

SISTEMAS ELECTRÓNICOS

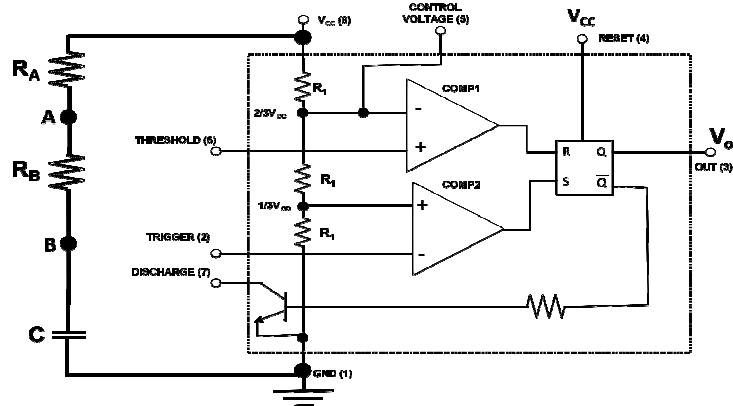
Grados en Ingeniería de Sistemas de
Comunicaciones, Sistemas Audiovisuales,
Telemática y Tecnologías de Telecomunicación

Solución Ejercicios Propuestos Tema 6:

“El temporizador integrado 555.”

EJERCICIO 1

Basándose en el siguiente circuito, conteste a las siguientes preguntas:



donde: $C=10\text{nF}$, $V_{cc} = 5\text{V}$

Se quiere utilizar dicho circuito para generar una señal cuadrada de 1KHz, con un ciclo de trabajo que no supere el 60%.

- Indique razonadamente cómo conectaría los terminales 2, 5, 6 y 7 del 555.
- ¿Cuál será el valor de R_A y de R_B ?

Con los resultados del apartado anterior, se pretende ahora utilizar el mismo circuito para obtener una señal a la salida modulada en frecuencia, con señal moduladora V_2 .

$$V_2 = 3 + \text{sen}(\omega t)$$

- Indique razonadamente cómo conectaría ahora los terminales 2, 5, 6 y 7 del 555.
- ¿Qué parámetros de la señal de salida (V_0) se ven alterados con la configuración del apartado c)?

SOLUCIÓN

a) (2 puntos) Para el funcionamiento descrito, el 555 debe funcionar en modo ASTABLE (trigger y threshold unidas, y existiendo un circuito RC de descarga). Por lo tanto, 7 debe estar conectado en el punto A, y 2 y 6 estarán conectadas al punto B.

b) (5 puntos) Durante el comportamiento ASTABLE, la señal generada se comporta siguiendo el estudio de tiempos dado en teoría (por no extender esta solución se redirige al alumno a las transparencias del tema), y que se refleja en el siguiente estudio de tiempos:

El semiperiodo de nivel alto durará $T_H = 0,7 (R_A + R_B) C$

El semiperiodo de nivel bajo durará $T_L = 0,7 R_B C$

Por lo tanto el periodo de la señal, que tendrá que ser de 1ms (señal de 1KHz) será $T = 0,7 C (R_A + R_B)$

Además, el ciclo de trabajo, que será siempre mayor del 50%, se comporta como:

$CT = 100 (R_A + R_B) / (R_A + 2R_B)$ que tendrá que ser menor del 60%

Despejando, se obtiene que $R_A = 0,5 R_B$

Y que $(R_A + R_B) = 143K$

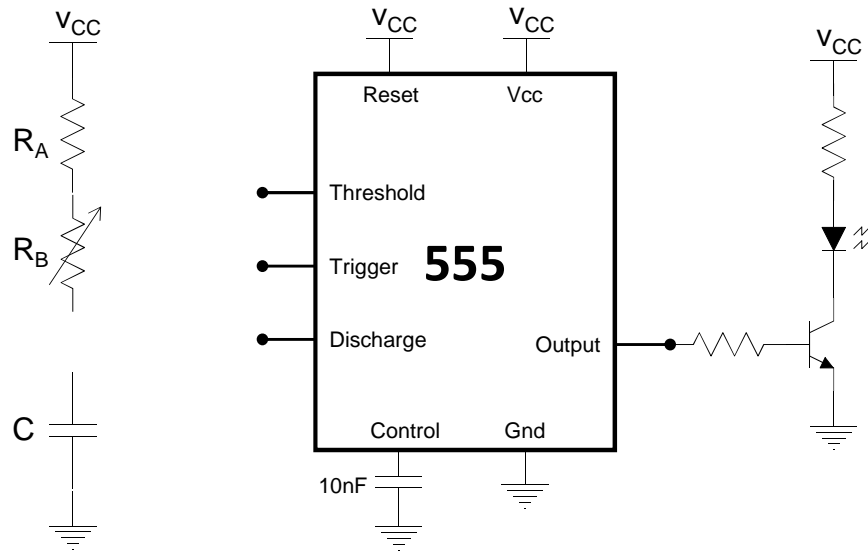
Por lo tanto, se obtienen unos datos, para el caso límite del 60%, de $R_A = 28,5K$, $R_B = 57K$

c) (1 punto) Para obtener una señal modulada en frecuencia, el 555 debe funcionar en modo VCO, para lo cual debe estar configurado en modo ASTABLE (como en el caso anterior) y con la entrada de control de voltaje conectada a la señal moduladora. Por lo tanto, 7 debe estar conectado en el punto A, 2 y 6 estarán conectadas al punto B, y 5 estará conectado a la señal V_c .

d) (2 puntos) El parámetro que varía al cambiar la tensión de control es la frecuencia. La tensión que entra por la señal de control, altera las tensiones umbrales de los operacionales, por lo que podría alterar los tiempos de carga y de descarga. En realidad el único tiempo que se ve alterado es el tiempo de la señal de salida a nivel alto, pero no a nivel bajo. Por tanto esto altera el periodo total y por lo tanto la frecuencia. También se ve alterado el ciclo de trabajo. Como la señal de entrada por la tensión de control es sinusoidal, la frecuencia de la salida irá variando desde una frecuencia mínima (751Hz) hasta una frecuencia máxima (1,56KHz)

EJERCICIO 2

Se desea diseñar un circuito control de iluminación para un LED por medio de una señal modulada por ancho de pulso (PWM). Para ello, se utilizará un temporizador 555 como el de la figura:



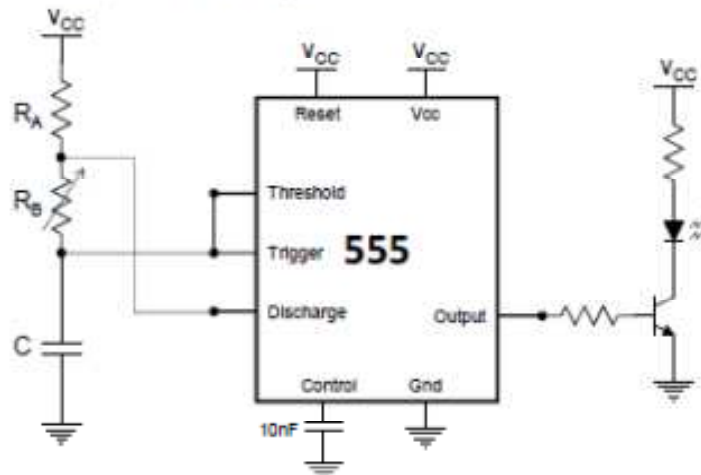
Se pretende que a la salida del temporizador se genere una forma de onda cuadrada, con ciclo de trabajo entre 55% y 70%.

