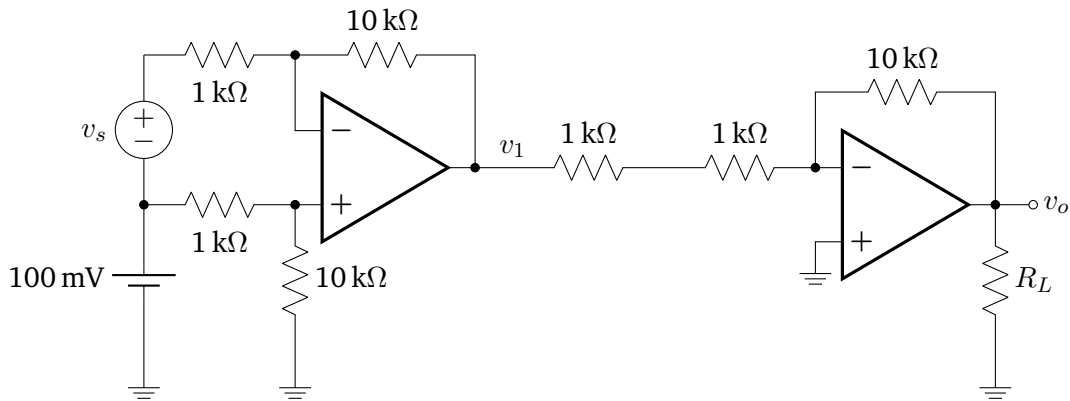


Examen intersemestral

(Duración: 1 hora 15 minutos)

Problema 1

En el circuito de la figura $v_s = 100 \text{ mV sen}(2\pi 10 \text{ rad/s } t) + 200 \text{ mV sen}(2\pi 1000 \text{ rad/s } t)$.



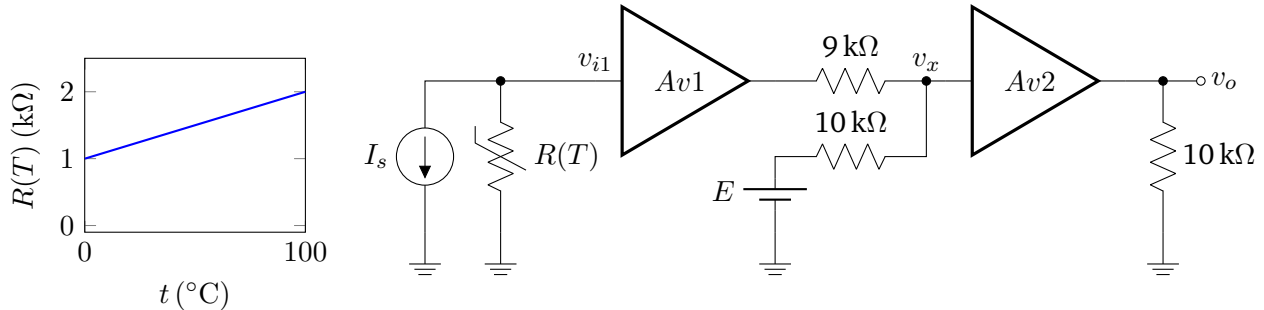
Se pide:

1. Dibuje el espectro en frecuencia de la señal v_s .
2. Obtenga la expresión de la tensión v_1 .
3. Obtenga la expresión de la tensión v_o .
4. Se desea atenuar lo máximo posible el armónico de 1 kHz pero dejando pasar el armónico de 10 Hz. Para este armónico se permite una atenuación de 3 dB. Para ello, ¿cómo colocaría un condensador entre la salida del primer operacional y la entrada inversora del segundo? ¿Cuál sería su valor?
5. Calcule la nueva expresión de v_o al añadir el condensador.
6. Calcule la potencia disipada en la resistencia R_L si dicha resistencia es de $10 \text{ k}\Omega$. Para este apartado y para el siguiente se usará el circuito final, al que le ha añadido el condensador.
7. Si los amplificadores operacionales son *rail to rail*,¹ están alimentados a $\pm 15 \text{ V}$ y su corriente de salida máxima es de 20 mA , calcule el valor máximo de v_o si $R_L = 100 \Omega$.

