ابزار دقیق

فصل دوم

بخش اول

روشهای اندازه گیری دما

miryousefi.blogfa.com

اندازه گیرهای دما

اندازه گیری دما و ابزار مربوط به آنها از جمله بخشهای مهم در کنترل پروسه های صنعتی به شمار می آیند.

بـه همـین دلیـل شـناخت دقیـق انـواع انـدازه گیرهـای دمـا و روشـهای انـدازه گیـری دمـا و درک صـحیح از عملکـرد و محـدودیتهای آنهـا بسـیار لازم و ضروریسـت. مبنـای فیزیکـی اکثـر انـدازه گیرهـای دمـا مـی توانـد بـه دو روش الکتریکی و غیر الکتریکی تقسیم شوند .

در روش الکتریکـی روش هـایی همچـون تغییـر مقاومـت الکتریکـی، تغییـر فرکـانس رزونـانس، تغییـر رنـگ، انـدازه گیـری تشعشـع حرارتـی، تغییـر نیـروی محرکـه الکتریکـی و آثـار پیـرو الکتریکـی و در روش غیـر الکتریکـی انبساط (تغییر حجم در اثر حرارت)، تغییر شکل فیزیکی و تغییر فشار گازها بکار برده می شود.

در ادامه روشهای ذکر شده در بالا بررسی خواهد شد.

۱- روشهای غیر الکتریکی

۱-۱- ترمومترهای مایعی

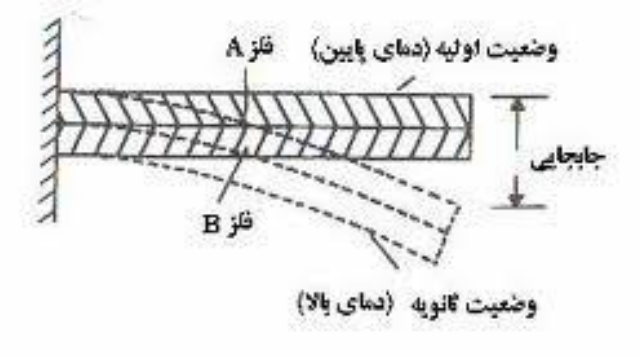
این نوع از ترمومترها از ساده ترین انواع انـدازه گیرهـای دمـا هسـتند کـه اکثـرا جهـت نمـایش دمـا اسـتفاده مـی شـوند. به این نوع ترمومترها شیشه ای نیز گفته مـی شـود و شـامل یـک لولـه شیشـه ای حـاوی یـک مـایع اسـت کـه انبسـاط مایع میـزان حـرارت را نشـان مـی دهـد. مـایع معمـولا از نـوع جیـوه یـا الکـل مـی باشـد. صـحت ایـن نـوع ترمومترهـا معمـولا ۱٪ اسـت ولـی در نـوع دقیـق آن مـی توانـد صـحت ۰.۱۵٪ نیـز داشـته باشـد. گسـتره انـدازه گیـری آن نیـز (-200 to 1000 °C) می باشد.

miryoosefi.blogfa.com

۱-۲- ترمومترهای بی متال

- بر اساس تغییر طول فلزات در اثر تغییر دماعمل می کند
- از دو فلز نـواری شـکل باضـریب انبسـاط طـولی مختلـف تشـکیل شـده اسـت .فلـزات مـورد اسـتفاده آلیاژهـای مختلفی دارند و بـا تغییـر دمـا ترکیـب دو فلـزخم مـی شـود میـزان خـم بـر اسـاس دمـا کـالیبره شـده وامکـان قرائت فراهم می شود.
- نوار ترکیبی به سمت فلزی که دارای ضریب انبساط طولی کمتری است خم می گردد
- معمولا بـرای افـزایش حساسـیت بـی متـال آن را بـه شـکل مـارپیچ (حلزونـی) مـی سـازند زیـرا حساسـیت بـا طول نوار نسبت مستقیم دارد.
- بی متال می تواند بصورت دیسـکی نیـز سـاخته شـود کـه در تجهیـزات برقـی بـرای جلـوگیری از افـزایش دمـا بکار برده می شود.
- فلزات مورد استفاده در بی متال معمولا از آلیاژ آهن و نیکل می باشد.

miryoosefi.blogfa.com



اندازه‌گیر دمای دو فلزی حلزونی شکل

مقادیر ضریب انبساط برای چند نوع فلز که در حسگرهای بی متال مورد استفاده قرار می گیرند در جدول ذیل آمده است. به دلیل اینکه دو فلز تشکیل دهنده بی متال دارای مقادیر انبساط مساوی نیستند با تغییردما نوار بی متال دچار خمیدگی می شود.

miryooseti.gfa.com

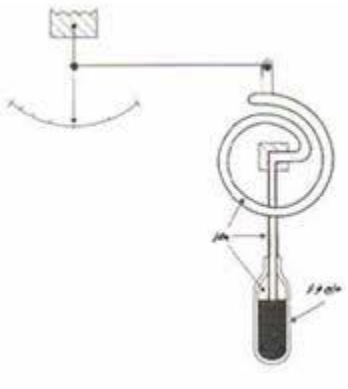
فلز/ آلیاژ	ضریب انبساط $10^{-6}\ K^{-1}$	فلز/آلیاژ	ضریب انبساط $10^{-6}\ K^{-1}$
آلومینیم	24	**قلع**	23.5
نیکل	13.3	**کرم**	6.5
نقره	19.1	**مس**	17
Invar Fe64/Ni36	1.7 - 2	**آهن**	12.1
تیتانیم	8.9	**سیلیسیم**	4.7 – 7.6
تنگستن	4.5		

۱-۳- ترمومترهای فشاری (لوله بوردون)

این ترمومتر می تواند بصورت مایعی یا گازی باشد و اساس کار آن انبساط سیال موجود در منبع و در نتیجه جابجایی انتهای لوله می باشد.

miryoosefi.blogfa.com

برای افزایش حساسیت و میـزان جابجـایی، از شـکل حلزونـی یـا مـارپیچی اسـتفاده مـی شـود و در انتهـای لولـه نیـز بـا استفاده از مبدلهای جابجایی آنرا به نشان دهنده های مکانیکی و الکتریکی متصل می کنند.



۲- روشهای الکتریکی

۲-۱- تغییر مقاومت الکتریکی

تغییرات دما می تواند باعث تغییر مقاومـت اهمـی در فلـزات و نیمـه هـادی هـا شـود. اگـر ایـن تغییـر بـا افـزایش دمـا و افزایش مقاومت اهمی همراه باشـد بـه مبـدل PTC و اگـر بـا افـزایش دمـا مقـدار مقاومـت کـاهش یابـد مبـدل NTC نامیده می شود. مبدلهای PTC معمولا از فلزات و مبدلهای NTC از نیمه هادی ها ساخته می شود.

در ادامه به بررسی خصوصیات و محاسن و معایب هریک از این مبدلها پرداخته می شود.

۲-۱-۱- مبدل ها با ضریب حرارتی مثبت (PTC)

حسـگرهای مقـاومتی بـا ضـریب مثبـت (PTC) را اصـطلاحا RTD (Resistor Temperature Detector) می نامنـد. RTD یـک ابـزار حسـگر دمـا اسـت کـه مقاومـت آن بـا افـزایش دمـا ، افـزایش مـی یابـد. RTD ها ابزارهای کاملا خطـی هسـتند. اگـر چـه در تئـوری مـی تـوان هـر نـوع فلـزی بـرای تشـخیص دمـا اسـتفاده کـرد ، ولـی در عمـل فلزاتـی بـا نقطـه ذوب بـالا کـه در برابـر خـوردگی مقـاوم هسـتند و نیـز فلزاتـی کـه مقاومـت مخصوص بالایی دارنـد ، بـرای ایـن منظـور انتخـاب مـی شـوند. طـلا و نقـره ، مقاومـت مخصـوص پـایینی دارنـد و بـه

miryoosefi.blogfa.com

دلیـل مقاومـت نسـبتا پـایین آن هـا ، انـدازه گیـری توسـط آن هـا مشـکل اسـت. مـس هـم مقاومـت مخصـوص بسـیار پـایینی دارد ولـی بـه دلیـل قیمـت پـایین ، مـورد اسـتفاده قـرار مـی گیـرد. معـروف تـرین انـواع RTD هـا از نیکـل ، پلاتین یا آلیاژهای نیکل سـاخته مـی شـوند. حسـگرهای نیکلـی در مـواردی کـه قیمـت ، معیـار مهمـی نیسـت بـه کـار مـی رونـد و محـدوده ی انـدازه گیـری دمـایی آن هـا محـدود اسـت. آلیاژهـای نیکـل ، مثـل نیکـل – آهـن از نیکـل خالص ارزان تر هستند و علاوه بر آن ، دمـای عملکـرد بـالاتری نیـز دارنـد. پلاتـین تـا کنـون پـر کـاربرد تـرین مـاده در ساخت RTD ها بـوده و دلیـل آن نیـز ، مقاومـت مخصـوص بـالا ، پایـداری طـولانی آن در هـوا (خنثـی بـودن از نظـر شیمیایی) ، رنج حرارتی نسبتا وسیع ، ثابـت زمـانی کـم تـر نسـبت بـه سـایر فلـزات (بـه دلیـل نیـاز نداشـتن بـه پوشـش) است.

