



وبسایت جامع الکترونیک، برق و کامپیوتر

www.ir-micro.com

www.ir-micro.com

مرجع فارسی
میکروکنترلرهای PIC

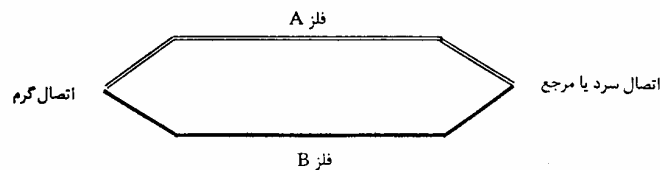


فصل ۳

حسگرهای دما از نوع ترموکوپل

ترموکوپل‌ها، حسگرهای حرارتی ساده‌ای هستند که از دو فلز غیر همجنس که به هم متصل شده‌اند، به وجود آمده‌اند. در سال ۱۸۲۱ یک فیزیکدان آلمانی به نام توماس سبیک^۱ کشف کرد که اگر دو اتصال در دماهای مختلفی قرار گیرند ولتاژ ترموالکتریک تولید می‌شود و شار جریانی در مدار بسته دو فلز غیر همجنس جاری می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است یکی از اتصالات، اتصال گرم^۲ و اتصال دیگر اتصال سرد^۳ یا مرجع نام دارد.

جریان تولیدشده در حلقه بسته، بستگی به نوع فلزهای مورد استفاده و تفاضل دما بین اتصالات سرد و گرم دارد.



شکل ۱-۳: یک مدار ترموکوپل.

اگر دما در هر دو اتصال، یکسان باشد، ولتاژهای تولیدشده یکدیگر را خنثی می‌کنند و جریان در مدار برقرار نمی‌شود. بنابراین یک ترموکوپل به جای دمای مطلق، تفاضل دمای بین دو اتصال را اندازه‌گیری می‌کند.

برای اندازه‌گیری دما، باید یک ابزار اندازه‌گیری ولتاژ را وارد این حلقه کنیم تا بتوانیم اثر ترموالکتریک را اندازه بگیریم. شکل ۲-۳ چنین ساختاری را نشان می‌دهد. در اینجا، ابزار اندازه‌گیری توسط یک جفت سیم مسی و با استفاده از یک مجموعه ترمینال به ترموکوپل وصل می‌شود.

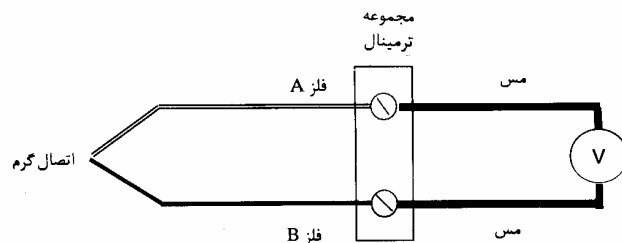
جنس سیمهای ترموکوپل معمولاً نسبت به سیمهای ابزار اندازه‌گیری متفاوت است. در نتیجه، یک جفت ترموکوپل دیگر در نقاط اتصال پدید می‌آید. شکل ۳-۳ این ترموکوپل‌های اضافی را به شکل اتصال ۲ و اتصال ۳ نشان می‌دهد. اگرچه به نظر می‌رسد این ترموکوپل‌های اضافی، خطا ایجاد می‌کنند، اما استفاده از

1- Thomas Seebeck

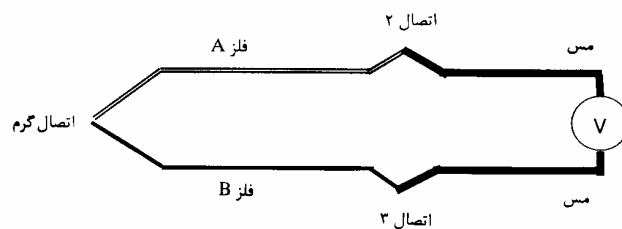
2- hot junction

3- cold junction

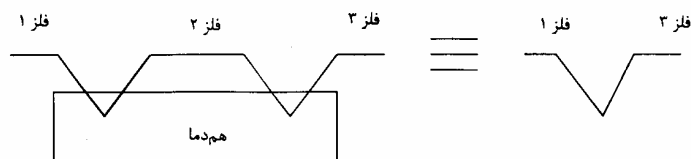
قانون فلزهای واسطه^۱ نشان می‌دهد که اگر این ترموکوپل‌ها در دمای مشابه قرار داشته باشند، هیچ اثری ندارند. قانون فلزات واسطه به سادگی بیان می‌دارد که چنانچه فلز دیگری وارد سیستم ترموکوپل شود و نقاط اتصال با این فلز، هم‌دم باشند (یعنی در دماهای یکسان قرار داشته باشند) این فلز اثری بر عملکرد کل سیستم ندارد. شکل ۳-۴ قانون فلزات واسطه را بیان می‌دارد.



شکل ۳-۲: اتصال یک ابزار اندازه‌گیری.



شکل ۳-۳: ترموکوپل اضافی در اتصال ۲ و اتصال ۳.

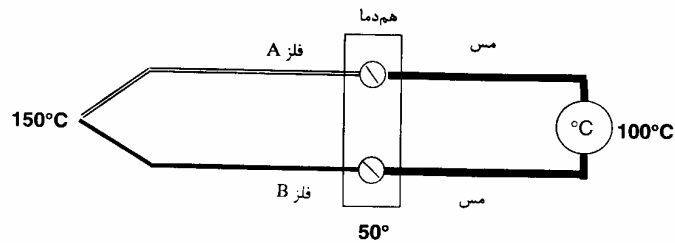


شکل ۳-۴: قانون فلزات واسطه.

بنابراین، اگر اتصال ۲ و اتصال ۳ در دماهای یکسان قرار گیرند، ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط ولت‌متر متناسب با تفاضل دما بین اتصال ۱ (اتصال گرم) و اتصال ۲ و ۳ است. این موضوع در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. در اینجا، دمای اتصال ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد است و مجموعه ترمینال در ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. بنابراین دمای اندازه‌گیری شده برابر تفاضل دماها یعنی ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است. اتصال ۱، اتصال گرم و دمای مجموعه ترمینال، دمای اتصال سرد است.

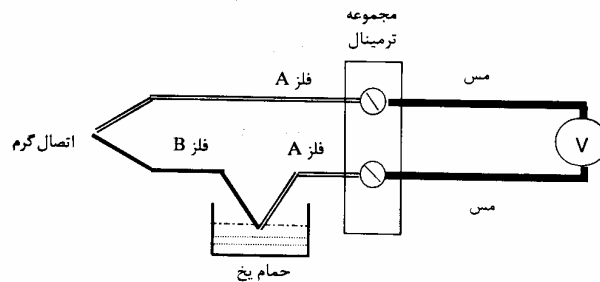
ترموکوپل‌ها، ولتاژی تولید می‌کنند که برابر تفاضل دما بین نقطه اتصال گرم و سرد (یا مرجع) است. اگر بخواهیم دمای مطلق اتصال گرم را بدانیم ابتدا باید دمای مطلق اتصال مرجع را داشته باشیم. اگر اتصال مرجع مشخص، کنترل شده و پایدار باشد، مشکلی وجود نخواهد داشت. اگر دمای اتصال مرجع نامشخص باشد، می‌توان از یکی از روشهای زیر برای یافتن دمای مطلق اتصال گرم استفاده کرد:

- اندازه‌گیری دقیق دمای اتصال مرجع و استفاده از این دما جهت محاسبه دمای اتصال گرم. ساده‌ترین روش اندازه‌گیری دمای اتصال مرجع، استفاده از ترمیستورها یا حسگر دمایی نیمه‌هادی است. سپس باید دمای اتصال مرجع را به دمای اندازه‌گیری شده توسط ترموکوپل اضافه کرد (شکل ۳-۵ را ببینید). این روش، نتایج دقیقی را ارائه می‌کند و هزینه انجام آن به‌طور کلی پایین است.



