

CON ESTE TERMOMETRO SE
PUEDEN REALIZAR MEDIDAS
ENTRE -20 Y $+70^{\circ}\text{C}$

sonda termométrica de elevada precisión

- 1** utilización de un diodo como captador
- 2** principio de realización del termómetro
- 3** alimentación
- 4** construcción de la sonda
- 5** montaje final y puesta a punto
- 6** utilización del termómetro



Gracias a la utilización de circuitos integrados, es cada vez más fácil realizar termómetros electrónicos muy fiables y capaces de una gran precisión.

En estos aparatos, los elementos indicadores de la temperatura (galvanómetros o indicadores digitales) contribuyen esencialmente al coste del dispositivo. Si la utilización no es permanente, como puede ser el control de la temperatura de baños fotográficos, por ejemplo, es interesante llevar a cabo un circuito al cual se puede conectar un voltímetro exterior digital o de aguja.

1

La primera elección que se impone, la más importante, consiste en el captador. Eliminando los termopares costosos y de difícil adquisición, no quedan más que las termistancias y los diodos. Las primeras son muy sensibles, pero su falta de linealidad constituye un inconveniente difícilmente aceptable. Se elegirá, por lo tanto, un diodo.

En un diodo alimentado por una corriente de intensidad I constante, la diferencia de potencial entre ánodo y cátodo disminuye cuando la temperatura aumenta. Si se observan las variaciones, puede comprobarse que la disminución es rigurosamente lineal. En la figura 1 se muestra el diagrama de la variación de potencial entre ánodo y cátodo del diodo en función de la variación de temperatura para una corriente constante de 2 mA. Un inconveniente de este sistema es que las variaciones son relativamente pequeñas: 2 mV por grado centígrado para los diodos de silicio. Es evidente que se precisa un amplificador de las citadas variaciones de tensión.

2

En el esquema de la figura 2 se muestra un diagrama simplificado del termómetro. La fuente de corriente constante, que debe evidentemente suministrar una corriente independiente de la temperatura, produce en el diodo D una diferencia de potencial que se aplica a la entrada e1 de un amplificador diferencial A. Como la tensión V disminuye cuando la temperatura aumenta, A debe comportarse como un amplificador inversor.

Por otra parte, para regular la sensibilidad en función del voltímetro utilizado, una resistencia regulable AJ3 controla la ganancia del amplificador.

Finalmente, es cómodo que el cero del voltímetro de medida corresponda a la temperatura 0°C . Por supuesto, en este caso la tensión V en bornes del diodo no es cero. En la segunda entrada e1 del amplificador diferencial se aplica, por consiguiente, una tensión de compensación obtenida de una tensión de referencia V_{REF} regulable por medio de la resistencia ajustable AJ1.

Finalmente, la tensión se lee en un voltímetro exterior conectado entre la salida del amplificador A y la masa.

En la figura 3 se presenta el esquema detallado del termómetro. La fuente de corriente constante está formada por el transistor PNP TR1. En efecto, en este transistor el potencial de base está fijado por las resistencias R1 y R2. La diferencia de potencial permanece por lo tanto constante en los bornes de la resistencia R3; sucede lo mismo en la corriente del emisor y en la del colector de TR1. Esta corriente es la que atraviesa el diodo D2 utilizado como sonda.

A fin de que la intensidad de esta corriente no varíe con la temperatura, se ha previsto un dispositivo de compensación. En efecto, la caída de tensión emisor-base de TR1 varía con la temperatura. El diodo D1 intercalado en el circuito de polarización, introduce variaciones iguales, lo que permite mantener constante la diferencia de potencial en bornes de R3.

