A2.3 Configuración como generador de señales (*clock*)

Según el conexionado exterior de las patillas, se obtienen diferentes aplicaciones. En la figura A2.2 se muestra la configuración como generador de impulsos, utilizada como *clock* en muchos circuitos digitales.

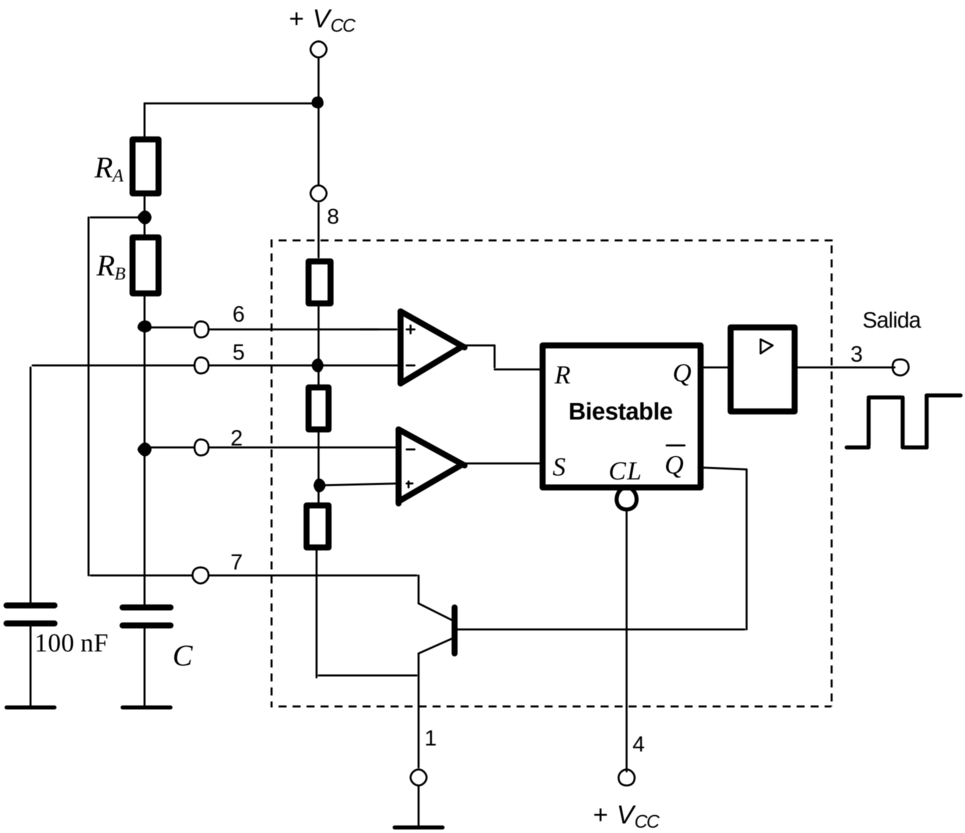

Figura A2.2. *Montaje del 555 como generador de señales de clock*

A2.3.1 Funcionamiento

Partiendo de que el condensador se encuentra descargado (t = 0), al estar la *entrada de disparo* (patilla 2) a potencial de masa (< 1/3 V_{CC}) la salida (patilla 3) se pone a nivel alto y el transistor de descarga estará bloqueado.

El condensador empezará a cargarse a través de la resistencia equivalente de $R_A + R_B$; o sea, la constante de tiempo de carga es: $(R_A + R_B)\,C$. Cuando la tensión del condensador llegue a la *tensión umbral* (2/3 V_{CC} en la patilla 6), la salida cambiará de estado a nivel bajo y el condensador empezará a descargarse a través de R_B, debido a que la patilla 7 se pone a potencial de masa por la saturación del transistor interno. La constante de tiempo de descarga es pues: $R_B \; C$. Durante la descarga, cuando la tensión del condensador sea inferior a *1/3 V_{CC}*, la patilla 2 lo detectará y hará que la salida vuelva a nivel alto, se bloqueará el transistor interno y se iniciará otra vez el proceso de carga. Este proceso de funcionamiento produce una onda de salida de tipo rectangular. Puesto que la carga del condensador es través de $R_A + R_B$ y la descarga sólo por R_B, las constantes de tiempo de carga y descarga son diferentes, la onda generada es asimétrica; el nivel bajo dura menos tiempo que el nivel alto. En la figura A2.3 se representa el diagrama de ondas típico.

