سنسورهای حرارتی

عادل طاهری

کارشناسی برق – قدرت

۸۳۲۵۳۱۱۵

درس کنترل صنعتی

دانشگاه آزاد دزفول

استاد محترم جناب آقای آیتی

پیشگفتار

امروزه با پیشرفت صنعت الکترونیک ، حضور مفید این صنعت در تمامی صنایع کاملا مشهود است ، بطوریکه با پیشرفت صنعت الکترونیک می توان پیشرفت تمام صنایع را بطور چشمگیر ، مشاهده نمود.
در بین قطعات تولیدی در این صنعت قطعه ای وجود دارد که به کنترل سیستمها به صورت اتوماتیک ، کمک فراوانی کرده است که از این قطعه به عنوان حسگر یا نام لاتین آن سنسور می توان نام برد.
سنسورها قطعاتی هستند که در ورودی سیستمهای کنترل اتوماتیک قرار می گیرند و با توجه به کمیت فیزیکی تحت کنترل ، سیگنال ها را به پردازشگر سیستم ارسال می کنند .
در ابتدای ورودی سیستمهای کنترل اتوماتیک ، معمولا از سنسورهای الکتریکی استفاده می شد ، تا اینکه با پیشرفت صنعت الکترونیک و بوجود آمدن مدارهای مجتمع ، نیاز به استفاده از سنسورهای دیجیتال احساس گردید و هم اکنون کارخانجات تولیدی مدارهای مجتمع ، سنسورهای دیجیتالی فراوانی با قابلیت های بالا ساخته اند که می توان به راحتی از آنها استفاده نمود .

مقدمه

یک سنسور وسیله ایست که یک کمیت فیزیکی را آشکار یا اندازه گیری می کند. سنسورها را معمولا براساس نحوه تبدیل آنها ، کمیتی که اندازه گیری می شود ، تکنولوژی بکار رفته در آنها و یا کاربردشان دسته بندی می شوند .

انواع انرژی قابل تشخیص بصورت تابشی ، مکانیکی ، جاذبه ای ، الکتریکی ، حرارتی و مغناطیسی دسته بندی شده اند . اگر تعداد زیادی از اصول عملکرد را که در طراحی سنسورها قابل استفاده هستند در نظر بگیریم (تا این تاریخ حدود ۳۵۰ مورد) ، واضح است که در همه آنها از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند . که در این تحقیق سعی شده به این موارد توجه کافی شود .

سنسورها را می توان بصورت فعال و غیر فعال نیز دسته بندی نمود . یک سنسور فعال (یا خود تولید) سنسوری است که قادر است یک سیگنال را بدون نیاز به منبع تغذیه خارجی تولید کند . سلولهای فتوولتایی ، ترموکوپل ها و وسایل پیزوالکتریک نمونه هایی از این نوع هستند . سنسورهای غیر فعال که بیشتر مرسوم هستند به یک منبع انرژی خارجی که نیاز دارند . این وسایل با مدوله کردن ولتاژ یا جریان یک منبع کار می کنند . دسته دیگری از سنسورهای غیر فعال (که بعضا تغییر دهنده نامیده شده اند) ، از انرژی یکسانی در خروجی و ورودی استفاده می کنند . یک نمونه از این نوع سنسورها دیافراگم است که برای تبدیل فشار یا سرعت نوسان موج صوتی به حرکت یک صفحه جامد بکار می رود.

یکی دیگر از نکاتی را که باید روشن کنیم تفکیک پذیری یک حسگر است . تفکیک پذیری یک سنسور توانایی آنرا برای آشکار سازی تغییری در کمیت مورد تشخیص نشان می دهد و معمولا بر حسب کوچکترین تغییری که قابل آشکار شدن است بیان می شود . در برخی حالات ، تفکیک پذیری مجازا بینهایت است . به این معنی که یک تغییر کوچکی در خروجی الکتریکی می شود و این تغییرات تا حد توانایی ما در اندازه گیری آن قابل تشخیص است . برای سایر سنسورها بخصوص وقتی که از روشهای دیجیتالی استفاده می شود ، یک حد معینی برای اندازه تغییری که می تواند تشخیص داده یا تبدیل شود وجود دارد .

این موضوع مهمی است که توجه کنیم بعضی از روشهای تشخیص مستقیما یک خروجی دیجیتال را فراهم می آورند و بسیاری از خروجیهای دیجیتال از تبدیل کمیتهای آنالوگ بدست می آیند . در نتیجه حدود تفکیک پذیری توسط مدارهای تبدیل آنالوگ به دیجیتال تعیین می شوند . در جایی که انتخابی

در روشهای تشخیص وجود دارد ، روشی که تغییر فرکانس یک نوسان ساز را باعث می شود برتری دارد ، چرا که فرکانس کمیتی است که به راحتی در روشهای دیجیتالی (بدون نیاز به سایر روشهای تبدیل آنالوگ به دیجیتال) قابل استفاده است .

تشخیص هر کمیت همراه با خطاست و خطاها ممکن است ایستا و یا پویا باشند . خطای ایستا نوعی از خطاست که بر اثر مشکلات قرائت مانند انطباق عقربه با صفحه مدرج در اندازه گیری بوجود می آید و باعث می شود که قرائت ظاهری با تغییر موقعیت چشمان ناظر تغییر کند . خطایی دیگر از این نوع ، خطای درون یابی است و وقتی بوجود می آید که عقربه بین دو درجه در صفحه مدرج قرار می گیرد و کاربرد را در یافتن عدد متناظر با عقربه دچار مشکل می کند . وقتی که درجه بندی خطی باشد میزان خطای درون یابی حداقل است . یک مزیت بارز قرائت های دیجیتالی این است که در آن هیچ یک از خطاهای انطباق و درون یابی وجود ندارد اگرچه این موضوع به این معنی نیست که خطاهای متناسب با خطاهای درون یابی وجود ندارد .

خطای پویا نوع یگری از خطاست که بصورت متداول ، تفاوت بین مقدار واقعی کمیت و مقداری است که اندازه گیری می شود و بر اثر بارگذاری خود دستگاه اندازه گیری بوجود می آید . مثال مشهور این حالت ، قرائت ولتاژ اشتباه در دو سر تقسیم کننده ولتاژ با مقاومت بالاست که با ولتمتری با مقاومت ورودی نه چندان زیاد ، اندازه گیری شده است . همه انواع حسگرها اگر فقط برای تشخیص بکار روند دارای خطاهای پویا ، و اگر برای اندازه گیری بکار روند دارای هر دو خطای ایستا و پویا می باشند .

به دلیل پیشرفت میکروپروسسورها ، نسل جدیدی از سنسورها توسعه یافته اند که به سنسورهای هوشمند یا زیرک معروفند . این سیستم از یک سنسور مینیاتوری که با یک پردازنده در یک ویفر تکی قرار داده شده ، استفاده می کند . به عبارت واضح تر این یک سنسور مجتمع است و متمایز از سنسور ترکیبی می باشد که در آن سنسور و پردازنده در یک ویفر تولید تولید نشده بلکه در یک مجموعه ساخته می شوند . مزایای چنین روشهای مجموعه سازی عبارتند از :

- نسبت سیگنال به نویز بهتر
- پاسخ فرکانسی و خطی بودن بهتر
- قابلیت اطمینان بیشتر

در نهایت دو کمیت قابل اندازه گیری را می توان در ارتباط با هر حسگر بیان نمد . این کمیتها عبارت از پاسخگویی و آشکارسازی می باشند . اگر چه این نامها لزوما توسط سازنده وسایل بکار برده نمی روند ولی مقادیر آنها به اشکال مختلف بیان می شوند . پاسخگویی عبارتست از :

" سیگنال خروجی تقسیم بر سیگنال ورودی "

که اگر دو سیگنال بر حسب واحد های قابل مقایسه باشند (برای مثال هر دو بر حسب وات) ، ملاکی برای راندمان تبدیل خواهد بود ولی معمولا دو سیگنال بر حسب وادهای بسیار متفاوتی هستند . آشکارسازی بصورت زیر تعریف شده است :

" S/N سیگنال خروجی تقسیم بر اندازه سیگنال ورودی "

که در آن S/N معنی معمول الکتریکی خود ، یعنی نسبت سیگنال به نویز دارد . اگر اندازه گیری راحت تر شود ، تعریف اخیر را می توان بصورت زیر نیز ارائه کرد :

" پاسخگویی تقسیم بر سیگنال نویز خروجی "

گرما و دما

کمیتی فیزیکی که آن را گرما می نامیم ، یکی از اشکال انرژی بوده و میزان گرما نیز در واحد معمول انرژی ؛ یعنی ، ژول اندازه گیری می شود . میزان گرمای موجود در یک جسم را نمی توان اندازه گیری نمود ، اما تغییرات مقدار گرما را که بر اثر تغییر دما یا تغییر در حالت فیزیکی جسم (جامد به مایع ، مایع به گاز و از شکل کریستالی به شکلهای دیگر) رخ می دهد می توان اندازه گیری نمود . در نتیجه از این نظر دما نشان دهنده سطح گرمایی ماده ای است که حالت فیزیکی آن بدون تغییر باقی مانده است . ارتباط بین دما و انرژی بسیار شبیه به ارتباط بین سطح ولتاژ و انرژی الکتریکی می باشد .

سنسورهای دمایی که ما استفاده می کنیم ، همگی به تغییراتی که بر اثر تغییرات دما در مواد ایجاد می شوند ، وابسته هستند . مبدلهای انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی از اثر جریان عبوری از یک هادی استفاده می کنند ، اما مبدلهای انرژی گرمایی به انرژی الکتریکی به اینصورت دارای رابطه مستقیمی نیستند . طبق قوانین ترمودینامیک ، ما برای انجام کار به اختلاف دما ، گرفتن گرما در یک دمای بالاتر و تخلیه مقداری از گرما در دمای کمتر نیازمندیم .

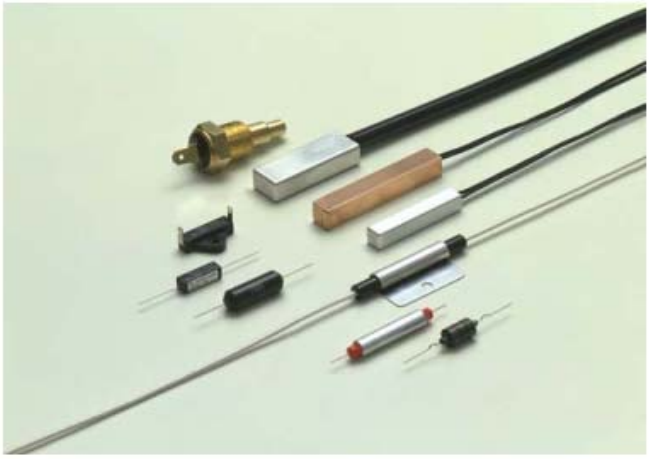
سنسورهای درجه حرارت

درجه حرارت یکی از مهمترین کمیت فیزیکی می باشد . بسیاری از اصول مربوط به اندازه گیری درجه حرارت از مدتها پیش شناخته شده اند ، از قبیل پدیده انبساط مکانیکی ، ترموکوپل ، ترمومتر مقاومت فلزی یا پیرومتر . پیشرفت های حاصل شده در علم مواد در دهه ۱۹۵۰ موارد دیگری را از قبیل مقاومت های با ضریب درجه حرارت مثبت (PTC) یا منفی (NTC) به این فهرست افزود . با پیشرفت های حاصل شده در تکنولوژی نیمه هادی ، سنسورهای درجه حرارت سیلیکانی نیز اهمیت قابل ملاحظه ای را ، هم به عنوان واحد های سنسورهای مجزا و هم به عنوان سنسورهای مجتمع ، هشیار بدست آورند .

در پروسه کنترل، ثبت، اندازه گیری، و نمایش حرارت یک سیستم یا شئ اختلاف بسیاری زیادی بین مفاهیم "سنسور حرارت" و "اندازه گیری حرارت" وجود دارد. یک دماسنج جیوه ای معمولی می تواند به آسانی برای اندازه گیری دمای اتاق، یک مایع و ... مورد استفاده قرار گیرد، در حالیکه از آن نمی توان برای ثبت و کنترل دمای محیط یا شئ مورد اندازه گیری استفاده نمود. متقابل یک سنسور

گرما نمی تواند برای نشان دادن دمای محیطی که در آن قرار گرفته شده است بتنهایی مورد استفاده قرار گیرد. سنسورهای حرارت را میتوان بطور کلی به دو گروه تماسی و غیر تماسی تقسیم کرد.

سنسور تماسی یا Sensor Contact برای اندازه گیری دمای محیط در واقع دمای خودش را را اندازه گیری می کند. با تماس این سنسور به شئ تحت کنترل یا قرار گرفتن آن در محیط تحت اندازه گیری، تعادل گرمایی بین سنسور و محیط ایجاد میشود. در این حالت جریان گرما یا Heat Flow بین محیط و سنسور وجود ندارد..



انواع سنسور حرارتی نیمه هادی

در سنسورهای حرارتی غیر تماسی آنچه سنجیده می شود توان حرارتی مادون قرمز یا نوری متصاعد شده ای است که از یک سطح (یا جسم) با مساحت (یا حجم) مشخص یا قابل محاسبه دریافت می گردد.

علاوه بر این، روشهای پیشرفته ترموگرافی با تصویر برداری از اجسام و تجزیه و تحلیل تصاویر دریافتی که قادر به اندازه گیری دقیق دمای اجزای مختلف جسم است نیز در زمره سنسورهای حرارتی غیر تماسی قرار میگیرد.

سنسورهای حرارتی تماسی تنوع و فراوانی بسیار بیشتری نسبت به نوع غیر تماسی دارند. این سنسورها شامل: انواع ترموکوپلها TC، مقاومتهای RTD و PRT، ترمیستورها، بی متالها، ترمومترهای

شیشه ای، ترمو ولها، و انواع نیمه هادی شامل دیود، ترانزیستور و آی سی های اندازه گیری و کنترل دما هستند.

علاوه بر موارد فوق می توان به میکرو ترموفیوزها و محافظهای حرارتی نیمه هادی نیز اشاره کرد. یک قطع کننده حرارتی از نوع ترموفیوز در بسیاری از مدارهای مجتمع مدرن، مادربوردها، و سیستمهای پیشرفته الکترونیکی باعث بالاتر رفتن حفاظت چیپها، CPU ها و سایر اجزای گران قیمت آنها در برابر دمای بالا میشود.

سنسورهای حرارتی فیلم ضخیم، MEMS Thermo یا سنسورهای میکروالکترومکانیکی حرارتی، و سنسورهای حرارتی پسیو موج سطحی Surface Acoustic Waveیا بطور اختصار SAW سنسور، نیز از انواع سنسورهای تماسی بوده که امروزه کاربرد وسیعی در اندازه گیری و کنترل دمای پروسه دارند.

ترموسنسورهای غیر تماسی نیز شامل ترمومترهای IR (مادون قرمز) و لیزری، تصویربرداری حرارتی و انواع طیف سنجهای نوری است. .

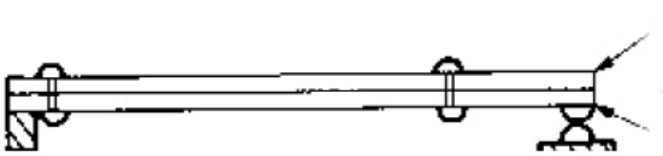
بطور کلی این دسته از سنسورهای حرارتی بر مبنای قابلیت طیف منتشر شده اندازه گیری را صورت می دهند. هرچند هنوز بکارگیری این گروه از سنسورها در صنعت به فراگیری RTDها و ترموکوپلها نرسیده است اما کارآیی غیرقابل انکار آنها وقتی آشکار میشود که استفاده از انواع سنسورهای تماسی در محل مورد اندازه گیری عملاً غیرممکن میشود.

به عنوان مثال در صنایع ریخته گری فولاد، مس وسایر فلزات که با کوره های بزرگ مذاب سر و کار داریم، اگر چه استفاده از ترموکوپل بهمراه کابلهای ارتباطی دمای بالا امکان پذیر است، اما سرویس، نگهداری و تعمیرات چنین سیستم کنترلی عملاً و در شرایط بهره برداری ناممکن می نماید.

نوار بی متال

آشکارسازی حرارت برای مشخص نمودن اثراتی مانند حرارت های بالای آتش ، اضافه حرارت و یا خرابی فریزر اهمیت دارد . ساده ترین نوع حسگر حرارتی نوع بی متال آن می باشد که اصول کار آن در شکل ۱ تشریح شده است . یک نوار مرکب با پرچ کردن یا جوش دادن دو لایه فلز (که طوری انتخاب شده اند که دارای تفاوت زیادی در مقدار انبساط خطی باشند) به یکدیگر ساخته می شود .