RTD هـا ، دارای دقـت بسـیار بـالایی در محـدوده ی دمـایی گسـترده هسـتند و دقـت برخـی از آن هـا بهتـر از $0.001\ ^{\circ}C$ اسـت. مزیـت دیگـر RTD هـا آن اسـت کـه میـزان انحـراف از تنظـیم آن هـا کـم تـر از $0.1\ ^{\circ}C$ در سال می باشد. بـه دلیـل مقاومـت پـایین و تغییـرات کوچـک مقـاومتی RTD هـا بـا دمـا ، کـه معمـولا در محـدوده ی ۰/۴ بر درجه ی سانتی گراد است ، اندازه گیـری آن هـا مشـکل بـه نظـر مـی رسـد. بـرای انـدازه گیـری دقیـق تغییـرات کوچک در مقاومت ، معمولا ساختارهای مداری خاص مورد نیاز است.

برای نمونه برخی مشخصات PT100 که یک RTD می باشد، بصورت زیر است :

- ضریب دما $\alpha=0.00385$ در $25^{\circ}C$
- تفکیک پذیری $ohm/^{\circ}C$ (0.29 -0.39)
- گستره دمایی $-200^{\circ}C$ الی $850\ ^{\circ}C$
- صحت $\pm 0.6\ ^{\circ}C$ در $100\ ^{\circ}C$

RTD هـا معمـولا در مقاومـت هـای ده اهمـی تـا ده کیلـو اهمـی سـاخته مـی شـوند. RTD هـا ممکـن اسـت در داخل غلاف شیشـه ای کـه بـه نـام Resistance Bulb معـروف هسـتند قـرار داده شـوند. مشـابه بـا ترموکوپـل هـا،

miryoosefi.blogfa.com

ممکـن اسـت RTD هـا نیـز در غـلاف فلـزی و یـا سـرامیکی جاسـازی شـوند. RTD هـا در مـواردی مـورد اسـتفاده واقع می شوند که دقت اندازه گیـری دمـا زیـاد بـوده و محـدوده ی انـدازه گیـری آن کـم باشـد. آن هـا همچنـین بـرای انـدازه گیـری محـدوده ی خـاص از درجـه حـرارت (کـه انـدازه گیـری آن بـرای ترموکوپـل هـا مشـکل باشـد) مـورد اسـتفاده واقـع مـی شـوند. در RTD هـا مقـدار تغییـر مقاومـت در برابـر $1^{\circ}C$ تغییـر دمـا را ضـریب مقاومـت حرارتـی (Temperature Coefficient of Resistance) نامیده و آن را با α نشان می دهند.

مقاومت الکتریکی در فلزات مطابق رابطه زیر نسبت به دما تغییر می کند.

$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

کـه در آن R_0 مقاومـت المـان در صـفر درجـه سـانتیگراد و α ضـریب مقاومـت حرارتـی و T دمـا برحسـب درجـه سانتیگراد می باشد.

بـرای دسـتیابی بـه پایـداری و دقـت بـالا ، حسـگرهای RTD بایـد عـاری از آلـودگی باشـند. در دماهـای کـم تـر از $250^{\circ}C$، آلودگی مشکل جدی ایجاد نمـی کنـد ولـی در دماهـای بـالاتر ، بـرای بـه حـد اقـل رسـاندن میـزان آلـودگی عنصـر RTD روش هـای تولیـد خاصـی اسـتفاده مـی شـود. حسـگرهای RTD معمـولا بـه دو روش سـاخته مـی شوند: سیم پیچی شده (Wound Wire) و یا فیلم نازک(Thin Film).

RTD های سیم پیچـی شـده بـا پیچیـدن یـک رشـته ی بسـیار ظریـف از سـیم پلاتینـی بـه شـکل یـک پیچـک بـه دور یک ماده ی غیر هادی (مثل سرامیک یـا شیشـه) تـا رسـیدن بـه مقاومـت مـورد نظـر سـاخته مـی شوند.سـپس ایـن مجموعـه بـرای حفاظـت در برابـر اتصـال کوتـاه و ایجـاد مقاومـت لرزشـی، آمـاده سـازی مـی گـردد. اگـر چـه RTD های سیم پیچی شـده بسـیار پایـدار هسـتند ، امـا هـدایت حرارتـی بـین پلاتـین و نقطـه ی مـورد انـدازه گیـری ، خیلـی خوب نیست و در نتیجه ، پاسخ حرارتی آن ها کند است.

miryoosefi.blogfa.com

فلزات اساسا مقاومت الکتریکی کمی دارند ، بنابراین برای آشکار سازی تغییرات مقاومت الکتریکی باید اندازه ی مقاومت فلز در دمای صفر نسبتا بزرگ باشد ، به همین دلیل با ساخت مقاومت به صورت سیم پیچ طول آنرا افزایش داده و مقاومت بزرگی می سازند.

RTD های فیلم نازک ، با نشان دادن (Deposition) یک لایه پلاتین به شکل مقاومت روی یک زیر لایه ی سرامیکی ساخته می شوند. این فیلم نازک پرداخت می شود تا مقاومت مورد نیاز حاصل شود ، سپس جهت ایجاد مقاومت در برابر رطوبت و مقاومت ارتعاشی ، این فیلم نازک با شیشه یا اپوکسی (Epoxy) پوشانده می شود. از مزایای RTD های فیلم نازک پاسخ حرارتی بسیار سریع ، حساسیت کم نسبت به ارتعاش و قیمت کم تر آن ها نسبت به انواع سیم پیچی شده می باشد. RTD های فیلم نازک دارای قابلیت ایجاد مقاومت بالاتر برای یک اندازه ی مشخص هستند.این RTD ها پایداری کم تری نسبت به انواع سیم پیچی شده دارند ، ولی به دلیل قیمت بسیار پایین تر آن ها ، کاربرد آن ها به طور روز افزون در حال گسترش است.

-انواع اتصالات RTD

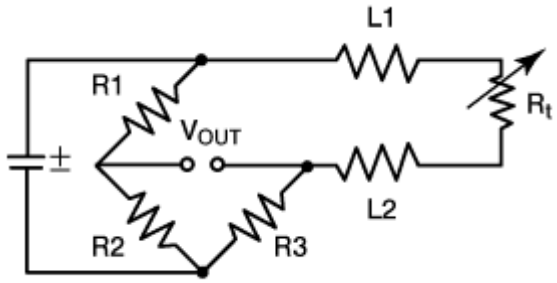
به دلیل فاصله بین سنسور و دستگاه اندازه گیری که ممکن است به چند متر نیز برسد، سیمهای رابط باعث بروز خطا در اندازه گیری می شوند به همین دلیل برای کم کردن این میزان خطا از سیم بندی های مختلفی استفاده می شود که در شکل زیر سه نوع آنها نشان داده شده است.

الف) اتصال دوسیمه

اتصال مطابق شکل زیر توسط یک پل وتستون انجام می گیرد و زمانیکه پل در حالت تعادل باشد مقاومتهای R_1 با $R_T+L_1+L_2$ و R_3 با R_2 مساوی است و ولتاژ خروجی برابر با صفر است. تعادل پل بصورت رابطه زیر نمایش داده می شود:

miryoosefi.blogfa.com

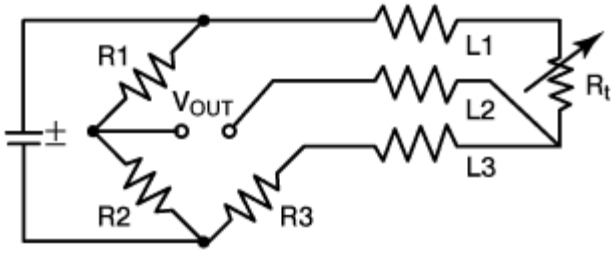
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_T + L_1 + L_2}{R_3}$$



- بیشترین حساسیت پل زمانی است که $R_1 = R_2 = R_3 = R_T+L_1+L_2$
- در این نوع اتصال مقاومت سیم های رابط را نمی توان ندیده گرفت و برای جبران این مقاومتها می توان یک مقاومت با R_3 در نظر گرفت.

ب) اتصال سه سیمه

این نوع اتصال روش متناسب و راحتی است که خیلی زیاد مورد استفاده قرار می گیرد و در شکل زیر نمایش داده شده است.



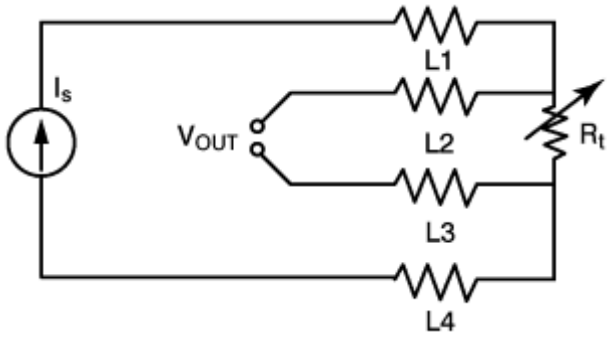
در این حالت نیز در حالت تعادل ولتاژ خروجی برابر با صفر خواهد شد و رابطه تعادل و بیشترین حساسیت پل بصورت $R_1 = R_2 = R_3 + L_3 = R_T+L_1$ خواهد بود.

miryousefi.blogfa.com

از خصوصیات مهم این نوع اتصال جبران L_1 توسط L_3 است و L_2 تنها نقش اتصال به پل وتستون را ایفا می کند و در حالت تعادل پل جریانی از آن عبور نکرده و اثری بر عملکرد مدار ندارد.