El amplificador diferencial A en la figura 2, está materializado por un circuito integrado 741. En la entrada invertida se apli-

SONDA TERMOMÉTRICA DE ELEVADA PRECISIÓN

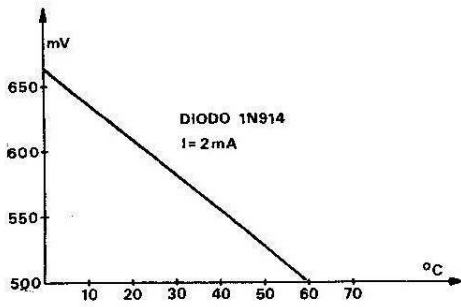


Fig. 1

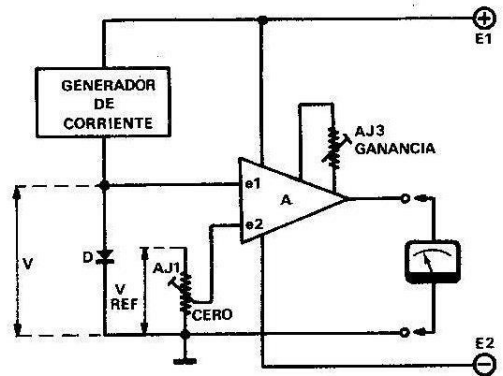


Fig. 2

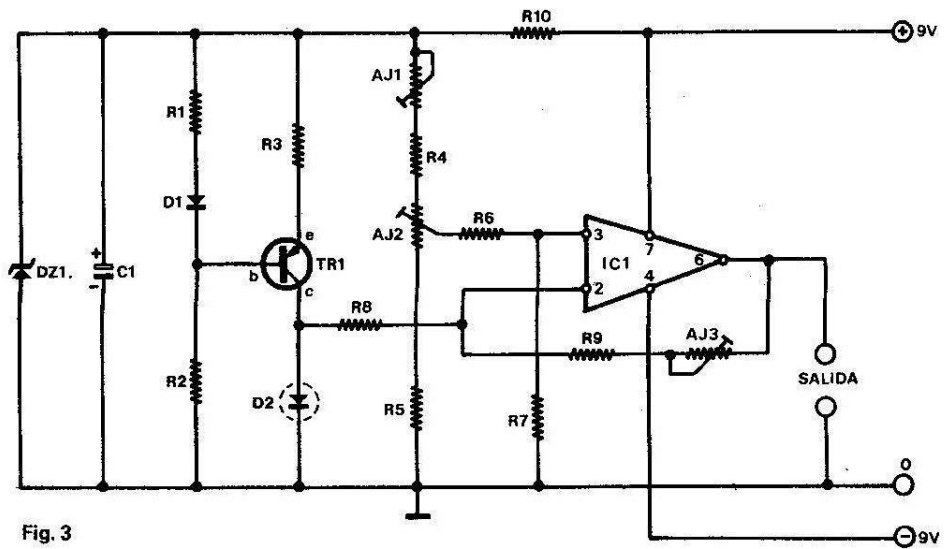


Fig. 3

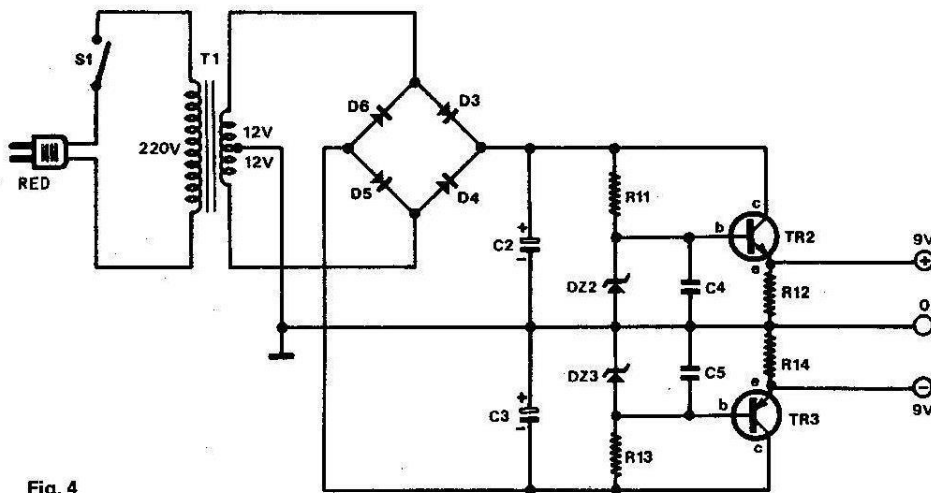


Fig. 4

SONDA TERMOMÉTRICA DE ELEVADA PRECISIÓN

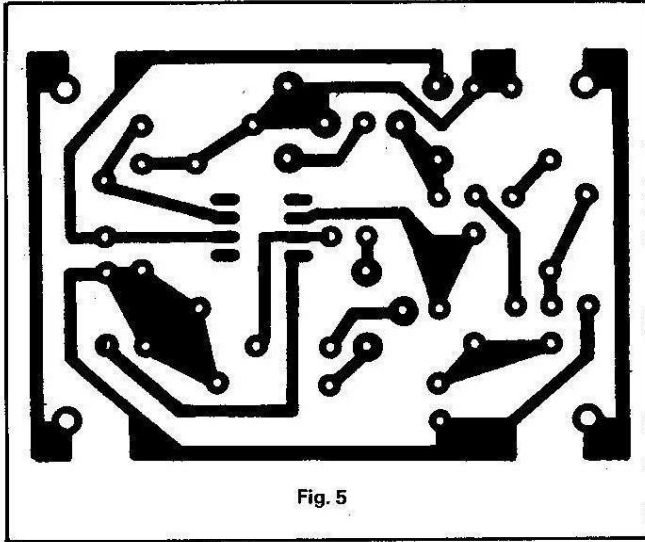


Fig. 5

ca la tensión obtenida en la sonda D2. La amplificación, es decir, la sensibilidad del termómetro viene fijada por la relación del conjunto de las resistencias del lazo de realimentación (R9 y AJ3) y de la resistencia R8; se ajusta por lo tanto mediante AJ3.

Se toma en el cursor del potenciómetro AJ2 la tensión de compensación necesaria para la regulación del cero del termómetro. Un ajuste fino que permite alcanzar 1/10 de grado, está facilitado por la presencia de otra resistencia ajustable AJ1.

Todo el conjunto, así como la fuente de corriente, deben hallarse perfectamente estabilizadas en tensión y para ello se ha previsto el diodo zener DZ1 polarizado a través de la resistencia R10 y desacoplado por el condensador C1.

3