انبساط خطی (با نام قدیمی ضریب انبساط) تغییرات جزئی طول بر اثر تغییر در درجه حرارت بوده و برای تمامی فلزات مثبت است . بدین معنی که با افزایش دما نوار مذکور افزایش طول پیدا می کند . جدول ۱ مقادیر انبساط بعضی از فلزات بر حسب ^{۱۰} تقسیم بر کلوین را نشان می دهد.



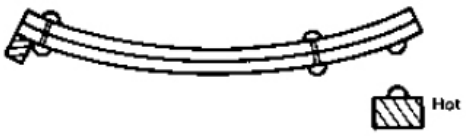
شکل۱ : نوار بی متال متشکل از دو نوار فلزی که بهم جوش خورده یا پرچ شده اند . برای افزایش حساسیت نوار می توان آن را به صورت فنری در آورده و طول آن را افزایش داد یا اینکه دو دیسک را به هم جوش داد تا موقع گرم شدن پیچ بخورند .

این خم شدن بوسیله یک مبدل جابجایی (به صورت یکی از انواع تشریح شده در فصل دوم) قابل تشخیص است . اما اغلب به عنوان تیغه های کلید از آن استفاده می شود و معمولا خود نوار به عنوان یکی از تیغه ها به کار می رود . نوع مرسوم نوار بی متال هم هنوز در برخی از ترموستات ها یافت می شود ، اگرچه در اغلب موارد نوار بصورت یک مارپیچ در آمده است . این کار باعث حساسیت بسیار بیشتری می گردد ، چرا که حساسیت بستگی به طول نوار دارد . زمانی که دامنه تغییرات درجه حرارت کم است ، میزان خمیدگی می تواند به طور نسبتا دقیقی متناسب با تغییرات دما باشد .

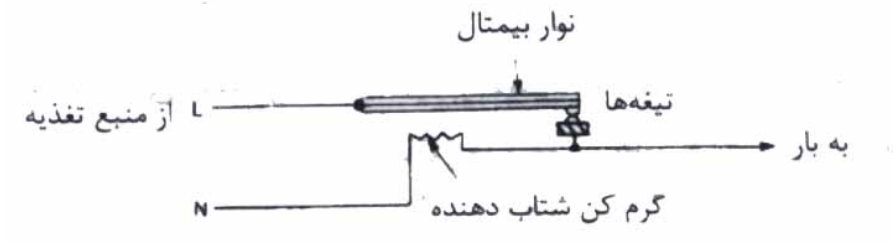
با این وجود ، این نوع ترموستات ها هیسترزیس بزرگ و نامطلوبی دارند . بنابراین برای مثال ترموستاتی که به صورت معمول روی ۲۰ درجه سلسیوس تنظیم شده ممکن است در ۲۲ درجه باز و در ۱۸ درجه مجددا بسته شود . این امر موجب نوسانهای ناخواسته دما خواهد شد که می تواند استفاده از ترموستات را بی اثر کند . برای مثال با یک ترموستات بی متال که برای کنترل دمای اتاق به کار می رود ، تاثیر هیسترزیس شبیه به این است که ساکنین اتاق ترموستات را نادیده گرفته و خودشان رادیاتورها را مستقیما خاموش و یا روشن کنند . یا اینکه از ترموستات فقط به عنوان یک کلید خاموش و روشن استفاده کنند . هیسترزیس ترموستات بی متال ساده را می توان با استفاده از یک شتاب دهنده (شامل یک مقاومت مقدار بالا که زیک ترموستات قرار دارد) کاش داد . اصول کار آن بدین صورت است که وقتی تیغه های ترموستات بسته می شوند تا گرم کننده در اتاق را روشن کنند ، جریان از مقاومت شتاب دهنده عبور کرده (شکل۳) و بنابراین نرخ گرم شدن در داخل ترموستات از محیط بیرون بیشتر می شود .

جدول۱ : مقادیر انبساط خطی برخی از فلزات (مقادیر نشان داده شده را در ۱۰ به توان ۵- ضرب کنید). به دلیل اینکه فلزات به میزان یکسان منبسط نمی شوند ، با تغییر دما نوار خم می شود که این موضوع در شکل ۲ قابل رویت است .

فلز / آلیاژ	انبساط
آلومینیوم	۲.۴
برنز	۱.۹
کنستانتان	۱.۵
فرونیکل	۰.۲
منیزیم	۲.۶
نیکل	۱.۳
نقره	۱.۹
تانتالیوم	۰.۶۵
تنگستن	۰.۴۳
برنج	۱.۲
کرومیوم	۰.۸۵
مس	۱.۶
آهن	۱.۲
منگنین	۱.۶
پلاتینیوم	۰.۹۰
فولاد ضد زنگ	۱.۰
قلع	۲.۷
روی	۲.۶



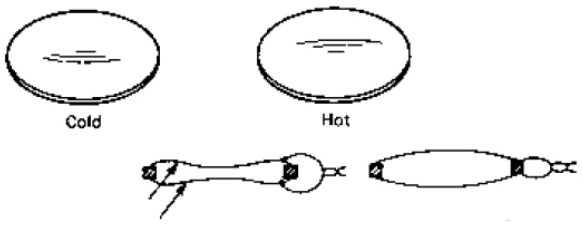
شکل ۲ : اگر یک فلز دارای انبساطی بیشتر از دیگری باشد ، با گرم شدن نوار فلزی که انبساط بیشتری دارد در طرف بیرونی بخشی از دایره خمش قرار می گیرد .



شکل ۳: استفاده از یک شتاب دهنده با یک ترموستات بی متال . شتاب دهنده نرخ افزایش دمای ترموستات را نسبت به دمای محیط پیرامونش افزایش می دهد ، بنابراین هیسترزیس ترموستات تا اندازه ای کاهش می یابد .

این امر باعث می شود هوای داخل ترموستات قبل از اتاق به دمای مورد نظر برسد و ترموستات عمل کند . بعد از آن جریان در مقاومت شتاب دهنده قطع شده و ترموستات بسیار سریع تر از محیط اتاق خنک می شود و بنابراین سریعتر از حالت قبل هم روشن می شود . با این وجود استفاده از شتاب دهنده ممکن است که رسیدن به دمای کار مطلوب در هوای سرد را بسیار کندتر و در هوای گرم بسیار سریع تر نماید . به همین دلیل از وسایل حساس تری در پایه ترمیستورها بجای ترموستات ها استفاده می شود .

نوار بی متال در اشکال فیزیکی مختلفی وجود دارند که یک شکل بسیار مفید آنها نوع دیسکی آن است (شکل۴) . در هنگام تغییر دما ، دیسک بی متال بطور ناگهانی تابیده و یک عمل بسیار سریع بدون هیچ کمکی صورت می گیرد . کلیدهای حرارتی کوچک که برای محافظت از افزایش دما در تجهیزات الکترونیکی استفاده می شوند ، بر خمین اساس کار می کنند . این کلید های حرارتی را می توان به گرماگیرها ، موتورهای کوچک ، ترانسفورماتورها ، کتریها یا سایر عناصری که اضافه حرارت پیدا کرده و یک سطح فلزی دارند متصل نمود .



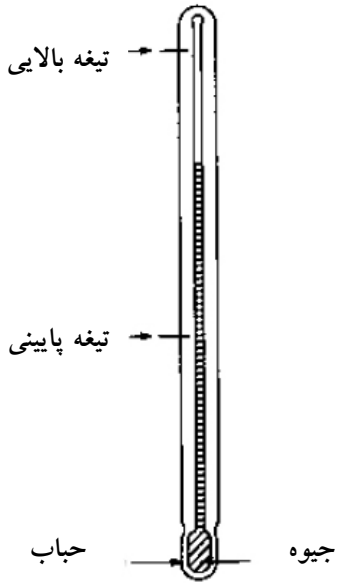
دیسکهای جدا شده اند (بدون اتصال) **دیسکهای تابیده(متصل به هم)**

شکل۴: دیسکهای بی متال که بطور وسیعی به عنوان سنسورهای عناصری با حرارت بالا مثل سیم پیچی ترانسفورماتور ها و موتورهای الکتریکی می شوند .

بسته به اینکه این کلیدها برای تشخیص افزایش یا کاهش دما مورد استفاده قرار گیرند ، در دو حالت " معمولا بسته " یا " معمولا باز" قابل خریداری هستند . به دلیل این که در این کلیدها از شتاب دهنده استفاده نشده ، دارای دمای هیسترزیس حدود ۳ – ۵ درجه سلسیوس در هر طف دمای اسمی از قبل تنظیم شده هستند . واحدهایی که از نوارهای بی متال بلند استفاده می کنند را می توان برای کنترل دقیقتر با هیسترزیس کمتر و دمای قابل تنظیم تهیه نمود . همه انواع ترموستات های بی متال با نوار بلند را باید در دوره های زمانی معین مجددا کالیبره نمود . چرا که نوار جسمی است که دچار تغییرات تدریجی (خزش) شده و بر تنظیم ترموستات اثر می گذلرد .

انبساط گاز و مایع

یک اصل قدیمی که در حس کردن دما به کار رفته ، انبساط مایعی است ه در تماس با یک کلید فشاری قرار دارد و از اصولی مشابه با دماسنج جیوه ای پیروی می کند . ساده ترین سنسور از این نوع مشابه یک دماسنج جیوه ای است با دو الکترود سیمی که در داخل یک فضای مویین قرار داده شده اند (شکل ۵) . از آنجا که جیوه یک فلز رسانا است با رسیدن سطح آن به الکترودی که در بالا قرار دارد مداری بین الکترودها تشکیل می گردد . این روش امکان حس کردن دمایی از پیش تعیین شده را فقط برای یک کار کلیدزنی و بدون امکان تغییر دمایی که در آن کلیدزنی ایجاد می شود فراهم می شازد . مگر این که حسگر دیگری به جای آن جایگزین شود .

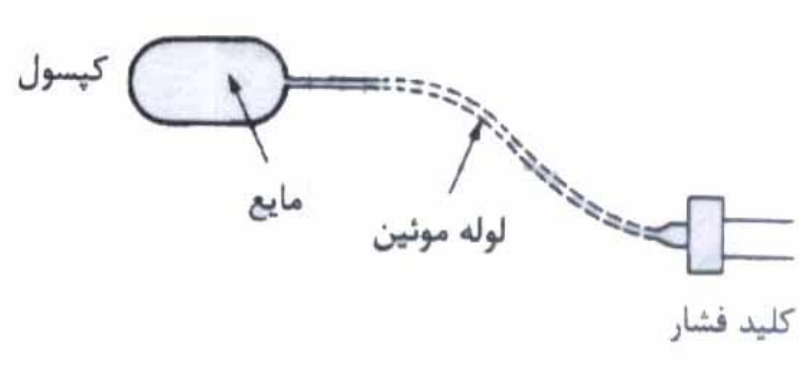


شکل ۵ : یک کلید حرارتی به شکل توسعه یافته یک دماسنج جیوه ای اولیه با استفاده از الکترودهای سیمی که درون یک لوله شیشه ی قرار گرفته اند .

اگرچه می توان از تغییرات سطح جیوه برای تغییر فرکانس یک مدار نوسان ساز استفاده کرد و در نتیجه تشخیصی متناسب با دما را فراهم نمود ، این کار بندرت انجام می شود . اصولا سنسورهایی که برای اندازه گیری دما به کار می روند جزو کلیدها نبوده و از انواع الکترونیکی ترموکوپل ها و ترمیستورها به شمار می روند . وسایل استفاده کننده از انبساط مکانیکی بیشتر در مدارهای کلید زنی مورد توجه هستند . یک نوع بسیار مرسوم نوع توسعه یافته دماسنج حبابی معمولی است . این دماسنج دارای یک المان حسگر (شکل ۶) شامل یک کپسول پر شده از مایع و یک لوله باریک متصل به آن است که آن لوله نیز به کلید فشاری وصل شده است . مایع مورد استفاده لزوما جیوه نبوده و امروزه بیشتر از یک روغن مصنوعی استفاده می شود .

از آنجا که کپسول می تواند در مکانی دور قرار داشته باشد و شامل هیچ نوع اتصالات الکتریکی هم نیست ، این روش اغلب برای استفاده در محیط های خطرناک بسیار مفید بوده و مایع به کار رفته نیز مطابق با کاربرد مورد نظر باید انتخاب شود . طول لوله اتصال دهنده باید چنان باشد که حجم مایعی که در داخل لوله است نسبت به حجم کل مایع ناچیز باشد چرا که دمای مایع داخل لوله هم بر فشار تاثیر خواهد گذاشت . اگر به جای مایه از هوا یا گاز بی اثر استفاده کنیم دستگاه بسیار حساس تر

خواهد شد . ولی در این حالت لازم است که کلید فشاری نسبت به وقتی که مایع منبسط شونده به کار می رود ، قادر به پاسخگویی به فشارهای بسیار پایین نیز می باشد .



شکل ۶ : یک حباب مایع و حسگر فشار برای تشخیص دما . حجم مایع در لوله موئین باید در مقایسه با حجم مایع داخل حباب ناچیز باشد .

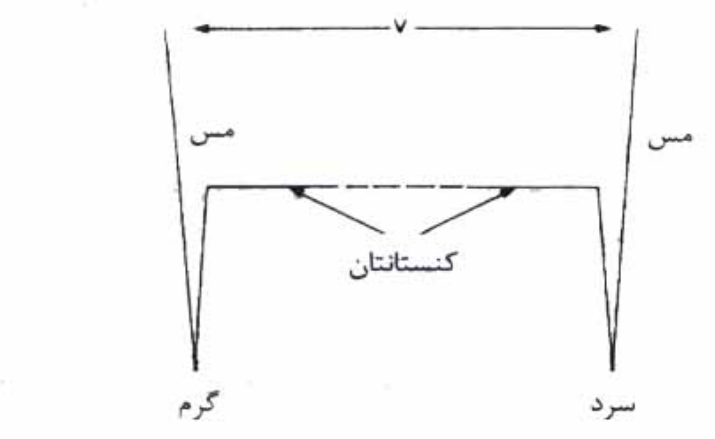
به طور کلی یک عیب این سیستم این است که کپسول حس کننده باید حجم زیادی از مایع را داشته باشد و بنابراین نمی تواند کوچک باشد . علاوه بر این ، چون این حجم از ماده باید برای تعقیب نوسانات دما گرم و سر شود (و این تغییرات زمان بر خواهد بود) این کپسول قادر به دنبال کردن تغییرات سریع دما نیست . حسگر فشار الزاما یک وسیله کلیدزنی نبوده و با استفاده از یک دیافراگم متصل شده به یک پتانسیومتر ، LVDT یا مبدل پیزوالکتریک از نوع مایع یا حباب حسگر دما ، یک ابزار اندازه گیری نسبتا دقیق ساخته می شود . اگرچه این ترکیب کاربردهای کمی دارد .

ترموکوپل ها

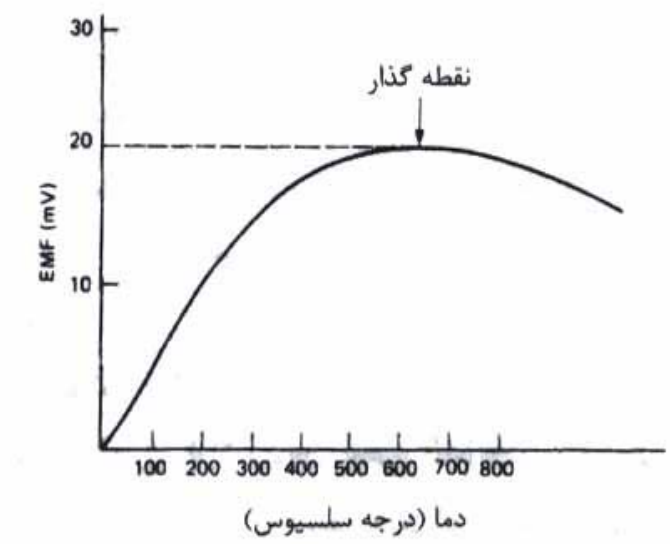
تئوری :

معمولا از ترموکوپل به عنوان یک المان حس کننده در یک حسگر یا کلید حرارتی استفاده می شود . اساس کار آن بدین صورت است که دو فلز غیر مشابه همیشه دارای یک پتانسیل تماسی (کوچک) بین خودشان هستند و این پتانسیل تماسی با تغییر دما تغییر می کند . پتانسیل تماسی برای یک اتصال (و یا پیوند) تکی قابل اندازه گیری نیست . ولی وقتی که دو اتصال در دماهای مختلف در یک مدار داشته باشیم ولتاژی در حد چند میلی ولت بین آنها قابل تشخیص است (شکل ۷) . اگر هر دو اتصال

همدما باشند ، این ولتاژ صفر شده و افزایش دمای یک اتصال نسبت به دیگری ، ولتاژ افزایش خواهد یافت تا این که به یک حد نهایی برسد . یک نوع نمودار مشخصه ترموکوپل در شکل ۸ نشان داده شده است . از این شکل مشخص است که به دلیل نمودار غیر خطی و نیز معکوس شدن رابطه در دمای بالاتر از نقطه حداکثر ، ترموکوپل در محدود مشخصی از دما قابل استفاده است .