¹Recuerde que un operacional *rail to rail* es un operacional que satura a sus tensiones de alimentación.

Problema 2

En el circuito de la figura se muestra un circuito de acondicionamiento para un sensor de temperatura basado en una termoresistencia $R(T)$.



En dicho circuito la fuente de intensidad I_s es de 0,5 mA y la termoresistencia es una PTC² cuya característica se muestra a la izquierda del circuito. Por otro lado, tanto $Av1$ como $Av2$ son amplificadores de tensión. El amplificador $Av1$ tiene una resistencia de salida $R_{o1} = 1 \text{ k}\Omega$ y el amplificador $Av2$ tiene una resistencia de entrada $R_{i2} = 5 \text{ k}\Omega$ y una resistencia de salida nula.

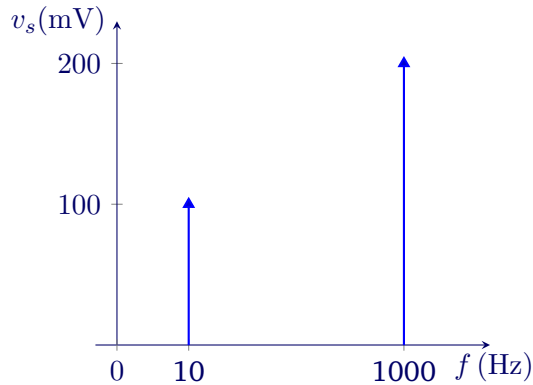
Se pide:

1. Escribir la expresión de la termoresistencia $R(T)$ en función de la temperatura.
2. La resistencia de entrada del primer amplificador se puede elegir de cualquier valor entre 1Ω y $1 \text{ M}\Omega$. ¿Qué valor elegiría para que su tensión de entrada v_{i1} varíe de forma lineal (o aproximadamente lineal) con la temperatura? Justifique su respuesta.
3. Calcular la ganancia del amplificador $Av1$ para obtener una sensibilidad frente a la temperatura en v_x de $-25 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.
4. Calcular el valor de E para que la tensión v_x sea 0 V a 0°C .
5. A partir de las alimentaciones del circuito, que son $\pm 15 \text{ V}$, resistencias y amplificadores operacionales, diseñe un circuito para sustituir la batería E .
6. Calcular la ganancia del amplificador $Av2$ para que la tensión de salida V_o sea de 5 V a 100°C .
7. Diseñar el amplificador $Av2$ usando amplificadores operacionales y resistencias.

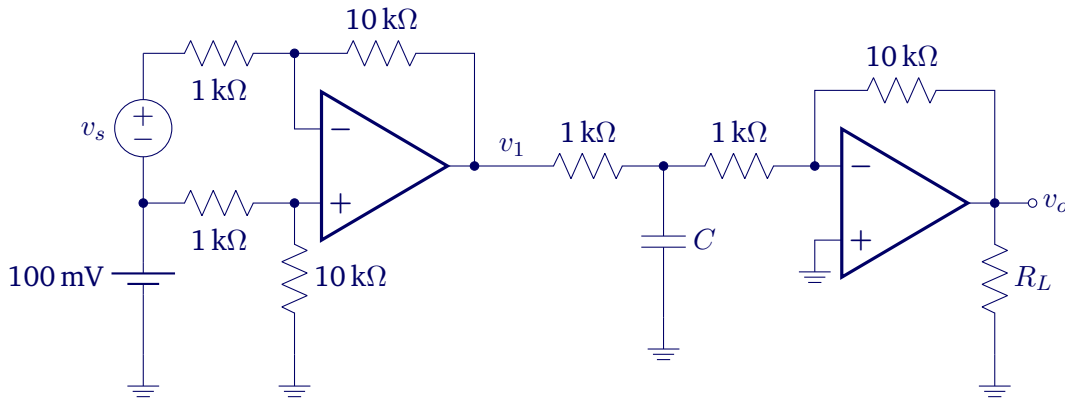
²Positive Temperature Coefficient.