شکل ۳-۵: ترموکوپل با مجموعه ترمینال هم‌دما.

- اتصال مرجع را در یک محیط کنترل‌شده حرارتی که دمای آن به‌طور دقیق مشخص است، قرار دهید. به‌عنوان مثال، همان‌طور که در شکل ۳-۶ نشان داده شده است، می‌توان از یک حمام یخ برای نگه‌داشتن اتصال مرجع در دمای یخ، استفاده کرد. توجه کنید که در اینجا اتصال مرجع با وارد کردن فلز A به داخل سیستم اندازه‌گیری از مجموعه ترمینال جدا می‌شود. به جای این کار، می‌توانیم مجموعه ترمینال را درون یخ شناور کنیم ولی این کار خیلی عملی نیست. جبران‌سازی توسط حمام یخ، نتایج بسیار دقیقی ارائه می‌کند ولی معمولاً در کاربردهای صنعتی این عمل مقدر نیست.



شکل ۳-۶: استفاده از یک حمام یخ برای اتصال مرجع.

- از سیمهای مسی برای ابزار اندازه‌گیری استفاده نکنید بلکه سیمهای ترموکوپل را به‌طور مستقیم تا ابزار اندازه‌گیری بکشید. سیمهای مسی را در داخل ابزار اندازه‌گیری که دمای اتصال مرجع در آن به سهولت و دقت قابل اندازه‌گیری است، به هم وصل کنید.
- از IC های جبران‌ساز اتصال سرد مانند Linear Technology LT1025 استفاده کنید. این IC ها، دارای حسگرهای دمای داخلی هستند که دمای اتصال مرجع را (که در محیط قرار می‌گیرد. م) تشخیص می‌دهند. سپس IC ولتاژی تولید می‌کند که متناسب با ولتاژ تولیدشده توسط ترموکوپلی است که اتصال گرم آن در دمای محیط و اتصال سرد آن در دمای صفر درجه سانتی‌گراد قرار دارد. این ولتاژ، به ولتاژ تولیدشده توسط ترموکوپل مورد استفاده، اضافه می‌شود و نتیجه مانند آن است که اتصال مرجع در صفر درجه سانتی‌گراد قرار داده شده باشد. IC های جبران‌ساز اتصال سرد، دقتی در حد چند درجه سانتی‌گراد دارند و به‌طور گسترده در بسیاری از کاربردها که نیاز به اندازه‌گیری دقیق ندارند، به‌کار می‌روند.

۳-۱ : انواع ترموکوپل

در حدود ۱۲ نوع ترموکوپل استاندارد وجود دارد که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد. به هر نوع ترموکوپل یک حرف تأییدشده بین‌المللی نسبت داده می‌شود که نشان می‌دهد ترموکوپل از چه موادی ساخته شده است. جدول ۳-۱ معروفترین انواع ترموکوپل‌ها، ماده سازنده آنها و محدوده‌های دمایی قابل استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱: ترموکوپل‌های معروف

نوع	سر مثبت	سر منفی	ضریب سی‌بک ($\mu V/^{\circ}C$)	محدوده دمایی $^{\circ}C$
K	Ni \pm 10%Cr	Ni+2%Al+2%Mn+1%Si	۴۲	+۱۳۵۰ تا -۱۸۰
J	Fe	Cu+43%Ni	۵۴	+۷۵۰ تا -۱۸۰
N	Ni+14%Cr+1.5%Si	Ni+4.5%Si+0.1%Mg	۳۰	+۱۳۰۰ تا -۲۷۰
T	Cu	Cu+43%Ni	۴۶	+۴۰۰ تا -۲۵۰
E	Ni+10%Cr	Cu+43%Ni	۶۸	+۹۰۰ تا -۴۰
R	Pt+13%Rh	Pt	۸	+۱۷۰۰ تا -۵۰
B	Pt+30%Rh	Pt+6%Rh	۱	+۱۷۵۰ تا +۱۰۰

نوع K

ترموکوپل نوع K با استفاده از فلزهای Ni-Cr (به نام کرومل)^۱ و Ni-Al (به نام آلومل)^۲ ساخته می‌شود. این

1- Chromel

2- Alumel

ترموکوپل، ارزانقیمت است و یکی از معروفترین ترموکوپل‌های همه‌منظوره می‌باشد. محدوده عملکرد دمایی آن بین 180°C تا 1350°C و حساسیت آن تقریباً $42\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ است و معمولاً در دماهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نوع J

این ترموکوپل از فلزات آهن و Cu-Ni ساخته می‌شود. محدوده دمایی این ترموکوپل بین 180°C تا 750°C است. به دلیل احتمال اکسیدشدن آهن، این ترموکوپل در صنایع قالب‌ریزی پلاستیک استفاده می‌شود. حساسیت ترموکوپل نوع J، به اندازه $54\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ است. ترموکوپل نوع J معمولاً برای طرحهای جدید توصیه می‌شود.

نوع N

ترموکوپل نوع N از فلزات Ni-Cr-Si (نیکروسیل)^۱ و Ni-Si-Mg (نیسیل)^۲ ساخته می‌شود. محدوده دمایی آن بین 270°C تا 1300°C است. حساسیت این نوع ترموکوپل، $30\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ است و معمولاً در دماهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نوع T

ترموکوپل نوع T از مس و Cu-Ni ساخته می‌شود. محدوده عملکرد دمایی این نوع ترموکوپل، بین 250°C تا 400°C است. این ترموکوپل نسبتاً ارزان، و برای کاربردهای با دمای پایین مناسب است. حساسیت این ترموکوپل، $46\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ است. ترموکوپل نوع T، در برابر رطوبت مقاوم است.

نوع E

ترموکوپل نوع E با استفاده از فلزات Ni-Cr (کرومل) و Cu-Ni (کنستانتان)^۳ ساخته می‌شود. محدوده عملکرد دمایی آن، بین 40°C تا 900°C است. این ترموکوپل در $68\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ بیشترین حساسیت را دارد و می‌توان از آن در کاربردهای خلاء و مواردی که حسگر در آن حفاظت نشده است، استفاده کرد.

نوع R

ترموکوپل نوع R با استفاده از Pt-Rh (پلاتین - رادیوم) و Pt (پلاتین) ساخته می‌شود. حساسیت این نوع ترموکوپل، پایین و در حدود $8\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ است. محدوده دمایی این نوع ترموکوپل، بین 50°C تا 1700°C است. ترموکوپل نوع R برای اندازه‌گیری دماهای بسیار بالا به کار می‌رود. به دلیل آنکه این حسگر به آسانی آلوده می‌شود، بنابراین نیاز به حفاظت دارد.

نوع B

ترموکوپل نوع B با استفاده از فلزات Pt-Rh (پلاتین - رادیوم) با ترکیبات مختلف ساخته می‌شود. حساسیت آن

1- Nicrosil

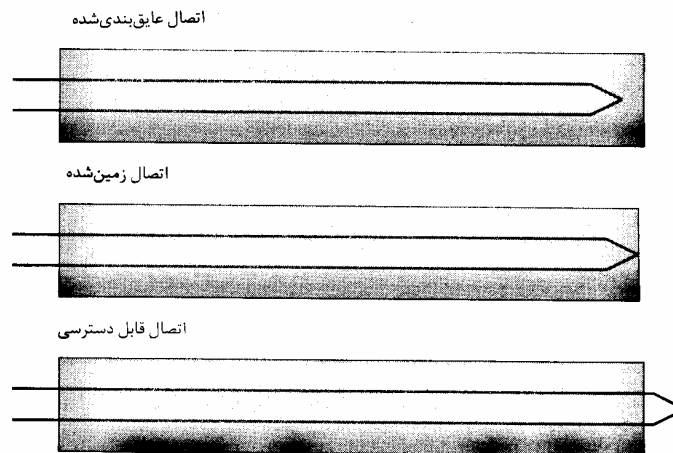
2- Nisil

3- Constantan

بسیار کم و در حدود $1\mu V/^{\circ}C$ و محدوده دمایی آن بین $100^{\circ}C$ تا $175^{\circ}C$ است. ترموکوپل نوع B در اندازه‌گیری دماهای بالا مثلاً در صنایع شیشه به کار می‌رود. ترموکوپل‌ها معمولاً توسط کُدرنگ شناخته می‌شوند. متأسفانه، کُدرنگ استاندارد برای شناسایی ترموکوپل‌ها وجود ندارد و کشورهای مختلف، کُدهای مختلفی را می‌پذیرند. مثلاً، استاندارد آمریکایی، سر مثبت ترموکوپل نوع K را با رنگ زرد و سر منفی آن را با رنگ قرمز مشخص می‌کند.

۳-۲: نصب اتصالات ترموکوپل

سه روش متداول برای نصب اتصالات ترموکوپل وجود دارد (شکل ۷-۳ را ببینید):



شکل ۷-۳: نصب اتصالات ترموکوپل.

۱- اتصال عایق‌شده: در این حالت، اتصال از غلاف، جدا می‌شود در نتیجه، این اتصال برای محیطهای خورنده و کاربردهایی با فشار بالا مناسب است. اگرچه، زمان پاسخ‌دهی در مقایسه با روشهای دیگر نصب بسیار طولانی است.

۲- اتصال زمین‌شده: این اتصالات نیز برای محیطهای خورنده و کاربردهایی با فشار بالا مناسب هستند. زمان پاسخ‌دهی نسبت به اتصال عایق‌شده سریعتر است ولی ترموکوپل در معرض ایجاد حلقه‌های زمین و اغتشاشات الکتریکی قرار دارد.

۳- اتصال قابل دسترسی: این اتصال، پاسخ سریعتری ایجاد می‌کند. این اتصال قابل دسترسی است و به

سهولت آسیب می‌بیند. برای اندازه‌گیری در محیط‌های خورنده، مناسب نیست. این نوع اتصال غالباً برای اندازه‌گیری دمای هوا و گازها به‌کار می‌رود.

۳-۳: عایق‌بندی ترموکوپل

اگرچه در مواردی این امکان وجود دارد که ترموکوپل‌ها بدون هر گونه عایقی به‌کار روند ولی در اکثر کاربردهای صنعتی باید آنها را در برابر محیط یا واسطه‌ای که از ترموکوپل برای اندازه‌گیری دمای آن استفاده می‌شود، حفاظت کرد.

۳-۳-۱: مواد عایق استاندارد

هیچ نوع استانداردی برای مواد عایق‌کننده ترموکوپل‌ها وجود ندارد ولی معمولاً از عایق‌های زیر استفاده می‌شود:

PVC: از این عایق می‌توان در محدوده دماهای پایین معمولاً از 3°C تا 100°C استفاده کرد.

تفلون: این عایق مقاومت بیشتری در برابر گرما ایجاد می‌کند و می‌توان از آن در محدوده دمایی 25°C تا 250°C استفاده کرد.

فایبرگلاس: از این عایق می‌توان در محدوده دماهای بین 5°C تا 50°C استفاده کرد.

۳-۳-۲: ترموکوپل‌های عایق‌شده با مواد معدنی

این روش، معمولترین روش حفاظت و عایق‌بندی ترموکوپل‌هاست. سیم‌های ترموکوپل در پودر عایق کاملاً غلیظ و فشرده فرو برده می‌شوند. این پودر (معمولاً اکسید منیزیم)، سیم‌های ترموکوپل را عایق‌بندی و حفاظت می‌کند. ترموکوپل‌های عایق‌شده با مواد معدنی، استقامت مکانیکی بسیار خوب، پایداری طولانی، عایق‌بندی مناسب، پاسخ سریع و اندازه کوچک دارند. محدوده عملکرد دمایی آنها بسیار وسیع و از 200°C تا 1250°C است.

۳-۴: کابل‌های اتصال

در پاره‌ای موارد نیاز است که از حسگر ترموکوپل در بیرون استفاده کنیم و طول کابل استاندارد تهیه‌شده توسط تولیدکننده ممکن است کوتاه باشد. برای این منظور، کابل‌های اتصال با استفاده از هادی‌های

ترموکوپل طراحی شده‌اند تا در نقاط اتصال مشکلی رخ ندهد. این کابل‌ها، از ترموکوپل ارزانتر هستند و جهت سهولت اتصال، به صورت انعطاف‌پذیر طراحی شده‌اند. کابل‌های اتصال با وارد کردن حرف "X" پس از نوع ترموکوپل شناخته می‌شوند. به عنوان مثال، کابل اتصال برای ترموکوپل نوع K با "KX" مشخص می‌شود.

وقتی کابل‌های اتصال خیلی بلند مورد استفاده قرار می‌گیرند، مقاومت کابل ممکن است اهمیت پیدا کند. معمولاً تولیدکنندگان جداولی تهیه می‌کنند که مقاومت سر اتصال را برای ترموکوپل با نوع و طول معلوم محاسبه می‌کند.

۵-۳: پاسخ زمانی ترموکوپل

زمان پاسخ ترموکوپل، زمانی است که طی آن ترموکوپل در اثر ایجاد یک تغییر پله‌ای در دما، به ۶۳٪ مقدار خود در حالت پایدار می‌رسد. زمان پاسخ، به پارامترهای مختلفی از جمله قطر ترموکوپل، دمای ناحیه اتصال و ساختار اتصال بستگی دارد. زمان پاسخ برای یک اتصال قابل دسترسی از همه انواع دیگر کمتر است. همچنین زمان پاسخ برای یک اتصال زمین‌شده نسبت به زمان پاسخ اتصال عایق‌بندی‌شده، کمتر است. با کاهش قطر ترموکوپل، زمان پاسخ کمتر می‌شود. همچنین در اتصالاتی با دماهای پایین‌تر، پاسخ زمانی سریعتر است. به عنوان مثال، پاسخ زمانی یک اتصال عایق‌بندی‌شده با قطر ۳ میلی‌متر در دمای ۱۰۰°C در حدود ۱ ثانیه است. پاسخ زمانی یک اتصال زمین‌شده با همین قطر و همین دما، ۴/۰ ثانیه است. اگر قطر ترموکوپل را تا مقدار ۱ میلی‌متر کاهش دهیم، پاسخ زمانی اتصال عایق ۱۶/۰ ثانیه و پاسخ زمانی اتصال زمین‌شده، ۰۷/۰ ثانیه خواهد شد.

۶-۳: روشهای ساخت ترموکوپل

ساده‌ترین ترموکوپل از یک جفت سیم با یک سر اتصال جوش‌خورده بدون عنصر کنترل‌کننده و اتصالات خاص ساخته می‌شود. این نوع ترموکوپل‌ها باید با دقت و در آزمایشگاهها مورد استفاده قرار گیرند. ترموکوپل‌های صنعتی به اشکال زیر موجود هستند:

پروپ‌ها - این پروپ‌ها، مجموعه‌هایی از ترموکوپل‌های همه‌منظوره هستند که می‌توانند تا دمای ۱۱۰۰°C عمل کنند و دارای دسته و کابل اتصال بلند و یک پرز بسیار کوچک برای ترموکوپل در انتها می‌باشند. پروپ‌های قابل حمل و نقل دارای سرهایی با اشکال مختلف برای اندازه‌گیری دمای سطح، مواد نیمه‌جامد (به عنوان مثال، غذا، پلاستیک و غیره)، انواع فرورونده (برای فرو بردن به داخل موادی مثل

غذاهای یخ‌زده)، انواع مربوط به اندازه‌گیری دمای مایع و انواعی که دارای سر اتصال با زاویه قائم هستند، می‌باشند.

ترموکوپل پیچی – این ترموکوپل‌ها دارای سرهای پیچی هستند که آنها را برای پیچ کردن به ابزارهایی مثل موتورها، ماشین‌های الکتریکی و غیره که می‌خواهیم دمای آنها را اندازه بگیریم، مناسب می‌کند.