- 1) Identifique el modo de trabajo necesario del 555 para generar dicha forma de onda. Dibuje el circuito completo.
- 2) Suponiendo que R_A es fija y R_B es un potenciómetro, determine la relación entre R_A y R_B para que se cumplan los requisitos de ciclo de trabajo.
- 3) Calcule los valores de R_A , R_B y C para que la frecuencia máxima de la salida sea de 1KHz (dentro del rango especificado para el ciclo de trabajo).
- 4) Calcular la frecuencia de la salida para los dos extremos de ciclo de trabajo.

SOLUCIÓN:

- 1) Identifique el modo de trabajo necesario del 555 para generar dicha forma de onda. Dibuje el circuito completo.

Para que el 555 oscile de manera independiente es necesario que trabaje en modo estable. El circuito completo sería el siguiente:



- 2) Suponiendo que R_A es fija y R_B es un potenciómetro, determine la relación entre R_A y R_B para que se cumplan los requisitos de ciclo de trabajo.

$$D = (R_A + R_B) / (R_A + 2R_B)$$
$$R_B = R_A(1-D)/(2D-1)$$

$$D = 0,55 \Rightarrow R_B = 4,5 \cdot R_A$$

$$D = 0,70 \Rightarrow R_B = 0,75 \cdot R_A$$

- 3) Calcule los valores de R_A , R_B y C para que la frecuencia máxima de la salida sea de 1KHz (dentro del rango especificado para el ciclo de trabajo).

$$T = \ln 2 \cdot (R_A + 2R_B) \cdot C$$

La frecuencia más alta se obtiene con el menor valor de R_B .

Se dispone de un grado de libertad. Por ejemplo, dando un valor a R_A :

$$R_A = 10 \text{ K}\Omega$$

$$R_B = 0,75 \cdot R_A = 7,5 \text{ K}\Omega$$

$$C = 1 / [\ln 2 \cdot (R_A + 2R_B) \cdot f] = 1 / [0,7 \cdot (10\text{K} + 15\text{K}) \cdot 1\text{K}] = 57,14 \text{ nF}$$

El valor del potenciómetro debería ser mayor que el mayor valor de R_B . El valor máximo de R_B sería:

$$R_B = 4,5 \cdot R_A = 4,5 \cdot 10\text{K} = 45 \text{ K}\Omega$$

Por tanto, podría ser un potenciómetro de 50K Ω

- 4) Calcular la frecuencia de la salida para los dos extremos de ciclo de trabajo.

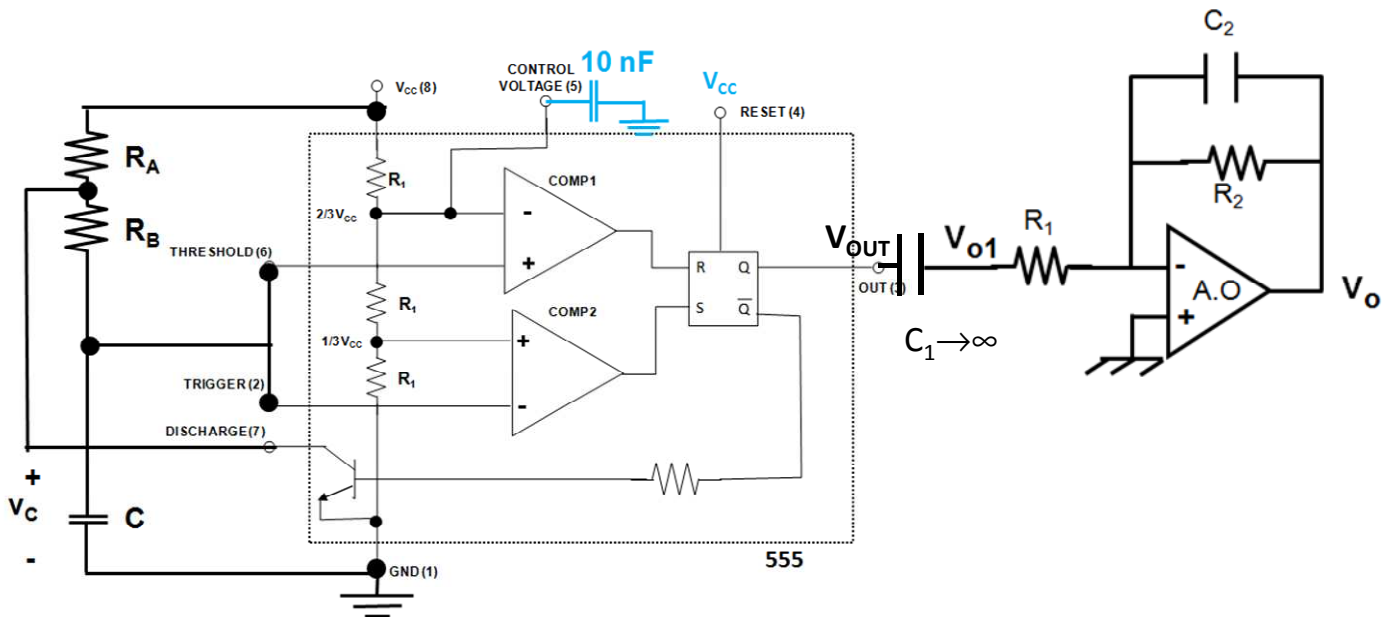
Se ha diseñado para uno de los extremos, $f=1\text{KHz}$.

