

لطفاً برای صرفه‌جویی در مصرف کاغذ، این دستور کار را به صورت دو رو چاپ کنید.



دانشکده فنی مهندسی
گروه کنترل
آزمایشگاه ابزار دقیق

حسگرهای اندازه‌گیری دما

تعداد جلسات: ۱

پیش‌نیاز:

✓ برازش منحنی



تقریباً نیمی از تحقیقات انجام شده در زمینه حسگرها به حسگرهای اندازه‌گیری دما باز می‌گردد. این آمار نشان‌دهنده اهمیت این نوع حسگرها می‌باشد. امروزه در اکثر فرآیندهای صنعتی برای کنترل دما و یا صرفاً جهت نمایش دمای فرآیند از حسگرهای دما استفاده می‌کنند. حسگرهای صنعتی اندازه‌گیری دما به سه دسته کلی ترموکوپل، ترمیستور و RTD تقسیم می‌شوند. هر دسته به نوبه خود دارای تقسیم‌بندی‌های دیگری نیز می‌باشد. در این آزمایش پس از آشنایی با انواع سنسورها، کاربرد هریک از آنها در صنعت بررسی خواهد شد.

فهرست مطالب

۱	فهرست مطالب.....
۲	بخش ۱- مختصری از تئوری.....
۲	۱-۱- آشکارساز مقاومتی دما (RTD).....
۳	۱-۲- ترموکوپل.....
۴	۱-۳- ترمیستور.....
۵	۱-۴- ترنسدیوسرها.....
۶	بخش ۲- فعالیت آزمایشگاهی.....
۷	۱-۲- کالیبره کردن ترنسدیوسر.....

بخش ۱- مختصری از تئوری

۱-۱- آشکارساز مقاومتی دما^۱ (RTD)

آشکارسازهای مقاومتی دما در واقع مقاومت‌های متغیر با دما می‌باشند. پرکاربردترین حسگر RTD نوع پلاتینی آنها است که با اسامی همچون Pt100, Pt500, Pt1000 و ... در صنعت شناخته می‌شوند. این نوع در حالت کلی با Pt_x معرفی شده که x نشان دهنده مقاومت اولیه یک حسگر RTD در دمای صفر درجه سانتی‌گراد است و Pt هم بیانگر جنس فلز است که در اینجا پلاتین می‌باشد. موادی همچون نیکل و مس نیز در ساخت RTD ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

مقاومت RTD ها را می‌توان با رابطه زیر بر حسب دما بدست آورد:

$$R = R_0(1 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2)$$

که در آن R_0 مقاومت RTD در دمای صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مقادیر α_1 و α_2 برای RTD از جنس پلاتین به صورت زیر است:

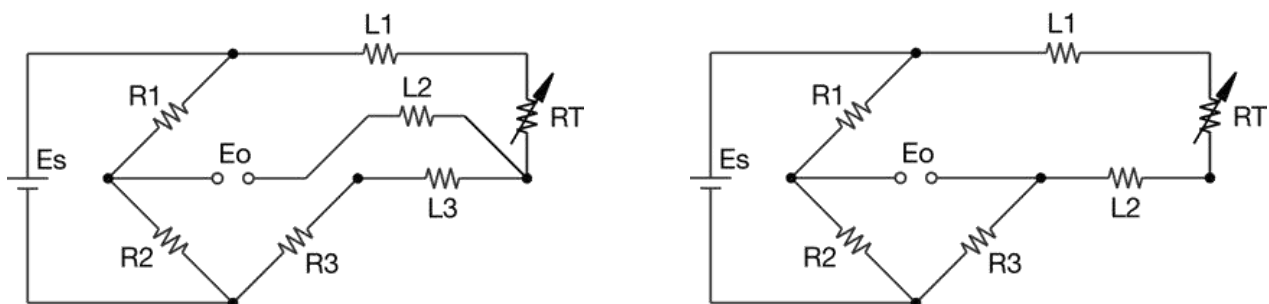
$$\alpha_1 = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\alpha_2 = -5.775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

