

Examen intersemestral

(Duración: 1 hora 15 minutos)

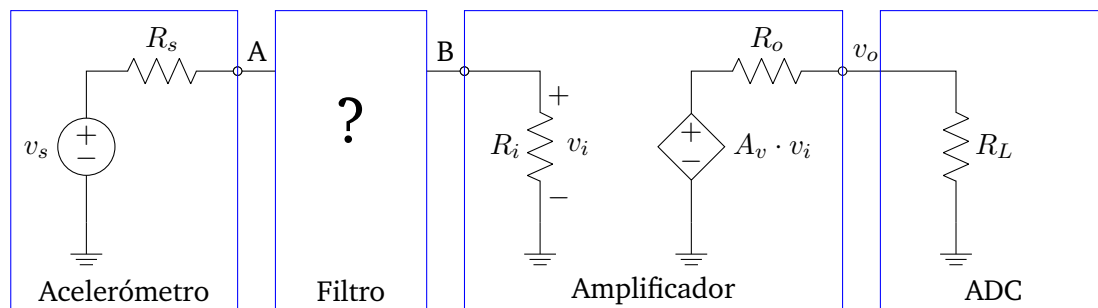
Problema 1

En la industria es frecuente realizar un mantenimiento predictivo para detectar posibles fallos antes de que provoquen una avería grave. Uno de los elementos que se suelen vigilar son los motores: mediante un acelerómetro se miden sus vibraciones y si éstas aumentan de forma anormal es señal de que algo va mal. En este problema vamos a diseñar un sistema electrónico para detectar estas vibraciones.

El sensor usado será un acelerómetro ADXL335 que según el fabricante tiene las siguientes características:

- En reposo genera una tensión continua de 1,5 V.
- A esta tensión continua se le superpone una tensión proporcional a la aceleración medida, con una sensibilidad de 300 mV/g, siendo g la aceleración de la gravedad.
- la resistencia de salida del sensor es del orden de 32 kΩ.

El acelerómetro se ha instalado en un motor que gira a 1430 rpm, por lo que las vibraciones del eje tendrán una frecuencia de 23,8 Hz. En un funcionamiento normal estas vibraciones son de 0,5 g pero si ocurre algún problema mecánico en el eje este valor aumentará. Por tanto se propone el siguiente circuito para poder medir las aceleraciones del motor en el rango de 0 a 3 g:



El circuito consta del acelerómetro seguido de un filtro. A continuación tenemos un amplificador de tensión y a la salida se ha conectado un conversor analógico digital para enviar las medidas a un ordenador para su procesamiento. Dicho conversor tiene una resistencia de entrada (R_L) del orden de 10 kΩ.

Para resolver el problema ha de contestar los siguientes apartados:

1. Dibuje la forma de onda de la tensión v_s y su espectro de frecuencias. Para ello suponga que las vibraciones del motor provocan una aceleración de 0,5 g. Además tenga en cuenta que el acelerómetro también medirá la aceleración de la gravedad (1 g).
2. De los amplificadores de tensión disponibles unos tienen $R_i = 10 \text{ k}\Omega$ y otros tienen $R_i = 1 \text{ M}\Omega$. ¿Cuál elegiría? ¿Por qué?
3. Entre los puntos A y B del circuito ha de colocar un condensador para bloquear la componente continua de v_s . Elija, razonando la respuesta, cual de los dos circuitos que se indican en la figura 1 elige.

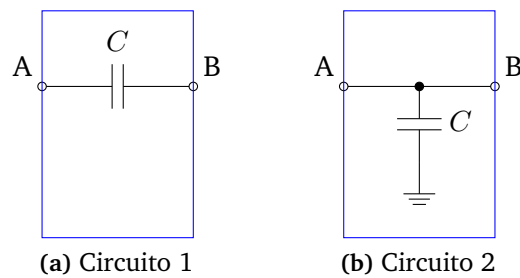
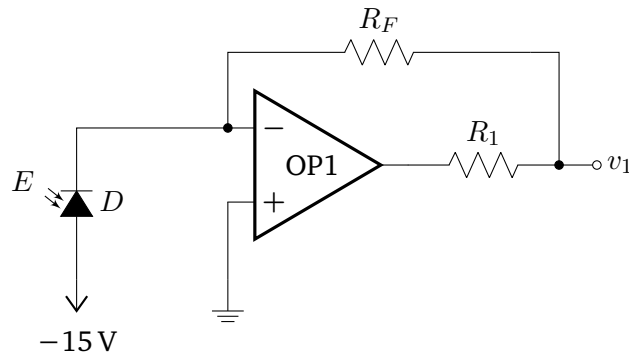