Para el otro extremo:

$$f = 1 / [\ln 2 \cdot (R_A + 2R_B) \cdot C] = 1 / [0,7 \cdot (10\text{K} + 90\text{K}) \cdot 57,14\text{n}] = 250\text{Hz}$$

EJERCICIO 3

Se desea diseñar un generador de onda triangular, utilizando el circuito de la figura, en el que también se muestra el esquema interno del temporizador integrado 555:



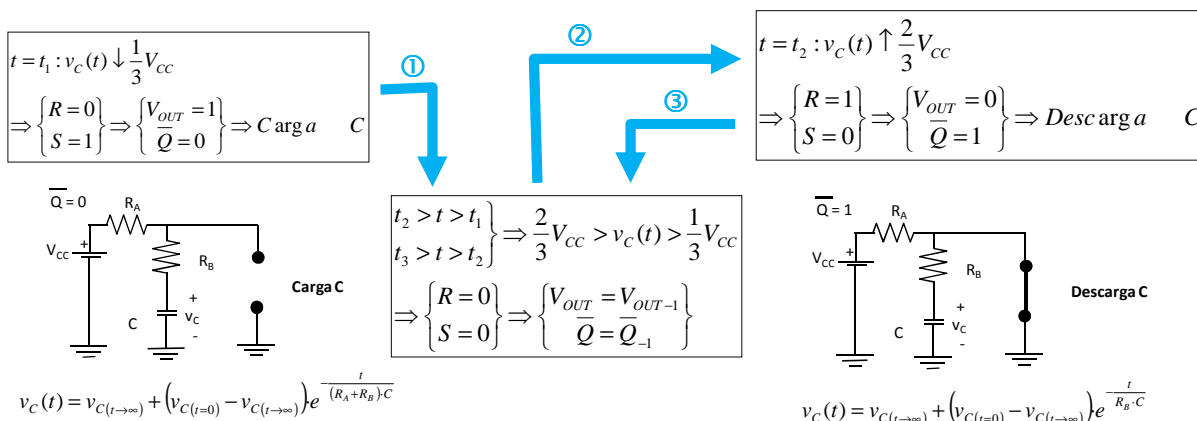
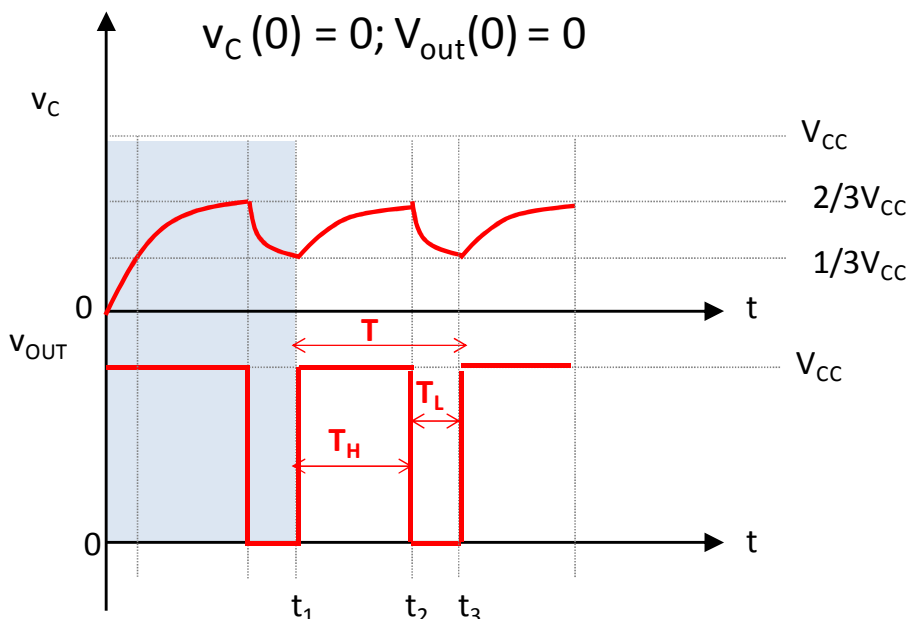
Datos: $V_{CC} = 10V$ $R_A = 1k\Omega$ $R_B = 330k\Omega$
 $A.O$ ideal $R_2 = 10k\Omega$

Se pide:

- Representar las formas de onda presentes en bornes del condensador C , V_C , y a la salida del 555, V_{OUT} , marcando los puntos más significativos de las mismas.
- Calcular el valor del condensador C para que la señal de salida del 555 (V_{OUT}) tenga una frecuencia de 10kHz. ¿Cuál es el ciclo de trabajo de V_{OUT} ?
 Nota: El cálculo de C debe hacerse de forma detallada, no es válido aplicar directamente la fórmula de la configuración del 555
- Calcular el valor de R_1 y C_2 para que la señal de salida del circuito, V_o , sea una señal triangular con una amplitud de $2V_{pico-pico}$. Justifique claramente su respuesta.

SOLUCIÓN:

- a) Representar las formas de onda presentes en bornes del condensador C , V_C , y a la salida del 555, V_{OUT} , marcando los puntos más significativos de las mismas.



- b) Calcular el valor del condensador C para que la señal de salida del 555 (V_{OUT}) tenga una frecuencia de 10kHz. ¿Cuál es el ciclo de trabajo de V_{OUT} ?

Nota: El cálculo de C debe hacerse de forma detallada, no es válido aplicar directamente la fórmula de la configuración del 555

Calculamos el período de la señal generada: $T = T_H + T_L = 100 \mu s$ ($f = 10 \text{ kHz}$)

- T_H : Carga del condensador

$$v_C(t) = v_{C(t \rightarrow \infty)} + (v_{C(t=0)} - v_{C(t \rightarrow \infty)}) e^{-\frac{t}{(R_A + R_B)C}}$$

Particularizando:

$$v_C(T_H) = V_{CC} + \left(\frac{1}{3} V_{CC} - V_{CC} \right) \cdot e^{-\frac{T_H}{(R_A + R_B)C}} = \frac{2}{3} V_{CC} \Rightarrow T_H = (R_A + R_B)C \cdot \ln(2)$$

- T_L : Descarga del condensador

$$v_C(t) = v_{C(t \rightarrow \infty)} + (v_{C(t=0)} - v_{C(t \rightarrow \infty)}) e^{-\frac{t}{R_B \cdot C}}$$

Particularizando:

$$v_C(T_L) = 0 + \left(\frac{2}{3} V_{CC} - 0 \right) \cdot e^{-\frac{T_L}{R_B \cdot C}} = \frac{1}{3} V_{CC} \Rightarrow T_L = R_B \cdot C \cdot \ln(2)$$