شکل ۷ : ساخت یک ترموکوپل ، در این مثال از آلیاژ مس و کنستانتان استفاده شده است .



شکل ۸ : مشخصه یک ترموکوپل ، که منحنی نوعی و نقطه گذرا را (که در آن مشخصه معکوس می گردد) نشان می دهد . ترکیبات معدودی از فلزات (مثل نقره / مس) نقطه گذرا ندارند اما خروجی بسیار کمی دارند .

ترموکوپل از اثر سیبک استفاده می کند که این تئوری منجر به معادله زیر برای emf گردیده است :

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

که c , b, a پابت هایی هستند که به نوع فلز ترموکوپل بستگی دارند و θ اختلاف دمای بین دو فلز است . اگر اتصال سرد در دمای صفر درجه نگهداری شود معادله emf به صورت زیر تغییر می کند :

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

که α وβ ثابت هایی اندازه گیری شده برای دو فلز T اختلاف دما هستند . برای دماهای زیر نقطه گذرا α معمولا کوچک است بنابراین emf تقریبا بطور مستقیم متناسب با اختلاف دماست .

اثر پلتر که بعدا آن را خواهید دید ، معکوس اثر سیبک است . اثر کلوین بسیار کمتر شناخته شده و مربوط به emf تولیدی در یک هادی بدون اتصال است . در چنین رسانایی ، اختلاف دما بین دو قسمت مختلف رسانا باعث ایجاد emf می شود .

وقتی که یک جریان الکتریکی در رسانایی که دو سر آن در دماهای متفاوتی نگهداری شده برقرار می شود ، گرما با نرخی تقریبا متناسب با حاصلضرب جریان و شیب افزایش دما آزاد خواهد شد .

هر مدار عملی دارای یک ترموکوپل ، بیش از دو اتصال از فلزات متفاوت خواهد داشت و این مدارها باید طوری طراحی شوند که فقط اتصالات ورد نظر در دماهای متفاوت قرار بگیرند .

خروجی یک ترموکوپل کوچک در حد چند میلی ولت برای اختلاف دمای ۱۰ درجه سلسیوس است . جدول ۲ مقادیر نوعی emf برای فلزات و آلیاژهایی را که از پلاتینیوم به عنوان فلز دوم در اتصال استفاده می کنند نشان می دهد . جدول ۳ نیز مقادیر emf و اختلاف دمای مربوطه برای سه ماده ای را که عمدتا در ترموکوپل ها به کار می روند ارائه می کند . البته نوع مس/ کنستانتان معمولا برای دماهای پایین تر و نوع پلاتینیوم/ رایوم برای مقادیر بالاتر دما استفاده می شوند . به دلیل پایین بودن لتاژ خروجی ، معمولا تقویت کردن آن مورد نیاز خواهد بود مگر اینکه همراه با ترموکوپل از یک میلی ولت متر حساس برای اندازه گیری دما استفاده شود . اگر لازم باشد که توسط خروجی ترموکوپل ، چیزی بیش از یک وسیله اندازه گیری را راه اندازی کنیم ، به تقویت DC (با استفاده از یک تقویت کننده عملیاتی یا تقویت کننده برشگر) نیاز خواهیم داشت . نوع تقویت کننده مورد نیاز باید به دقت

انتخاب شود ، چراکه پایداری دائمی و مناسب آن ضروری است ، در غیر اینصورت مجبور خواهیم بود که مرتبا آن را کالیبره کنیم . به همین دلیل تقویت کننده نوع برشگر دراغلب کاربردها ارجحیت دارد .

جدول ۲ : emf (بر حسب میلی ولت) در اختلاف دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد برای ترموکوپل هایی که در آنها از پلاتینیوم و یک فلز دیگر استفاده شده است .

فلز / آلیاژ	Emf بر حسب میلی ولت
آلومینیوم	**۰/۴**
مس	**۰/۷۵**
منگنین	**۰/۶۵**
نیکل	**-۱/۵**
نقره	**۰/۷**
کنستانتان	**-۳/۳**
آهن	**۱/۸۸**
مولیبدیوم	**۱/۲**
سلیکون	**۴۵/۰**
تنگستن	**۰/۸**

اگر کلید زنی به صورت روشن / خاموش مورد نیاز باشد ، ترموکوپل را باید همراه با یک کنترل کننده که از مدار اشمیت تریگر بهره می برد استفاده نمود . این امر تنظیم بایاس را نیز امکان پذیر کرده و بنابراین دمای کلیدزنی را می توان از قبل تنظیم کرد . به دلیل اینکه مقادیر پایین خروجی ترموکوپل با پتانسیل تماسی (با اثر یکسان) در مدارهای تقویت کننده قابل مقایسه است ، مدار معمول شامل تقویت کننده خواهد بود . استفاده از ورودی های بسیار کوچک در کلی زنی همواره منجر به مسائللی از قبیل هیسترزیس پایین و حساسیت زیاد می شود .

جدول ۳ : مشخصات جزی برای سه نوع ترموکوپل مهم که محدوده مفیدی از اختلاف دما و مقادیر emf (بر حسب میلی ولت) برای وقتی که انتهای سرد ترموکوپل در صفر درجه سلسیوس قرار می گیرد را نشان می دهد .

دما بر حسب درجه سلسیوس	مس / کنستانتان	آهن / کنستانتان	پلاتینیوم / پلاتینیوم رادیوم
-۲۰	-۰/۷۵	-۱/۰۳	
-۱۰	-۰/۳۸	-۰/۵۲	
۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۱۰	۰/۳۹	۰/۵۲	۰/۰۵
۲۰	۰/۷۹	۱/۰۵	۰/۱۱
۳۰	۱/۱۹	۱/۵۸	۰/۱۷
۴۰	۱/۶۱	۲/۱۲	۰/۲۳
۵۰	۲/۰۴	۲/۶۶	۰/۳۰
۶۰	۲/۴۷	۳/۲۰	۰/۳۶
۷۰	۲/۹۱	۳/۷۵	۰/۴۳
۸۰	۳/۳۶	۴/۳۰	۰/۵۰
۹۰	۳/۸۱	۴/۸۵	۰/۵۷
۱۰۰	۴/۲۸	۴۰/۵	۰/۶۴
۲۰۰	۹/۲۸	۱۰/۹۹	۱/۴۶
۳۰۰	۱۴/۸۶	۱۶/۵۷	۲/۳۹
۴۰۰	۲۰/۸۷	۲۲/۰۸	۳/۴۰
۵۰۰		۲۷/۵۹	۴/۴۶
۶۰۰		۳۳/۲۸	۵/۵۷
۷۰۰		۳۹/۳۰	۶/۷۴
۸۰۰		۴۵/۷۱	۷/۹۵
۹۰۰		۵۲/۲۸	۹/۲۱
۱۰۰۰		۵۸/۲۳	۱۰/۵۱
۱۲۰۰			۱۳/۲۲
۱۵۰۰			۱۷/۴۶

یک مزیت ترموکوپل ها این است که المان های حسگر به تنهایی بسیار کوچک هستند و بنابراین می توان آنها را در فضای بسیار کوچک قرار داد و نیز قادرند به تغییرات سریع دما پاسخ دهند . طبیعت الکریکی فرآیند این خصوصیت را دارد که مدار مربوط به خواندن خروجی ترموکوپل را می توان دور از خود سنسور قرار داد . نکته قابل توجه اینکه اثرات ترموکوپلی قتی اتفاق می افتند که یک رسانای فلزی با دیگری در تماس باشد و بنابراین اختلاف دما در قسمتهای مختلف از بردهای مدار هم می تواند باعث افزایش ولتاژ شود که مقدار آن با خروجی ترمکوپل قابل مقایسه است . در نتیجه نحوه ساخت تقویت کننده برای ترموکوپل مهم بوده و از برخی روشهای تنظیم صفر باید استفاده نمود .

استفاده عملی :

ترموکوپل ها در صنعت به طور گسترده استفاده شده و یکی از مهمترین سنسور های حرارتی هستند . از میان ترکیبات مختلف فلزات قابل استفاده در ساخت ترموکوپل ، فقط تعداد کمی از آنها (با توجه به ملاحظاتی مثل داشتن رابطه خطی مناسب و استقامت خوب در دماهای بالا) در عمل قابل استفاده هستند . جدول ۴ انواع ترموکوپلی را که بیشتر استفاده می شوند را نشان می دهد . این ترموکوپلها به دو گروه نوع فلز پایه مانند آهن – کنستانتان و نوع فلز نجیب مانند پلاتینیوم – رادیوم – پلاتینیوم تقسیم می شوند .

ترموکوپل های فلز نجیب (در ابتدا به دلیل مقاومتشان در برابر همه اسید های شناخته شده به این اسم نامیده شدند) برای دماهای بالا مورد نیاز هستند ، اما دارای سطوح خروجی پایین تری بوده و برای پرهیز از صدمات ناشی از اکسیداسیون به پوشش سرامیکی نیاز دارند . ترموکوپل هایی که از آهن به عنوان یک سیم استفاده می کنند عموما به حفاظت در برابر زنگ زدن و اکسید شدن در اتمسفر نیاز دارند .

با وجود تفاوت های بین اندازه گیری هایی که با ترموکوپل صورت می گیرد و اندازه گیری دما با سایر وسایل همیشه قابل درک نیست . اندازه گیری ترموکوپلی همیشه یک اندازه گیری تفاضلی است که اختلاف دمای بین اتصال سرد یا مبنا و اتصال گرم را ادازه گیری می کند . وقتی که هیچکدام از فلزات استفاده شده در ترموکوپل با آنچه در کابل اتصالی به کار رفته یکسان نیستند دو مجموعه از اتصلات وجود دارد . در جدولی که برای ترموکوپل ها استفاده می شود همیشه فرض می کنند که اتصال مبنا در دمای صفر درجه سلسیوس قرار دارد . در استفاده صنعتی ، به ندرت این حالت اتفاق می افتد و بعضی

روشهای جبران سازی باید به کار گرفته شود . ینابراین قرائت های خروجی را می توان نسبت به حرارت واقعی اتصال یا اتصالات مبنا تنظیم نمود .

جدول ۴ : انواع مرسوم ترموکوپل همراه با کد آنها

کد	فلزات	محدوده درجه سلسیوس	میلی ولت در ۱۰۰ درجه سلسیوس	توضیحات
S	PtRh/Pt	۰ –۱۴۰۰	۰/۶۴۵	به محافظ سرامیکی نیاز دارد
R	PtRh/Pt	۰ –۱۴۰۰	۰/۶۴۷	به محافظ سرامیکی نیاز دارد
J	Fe/CuNi	۰ – ۸۰۰	۵/۲۶۸	تحت تاثیر اکسیژن یا اسیدها قرار می گیرد
K	NiCr/NiAl	۰ – ۱۱۰۰	۴/۰۹۵	از عوامل احیا کننده جلوگیری شود
T	Cu/CuNi	۴۰۰ تا ۲۰۰–	۴/۲۷۷	برای استفاده در دمای پایین
E	NiCr/CuNi	۰ – ۸۰۰	۶/۱۳۷	خروجی بالا

توضیحات :

نوع S از آلیاژ ۹۰ درصد پلاتینیوم ، ۱۰ درصد رادیوم به عنوان یک فلز و پلاتینیوم خالص به عنوان فلز دوم استفاده می کند . (به علت قیمت بالا و ولتاژ تولیدی پایین معمولا" در دماهای بالای ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد استفاده می شود و با غلاف خاص می تواند تا دمای ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد نیز بکار رود.)

نوع R از آلیاژ ۸۷ درصد پلاتینیوم ، ۱۳ درصد رادیوم به عنوان یک فلز و پلاتینیوم خالص به عنوان فلز دوم استفاده می کند. (به علت قیمت بسیار بالا و ولتاژ تولیدی بسیار پایین معمولا" در دماهای بالای ۵۵۰ درجه سانتی گراد استفاده می شود و با غلاف مخصوص می تواند تا دمای ۱۸۰۰ درجه سانتی گراد نیز بکار رود.)

نوع J (یا زوج آهن – کنستانتان) از آلیاژ مس – نیکل و آهن استفاده می کند .
(این ترموکوپل به علت قیمت مناسب و ولتاژتولیدی بالا از کاربردی ترین ترموکوپل ها محسوب می شود.هم چنین از دقت مناسبی نیز برخوردار می باشد و در دماهای پایین و متوسط به کار می رود.
در دمای ۷۶۹ درجه سانتی گراد سیم آهنی دچار یک تغییر مغناطیسی و در دمای ۹۱۰ سانتی گراد دچار تغییر ساختار کریستالی می شود. این دو علت باعث تغییر ماندگار در سیگنال خروجی می شوند.
اگر ترموکوپل در محیط های شرجی (محیط هایی که خطر بخار گرفتگی وجود دارد) قرار گیرد سیم آهنی بدون حفاظ زنگ می زند. تردی آهن در دمای بالای ۵۰۰ درجه سانتی گراد و در حضور گازهای سولفور اتفاق می افتد. حداکثر دمای کاری این ترموکوپل ۷۵۰ درجه سانتی گراد می باشد ولی استفاده آن در دمای زیر ۵۰۰ درجه سانتی گراد مناسب تر است.)

نوع K (یا زوج کرومل – آلومل) از آلیاژهای نیکل – کرومیوم و نیکل – آلومینیوم استفاده می کند .
(این ترموکوپل معمولا" در دمای بالای ۴۰۰ درجه سانتی گراد استفاده می شود . مقاومت آن در برابر اکسیداسیون بالاتر از نوع J و E می باشد ولی در دما های بالاتر از ۷۵۰ درجه سانتی گراد به دلیل شدت افزایش سرعت اکسیداسیون از غلاف محافظ استفاده می شود و این مسئله در میط های سولفور احیائی و اکسید ی نیز صدق می کند.
حداکثر دمای کاربردی این ترموکوپل ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد می باشد ولی استفاده از آن در دماهای زیر ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد مناسب تر است.)

نوع T (یا زوج مس – کنستانتان) از س و آلیاژ مس – یکل اسفاده می کند .

نوع E (یا زوج کرومل – کنستانتان) از آلیاژهای نیکل – کرومیوم و مس – نیکل استفاده می کند .

روش معمول جبران سازی به کار بردن اتصال سرد است که با بخش خروجی / تقویت کننده ابزار اندازه گیری ترکیب می شود . یک سیم پیچ فلزی یا یک ترمیستور برای حس کردن دمای اتصال یا اتصالات مبنا به کار رفته و از خروجی این حسگر برای تصحیح اثر بوجود آمده (به کمک یک جمع کننده) در ابزار اندازه گیری استفاده خواهد شد . این کار در تجهیزات کنترل شده با یک میکرو پرسسور با استفاده از یک جدول تصحیح مقادیر که در حافظه ROM نگهداری ی شود به آسانی

انجام می شود به آسانی انجا پذیر است . اما در گذشته روش های آنالوگ قدیمی تر این کار را به کمک یک جمع کننده انجام می دادند .

نکته قابل توجه این است که ، این روش ها با توجه به کابلی که با ابزار اندازه گیری ارائه می شود تصحیح را انجام می دهند . اگر جنس کابل تغییر کند (برای مثال افزایش طول کابل اتصال ترموکوپل با کابل مسی) ممکن است ضریب تصحیح اعمال شده از داخل را بی فایده نماید ، چرا که دو اتصال جدید اضافه شده اند .

