

Capítulo 6

Nota: Las ecuaciones, figuras y problemas citados en el desarrollo de los problemas de este capítulo que no contengan “W” en su referencia corresponden al libro impreso.

Problema 6.2.W1 El circuito de la figura 6.W1 es un termómetro basado en el coeficiente de temperatura de un diodo alimentado a corriente constante, que es de $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Cada tensión de referencia se obtiene con un LM385-2.5. Si a la salida se desea tener una sensibilidad de $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ y los amplificadores operacionales se consideran en principio todos ideales, ¿qué ganancia deberá tener el amplificador de instrumentación? El interruptor permite cambiar la ganancia del amplificador de modo que pueda tener una sensibilidad de $10 \text{ mV}/^\circ\text{F}$. ¿Cuál debe ser en este caso la ganancia? ¿Qué valores deben tener R_3 y R_4 para que IC2 trabaje en condiciones correctas? ¿Qué valor debe tener R_2 para que por el diodo circule una corriente de $250 \mu\text{A}$, en cuyo caso su caída de tensión directa es de $0,5 \text{ V}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$? ¿Qué valor debe tener R_1 para que IC1 trabaje en condiciones correctas? ¿Qué temperatura alcanzan los amplificadores operacionales si se alimentan entre $+15 \text{ V}$ y -15 V y están en vacío, cuando la temperatura ambiente (en el entorno del circuito electrónico, no del diodo) es de $25 \text{ }^\circ\text{C}$? Si la temperatura ambiente permanece en $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y la posición del interruptor es la correspondiente a grados Celsius, ¿cuál es la desviación en el valor de temperatura medido por culpa de la tensión de *offset* de los tres amplificadores operacionales que forman el amplificador, en el peor caso, si no se compensa? Si la desviación de cero a la salida se compensa a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y la temperatura ambiente cambia a $30 \text{ }^\circ\text{C}$, ¿cuál es la desviación en el valor de temperatura medido por culpa de dicho cambio en la tensión de *offset* de los amplificadores operacionales? Si IC1 e IC2 tienen encapsulado SO-8 y la temperatura ambiente es de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, ¿qué temperatura alcanza IC1 debido a su autocalentamiento?

Palabras clave: *termómetro con diodo, autocalentamiento, desviación de cero y derivas.*

En la figura 6.W1 se puede reconocer fácilmente un amplificador de instrumentación basado en tres amplificadores operacionales. Una de sus entradas está conectada al diodo, que se alimenta con una corriente constante obtenida aplicando $2,5 \text{ V}$ a R_2 . La otra entrada está conectada a una tensión ajustable mediante R_4 . Si la ganancia del amplificador de instrumentación es G , la tensión de salida será

$$v_o = G(v_2 - v_1) = G(\alpha V_z - v_D)$$

La sensibilidad de esta tensión a la temperatura es

$$\frac{dv_o}{dT} = -G \frac{dv_D}{dT} = 2G \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

Para tener una sensibilidad de salida de $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$, necesitamos $G = 5$. Si se desea una sensibilidad de $10 \text{ mV}/^\circ\text{F}$, dado que $1 \text{ }^\circ\text{F} = (5/9) \text{ }^\circ\text{C}$, necesitamos una ganancia que sea $9/5$ de la ganancia necesaria para tener $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Es decir, necesitamos $G = 9$.

Según las especificaciones del LM385-2.5, la corriente mínima a través de estos generadores de tensión de referencia debe ser $13 \mu\text{A}$, y $30 \mu\text{A}$ en el peor caso. Dado que la corriente para la que se especifican muchos parámetros es de $100 \mu\text{A}$, se puede diseñar el circuito para tener este valor. En IC2 tendremos

