

Transductores de Temperatura

La temperatura es un factor de medida engañoso debido a su simplicidad. A menudo pensamos en ella como un simple número, pero en realidad es una estructura estática cuya exactitud y repetitividad pueden verse afectadas por la masa térmica, el tiempo de medida, el ruido eléctrico y los algoritmos de medida.

Dicho de otra forma, la temperatura es difícil de medir con exactitud aún en circunstancias óptimas, y en las condiciones de prueba en entornos reales es aún más difícil. Entendiendo las ventajas y los inconvenientes de los diversos métodos que existen para medir la temperatura, resultará más fácil evitar los problemas y obtener mejores resultados.

En el siguiente artículo comparamos los cuatro tipos más corrientes de transductores de temperatura: temperatura de resistencia (RTD), termistores, sensores de circuito integrado y termopares. La elección de los transductores de temperatura adecuados y su correcta utilización puede marcar la diferencia entre unos resultados equívocos y unas cifras fiables.

CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

Los transductores eléctricos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).

- * f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- * Variación de resistencia en un conductor (sondas de resistencia).
- * Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

El coeficiente de temperatura es la razón de cambio de resistencia al cambio de temperatura. Un coeficiente positivo significa que la resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura. Si el coeficiente es constante, significa que el factor de proporcionalidad entre la resistencia y la temperatura es constante y que la resistencia y la temperatura se graficará en una línea recta.

Cuando se usa un alambre de metal puro para la medición de temperatura, se le refiere como detector resistivo de temperatura, o RTD (resistive temperature detector).

Cuando se usan óxidos metálicos para la medición de temperatura, y su forma de acabado final se asemeja al de pequeños capacitores, el dispositivo se llama Termistor. Los termistores tienen un cambio de resistencia por unidad de temperatura que es mucho mayor que para el metal puro pero hacia el otro lado, es decir que la resistencia disminuye a medida que se aumenta la temperatura. El hecho de que el coeficiente no sea constante significa que el cambio en la resistencia por unidad de cambio de temperatura es diferente a diferentes temperaturas.

La alinealidad extrema de los termistores los hace poco apropiados para la medición de temperatura a través de rangos amplios. Sin embargo, para la medición de temperaturas dentro de bandas angostas, están muy bien dotados, pues dan una gran respuesta a un cambio de temperatura pequeño.

Como regla general, los termistores son preferibles cuando la banda de temperaturas esperada es angosta, mientras que los RTD son preferibles cuando la banda de temperatura esperada es amplia.

TIPOS DE TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

Termómetros de Resistencia

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que es propia del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado «coeficiente de temperatura de resistencia» que expresa, a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

La relación entre estos factores puede verse en la siguiente expresión:

$$R_t = R_0 (1 + a t)$$

Donde:

R_0 = Resistencia en ohmios a 0°C .

R_t = Resistencia en ohmios a $t^\circ\text{C}$.

a = Coeficiente de temperatura de la resistencia.

Detectores de temperatura de resistencia (RTD)

El detector de temperatura de resistencia (RTD) se basa en el principio según el cual la resistencia de todos los metales depende de la temperatura. La elección del platino en los RTD de la máxima calidad permite realizar medidas más exactas y estables hasta una temperatura de aproximadamente 500°C . Los RTD más económicos utilizan níquel o aleaciones de níquel, pero no son tan estables ni lineales como los que emplean platino.

En cuanto a las desventajas, el platino encarece los RTD, y otro inconveniente es el auto calentamiento. Para medir la resistencia hay que aplicar una corriente, que, por supuesto, produce una cantidad de calor que distorsiona los resultados de la medida.

Una tercera desventaja, que afecta al uso de este dispositivo para medir la temperatura, es la resistencia de los RTD. Al ser tan baja, la resistencia de los hilos conductores que conectan el RTD puede provocar errores importantes. En la figura 1, podemos ver una RTD de tipo industrial.