اگرچه ترموکوپل ها برای کاربرد در اندازه گیری های دقیق ایده آل نیستند ، ولی داشتن اتصال یا اتصالات مبنا که در واحدهایی بنام مرجع دما نگهداری شده اند ، معمول تر است و دقت را افزایش می دهد . نقطه سرد واحد مرجع با استفاده از اتصالات سرد کننده پلتر (معکوس اثر ترموکوپل) در صفر درجه سلسیوس نگه داشته شده و سنسورهای دقیقی برای اندازه گیری حرارت مرجع به کار رفته اند . مانند نوع ششی آن که از انبساط ناشی از تبدیا آب به یخ استفاده می کند . روش مرسوم ایجاد نقطه مرجع صفر ، استفاده از یک فلاسک خلاء پر شده با مخلوط آب و یخ می باشد ، ولی اگر این روش با دقت استفاده نشود ممکن است اختلافات فاشی را بوجود آورد .

ایراد اصلی کار در این است که یخی که از فریزر گرفته می شود ، گاهی دمای منهای ۱۵ درجه سلسیوس یا کمتر را دارد و دمای آب اطراف آن حدود ۵ درجه سلسیوس است . بنابراین اتصال مرجع در دمایی کاملا غلط و به میزان قابل توجهی متغیر خواهد بود . اگر آب را عاری از مواد معدنی کنیم (و یخ از چنین آبی ساخته شود) مخلوط آب و یخ مناسب است . یخ خرد شده و یکپارچه نیست و در مدت زمان قابل ملاحظه ای در تماس با آب بوده و بطور یکنواخت تکان نخورده است ولی اتصال مرجع در تماس با یخ نیست .

سیستم مرجع "جعبه داغ" از یک بلوک آلومینیومی جامد با یک حفره در آن (برای قرار گیری اتصال مرجع) استفاده می کند . معمولا درجه حرارت بلوک در دمایی کاملا بالای دمای محیط در محدوده ۵۵- ۶۵ درجه سلسیوس پابت نگه داشته می شود . دمای بلوک سریعا بوسیله یک گرم کن به دمای پایدار می رسد و وقتی حرارت به سطح کنترل شده رسید گرم کن خاموش خواهد شد . از آن به بعد دما بوسیله یک ترمیستور و یک المان حرارتی کوچک (که همراه با یک تقویت کننده در یک حلقه کنترلی قرار گرفته اند) کنترل می شود . استفاده از وسایل اندازه گیری ترموکوپلی باید شامل مداری باشد که خطای قرائت ها بدلیل افزایش دمای اتصال مرجع را با اضافه کردن ولتاژ کوچکی به خروجی ترموکوپل تصحیح نماید .

روش دیگر که یک سیستم غیر فعال است ، بر پایه اضافه کردن اتصال مرجع در یک بلوک فلزی که بخوبی عایق شده قرار دارد و بنابراین تغییرات دمای آن بسیار آهسته است . سنسور دیگری در بلوک به ابزار اندازه گیری متصل شده و سیگنال تصحیح کننده مربوط به دمای اتصال مرجع را تولید می کند. همانگونه که ذکر شد ، اتصالات بین ترموکوپل و سیستم قرائت مهم هستند . وقتی که فاصله بین ترموکوپل و ابزار اندازه گیری قابل توجه باشد برای اتصال این دو باید از کابل های توسعه ای و یا جبران کننده استفاده کنیم . اختلاف بین آنها این است که کابل های توسعه ای از مواد یکسانی به عنوان ترموکوپل استفاده کرده و در همان دماها قابل استفاده هستند . کابل های جبران کننده از فلزات ارزان قیمت استفاده کرده و فقط تا دماهای محیط حدود ۸۰ درجه سلسیوس قابل استفاده اند . همچین کابل های جبران کننده باید با نوع ترموکوپل مورد استفاده هماهنگ باشند . هم کابل جبران کننده و هم کابل توسعه ای باید با پلاریته صحیح متصل شوند .

کابلهایی که با استاندارد بریتانیایی ساخته می شوند (BC 1843:1952) از یک نحوه کدگذاری استفاده می کنند بنحوی که سر منفی همیشه آبی است . اما کابل های ANSI US از رنگ قرمز برای منفی و مشخصات DIN آلمانی قرمز را برای مثبت ، استفاده می کنند در هر حالت ، رنگ دیگری برای قطب مخالف استفاده شده است (جدول ۵) . به دلیل اینکه این رنگ ها به طور بین المللی استاندارد نشده اند ، دانستن کشور سازنده کابلهای توسعه ای و جبران کننده ترموکوپل و محل مصرف آنها مهم است . (کابلهای ساخت آلمان ممکن است برای فروش در آمریکا ساخته شوند و کد رنگ ANSI را داشته باشند) .

جدول ۵ : کدهای رنگی برای کابلهای توسعه ای و جبران کننده در بریتانیا ، امریکا و آلمان .

کد		بریتانیا	امریکا	آلمان
الف) کابلهای توسعه ای				
E	بیرونی	قهوه ای	بنفش	–
	مثبت	قهوه ای	بنفش	–
	منفی	آبی	قرمز	–
J	بیرونی	سیاه	سیاه	آبی
	مثبت	زرد	سفید	قرمز
	منفی	آبی	قرمز	آبی
K	بیرونی	قرمز	زرد	سبز
	مثبت	قهوه ای	زرد	قرمز
	منفی	آبی	قرمز	سبز
T	بیرونی	آبی	آبی	قهوه ای
	مثبت	سفید	آبی	قرمز
	منفی	آبی	قرمز	قهوه ای
ب) کابلهای جبران کننده نوع U برای فلزات نجیب و نوع VX برای فلزات پایه				
U	بیرونی	سبز	سبز	سفید
	مثبت	سفید	سیاه	قرمز
	منفی	آبی	قرمز	سفید
VX	بیرونی	قرمز	قرمز	سبز
	مثبت	سفید	قهوه ای	قرمز
	منفی	آبی	قرمز	سبز

در بسیاری از کاربردها هر کجا که ترموکوپل استفاده شده برای جلوگیری از تماس با موادی که بصورت فلز مذاب ، گازهای داغ و خورنده و مایعات خورنده هستند ، اتصال اندازه گیری باید پوشانده شود . در بعضی از کاربردها که پاسخ دهی سریع مورد نیاز است (به ویژه در اندازه گیری

دمای گازها) اتصال را می توان در خارج از پوشش قرار داد ، البته اگر گاز خورنده باشد این کار مجاز نیست . روشهای جایگزین بر پایه استفاده از نوع ایزوله شده پوشش ها که در آنها اتصال از نظر الکتریکی کاملا ایزوله شده است و یا نوع زمین شده که در آن اتصال با پوشش در تماس است ، قرار دارند . نوع دوم حفاظت خوبی در برابر مواد خورنده ایجاد کرده و پاسخ بسیار سریع تری نیز دارد .
هر دو نوع به طور کامل پوشانده شده و باید در محیط هایی با فشار بالا استفاده شوند . جدول ۶ موادی را که عموما برای پوشاندن ترموکوپل ها در صنعت به کار می روند ارائه می کند . آلیاژ ۲۷٪ کروم بیشتر از همه انواع دیگر برای اندازه گیری های پاتیلی فلزات مذاب با دمای پایین (بویژه برای آلیاژهای روی و سرب) به کار می رود .
فولاد ضد زنگ در اتمسفرهایی که حاوی اکسید سولفور هستند (برای مثال ، گازهای اگزوزی ناشی از سوختن نفت یا زغال سنگ) از آلیاژهای نیکل بهتر است . مواد سرامیکی باید برای پوشاندن ترموکوپل هایی با فلز نجیب استفاده شوند .

جدول ۶ : مواد مورد استفاده جهت پوشاندن ترموکوپلها .

مواد	حداکثر دما(درجه سلسیوس)	توضیحات
فولاد نرم	۵۰۰ – ۸۰۰	بسته به اینکه به صورت سرد یا جامد کشیده شود . امکان زدن وجود دارد .
۲۷٪ کروم – آهن	۱۰۰۰	مورد استفاده در قلع یا سرب مذاب . امکان زنگ زدن وجود دارد .
فولاد ضد زنگ ۱۸/۸	۸۰۰	مقاومت خوب در برابر اکسید شدن و خوردگی
اینکونل (آلیاژ نیکل)	۱۱۰۰	نباید در اتمسفر اکسید سولفوری بکار رود.
سیلیکون کارباید	۱۵۰۰	برای پوشش خارجی ، مقاوم در برابر شوک حرارتی . ممکن است اکسید شود .
سرامیک آلومینا	۱۶۰۰ – ۱۹۰۰	مورد استفاده برای فلزات نادر . مقاومت بالا در برابر واکنشهای شیمیایی

حسگرهای فلزی - مقاومتی

مقاومت ویژه همه رساناهای فلزی با تغییر دما تغییر می کند و این تغییر در مقاومت ویژه باعث تغییر در مقاومت فلز می شود ، جدول ۷ روابط مربوطه را به صورت خلاصه نشان می دهد . تغییر مقاومت کمیتی است که بیشتر از خروجی یک ترموکوپل و در محدوده وسیعی از دما خطی است . اگرچه مشخصه آن نشانگر انحراف از خط مستقیم در دماهای بالاست ، دست کم معکوس شدن شیب که در مشخصه ترموکوپل دیده شد در اینجا وجود ندارد . انحراف مذکور ناشی از اثر مولفه های مربع و مکعب معادله مذکور است که فقط در دماهای بالا مهم هستند . برای بیشتر فلزات ، اولین ضریب تغییر مقاومت (آلفا) نزدیک به مقدار ۱/۲۷۳ (یا ۰/۰۰۳۶۶) مربوط به انبساط گازها (جدول ۸) . تعداد کمی از آلیاژهای فلزی ضریب حرارتی بسیار پایین دارند . مثلا ضریب حرارتی کنستانتان فقط حدود ۱۰ درصد میانگین ضرایب حرارتی فلزات خالص است و حتی منگنین ضریب حرارتی پایین تری دارد . هر دو ماده آلیاژهای مس ، نیکل و منگنز هستند .

برای محدوده های دمای نسبتا کوچک (یعنی تا دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس یا در این حدود) از تغییر مقاومت نیکل یا آفلیاژهای آن به دلیل مقاومت های بسیار زیادتر آنها نسبت به اکسید شدن مناسب تر هستند . برای اهداف اندازه گیری سنسورهای مقاومتی را می توان به پل اندازه گیری کننده به همراه مجموعه ای از سیمهایی که دمای آنها نیز تغییر می کند متصل نمود (شکل ۹) . یک مقاومت پلاتینیومی به این شکل را می توان به عنوان استانداردی برای اندازه گیری دما به کار برد . دماسنج استاندارد لابراتوار بین المللی فیزیک از نوع انبساط گازی است ، اما این دماسنج به تنظیم استادانه و طولانی نیاز دارد . بنابراین ، دماسنج های مقاومتی پلاتینیومی که با دماسنج گازی استاندارد کالیبره شده اند ، به طور گسترده به عنوان استانداردهای ثانویه استفاده می شوند (اغلب بطور اشتباه زیر استاندارد نامیه می شوند) . اندازه عنصر حس کننده و ظرفیت گرمایی این دماسنج پاسخ آن را در مقایسه با بعضی از وسایل الکترونیکی محض (مثل ترموکوپل) کند می سازد .

جدول ۷ : مقاومت ، مقاومت ویژه و تغییر مقاومت با دما .

یک سیم با سطح مقطع یکنواخت A ، طول S و مقاومت ویژه ρ دارای مقاومت R خواهد بود که برابر است با :

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

برای افزایش دما به اندازه θ درجه سلسیوس ، این تغییرات رخ می دهد :

طول به اندازه $S\ \alpha\ \theta$ افزایش می یابد که α ضریب انبساط خطی است .

سطح مقطع به اندازه $2A\ \alpha\ \theta$ افزایش می یابد که A سطح مقطع در صفر درجه سلسیوس است .

مقاومت به اندازه $\rho\ \alpha\ \theta$ افزایش می یابد که ρ مقاومت مخصوص و α ضریب حرارتی مقاومت ویژه است .

برای بیشتر فلزات مقدار مقاومت مخصوص در حد $2*10^{-5}$ بر کلوین و ضریب حرارتی مقاومت در حد بر کلوین است ؛ یعنی حدود ۲۰۰ برابر بزرگتر ، بنابراین تغییر در ابعاد به میزان قابل صرفنظری مقاومت را زیاد می کند . این امر به ما امکان می دهد که از ضریب حرارتی مقاومت استفاده کنیم . بنابراین فرمول تغییر مقاومت برابر خواهد شد با :

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

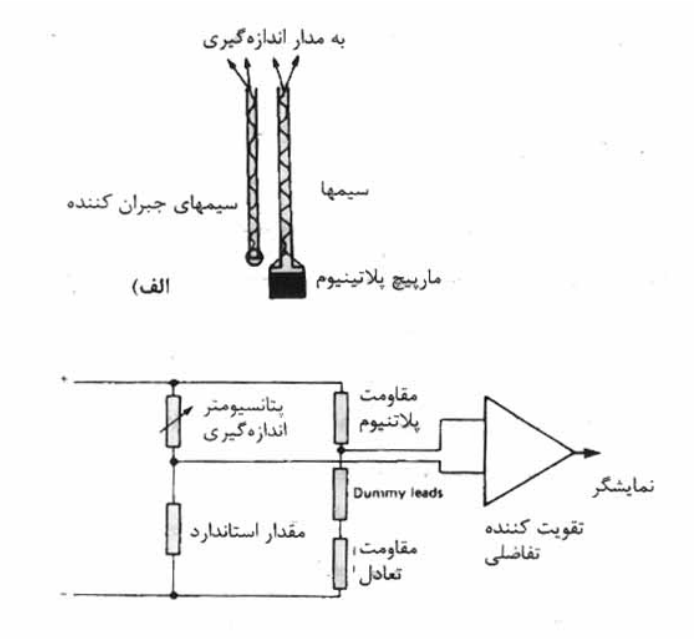
که R_θ مقاومت در دمای θ ، R_o مقاومت در صفر درجه سلسیوس ، α ضریب حرارتی مقاومت ویژه ، θ اختلاف دماست .

جدول ۸ : ضرایب حرارتی مقاومت برای بعضی از فلزات

فلز	ضریب ($۱۰^{-۳}$)	فلز	ضریب ($۱۰^{-۳}$)
آلومینیوم	**۴/۲**	**مس**	**۴/۳**
آهن	**۶/۵**	**نیکل**	**۶/۵**
پلاتینیوم	**۳/۹**	**نقره**	**۳/۹**

وقتی که عمل کلید زنی مورد نیاز باشد ، خروجی یک مدار پل را که به یک دماسنج مقاومت پلاتینیومی متصل شده می توان برای فرمان دادن به یک مدار به صورت تریگر استفاده نمود . این کار

بندرت انجام می شود ، زیرا مزیت دماسنج نوع مقاومتی پاسخ نسبتا خطی آن است در حالیکه کلیدزنی به کمک وسایل ارزان قیمت و متنوع قابل انجام است .



شکل ۹ : آرایش یک دماسنج پلاتینیومی با استفاده از سیمهایی اضافی برای جبران سازی تغییر مقاومت سیمها در عنصر اندازه گیری . الف) آرایش فیزیکی ب) مدار الکتریکی

دماسنج های مقاومتی

در ابتدا دماسنج مقاومت پلاتینیومی فقط به عنوان یک استاندارد آزمایشگاهی استفاده می شد . اما پیشرفت در ساخت این دماسنج ها و بطور کلی دماسنج های مقاومتی ، باعث شد که در کاربردهای فراوانی به جای ترموکوپل ها بکار روند . بخصوص در بسیاری از فرآیند های صنعتی که زمانی کنترل تغییرات دما در حد ۱۰ درجه سلسیوس مورد نظر بود . البته در حال حاضر کنترل دما در محدوده بسیار کمتری مورد نیاز است . بدلیل تاکید بر کنترل کیفیت و یکنواختی تولید در فرآیند ساخت ، باقی ماندن دما ها در محدوده بسیار کوچکتری از آنچه که در گذشته بود مورد نیاز است .

اگرچه فلزهای مختلفی را می توان در دماسنج های مقاومتی به کار برد ، پلاتینیوم مزیت قابل توجهی برای استفاده به عنوان ماده مرجع در استانداردهای بین المللی دارد و در محدوده ۲۷۰- و ۶۶۰+ درجه سلسیوس استفاده می شود . شکل آزمایشگاهی دماسنج پلاتینیومی برای کالیبره کردن دیگر دماسنج ها استفاده می شود ، اماجای نسبتا بزرگی را اشغال می کند . مدلهای میتیاتوری که دقت مقاومت

پلاتینیومی همراه با توانایی پلاتینیوم برای پایداری در محیط های خورنده را یک جا دارند ، در حال حاضر در دسترس هستند . اگرچه نیکل و مس را می توان برای بعضی مقاصد در محدوده های پایین تر دما استفاده کرد و استفاده نیز می شوند ، پلاتینیوم این مزیت را دارد که میتواند در یک حالت بسیار خالص تهیه شده و شبیه همه فلزات نجیب نسبت به خوردگی بسیار مقاوم عمل کند . همچنین رابطه دما / مقاومت آن به طور مطلوبی در یک محدوده وسیعی از دما خطی است . علاوه بر این ، پلاتینیوم ماده بسیار پایداری هم از نظر الکتریکی و هم از نظر مکانیکی بوده و بنابراین تغییر مقدار مقاومت با توجه زیاد شد عمر ماده و نیز استفاده از آن ناچیز است .