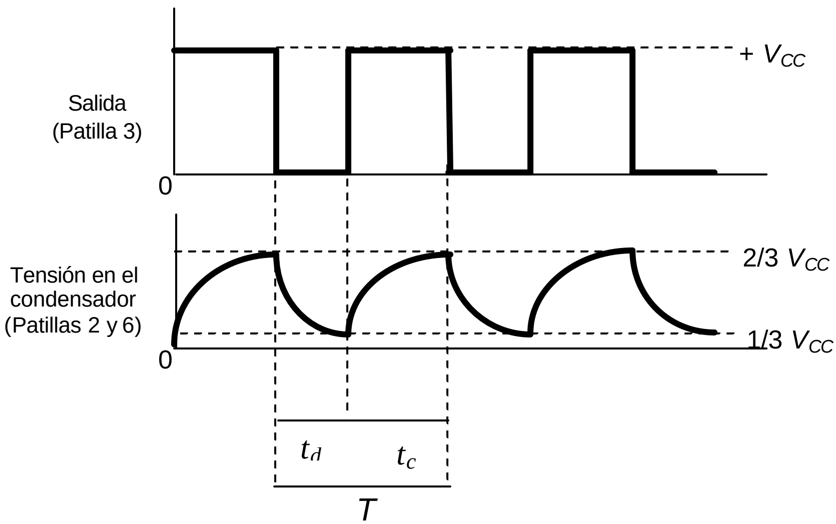

Figura A2.3. *Diagrama de ondas del circuito generador de clock.*

Obviamente, en el condensador se encuentra una señal en diente de sierra, como consecuencia de la carga-descarga del condensador. Se puede obtener una onda de salida casi simétrica haciendo R_B muy grande respecto a R_A, o sea si: $\boldsymbol{R_B \gg 100\, R_A}$. De esta manera, los tiempos de carga-descarga no dependen casi de R_A.

El tiempo del nivel alto de la señal de salida (t_1), que corresponde con el de carga del condensador, desde 1/3 a 2/3 de V_{CC}, viene dado por:

$$t_1 \cong 0{,}69\ (R_A + R_B)\ C$$

Esto se puede descubrir de la manera siguiente:

En base a la fórmula que nos da la tensión de carga del condensador ($V_C \rightarrow V_{CC}$) en función del tiempo t:

$$\boxed{V_{C(t)} = V_{CC} + (V_{(inicial)} - V_{CC})\, e^{\frac{-t}{RC}}}$$

despejando el tiempo (t) para $V_C = \frac{2}{3} V_{CC}$, siendo:

$R = R_A + R_B$ y $V_{C(inicial)} = \frac{1}{3} V_{CC}$, se obtiene:

$$\frac{2}{3} V_{CC} = V_{CC} + \left(\frac{1}{3} V_{CC} - V_{CC}\right) e^{\frac{-t}{RC}} \Rightarrow \frac{2}{3} V_{CC} = V_{CC} - \left(\frac{2}{3} V_{CC}\ e^{\frac{-t}{RC}}\right)$$

$$\frac{\frac{2}{3} V_{CC} - V_{CC}}{\frac{-2}{3}\ V_{CC}} = e^{\frac{-t}{RC}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{\frac{-t}{RC}}$$

Aplicando logaritmos, como $Ln\ e = 1$ y $R = R_A + R_B$:

$$Ln\ \frac{1}{2} = \frac{-t}{RC}\ Ln\ e \Rightarrow Ln\ \frac{1}{2} = \frac{-t}{RC} = \frac{-t}{(R_A + R_B)\ C}$$

se obtiene que:

$$t = -\ (R_A + R_B)\ C\, Ln\, \frac{1}{2}\text{, y como } Ln\, \frac{1}{2} \cong -0{,}69:$$

$$\boxed{t_1\ \cong 0{,}69\ (R_A + R_B)\ C}$$

Y el tiempo del nivel bajo de la señal de salida, ***t_0***, que corresponde al de descarga del condensador, desde 2/3 de V_{CC} a 1/3 de V_{CC}, es:

$$t_0 \cong 0{,}69\ R_B\ C$$

Su desarrollo demostrativo es:

En base a la fórmula que nos da la tensión de descarga del condensador ($V_C \rightarrow 0$) en función del tiempo:

$$\boxed{V_{C\,(t)} = V_{C(inicial)}\ e^{\frac{-t}{R\,C}}}$$

Despejando ***t*** para $V_C\,(t) = \frac{1}{3}\ V_{CC}$, siendo $R\ =\ R_B$ y $V_{C(inicial)} = \frac{2}{3}\ V_{CC}$,

se obtiene:

$$\frac{1}{3}V_{cc} = \frac{2}{3}\ V_{cc}\ e^{\frac{-t}{R_B\,C}} \quad \Rightarrow \quad \frac{\frac{1}{3}V_{cc}}{\frac{2}{3}V_{cc}} = e^{\frac{-t}{R_B\,C}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{\frac{-t}{RBC}} \quad \Rightarrow \quad Ln\ \frac{1}{2} \cong \frac{-t}{R_B\,C} \quad \Rightarrow \quad t = -R_B\,C\,Ln\ \frac{1}{2}$$

Por tanto:

$$\boxed{t_0\ = 0{,}69\ R_B\ C}$$

El periodo de la señal de salida es, pues:

$$T = t_1 + t_0 \cong 0{,}69\ (R_A + R_B)\ C + 0{,}69\ R_B\ C \Rightarrow \boxed{T \cong 0{,}69\ (R_A + 2\,R_B)\ C}$$

Y la fórmula de la frecuencia:

$$\boxed{f = \frac{1}{T} \cong \frac{1}{0{,}69\,(R_A + 2\,R_B)}}$$

A2.3.2 Ejemplos prácticos de cálculo

1. Dados los valores: $R_A = R_B = 10K$ y $C = 10\ nF$, calcular la frecuencia y el ciclo de trabajo.

Cálculo de los tiempos t_0 y t_1:

$$t_1 \cong 0{,}69\ (R_A + R_B) = 0{,}69 \times (10^4 + 10^4) \times 10 \cdot 10^{-9} \cong 0{,}000138\ s = 138\ ms$$

$$t_0 \cong 0{,}69\ R_B\ C = 0{,}69 \times 10^4 \times 10 \cdot 10^{-9} = 0{,}000069\ s = 69\ ms$$

Según estos valores, la frecuencia es:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_0 + t_1} = \frac{1}{(138 + 69) \cdot 10^{-6}} \cong 4.831\ Hz$$

Esto también se puede obtener también aplicando directamente la fórmula:

$$f = \frac{1}{0{,}69\ (R_A + 2\,R_B)} = \frac{1}{0{,}69(10^4 + 2 \cdot 10^4)} \cong 4.831\ H_Z$$

Y el *ciclo de trabajo, es:*

$$Ciclo\ de\ trabajo = \frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{138\,mS}{(138 + 69)mS} \cong 0{,}66$$

Lo cual significa que el nivel alto de la onda (t_1) dura el 66 % del periodo T; es una onda asimétrica. En la figura A2.4 se muestra el circuito práctico y la onda generada.

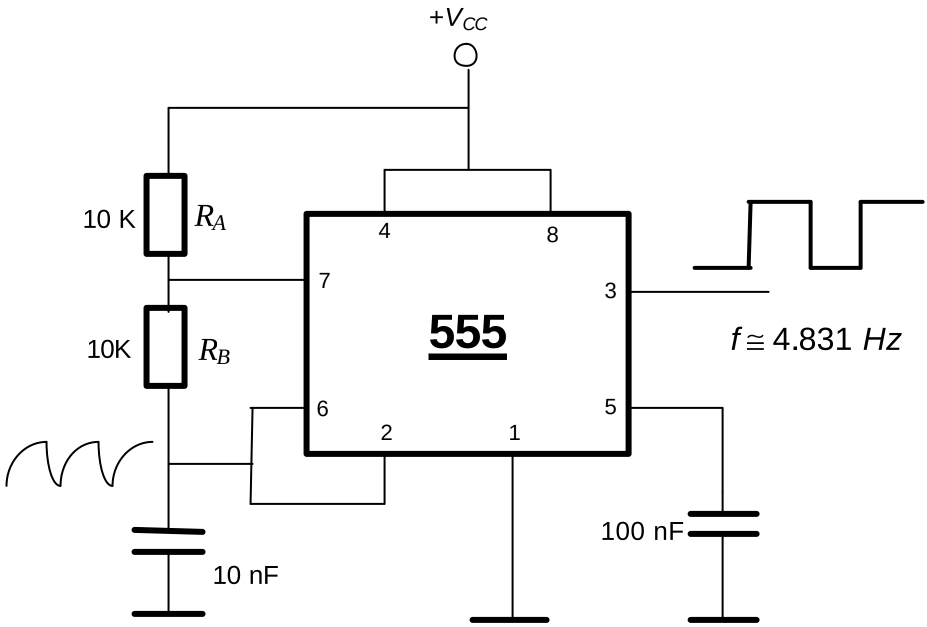

Figura A2.4. Circuito práctico del ejercicio calculado.