El circuito necesita dos tensiones simétricas con relación a la masa +9 V y -9 V respectivamente. La estabilidad perfecta del termómetro no puede garantizarse más que si las tensiones se hallan estabilizadas. Es por ello por lo que se utiliza el circuito de alimentación de la figura 4 que permite, en comparación con la alimentación por pilas secas, la ventaja de una autonomía ilimitada.

El transformador es de potencia reducida con un secundario doble del que cada mitad suministra 12 V. Para la rama positiva, la rectificación se efectúa en doble alternancia gracias a los diodos D3 y D4; los diodos D5 y D6 efectúan la misma función en la rama negativa. El filtrado está asegurado, respectivamente, por los condensadores C2 y C3.

En cada una de las ramas se obtiene una tensión de referen-

cia de 10 V en bornes de los diodos zener DZ1 y DZ2, polarizados por las resistencias R11 y R13. Los condensadores C4 y C5 eliminan la tensión de ruido de estos zener.

Finalmente, las tensiones de salida se hallan disponibles en los emisores de los transistores TR2 y TR3, el primero NPN y el segundo PNP.

La totalidad de los componentes del termómetro se montan en dos circuitos impresos. El primero aloja los componentes del termómetro propiamente dicho, es decir, el correspondiente al esquema de la figura 3. Su dibujo visto a escala 1:1 por la cara de cobre se muestra en la figura 5, mientras que la disposición de los componentes se indica en la figura 6.