Solución al problema 1

1. El espectro de la señal v_s es:



2. La primera etapa es un amplificador diferencial de ganancia 10, por lo que $v_1 = 10 \cdot (-v_s) = -10 \cdot v_s = -1 \text{ V sen}(2\pi 10 \text{ rad/s } t) - 2 \text{ V sen}(2\pi 1000 \text{ rad/s } t)$
3. La segunda etapa es un amplificador en configuración inversora con ganancia 5, por lo que la tensión de salida será $v_o = -5 \cdot v_i = 50 \cdot v_s = 5 \text{ V sen}(2\pi 10 \text{ rad/s } t) + 10 \text{ V sen}(2\pi 1000 \text{ rad/s } t)$
4. Hace falta un filtro paso bajo, pues hay que atenuar el armónico de 1 kHz y dejar pasar el de 10 kHz, que es de menor frecuencia. Para crear este filtro la única manera es colocarlo entre las dos resistencias de 1 k Ω y tierra:



Como la resistencia que ve el condensador es de 1 kHz \parallel 1 kHz, el valor del condensador ha de ser de 31,83 μF .

5. Al colocar el filtro, el armónico de 10 Hz se atenúa en 3 dB y se desfasa $-\pi/4$ y el de 1 kHz se atenúa en 40 dB y se desfasa $-\pi/2$. Por tanto $v_o = 3,54 \text{ V sen}(2\pi 10 \text{ rad/s } t - \pi/4) + 0,1 \text{ V sen}(2\pi 1000 \text{ rad/s } t - \pi/2)$
6. La potencia es $P_L = \frac{v_o^2 \text{ RMS}}{R_L} = 0,63 \text{ mW}$, en donde el valor eficaz se calcula fácilmente a partir de los dos armónicos.
7. La tensión máxima de la onda de salida, cuando se superpongan ambas senoidales será de 3,64 V, por lo que no hay saturación en tensión. Sin embargo, la corriente máxima de salida del segundo operacional cuando $R_L = 100 \Omega$ es:

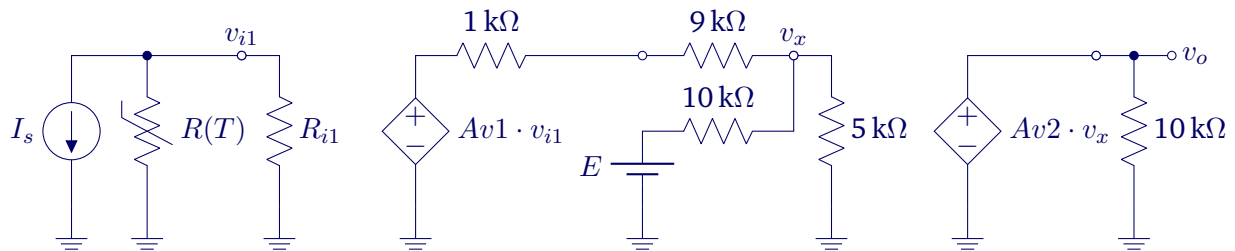
$$i_{o \max} = \frac{v_{o \max}}{R_L} + \frac{v_{o \max}}{10 \text{ k}\Omega} = 36,76 \text{ mA}$$

por lo que el operacional saturará en corriente. Por tanto, debido a esta saturación en corriente, la tensión máxima será:

$$20 \text{ mA} = \frac{v_{o \text{ sat}}}{R_L} + \frac{v_{o \text{ sat}}}{10 \text{ k}\Omega} \Rightarrow v_{o \text{ sat}} = 1,98 \text{ V}$$