RTD ها دارای انواع اتصال دو سیمه، سه سیمه و چهار سیمه می‌باشند که بنا به اینکه فاصله RTD تا ترانسدیوسر^۲ چه مقدار باشد و اینکه از چه نوع سیمی برای انتقال سیگنال خروجی حسگر استفاده شود، به صورت زیر استفاده می‌شوند:

اتصال دو سیمه: در مواردی به کار می‌رود که فاصله بین حسگر و ترانسدیوسر زیاد نیست و از سیم‌های انتقال با مقاومت بسیار پایین (نزدیک به صفر) استفاده شده است (زیر ۱۰۰ متر).

اتصال سه سیمه: در مواردی استفاده می‌شود که فاصله RTD و ترانسدیوسر زیاد است و مقاومت سیم‌های انتقال تاثیر گذارند اما مقاومت این سیم‌ها با هم برابر است (زیر ۶۰۰ متر).



شکل ۱: اتصال RTD در مدار پل، سمت راست: دوسیمه و سمت چپ: سه سیمه

پرسش ۱- با توجه به شکل ۱، چگونه اثر مقاومت سیم‌های انتقال در اتصال سه سیمه از بین می‌رود؟

^۱ Resistance Temperature Detectors or Resistive Thermal Devices

^۲ Transducer

۲-۱- ترموکوپل^۱

ترموکوپل از دو فلز مختلف که از یک سمت به هم جوش خورده‌اند (اتصال داغ) تشکیل شده است. اساس کار آنها قانون سیبک^۲ می‌باشد که طبق آن ولتاژ خروجی در دو سر آزاد ترموکوپل (اتصال مرجع) از رابطه مرتبه اول و تقریبی $E = \alpha(T - T_0)$ محاسبه می‌گردد. ضریب α تقریباً ثابت است و لذا این رابطه در گستره وسیع دمایی خطی می‌باشد.

عیب بزرگ ترموکوپل در مقایسه با RTD همانطور که در رابطه ولتاژ خروجی آن با دما مشاهده می‌گردد، وابستگی ولتاژ خروجی به دمای اتصال مرجع ترموکوپل می‌باشد. به همین دلیل دمای اتصال مرجع همیشه باید در یک دمای مشخص ثابت نگه داشته شود. این تثبیت دما را می‌توان با قراردادن اتصال مرجع در حمام یخ (مخلوط آب یخ) و تثبیت در صفر درجه سانتی‌گراد انجام داد. استفاده از حمام یخ کار زیاد آسانی نبوده و به جای آن معمولاً از تکنیک جبران‌سازی اتصال سرد^۳ با استفاده از RTD یا ترمیستور برای ایجاد یک اتصال سرد مصنوعی استفاده می‌کنند. ذکر جزئیات این تکنیک در حوصله این دستور کار نیست.

از دیگر معایب ترموکوپل می‌توان به کوچک بودن دامنه ولتاژ خروجی آن اشاره کرد که بسته به دمای آن اصولاً در حد چند میکرو ولت یا میلی ولت می‌باشد.

ترموکوپل دارای انواع مختلف است که در جدول زیر مقایسه شده‌اند:

جدول 1: مشخصات چند ترموکوپل پرکاربرد

نوع	حساسیت تقریبی ($\mu V/^\circ C$)	آلیاژ: اولی (+)، دومی (-)	محدوده دما $^\circ C$ (پیوسته)	محدوده دما $^\circ C$ (کوتاه مدت)
K	۴۱	کرومل ^۴ و آلومل ^۵	0 تا +1100	-180 تا +1300
J	۵۵	آهن و کنستانتان ^۶	0 تا +750	-180 تا +800
T	۴۳	مس و کنستانتان	-185 تا +300	-250 تا +400
E	۶۸	کرومل و کنستانتان	0 تا +800	-40 تا +900

انتخاب نوع ترموکوپل بر اساس قیمت، محدوده دمایی، حساسیت، دمای ذوب و مشخصات شیمیایی انجام می‌گیرد. ترموکوپل نوع K از بقیه انواع ترموکوپل استفاده بیشتری دارد.