Termistores

Los Termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado y que presentan una curva ca-



Figura 1.
RTD tipo Industrial

racterística lineal tensión-corriente siempre que la temperatura se mantenga constante.

La relación entre la resistencia y la temperatura viene dada por la expresión.

$$R_t = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T_S} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Donde:

R_t = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta T_t.

R₀ = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia T₀.

β = constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas.

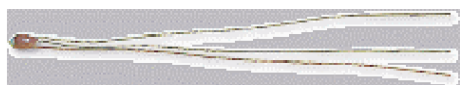
Hay que señalar que para obtener una buena estabilidad en los termistores es necesario envejecerlos adecuadamente.

Los termistores de conectan a puentes de Wheatstone convencionales o a otros circuitos de medida de resistencia. En intervalos amplios de temperatura, los termistores tienen características no lineales. Al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad que las sondas de resistencia y permiten incluso intervalos de medida de 1°C. Son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor.

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a los cambios de temperaturas del proceso.

Los termistores, que son detectores resistivos fabricados normalmente de semiconductores cerámicos, ofrecen una impedancia mucho más alta que los RTD. Su alto rendimiento (un gran cambio de resistencia con un pequeño cambio de temperatura) permite obtener medidas de alta resolución y reduce aún más el impacto de la resistencia de los hilos conductores. Por otra parte, la bajísima masa térmica del termistor minimiza la carga térmica en el dispositivo sometido a prueba.

No obstante, la baja masa térmica también plantea un inconveniente, que es la posibilidad de un mayor auto calentamiento a partir de la fuente de alimentación utilizada en la medida.



Apariencia Física de un termistor

Otro inconveniente del termistor es su falta de linealidad, que exige un algoritmo de linealización para obtener unos resultados aprovechables.

Sensores de Circuito Integrado

Los sensores de circuito integrado resuelven el problema de la linealidad y ofrecen altos niveles de rendimiento. Son, también relativamente económicos y bastante precisos a temperatura ambiente.

Sin embargo, los sensores de circuito integrado no tienen tantas opciones de configuraciones del producto o de gama de temperaturas, y además son dispositivos activos, por lo que requieren una fuente de alimentación.

Los sensores de circuito integrado forman parte de la tendencia hacia los «sensores inteligentes», que son unos transductores cuya inteligencia incorporada facilita las actividades de reducción y análisis de datos que el usuario debe realizar normalmente en un sistema de adquisición de datos.

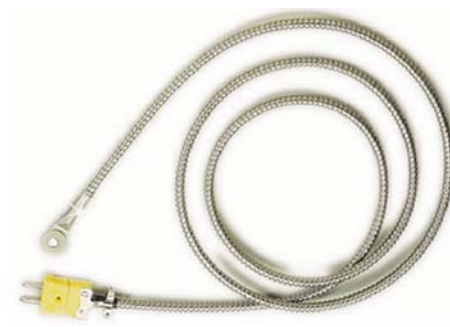
Termopares

Los termopares se utilizan extensamente, ya que ofrecen una gama de temperaturas mucho más amplia y una construcción más robusta que otros tipos. Además, no precisan alimentación de ningún tipo y son de reducido precio. Sin embargo, para superar algunos de los inconvenientes inherentes a los termopares y obtener resultados de calidad, es importante entender la naturaleza de estos dispositivos.

Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer tres leyes fundamentales:

I. Ley del circuito homogéneo. En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.

II. Ley de metales intermedios. Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma al-



Apariencia de un termopar industrial

gebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.

III. Ley de las temperaturas sucesivas. La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T₁ T₃ es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a T₁ T₂ de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T₂ T₃.

Cómo funcionan los Termopares?

El comportamiento de un termopar se basa en la teoría del gradiente, según la cual los propios hilos constituyen el sensor. Cuando se calienta uno de los extremos de un hilo, le produce una tensión que es una función de (A) el gradiente de temperatura desde uno de los extremos del hilo al otro, y (B) el coeficiente de Seebeck, una constante de proporcionalidad que varía de un metal a otro.

