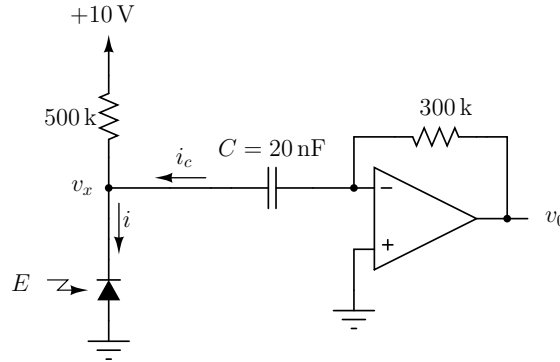


## 1. Problema

La figura muestra un circuito para medir la intensidad luminosa  $E$  de un recinto. Usa un fotodiodo que es lineal en el margen  $E \in [50, 5000]$  lx, con una sensibilidad de  $10 \text{ nA/lx}$ . La corriente inversa del diodo es  $I_P = 10 \mu\text{A}$  para  $E = 1000 \text{ lx}$ .

El amplificador operacional está alimentado (y satura) a  $\pm 10 \text{ V}$ ; su máxima corriente de salida es  $\pm 20 \text{ mA}$ .



Suponga que la intensidad luminosa  $E$  tiene dos componentes: un nivel medio de  $1000 \text{ lx}$  y un armónico de  $200 \text{ lx}$  en  $1 \text{ kHz}$ .

1. Dibuje el espectro de la corriente  $i$  del diodo. Señale las cotas relevantes.
2. El circuito tiene una constante de tiempo. ¿Es paso alto o paso bajo? Justifique su respuesta. ¿Qué frecuencia de corte tiene el circuito?
3. Suponga ahora que elegimos  $C$  para que la frecuencia de corte del circuito sea  $f_C = 100 \text{ Hz}$ .
  - a) ¿Qué valor debe tener  $C$ ?
  - b) Dibuje  $i_c(t)$  en función del tiempo señalando las cotas relevantes. Justifique su respuesta.
  - c) Dibuje  $v_x(t)$  en función del tiempo señalando las cotas relevantes.
  - d) Dibuje  $v_0(t)$ . ¿Está en fase con  $i(t)$ ?
  - e) Suponga que añadimos una fuente de luz con una frecuencia de  $10 \text{ Hz}$  y una amplitud de  $100 \text{ lx}$ . Determine el espectro de amplitudes de la señal de salida.

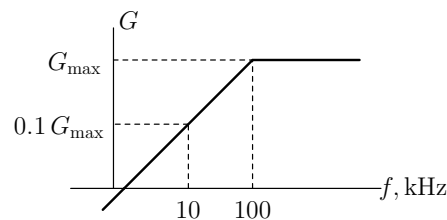
## Solución

La corriente del diodo tiene dos componentes:  $10 \mu\text{A}$  de DC y  $2 \mu\text{A}$  en  $1 \text{ kHz}$ . La corriente  $i$  es filtrada por una red paso-alto de frecuencia de corte  $f_C = 1/(2\pi \cdot 500 \text{ k} \cdot 20 \text{ n}) \approx 16 \text{ Hz}$ .

Si queremos que la frecuencia de corte sea  $f_C = 100 \text{ Hz}$ , debemos usar una capacidad  $C \approx 3.2 \text{ nF}$ . Entonces,  $i_c$  es senoidal de  $2 \mu\text{A}$  de amplitud a  $1 \text{ kHz}$ , sin DC.  $v_x$  es la tensión en bornes del condensador y es constante, de  $5 \text{ V}$ .

La señal de salida  $v_0$  es senoidal en fase con  $i$ . Su valor medio es nulo y su amplitud es  $0.6 \text{ V}$  a  $1 \text{ kHz}$ .