ج) اتصال چهار سیمه

این نوع اتصال که در شکل زیر نشان داده شده دارای صحت خیلی بالایی است.



این مدار برای کار نیاز به یک منبع جریان ثابت دارد. این جریان ثابت از L_1 و L_4 و RTD عبور می کند. به این سیمها، سیمهای جریان گفته می شود. از L_2 و L_3 جریان بسیار ناچیزی عبور می کند و به آنها سیمهای ولتاژ گفته می شود.

۲-۱-۲- ترمیستور (NTC)

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 مقاومتهای ترکیبی کربنی به کار می رود. بعضی از این ترکیبها دارای ضریب حرارتی مثبت هستند، اما در اغلب موارد نمی توان مقدار مثبت ویا منفی ضریب حرارتی را تعیین کرد زیرا دارای مقدار ثابتی نیست. ترمیستورهای با ضریب حرارتی مثبت بسیار غیرخطی عمل

miryoosefi.mihanblog.com

می کننـد، امـا اغلـب ترمیسـتورهای بـا ضـریب حرارتـی منفـی از یـک رفتـار نـاهموار لگـاریتمی امـا بـا تغییـرات آرام در مقدار مقاومت پیروی می کنند.

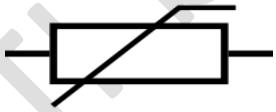
ترمیسـتورها از مـواد نیمـه هـادی هسـتند کـه از اکسـید فلزهـای گـروه آهـن از قبیـل کـروم کبالـت و آهـن منگنـز و نیکل ساخته می شوند و مقاومت مواد ذکر شده با دما مطابق رابطه زیر تغییر می کند:

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

R : مقاومت در دمای T درجه کلوین

R_0 : مقاومت ترمیستور در دمای T_0

β : مقدار ثابتی که به جنس ترمیستور بستگی دارد و معمولا مقدار آنرا ۴۰۰۰K اتتخاب می کنند



شمای فنی ترمیستور

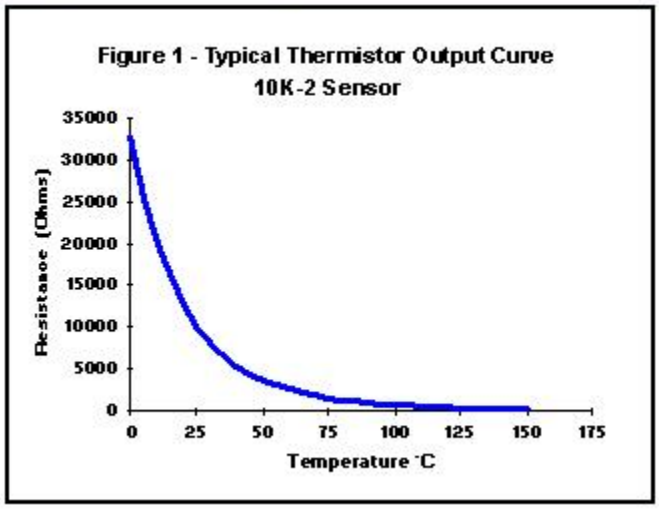
حساسـیت ترمیسـتورهای امـروزی چنـان بالاسـت کـه تغییـری بـه انـدازه یـک میلیـونیم کلـوین را مـی‌تـوان بـه کمـک آنها آشکار سازی و اندازه گیـری کـرد. ایـن وضـع عملـی بـودن کـاربرد آنهـا را در دسـتگاههای جدیـد بـه جـای پیلهـای ترموالکتریک برای اندازه گیری شدت تابش خیلی ضعیف، نشان می‌دهد.

ترمیسـتورها دراشـکال فیزیکـی مختلفـی ماننـد تکمـه ای،تکمـه ای ریـز، صـفحه ای، میلـه ای و همـین طـور محصـور در محافظه فلزی ساخته مـی شـود. ترمیسـتورهای بـا ضـریب دمـایی منفـی (NTC) بـه منظـور کنتـرل دمـا بـه عنـوان مثـال در کنتـرل کـردن دمـای پـایین کـوره، در ترموسـتاتهای یخچـال ،سنسـور دمـای اتـاق وکنتـرل کننـده هـای

miryoosefi.blogfa.com

فرآیندها به کـار مـی رونـد. محـدوده دمـایی کـار آنهـا از 150 ˚C تـا 200 ˚C بـوده و بعضـی از انـواع آنهـا تـا دمـای 600 ˚C را می تواند تحمل کنند.

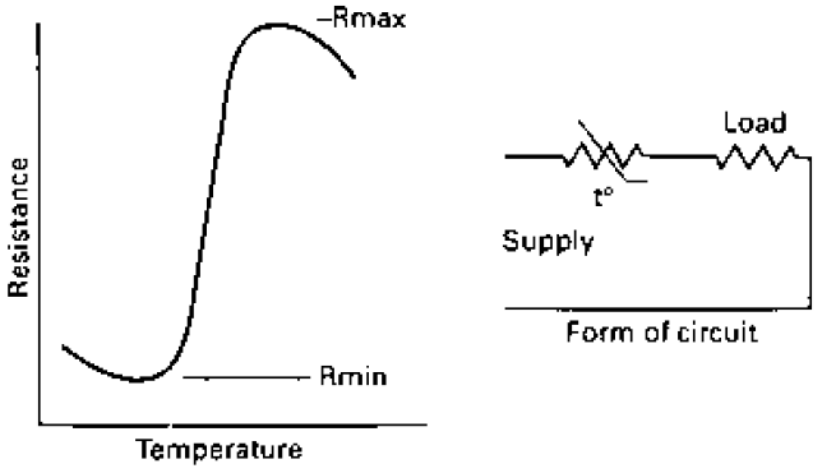
شکل زیر منحنی تغییر مقاومت نسبت به دما را در ترمیستورهای NTC را نشان می دهد.



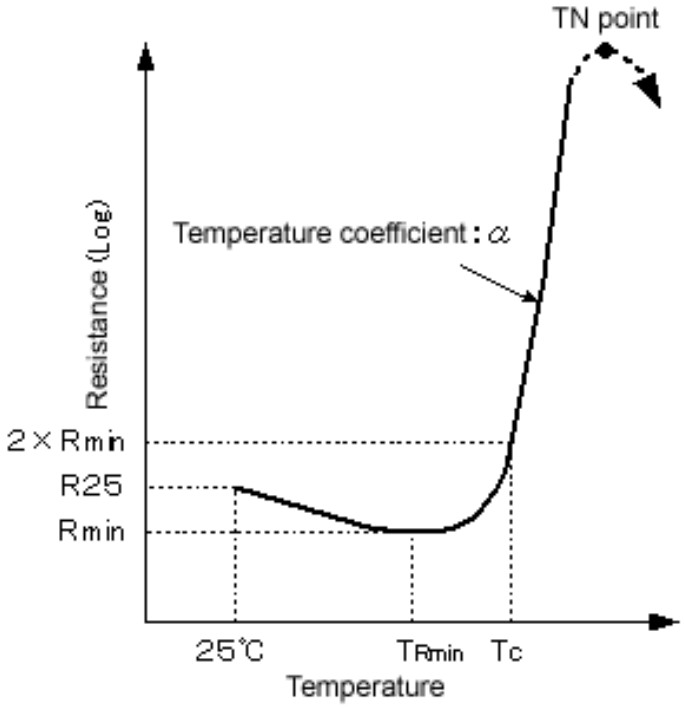
۲-۱-۳- ترمیستور (PTC)

ترمیسـتورهای بـا ضـریب حرارتـی مثبـت (PTC) قطعـاتی اسـت کـه عمـدتا در مـدارات حفـاظتی بـرای تشـخیص دمـا ویا جریان به کـار مـی رونـد. بـر خـلاف نـوع NTC ترمیسـتورهای PTC دارای مشخصـه جریـان–ولتـاژی هسـتند کـه در ان تغییـر جهـت وجـود دارد و دو نـوع اصـلی از آنهـا اسـتفاده مـی شـود کـه هـردو نـوع وابسـته بـه ترکیبـات بـاریم، سـرب و تیتانـات استروسـنیم هسـتند. نـوع حفاظـت اضـافه دمـای قطعـات PTC در یـک دمـای مرجـع و یـا دمـای نقطـه لغـزش T دارای یـک نقطـه انتقـال اسـت. در دماهـای کمتـر از دمـای نقطـه لغـزش مقاومـت قطعـه PTC کـاملا ثابت است. اما در محدوده دمـای نقطـه لغـزش مشخصـه PTC دچـار تحـول مـی شـود و بـا افـزایش دمـا مقاومـت آنهـا

سریعا افزایش می یابد. از تغییر ناگهانی در مقاومت می توان به منظور راه اندازی یک نشاندهنده ویا فعال کردن مدارات دیگری که برای اهداف دیگری مثلا حفاظت موتور الکتریکی ویا خنک کننده ترانسفورمر به کار می روند استفاده کرد. در این حالت PTC را بصورت سری با بار می بندند و در زمانیکه حرارت کم است مقدار مقاومت ترمیستور کم است و بار به کار عادی خود ادامه می دهد ولی اگر دمای بار زیاد شود مقدار مقاومت ترمیستور نیز افزایش یافته و باعث کاهش جریان بار می شود. مدار و نمودار شکل زیر نحوه انجام این موضوع را نشان می دهند.