Para la alimentación se adopta el dibujo del circuito a escala 1:1 de la figura 7 y el esquema de disposición de componentes de la figura 8.

4

Del cuidado que se tenga en la fabricación de la sonda, dependen en una gran parte la seguridad y precisión de funcionamiento del dispositivo. El diodo utilizado, del tipo 1N914, se fija en el extremo de un cable blindado delgado y muy flexible. Después de haber doblado la conexión del cátodo, se suelda (muy rápidamente para no recalentar el aislante del cable) al conductor central.

La conexión de ánodo se suelta a la malla de blindaje.

Es indispensable proteger esta sonda especialmente para permitir su utilización en los líquidos. Se ha rodeado el extremo de la sonda con una pequeña cápsula constituida por una gota de adhesivo del tipo Araldit. Puede obtenerse una gota esférica girando el conjunto en forma regular durante el endurecimiento del adhesivo, según la técnica similar usada en la fabricación de recipientes de cristal. Para que la operación no sea demasiado pesada, se utilizará Araldit rápido, que se seca por completo en pocos minutos a la temperatura ambiente.

La experiencia ha mostrado que este dispositivo mantiene todavía una cierta porosidad, falseando las medidas después de una inmersión prolongada en el agua. Se han tenido finalmente resultados satisfactorios recubriendo el extremo con dos capas de laca para uñas transparente.

5

Es aconsejable proceder por etapas, a fin de determinar con facilidad, mediante controles sucesivos, cualquier error eventual.

Después de haber conectado el circuito al transformador en forma provisional se verificará que las salidas proporcionen +9 V y -9 V. El valor exacto no importa demasiado y pueden admitirse variaciones de ± 1 V teniendo en cuenta las características de dispersión de los diodos zener. De hecho, lo que es importante es la estabilidad de las tensiones de salida. A continuación se cableará el circuito principal en el que se fijará provisionalmente la sonda. Las resistencias ajustables se situarán

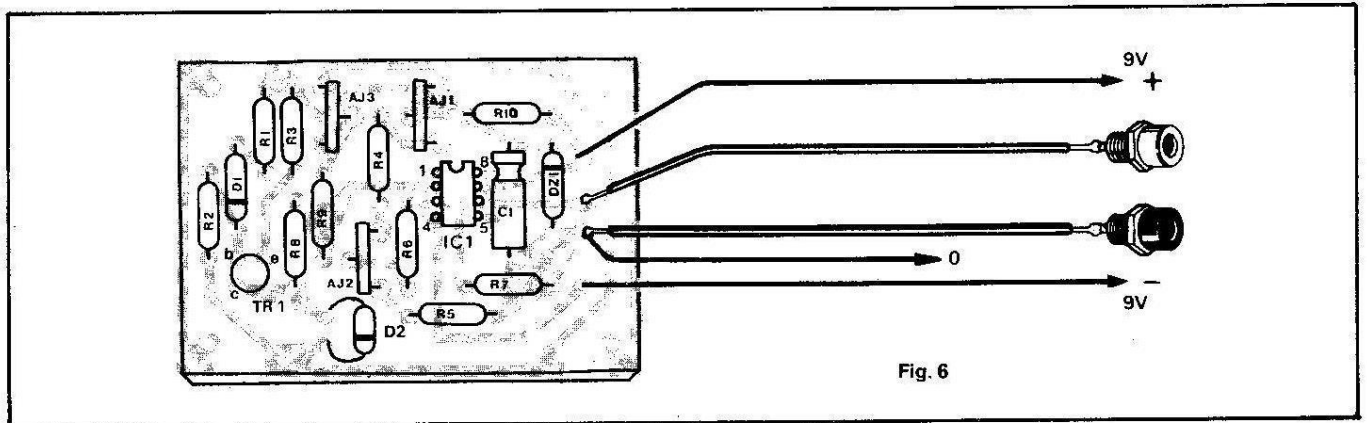


Fig. 6

SONDA TERMOMÉTRICA DE ELEVADA PRECISIÓN

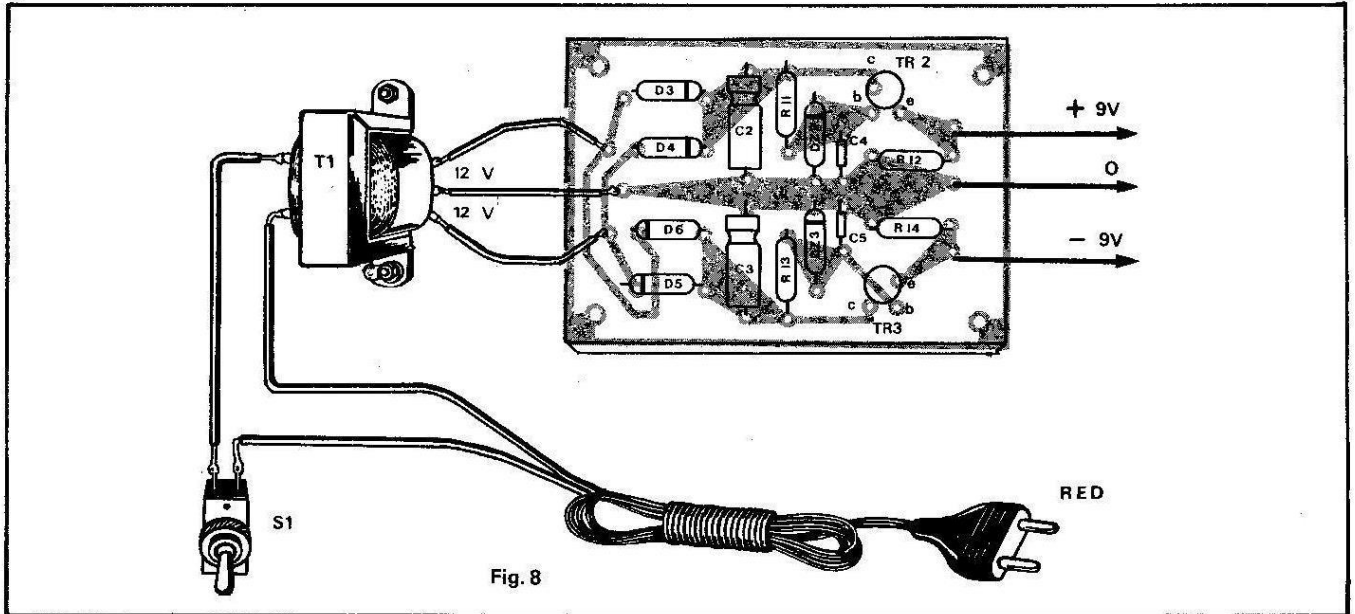


Fig. 8

con el cursor a mitad de recorrido. Con un voltímetro se comprobará que las tensiones en los dos extremos del potenciómetro AJ2 sean de + 0,55 V y + 0,75 V aproximadamente. Para obtener estos valores es suficiente actuar sobre AJ1.

Siempre con el voltímetro se controlará que la diferencia de potencial en bornes de D2 sea próxima a 0,6 V (evidentemente, su valor exacto dependerá de la temperatura y del lugar donde se trabaja).

Para el resto de las operaciones, se conecta el voltímetro a la salida entre la masa y la patilla 6 del circuito integrado después de haber pasado a una sensibilidad de 5 a 10 V a plena escala. Se ajustará, en primer lugar, el cero después de haber sumergido la sonda en una mezcla de agua y hielo, agitada permanentemente para obtener una temperatura homogénea. Los resultados no serán suficientemente precisos si no se usa agua destilada. El agua corriente, debido a las sales que contiene en disolución, puede conducir a errores del orden de 1 °C.

Se empezará por ajustar a cero con ayuda de AJ2 y seguidamente se afinará con AJ1. A continuación se utilizará agua tibia (aproximadamente a 40 °C) para regular la sensibilidad tomando como comparación un buen termómetro de mercurio, que en general permite precisar el 1/5 a 1/10° (los termómetros

de alcohol pueden tener errores de 2 a 3 °C). Este ajuste se lleva a cabo mediante AJ3.

6

Si todos los ajustes se efectúan con cuidado, la sonda permitirá efectuar medidas entre -20 °C y 70 °C, con una precisión próxima a 1/10. El límite superior está determinado por la resistencia del adhesivo a las temperaturas elevadas.

Naturalmente, esta precisión no puede obtenerse si el voltímetro no lo permite; por ejemplo, un voltímetro analógico no puede dar una precisión mejor de 1°; en cambio, un voltímetro digital permitirá aprovechar la precisión del termómetro. Debe tenerse en cuenta siempre que la desviación obtenida es de 100 mV por grado centígrado; así, en el margen 0 a 10 V del voltímetro, una lectura de 2,55 V corresponde a 25,5 °C.

Lista de componentes

- R1 = 6.800 ohmios 1/4 W ± 5 %
- R2 = 22.000 ohmios 1/4 W ± 5 %
- R3 = 470 ohmios 1/4 W ± 5 %
- R4 = 12.000 ohmios 1/4 W ± 5 %
- R5 = 1.800 ohmios 1/4 W ± 5 %
- R6, R8, R12, R14 = 10.000 ohmios 1/4 W ± 5 %
- R7 = 390.000 ohmios 1/4 W ± 5 %
- R9 = 330.000 ohmios 1/4 W ± 5 %
- R10 = 1.000 ohmios 1/4 W ± 5 %
- R11, R13 = 3.900 ohmios 1/4 W ± 5 %
- AJ1 = Trimmer potenciométrico de 5k ohmios
- AJ2 = Trimmer potenciométrico de 500 ohmios
- AJ3 = Trimmer potenciométrico de 500k ohmios
- C1 = 25 μF/25 V, electrolítico
- C2, C3 = 125 μF/16 V, electrolítico
- C4, C5 = 22.000 pF, poliéster plano min.
- D1, D2 = Diodos 1N914
- D3 a D6 = Diodos rectificadores 1N4002
- DZ1 = Diodo zener de 5,1 V/0,4 W
- DZ2, DZ3 = Diodos zener de 10 V/0,4 W
- TR1, TR3 = Transistor PNP 2N2907, BC557
- TR2 = Transistor NPN 2N2369, BC547
- IC1 = Circuito integrado μA 741
- T1 = Transformador con primario de 220 V y secundario de 2 × 12 V/0,25 A
- S1 = Interruptor

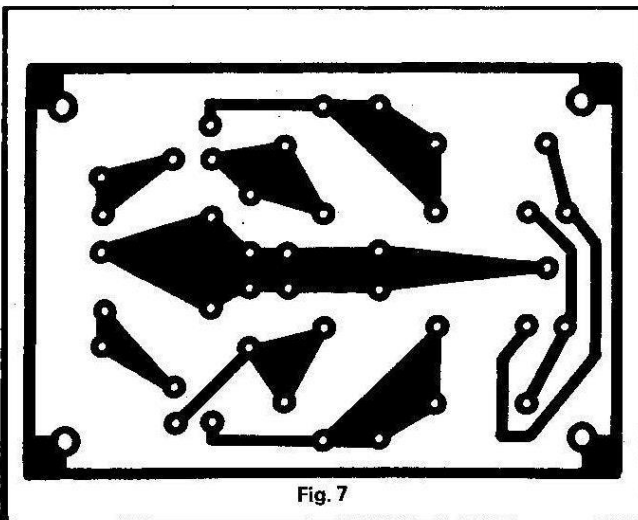


Fig. 7