Un termopar se compone sencillamente de dos hilos de diferentes metales unidos en un extremo y abiertos en el otro. La tensión que pasa por el extremo abierto es una función tanto de la temperatura de la unión como de los metales utilizados en los dos hilos. Todos los pares de metales distintos presentan esta tensión, denominada tensión de Seebeck en honor a su descubridor, Thomas Seebeck.

En pequeñas gamas de temperaturas, los coeficientes de Seebeck de los dos hilos son constantes y la tensión de Seebeck es, por consiguiente, proporcional, pero en gamas más grandes, el propio coeficiente de Seebeck es una función de la temperatura, convirtiendo la tensión de Seebeck en no lineal. Como consecuencia, las tensiones del termopar también tienden a ser no lineales.

Códigos de color de los Termocuplas

El alambrado de las termocuplas está codificado dependiendo del tipo. Diferentes países utilizan códigos diferentes para los colores. Los códigos más comunes se ilustran en la tabla 1.

Fotoceldas y Dispositivos Fotoeléctricos

Las Fotoceldas son pequeños dispositivos que producen una variación eléctrica en respuesta a un cambio en la intensidad de la luz. Las fotoceldas pueden clasificarse como fotovoltaicas o fotoconductoras.

Una celda fotovoltaica es una fuente de energía cuyo voltaje de salida varía en relación con la intensidad de la luz en

superficie. Una celda fotoconductiva es un dispositivo pasivo, incapaz de producir energía. Su resistencia varía en relación con la intensidad de la luz en su superficie.

Industrialmente, las aplicaciones de las fotoceldas caen en dos categorías generales:

1. Detección de la presencia de un objeto opaco.

- La detección puede hacerse en una base de todo o nada, en la que el circuito de la fotocelda tiene solo dos estados de salida que representan la presencia o la ausencia de un objeto.
- La detección puede hacerse en una base continua, teniendo el circuito de la fotocelda una salida continuamente variable que representa la posición variable del objeto.

La ventaja principal de las fotoceldas sobre otros dispositivos de detección es que no se requiere ningún contacto físico con el objeto en detección.

2. Detección del grado de translucidez (capacidad de pasar luz) o el grado de luminiscencia (capacidad de generar luz) de un fluido o un sólido.

En estas aplicaciones, el proceso siempre ha sido dispuesto de manera que la translucidez o luminiscencia representen una variable de proceso importante. Algunos ejemplos de variables que pueden ser medidas de esta manera son densidad, temperatura y concentración de algún compuesto químico específico (monóxido de carbono, dióxido de carbono, agua, etc.).

Pirómetros de Radiación

Los Pirómetros de radiación se fundan en la ley de Stefan Boltzmann, que dice que la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo, es decir, $W=KT^4$. Desde el punto de vista de medición de temperaturas industriales, las longitudes de onda térmicas abarcan desde 0.1 micras para las radiaciones ultravioletas, hasta 12 micras para las radiaciones infrarrojas.

Los pirómetros de radiación miden, pues, la temperatura de un cuerpo a distancia en función de su radiación. Los instrumentos que miden la temperatura de un cuerpo en función a la radiación luminosa que éste emite, se denominan pirómetros ópticos de radiación parcial o pirómetros ópticos y los que miden la temperatura captando toda o una gran

parte de la radiación emitida por el cuerpo, se llaman pirómetros de radiación total.

Pirómetros Ópticos

Los pirómetros ópticos manuales se basan en la desaparición del filamento de una lámpara al compararla visualmente con la imagen del objeto enfocado. Pueden ser de dos tipos:

- De corriente variable en la lámpara.
- De corriente constante en la lámpara con variación del brillo de la imagen de la fuente.