Al añadir una componente senoidal de  $10 \text{ Hz}$  a la señal luminosa, la corriente del fotodiodo cambia. Ahora contiene un nuevo armónico, una señal senoidal de  $10 \text{ Hz}$  y  $1 \mu\text{A}$ . La siguiente figura muestra la respuesta en frecuencia del circuito en escala logarítmica, donde  $G_{\max} = 0.3 \text{ V}/\mu\text{A}$ . De la respuesta en frecuencia del circuito vemos que la ganancia a  $10 \text{ Hz}$  es  $0.1 G_{\max}$ . Por tanto, la señal de salida contiene dos armónicos, uno de  $30 \text{ mV}$  de amplitud a  $10 \text{ Hz}$  y otro de  $600 \text{ mV}$  a  $1 \text{ kHz}$ .



## 2. Problema

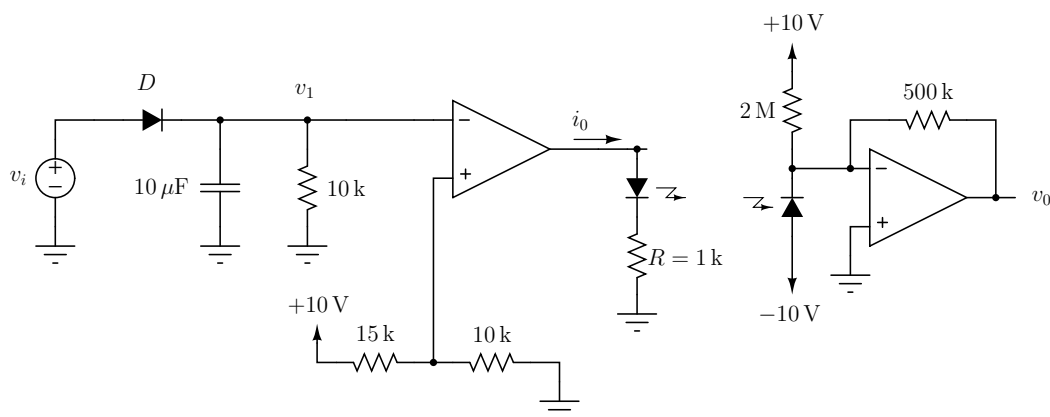
El circuito de la figura se usa para procesar la señal  $v_i$ . Esta señal es senoidal de 1 kHz y amplitud  $V_m$  (sin nivel medio).

Los dispositivos tienen las características siguientes:

- El diodo  $D$  es ideal.
- El diodo LED tiene las características siguientes: **Máxima corriente:** 15 mA; **Tensión directa:** 2 V.
- Los amplificadores operacionales están alimentados (y saturan) a  $\pm 10$  V; su máxima corriente de salida es  $\pm 20$  mA.
- El fotodiodo es lineal en el margen  $E \in [0, 1000]$  lx, con una sensibilidad de 10 nA/lx. La corriente inversa del diodo es  $I_P = 5 \mu\text{A}$  para  $E = 0$  lx.

El fotodiodo está muy cerca del diodo LED de modo que, cuando el LED se ilumina, la intensidad luminosa en el fotodiodo es  $E = 500$  lux.

1. Suponga que  $V_m = 7$  V. **Dibuje** de forma aproximada la señal  $v_1(t)$  en función del tiempo. Señale las cotas relevantes.
2. ¿Para qué valores de  $V_m$  está encendido el diodo LED?
3. ¿Qué corriente  $i_0$  circula por el diodo LED cuando está encendido?
4. ¿Qué mínimo valor podemos usar en la resistencia  $R$  para que el circuito funcione correctamente?
5. Determine  $v_0$  cuando el diodo LED está apagado.
6. Determine  $v_0$  cuando el diodo LED está encendido.
7. Suponga que el diodo LED está encendido. Si acercamos el fotodiodo al diodo LED, ¿cambia la tensión  $v_0$ ? En caso afirmativo, indique y justifique si aumenta o disminuye. En caso negativo, explique el motivo.



## Solución

La señal  $v_1 \approx 7$  V. El rizado es despreciable porque la constante de tiempo del detector ( $\tau = 100$  ms) es mucho mayor que el período de la señal ( $T = 1$  ms). La tensión  $v_1$  se compara con 4 V. Si  $V_m < 4$  V, el diodo LED está encendido. La corriente en el diodo es  $i_0 = 8$  mA. La resistencia  $R$  limita las corrientes en el diodo y de salida del operacional. Como  $i_{0,\max} = 15$  mA,  $R > 533 \Omega$ .