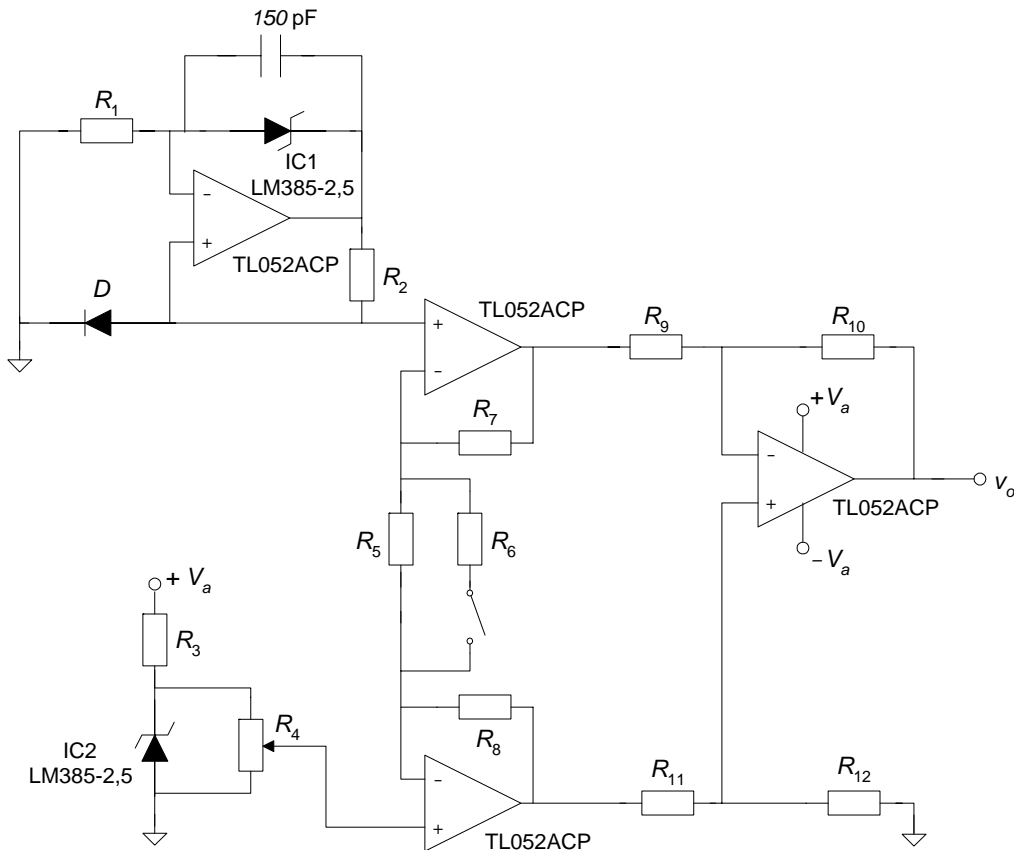


Figura 6.W1 Termómetro con escalas en grados Celsius y Fahrenheit, basado en el coeficiente de temperatura de un diodo

$$\frac{V_a - V_{z2}}{R_3} = I_{z2} + \frac{V_{z2}}{R_4}$$

$$\frac{15 \text{ V} - 2,5 \text{ V}}{R_3} = 100 \mu\text{A} + \frac{2,5 \text{ V}}{R_4}$$

Si elegimos, por ejemplo, $R_4 = 100 \text{ k}\Omega$, entonces R_3 debe ser también $100 \text{ k}\Omega$.

Para que por el diodo circulen $250 \mu\text{A}$, deberá cumplirse

$$R_2 = \frac{V_{z1}}{i_D} = \frac{2,5 \text{ V}}{250 \mu\text{A}} = 10 \text{ k}\Omega$$

Para que por IC1 circulen unos $100 \mu\text{A}$, deberá cumplirse

$$R_1 = \frac{v_D}{I_{z1}} = \frac{0,5 \text{ V}}{100 \mu\text{A}} = 5 \text{ k}\Omega$$

La temperatura que alcanzarán los amplificadores operacionales será, en el peor caso (consumo máximo)

$$T = T_a + \Delta T = T_a + \frac{P_d}{\delta} = 25 \text{ }^\circ\text{C} + \frac{2 \times (15 \text{ V}) \times (5,6 \text{ mA})}{8 \text{ mW}/^\circ\text{C}} = 25 \text{ }^\circ\text{C} + 21 \text{ }^\circ\text{C} = 46 \text{ }^\circ\text{C}$$

Si la ganancia del amplificador de instrumentación (5) se concentra en la etapa de entrada, la tensión de salida debida a la tensión de *offset* de cada amplificador operacional será

$$v_o(0) = G[v_{o1}(0) - v_{o2}(0)] + 2v_{o3}$$

La tensión de *offset* del primer amplificador operacional será

$$v_{o1} = 0,8 \text{ mV} + (25 \mu\text{V}/^\circ\text{C})(46 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) = 1,325 \text{ mV}$$

Para el segundo amplificador operacional, el peor caso teórico sería cuando el valor inicial fuese el máximo negativo y no tuviera derivas –el *offset* inicial puede ser positivo o negativo, pero las derivas en un margen de temperaturas tienen un signo definido. Dado que no es realista considerar que la tensión de *offset* no tenga derivas, una aproximación al peor caso real es tomar el valor típico para las derivas (menor, pues, que el valor máximo considerado para el primer amplificador). En este caso, tendremos

$$v_{o2} = -0,8 \text{ mV} + (6 \mu\text{V}/^\circ\text{C})(46 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}) = -0,674 \text{ mV}$$

En el peor caso, la tensión de *offset* del tercer amplificador operacional será igual a la del primero. Así pues,

$$v_o(0) = 5(1,325 \text{ mV} + 0,674 \text{ mV}) + 2 \times 1,325 \text{ mV} = 12,6 \text{ mV}$$

Si se supone ajustado el cero cuando los componentes están a 0 °C y la sensibilidad es de 10 mV/°C, esta salida dará una desviación en el valor de temperatura medido de unos 1,3 °C.

Si la salida se ajusta a 25 °C, y la temperatura ambiente cambia a 30 °C, se tendrá la desviación debida a las derivas de la tensión de *offset* cuando ha habido un cambio de 5 °C

$$\Delta v_o(0) = 5(25 - 6)(\mu\text{V}/^\circ\text{C})(5 \text{ }^\circ\text{C}) + 2(25 \mu\text{V}/^\circ\text{C})(5 \text{ }^\circ\text{C}) = 725 \mu\text{V}$$

La desviación de cero correspondiente se reduce a 0,07 °C.

La temperatura que alcanzará IC1 será

$$T = T_a + \Delta T = T_a + \frac{P_d}{\delta} = 25 \text{ °C} + \frac{(2,5 \text{ V}) \times (100 \text{ }\mu\text{A})}{(165 \text{ °C/W})} = 25,04 \text{ °C}$$

que indica que su autocalentamiento es insignificante.

Comentarios:

1. La ganancia para la tensión de *offset* de la segunda etapa del amplificador de instrumentación es 2 cuando la ganancia para la señal (diferencial) es 1.
2. La consideración de cuál puede ser el peor caso es siempre un tanto subjetiva. Ahora bien, dado que hay que tener en cuenta las derivas de la tensión de *offset*, no es correcto calcular la tensión de *offset* final de un amplificador operacional y suponer que para el otro, en el peor caso, se tendrá una tensión de igual módulo pero signo opuesto.