Por tanto:

$$T = T_H + T_L = \ln(2) \cdot C \cdot (R_A + 2R_B) = 100 \mu s \Rightarrow C = \frac{100 \mu s}{\ln(2) \cdot (R_A + 2R_B)} = \frac{100 \mu s}{0.69 \cdot (1k\Omega + 660k\Omega)} \cong 220 pF$$

$$CT(\%) = \frac{T_H}{T} \cdot 100 = \frac{\ln(2) \cdot C \cdot (R_A + R_B)}{\ln(2) \cdot C \cdot (R_A + 2R_B)} \cdot 100 = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B} \cdot 100 = \frac{331k\Omega}{661k\Omega} \cdot 100 \cong 50\%$$

- c) **Calcular el valor de R_1 y C_2 para que la señal de salida del circuito, v_o , sea una señal triangular con una amplitud de $2V_{\text{pico-pico}}$. Justifique claramente su respuesta.**

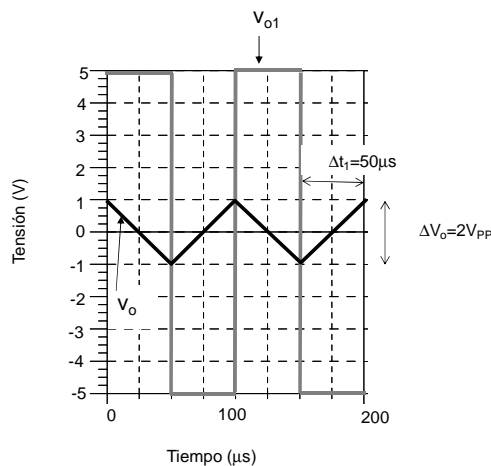
La segunda etapa del circuito es un filtro paso bajo que se comporta como integrador si la frecuencia de la señal de entrada es \gg que la frecuencia de corte del filtro ($f_c = 1/2\pi R_2 \cdot C_2$)

Como la señal de entrada (V_{o1}) es una señal cuadrada de 10kHz, para tener a la salida una señal triangular se debe cumplir:

$$10kHz \gg \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \Rightarrow C_2 \gg \frac{1}{2\pi R_2 \cdot 10kHz} \Rightarrow C_2 \gg \frac{1}{2\pi \cdot 10k\Omega \cdot 10kHz} \Rightarrow C_2 \gg 1.6nF$$

Por ejemplo $C_2 = 100nF$

Con $C_2 = 100nF$, las formas de onda en V_{o1} y V_o serán:



En el tramo Δt_1 :

$$i_{R1} \cong i_{C2} \Rightarrow \frac{5V}{R_1} = C_2 \cdot \frac{\Delta V_o}{\Delta t_1}$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{5V \cdot \Delta t_1}{C_2 \cdot \Delta V_o} = \frac{5V \cdot 50 \mu s}{100nF \cdot 2V} = 1.25k\Omega$$

EJERCICIO 4

Se pretende diseñar un circuito para obtener una señal modulada en frecuencia a partir de una señal moduladora. El problema lo dividiremos en dos etapas de diseño. En la primera etapa diseñaremos un amplificador en configuración diferencial para acondicionar la señal de entrada. En la segunda etapa usaremos el circuito integrado 555 como VCO para obtener una señal modulada en frecuencia a partir de la señal amplificada en la primera etapa.

Etapa amplificadora:

En el esquemático de la figura 4.1 el amplificador operacional se puede considerar ideal excepto en las características que se indican (AO1A: Producto $G \times BW$ y SR a determinar). La señal de entrada al sistema procede de un dispositivo muy sensible y con poca ganancia, por lo que es necesario amplificarla. La señal diferencial que genera este dispositivo de entrada es $V_2 - V_1 = 100 + 50 \sin(\omega t)$ mV:

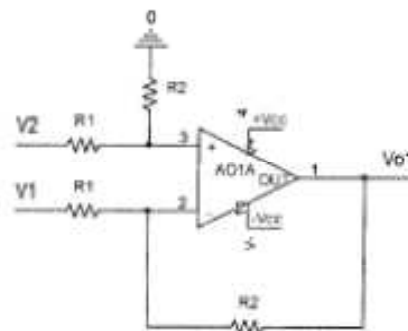


Figura 4.1

- Calcule el valor de la resistencia R_2 para que la señal presente en el punto V_{o1} se igual a $V_{o1} = 2 + \sin(\omega t)$ V, si consideramos el valor de $R_1 = 1k$.
- Determine los valores que tendría que tener el amplificador AO1A para que no sufra distorsión la señal V_{o1} . Indique esto en términos de: Producto $G \times BW$ y Slew Rate. Para ello tenga en cuenta que la frecuencia máxima de la señal a amplificar es 400Hz.

Etapa VCO:

Para esta etapa utilizaremos el integrado 555 en configuración VCO (astable). Para ello utilice el esquema de la figura 4.2.

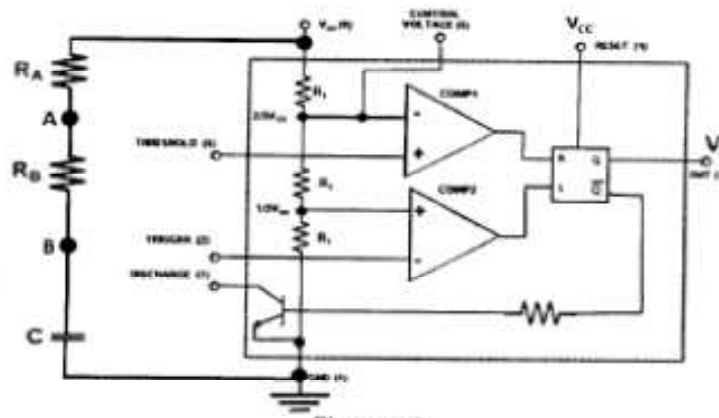


Figura 4.2

donde: $R_A = 300\Omega$, $R_B = 2.5k\Omega$, $V_{CC} = 5V$.

- Indique razonadamente y realice un esquema de cómo conectaría los terminales 2, 5, 6 y 7 del 555 para usarlo como VCO en modo astable, y generar una señal modulada en frecuencia a partir de la señal moduladora V_{o1} .
- Obtenga el valor del condensador C de la figura 4.2, para una frecuencia máxima de la señal generada de 400Hz. A partir de este valor de C obtenga la frecuencia mínima de la señal generada en el VCO.

Solución:

a) (2 punto) Suponiendo un comportamiento ideal del amplificador, la ganancia del mismo tendría que ser de 20, ya que $V_{o1} = 20 \cdot (V_2 - V_1)$.

