

DIODOS EN MEDIDAS DE TEMPERATURA

Graciela Lesino

Grupo de Energía Solar, Departamento de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta - 4.400 Salta, Argentina.

Resumen

La finalidad del presente trabajo es hacer notar la posibilidad de emplear diodos de germanio y silicio como sensores en medidas de temperatura.

La tensión en un diodo, a corriente directa constante, es proporcional a la temperatura.

Los diodos son de bajo precio, tienen mayor sensibilidad que las termocuplas ($2\text{mV}/^\circ\text{K}$ contra $40\text{microV}/^\circ\text{K}$), su calibración es absoluta con lo que se evitan las temperaturas de referencia y son lineales en el rango habitual de uso, lo que no sucede con los termistores. Su inercia térmica es mayor que la de las termocuplas y similar a la de los termistores.

Se analizan algunas aplicaciones a sistemas de aprovechamiento de energía solar.

Abstract

The purpose of this paper is to point out the possibility of using silicon and germanium diodes as temperature-sensitive elements. The voltage in the diode, under constant direct current, is linear with temperature.

Diodes are cheap, more sensitive than thermocouples ($2\text{mV}/^\circ\text{K}$ against $40\text{microV}/^\circ\text{K}$) and their calibration is absolute thus avoiding temperature references.

They are linear in the usual temperature range, this being an advantage over thermistors. Thermal inertia is bigger than in thermocouples and similar to that of thermistors.

Several applications to solar energy systems are analyzed.

El motivo de la presente nota técnica es señalar la posibilidad de usar diodos como elementos detectores para las medidas de temperatura. En la Sección 1 se hace una introducción teórica, en la 2 se da algunos resultados experimentales y en la 3 se comenta sus ventajas y se sugiere algunas aplicaciones a sistemas solares.

1.- Introducción teórica

La corriente I en un diodo está relacionada con la tensión aplicada V y la temperatura T (1) por

$$I = I_s \left(e^{qV/kT} - 1 \right) \quad (1)$$

q - carga del electrón
 k - constante de Boltzmann
 I_s - intensidad de corriente de saturación, depende del tipo de diodo y de la temperatura.

$$V = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I}{I_s} + 1\right) \quad (1')$$

En el caso en que $V > 0,77$ V y $T \cong 300^\circ\text{K}$, $\frac{qV}{kT} > 30$ por lo que se puede despreciar el 1 en (1')

$$V = \frac{kT}{q} \ln \frac{I}{I_s} \quad (1'')$$

Derivando

$$\frac{\partial V}{\partial T} I = \frac{k}{q} \ln \frac{I}{I_s} - \frac{kT}{qI_s} \frac{\partial I_s}{\partial T} \quad (2)$$

En un intervalo de $\pm 75^\circ$ K alrededor de la temperatura ambiente

$$a = \frac{1}{I_s} \frac{\partial I_s}{\partial T} \quad (3)$$

es aproximadamente constante y del orden de $0,12 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ y $0,18 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ para el germanio y el silicio respectivamente

Resulta

$$\frac{\partial V}{\partial T} I = \frac{V}{T} - \frac{kT}{q} a \quad (2')$$

Para el germanio, con $V = 0,3$ V , $T = 300$ °K

$$\frac{\partial V}{\partial T} I \cong -2,1 \times 10^{-3} \text{ V/}^\circ\text{K}$$

Para el silicio, con $V = 0,7$ V

$$\frac{\partial V}{\partial T} I \cong -2,3 \times 10^{-3} \text{ V/}^\circ\text{K}$$

2.- Resultados experimentales

Se ha realizado corridas de calibración de diodos de germanio y silicio, cuyas características aparecen en las Tablas I y II respectivamente con la conexión sencilla del circuito de la Fig. 1, y regulándose la temperatura en un termostato. Los sensores se han recubierto de barniz para sumergirlos en agua.

Se ha encontrado que la sensibilidad, para las condiciones dadas es de alrededor de $-2,05 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ para el germanio y $-2,1 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ para el silicio.