ترموکوپل‌های حلقوی – این مجموعه ترموکوپل‌ها برای اندازه‌گیری دمای لوله‌ها و اشیاء مدور مورد استفاده قرار می‌گیرند. اتصال ترموکوپل درون حلقه قرار می‌گیرد.

ترموکوپل‌های واشری – این دسته از ترموکوپل‌ها دارای واشر هستند و برای اندازه‌گیری دمای انشعابها، لوله‌ها و هر نوع ابزار صنعتی دیگر که واشر می‌تواند به آن وصل شود، به کار می‌روند.

ترموکوپل‌های فرورونده – نوع فرورونده ترموکوپل‌ها برای وارد کردن به داخل یک مایع (مثلاً یک مخزن) جهت اندازه‌گیری دما کاربرد دارد. حسگر، داخل یک جدار فلزی ضدزنگ قرار داده شده است.

ترموکوپل با سر ترمینالی – انواع مختلفی از ترموکوپل با سر ترمینالی موجود می‌باشد که اندازه و شکل آنها با یکدیگر متفاوت است. سرهای ترمینالی به‌طور گسترده در کاربردهای کنترل فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۷ : ارتباط ولتاژ و دما در ترموکوپل‌ها

روشهای مختلفی برای تشریح ارتباط ولتاژ و دمای ترموکوپل‌ها وجود دارد که در این بخش به‌طور کامل به آنها پرداخته می‌شود.

۳-۷-۱: استفاده از جدولهای مرجع برای ترموکوپل

جدولهای مرجع ترموکوپل برای هر نوع ترموکوپل، فهرست دما و ولتاژ تولیدشده توسط ترموکوپل را در هنگام قرارداشتن اتصال مرجع در صفر درجه سانتی‌گراد ارائه می‌کنند. دما با دقت ۱ درجه سانتی‌گراد ارائه می‌گردد و ولتاژ ترموکوپل برحسب میکروولت داده می‌شود. این جدولها را می‌توان به‌صورت جدولهای مرجع در اندازه‌گیریهای ترموکوپل با استفاده از رایانه به کار برد.

جدول ۲-۳، قسمتی از جدول مرجع ترموکوپل نوع K است که دماهای بین صفر تا +۵۰ درجه سانتی‌گراد را پوشش می‌دهد.

جدول ۲-۳: قسمتی از جدول مرجع ترموکوپل نوع K

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰	°C
۲۵۷	۳۱۷	۳۷۷	۴۳۸	۴۹۸	۵۵۸	۶۱۹	۶۷۹	۷۳۹	۷۹۸	۰
۷۵۸	۷۱۸	۶۷۷	۶۳۷	۵۹۷	۵۵۷	۵۱۷	۴۷۷	۴۳۷	۳۹۷	۱۰
۱۱۶۳	۱۱۲۲	۱۰۸۱	۱۰۴۱	۱۰۰۰	۹۶۰	۹۱۹	۸۷۹	۸۳۸	۷۹۸	۲۰
۱۵۷۱	۱۵۳۰	۱۴۸۹	۱۴۴۸	۱۴۰۷	۱۳۶۶	۱۳۲۶	۱۲۸۵	۱۲۴۴	۱۲۰۳	۳۰
۱۹۸۲	۱۹۴۱	۱۸۹۹	۱۸۵۸	۱۸۱۷	۱۷۷۶	۱۷۳۵	۱۶۹۴	۱۶۵۳	۱۶۱۲	۴۰
۲۳۹۵	۲۳۵۴	۲۳۱۲	۲۲۷۱	۲۲۳۰	۲۱۸۸	۲۱۴۷	۲۱۰۶	۲۰۶۴	۲۰۲۳	۵۰

ولتاژ برحسب میکروولت

۲-۷-۳: استفاده از روش سری توانی

رابطه ولتاژ با دمای ترموکوپل خطی نیست و می‌توان آن را با چندجمله‌ای زیر (معادله ۳-۱) بیان کرد:

$$T = a_0 + a_1v + a_2v^2 + \dots + a_nv^n \quad (\text{رابطه ۳-۱})$$

در معادله فوق، T دما (برحسب درجه سانتی‌گراد)، $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ ضرایب وابسته به نوع ترموکوپل مورد استفاده و v ولتاژ ترموکوپل است.

ضرایب $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ به محدوده دمایی مورد اندازه‌گیری بستگی دارند و 10° ضریب اول برای ترموکوپل‌های معروف و مورد استفاده در جدول ۳-۳ داده شده‌اند. دقت محاسبه دما با افزایش تعداد ضرایب افزایش می‌یابد ولی به‌طور کلی 10° ضریب اول برای دقت‌های بالاتر از 1°C کافی هستند. در جدول ۳-۳، خطای داده‌شده در سطر آخر جدول، خطایی است که توسط نتیجه محاسبه چندجمله‌ای ایجاد می‌شود و هیچ‌گونه خطای اندازه‌گیری عملی در نظر گرفته نمی‌شود.

در عمل محاسبه چندجمله‌ای‌ها با درجه بالا، بسیار زمان‌بر است. اگر چندجمله‌ای را به‌صورت مجموع جملات حاصلضرب بنویسیم محاسبه چندجمله‌ای بسیار ساده و سریع انجام می‌شود. مثلاً، چندجمله‌ای درجه چهارم زیر را در نظر بگیرید:

$$T = a_0 + a_1v + a_2v^2 + a_3v^3 + a_4v^4 \quad (\text{رابطه ۳-۲})$$

می‌توانیم این چندجمله‌ای را به شکل زیر بنویسیم:

$$T = a_0 + v(a_1 + v(a_2 + v(a_3 + va_4))) \quad (\text{رابطه ۳-۳})$$

معادله ۳-۳ را می‌توان تنها با انجام عمل ضرب و جمع انجام داد.

جدول ۳-۳: ضرایب a_i برای ترموکوپل

	K 0°C to 500°	J 0°C to 760°C	E 0°C to 1000°C	R -50°C to 250°C	T 0°C to 400°C
a_0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
a_1	2.508355×10^{-2}	1.978425×10^{-2}	1.7057035×10^{-2}	1.8891380×10^{-1}	2.592800×10^{-2}
a_2	7.860106×10^{-8}	-2.001204×10^{-7}	$-2.3301759 \times 10^{-7}$	$-9.3835290 \times 10^{-5}$	-7.602961×10^{-7}
a_3	$-2.503131 \times 10^{-10}$	1.036969×10^{-11}	$6.5435585 \times 10^{-12}$	1.3068619×10^{-7}	4.637791×10^{-11}
a_4	8.315270×10^{-14}	$-2.549687 \times 10^{-16}$	$-7.3562749 \times 10^{-17}$	$-2.2703580 \times 10^{-10}$	$-2.165394 \times 10^{-15}$
a_5	$-1.228034 \times 10^{-17}$	3.585153×10^{-21}	$-1.7896001 \times 10^{-21}$	$3.5145659 \times 10^{-13}$	6.048144×10^{-20}
a_6	9.804036×10^{-22}	$-5.344285 \times 10^{-26}$	$8.4036165 \times 10^{-26}$	$-3.8953900 \times 10^{-16}$	$-7.293422 \times 10^{-25}$
a_7	$-4.413030 \times 10^{-26}$	5.099890×10^{-31}	$-1.3735879 \times 10^{-30}$	$2.8239471 \times 10^{-19}$	-
a_8	1.057734×10^{-30}	-	$1.0629823 \times 10^{-35}$	$-1.2607281 \times 10^{-22}$	-
a_9	$-1.052755 \times 10^{-35}$	-	$-3.2447087 \times 10^{-41}$	$3.1353611 \times 10^{-26}$	-
خطا	$\pm 0.05^\circ\text{C}$	$\pm 0.05^\circ\text{C}$	$\pm 0.02^\circ\text{C}$	$\pm 0.02^\circ\text{C}$	$\pm 0.03^\circ\text{C}$

دما بر حسب درجه سانتیگراد، ولتاژ بر حسب mV

اندازه‌گیری و کنترل حرارت با استفاده از میکروکنترلرها

در برخی از کاربردها، دما معلوم است و می‌خواهیم ولتاژ ترموکوپل را براساس آن محاسبه کنیم. این کار را می‌توان با استفاده از چندجمله‌ای معکوس ترموکوپل انجام داد:

$$V = c_0 + c_1 T + c_2 T^2 + \dots + c_n T^n \quad (\text{رابطه ۳-۴})$$

در معادله فوق، V ولتاژ ترموکوپل، T دما و $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$ ضرایب مربوط به ترموکوپل هستند. ده ضریب اولیه ترموکوپل برای ترموکوپل‌های پُرکاربرد در جدول ۳-۴ داده شده است.

مثال ۳-۱

ولتاژ اندازه‌گیری شده برای یک ترموکوپل نوع K ، 4096 میکروولت است. دمای ترموکوپل را محاسبه کنید.

حل مثال ۳-۱

با استفاده از معادله ۳-۱، با 10 ضریب و دوباره‌نویسی این معادله به شکل جمع و ضرب خواهیم داشت:

$$T = a_0 + v(a_1 + v(a_2 + v(a_3 + v(a_4 + v(a_5 + v(a_6 + v(a_7 + v(a_8 + v(a_9)))))))))) \quad (\text{رابطه ۳-۵})$$

با استفاده از مقادیر a_0 تا a_9 از جدول ۳-۳، دمای مورد نظر $T = 99/87$ درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

جالب است بدانید که ترموکوپل نوع K در دمای 100°C ولتاژ 4096 میکروولت تولید می‌کند. بنابراین خطایی که با استفاده از محاسبه چندجمله‌ای در این مثال ایجاد می‌گردد کمتر از $0/13^\circ\text{C}$ است.

۳-۷-۳: استفاده از تقریب خطی

روش دیگر تعیین رابطه ولتاژ با دمای ترموکوپل، استفاده از تقریبهای خطی در محدوده‌های دمایی محدود است.

تقریب خطی به شکل زیر است:

$$V = s.T + b \quad (\text{رابطه ۳-۶})$$

در معادله فوق، V ولتاژ ترموکوپل، s شیب، T دما و b ولتاژ انحراف است که می‌توان توسط آنها عملکرد بیشتر ترموکوپل‌ها را در محدوده‌های دمایی محدود توجیه کرد. ولتاژ انحراف برای همه ترموکوپل‌ها، برابر صفر است. شیب را می‌توان از محدوده عملکرد مورد نظر تعیین کرد. در محدوده دمایی صفر درجه سانتی‌گراد

جدول ۳-۴: ضرایب C₁ برای ترموکوپل

	K 0°C to 1372°	L -210°C to 760°C	E 0°C to 1000°C	R -50°C to 1064°C	T 0°C to 400°C
C ₀	-17.600413686	0.0	0.0	0.0	0.0
C ₁	38.921204975	50.38118782	58.665508710	5.28961729765	38.748106364
C ₂	1.85587700 × 10 ⁻²	3.047583693 × 10 ⁻²	4.503227558 × 10 ⁻²	1.3916658978 × 10 ⁻²	3.32922279 × 10 ⁻²
C ₃	-9.9457593 × 10 ⁻⁵	-8.56810657 × 10 ⁻⁵	2.890840721 × 10 ⁻⁵	-2.388556930 × 10 ⁻⁵	2.06182434 × 10 ⁻⁴
C ₄	3.18409457 × 10 ⁻⁷	1.322819530 × 10 ⁻⁷	-3.30568967 × 10 ⁻⁷	3.5691600106 × 10 ⁻⁸	-2.18822568 × 10 ⁻⁶
C ₅	-5.607284 × 10 ⁻¹⁰	-1.7052958 × 10 ⁻¹⁰	6.50244033 × 10 ⁻¹⁰	-4.62347666 × 10 ⁻¹¹	1.09968809 × 10 ⁻⁸
C ₆	5.6075059 × 10 ⁻¹³	2.09480907 × 10 ⁻¹³	-1.9197496 × 10 ⁻¹³	5.007774410 × 10 ⁻¹⁴	-3.0815759 × 10 ⁻¹¹
C ₇	-3.202072 × 10 ⁻¹⁶	-1.2538395 × 10 ⁻¹⁶	-1.2536600 × 10 ⁻¹⁵	-3.73105886 × 10 ⁻²⁰	4.54791353 × 10 ⁻¹⁴
C ₈	9.7151147 × 10 ⁻²⁰	1.56317257 × 10 ⁻²⁰	2.14892176 × 10 ⁻¹⁸	1.577164824 × 10 ⁻²⁰	-2.7512902 × 10 ⁻¹⁷
C ₉	-1.210472 × 10 ⁻²³	-	-1.4388042 × 10 ⁻²¹	-2.81038625 × 10 ⁻²⁴	-

اندازه‌گیری و کنترل حرارت با استفاده از میکروکنترلرها

تا مقدار تقریبی $+50^{\circ}\text{C}$ می‌توانیم از ضرایب سی‌پک^۱ میانگین‌شده به‌عنوان شیب استفاده کنیم. بنابراین معادله خطی شده به‌صورت زیر در خواهد آمد:

$$V = s \cdot T \quad \text{(رابطه ۳-۷)}$$

در معادله فوق، V ولتاژ ترموکوپل (برحسب $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) و T دمای اتصال ترموکوپل (برحسب درجه سانتی‌گراد) است.

خطای ناشی از به‌کاربردن معادله ۳-۷، تنها چند درجه سانتی‌گراد از محدوده عملکرد دمایی مورد نظر فراتر خواهد رفت و در بسیاری از کاربردهای اندازه‌گیری دما که چندان دقیق نیستند، قابل قبول خواهد بود. جدول ۳-۵، ضرایب Seebeck میانگین‌شده را برای چند ترموکوپل پرکاربرد در محدوده دمای صفر درجه سانتی‌گراد تا $+50^{\circ}\text{C}$ ارائه می‌کند.

جدول ۳-۵: ضرایب Seebeck	
نوع ترموکوپل	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
K	۴۰/۴۶
J	۵۱/۷۱
T	۴۰/۶۹
E	۶۰/۹۳
B	۰/۰۵
S	۶/۰۲
R	۵/۹۳

مثال ۳-۲

از معادله خطی شده، برای محاسبه ولتاژ ترموکوپل نوع K در شرایطی که دمای اتصال ترموکوپل $+50^{\circ}\text{C}$ و دمای مرجع آن صفر درجه سانتی‌گراد است، استفاده کنید.

حل مثال ۳-۲

از معادله ۳-۷ داریم:

$$\begin{aligned} V &= s \cdot T \\ &= 40.46 \times 50 \\ &= 2023 \mu\text{V} \end{aligned}$$

از روی جداول مرجع ترموکوپل، مقدار دقیق ولتاژ، واقعاً 2023 میکروولت خواهد بود.

۱- Seebeck effect: اثری با نام اثر ترموالکتریک که در سال ۱۸۲۱ توسط دانشمند آلمانی (جی‌تی‌سی‌پک) بیان گردید. این اثر به افزایش ولتاژ به تناسب اختلاف درجه حرارت بین سطوح اتصال دو فلز غیرمشابه در یک مدار مشترک اشاره می‌کند (م).

مثال ۳-۳

ولتاژ اتصال ترموکوپل نوع K، ۹۶۰ میکروولت است. با استفاده از معادله ۳-۷ در شرایطی که اتصال مرجع در صفر درجه سانتیگراد قرار دارد، دمای نقطه اتصال را محاسبه کنید.