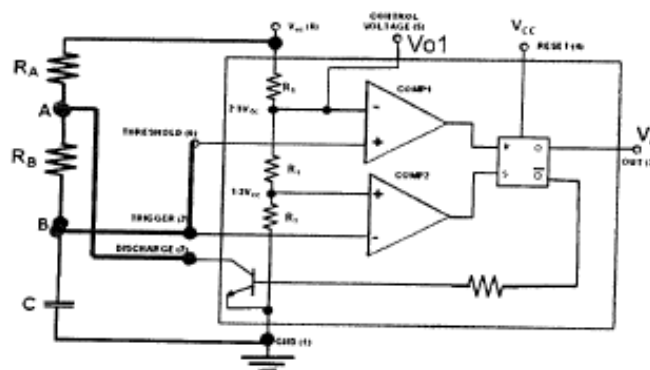
La configuración diferencial que se propone tiene una función de transferencia del tipo: $V_{o1} = R_2/R_1 \cdot (V_2 - V_1)$. Por lo tanto $R_2 = 20k$.

b) (2 punto) Para que ese comportamiento sea ideal, tiene que cumplirse que dicha ganancia se mantenga durante, al menos, el ancho de banda de la señal a amplificar (cuya frecuencia superior es 400Hz). Por tanto el producto $G \cdot BW$ debe ser, como mínimo de 8000.

Por último, teniendo en cuenta la variación de la señal sinusoidal, el slew rate debe presentar un mejor comportamiento que el límite de la variación, el cual es:

$$SR = \left. \frac{dV_z}{dt} \right|_{\max} = 1 \cdot \omega \cdot \cos \omega t \Big|_{\max} = \omega = 2 \cdot \pi \cdot f_{\max} = 2,5 \frac{V}{ms}$$

c) (2 punto) Para obtener una señal modulada en frecuencia, el 555 debe funcionar en modo VCO, para lo cual debe estar configurado en modo ASTABLE (trigger y threshold unidas, y existiendo un circuito RC de descarga) y con la entrada de control de voltaje conectada a la señal moduladora. Por lo tanto, 7 debe estar conectado en el punto A, 2 y 6 estarán conectadas al punto B, y 5 estará conectado a la señal V_{o1} .



d) (4 puntos) Teniendo en cuenta la señal de entrada, la $V_{control}$ mínima será de 1V y la máxima será de 3V. Resolviendo el circuito de carga y descarga del condensador:

Para la tensión de control mínima de 1V (máxima frecuencia):

$$T_H = (R_A + R_B) \cdot C \cdot \ln \left(\frac{V_{CONTROL} - 2V_{CC}}{2V_{CONTROL} - 2V_{CC}} \right)$$

$$T_L = R_B \cdot C \cdot \ln 2$$

Por lo que el periodo es $T = T_H + T_L = 1/F_{max} = 1/400Hz$,

$$\frac{1}{400} = T_H + T_L = C \cdot \left[(R_A + R_B) \cdot \ln \left(\frac{V_{\text{CONTROL}} - 2V_{\text{CC}}}{2V_{\text{CONTROL}} - 2V_{\text{CC}}} \right) + R_B \cdot \ln 2 \right]$$

De donde $C=1,212\mu F$

Para la tensión de control máxima de 3V (mínima frecuencia):

$$\frac{1}{F_{\text{min}}} = T_H + T_L = C \cdot \left[(R_A + R_B) \cdot \ln \left(\frac{V_{\text{CONTROL}} - 2V_{\text{CC}}}{2V_{\text{CONTROL}} - 2V_{\text{CC}}} \right) + R_B \cdot \ln 2 \right]$$

De donde $F_{\text{min}}=250\text{Hz}$

EJERCICIO 5

En el esquemático de la figura 1 los amplificadores operacionales se pueden considerar ideales excepto en las características que se indican (AO1: Producto $G \times AB$ a determinar; AO2: $SR = 0,8 \text{ V}/\mu\text{s}$).

El generador V1 representa una señal FSK de amplitud 100 mV y cuya frecuencia es de 8 kHz cuando la señal moduladora es un '0' y de 10 kHz cuando es un '1'. La señal digital moduladora tiene una tasa máxima de 100 bits/s.

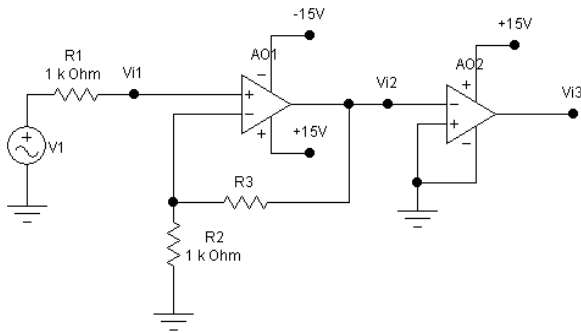


Figura 1

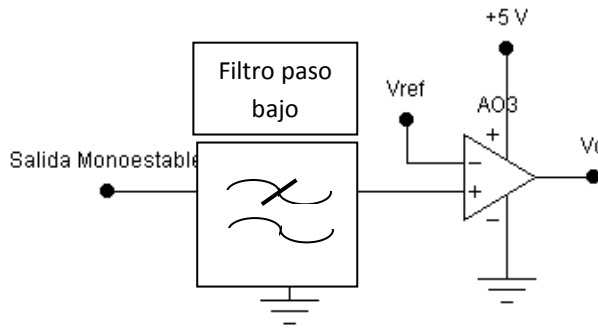
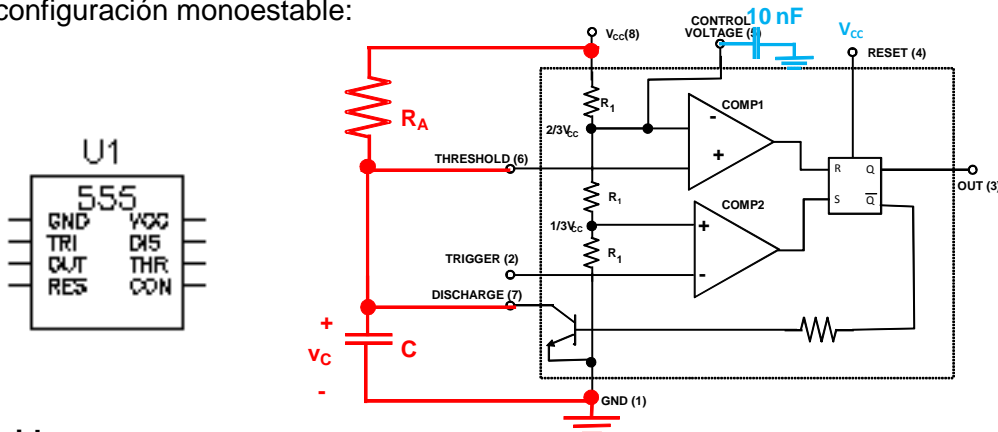


Figura 2

Datos: Símbolo a utilizar en la respuesta y esquema del circuito integrado 555 en configuración monoestable:



Se pide:

1. Calcule el valor de la resistencia R_3 para que la señal presente en el punto Vi_2 tenga una amplitud de 10 V, e indique el valor mínimo que debe tener el producto Ganancia por Ancho de Banda ($G \times AB$) del AO1.
2. Suponiendo que en Vi_2 se tiene una señal de 10 kHz y 10 V de amplitud, represente dos periodos de su forma de onda junto con la que se obtendría en Vi_3 .
3. Realizando las conexiones necesarias utilizando el símbolo del 555, represente el esquema correspondiente para que funcione como demodulador de FM de la señal obtenida en Vi_3 .
4. Si R_A es de 10 k Ω , calcule el valor de C para que la anchura de los impulsos que se obtienen en la salida del 555 sea de 50 μs .