2. Calcular los valores de R_A y R_B para que f = 10.500 Hz y el ciclo de trabajo sea 0,8. El valor del condensador es C = 10 nF.

Como que:

$$Ciclo\,trabajo = \frac{t_1}{t_0 + t_1} = \frac{t_1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10.500\,Hz} \cong 0{,}0000952\ s = 95{,}2\,ms$$

se deduce que los tiempos de la onda son:

$$t_1 = Ciclo\ de\ trabajo \times \mathrm{T} = 0{,}8 \times 95{,}2\,ms \cong 76{,}2\ ms$$

$$t_0 = t_1 \left(\frac{1}{0,8} - 1\right) \cong 76,2 ms \left(\frac{1}{0,8} - 1\right) \cong 19 ms$$

Y de estos datos se deducen los valores de R_B y R_A:

$$t_0 \cong 0,69\ R_B C \quad \Rightarrow R_B \cong \frac{t_0}{0,69\,C} = \frac{19 \cdot 10^{-6}}{0,69 \times 10 \cdot 10^{-9}} \cong 2.754\,\Omega$$

$$t_1 \cong 0,6\ (R_A + R_B)\ C \cong 0,69\ R_A\,C + 0,69\ R_B\,C \quad \Rightarrow$$

$$R_A \cong \frac{t_1 - 0,69 R_B\,C}{0,69\,C} = \frac{76,2 \cdot 10^{-6} - 0,69\,(2.754 \times 10 \cdot 10^{-9})}{0,69 \times 10 \cdot 10^{-9}} \cong 8.290\ \Omega$$

Así, se pueden tomar los valores normalizados: R_B = 2K7 y R_A = 8K2.

3. Calcular el circuito para obtener una onda aproximadamente simétrica de f = 5.000 Hz.

Para obtener una onda aproximadamente simétrica, es decir, $t_0 \cong t_1$ (el ciclo de trabajo será de 0,5), se debe tomar un valor de R_B mucho mayor que R_A, con el fin de que el valor de R_A afecte mínimamente en la constante de tiempo de carga. Como que el tiempo de carga del condensador (C) es:

$$t_C \cong 0,69\ (R_A + R_B)\ C$$

Está claro que si el valor de R_A es mucho más bajo que el de R_B, se tiene:

$$R_B >> R_A \quad \Rightarrow\ t_C\ \approx\ 0,69\ R_B\ C$$

De esta manera, como que el tiempo de descarga es $t_d \cong 0,69 R_B\,C$,se consigue que t_c » t_d; o sea, se obtiene una onda aproximadamente simétrica.

En la práctica, se suele tomar: $R_B \approx 100\ R_A$

Para el caso de f = 5.000 Hz, si R_B = 100 KΩ el valor de R_A será:

$$R_A = \frac{R_B}{100} = 1\,K\Omega$$

Y el valor del condensador deberá ser:

$$f \cong \frac{1}{0{,}69(R_A + 2\,R_B)\,C} \quad \Rightarrow C \cong \frac{1}{0{,}69\,(R_A + 2\,R_B)\;f} \quad \Rightarrow$$

$$C \cong \frac{1}{0{,}69 \times (10^3 + 2 \times 10^5) \times 5.000} \approx 1{,}44 \cdot 10^{-9}\,F = 1{,}44\,nF$$

que se puede tomar del valor normalizado de 1,5 nF.

Los tiempos de la onda que se obtiene son prácticamente iguales, como se comprueba a continuación:

$$t_1 \cong 0{,}69(R_A + R_B)\;C = 0{,}69 \times (10^3 + 10^5) \times 1{,}5 \cdot 10^{-9} \cong 0{,}000105\;s$$

$$t_0 \cong 0{,}69\,R_B\,C = 0{,}69 \times 10^5 \times 1{,}5 \cdot 10^{-9} \cong 0{,}000104\;s$$