Solución al problema 2

1. $R(T) = 1 \text{ k}\Omega + 0,01 \text{ k}\Omega/^{\circ}\text{C} \cdot T$
2. Viendo el esquema equivalente del circuito:



es fácil deducir que:

$$v_{i1} = -I_s \cdot \frac{R(T) \cdot R_{i1}}{R(T) + R_{i1}}$$

Para que esta ecuación sea lineal, el denominador no puede depender de la temperatura, lo cual se conseguirá (de forma aproximada) cuando $R_{i1} \gg R(T)$, en cuyo caso $v_{i1} \approx -I_s \cdot R(T)$. Como $R(T)$ varía entre $1 \text{ k}\Omega$ y $2 \text{ k}\Omega$ cualquier valor por encima de $20 \text{ k}\Omega$ valdría, pero como la única restricción es que tiene que estar entre 1Ω y $1 \text{ M}\Omega$, nos quedamos con este último valor.³

3. v_x se obtiene mediante superposición:

$$v_x = Av1 \cdot v_{i1} \cdot \frac{5 \text{ k}\Omega \parallel 10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 5 \text{ k}\Omega \parallel 10 \text{ k}\Omega} + E \cdot \frac{5 \text{ k}\Omega \parallel 10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 5 \text{ k}\Omega \parallel 10 \text{ k}\Omega}$$

que después de operar, sustituir v_{i1} por $-I_s \cdot R(T)$ y $R(T)$ por $1 \text{ k}\Omega + 0,01 \text{ k}\Omega/^{\circ}\text{C} \cdot T$ se convierte en:

$$v_x = 0,25(E - Av1 \cdot 0,5 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}\Omega - Av1 \cdot 0,5 \text{ mA} \cdot 0,01 \text{ k}\Omega/^{\circ}\text{C} \cdot T)$$

Por tanto, la sensibilidad de v_x respecto a T es $-Av1 \cdot 0,5 \text{ mA} \cdot 0,01 \text{ k}\Omega/^{\circ}\text{C}$. y dicha sensibilidad ha de ser $-25 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, de donde se deduce que $Av1 = 20 \text{ V/V}$.

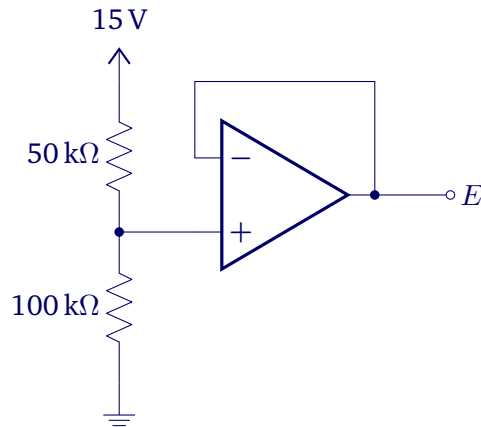
4. Para que la salida sea 0 V a 0°C ha de cumplirse que:

$$E - Av1 \cdot 0,5 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}\Omega = 0$$

de donde se deduce que $E = 10 \text{ V}$.

5. Para obtener la tensión de 10 V usamos un divisor de resistencias con un buffer a su salida para que la resistencia de $10 \text{ k}\Omega$ no cargue al divisor:

³Otra forma de verlo es que como R_{i1} está en paralelo con $R(T)$, si elegimos una $R_{i1} \gg R(T)$, el paralelo de ambas resistencias será aproximadamente igual a $R(T)$.



6. La sensibilidad que nos piden en la salida es de $\frac{5\text{V}}{100^\circ\text{C}} = 50\text{ mV}/^\circ\text{C}$. Como la sensibilidad en v_x es de $-25\text{ mV}/^\circ\text{C}$ se necesita un amplificador en configuración inversora con ganancia -2 V/V y resistencia de entrada de $5\text{ k}\Omega$:

