

Capítulo 5

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 5.2.W1 El circuito de la figura 5.W1 es un higrómetro basado en un sensor capacitivo dispuesto en un oscilador de la forma indicada en la figura 5.W1a. La frecuencia de oscilación es $f_H = 0,559/RC$, donde $C = C_H + C_G$. C_H es la capacidad del sensor, que tiene una deriva térmica de 0,05 HR/K (HR: humedad relativa), y C_G es la capacidad de la puerta del inversor, que es función de la tensión de alimentación V_{cc} . Esta última dependencia se aprovecha para corregir la deriva térmica del sensor, empleando como V_{cc} la tensión de salida de un circuito que incluye un convertidor temperatura-corriente que da $1 \mu\text{A/K}$ (figura 5.W1b). Para analizar la dependencia de C_G con V_{cc} , se mantiene el sensor a 20°C y 50 %HR, y se mide la frecuencia de salida; en el margen de V_{cc} entre 6 V y 9 V se obtiene una relación lineal, de manera que a 6 V salen 8129 cuentas, y a 9 V, 7986 cuentas. La respuesta del sensor a la humedad es no lineal, y para HR del 0 %, 50 % y 100 %, el valor de C_H a 20°C es 107 pF, 110 pF y 122 pF, respectivamente. Si el amplificador operacional se considera ideal, ¿qué valor deben tener los componentes del circuito de compensación de temperatura?

Palabras clave: *higrómetro, sensor capacitivo, oscilador de relajación, compensación térmica.*

El circuito de compensación de temperatura tiene que suministrar una tensión de alimentación que tenga un valor medio adecuado y una deriva térmica que compense la deriva térmica del oscilador, debida a la variación de la capacidad del sensor de humedad con la temperatura. El número de cuentas obtenido por el contador de la figura 5.W1c será

$$N = \frac{f_r}{2 \times f_H / 100} = \frac{f_r}{0,559} \frac{100}{2} (C_H + C_G)$$

donde se ha incluido el factor 2 para tener en cuenta que la puerta del contador sólo quedará abierta durante un semiperiodo de la señal del oscilador. La capacidad del oscilador se puede expresar como

$$C_H = C_0 [1 + a(\text{HR} + b(T - 20^\circ\text{C})) + P(\text{HR})]$$

donde $b = 0,05\text{HR/K}$ y $P(\text{HR})$ es un polinomio que depende de la humedad. La dependencia entre la capacidad de la puerta y la tensión de alimentación se puede expresar como

$$C_G = C_{G0} + c(V_{cc} - 6 \text{ V})$$

Cuando se analiza la dependencia entre esta capacidad y la tensión de alimentación tenemos

$$C_G = \frac{0,559N}{50Rf_r} - C_H(50, 20)$$

De la medida cuando la alimentación es 6 V deducimos

$$C_{G0} = \frac{0,559 \times 8129}{50 \times (200 \text{ k}\Omega) \times (4 \text{ MHz})} - 110 \text{ pF} = 3,6 \text{ pF}$$