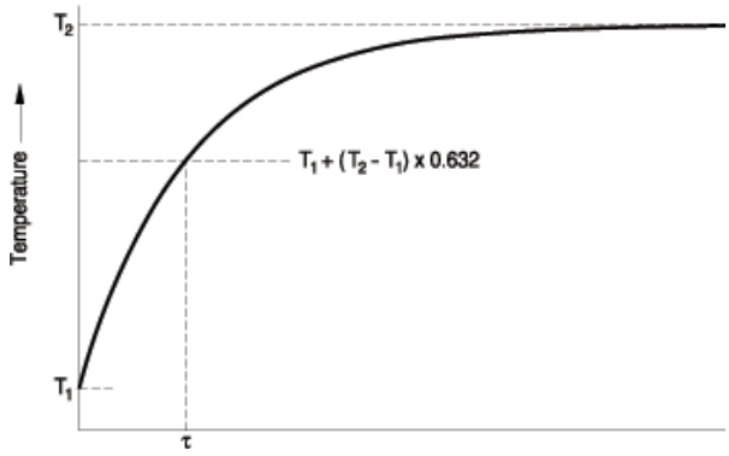


- از ترمیستور های PTC جهت کلید زنی برای کنترل و محدود کردن جریان نیز استفاده می شود در این حالت به آن PTC سوئیچینگ نیز می گویند. ترمیستورهای PTC دارای یک نقطه بحرانی هستند که تا قبل از رسیدن به آن نقطه یک ضریب حرارتی منفی کوچک دارند ولی بعد از رسیدن به نقطه بحرانی دارای ضریب حرارتی مثبت شده و مقاومت آن چندان تغییری نمی کند تا آنجا که به دمایی برسد که مقاومت آن دو برابر مقاومت مینیمم شود. به این دما، اصطلاحا دمای سوئیچ (Curie temperature) گفته می شود. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است.



- جنس ترمیستورهای PTC معمولا فلزی است و معمولترین فلز بکار رفته در آن پلاتین است و از فلزات مس، نیکل و تنگستن نیز برای ساخت اینگونه ترمیستورها استفاده می شود.
- دربین فلزات، نیکل بیشترین و پلاتین کمترین حساسیت را دارا می باشد.
- در دماهای پایین از نیکل استفاده می شود ولی در دماهای بالا به دلیل وجود مشخصه غیرخطی زیاد در آن از تنگستن استفاده می شود. حساسیت تنگستن از نیکل کمتر و از مس و پلاتین بیشتر است.
- اگر یک مشخصه کاملا خطی نیاز بود، از پلاتین استفاده می شود.
- جهت افزایش توان ترمیستورها می توان آنها را با هم سری و موازی بست.
- مقاومت ترمیستورهای PTC کم و حدود ۱۰۰ اهم و مقاومت ترمیستورهای NTC زیاد و درحد چند کیلواهم است
- مدت زمانی که طول می کشد تا یک ترمیستور به ۶۳.۲٪ اختلاف دمای اولیه و دمای فعلی آن برسد ثابت زمانی ترمیستور گفته می شود و ممکن است از چند میلی ثانیه تا بیش از ۱۰۰ ثانیه باشد. عموما این مقدار ۳۰ ثانیه می باشد. برای مثال اگر یک ترمیستور در یک محیط با دمای ۲۵ درجه قرار داشته باشد و به محیطی با دمای ۷۵ درجه برده شود مدت زمانی که طول می کشد تا دمای آن به ۵۶.۶ درجه برسد ثابت زمانی ترمسیتور است.

miryoosefi.blogfa.com



(75-25)*63.2% + 25 = 56.6

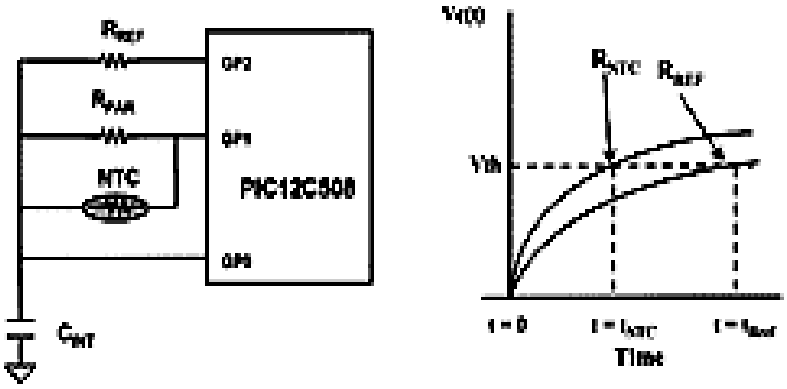
- یکی از معایب ترمیستور خودگرمایی آن است. خودگرمایی اصطلاحا توان تلف شده در ترمیستور است که باعث بوجود آمون دمایی بیشتر از دمای محیط در ترمیستور می شود که این امر بدلیل مقاومت بالا در آن ، در اثر عبور جریان ، بصورت گرما ظاهر می شود.
- به دلیل مشخصه غیرخطی ترمیستورها باید آنها را خطی کرد. برای اینکار می توان با سری یا موازی کردن یک مقاومت با ترمیستور تا حد قابل قبولی آنرا خطی کرد. همچنین با ترکیب چند ترمیستور بصورت موازی می توان به یک مشخصه خطی مناسبی دست پیدا کرد.
- برای تبدیل مقاومت ترمیستور به ولتاژ می توان از روشهای زیر استفاده نمود :

الف- استفاده از مدار پل : 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.

ب- استفاده از مدار تقسیم ولتاژ: که به دلیل مقاومت زیاد ترمیستور راه حل مناسبی می باشد.

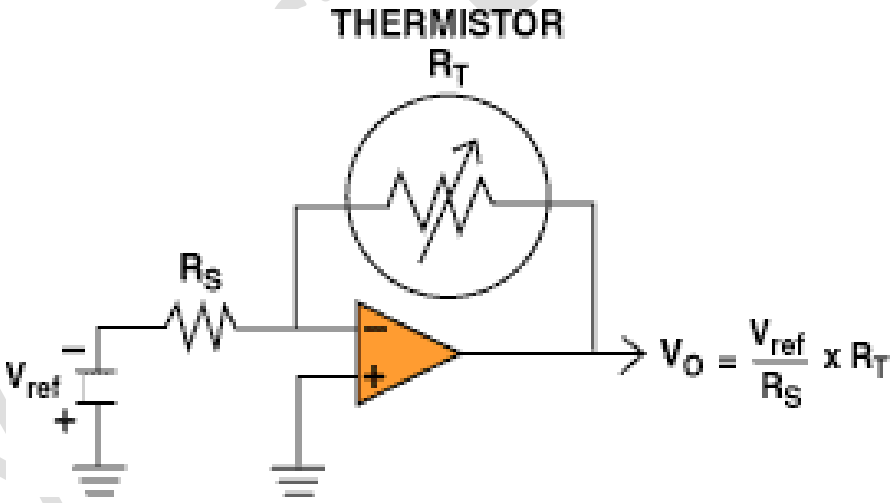
ج- استفاده از مدارمیکروکنترلری.

miryoosefi.blogfa.com

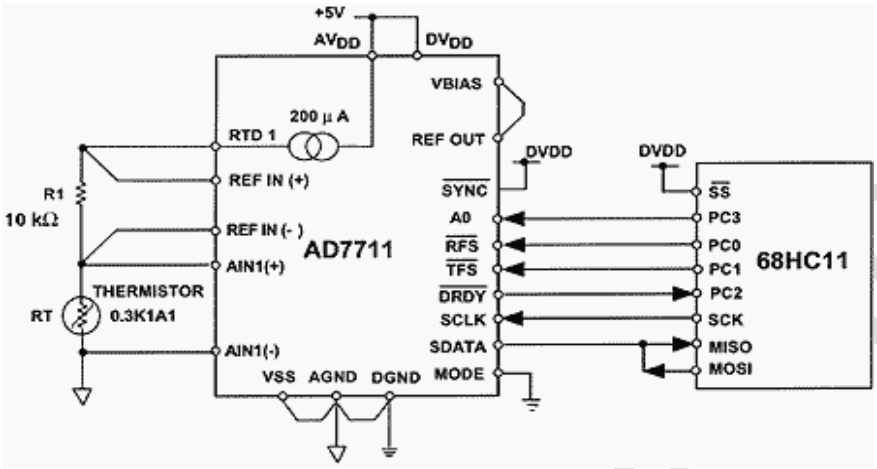


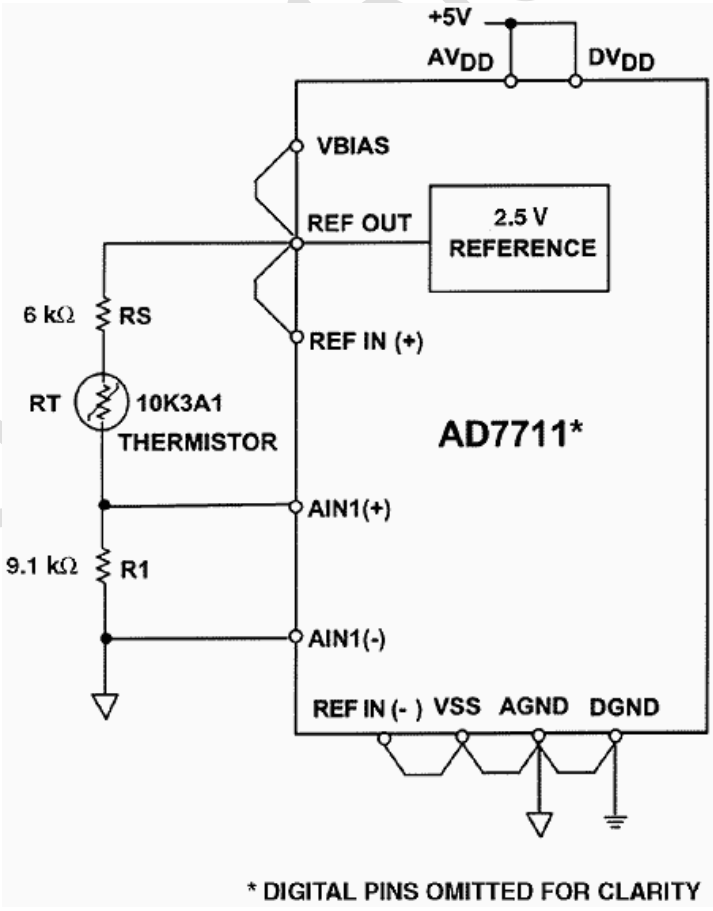
$$R_{NTC} = \frac{B_{NTC}}{B_{ref}} \times R_{REF}$$