En intervalos de aproximadamente 40°C se logró un ajuste lineal (mínimo cuadrático) con error menor que $0,15^\circ \text{C}$.

Interesa analizar también el comportamiento temporal de estos elementos. En la Fig. 2 puede observarse las respuestas de un diodo y un termistor cuyas características aparecen en la Tabla III frente a un escalón de temperatura de $\Delta T_0 = 30^\circ \text{C}$ obtenido por inmersión en agua quieta. Un ajuste exponencial del tipo

$$\Delta T = \Delta T_0 (1 - e^{-t/\tau})$$

$$\Delta T = T - T_i$$

$$\Delta T_0 = T_f - T_i$$

τ = constante de tiempo

T_i - temperatura inicial

T_f - temperatura final

da para la constante de tiempo τ $0,85_s$ para el diodo y $1,5_s$ para el termistor.

3.- Ventajas y aplicaciones

Cabe señalar las siguientes ventajas en el uso de diodos como sensores de temperatura:

- a) Su sensibilidad es mayor que la de las termocuplas, aproximadamente $2 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ comparada con $0,04 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ en el rango ambiente, un factor 50 de ganancia, siendo el circuito muy simple. La señal de salida es de centenas de milivoltios facilitando la detección. La conexión de varios diodos en serie permite aumentar la tensión de salida.
- b) Son lineales, lo que facilita su incorporación a sistemas de control y evita curvas de calibración.
- c) Con respecto a las termocuplas tienen también la ventaja de eliminar la junta de referencia de éstas.
- d) Ciertos diodos de silicio admiten temperaturas de funcionamiento mayores de 130°C .
- e) Su precio es muy bajo. Un BA 127 D cuesta \$ 100.- (Junio 1978 - U\$S 0,12). Su aplicación puede resultar especialmente útil en el caso en que se desee medir diferencias de temperaturas de grados o fracción de grados, que de ser realizadas con termocuplas colocan la medida en el rango de las decenas de

microvoltios. Es lo que sucede en la medida de gradiente térmico en las pozas solares. Para eliminar el problema de las diferencias individuales de diodos, en el caso diferencial se usa sobre uno de ellos un divisor de tensión de manera de obtener una lectura constante cuando ambos diodos están a igual temperatura pero siendo ésta variable.

En la referencia 2 se plantean circuitos que permiten construir termómetros de rango muy amplio, utilizables aún en bajas temperaturas.

En la referencia 3 está descripta una aplicación de los diodos para controlar un sistema colector-acumulador. Se controla el pasaje del fluido por el colector desde el acumulador con la diferencia de temperatura entre ellos siendo ambos sensores una serie de 6 diodos.

TABLA I

OA 91 -	Diodo de germanio
	Vidrio
	$\phi = 2,5 \text{ mm}$
	Longitud $l = 6,4 \text{ mm}$
	Voltaje inverso promedio $V_R \text{ máx} = 90 \text{ V}$
	Corriente directa promedio $I_F \text{ máx} = 50 \text{ mA}$
	Temperatura ambiente de funcionamiento $-55 \text{ a } 75^\circ \text{ C}$

TABLA II

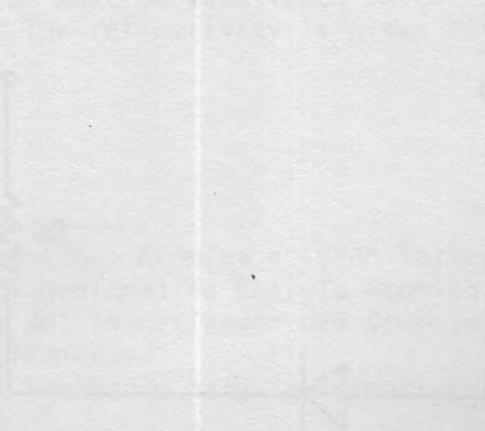
BA 127 D	Diodo de silicio
	Vidrio
	$\phi = 1,7 \text{ mm}$
	$l = 3,9 \text{ mm}$
	$V_R \text{ máx} = 75 \text{ V}$
	$I_F = 200 \text{ mA}$
	$I_R \leq 5 \text{ micro A}$