Con el filtro paso bajo de la figura 2 se obtiene el valor medio de los impulsos de salida del monoestable (alimentado a 15 V). Calcule el margen de valores que se pueden asignar a la tensión V_{ref} (tensión de umbral del comparador AO3) para recuperar la señal moduladora de la onda FSK.

SOLUCIÓN

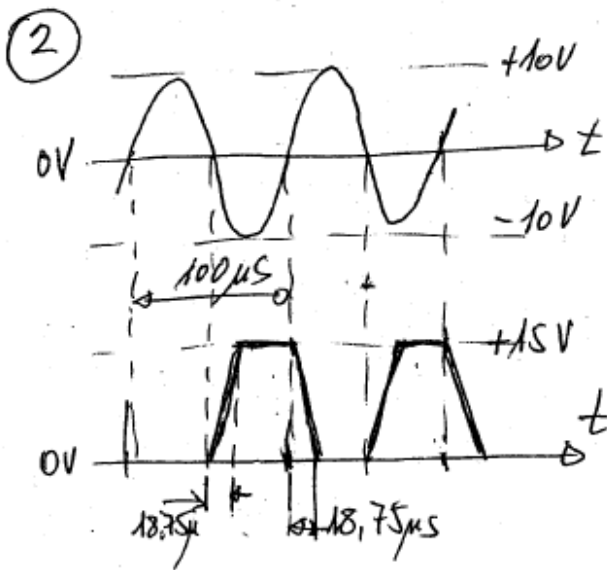
Ejercicio 5

Página 1

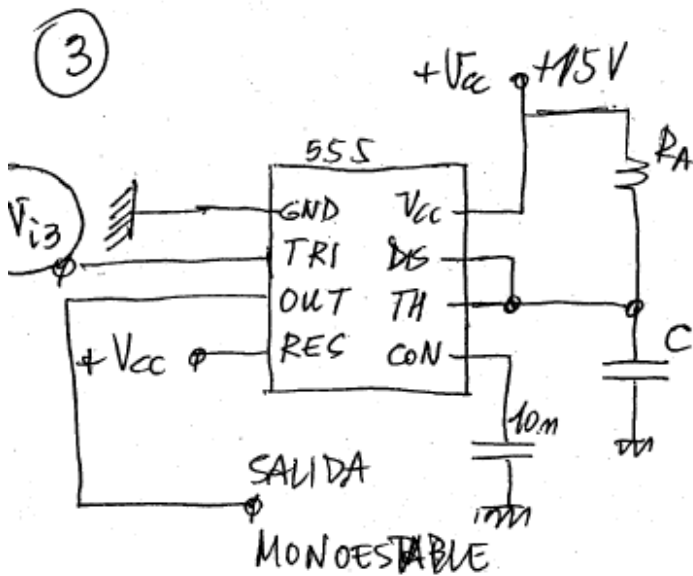
1) $V_{i2} = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) V_{i1} \Big|_{Z_i \text{ AOD} \rightarrow \infty} = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) V_1$

$\frac{V_{i2}}{V_1} = \frac{10V}{0,1V} = 100 = 1 + \frac{R_3}{R_2} \Rightarrow R_3 = 99R_2 \Rightarrow$

$\Rightarrow R_3 = 99k\Omega$ $G \times AB \geq 100 \times 10kHz = 1MHz$



$SR = \frac{\Delta V}{\Delta t} = 0,8 \frac{V}{\mu s} = \frac{15V}{\Delta t} \Rightarrow$
 $\Rightarrow \Delta t = \frac{15V}{0,8V/\mu s} = 18,75\mu s$



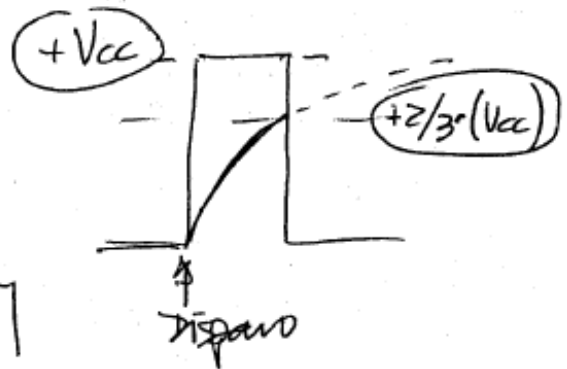
$$(4) \quad \frac{2}{3} V_{cc} = V_{cc} (1 - e^{-t/\tau})$$

$$e^{-t/\tau} = 1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -\frac{t}{\tau} = -\ln 3 \Rightarrow \boxed{t = 1,1 \tau}$$

$$50 \mu s = 1,1 RC \Rightarrow RC = 45,5 \mu s \Rightarrow$$

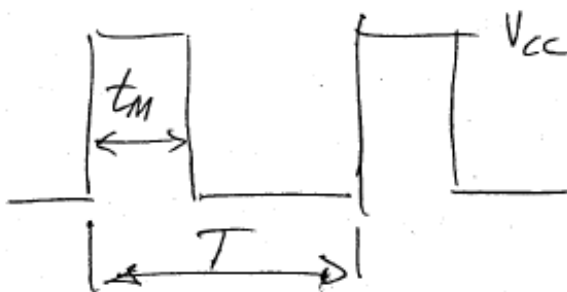
$$\Rightarrow \boxed{C = 4,55 \text{ nF}}$$



(5)

$$f_1 = 8 \text{ KHz} \Rightarrow T_1 = 125 \mu s$$

$$f_2 = 10 \text{ KHz} \Rightarrow T_2 = 100 \mu s$$



$$V_{med} = V_{cc} \frac{t_m}{T} = V_{cc} t_m f$$

$$V_{med1} = 15 \frac{50}{125} \text{ V} = \underline{\underline{6 \text{ V}}}$$

$$V_{med2} = 15 \frac{50}{100} \text{ V} = \underline{\underline{7,5 \text{ V}}}$$

$$\boxed{6 \text{ V} < V_{ref} < 7,5 \text{ V}}$$

EJERCICIO 6

En el esquemático de la figura 1 los amplificadores operacionales se pueden considerar ideales excepto en las características que se indican (AO1: Producto $G \times AB$ a determinar; AO2: $SR = 10V/\mu s$).