Figura 1. Modos de colocar el condensador C

4. Calcule el valor del condensador para bloquear la componente continua de v_s sin atenuar apreciablemente la componente alterna. Use el valor de R_i seleccionado en el apartado 2. Indique también la frecuencia de corte elegida para el filtro, justificando la elección.
5. De los amplificadores disponibles, unos tienen $R_o = 10\text{ k}\Omega$ y otros tienen $R_o = 1\text{ k}\Omega$. ¿Cuál elegiría? ¿Por qué?
6. Obtenga la ganancia A_v necesaria del amplificador para que la tensión de pico en la salida v_o sea de 3 V cuando las vibraciones del motor tengan un valor de pico de 3 g.

Problema 2

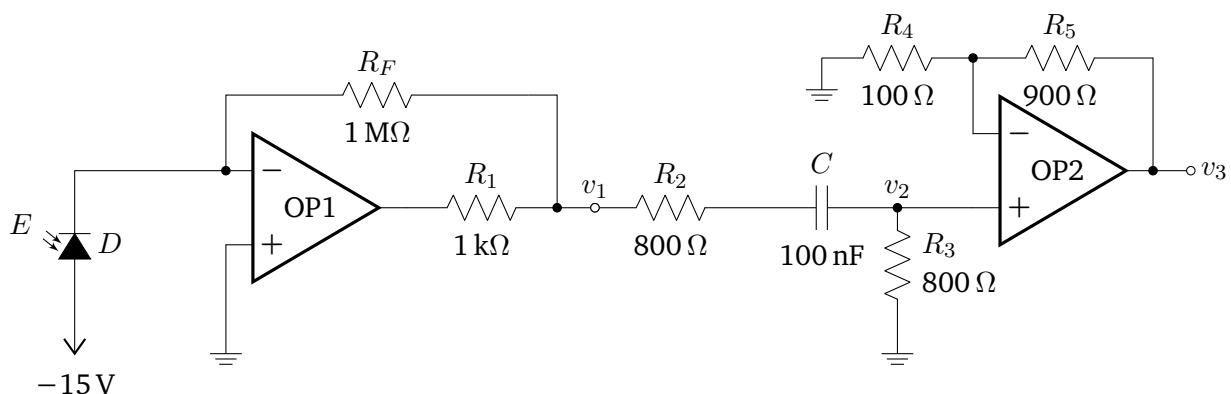
En el siguiente circuito el fotodiodo D es el que hemos estudiado en el laboratorio, que recordemos que cuando se polariza inversamente genera una intensidad proporcional a la intensidad luminosa E según la expresión: $I_s = 10 \text{ nA/lx} \cdot E$. El sensor se conecta a un amplificador operacional tal como se muestra en el siguiente circuito:



Se pide:

1. Obtener el circuito equivalente de Thévenin en el punto v_1 en función de los parámetros del circuito (E , R_F y R_1).