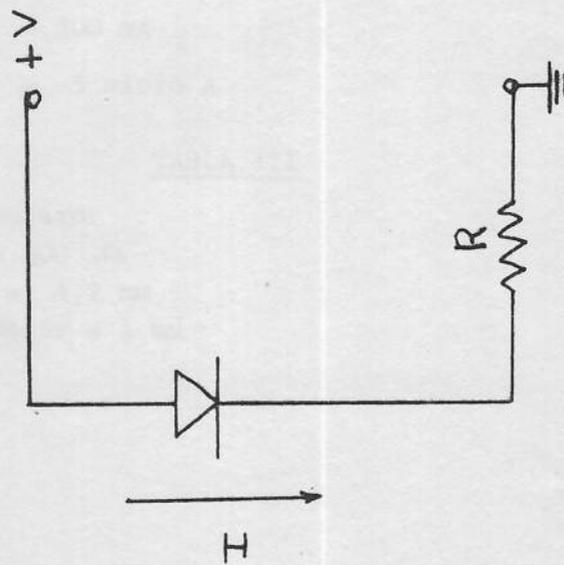
TABLA III

Termistor
$R = 300 \ \Omega$
$\phi = 4,2 \text{ mm}$
espesor = 1 mm

Referencias

- 1) P.E. Gray y C.L. Searle - Principios de Electrónica - Reverté, Barcelona, 1973.
- 2) L.E. Barton - Messuring temperature with diodes and transistors - Electronics, 4 May. 1962.
- 3) W. August, H. Weik - Simple control circuit for temperature differences using diodes - 1° German Solar Energy Forum Proceedings Vol II. 1977.





I 0,18 mA Si
 1,0 mA Ge

Fig. 1
 Circuito de medida

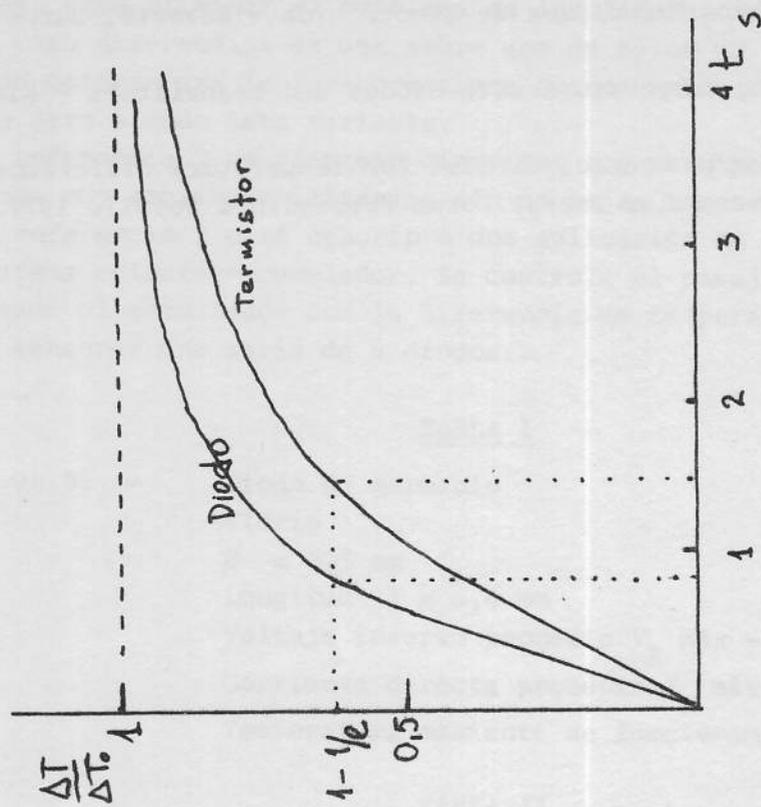


Fig. 2
 Respuesta a
 $\Delta T_0 = 30^\circ\text{C}$