ترموکوپل‌ها و RTDها دو حسگر معمول در صنعت برای اندازه‌گیری دما هستند. برای انتخاب درست یکی از آنها به عوامل زیر باید توجه کرد:

۱- محدوده دمایی: برای دماهای زیر $500^\circ C$ از RTD و برای دماهای بالای $500^\circ C$ تا حدوداً $2300^\circ C$ از ترموکوپل استفاده می‌شود.

^۱ Thermocouples

^۲ See beck

^۳ Cold Junction Compensation

^۴ Chromel (90% nickel and 10% chromium)

^۵ Alumel (95% nickel, 2% manganese, 2% aluminum and 1% silicon)

^۶ Constantan (55% copper and 45% nickel)

۲- سرعت پاسخ: ترموکوپل زیر یک ثانیه و RTD در حد ۲ تا ۱۰ ثانیه،

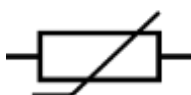
۳- قیمت: ترموکوپل‌ها ارزانتر از RTD می‌باشند،

۴- دقت، تکرارپذیری و ماندگاری: RTD دارای دقت و ماندگاری بیشتری نسبت به ترموکوپل است.

پرسش ۲- دقت، صحت، تکرارپذیری و تکثیرپذیری هر یک بیانگر چه چیزی هستند و چه تفاوتی با هم دارند؟ کدامیک با انحراف معیار و کدامیک با بایاس ارتباط مفهومی دارند؟

۳-۱- ترمیستور^۱

ترمیستورها همانند RTD ها حساسه‌های مقاومتی می‌باشند با این تفاوت که برخلاف RTD ها که از جنس فلز هستند، این حسگرها از جنس سرامیک، پلیمر و یا نیمه‌هادی می‌باشند. ترمیستورها به دو دسته NTC^۲ و PTC^۳ تقسیم می‌شوند که PTC همانند RTD با افزایش دما مقاومتش افزایش می‌یابد، ولی NTC با افزایش دما مقاومتش کاهش می‌یابد.



شکل ۲: نماد ترمیستور

رابطه تقریبی تغییر مقاومت بر حسب دما برای یک NTC به صورت زیر می‌باشد:

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

که در آن دما بر حسب کلوین^۴ بوده و R_0 مقاومت اولیه NTC در دمای T_0 می‌باشد. لازم به ذکر است که رابطه سانتی‌گراد و کلوین به صورت زیر می‌باشد:

$$[K] = [^{\circ}C] + 273.15$$

بر خلاف RTD و ترموکوپل، ترمیستور کمتر برای اندازه‌گیری مستقیم دما به کار می‌رود بلکه از تغییر مقاومت آن در اثر تغییر دما، به صورت کیفی برای موارد کنترلی دیگری مانند کلیدزنی، استفاده به جای فیوز، محدودکننده جریان هجومی (جریان راه‌اندازی موتورها) و ... استفاده می‌شود.

^۱ Thermistor

^۲ Negative Temperature Coefficient

^۳ Positive Temperature Coefficient

^۴ Kelvin

۴-۱- ترنسدیوسرها

ترنسدیوسرها (Transducer) ابزاری هستند که به کمک آنها می‌توان ولتاژ خروجی ترموکوپل و یا مقاومت RTD را به محدوده استاندارد (۴ تا ۲۰ میلی آمپر یا ۰ تا ۵ ولت) تبدیل کرد. ترنسدیوسری که در این آزمایش از آن استفاده شده است مدل TX-Block ساخت شرکت Novus می‌باشد که از سنسورهای مختلفی پشتیبانی می‌کند.



شکل ۳: ترنسدیوسر مورد استفاده در آزمایشگاه

Sensor Type	Maximum Measurement Range	Minimum Measurement Range
Voltage	0 to 50 mV	5 mV
Thermocouple K	-150 to 1370 °C	100 °C
Thermocouple J	-100 to 760 °C	100 °C
Thermocouple R	-50 to 1760 °C	400 °C
Thermocouple S	-50 to 1760 °C	400 °C
Thermocouple T	-160 to 400 °C	100 °C
Thermocouple N	-270 to 1300 °C	100 °C
Thermocouple E	-90 to 720 °C	100 °C
Thermocouple B	500 to 1820 °C	400 °C
Pt100	-200 to 650 °C	40 °C
Pt1000	-200 to 650 °C	40 °C
NTC	-30 to 120 °C	40 °C

شکل ۴: جدول سنسورهایی که توسط TX-Block پشتیبانی می‌شوند.

پرسش ۳- چرا خروجی ترنسدیوسرها بیشتر از جنس جریان است تا ولتاژ؟

پرسش ۴- چرا حد پایین خروجی جریان ترنسدیوسرها ۴ میلی آمپر است و نه ۰ میلی آمپر؟

بخش ۲- فعالیت آزمایشگاهی

به شکل ماژول‌ها دقت کنید.



پرسش ۱- حسگرهای موجود را با استفاده از یک اهم‌تر شناسایی کنید.

پرسش ۲- اساس کار تفنگ دمایی چیست؟

پرسش ۳- با راه‌اندازی کوره (ماژول ۵) جدول زیر را پر کنید.

ترموکوپل	ترموکوپل	ترمیستور	دما °C	RTD	ترموکوپل	ترموکوپل	ترمیستور	دما °C
			۹۵					۳۵
			۱۰۰					۴۰
			۱۰۵					۴۵
			۱۱۰					۵۰
			۱۱۵					۵۵
			۱۲۰					۶۰
			۱۲۵					۶۵
			۱۳۰					۷۰
			۱۳۵					۷۵
			۱۴۰					۸۰
			۱۴۵					۸۵
			۱۵۰					۹۰

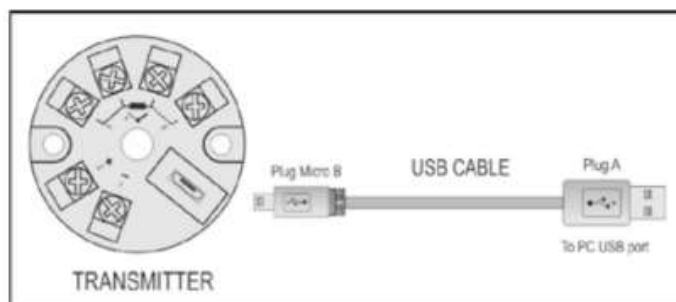
پرسش ۴- با توجه به جدول فوق و رابطه موجود، مقادیر α_1 و α_2 را برای RTD به دست آورید. آیا این مقادیر به مقادیر واقعی نزدیک هستند؟

پرسش ۵- با توجه به جدول فوق و رابطه موجود، مقدار α را برای هر دو ترموکوپل به دست آورید. نوع ترموکوپل را بر اساس جدول موجود در دستور کار مشخص کنید.

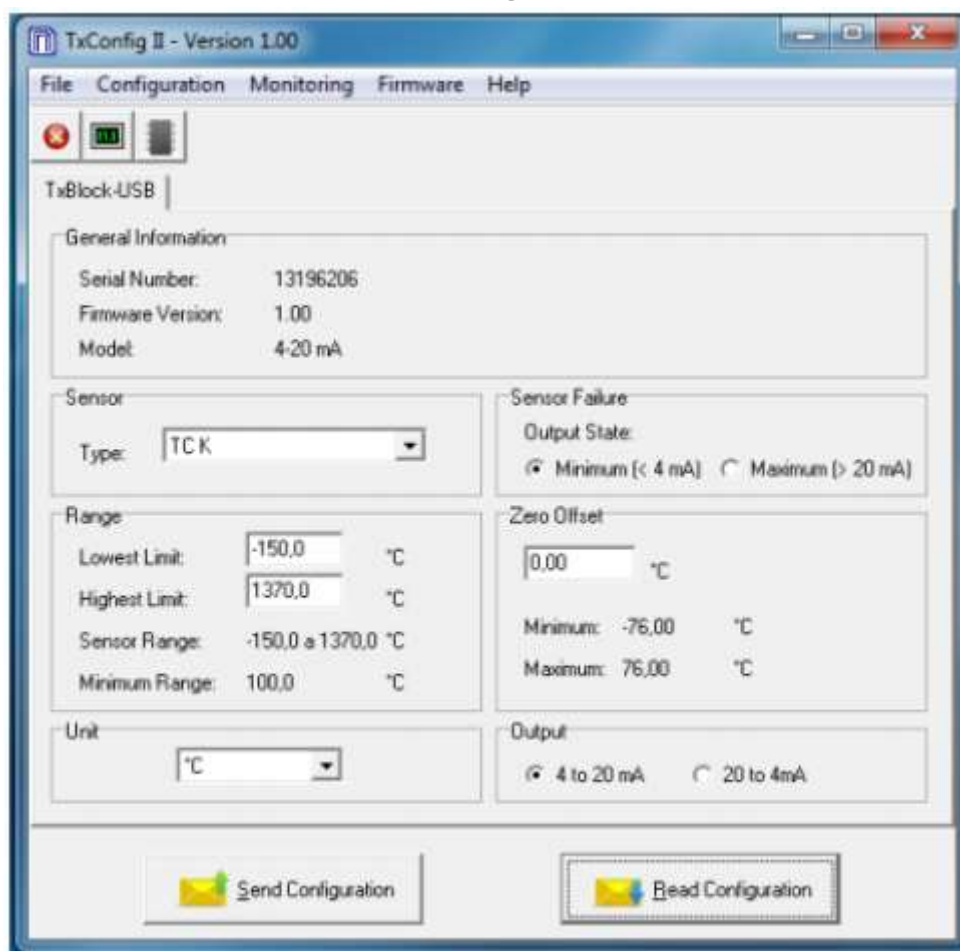
پرسش ۶- با توجه به جدول فوق و رابطه موجود، مقدار β را برای ترمیستور بدست آورید. (توجه کنید که در رابطه ترمیستور، دما بر حسب کلوین می‌باشد)

۱-۲- کالیبره کردن ترنسدیوسر

این ترنسدیوسر توسط کابل USB به کامپیوتر متصل شده و توسط نرم‌افزار کالیبره می‌شود. چگونگی اتصال به نرم‌افزار و نمایی از نرم‌افزار در شکل‌های زیر آمده است.