A continuación se completa el circuito de acuerdo con el siguiente esquema:



Teniendo en cuenta que tenemos una fuente de luz de alta frecuencia que genera una intensidad luminosa $E = 500 \text{ lx} + 300 \text{ lx} \sin(2\pi 10\,000 t)$:

2. Dibuje la intensidad generada por el fotodiodo I_s , indicando las cotas relevantes.
3. Obtenga la respuesta en frecuencia del circuito entre la salida v_3 y la entrada I_s . Indique su frecuencia de corte y si es un paso alto o un paso bajo.
4. Dibuje la tensión v_2 , indicando las cotas relevantes. ¿Está en fase con I_s ?
5. Dibuje la tensión v_3 , indicando las cotas relevantes. ¿Está en fase con I_s ?
6. Considerando que la entrada es E y la salida v_3 , ¿cuál es la sensibilidad del circuito?
7. Suponga, **solo para este apartado**, que para el operacional OP2 sus tensiones de saturación son $L^+ = +15 \text{ V}$ y $L^- = -15 \text{ V}$ y su corriente de saturación es $I_{o\text{max}} = \pm 10 \text{ mA}$. Si $v_2 = 1,5 \text{ V} \sin(2\pi 10\,000 t)$, dibuje como sería la salida v_3 , indicando las cotas más relevantes.

Solución al problema 1

1. v_s es una senoidal de 0,15 V de amplitud y 23,8 Hz de frecuencia, con un valor medio de 1,8 V (1,5 V de la tensión continua de reposo del sensor más 0,3 V de la aceleración de la gravedad), es decir:

$$v_s = 1,8 \text{ V} + 1,5 \text{ V} \sin(2\pi 23,8 \text{ Hz} \cdot t)$$

2. Hay que elegir el amplificador con $R_i = 1 \text{ M}\Omega$ para que $R_i \gg R_s$.
3. Se elige el circuito 1 para obtener un filtro paso alto.
4. Como no queremos atenuar apreciablemente la componente alterna la frecuencia de corte ha de estar una década antes, es decir, $f_0 = 2,38 \text{ Hz}$. Para esta frecuencia de corte $C = 64,8 \text{ nF}$.
5. Como R_L es del orden de 10 k Ω , elegimos el amplificador don $R_o = 1 \text{ k}\Omega$ para que se cumpla que $R_o \ll R_L$ y así la salida del circuito no dependa apreciablemente de R_L .
6. La ganancia del amplificador ha de ser $A_v = 3,78 \text{ V/V}$.

Solución al problema 2

1. La tensión de Thévenin es $v_{th} = 10^{nA/lx} \cdot E \cdot R_F$ y la resistencia de Thévenin es cero, ya que v_1 está a la salida de un operacional realimentado negativamente y por tanto su valor es independiente de la carga.
2. $I_S = 5 \text{ }\mu\text{A} + 3 \text{ }\mu\text{A} \sin(2\pi 10\,000 \text{ rad/s} \cdot t)$
3. Se trata de un filtro paso alto, pues en continua, como el condensador es un circuito abierto, $v_2 = 0$, lo que implica que $v_3 = 0$ y por tanto, como no llega continua a la salida, el circuito es un paso alto. La respuesta en frecuencia será por tanto:

$$H(\omega) = \frac{K_\infty}{1 - \frac{\omega_0}{\omega} j}$$

en donde $K_\infty = 5 \text{ V}/\mu\text{A}$ y $\omega_0 = 6250 \text{ rad/s}$ que se corresponde con una frecuencia de corte de $f_0 = 994,72 \text{ Hz} \approx 1000 \text{ Hz}$.

4. Como v_2 está después del filtro paso alto, no tendrá componente continua. Como además su frecuencia está una década por encima de la frecuencia de corte, no tendrá ni atenuación ni desfase apreciables, por lo que será una senoidal de 1,5 V de amplitud y 10 kHz de frecuencia y estará en fase con I_s :

$$v_2 = 1,5 \text{ V} \sin(2\pi 10\,000 \text{ Hz} \cdot t)$$

5. Como el operacional es un amplificador en configuración no inversora de ganancia 10, la tensión v_3 será:

$$v_3 = 15 \text{ V} \sin(2\pi 10\,000 \text{ Hz} \cdot t)$$

y estará también en fase con I_s .

6. La sensibilidad es $S = 0,05 \text{ V/lx}$.
7. El operacional OP2 no satura en tensión, pero sí en intensidad. Por tanto tenemos la senoidal del apartado anterior pero limitada a $\pm 10 \text{ V}$.