست می آید راندمان تولید الکتریسته از همه دیگر انواع ترانسیدوسرهای حرارتی پایین است. عملی ترین سیستمی که به این روش الکتریسته تولید می کرده استفاده از آرایه ترموکوپلها بوده که از هم بستن

ترموکوپلها ایجاد می شده است. در این روش تولید الکتریسته به یک انتهای ترموکوپل ولتاژ مورد نیاز تهیه می شود. در گذشته بعضی لوازم بدین صورت راه اندازی می شدند و نمونه آن گیرنده رادیویی گازی بود که اگر چه وسیله عامی نبوده ولی تا حدودی قابل استفاده بود مبدل میلنس MILNES یکی از موفق ترین این وسایل اولیه بود و در کارخانه ای واقع در TAY PORT ساخته می شد. اما راندمان نداشتند و حتی پیشرفته ترین محصول کاری دارای کارایی ۱۰٪ نمی باشد. یکی از روشهایی که به منظور تبدیل انرژی خورشیدی تعقیب می شد استفاده از اصل انتشار گرمایی از یک کاتد گرم شده توسط نور کافی شده خورشید بود. در این روش تعداد زیادی از این واحدها به صورت سری به هم وصل می شدند تا ولتاژ مورد نظر به دست آید. اما این روش قابل اعتماد نیست زیرا به نور خورشید وابسته است. با توجه به اینکه نهایتاً در استرالیا پیشنهاد جایگزینی واحدهای گرمایش خورشیدی با بویلرهای سوخت مایع شده است و با عنایت به اینکه اگر چنانچه گرمایش خورشیدی در استرالیا غیراقتصادی است. در کشورهای دیگری که کمتر آفتاب دارند به مراتب غیراقتصادی تر است.