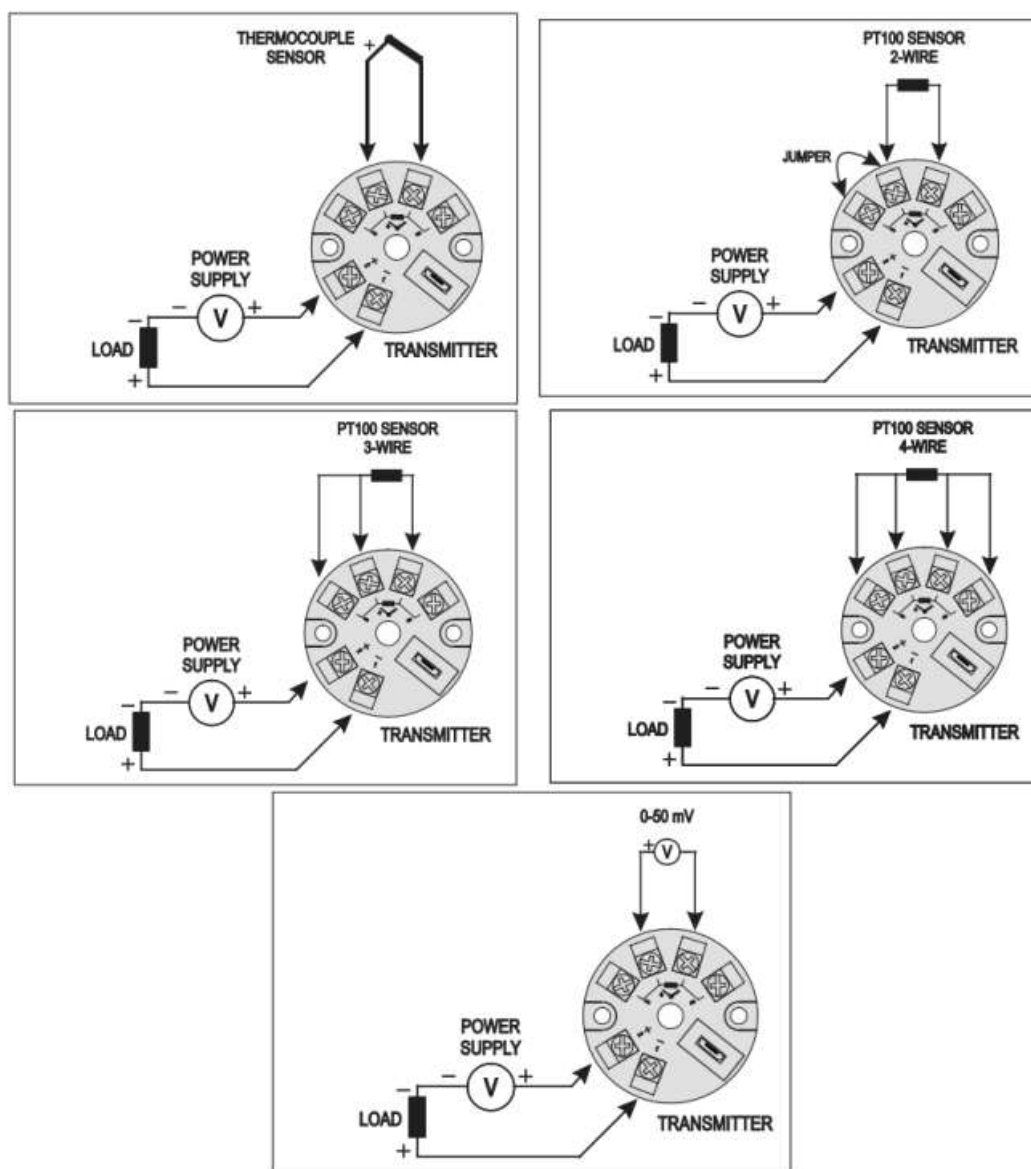


شکل ۵: چگونگی اتصال به کامپیوتر



شکل ۶: نمایی از نرم‌افزار

مدار لازم برای اتصال ترنسدیوسر به سنسور به شکل زیر است:



شکل ۷: مدار ترنسدیوسر برای سنسورهای مختلف

تغذیه ترنسدیوسر بین ۱۰ تا ۳۵ ولت است. مقاومت بار در شکل بالا از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R_{load}(Max) = \frac{V_{dc} - 10}{0.02}$$

پرسش ۷- با توجه به راهنمای زیر ترنسدیوسر موجود در آزمایشگاه را برای سنسور RTD کالیبره کنید. جدول زیر را پر کنید.

ترنسدیوسر	دما °C	ترنسدیوسر	دما °C
	۱۰۵		۵۰
	۱۱۰		۵۵
	۱۱۵		۶۰
	۱۲۰		۶۵
	۱۲۵		۷۰
	۱۳۰		۷۵
	۱۳۵		۸۰
	۱۴۰		۸۵
	۱۴۵		۹۰
	۱۵۰		۹۵
	۱۵۵		۱۰۰

پرسش ۸- اطلاعات جدول بالا را رسم کنید. آیا خروجی خطی است ؟