Cuando el LED esté apagado, la corriente en el fotodiodo es  $5 \mu\text{A}$ . Entonces, la corriente en la resistencia de  $500 \text{ k}\Omega$  es nula y  $v_0 = 0$  V. Si el LED está encendido, la corriente en el fotodiodo es  $10 \mu\text{A}$ . En este caso, la corriente en la resistencia de  $500 \text{ k}\Omega$  es  $5 \mu\text{A}$  y  $v_0 = +2.5$  V.

Si el LED está encendido y acercamos el fotodiodo, aumenta la corriente  $I_P$ , aumentando  $v_0$  pues aumenta la corriente en la resistencia de  $500 \text{ k}\Omega$ .

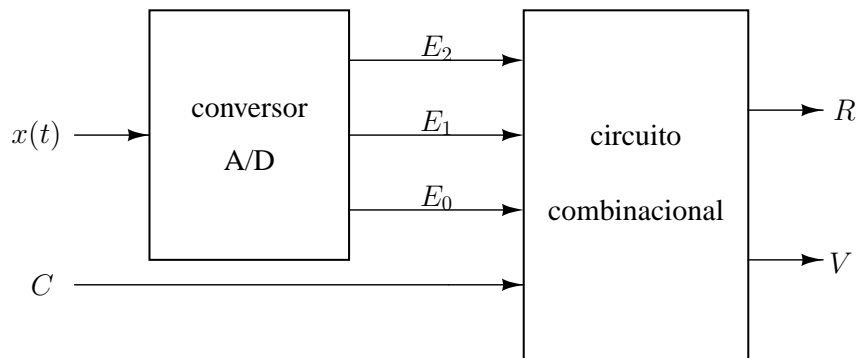
### 3. Problema

La señal de entrada  $x(t)$  del sistema electrónico de la figura está comprendida en el intervalo  $[0, 5]$  V. El sistema electrónico consta de dos circuitos:

1. Un conversor A/D que convierte una señal analógica  $x(t)$  en un código binario de tres bits,  $E_2 E_1 E_0$ , donde  $E_2$  es el bit de mayor peso. Este código binario representa el **valor redondeado** de la señal de entrada  $x(t)$ . Por ejemplo, si  $x(t) < 0.5$  V, la salida es 000; si  $2.5 \leq x(t) < 3.5$  V, la salida es 011.
2. Un circuito digital que trabaja en lógica positiva (es decir, un 1 lógico es representado por 5 V). Es un circuito de lógica combinacional con cuatro entradas y dos salidas, alimentado a +5 V. Tres de las entradas corresponden a la señal digital del circuito conversor A/D,  $E_2 E_1 E_0$ . La cuarta entrada es una señal de control,  $C$ .

El **objetivo** de este problema es diseñar un circuito digital de lógica combinacional que encienda un (y solo un) LED cuando se cumplan las condiciones siguientes:

- El LED rojo ( $R$ ) debe encenderse cuando  $C = 0$  y  $x < 2.5$  o cuando  $C = 1$  y  $x \geq 2.5$ .
- El LED verde ( $V$ ) debe encenderse cuando  $C = 0$  y  $x \geq 2.5$  o cuando  $C = 1$  y  $x < 2.5$ .



1. Escriba la tabla de verdad para las dos variables de salida del circuito digital,  $V$  y  $R$ .
2. Determine la función lógica simplificada para cada salida y dibuje los circuitos lógicos resultantes.
3. ¿Cómo conectaría los diodos a las salidas digitales? Determine el valor de todos los componentes que necesita el circuito para que funcione correctamente si sabemos que la corriente en cada diodo LED ha de ser  $\approx 10$  mA. Suponga que la caída en los diodos cuando conducen es 1.4 V.
4. ¿Qué representa la función  $F_1 = V \cdot R$ ? ¿Depende del valor de  $x(t)$ ?
5. ¿Qué representa la función  $F_2 = V + R$ ? ¿Depende del valor de  $x(t)$ ?