حل مثال ۳-۳

از معادله ۳-۷ داریم:

$$\begin{aligned} T &= V/s \\ &= \frac{960}{40/46} \\ &= 23/72^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

از روی جداول مرجع ترموکوپل، مقدار دقیق دما 23°C است یعنی در این حالت خطا، $0/28^{\circ}\text{C}$ می باشد.

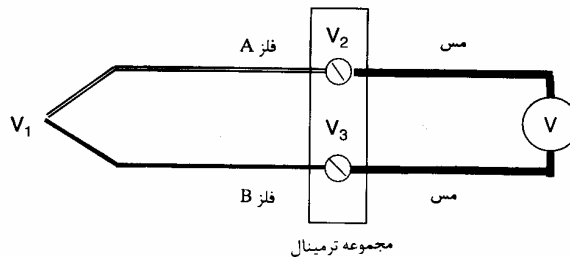
۳-۸: نظریه جبران سازی اتصال سرد

در این بخش به طور مفصل، به جبران سازی اتصال سرد^۱ خواهیم پرداخت و معادلاتی را به دست می آوریم که نشان دهنده چگونگی اندازه گیری دما در حالت عملی است.

شکل ۳-۸ یک سیستم ساده اندازه گیری توسط ترموکوپل را نشان می دهد. در اینجا فلز A و فلز B در ساختمان ترموکوپل مورد استفاده قرار گرفته اند و ترموکوپل با استفاده از یک جفت سیم مسی به یک ابزار اندازه گیری وصل شده است.

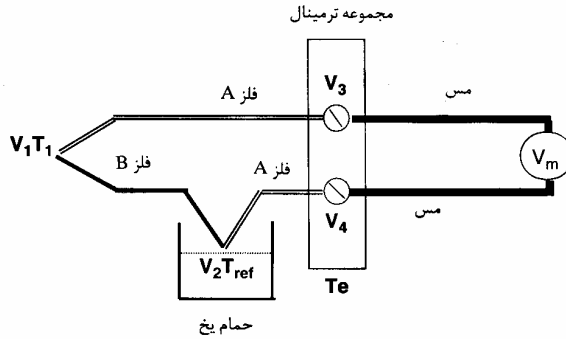
فرض کنید V_1 ولتاژ تولید شده توسط اتصال ترموکوپل است. علاوه بر این، دو ولتاژ ترموکوپلی دیگر به نامهای V_2 و V_3 در نقاط اتصال با سیم مسی ایجاد می شود.

اکنون شکل ۳-۹ را در نظر بگیرید که T_1 در آن دمای مورد نظر جهت اندازه گیری است. توجه کنید که از حمام یخ برای دمای مرجع و از فلز A برای اتصال دوم (V_2) استفاده شده است.



شکل ۳-۸: اندازه گیری با استفاده از ترموکوپل ساده.

1- cold junction



شکل ۳-۹: استفاده از یک ترموکوپل وقتی اتصال مرجع در صفر درجه سانتی‌گراد قرار دارد.

ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط ابزار اندازه‌گیری را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$V_m = V_1(T_1) + V_2(T_{ref}) + V_3(T_i) - V_4(T_i) \quad \text{(رابطه ۳-۸)}$$

در معادله فوق، V_m ولتاژ اندازه‌گیری شده، $V_1 T_1$ ولتاژ تولید شده توسط ترموکوپل در دمای T_1 ، $V_2 T_{ref}$ ولتاژ تولید شده توسط ترموکوپل ۲ در دمای T_{ref} ، $V_3 T_i$ ولتاژ تولید شده توسط ترموکوپل ۳ در دمای T_i و $V_4 T_i$ ولتاژ تولید شده توسط ترموکوپل ۴ در دمای T_i است. اتصالات ۳ و ۴ از فلزات مشابه ساخته شده‌اند و بنابراین $V_3 = V_4$. بنابراین معادله ۳-۸ را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$V_m = V_1(T_1) + V_2(T_{ref}) \quad \text{(رابطه ۳-۹)}$$

اتصالات ۱ و ۲ از فلزات مشابه ساخته، و با قطبیت‌های مخالف به هم وصل شده‌اند. بنابراین:

$$V_1(T_{ref}) = -V_2(T_{ref}) \quad \text{(رابطه ۳-۱۰)}$$

بنابراین معادله ۳-۹ به صورت زیر در می‌آید:

$$V_m = V_1(T_1) - V_1(T_{ref}) \quad \text{(رابطه ۳-۱۱)}$$

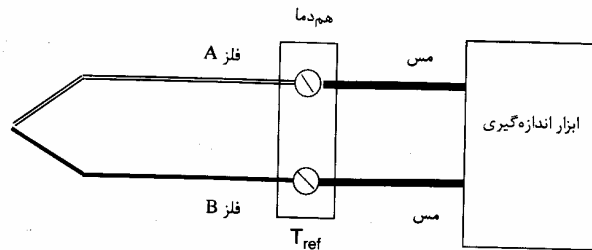
یا

$$V_1(T_1) = V_m + V_1(T_{ref}) \quad \text{(رابطه ۳-۱۲)}$$

- اکنون می‌توانیم به روش زیر دمای T_1 مورد نظر را محاسبه کنیم:
- دمای مرجع T_{ref} را (مثلاً با استفاده از یک ترمیستور) اندازه بگیرید.
 - T_{ref} را با استفاده از جدول ۳-۴ به ولتاژ ترموکوپل تبدیل کنید. با این کار $V_1(T_{ref})$ محاسبه می‌شود.
 - ولتاژ اندازه‌گیری شده V_m را به ولتاژ محاسبه شده فوق اضافه کنید. با این کار $V_1 T_1$ به دست می‌آید.
 - از جدول ۳-۳ و ولتاژ $V_1 T_1$ برای محاسبه دمای مورد نظر استفاده کنید.

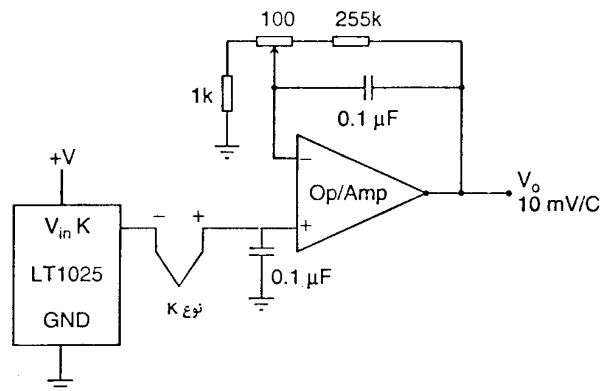
توجه کنید که اگر به سطح دقت بالا نیاز نداریم، می‌توانیم از معادله ۳-۷ به جای جدول ۳-۳ و جدول ۳-۴ استفاده کنیم.

در شکل ۳-۹، بخشی از فلز A در اتصال ۲ به کار می‌رود. در عمل این کار لازم نیست و با در نظر گرفتن قانون فلزات واسط (همان طور که در شکل ۳-۴ دیدید) می‌توان از آن صرف نظر کرد. اگر فلز واسط را از شکل ۳-۹ حذف کنیم مدار اندازه‌گیری به شکل ۳-۱۰ تبدیل می‌شود. توجه کنید که در این شکل، اتصال در محلی که به سیم مسی وصل می‌شود (یعنی اتصال مرجع) هم‌دماست و هر دو نقطه اتصال با مس، در دماهای یکسان، T_{ref} قرار دارند.



شکل ۳-۱۰: اندازه‌گیری عملی با یک ترموکوپل.