Los pirómetros ópticos automáticos son parecidos a los de radiación infrarrojos y consisten esencialmente en un disco rotativo que modula desfasadas la radiación del objeto y la de una lámpara estándar que inciden en fototubo multiplicador. Este envía una señal de salida en forma de onda cuadrada de impulsos de corriente continua que coinciden en brillo la radiación del objeto y la de la lámpara. En este momento la intensidad de corriente que pasa por la lámpara es función de la temperatura.

El factor de emisión de energía radiante depende mucho del estado de la superficie del cuerpo emisor; para un metal como el cobre pasa de 0,10 a 0,85 si el metal perfectamente cuenta con el valor de absorción de la superficie.

Pirómetros de Radiación Total

El pirómetro de radiación total está formado por una lente de pyrex, silice o fluoruro de calcio que concentra la radiación del objeto caliente en una termopila formada por varios termopares de Pt-Pt/Rd de pequeñas dimensiones y montado en serie. La radiación está enfocada incidiendo directamente en las uniones calientes de los termopares.

La f.e.m. que proporciona la termopila depende de la diferencia de temperaturas entre la unión caliente (radiación procedente del objeto enfocado) y la unión fría. Esta última coincide con la de la caja del pirómetro es decir, con la temperatura ambiente. La compensación de este se lleva a cabo mediante una resistencia de níquel conectada en paralelo con los bornes de conexión del pirómetro.

La compensación descrita se utiliza para temperaturas ambientes máximas de 120°C, a mayores temperaturas se emplean dispositivos de refrigeración por aire o por agua, que disminuyen la temperatura de la caja en unos 10 a 40°C por debajo de la temperatura ambiente.

En la medición de bajas temperaturas la compensación se efectúa utilizando

además una resistencia termostática adicional que mantiene constante la temperatura de la caja en unos 50°C, valor que es un poco más alto que la temperatura ambiente que pueda encontrarse y suficientemente bajo como para no reducir apreciablemente la diferencia de temperaturas útil.

El pirómetro puede apuntar al objeto bien directamente, bien a través de un tubo de mira abierto (se impide la llegada de radiación de otras fuentes extrañas) o cerrado (medida de temperatura en baños de sales para tratamientos térmicos, hornos).

Una pequeña aplicación

Ya que hemos hablado un poco sobre el funcionamiento de algunos de los más usuales transductores de temperatura, veremos ahora una aplicación basada en el circuito integrado transductor de temperatura de National Instruments LM35; el cual es muy versátil y fácil de usar, con excelente linealidad y el cual puede ser usado en una gran variedad de aplicaciones sin la necesidad de una extensa circuitería externa.

En esta aplicación combinamos el LM35 con el muy conocido ADC0801, el cual nos permitirá obtener una salida digital de 8 bits, de acuerdo a la temperatura censada. Con este circuito podremos desarrollar innumerables aplicaciones, como por ejemplo, crear un programa en nuestro ordenador para adquirir los datos por medio del puerto de la impresora y así monitorear o bien controlar la temperatura directamente a través del ordenador, o tal vez, hacer la interfase para poder visualizar la temperatura directa-



Pirómetro de Radiación

mente en un display 7 segmentos, o si lo preferimos, hacer la interface con cualquier microcontrolador para registrar la temperatura y manipular estos datos para alguna aplicación en especial. Como vemos es un circuito muy versátil en cuanto a aplicaciones se refiere, además, de ser susceptible a variaciones por parte del usuario de modo que se puedan obtener mayores rangos de lectura de la temperatura.

En la Figura 1 podemos observar además del diagrama esquemático del circuito mencionado, mientras que en las Figuras 2, 3 y 4 los correspondientes diagramas para la elaboración de este en circuito impreso.

Al realizar el montaje de este circuito, debemos tener en cuenta que existen

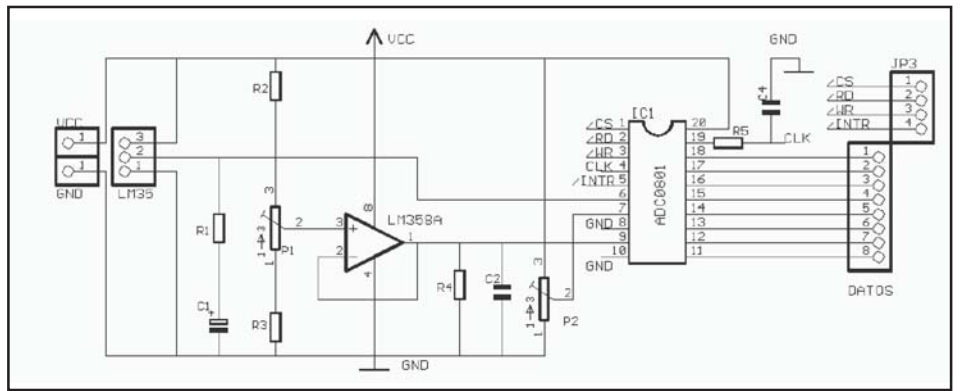


Figura 1

3 puentes que debemos colocar para su correcto funcionamiento, que se ilustran en la figura 3, como líneas color rojo.

Los trimmer presentes en el circuito, nos permiten ajustar el cero de temperatura, y la máxima lectura, ya que estos se encuentran conectados a los pines de entrada negativa (Vin(-)) y referencia del convertor analógico a digital respectivamente.

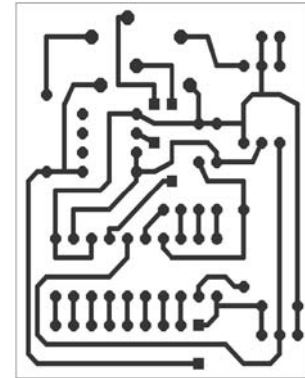


Figura 4

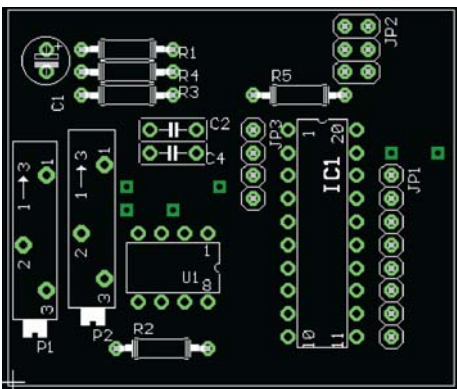


Figura 2

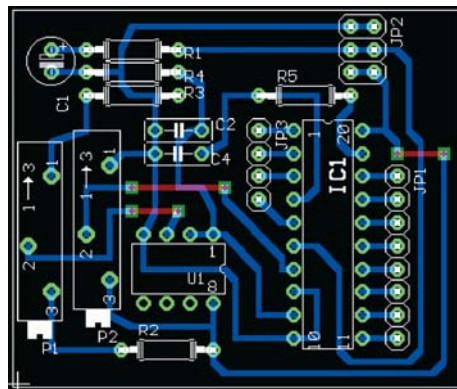


Figura 3

LISTA DE COMPONENTES

Resistores:

- R1 75 Ohm
- R2 16K Ohm
- R3 2K Ohm
- R4 100 Ohm
- R5 10K Ohm.

Condensadores:

- C1, C2 1uF
- C4 150pF

Resistores Variables (Trimmers):

- P1 1k
- P2 10K

CI's: AO LM358, ADC0801, Sensor de Temperatura LM35.

Ref.: STC01 — PVP 42 Euros+IVA

United States ASTM:	
R/S	
K	
J	
R/S	
K	
T	
B	
J	
British BS1843: 1952:	
T	
B	
French NFE:	
R/S	
T	
K	
British BS4937: Part 30: 1993	
J	
R/S	
J	
K	
T	
German DIN:	
T	
K	
J	
R/S	

Tabla 1. Códigos de Colores Utilizados por diferentes países para las termocupas de acuerdo a su tipo.