El generador V1 representa una señal FSK de amplitud 1V y cuya frecuencia máxima es de 100kHz.

Se desea transmitir dicha señal por un enlace de fibra óptica mediante pulsos de luz de corta duración y gran amplitud.

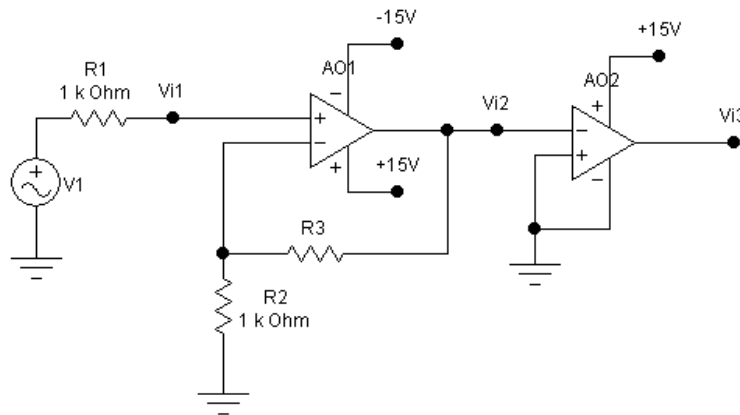


Figura 1

Se pide:

1. Calcule el valor de la resistencia R3 para que la señal presente en el punto Vi2 tenga una amplitud de entre 10V y 12V, e indique el valor mínimo que debe tener el producto Ganancia por Ancho de Banda ($G \times AB$) del AO1.
2. Realizando las conexiones necesarias en el esquema adjunto del 555, figura 2, diseñe un multivibrador monoestable que genere pulsos sincronizados con Vi3, deduzca la expresión de la duración del intervalo en el que salida está a nivel alto.
3. Calcule el valor de los componentes para que la señal de salida del monoestable tengan un ciclo de trabajo máximo del 10%.
4. Suponiendo que en Vi2 se tiene una señal de 100kHz y 10V de amplitud, represente dos periodos de su forma de onda junto con las que se obtendrían en Vi3 y en la salida del monoestable, indicando claramente la correspondencia temporal entre las mismas.

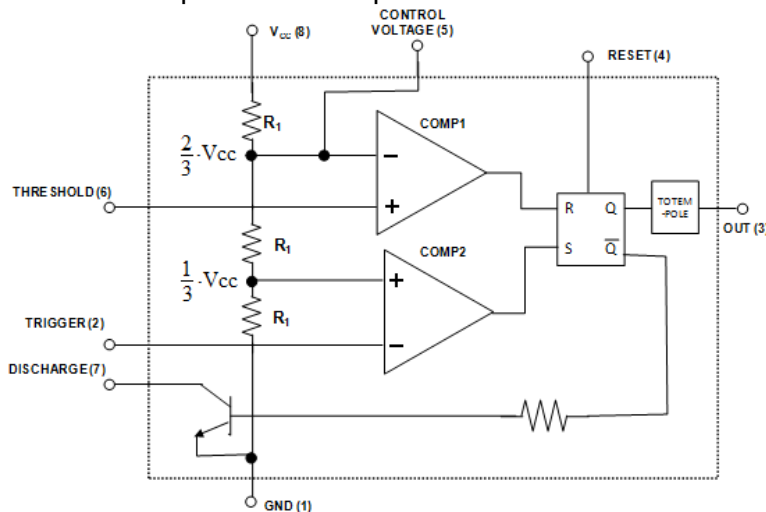


Figura 2

SOLUCIÓN

2010-2011 / Ex Extraord

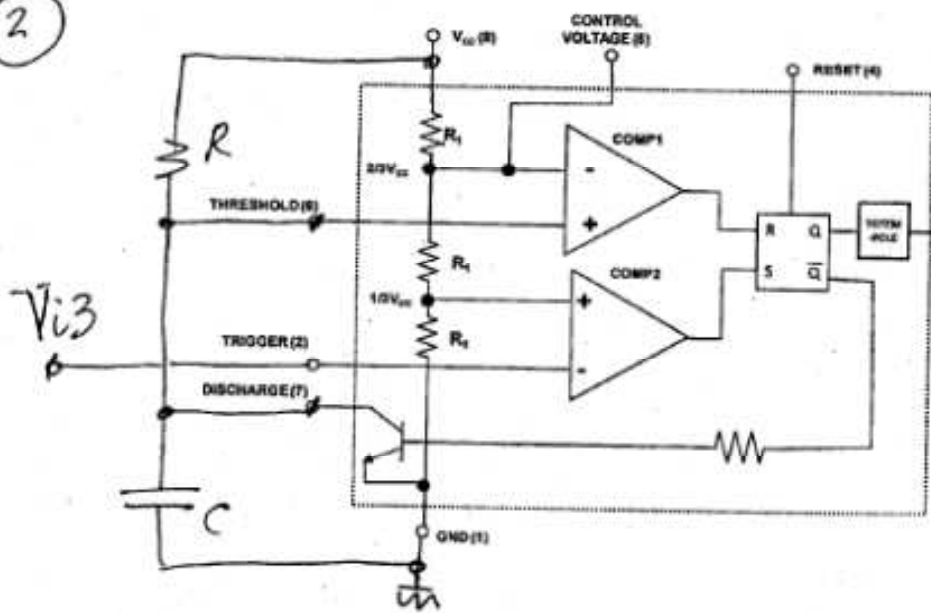
① $V_{i2} = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) V_{i1} \quad \Big| \quad = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) V_1$
E: AD1 → 10

$$\frac{V_{i2}}{V_{i1}} = \frac{10V}{1V} = 10 = 1 + \frac{R_3}{R_2} \Rightarrow R_3 = 9R_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{R_3 = 9K \rightarrow 10K} \quad | \quad R_3 = 10K \Rightarrow \frac{V_{i2}}{V_{i1}} = 11$$

$$\boxed{G \times AB = 10 \times 100KHz = 1MHz} \quad (10 \times 100KHz = 1,1MHz)$$

②



$$\frac{2}{3}V_{cc} = V_{cc} (1 - e^{-t_{TH}/RC})$$

$$e^{-t_{TH}/RC} = 1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -\frac{t_{TH}}{RC} = -\ln 3 \Rightarrow$$