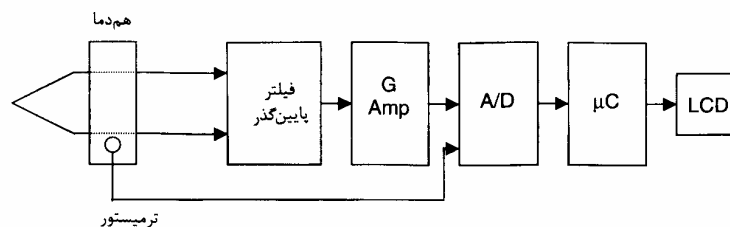
می‌توان با استفاده از یک روش جبران‌ساز سخت‌افزاری، ترموکوپل را جبران‌سازی کرد. IC‌های خاص مثل Linear Technology LT1025 (یا Analog Device AD594/AD595) را می‌توان برای این منظور به کار برد. این تراشه، برای انواع مختلف ترموکوپل‌ها، چندین پایه دارد. شکل ۳-۱۱ یک کاربرد معمول با استفاده از ترموکوپل نوع K را نشان می‌دهد. در این مدار، ولتاژ ترموکوپل جبران‌سازی شده برای تولید ولتاژ خروجی $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ تقویت و بهره در مقدار $247 = \frac{10 \text{ mV}}{40.4 \mu\text{V}}$ تنظیم می‌شود. خروجی تقویت‌کننده عملیاتی همان‌طور که در بخش ۳-۷-۳ تشریح شد خطی می‌شود و با دقت چند درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای عملکرد، کار می‌کند. محدوده عملکردی دما برای تراشه استاندارد LT1025 از صفر درجه سانتی‌گراد تا $+70^\circ\text{C}$ است.



شکل ۳-۱۱: استفاده از سخت‌افزار برای جبران‌سازی یک ترموکوپل.

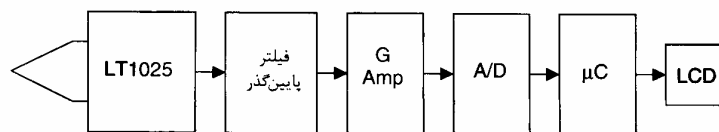
۳-۹: مدارهای عملی ترموکوپل با استفاده از میکروکنترلر

اندازه‌گیری دما با استفاده از ترموکوپل، به دو محاسبه اولیه نیاز دارد: جبران‌سازی اتصال سرد، و محاسبه دما با استفاده از چندجمله‌ای سری توانی (یا معادله خطی شده) یا جداول مرجع. جبران‌سازی اتصال سرد را می‌توان داخل نرم‌افزار یا سخت‌افزار انجام داد. شکل ۳-۱۲ نمودار بلوکی‌ای را نشان می‌دهد که در آن یک حسگر دما (مثل یک ترمیستور یا یک حسگر دمای نیمه‌هادی) برای اندازه‌گیری دمای مرجع به کار می‌رود و جبران‌سازی اتصال سرد درون نرم‌افزار انجام می‌شود. یک تقویت‌کننده عملیاتی برای افزایش مقدار سیگنال ترموکوپل به کار می‌رود به گونه‌ای که بتوان توسط یک مبدل A/D آن را به یک مقدار رقمی تبدیل کرد. هم ولتاژ رقمی شده ترموکوپل و هم ولتاژهای رقمی شده مرجع به میکروکنترلر اعمال می‌شوند. میکروکنترلر با اعمال جبران‌سازی اتصال سرد و چندجمله‌ای سری توانی (یا معادله خطی شده) همان‌طور که در بخش ۳-۸ تشریح شد، دمای مورد نظر جهت اندازه‌گیری را محاسبه می‌کند. میکروکنترلر برای نمایش دمای اندازه‌گیری شده یک LCD را روشن می‌کند. در مواردی که اغتشاش زیاد است، ممکن است لازم باشد که از یک فیلتر پایین‌گذر برای حذف اغتشاشات الکتریکی از سیستم اندازه‌گیری استفاده کرد.



شکل ۳-۱۲: جبران‌سازی نرم‌افزاری اتصال سرد و اندازه‌گیری دما.

شکل ۱۳-۳، نمودار بلوکی را نشان می‌دهد که در آن جبران‌سازی اتصال سرد با استفاده از تراشه LT1025 انجام می‌شود. خروجی LT1025 تقویت می‌گردد و سپس به مبدل A/D اعمال می‌شود. در مواردی لازم است که از یک فیلتر پایین‌گذر برای حذف اغتشاشات ناخواسته در این مرحله استفاده شود. خروجی مبدل A/D به میکروکنترلر اعمال می‌شود که با استفاده از چندجمله‌ای سری توانی، معادله خطی شده یا جدول مرجع ترموکوپل، دما را محاسبه کند و نمایش می‌دهد.



شکل ۱۳-۳: جبران‌سازی سخت‌افزاری اتصال سرد و اندازه‌گیری دما.

۳-۱۰: پروژه – اندازه‌گیری دما با استفاده از یک ترموکوپل و یک میکروکنترلر

در این بخش، پروژه سیستم اندازه‌گیری دما با استفاده از ترموکوپل تشریح خواهد شد.

۳-۱۰-۱: مشخصات

حسگر دما:	ترموکوپل نوع K
محدوده دمایی:	صفر درجه سانتی‌گراد تا 70°C
دقت:	1°C
جبران‌سازی:	سخت‌افزاری
کنترل‌کننده:	میکروکنترلر
نمایشگر:	LCD
قالب نمایشی:	شش کاراکتری مثلاً 1°nn.m C
وقفه جهت به‌روزرسانی:	۱ ثانیه

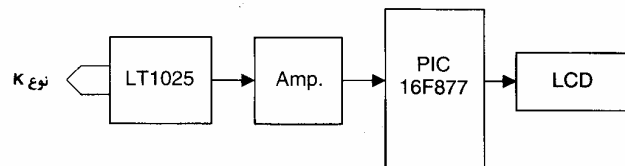
۳-۱۰-۲: طراحی سخت‌افزار

نمودار بلوکی سیستم اندازه‌گیری ترموکوپل در شکل ۱۴-۳ نشان داده شده است. شکل ۱۵-۳ نمودار کامل مدار را نشان می‌دهد. به دلیل آنکه جبران‌سازی در سخت‌افزار انجام می‌شود، یک تراشه جبران‌ساز اتصال

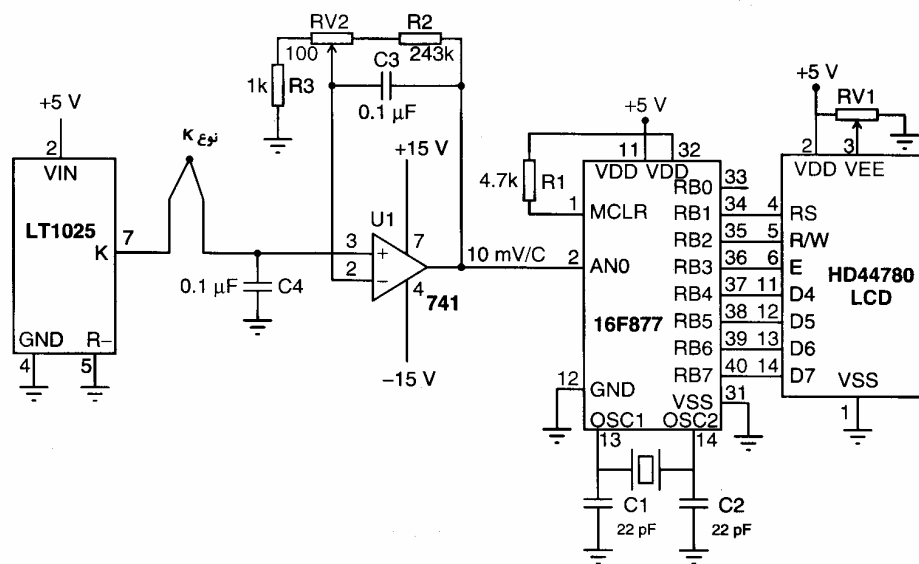
۱- این رشته از شش کاراکتر تشکیل شده است (م).

اندازه‌گیری و کنترل حرارت با استفاده از میکروکنترلرها

سرد از نوع LT1025 مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای اتصال انواع ترموکوپل‌های نوع E، J، K، R، S و T، این تراشه دارای چندین پایه است و با تغذیه ۴ ولت تا ۳۶ ولت کار می‌کند. جریان تغذیه معمول برای این تراشه ۸۰ میکروآمپر است که برای ولتاژهای تغذیه زیر ۱۰ ولت، افزایش دمای داخلی آن کمتر از 1°C می‌باشد. بنابراین برای این تراشه، از تغذیه ۵ ولتی استفاده می‌شود. خروجی تراشه (پایه K) تقویت می‌گردد تا ولتاژ خروجی آن برابر $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ شود. اگر از معادله خطی شده استفاده شود بهره تقویت‌کننده مورد نظر تقریباً $247 = \frac{10\text{mV}}{40.46\mu\text{V}}$ خواهد بود.



شکل ۱۴-۳: نمودار بلوکی سیستم.



شکل ۱۵-۳: نمودار مدار سیستم.

دو مقاومت ثابت و یک مقاومت متغیر برای تنظیم دقیق بهره به کار می‌روند. باید توجه داشت که مقاومتها به گونه‌ای انتخاب شوند که تئرانس آنها بسیار کوچک باشد تا دقت مورد نظر حاصل شود. تقویت‌کننده باید جهت حذف خطاهای انحرافی تنظیم گردد. توصیه می‌شود که در محیطهای پُراغتشاش از فیلتر پایین‌گذر استفاده شود. خروجی تقویت‌کننده به یکی از ورودیهای قیاسی (AN0) از میکروکنترلر PIC16F877 وصل

می‌شود. A/D دارای تفکیک‌پذیری 10^1 بیتی است و فرض می‌شود که از منبع ۵ ولتی تغذیه می‌گردد یعنی LSB^۱ در این مبدل معادل $4.88mV = \frac{5000}{1024}$ می‌باشد. بنابراین دقت اندازه‌گیری در حدود $0.5^{\circ}C$ خواهد بود. در اینجا از یک کریستال ۴ مگاهرتزی به عنوان منبع ساعت استفاده شده است. درگاه B از میکروکنترلر به یک نمایشگر LCD تک‌خطی از نوع HD44780 وصل شده است که دما توسط آن در هر ثانیه به شکل "nn.mm C" (مثلاً 20.50°C) نمایش داده می‌شود.

۳-۱۰-۳: طراحی نرم‌افزاری

الگوریتم PDL این سیستم در زیر داده شده است:

BEGIN

Initialize the LCD

Initialize the microcontroller

DO FOREVER

Read analog input AN0

Convert reading to temperature

Scale and format temperature for display ("nn.m C")

Display the temperature

Wait 1 second

ENDDO

END

PDL با ترجمه فارسی به شرح زیر است:

BEGIN

LCD مقداردهی اولیه شود

میکروکنترلر مقداردهی اولیه شود

DO FOREVER

ورودی قیاسی AN0 خوانده شود

تبدیل آنچه از ورودی خوانده شده است به دما (temperature)

اندازه‌گیری و قالب‌بندی دما جهت نمایش ("nn.m C")

نمایش دما

۱ ثانیه انتظار

ENDDO

END

1- resolution

2- Least significant Bit

اندازه‌گیری و کنترل حرارت با استفاده از میکروکنترلرها

فهرست کامل برنامه در شکل ۱۶-۳ نشان داده شده است. LCD به درگاه B وصل می‌شود و بنابراین مقدار ثابت LCDport براساس آن مقداردهی می‌گردد. متغیر LSB برابر مقدار LSB برحسب میلی‌ولت (یعنی $\frac{5000}{1024}$) است. متغیر *temp* به‌عنوان یک متغیر با ممیز شناور تعریف می‌گردد. LCD مقداردهی‌شده و مکان‌نما در موقعیت اولیه قرار می‌گیرد. سپس شش بیت بالای ورودی دادهٔ مبدل AD با صفر مقداردهی می‌شوند (مبدل A/D، ۱۰ بیتی است). خروجی A/D در ثباتهای PIC به نامهای ADRESH و ADRESL ذخیره می‌شوند. ADRESH دو بیت بالای دادهٔ تبدیل‌شده را نگه می‌دارد. این داده‌های تبدیل‌یافته سپس به‌صورت یک عدد ۱۰ بیتی ترکیب، و در متغیر *temp* ذخیره می‌شوند.

سپس بخشهای صحیح و اعشاری دما استخراج می‌شوند و به ترتیب در متغیرهای *msd* و *lsd* قرار می‌گیرند. این مقادیر به شکل رشته تبدیل می‌شوند و در رشته‌ای به نام *temperature* ذخیره می‌گردند. سپس ممیز اعشار و نشانگر درجه سلسیوس به این رشته افزوده شده و سپس داده رشته‌ای به LCD ارسال می‌شود. این روال به‌طور مداوم و با یک ثانیه تأخیر بین هر دو خروجی سریال، تکرار می‌شود.

```

/*****
*
*
* PROJECT:    PROJECT3
* FILE:      PROJ3.C
* DATE:      November 2001
* PROCESSOR: PIC16F877
* COMPILER:  FED C
*
*
* This project measures the temperature with a type K thermocouple and
* then displays on a LCD every second in the format "nn.m C".
*
*****/

#include <P16F877.h>
#include <displays.h>
#include <delays.h>
#include <strings.h>
#include <maths.h>

const int LCDPORT=&PORTB;           //Define LCD port as Port B

void main()
{
    float temp,LSB;
    int msd,lsd;
    char temperature[6];

    LSB = 5000.0/1024.0;             //LSB in mV

    /* Initialize the LCD */
    LCD(-1);                        //Init. LCD to 1 line
    LCD(257);                        //Clear LCD and home

    while(1)                         //DO FOREVER
    {
        /* Configure the A/D */

```

شکل ۱۶-۳: مجموعه دستورالعمل‌های پروژه.

```

ADCON1 = 0x80;           //Select 10 bits
ADCON0 = 0x41;

/* Start A/D conversion */
ADCON0=0x45;           //Start A/D conversion

while((ADCON0 & 4) != 0); //Wait for conversion
temp=256.0*(float)ADRESH+(float)ADRESL; //Get temperature

/* Convert reading to temperature */
temp = temp*LSB;           //temp in mV
temp = temp/10.0;         //temp in degrees C

/* Format for the display */
LCD(257);               //Clear LCD and home

msd=temp;               //msd digit
lsd=10.0*(temp-msd);    //lsd digit

iPrtString(temperature,msd); //msd

/* Insert ".", lsd digit, and "C" character */
temperature[2]='.';
cPrtString(temperature+3,lsd);
temperature[4]=' ';
temperature[5]='C';

/* Display the temperature as "nn.m C" */
LCDString(temperature);

Wait(1000);
}                               //ENDDO
}

```

ادامه شکل ۱۶-۳: مجموعه دستورالعمل‌های پروژه.

۳-۱۱: تمرینها

- ۱- اتصال مرجع یک ترموکوپل چیست؟
- ۲- اگر دمای اتصال گرم یک ترموکوپل 120°C و دمای اتصال سرد آن 30°C باشد، دمای اندازه‌گیری شده بدون هر گونه جبران‌سازی اتصال سرد، چه مقدار اندازه‌گیری خواهد شد؟
- ۳- قانون فلزات واسط را شرح دهید. چگونه می‌توان این قانون را در مورد یک سیستم اندازه‌گیری ترموکوپلی به کار برد؟
- ۴- کابل اتصال ترموکوپل چیست؟ شرح دهید که چرا استفاده از کابل اتصال مناسب مهم است؟
- ۵- ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط یک ترموکوپل نوع K، برابر $204\mu\text{V}$ است. با استفاده از چندجمله‌ای سری توانی، دمای ترموکوپل را محاسبه کنید.
- ۶- دمای اتصال یک ترموکوپل نوع J، برابر 37°C است. از چندجمله‌ای سری توانی برای محاسبه ولتاژ ترموکوپل برحسب μV استفاده کنید.