د- استفاده از روشی مشابه تقسیم ولتاژ می باشد. در این روش OP. Amp با نسبت مقاومت ترمیستور به Rs ولتاژ خروجی را تولید می کند.

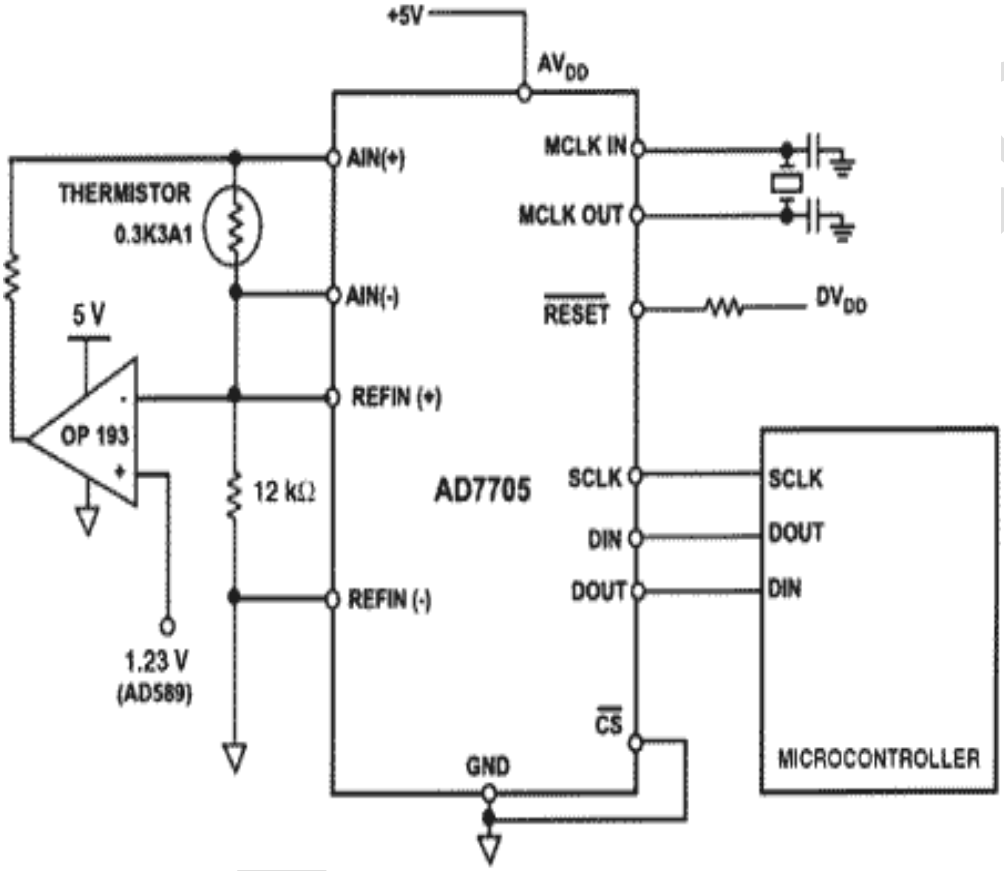


ه- استفاده از مدار مجتمع AD7711 است که یک A/D می باشد.





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



-

miryoos.com

جدول مقایسه مزیتهای نسبی ترموکوپلها و دماسنجهای مقاومت پلاتین در زیر آمده است.

ترموکوپل	مقاومت پلاتین
دقت 0.5 تا 5C	دقت 0.1 تا 1C
محدوده کار 200- C 1750+	محدوده کار 200– تا C 650+
حساسیت در نوک	حساسیت در تمام طول ساقه
می تواند خیلی کوچک باشد	دارای اندازه بزرگ است
نیاز به نقطه صفر مرجع دارد	–
می توان برای اندازه گیری دمای سطح استفاده کرد	–
در مقابل ارتعاش مقاوم است	تحت تاثیر ارتعاش قرار می گیرد
نیاز به منبع تغذیه ندارد	نیاز به منبع تغذیه دارد
دارای اثر خودگرمایی نیست	جریان بایستی در آن محدود شود
در دراز مدت دارای انحراف از مقدار است	دارای پایداری عالی است
بسیار محکم و خشن است	می تواند شکستنی هم باشد
سیمهای مخصوص لازم دارد	می توان از کابل مسی در آن استفاده کرد
خروجی 10تا C ˚ 40	خروجی دارای تغییرات0.4V بر C ˚ است
بایستی داخل غلاف نصب شود	می توان آن را بدون غلاف نصب کرد

miryoosefi.blogfa.com

۲-۲- ترموکوپل

از ترموکوپل به عنوان عنصر حس کننده در سنسور حرارتی ویا سویئچ حرارتی استفاده می شود.

ترموکوپل ، از دو هادی غیر یکسان که ممکن است فلز ، آلیاژ یا غیر فلز باشند و این دو هادی در یکی از دو سر انتهائی خود بهم وصل می شوند،تشکیل می شود .این نقطه اتصال ، اتصال اندازه گیری نام دارد و سرهای آزاد آنها به نام اتصال مرجع (یا اتصال سرد) شناخته می شود . از این روش در صنعت بصورت گسترده ای برای اندازه گیری دما استفاده می کنند.

اساس کار ترموکوپل، پدیده سیبک (Seebeck) می باشد که به آن ترموالکتریک نیز می گویند که در آن حرارت به ولتاژ تبدیل می گردد.

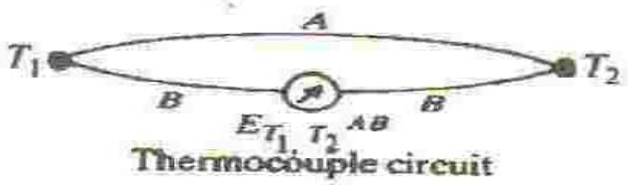
باید توجه داشت که سیم های ترموکوپل طوری انتخاب می شوند که تا جای ممکن از نظر اثرات ترمو الکتریکی با هم تفاوت زیاد داشته باشند و برای یک اختلاف دمائی معین ، ولتاژ ترموالکتریکی (emf) زیادی تولید کنند.

miryor-fi.blogfa.com

مواد سیم های ترموکوپل باید خواص زیر را داشته باشند:

- نقطه ذوب بالا
- دمای کاری بالا
- مقاومت زیاد در مقابل اکسیداسیون و تاثیرات اتمسفری
- پایدار ماندن خواص آن با گذشت زمان (رانش کم)
- خواص آن بگونه ای باشد که در فرآیند ساخت تکرار پذیر باقی بماند
- مقاومت (اهمی) پائین
- ضریب مقاومت حرارتی پائین
- ارتباط پیوسته وتاجای ممکن خطی بین دما و emf

اگر دو فلز مختلف A وB به صورت سری بهم متصل شوند در محل اتصال آنها (که اختلاف دما دارند) یک اختلاف پتانسیل الکتریکی بوجود می آید (اثر سیبک) . میزان این پتانسیل الکتریکی بستگی به جنس دو فلز و دمای محل تماس آنها دارد.