### Solución

La función  $V = \overline{R}$ . Las tablas de verdad son:

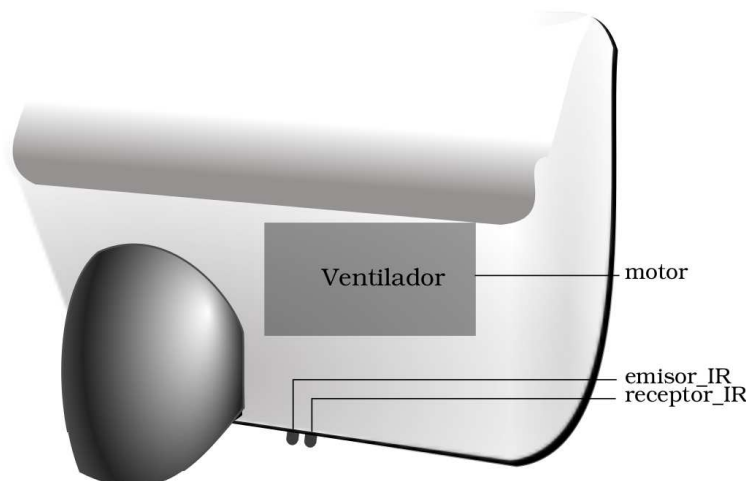
1. Diodo rojo:  $R = \sum m(0, 1, 2, 11, 12, 13) + d(6, 7, 14, 15) = CE_2 + \overline{C}\overline{E_2}\overline{E_1} + \overline{C}E_1\overline{E_0} + CE_1E_0$
2. Diodo verde:  $V = \sum m(3, 4, 5, 8, 9, 10) + d(6, 7, 14, 15) = \overline{R}$
3.  $F_1 = R \cdot \overline{R} = 0$
4.  $F_2 = R + \overline{R} = 1$

Debemos conectar los diodos en serie con una resistencia de  $\approx 360 \Omega$ .

## 4. Problema

Como usuario de baños públicos es de esperar que esté un poco decepcionado con el funcionamiento de los secadores de manos automáticos, que se apagan en cuanto alejas un poco la mano del sensor. En este problema va a diseñar un circuito de control para un secamanos que no tenga ese fallo.

Queremos diseñar el circuito de control del secamanos mostrado en la figura. Este secador dispone de un ventilador controlado mediante un **motor** eléctrico ( $M = 1$  arranca el motor,  $M = 0$  lo para) y de un **emisor-receptor de infrarrojos**. El emisor de infrarrojos emite pulsos de luz. Si acercamos las manos, parte de la luz se refleja y regresa al receptor. El emisor se activa cuando  $E = 1$  ( $E = 0$  cuando no emite luz). Cuando el receptor recibe la luz reflejada por las manos,  $R = 1$  ( $R = 0$  cuando no recibe luz).



El sistema a diseñar debe tener las características siguientes:

- El sistema debe tener un estado de reposo en el que no emite luz ( $E = 0$ ) y el motor está apagado ( $M = 0$ ).
- Una vez por segundo, el sistema debe comprobar si un usuario quiere secarse las manos. Es decir, debe emitir luz.
- Si cuando se active el emisor se detecta luz en el receptor, indicará que alguien ha acercado las manos al secador y el motor arrancará.
- Cuando se dejen de detectar las manos se esperarán dos segundos antes de parar el motor. Si durante este tiempo se vuelven a detectar las manos, se abortará la espera, volviendo al caso anterior.

**Nota importante:** La sincronización del circuito actualiza los estados cada segundo.

Para diseñar la máquina de estados del control del ventilador,

1. Identifique las variables de entrada y salida.
2. Dibuje el diagrama de estados.

## Solución

El diagrama de estados del control del secador de manos es el mostrado en la figura de la página siguiente. El estado actual se representa con  $y_k$ . La **salida** del sistema secuencial es una señal de dos bits  $EM$ . La entrada en la transición de estados es  $R$ .