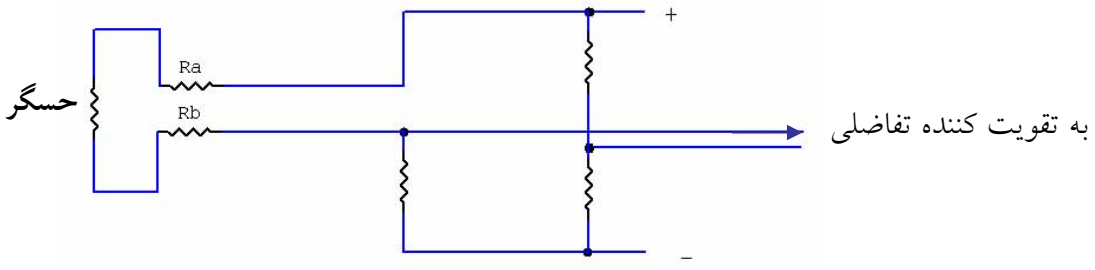
عوامل دیگری که منجر به افزایش استفاده از دماسنج های مقاومت پلاتینیومی شده ، توسعه ابزار اندازه گیری دقیقی است که قادرند با استانداردهای بالای سیستم مقاومت پلاتینیومی تطابق یافته و نیز سهولت نسبی استفاده از آنهاست . کابلی که به یک دماسنج مقاومت پلاتینیومی متصل می شود به طور معمول کابل مسی و بدون نیاز به اضافه کردن خاص توسعه ای و جبران کننده است . کالیبره کردن یک دماسنج مقاومت پلاتینیومی ، فقط یکبار و بدون احتیاج به جبران سازی توسط اتصال سرد یا استفاده از پوششهای ترموستاتی به عنوان یک اتصال مرجع صورت می گیرد . همچنین بخش ابزار اندازه گیری یک دماسنج را می توان ساده تر کرده و اضافه کردن مراحلی برای جبران سازی ضروری نیست .

ساختمان یک دماسنج مقاومت پلاتینیومی صنعتی به طور کلی خشن تر از ساختمان سیم پیچ باز بکار رفته در یک نمونه استاندارد آزمایشگاهی است . سیم به شکل یک مارپیچ یا منحنی های کوچک پیچیده شده و کل مارپیچ در یک میله آلومینیومی تو خالی محفوظ شده و در محل ورود سیمها به آلومینیوم نیز از پوشش سرامیکی استفاده شده است . اندازه چنین مجموعه هایی می تواند به کوچکی ۰/۸ میلی متر قطر و ۵ میلی متر طول باشد و با نظارت کافی بر مقاومت سیم پیچ دقتی نزدیک به ۰/۰۱ درصد قابل حصول است . در شکلی کاملا متفاوت ، فیلم های نازک پلاتینیوم در زمینه های سرامیکی استفاده می شود که شبیه شکل سیم پیچ نبوده و می تواند به صورت انبوه در قیمت های پایین تر تولید شوند . این دماسنج ها برای بسیاری از مقاصد صنعتی مناسب تر هستند ، اگرچه مراقبت های زیادی باید در هنگام استفاده از وسائل ساخته شده با فیلم پلاتینیومی (برای اطمینان از این که هیچ واکنش شیمیایی کاتالیزور در گازها یا مایعات در تماس با آن انجام نمی گیرد) صورت پذیرد .

مار الکتریکی استفاده شده برای دماسنج مقاومت پلاتینیومی یک مدار پل است و برای بسیاری از کاربردها یک مدار پل وتسون ساده (شکل ۱۰) کافیست . در این مدار مقاومت $R_a + R_b$ مربوط به دو

رابط اتصال نیز اندازه گیری می شود . اما اگر مقدار این مقاومت در مقایسه با مقاومت سیم پیچ پلاتینیومی ناچیز باشد (۱٪ یا کمتر) ، خطای خذف آن جزئی است .

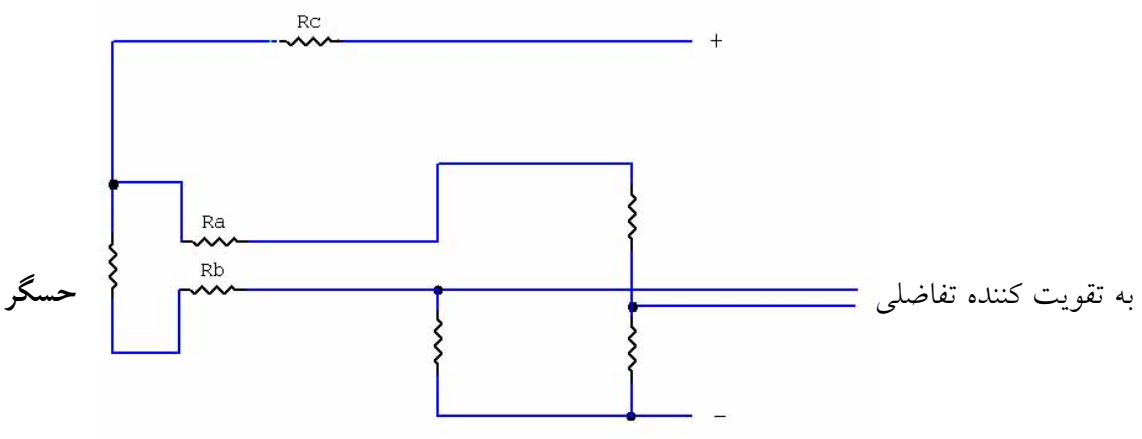
با این وجود ، در بعضی موارد طول رابطها مقدار قابل توجهی بوده و نمی تواند مقدار ناچیزی داشته باشد ، بنابراین مدارهای دیگری باید مورد استفاده قرار گیرند . اگرچه روش جبران کامل که در شکل۹ آمده در تجهیزات آزمایشگاهی استفاده می شود ، یک سیستم ساده تر در شکل ۱۱ تشریح شده که در آن سه رابط به کار رفته است. دو تا از این رابط ها حامل جریان هستند و یکی فقط به عنوان حسگر ولتاژ عمل می کند . در این مدار مقاومت اضافه شده برابر اختلاف بین مقاومت کابل های اتصال اصلی است و این مقدار برای همه اندازه گیری های صنعتی عملا قابل صرفنظر کردن می باشد . این اصل بخه سیستم چهار سیمی (که در آن دو تا از کابلها جریان پل را انتقال می دهند و دوتای دیگر به عنوان اتصال دهنده های ولتاژ هستند) نیز قابل توسعه است .



شکل ۱۰ : مدار پل وتسون ساده که در یک دماسنج مقاومتی استفاده شده . مقادیر مقاومت سیمها (Ra و Rb) و نیز مقاومت حسگر اندازه گیری می شوند .

برای همه کاربردهای دماسنج مقاومتی ، مقدار جریان استفاده شده در مدار پل باید به اندازه ای پایین باشد که میزان گرم شدن حسگر پلاتینیومی ناچیز شود . این موضوع مغایرتی بین حساسیت و دقت ایجاد می کند . زیرا عبور جریان بالاتر از مقاومت پایین پلاتینیومی ، ولتاژ بیشتری برای اندازه گیری نتیجه داده و از این رو استفاده از پل آسانتر می شود . تقویت کننده های الکترونیکی امپدانس بالا و مدرن امکان کار کردن پلهای اندازه گیری با جریان های بسیار پایین بدون از دست دادن حساسیت را فراهم می سازند . در نتیجه این مسئله بسیار کمتر از قبل اهمیت دارد . به هر حال اگر یک سر دماسنج مقاومت پلاتینیومی جدید به یک پل اندازه گیری قدیمی متصل شود ،

برای اطمینان از پایین ماندن جریان پل به اندازه کافی و به منظور اجتناب از گرم شدن اضافی مراقبتهای لازم است . مقاومت حسگرهای نوع سیمی قدیمی تر بالاتر است و جریان های پایین تری برای نوع فیلمی مورد نیاز خواهد بود .



شکل ۱۱ : یک مدار جبران کننده سه سیمه که در آن مقاومت کابل تقریبا بالانس گردیده و فقط اختلاف مقاومت حسگر اضافه شده است .

جدول ۹ به صورت یک راهنمای تقریبی ویژگیهای ترموکوپل ها و دماسنج های مقاومتی به منظور مشخص کردن یک سیستم اندازه گیری دما با کاربرد صنعتی را با یکدیگر مقایسه می کند .

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

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

ترمیستورها

ترمیستورها شکلی از مقاومتهای حساس به دما متشکل از مخلوط اکسید های فلزات سمی هستند . روش های ساخت آنها شبیه روش ساخت آنها شبیه روش ساخت مقاومت های کربنی است . بعضی از این مخلوط ها ضرایب حرارتی مثبتی دارند ولی در بسیاری از موارد ارائه یک مقدار مثبت یا منفی برای ضریب حرارتی آنها این معنی است ، چون مقدار ثابتی نیست . ترمیستورها با ضریب حرارتی مثبت بسیار غیر خطی هستند اما انواع بسیار متداول تر آنها که دارای ضریب حرارتی منفی هستند از قانون حدودا لگاریتمی و بدون تغییرات شدید در مقاومت پیروی می کنند .

اگر مقاومت یک ترمیستور در دمای θ_2 داده شده باشد ، مقاومت آن برای دمای θ_1 با استفاده از فرمول تشریح شده در جدول ۱۰ محاسبه خواهد بود . استفاده از θ به جای T برای دما در این فرمول یادآور این مطلب است که دماها باید بر حسب کلوین (دمای مطلق) در نظر گرفته شوند . کلوین یا دمای مطلق با اضافه کردن ۲۷۳ به دمای سلسیوس حاصل می شود . اگر به کار با دما با ارقام اعشاری نیاز دارید از مقدار ۲۷۳/۱۶ استفاده کنید .

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 :

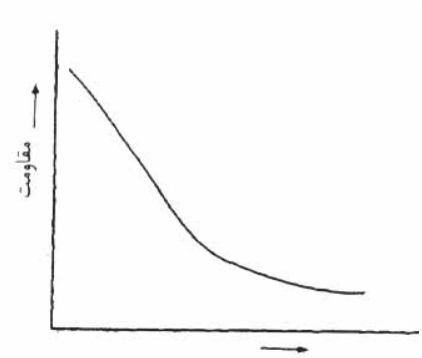
$$R_2 = R_1 \cdot e\left(\frac{B}{\theta_1} - \frac{B}{\theta_2}\right)$$

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

به عنوان مثال ، اگر ثابت ترمیستور مقدار معلوم ۳۲۰۰ کلوین و مقاومت در ۳۰ درجه سلسیوس برابر با ۲ کیلو اهم باشد ، مقاومت در ۴۵ درجه سلسیوس به صورت زیر محاسبه می گردد :

دماهای داده شده برابر با ۲۹۳ و ۳۱۸ کلوین هستند ، بنابراین مقدار داخل پرانتز ۰/۸۵۸۶ خواهد شد . با استفاده از تابع نمایی یک ماشین حساب ، ۴/۷۱۹ = ۲/۳۵۹ * ۲ = R_2 یعنی حدود ۴/۷ به دست می آید .

ترمیستورها در اشکال فیزیکی متنوعی مثل مهره های مینیاتوری ، صفحه ها ، میله ها و همچنین محصور در پوشش های فلزی ساخته می شوند . ترمیستورها با ضریب دمایی منفی (NTC) برای کنترل دما در کنترل کننده کوره های دمای پایین ، ترموستات های فریزر ، حسگرهای دمای اتاق و کنترل کننده های فرآیند به کار می روند . محدوده دمایی آنها از ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سلسیوس است . تعداد کمی از آنها قادرند در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس نیز پایدار بمانند . محدوده دمایی کاربرد یک ترمیستور بستگی به مدار مربوط دارد ، چراکه با افزایش محدوده مقاومت بسیار بزرگ خواهد شد . مشخصه ترمیستور NTC نوعی در شکل ۱۲ نشان داده شده است که کاهش مقاومت با افزایش را نشان می دهد . شکل مشخصه به جای خطی ، نمایی است و محدوده دمای مفید آن نیز نسبتا کوچک است .



شکل ۱۲ : یک نمونه منحنی مقاومت بر حسب دما برای یک ترمیستور NTC ، مقاومت با افزایش دما کاهش می یابد و شکل منحنی هرگز خطی نیست .

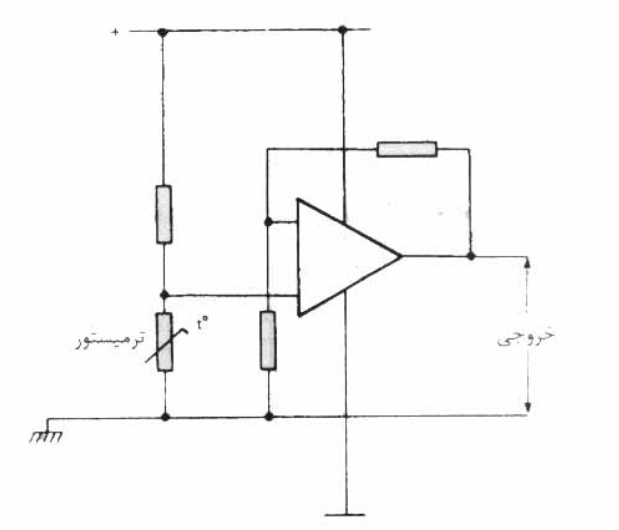
در هرکدام از این کاربرد ها ، ترمیستور های NTC مزایای قابل توجهی در مقایسه با ترموستات های بی متال قدیمی دارند ، بخصوص اینکه هیچ هیسترزیسی (روشن شدن و خاموش شدن در دماهای متفاوت) ندارند . ترمیستورهای NTC را می توان در محفظه های خلاء برای مقاصدی همچون محدود کننده های نوسانی و کنترل کننده ها در تقویت کننده های کنترل شده با ولتاژ قرار داد .

مدارهای ترمیستور در حالت کلی به استفاده از پتانسیومترهای از قبل تنظیم شده به منظور انجام تنظیمات حین کار نیاز دارند . اما هزینه های مدار با استفاده از ترمیستورهایی با منحنی تطبیق شده (که مقادیر مقاومت آنها در محدوده بزرگی از دما به صورت تضمین شده خطی باقی می ماند) کاهش خواهد یافت . همه انواع ترمیستورها همچنین دارای ثابت تلفاتی هستند . ثابت تلفاتی مقدار توانی است که (بر حسب میلی ولت) برای بالا بردن دمای ترمیستور به اندازه یک درجه سلسیوس بالاتر از دمای محیط مورد نیاز است . برای نوع حباب خلاء ثابت تلافاتی بسیار کوچک و در حد ۱۲ میکرو وات بر درجه سلسیوس است . بنابراین مقاومت این نوع ترمیستور با مقادیر سیار کوچکی از سیگنال جریان بطور قابل توجهی تغییر می کند . برای ترمیستورهای حس کننده دما مقادیر ثابت تلفاتی به طور نوعی در حد ۷۰ تا ۵۰۰ میکرو وات بر درجه سلسیوس است .

ثابت زمانی برای یک ترمیستور به صورت زمان مورد نیاز برای تغییر مقاومت به اندازه ۶۳ درصد اختلاف بین مقدار اولیه مقاومت و مقدار نهایی آن ، ناشی از تغییر دما تعریف می شود . ثابت زمانی با قرار دادن جریان ناچیز اندازه گیری می گردد چرا که در غیر این صورت (بدلیل اینکه بخشی از گرما بجای اینکه خارجی باشد داخلی است) منحنی مربوطه تغییر خواهد کرد . مقدار ۶۳ درصد ممکن است عجیب به نظر برسد ، اما این مقدار برابر با تعریف ثابت زمانی برای مدارهای دیگر مثل یک خازن و یک مقاومت است . با این تعریف مقدار ثابت زمانی در محدوده وسیعی از تغییرات دما به

طور صحیح ثابت خواهد ماند . ثابتهای زمانی ۵ تا ۱۵ ثانیه بـرای ترمیسـتورهایی کـه از نظـر فیزیکـی کوچک هستند (مثل مهره های مینیـاتوری و انـواع حبـاب خـلاء) متـداول اسـت . بـرای سـایر انـواع ترمیستورها این زمان بیشر است . در حـد ۱۸ تـا ۲۵ ثانیـه بـرای مهرهـای بـزرگ و ۱۸۰ ثانیـه بـرای ترمیستورهایی که در داخل پروپ های حسگر دما قرار دارند .

ترمیستورهای NTC را می توان از مواد نیمه هادی با مقادیر ضرایب حرارتی بسیار بزرگتر از ضرایب حرارتی مقاومتها (مثبت) ساخت . واژه مقاومت NTC برای عناصری با مقادیر منفی و نسـبتا کوچـک ضریب حرارتی بکار می رد و کلمه ترمیستور برای انواعی که مقادیر منفـی و بـزرگ ضـریب حرارتـی دارند اختصاص یافته است . اغلب ترمیستورهایی که در مدارهای حسگر دما بکـار رفتـه انـد ، از نـوع NTC هستند .

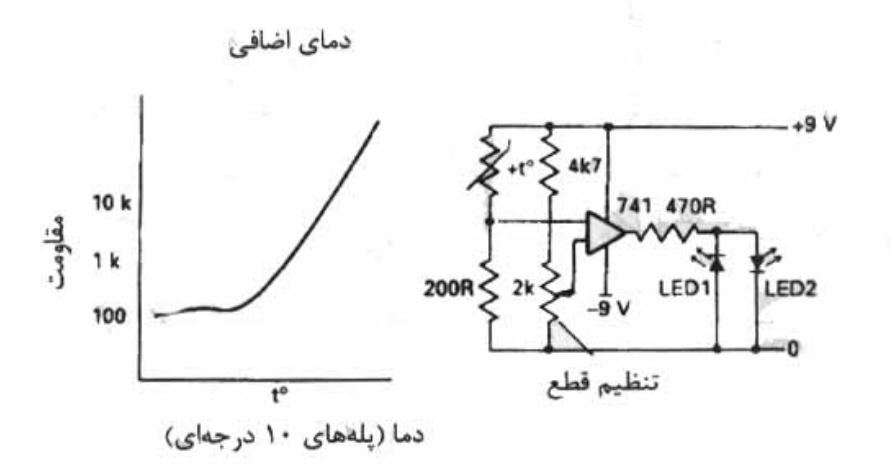


شکل ۱۳ : یک مدار حس کننده دمای ترمیستوری NTC که از یک تقویت کننـده عملیـاتی اسـتفاده مـی کنـد . حساسیت مدار بوسیله تغییر نسبت فیدبک قابل تنظیم است .

ترمیستورهای PTC

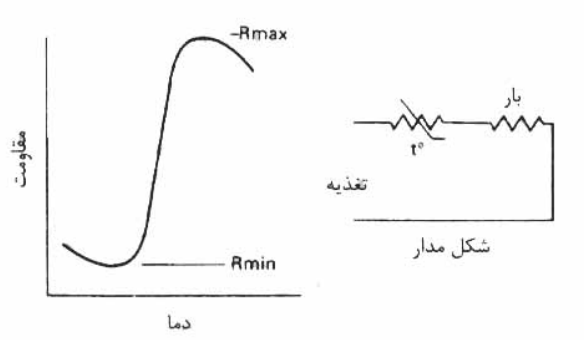
ترمیستورها با ضریب حرارتی مثبت (PTC) که اخیرا توسعه بیشتری نیز یافته اند ، به طـور عمـده در مدارهای حفاظتی برای تشخیص دما یـا جریـان اسـتفاده مـی شـوند. بـر خـلاف انـواع NTC ، ایـن ترمیستورهای PTC یک مشخصه جریان – ولتاژی دارند که به تغییر جهت حسـاس هسـتند . دو نـوع اساسی از آنها که هر دو با ترکیبات باریم ، سرب و تیتانات استرونتیوم (مواد سـرامیکی) سـاخته شـده مورد استفاده قرار گرفته اند . PTC نوع محافظ در برابر اضافه دمـا دارای یـک نقطـه کلیـدی در یـک

دمای مرجع (یا دمای قطع بنام T_r) است . در دماهای پایین تر از دمـای قطـع ، مقاومـت PTC نسـبتا ثابت است اما در دماب بالاتر از آن مشخصه PTC شتاب گرفته و مقاومت آن به نحو بسیار شدیدی با بالا رفتن دما افزایش می یابد . یک منحنی نوعی قاومت بر حسب دما همراه با یک مـدار تشـخیص و قطع در شکل ۱۴ نشان داده شده است . تغییر ناگهانی در مقاومت را می توان به عنوان عملگر در یـک نشان دهنده یا کلید زنی مدارهای دیگر برای اهدافی مثل حفاظـت موتورهـا و یـا بـرای تهویـه اضـافه گرمای ترانسفورماتورها استفاده نمود .



شکل ۱۴ : مشخصه یک ترمیستور PTC که برای تشخیص دمای بیش از حد استفاده شده است .

نوع دیگر ترمیستور PTC در مدارهای حفاظت از اضافه جریا استفاده شده ، کـه منحنـی مقاومـت بـر حسب دمای آن در شکل ۱۵ تشریح شده است . این مشخصه یک منحنی S شکل که دو نقطه گـذار دارد را دنبای می کند . یکی از نقاط گذار در نقطه مقاومت حداقل R_{max} قرار دارد . بین صـفر درجـه سلسیوس و R_{min} و همچنین در منطقه بالاتر از R_{max} ضریب حرارتـی منفـی اسـت . بـین R_{min} و R_{max} ضریب حرارتی مثبت و بزرگ است . در این ناحیه از ptc تغییر مقاومت ممکن اسـت بـه ازای هر درجه سلسیوس افزایش دما به بزرگی ۱۰۰ درصد باشد .



شکل ۱۵ : نمونه ای از مشخصه استفاده شده برای وسایل حفاظت جریان که به کمک یک ترمیستور PTC عمل می کنند .

هرگاه یکی از وسایل به صورت سری با یک بار قرار گیرد ، بار مورد نظر در برابر جریان بیش از حد محافظت می شود . در جریان عادی PTC در حالت مقاومت پایین خود بوده که باعث می شود بیشتر ولتاژ اعمالی در دو سر بار قرار گیرد . وقتی که جریان افزایش می یابد ترمیستور به طور ناگهانی به حالت PTC رفته و در این حالت (به کمک خود گرمادهی) بیشتر ولتاژ اعمالی دو سر ترمیستور قرار گرفته و جریان در کل مدار بسیار کم می شود . این مدار را می توان بنحوی تنظیم نمود که وقتی ترمیستور سرد شد به صورت خود کار به حالت عادی برگردد . یا برای اینکه ترمیستور به اندازه کافی سرد شود مدار قطع کامل جریان نیاز داشته باشد . تغییر مقاومت به ازای تغییر واحد دما برای یک ترمیستور PTC ممکن است بسیلر ناگهانی باشد به نحوی که مداراتی از قبیل پل ها و اشمیت تریگرها گاهی اوقات لازم نیستند . در کاربردهایی محدود ترمیستور PTC را می توان مستقیما مورد استفاده قرار داد ، اما معمولا عبور جریان کنترل شده از ترمیستور مورد نظر نبوده و ترمیستور به عنوان بخشی از یک کلید ترانزیستوری یا یک مدار تقویت کننده عملیاتی است . خروجی چنین مداری به طور خاص خطی نیست اما حساسیت ممکن است بالا و پاسخ سریع باشد . یک مزیت خاص ترمیستورها اینست که عنصر حس کننده می تواند بسیار کوچک باشد .

نکته قابل توجه اینکه اگر یک تقویت کننده عملیاتی اگر با بهره کافی برای تقویت ولتاژ دو سر یک ترمیستور استفاده شود ، هر نوع ترمیستوری برای تشخیص دمای بیش از حد قابل استفاده خواهد بود . مزیت استفاده از ی ترمیستور PTC این است که در بسیاری از انواع کاربردهای حس کننده دما ، مدارهایی را می توان استفاده کرد که به تقویت کننده عملیاتی نیاز ندارند .

اتصال یک ترمیستور به یک مدار کلید زنی در مقایسه با وسایل نوار بی متال این مزیت را دارد که می توان آن را به نحوی قرار داد که دارای هیسترزیس صفر باشد . البته اگر این خصوصیت مفید باشد ، چرا که در اغلب مقاصد کلید زنی مقداری هیسترزیس به منظور جلوگیری از قطع و وصل سریع (هنگام برخورد جریانهای هوایی به آشکارساز) مطلوب است . بیشتر سیست های حسگر دمای پیشرفته که از ترمیستورها استفاده می کنند ، با میکروپرسسور کنترل شده و از نوعی هیسترزیس زمانی بهره می برند . در فاصله های زمانی کوتاه به خروجی حسگر دما که از ترمیستور گرفته می شود ، توجه شده و فقط اگر جهت تغییر دما ثاب باشد آن تغییر ثبت می شود . این امر پاسخ بسیلر سریع تر به تغییر دما را نسبت به شکل متداول هیسترزیس ممکن می سازد . هر چند که فاصله های زمانی مذکور بسته به نوع استفاده باید تنظیم شوند .

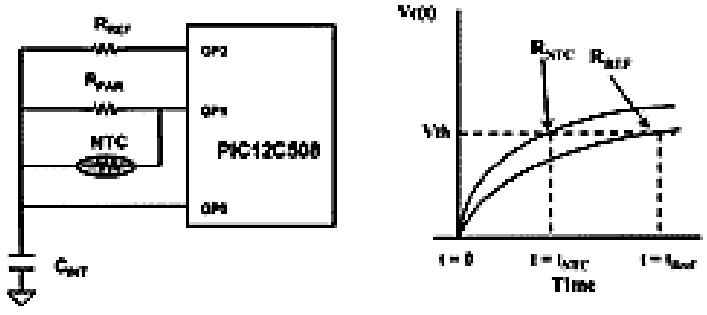
ترانزیستورها خودشان به عنوان عناصر حس کننده قابل استفاده هستند ، زیرا که بسیاری از پارامترای ترانزیستور از یک مشخصه دمایی منفی و نمایی پیروی می کنند . تقویت ذاتی یک ترانزیستور و استفاده از حساسیت دمایی ولتاژ بیس – امیتر باعث جذابیت آن به عنوان یک سیستم حس کننده ، شده است . بخصوص که خروجی آن به شکل تقویت شده از کلکتور قابل دریافت است . با این وجود ، استفاده از ترانزیستورها به عنوان حسگر دمما عمدتا به جبرانن دما در مدارههای IC و ترانزیستور محدود شده است .

مدار بهسازی

برای تبدیل مقاومت ترمیستور به ولتاژ می توان از مدار پل استفاده نمود ولی به دلیل مشخصه غیر خطی ترمیستور، خطای غیر خطی مدار پل تاثیر می گذارد که در صورت استفاده از مدار پل باید این موضوع لحاظ شود.

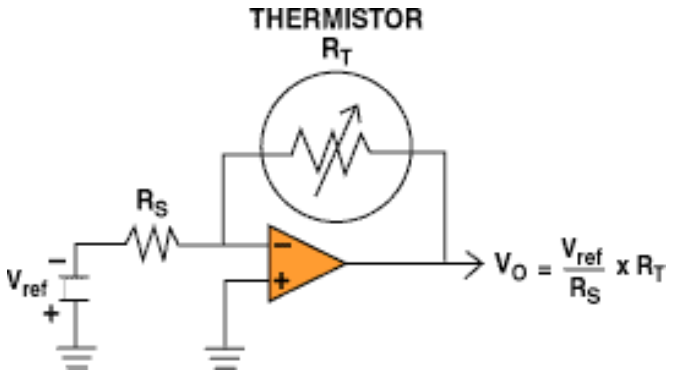
روش دیگر استفاده از مدار تقسیم ولتاژ است.که به دلیل مقاومت زیاد ترمیستور راه حل مناسبی می باشد.

روش دیگر استفاده از مدار زیر است.میکروکنترلر PIC12C508 که توضیح داده می شود.

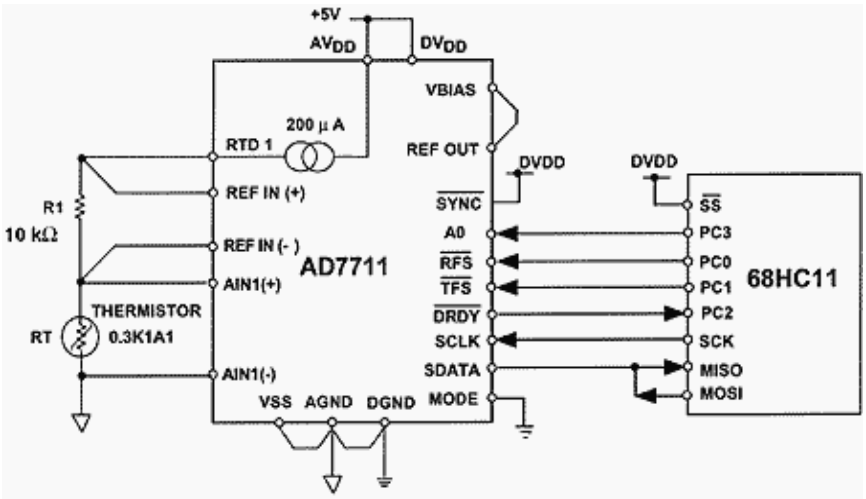


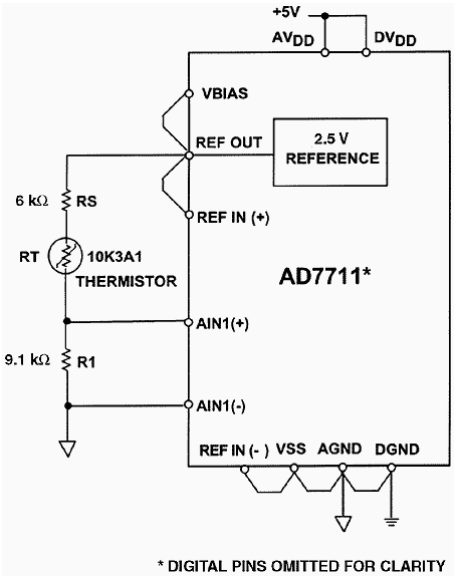
$$R_{NTC} = \frac{B_{NTC}}{B_{eval}} \times R_{REF}$$

روش دیگر استفاده از مدار پایین است که روشی مشابه تقسیم ولتاژ می باشد. در این روش OP. Amp با نسبت مقاومت ترمیستور به Rs ولتاژ خروجی را تولید می کند.

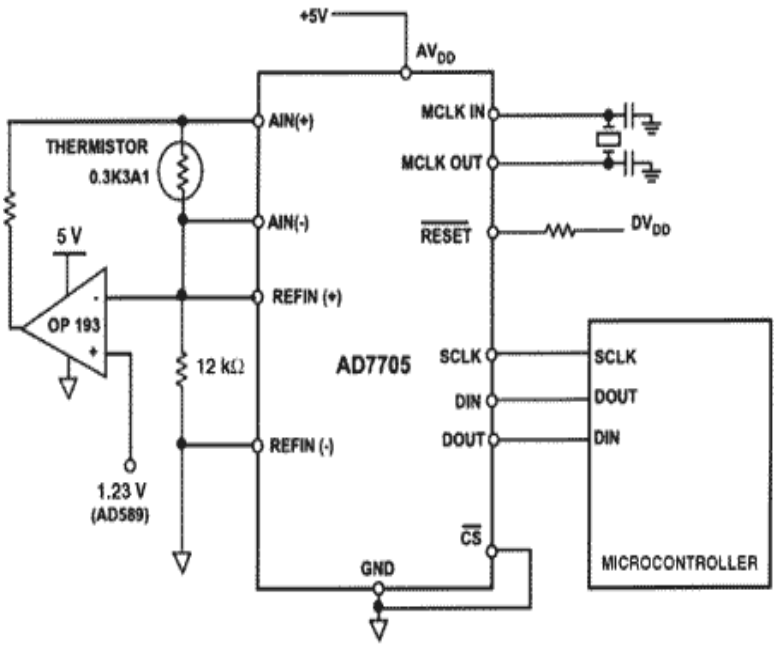


یک کار دیگر استفاده از مدار مجتمع AD7711 است که یک A/D می باشد.





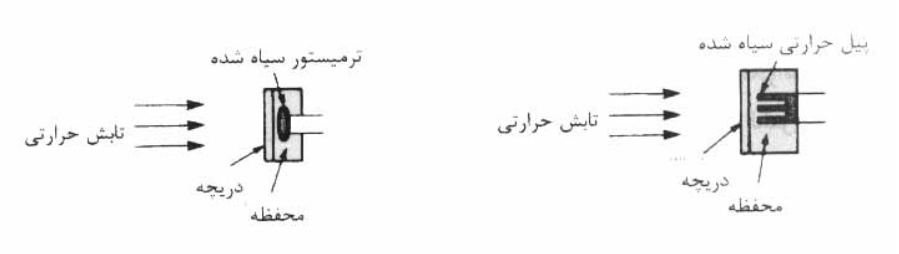
روش دیگر استفاده از مداری با IC، AD7705 می باشد.



حس کردن انرژی گرمایی تابشی

ممکن است حس کردن انرژی تابشی (که می تواند نور ، گرما ، امواج رادیویی یا در بعضی از موارد تابش یونی باشد) مورد نیاز باشد . محدوده بسیار وسیعی از طیف الکترومغناطیسی به وسیله اثر دمایی آنها حس می شوند . برای حس آن از وسیله به نام بالومتر که عملکرد اساسا حرارتی دارد، اسفاده می شود .

اصول کار بالومتر در شکل ۱۶ تشریح شده است . یک ماده سیاه تابش را به خوبی جذب می کند و بنابراین وقتی که انرژی تابشی به آن تابیده می شود ، دمای آن بالا خواهد رفت . این تتغییر دما به روشهایی که قبل از این در همین فصل تشریح شد اندازه گیری می شود . انواع کلاسیک بالومتر ها در قرن نوزدهم استتفاده می شدند فلزی بوده و اثر افزایش دما ناشی از تابش در مدارهای اندازه گیری حساس پل آشکار می شد . به دلیل اینکه تغییرات دمای ناشی از انرژی تابشی ممکن است کوچک و تغییر مقاومت مربوطه نیز ناچیز باشد ، لذا بالومترها معمولا به مدارهای پل متصل می شوند . بنابراین خروجی بالومتری که انرژی تابشی دریافت نمی کند با خروجی بالومتری که مشخصا در معرض تابش قرار گرفته قابل مقایسه است .



شکل ۱۶ : بالومتر متشکل از یک حسگر دما که سطح آن سیاه شده و در یک محفظه (ترجیحا خلاء) قرار داده شده است . تابش حرارتی از دریچه عبور کرده و حسگر را گرم می کند . حسگر می تواند یک ترمیستور یا یک پیل حرارتی باشد

بالومترهای مدرن از حسرهای نیمه هادی (که به منظور جذب حداکثر تابش سیاه شده اند) استفاده می کنند . تغییر بسیار بیشتری در مقاومت یک ترمیستور به ازای تغییر کوچکی در دما ، این نوع ماده را برای استفاده در بالومتر ایده آل می سازد و تشخیص بسیار حساستری نسبت به آنچه که با انواع قدیمی تر ممکن بود ، حاصل می شود . طبیعت غیر خطی ترمیستور در انواع کاربرد اهمیت کمتری دارد چراکه تغییرات دما معمولا کم است .

آشکارسازهای پیروالکتریک

فیلم های پیرو الکتریک مواد عایقی هستند که وقتی سطح آنها در معرض تابش اشعه مادون قرمز (IR) قرار می گیرند باردار می شوند . فیلم های پلاستیکی بدین منظور بکار رفته اند ، اما ماده ای که برای سیستم های تشخیص اشعه مادون قرمز غیر فعال (PRI) مورد توجه قرار گرفته تانتالات لیتیوم است . ساختمان یک آشکارساز مشابه یک خازن با یک صفحه فلزی و یک ماده پیرو الکتریک با سطحی هادی به عنوان صفحه دیگر می باشد . به دلیل اثر اشعه مادون قرمز در جداسازی بارها در ماده پیروالکتریک (که بطور غیر دقیق اما درست تر پلاریزاسیون نیز نامیده شده است) با تغییر مقدار تابش اشعه مادون قرمز ، بار و در نتیجه ولتاژ دو سر صفحات خازن پیرو الکتریک تغییر خواهد کرد .

ثابت زمانی مدار بزرگ است و بنابراین سرعت پاسخ به تغییرات IR در محدوده ۰/۲ تا ۱ هرتز قرار دارد . با این وجود ، بدلیل این که آشکارساز یک خازن است پاسخ DC وجود ندارد و بنابراین یک تزریق کننده اشعه مادون قرمز ساکن حس نخواهد شد . علاوه بر این ، خازن امپدانس بالایی داشته و در نتیجه آشکارساز پیروالکتریک در عمل شامل خازن و یک ماسفت است که به صورت یک مجموعه همراه با اتصالات خارجی لازم با پایه های ماسفت ساخته شده است . کاربردهای اصلی آشکارساز

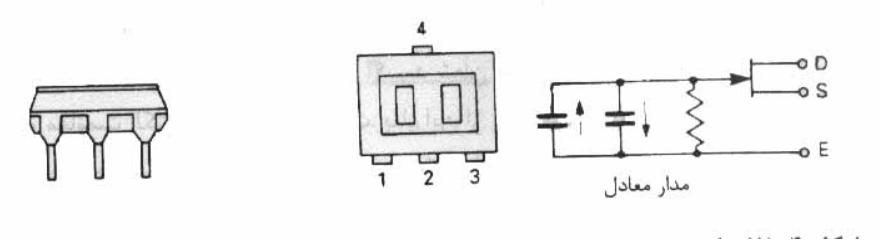
های پیرو الکتریک در آلارم های دزدگیر ، قطع و وصل اتوماتیک چراغها و تجهیزات در باز کن و سیستم های تعیین وضعیت هستد .

پارامترهای یک آشکارساز پیروالکتریک شامل توان معادل نویز (NEP) ، پاسخ دهی و پاسخ فرکانسی می باشند . برای یک منبع انرژی معلوم NEP عبارت از نرخ تغییر سیگنال و پهنای باندی است که حد پایین مفید بودن آشکارساز را مشخص می کند ، چراکه سیگنال های زیر این حد در زیر سطح نویز قرار خواهند گرفت . برای یک نمونه آشکار ساز پیرو الکتریک از جنس تانتالات لیتیوم و برای منبعی در دمای رنگی ۵۰۰ کلوین ، در پهنای باند فرکانسی ۱۰ هرتز و ۱ هرتز ، مقدار NEP برابر با $۱۰^{-۹}$ نقل شده است .

پاسخ دهی آشکارساز به صورت ولتاژ خروجی بر حسب ولت بر واحد انرژی تابشی (یا خروجی جریان بر حسب آمپر بر واحد انرژی تابشی) در یک طول موج یا دمای رنگی غالب از منبع قابل بیان است . مقدار نوعی پاسخ دهی ولتاژ ۳۲۰۰ ولت بر وات است . پاسخ فرکانسی پاسخ دهی برای فرکانس های مدولاسیون (نه فرکانس تابش شده) مختلف می باشد و همانطور که در بالا آمد این پارامتر متناسب با عملکرد یک فیلتر پایین گذر با یک قله در مقداری کمتر از ۱ هرتز خواهد بود .

شکل ۱۷ یک واحد PRI نوعی با استفاده از یک آرایش IC ردیفی(با چهار پایه و در پوششی با ابعاد تقریبی ۷/۵ * ۸ میلی متر) را تشریح می کند . مدار معادل آن شامل دو خازن پیرو الکتریک است و به نحوی بهم متصل شده اند که ولتاژ آنها با هم جمع می شود . ولتاژهای جمع شده به گیت یک ماسفت که دو پایه دیگر آن دو پایه از IC هستند ، اعمال می گردد . ولتاژ تغذیه ای در حد ۳ تا ۱۵ ولت قابل استفاده بوده و معمولا ماسفت به یک مدار دنبال کننده منبع با مقاومت ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلو اهم منصل می شود .

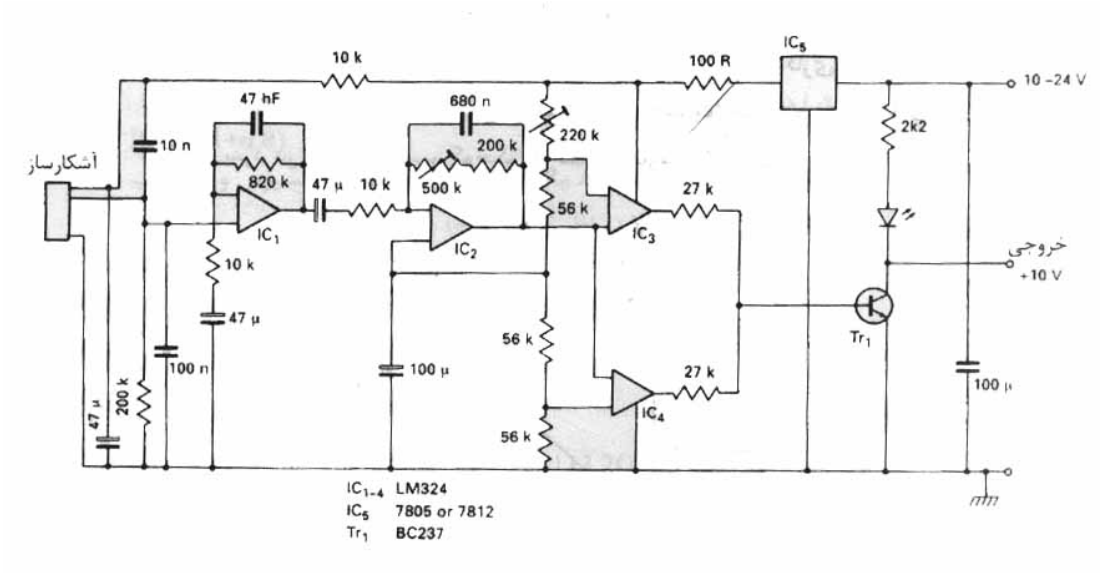
مصرف جریان مدار حداکثر ۲۰۰ میکرو آمپر است . پاسخ نسبی برای فرکانس ۰/۲ هرتز حداکثر بوده و در ۰/۰۵۵ و ۰/۷ هرتز به ۵۰ درصد می رسد . این امر واحد مذکور را ربای پاسخ به حرکت انسانها و حیوانات مناسب می سازد .



شکل ۱۷ : یک واحد نوعی مادون قرمز غیر فعال (PIR) پیرو الکتریک و مدار داخلی آن .

واحدی از این نوع به همراه لنزهای برش خورده (فرسنل) به کار رفته است که اشعه مادون قرمز ناشی از یک جسم را بر سطوح پیروالکتریک متمرکز کرده و نیز باعث می شوند که با هر حرکت جسم اشعه های مادون قرمز در اطراف آشکارساز جاروب شوند . اضافه کردن این لنز بخشی اساسی از عملکرد واحد بوده و زاویه ای که در آن تشخیص یک جسم گرم متحرک موثر است نیز به ساختمان این لنز بستگی دارد .

شکل ۱۸ یک مدار نوعی دارای اتصال دنبال کننده منبع ماسفت داخلی و با یک بار ۲۰۰ کیلو اهمی را نشان می دهد . خروجی آشکارساز در دو مرحله با کمک یک تقویت کننده عملیاتی چهارتایی با یک بهره ولتاژ (کلی) حدود ۳۲۰۰ تقویت می شود . بهره کلی به وسیله مقاومت متغییر در مدار فیدبک IC_2 با استفاده از یک مقاومت متغییر ۲۲۰ کیلو اهمی از یک مدار آستانه (برای تنظیم ولتاژ آستانه) عبور داده می شود . در این ولتاژ سیگنالها به ترانزیستور خروجی Tr1 (که خروجی آشکارساز را تقویت و شکل می دهد) منتقل می شوند . خروجی با روشن شدن یک نمایشگر LED بهمراه یک خروجی به مدار آلارم دهنده مشخص می شود . در عمل پس از مدتی آلارم خاموش می شود . اما معمولا LED برای نشان دادن اینکه واحد درست کار می کند ، روشن نگه داشته می شود .



شکل ۱۸: مدار پیشنهادی برای یک واحد آشکار ساز پیروالکتریک

بیو سنسورها(سنسورهای دمائی)

اندازه گیریهای متعددی در ارتباط با انرژی حرارتی سیستم بیولوژیک قابل انجام است.اینها شامل دما،هدایت گرمایی و تشعشع گرمایی هستند.از بین اینها، اندازه گیری دما به طور معمول انجام می

شود. دما متغییری فیزیولوژیک است که کیلینیکی اهمیت دارد و یکی از ۴ علامت حیاتی اساسی است که در تشخیص کلینیکی بیماران مورد استفاده واقع می شود
. در واقع یک ابزار دقیق اندازه گیری دما، دمای سنسور را نشان می دهد از این رو، مشکل موجود در اندازه گیریهای پزشکی دما، نگهداشتن سنسور دما دردمای فیزیولوژیکی مورد اندازه گیری است. آسان ترین راه انجام این کار نگهداشتن سنسور دما در تماس مستقیم با ساختاری است که دمایش اندازه گیری می شود. با این حال، این به تنهایی کافی نیست چرا که سنسور دما ممکن است دمای بافت در تماس با خود را تغییر دهد. مثلاً، چنانچه سنسور در ابتدا دمای کمتری نسبت به بافت اندازه گیری شونده داشته باشد زمانی که در تماس مستقیم با آن بافت قرار می گیرد، گرما از بافت به سنسور دما جریان می یابد.

اگر انرژی گرمایی هدایت شده به داخل بافت یا انرژی گرمایی تولید شده به روش های متابولیک در بافت، نتوانند جای آن گرما را بگیرند، قرار دادن سنسور دما در تماس مستقیم با بافت آن را سرد می کند و در نتیجه دما غلط قرائت می شود به این دلیل، جرم مؤثر گرمایی سنسور دما همواره باید بسیار کمتر از جرم مؤثر گرمایی بافت مورد اندازه گیری باشد. از این گذشته، مهم است که مقاومت گرمایی بین سنسور واقعی و بافت مورد اندازه گیری حتی الامکان کم باشد. سنسورهای معمول دما که در ابزارهای دقیق مهندسی پزشکی مورد استفاده اند عبارتند از:

۱- ترمیستور

۲- سنسورهای دمای مقاومت سیمی فلزی

۳- ترموکوپل

۴- نیمه هادی اتصالpn5- مواد حساس به دما مانند کریستال های مایع که خواص فیزیکیشان را دما تغییر می دهد.

از بین این موارد، ترمیستور معمول ترین سنسور دما در اندازه گیری مهندسی پزشکی است. این سنسور از اکسیدهای فلزی نیمه هادی تشکیل یافته است که به اندازه ها و اشکال فیزیکی متنوعی درآورده می شوند. این اشکال از ترمیستورهای قیطانی خیلی کوچک که کروی هستند و قطرهایی به کوچکی mm1 دارند، گرفته تا دیسک های مسطح بزرگی که دارای قطر چند سانتی متر است، تنوع دارند.الکترودها و سیم های رابط، تماس الکتریکی با ماده ترمیستور را فراهم می نمایند و مقاومت الکتریکی ترمیستور از طریق این تماس ها اندازه گیری می شود. مقاومت الکتریکی مواد نیمه هادی با

افزایش دما کاهش می یابد. مواد ترمیستوری را طوری ساخته اند که تغییر در مقاومت در محدوده دمایی موردنظر به حداکثر برسد و در همان حال حد بالایی از پایداری الکتریکی داشته باشند تا از تغییرات مقاومت در اثر دیگر منابع، یا به طور ساده با کهنه شدن خود ماده، جلوگیری شود. رسیدن به چنین خواصی، ساده نیست و از این رو فرمولاسیون واقعی مواد مختلف ترمیستوری که توسط تولیدکنندگان مختلف مورد استفاده قرار می گیرد و همچنین فرایندی که جهت پایدار نمودن خواص الکتریکی آنها استفاده می شود به دقت سرّی نگه داشته می شوند. دماسنج الکترونیکی کلینیکی مثالی از یک ابزار دقیق اندازه گیری دما مبتنی بر ترمیستور است.