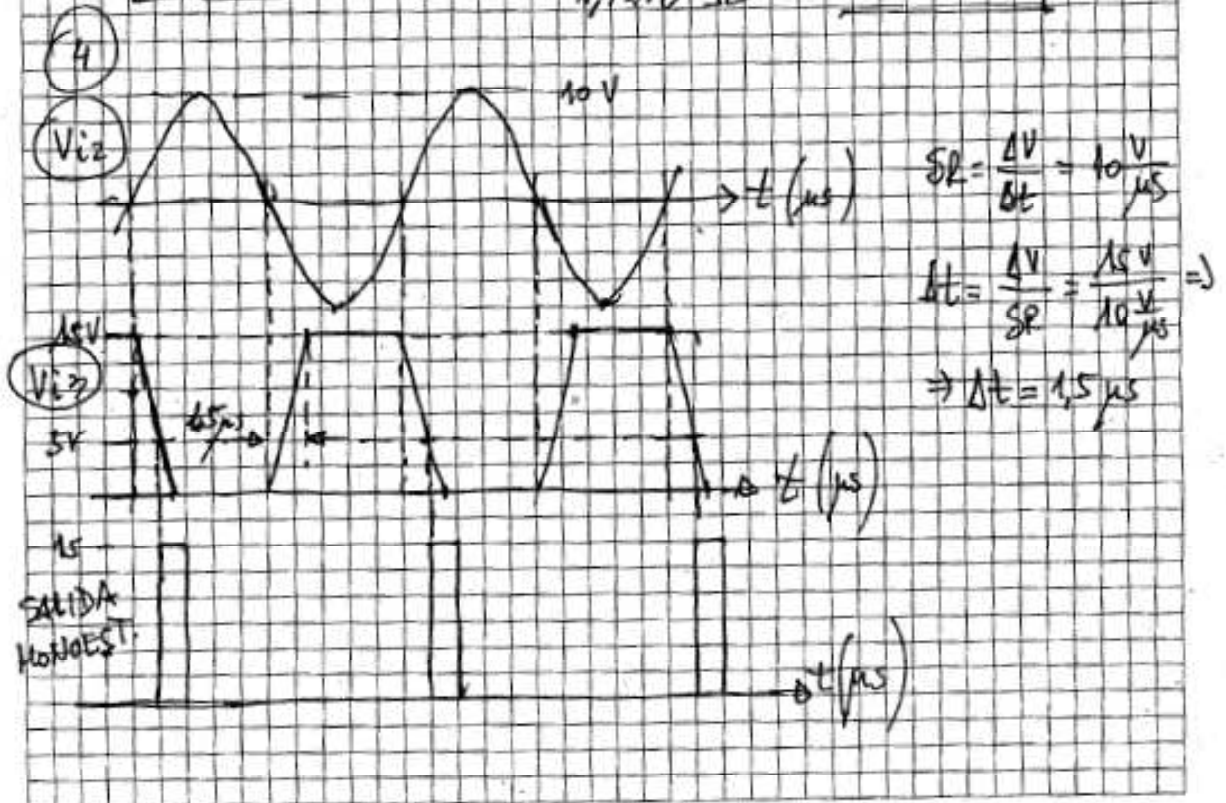
$$\Rightarrow \boxed{t_{TH} = 1,1RC = 1,1RC}$$

(3) $f = 100 \text{ kHz} \Rightarrow T = 10 \mu\text{s}$

$DC = \frac{t_M}{T} \times 100 \% \Rightarrow t_M = \frac{DC(\%) T}{100} = \frac{10 \cdot 10 \mu\text{s}}{100} = 1 \mu\text{s}$

$t_M = 1 \mu\text{s} = 1,1 RC$

$R = 10 \text{ k}\Omega \Rightarrow C = \frac{10^{-6} \text{ s}}{1,1 \times 10^4 \Omega} = 90,9 \text{ pF}$



EJERCICIO 7

En el circuito de la Figura 2

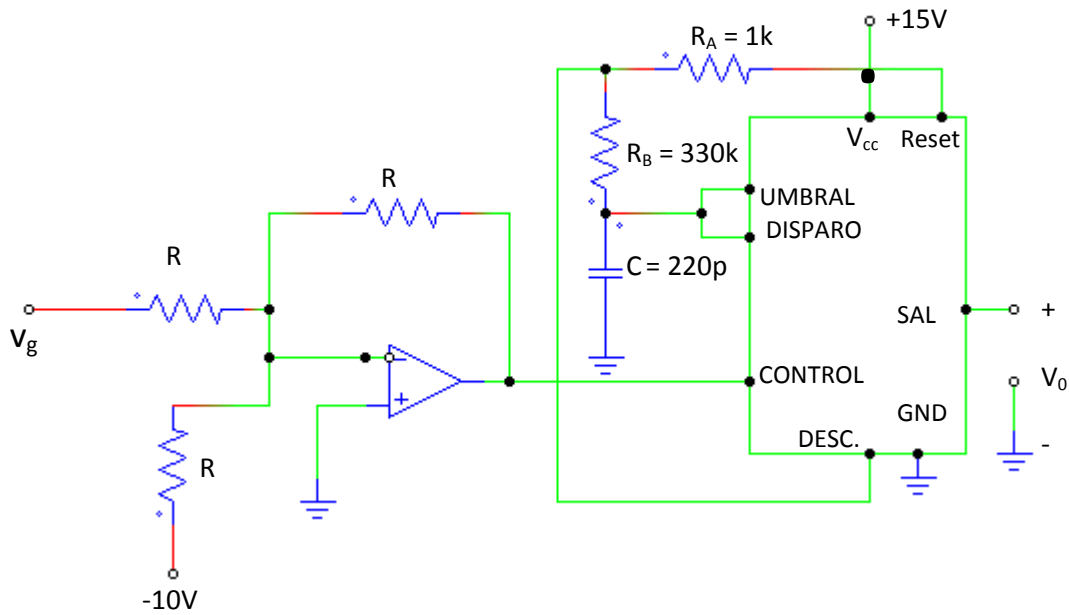


Figura 2

Primera parte (Figura 2)

- Obtenga la señal de salida V_o en función de t y represente su forma de onda (suponer $v_g = 0$).
- Si en v_g aplicamos un tren de impulsos rectangulares de amplitud 2V y frecuencia 1kHz, obtenga los nuevos valores correspondientes para la señal de salida V_o .

Segunda parte

- Utilizando el temporizador 555 en modo astable y un único amplificador operacional, diseñe un generador de onda triangular de frecuencia 10 kHz. Indicar los valores de todas las resistencias y condensadores.