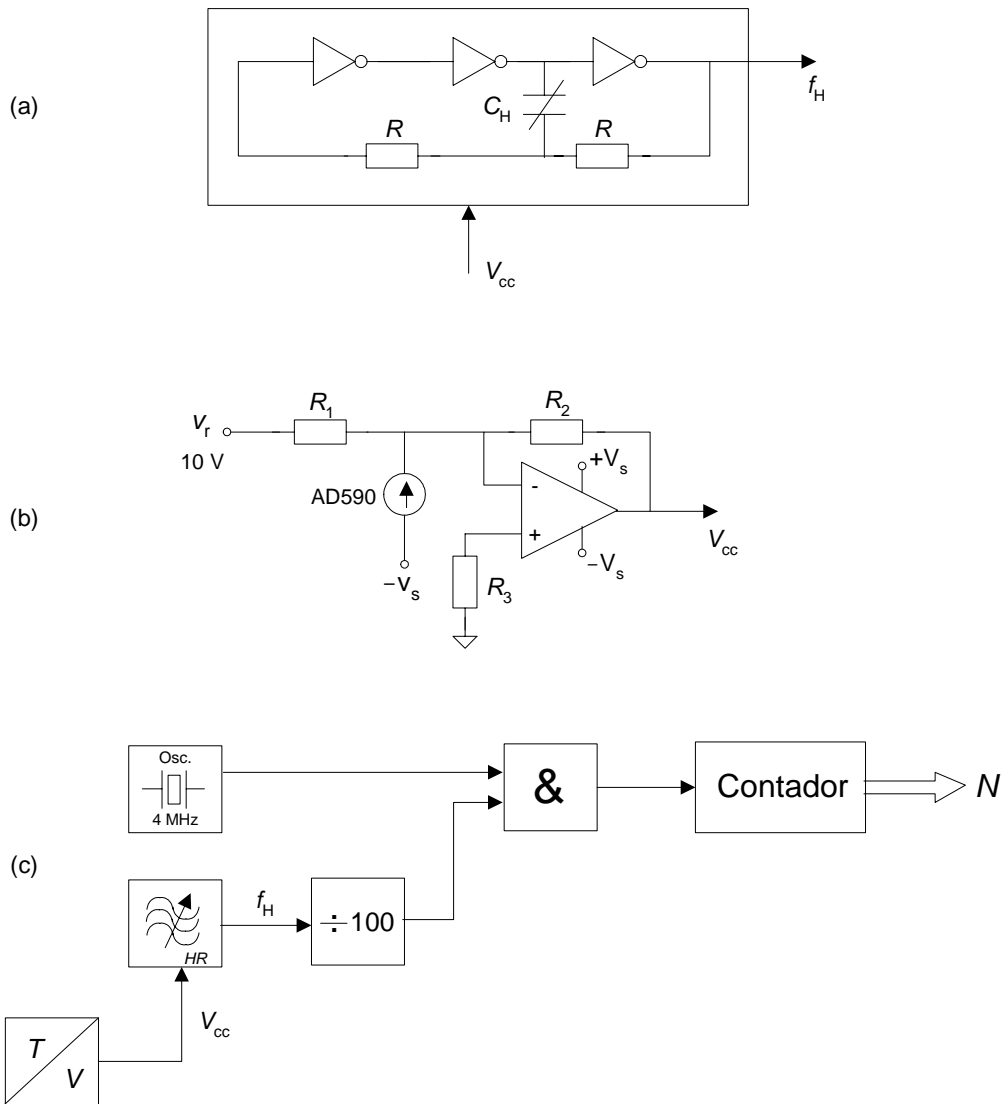


Figura 5.W1 Higrómetro capacitivo basado en un oscilador de relajación alimentado a una tensión dependiente de la temperatura para compensar la dependencia térmica del sensor de humedad

De la medida cuando la alimentación es 9 V deducimos

$$C_{G9} = \frac{0,559 \times 7986}{50 \times (200 \text{ k}\Omega) \times (4 \text{ MHz})} - 110 \text{ pF} = 1,6 \text{ pF}$$

El coeficiente que cuantifica la dependencia entre la capacidad de entrada de la puerta y la tensión de alimentación es

$$c = \frac{1,6 \text{ pF} - 3,6 \text{ pF}}{9 \text{ V} - 6 \text{ V}} = -\frac{2 \text{ pF}}{3 \text{ V}}$$

Por otra parte, la tensión de alimentación del oscilador es la tensión de salida del circuito de la figura 5.W1b:

$$V_{cc} = I_T R_2 - V_r \frac{R_2}{R_1} = (1 \text{ } \mu\text{A/K})(T + 273 \text{ K})R_2 - V_r \frac{R_2}{R_1}$$

que podemos expresar como

$$V_{cc} = G \times T + V_0$$

$$G = (1 \text{ } \mu\text{A/}^\circ\text{C})R_2$$

$$V_0 = (273 \text{ } \mu\text{A})R_2 - V_r \frac{R_2}{R_1}$$

El modelo matemático para la capacidad del sensor y de la puerta, en paralelo, es

$$C = C_0 + C_0 \times a \times \text{HR} + C_0 \times P(\text{HR}) + C_0 \times a \times b \times (T - 20 \text{ }^\circ\text{C}) + C_{G0} + c[V_0 + G \times T - 6 \text{ V}]$$

Para que se compense el efecto de la temperatura se deben cumplir las dos condiciones siguientes:

$$C_0 \times a \times b \times T + c \times G \times T = 0$$

$$C_0 \times a \times b \times (-20 \text{ }^\circ\text{C}) + C_{G0} + c(V_0 - 6 \text{ V}) = 0$$

De la primera condición obtenemos

$$G = -C_0 a \frac{b}{c} = \frac{122 \text{ pF} - 107 \text{ pF}}{100 \% \text{ HR}} \frac{0,05 \text{ HR/K}}{2/3 \text{ pF/V}} = 0,01125 \text{ V/K}$$

mientras que de la segunda condición obtenemos

$$V_0 = \frac{C_0 \times a \times b \times (-20 \text{ }^\circ\text{C}) + C_{G0}}{-c} + 6 \text{ V} = (-20 \text{ }^\circ\text{C})G - \frac{C_{G0}}{c} + 6 \text{ V} = 375 \text{ mV}$$

Del valor de G se deduce que necesitamos $R_2 = 11250 \text{ } \Omega$. Del valor de V_0 deducimos entonces que R_1 debe cumplir

$$375 \text{ mV} = 3,071 \text{ V} - V_r \frac{11250 \text{ } \Omega}{R_1}$$

Si, por ejemplo, elegimos una tensión de referencia de 1,235 V (AD589), necesitamos $R_1 = 5153 \text{ } \Omega$. R_3 debe ser igual a la combinación en paralelo de R_1 y R_2 .

Comentarios:

1. La necesidad de valores exactos para las resistencias (en lugar de requerir sólo una relación exacta entre ellas) será una fuente de incertidumbre. Las capacidades parásitas añadirán imprecisión a la compensación.
2. La no linealidad del sensor de humedad no se compensa. Para corregirla se podrían almacenar por ejemplo las lecturas en una memoria.