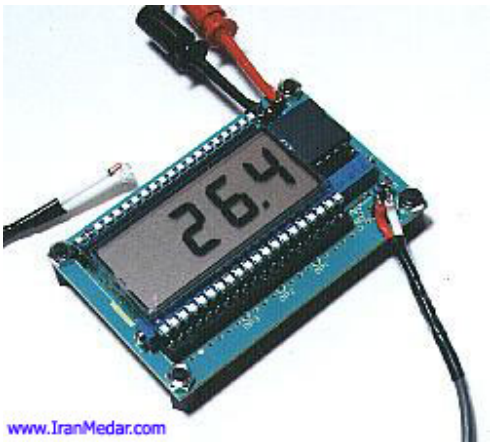
سنسور این ابزار دقیق از یک پروب تشکیل شده که یک ترمیستور دارد. طراحی این پروب، عامل مهمی در عملکرد کل ابزار است. جرم پروب و ترمیستور باید کم باشد تا پاسخ زمانی سریعی بدهد، در عین اینکه پروب باید محکم باشد تا قدرت تحمل استفاده مکرر را داشته باشد. بنابراین یک ترکیب مهندسی ضروری است چرا که این دو نیازمندی معمولاً با هم مخالف هستند. از این گذشته، چنانچه ابزار دقیق برای افراد مختلف بکار رود، تمیز کردن و استریلیزه نمودن پروب بعد از هر بار استفاده عملی نیست. پس یک پوشش حفاظتی استریلیزه و یکبار مصرف پروب را می پوشاند که برای استفاده هر بیمار عوض می شود.

همچنین این پوشش باید جرم گرمایی کم و هدایت گرمایی بالا داشته باشد تا از خراب شدن پاسخ زمانی ابزار جلوگیری نماید. همچنین باید محکم باشد تا گسیختگی که عملکرد آن را از بین می برد روی پروب قرار گیرد. هدف مدار الکترونیک پردازش سیگنال در این ابزار دقیق تبدیل مقاومت الکتریکی ترمیستور به ولتاژ مرتبط با دمای آن و آماده سازی این ولتاژ برای وسیله قرائت که معمولاً یک صفحه دیجیتالی نمایش دهنده دما است، می باشد. یک مدار پل و تستون نامتعادل که یک ضلع آن را ترمیستور تشکیل می دهد، این هدف را محقق می کند. چنانچه چنانچه پل به طور مناسب طراحی گردد، غیرخطی بودن ولتاژ خروجی پل و تستون به عنوان تابعی از مقاومت می تواند غیرخطی بودن ترمیستور را در یک محدوده دمایی معین(حداکثر تا ۴۰ درجه سانتی گراد) جبران کند، طوری که ولتاژ خروجی پل رابطه خطی با دما داشته باشد.

بقیه مدار الکترونیکی باید این سیگنال را طوری مقیاس دهی کند که خروجی دستگاه عدد صحیح را که

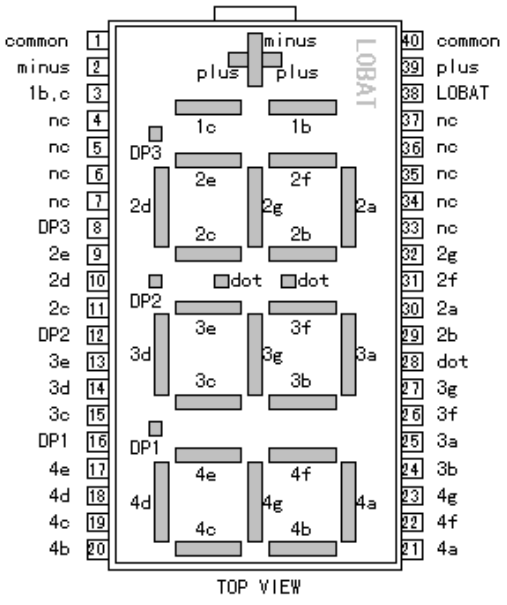
با دمای مورد اندازه گیری مطابق است نشان دهد. کارایی دیگری که در بعضی دماسنجهای الکترونیکی هست، مداری است که نشان می دهد چه زمان سنسور دما به تعادل رسیده است تا دما خوانده شود. چنین مداری هر ثانیه دما را بررسی می کند و قرائت نهایی را با چند تای قبلی مقایسه می کند. اگر اختلافها کمتر از ۰/۱ سانتی گراد باشد، دما ثابت درنظر گرفته می شود و به اپراتور گفته می شود که می تواند دما را بخواند، این کار معمولاً با یک بوق کوتاه انجام می شود. دیگر ابزارهای دقیق دما که قبلاً ذکر شد همگی براساس همین نوع ابزار دقیق هستند، چون اندازه گیری رسانایی گرمایی، شار گرمایی و تشعشع شامل انجام اندازه گیری اهی دمایی است. این سیگنال را طوری پردازش می کنند که کمیت موردنظر را براساس طرح سنسور ارائه دهد.

دماسنج دیجیتال با نمایشگر کریستال مایع



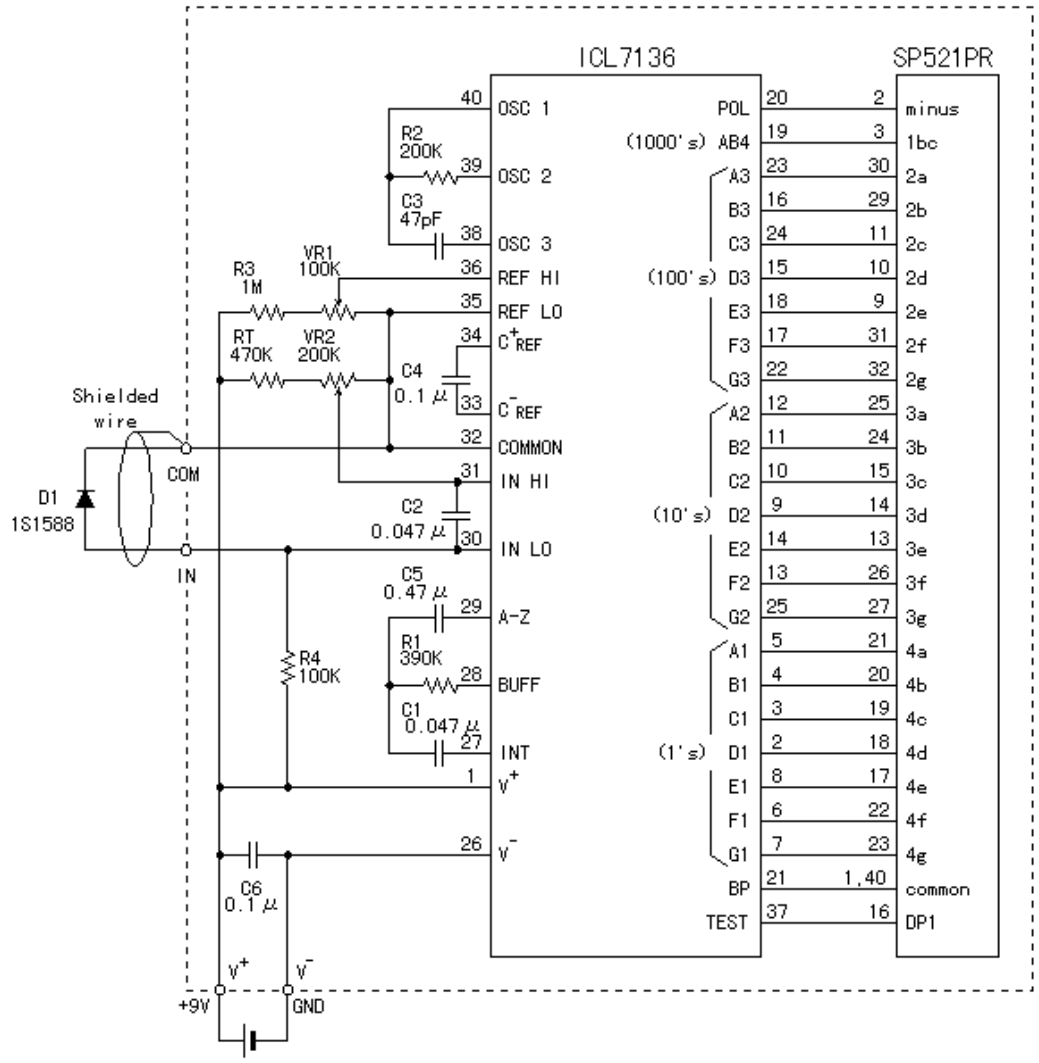
این مدار دارای کاربرد و جذابیتهای فراوان می باشد و قابلیت ارائه به عنوان پروژه دانشجویی و یا در در کنار مجموعه ای از وسایل دیگر با کمی چاشنی ابتکار می تواند طرحی جهت ارائه به جشنواره خوارزمی باشد.این مدار با دقت قابل قبولی دمای محیط را بر روی نمایشگر کریستال مایع (در

صورت تمایل می توانید از نمایشگر ال ای دی استفاده نمایید) نشان می دهد. بـرای سنسـور حسـگر حرارت این مدار می توانید از آی سی S8100 استفاده نمایید که قابلیت اندازه گیری دماهایی بـین – ۴۰ تا +۱۰۰ درجه سانتیگراد را دارد. همچنین می توانید از دیود S1588۱ استفاده نمایید کـه در ایـن صورت مدار شما قابلیت اندازه گیری دما از –۲۰ تا +۱۵۰ درجه سانتیگراد را دارا خواهد بود.

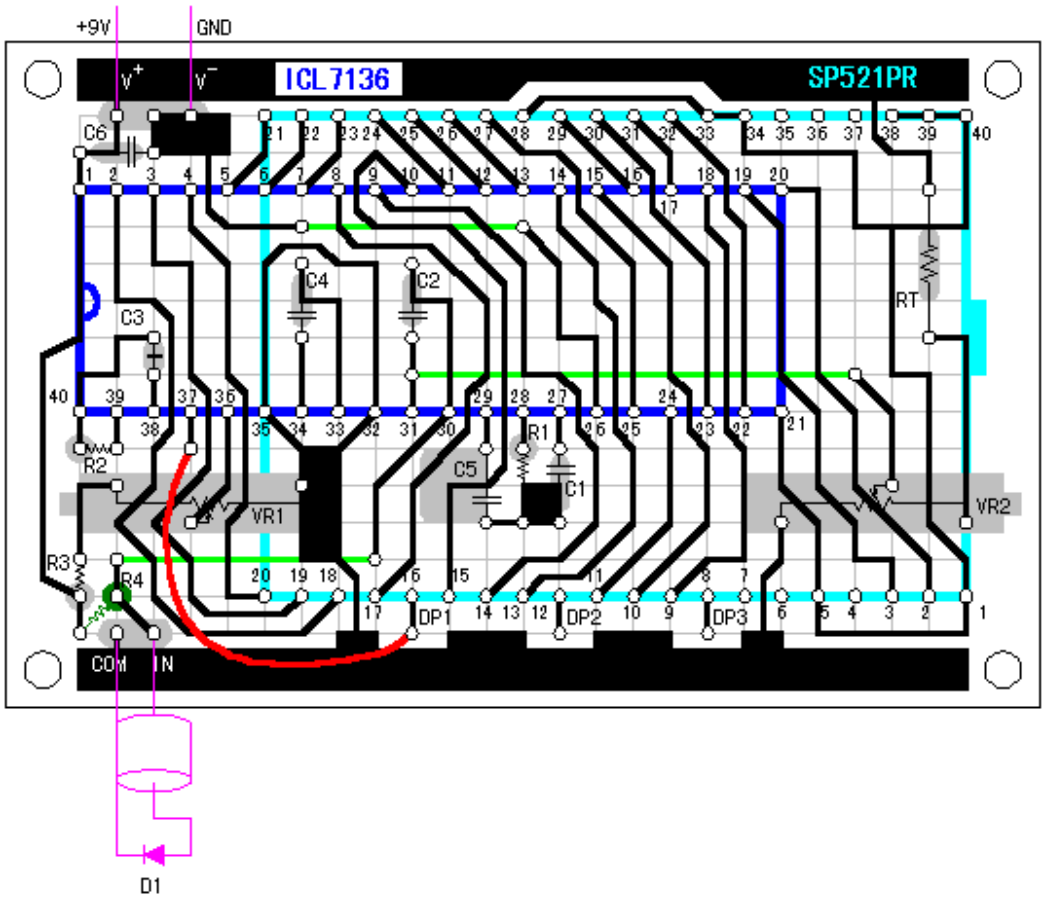


نمایشگر کریستال مایع استفاده شده در

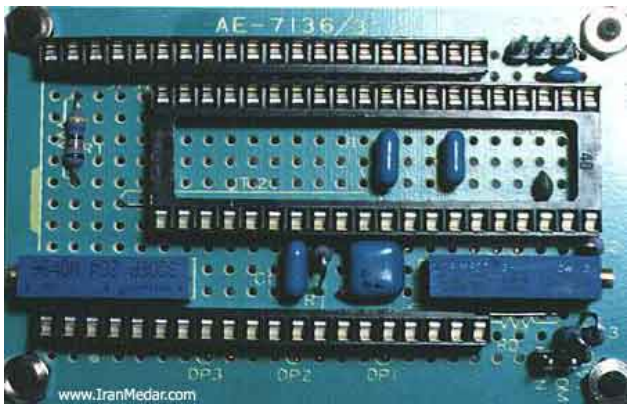
در این مدار آی سی ICL7136 به کار گرفته شده است که ولتاژ رسیده از دیود حسگر حـرارت را را اندازه گیری می نماید.برای نمایش اطلاعات از یک نمایشگر کریستال مـایع ۵/۳ رقـم بـه شـماره SP521PR استفاده شده است. که با ارزش ترین رقم آن تنهـا امکـان نمـایش عـدد یـک را دارد. در صورت نیاز می توانید با کمی تغییر در مدار از نمایشگرهای ال ای دی و نظیر آنها نیز استفاده نمایید. انرژی مصرفی آی سی ICL7136 بسیار اندک بوده به گونه ای که دماسنج دیجیتال شما مـی توانـد حدود ۳ ماه به صورت پیوسته تنها با یک باتری ۹ ولت به خوبی دمای محیط را انـدازه گیـری نمایـد. توجه داشته باشد که برای آیسی و نمایشگر مدار حتماً از سوکت استفاده مایید.

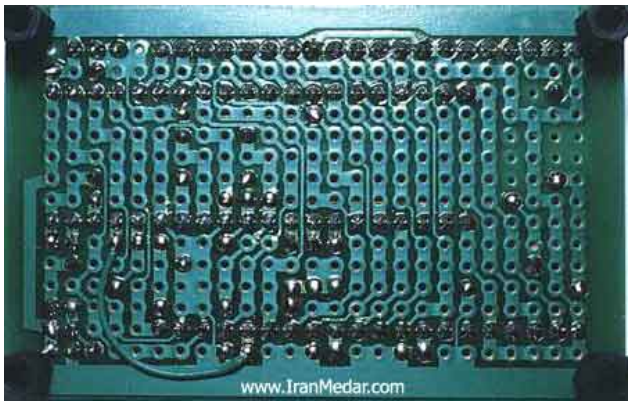


شکل PCB (نقشه مدارچاپی) ترمومتر دیجیتال به صورت زیر است. دقت کنید که به خـاطر واضـح شدن نقشه تصویر بزرگتر از اندازه واقعی برد است. برای بدست آوردن اندازه واقعی می توانیـد انـدازه آی سی را مبنای کار خود قرار دهید.



خطوط سبز فسفری سیم های اتصال در طرف دیگر برد را نشان می دهندو سیم قرمز رنگ برای روشن کردن نقطه (ممیز) نمایشگر به کار رفته است.





پس از ساخت مدار ، هنگامی که مطمئن شدید همه چیز به درستی انجام شده است ، تغذیه مدار را متصل نمایید. دماسنج دیجیتال شما قبل از استفاده نیاز به تنظیم دارد. معمولاً این تنظیم را در دمای

صفر و ۱۰۰ درجه انجام داده و ملاک را مخلوط آب و یخ برای صفر درجه و آب جوش برای ۱۰۰ درجه قرار می دهند.

برای تنظیم ابتدا سنسور را در مخلوط آب و یخ قرار داده و توسط پتانسیومتر VR2 دما را بر روی صفر درجه تنظیم نمایید. پس از آن سنسور را در آب در حال جوشیدن قرار داده و پتانسیومتر VR1 را آنقدر بچرخانید تا دماسنج دیجیتال عدد ۱۰۰ را نمایش دهد. حال دستگاه شما تنظیم شده و آماده به کار است.

در زیر جدول مقایسه ای بین دماهای اندازه گیری شده توسط دماسنج الکلی و ترمومتر دیجیتال را مشاهده می کنید . همانگونه که از نمودار رسم شده نیز مشخص است ، دماسنج ساخته شده توسط شما با دقت قابل قبولی قادر به اندازه گیری دما است.