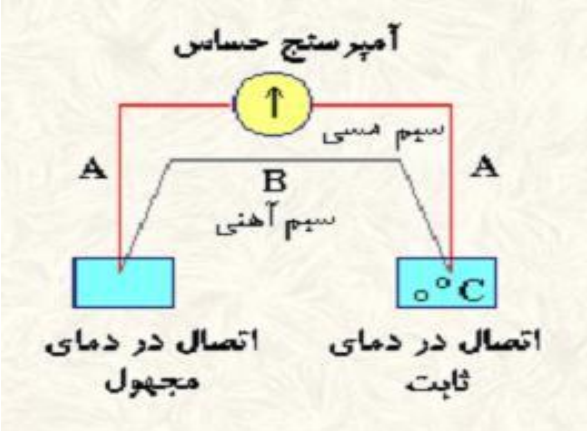
Thermocouple circuit

در شکل فوق T1 دمای مورد اندازه گیری (اتصال گرم یا اتصال فعال) و T2 دمای اتصال مرجع (اتصال سرد) می باشد. ولتاژ ناشی از اختلاف پتانسیل این دو نقطه از رابطه زیر بدست می آید:

$$\mathrm{E}_{\mathrm{T}_1\mathrm{T}_2} = \mathrm{E}_{\mathrm{T}_1} - \mathrm{E}_{\mathrm{T}_2} = \propto_1 (T_1 - T_2) + \propto_2 (T_1^2 - T_2^2) + \cdots$$

که در آن $\propto_1$ و $\propto_2$ و ... ضرایب ثابتی هستند که بستگی به جنس فلزات ترموکوپل دارند.

miryousefi.blogfa.com



- **انواع ترموکوپل**

انواع مختلف استاندارد ترموکوپل در جدول زیر آمده است

نـوع	ترکیب مـواد (شاخه A +/ شاخه B -)
T	مس / آلیاژ مس – نیکل(کنستانتان)
E	آلیاژ نیکل – کروم(کرومل) / آلیاژ مس - نیکل(کنستانتان)
J	آهن / آلیاژ مس - نیکل(کنستانتان)
K	آلیاژ نیکل-کروم(کرومل) / آلیاژ نیکل- آلومینیوم(آلومل)
N	آلیاژ نیکل-کروم- سیلیکون / آلیاژ نیکل- سیلیکون
R	پلاتین - ٪۱۳ رادیوم / پلاتین
S	پلاتین - ٪۱۰ رادیوم / پلاتین
B	پلاتین - ٪۳۰ رادیوم / پلاتین - ٪۶ رادیوم

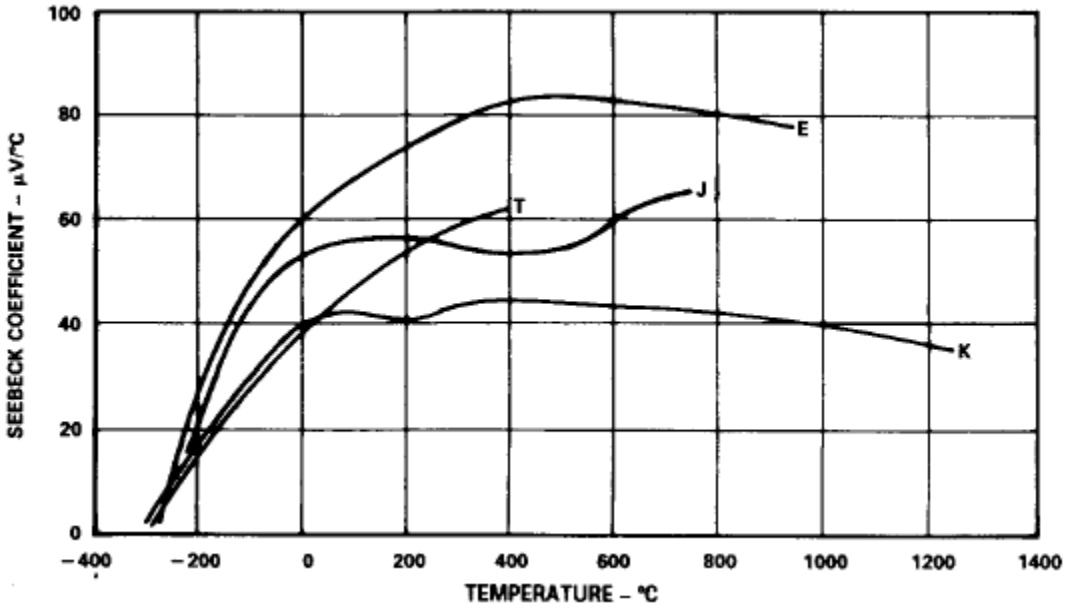
بمنظـور انتخـاب یـک نـوع ترموکوپـل بـرای یـک کـاربرد خـاص ، دانـش و اطـلاع جزئـی از خـواص مـواد ،مـورد نیـاز است . جداول زیر در برگیرنـده برخـی از ایـن اطلاعـات مـی باشـند .همچنـین در ادامـه برخـی اطلاعـات پایـه اولیـه در مورد خواص ونحوه کاربرد ترموکوپلهای هر دسته ارائه خواهد شد.

miryoosefblogfa.com

نوع ترموکوپل	محیط کاری مجاز	حداکثر دمای کاری (°C) *	mVبه ازای هر 100°C	توضیحات
R	اکسید کننده ، بی اثر	۱۶۰۰	۰.۶۴۷	از تماس با فلز اجتناب شود- به پوشش سرامیکی نیاز دارد
S	اکسید کننده ، بی اثر	۱۶۰۰	۰.۶۴۵	از تماس با فلز اجتناب شود- به پوشش سرامیکی نیاز دارد
B	اکسید کننده ، بی اثر، خلأ برای فواصل زمانی کوتاه	۱۷۰۰	ناچیز	از تماس با فلز اجتناب شود. بسیار مناسب برای دماهای بالاست. در دمای اتاق ولتاژ خروجی پائینی دارد
T	اکسید کننده ، بی اثر، احیاء کننده، در محیط تاحدودی خلأ	۳۵۰	۴.۲۷۷	مناسب دماهای زیر صفر. قابلیت تحمل رطوبت
J	اکسید کننده ، بی اثر، احیاء کننده ،در محیط تاحدودی خلأ	۷۵۰	۵.۲۶۸	بسرعت آهن آن زنگ می زند یا اکسید می شود
K	اکسید کننده ، بی اثر	۱۲۰۰	۴.۰۹۵	پوسیدگی در برخی محیطها
E	اکسید کننده ، بی اثر	۹۰۰	۶.۱۳۷	مناسب برای دماهای زیر صفر. بالاترین ولتاژ خروجی بین ترموکوپلهای معمول

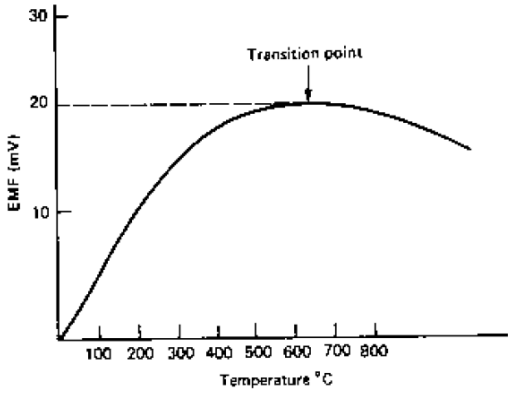
* حداکثر دمای کاری بستگی به ضخامت سیم های ترموکوپل دارد.

- ضریب سیبک با واحد $\mu V/°C$ مشخص می شود و در دماهای مختلف تغییر می کند. نمودار زیر این تغییرات را برای ترموکوپل های مختلف نشان می دهد.

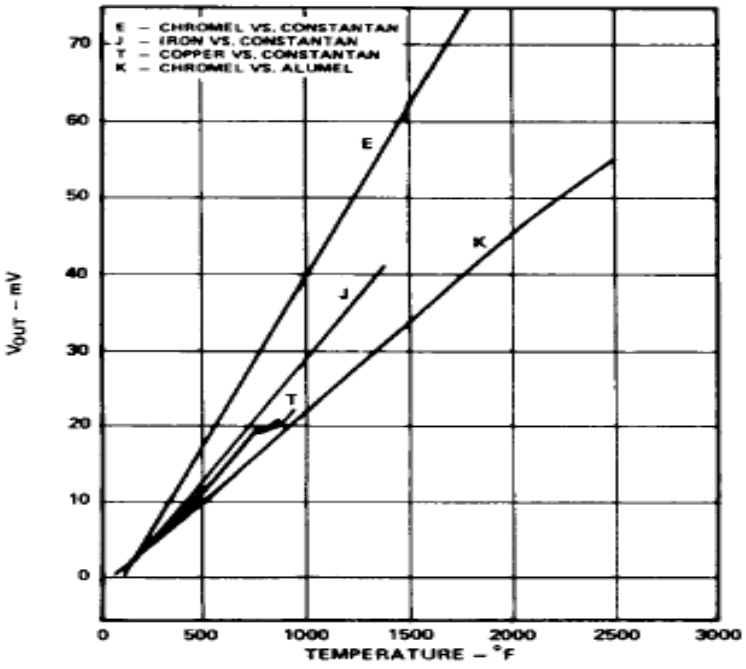


mir-sefi.blogfa.com

- ترموکوپـل هـا در دماهـای مختلـف دارای مشخصـه هـای کـاری متفـاوتی هسـتند و اغلـب آنهـا دارای یـک نقطه بازگشـتی هسـتند. در ایـن نقطـه ترموکوپـل عملکـرد معکوسـی خواهـد داشـت و بـازای افـزایش حـرارت، ولتاژ خروجی کم می شود. رفتار بازگشتی در نمودار زیر نشان داده شده است.



- مشخصه های کاری چند نمونه از ترموکوپل ها در نمودار زیر نشان داده شده است.



- **قوانین ترموکوپل ها**

پنج قانون مهم مربوط به رفتار ترموکوپل ها وجود دارد که در شکل زیر نشان داده شده است.

قانون اول: ولتاژ ترموالکتریک از دمای سیمهای رابط مستقل بوده و فقط به دمای محل اتصالات بستگی دارد. این قانون در نصب ترموکوپل در محیطهای صنعتی حائز اهمیت است که سیم های رابط و نیز اتصال مرجع ممکن است از تغییرات شدید محیط خود تاثیر پذیر باشند.

قانون دوم: اگر یک فلز سوم C به مدار A یا B اضافه شود، به شرطی که اتصالات جدید دارای دمای یکسانی باشد، ولتاژ تولیدی تغییری نخواهد کرد. به عنوان مثال اگر یک ولتمتر وارد مدار شود تاثیری روی عملکرد ترموکوپل نمی گذارد.

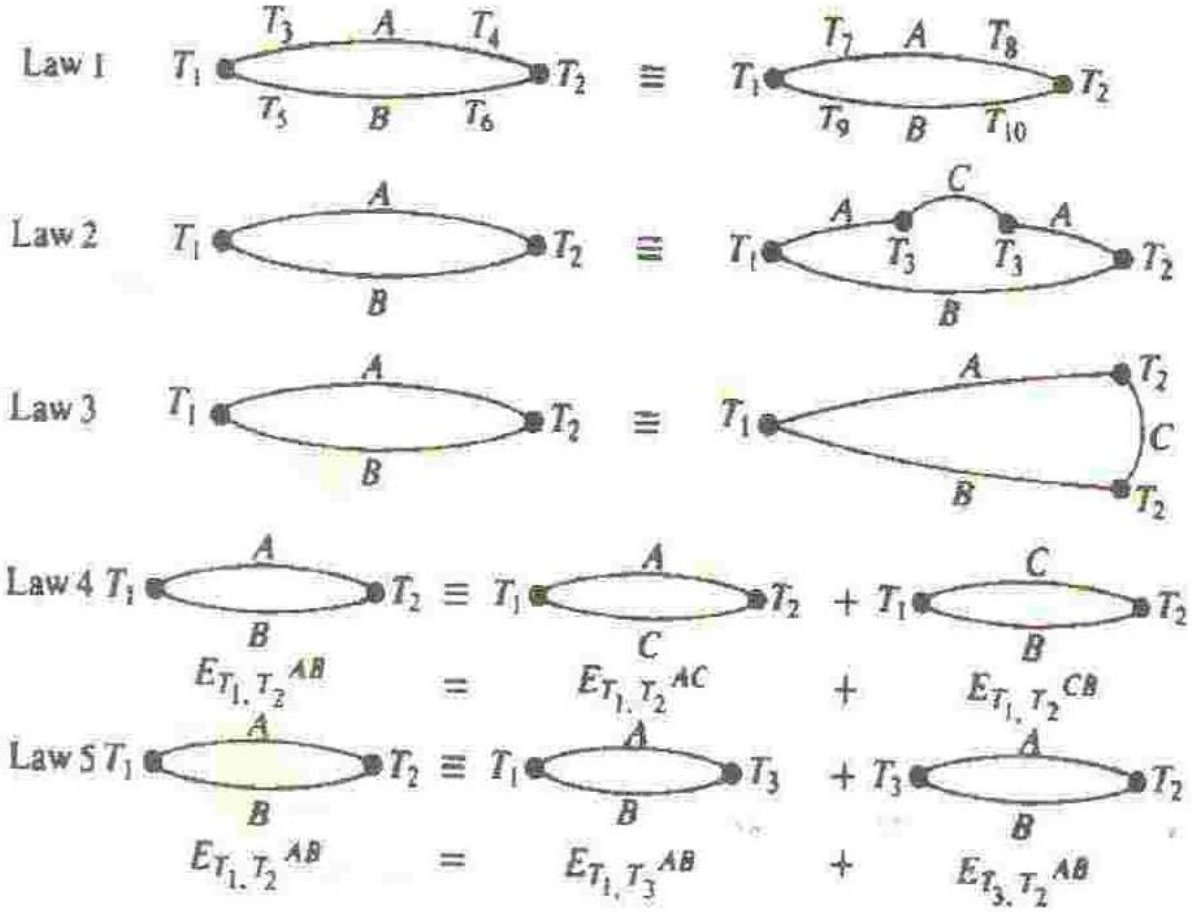
قانون سوم: اگر فلز سوم C بین A و B در هر دو اتصال قرار گیرد، درصورتیکه دو محل اتصال AC و CB دمای یکسانی داشته باشند ولتاژ تولیدی تغییری نمی کند. کاربرد عملی این قانون این است که می توان سیم های A و B را توسط سیم سومی در محل اتصال جوش داد و همچنین می توان یک ولتمتر را ، بدون تغییر در ولتاژ تولیدی در مدار قرار داد.

قانون چهارم: این قانون به قانون فلزات میانی معروف است. براساس این قانون می توان مثلا ولتاژ تولیدی توسط دو فلز مس – آهن (AB) را از ولتاژ های تولیدی مس – کنستانتان (AC) و کنستانتان- آهن (CB) بدست آورد.

قانون پنجم: این قانون به قانون دمای میانی معروف است و برطبق این قانون خواهیم داشت:

$$E_{T_1T_2} = E_{T_1T_3} + E_{T_3T_2}$$

miryoosefi.blogfa.com



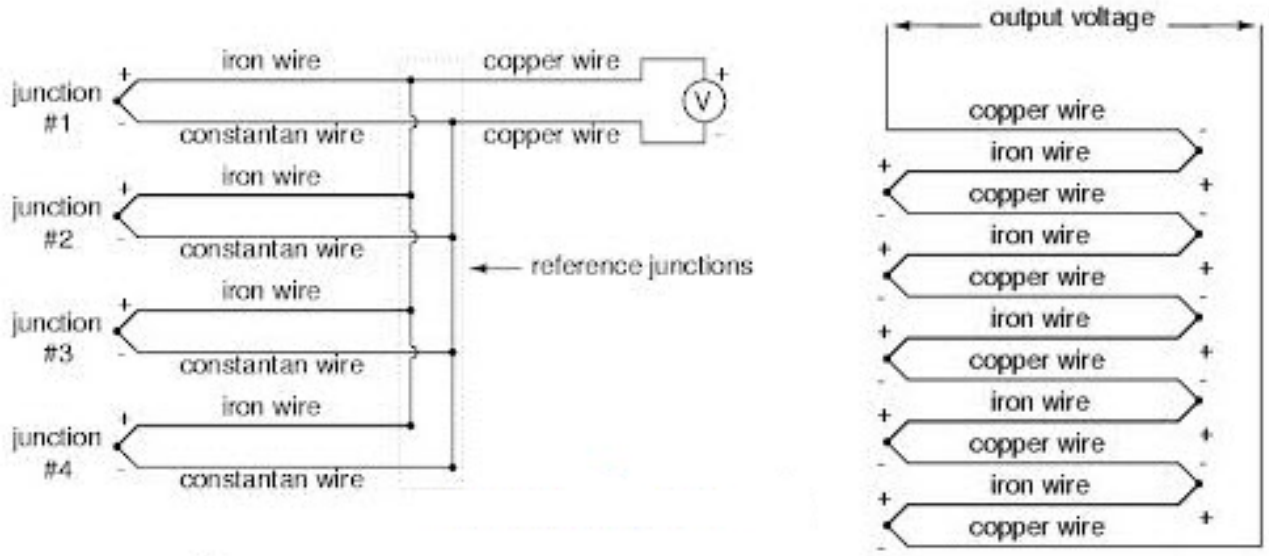
– برای جلوگیری از ترکیب ترموکوپل با محیط معمولا آنها را در محفظه هایی قرار می دهند که این کار باعث افزایش ثابت زمانی آنها می شود. میزان ثابت زمانی به قطر سیم ها و جنس ماده پوشاننده آنها نیز بستگی دارد. قطر سیمهای ترموکوپل معمولا بین ۰.۴ تا ۲ میلیمتر می باشد. در صورتیکه ثابت زمانی خیلی کم موردنظر باشد سیمهایی به قطر ۰.۱ میکرومتر هم ساخته می شود.

-ترموپیل

با توجه به اینکه خروجی ترموکوپل ها از حساسیت پایینی برخوردار است برای بالا بردن حساسیت آنها را بصورت سری می بندند و در یک محفظه سرامیکی قرار می دهند(شکل A)

اگر ترموکوپل ها یکسان نباشند ولتاژ خروجی برابر با مجموع ولتاژهای ترموکوپل ها می شود.

برای افزایش صحت اندازه گیری دما ، ترموکوپل ها را به صورت موازی سربندی می کنند.موازی کردن ترموکوپل ها باعث می شود ولتاژ خروجی ، میانگین ولتاژ تمام ترموکوپل ها باشد.(شکل B)



A

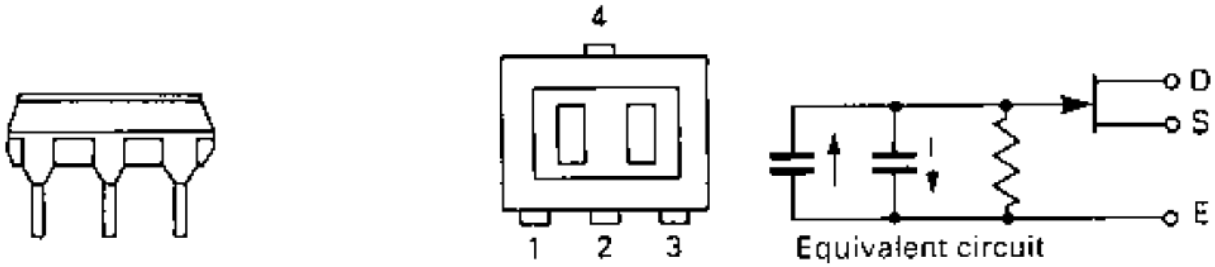
انواع اتصال در ترموکوپل ها

B

۲-۳ آشکارسازهای پایروالکتریک (Pyroelectric detectors)

روکشهای پایروالکتریک موادی هستند که وقتی تحت تابش شعاعهای مادون قرمز یا بعبارت دیگر حرارت قرار می گیرند صفحات آنها بار دار می شود. در گذشته برای این مورد از لایه های پلاستیکی استفاده می شد، اما ماده ای که اکنون برای آشکارسازی مادون قرمز غیرفعال PIR مدرن مناسب تشخیص داده شده، تانتالات لیتیم است. ساختمان یک آشکاساز

مشابه با یک خازن است که یکی از صفحات آن از جنس فلز و صفحه دیگر آن یک ماده پایرو الکتریک بـا صـفحه هـدایت کننده است. به دلیل اثر مادون قرمز در جداسازی بارها روی ماده پایروالکتریک که به اشتباه اما بـه واقـع پلاریزاسـیون نیـز نامیده می شود،همزمان با تغییر مقدار تابش مادون قرمز ورودی، مقدار بار الکتریکی وبالطبع آن ولتاژ بـین دو صـفحه خـازن پایروالکتریک نیز تغییر می کند.



ثابت زمانی دارای مقدار بزرگی است به طوری که سرعت پاسخ به تغییرات در شعاعهای مـادون قرمـز در محـدوده 0.2 تـا 1HZ است.به هر صورت به دلیل اینکه آشکارساز به شکل یک خازن است، دارای پاسخ از نوع DC نمی باشـد. بـه طـوری که یک منتشر کننده مادون قرمز غیرمتحرک قابل تشخیص وآشکارسازی نخواهد بود.

مضاف به اینکه خازن دارای آمپدانس خیلی بالایی است به طوری که یک آشکارساز عملی پایروالکتریک شامل یـک خـازن به همراه یک ترانزیستور مسفت (MOSFET) درون یک محفظه واحد است واتصالات خروجی از آن بـه سـورس و دریـن مسفت متصل است. موارد اصلی کاربرد آشکارسازهای پایروالکتریک در ساخت دزدگیر کلید اتوماتیک روشـنایی و تجهیـزات دربازکن اتوماتیک وسیستم مکان یابی است.

پارامترهای اصلی آشکارساز پایروالکتریک عبارت است از قدرت معادل نویز NEP ،پاسخ دهی وپاسخ فرکانسی.

کمیت NEP برای یک انرژی منبع سرعت تغییرسیگنال وعرض بلند ،بیانگر پایین ترین حدی است که یـک آشکارسـاز مـی تواند مفید باشد، زیرا سیگنالهایی که پایین تر از این حد باشند زیر سطح نویز قرار می گیرند. در مورد یـک آشکارسـاز نمونـه برای یک منبع در یک دمای رنگی 500K در فرکانس 10HZ وعرض بلند 1HZ برای ماده پایروالکتریک تانتـالات لیتـیم کمیت NEP دارای مقدار W 10 تعیین شده است.

پاسخ دهی را می توان به صورت ولتاژ و یا جریان خروجی به عنوان ولت بر واحد انرژی تابشی و یا جریان بـر واحـد انـرژی تابشی در یک طول موج مسلط ویا دمای رنگی منبع تعریف کرد.

-پایرومترهای تشعشعی و نوری

کـاربرد ایـن انـدازه گیرهـای دمـا در سـنجش دمـای اجسـام داغ و یـا متحـرک و همچنـین گازهـای داغ مـی باشـد کـه معمولا با ترموکوپل و یا سایر ترمومترها قابل اندازه گیری نیست.

اسـاس کـار پایرومترهـای تشعشـعی برطبـق قـانون اسـتفن بـولچمن، طیـف انـرژی الکترومغناطیسـی سـاطع شـده از یـک جسـم داغ اسـت. در ایـن حالـت ایـن انـرژی سـاطع شـده توسـط یـک لنـز بـه یـک سنسـور دمـا کـه معمـولا ترموکوپل است متمرکز شده و حسگر مورد نظر براساس دمای حس شده تنظیم می گردد.

در پایرومترهای نـوری اسـاس کـار مقایسـه رنـگ جسـم مـورد انـدازه گیـری و میـزان گـداختگی آن و مقایسـه بـا یـک مرجع که در داخل پایرومتر موجود است، می باشد.

۲-۴- سنسورهای نیمه هادی

عناصر نیمه هـادی وابسـتگی زیـادی بـه حـرارت دارنـد و ایـن خاصـیت مـی تـوان بـرای سـنجش میـزان حـرارت بهـره برد. دمـا مـی توانـد باعـث بوجـود آمـدن الکتـرون یـا حفـره در نیمـه هـادی شـود. همچنـین باتوجـه بـه اینکـه جریـان اشباع معکوس بازای هر ۱۰ درجه سـانتیگراد تقریبـا دو برابـر مـی شـود، مـی تـوان از تغییـر ایـن پـارامتر بـرای سـنجش دما استفاده کرد.

یکی دیگر از اثرات مهم، تغییر ولتاژ دوسر پیوند PN است که می تواند معیار مناسبی برای سنجش دما باشد.

miryoosefi.blogfa.com

رابطه بین جریان و ولتاژ در یک دیود به صورت زیر می باشد:

$$I_D \approx I_s \ e^{\frac{V_D}{\gamma V_T}}$$

که در آن γ ضریب ایده آلی دیـود بـوده وبسـته بـه جـنس نیمـه هـادی و پارامترهـای دیگـر بـین ۱ تـا ۲ متغیـر اسـت و V_T ولتـاژ حرارتـی نـام دارد و معمـولا ۲۵ یـا ۲۶ میلـی ولـت درنظـر گرفتـه مـی شـود. I_S نیـز جریـان اشـباع معکـوس می باشد. در این حالت اگر جریان عبوری از یک دیود را ثابت فرض کنیم ولتاژ دوسر دیود تقریبا برابر است با:

$$V_{\mathrm{D}} = \mathrm{V_T} \ \ln\frac{\mathrm{I_D}}{\mathrm{I_S}}$$

- مبدل های دما که به صورت مدار مجتمع سـاخته مـی شـوند بـه دو صـورت کـار مـی کننـد. مبـدلهای دمـا بـه ولتاژ و مبدلهای دمـا بـه جریـان. از محاسـن ایـن سنسـورها خروجـی بیشـتر و بـازه خطـی بیشـتر آنهاسـت و از معایب آنها می توان به خودگرمایی، نیاز داشتن به منبع تغذیه و کند بودن آنها اشاره کرد.

miryoosefi.blogfa.com

پیوست

- **بررسی چند سنسور مدار مجتمع**

۱- سنسور دما: lm35

- نوع سنسور : آنالوگ
- خروجی : 10 mv به ازای هر درجه سانتی گراد
- رنج اندازه گیری دما : ۵۵- تا ۱۵۰ درجه
- اندازه گیری دما بر حسب : درجه سانتی گراد (سلسیوس)
- دقت اندازه گیری : ۰٫۵ درجه در دمای ۲۵
- رنج ولتاژ کاری : ۴ تا ۳۰ ولت
- جریان مصرفی : ۶۰ میکرو امپر
- انواع بسته بندی: TO-46,SO-8,TO-92,TO-220

۲- سنسور دما: lm335

نوع سنسور : آنالوگ

خروجی : ۱۰ mvبه ازای هر درجه کلوین

رنج اندازه گیری دما : ۴۰- تا ۱۰۰ درجه

اندازه گیری دما بر حسب : درجه کلوین

دقت اندازه گیری : ۱ درجه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد

جریان مصرفی : ۴۰۰ میکرو تا ۵ میلی امپر

انواع بسته بندی: TO-46,SO-8,TO-92

mirhosefi.blogfa.com

۳- سنسور دما:lm75

نوع سنسور : دیجیتال

خروجی : پروتکلI2C

رنج اندازه گیری دما : ۲۵- تا ۱۰۰ درجه

اندازه گیری دما بر حسب : درجه سانتی گراد (سلسیوس)

دقت اندازه گیری : حداکثر اختلاف ۲± درجه

رنج ولتاژ کاری : ۳ تا ۵،۵ ولت

جریان مصرفی : ۲۵۰ میکرو امپر تا ۱ میلی آمپر

انواع بسته بندی: SOP-8 وMini SOP-8

۴-سنسور: SMT160

خروجی این سنسور به شکل PWM و محدوده تغیرات خروجی آن حدود ۴ کیلوهرتز می باشد.

سایر مشخصات:

ولتاژ کاری: ۵ ولت

دمای قابل اندازه گیری: ۴۵- تا ۱۳۰ درجه سانتی گراد

جریان کشی کم در حدود ۲۰۰ میکرو آمپر

روش محاسبه دما: D.C. = duty cycle

D.C. = 0.320+0.00470*t ; t = Temperature in °C

miryoosefi.blogfa.com

همان طور که مشاهده می شود بـا اسـتفاده از یـک تـایمر کـانتر ۱۶ بیتـی بـه راحتـی مـی تـوان PW و SW و نهایتـا D.C.را به دقت خوبی محاسبه کرد

miryoosefi.blogfa.com