

# Temporizadores básicos

## 27.1. INTRODUCCION

En muchas ocasiones se hace necesario introducir un retardo entre dos fases de un proceso, que de otra forma ocurrirían simultáneamente, es decir, retardar en algún punto el paso de una señal a través de un circuito.

Esta misión la realizan los temporizadores, que por sí solos merecerían un estudio más amplio, debido a la gran variedad de tipos que existen. En la presente práctica estudiaremos los más elementales, aquellos que basan su funcionamiento en células RC.

A modo de ejemplo, citaremos la aplicación de los temporizadores en alarmas electrónicas contra intrusión para retardar la conexión un pequeño tiempo desde que se activan los sensores, con el fin de dar tiempo a la desconexión cuando ésta no es accesible antes de activar los sensores.

## 27.2. DESCRIPCION BASICA

En general, un **temporizador** se define como un elemento que media entre dos fases de un proceso, de tal forma que la señal originada por la primera excita a la segunda una vez transcurrido un tiempo previamente fijado.

Su representación se puede apreciar en la Figura 27.1a. Según en qué momento se produzca el retardo se dividen en tres grupos:

- **A la activación**, cuando una vez aparecida la señal de entrada retarda un tiempo  $t_1$  en reflejarse dicha señal a la salida, su aplicación al circuito se representa mediante la Figura 27.1b.

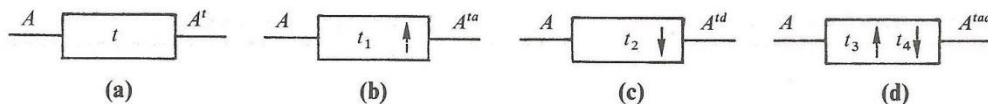


Figura 27.1. Representación de temporizadores: (a) Símbolo general. (b) A la activación. (c) A la desactivación. (d) A la activación-desactivación.

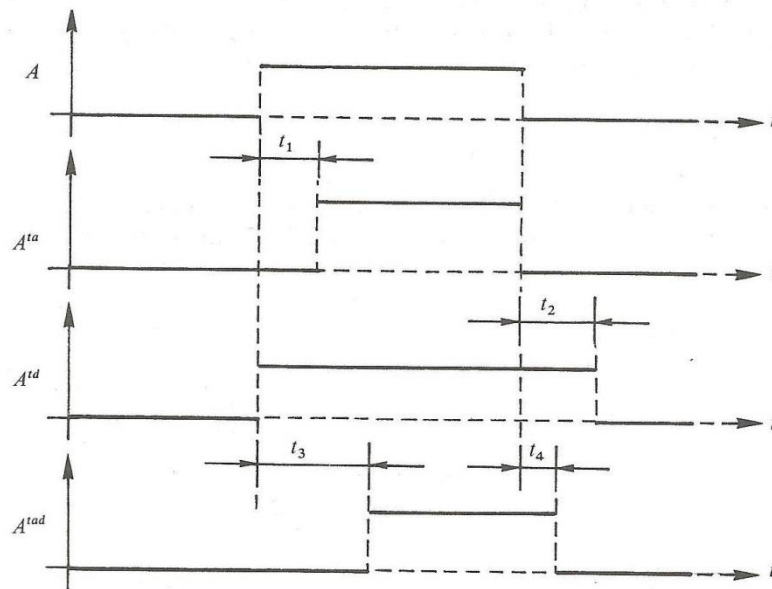
- A la **desactivación**, cuando se retarda la desactivación de la salida hasta un tiempo  $t_2$ , después de extinguida la señal de activación. La Figura 27.1c ofrece su representación habitual.

- A la **activación-desactivación**, cuando se combina la acción de un temporizador a la activación y otro a la desactivación sobre la misma señal. Se representa mediante la Figura 27.1d.

La representación de los símbolos es la siguiente:

- $A$ : Representa la señal de excitación.
- $t$ : El tiempo de retardo o temporización.
- $\uparrow$ : Activación de la señal de excitación.
- $\downarrow$ : Desactivación de la señal de excitación.
- $A^t$ : Señal retardada un tiempo  $t$ .

Las formas de onda de cada uno de ellos, supuesta una señal cuadrada de excitación, serían las representadas en la Gráfica 27.1.



Gráfica 27.1. Formas de onda para los distintos temporizadores.

La temporización se aplica sobre señales que solamente presentan dos niveles perfectamente diferenciados, llamadas señales digitales, donde dichos niveles se llaman generalmente:

- Nivel alto o nivel «1» al nivel superior de dichas señales.
- Nivel bajo o nivel «0» al nivel inferior de dichas señales.

Por lo expuesto, las señales de excitación se tomarán como ausencia «0» o presencia «1» de un nivel de tensión de amplitud suficiente para excitar el circuito de la etapa

posterior al temporizador y su duración se considerará en todos los casos superior al tiempo  $t$  de temporización.

Existen multitud de temporizadores, empleando circuitos de una complejidad relativa, pero de una precisión y margen de tiempos excelentes en la mayoría de los casos, incluso se han diseñado circuitos integrados específicos para ser empleados como tales.

Cuando la precisión requerida no es muy elevada y el margen de ajuste de la temporización no es muy amplio, se emplean los llamados **temporizadores analógicos**, que basan su funcionamiento en la carga de un condensador a través de una resistencia.

Si consideramos el circuito de la Figura 27.2 y el condensador inicialmente descargado, en el momento de aplicar  $V_A$  el condensador se comportará como un cortocircuito, por tanto, en el instante de la conexión se cumplirá que

$$V_C = 0 \quad \text{y} \quad V_R = V_A$$

a medida que transcurre el tiempo, el condensador irá adquiriendo una carga que se manifestará en forma de d.d.p. entre sus placas. La velocidad con que el condensador se cargue dependerá de su capacidad  $C$  y del valor de la resistencia de carga  $R$ . En función de estas magnitudes, se define la llamada constante de tiempo (Tau,  $\tau$ ) como

$$\tau = R \cdot C$$

cuya unidad es el segundo y es el tiempo que emplea  $C$  en adquirir el 63 por 100 de la tensión que le falta para alcanzar el valor de la tensión de la fuente que le alimenta, pudiéndose considerar totalmente cargado cuando han transcurrido  $5\tau$ .

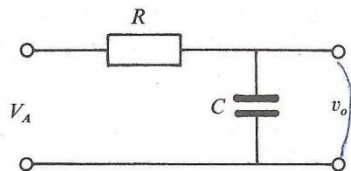
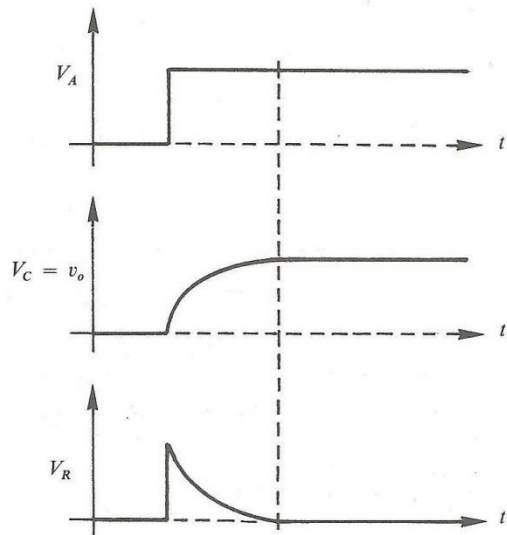


Figura 27.2. Carga de un condensador a través de una resistencia.

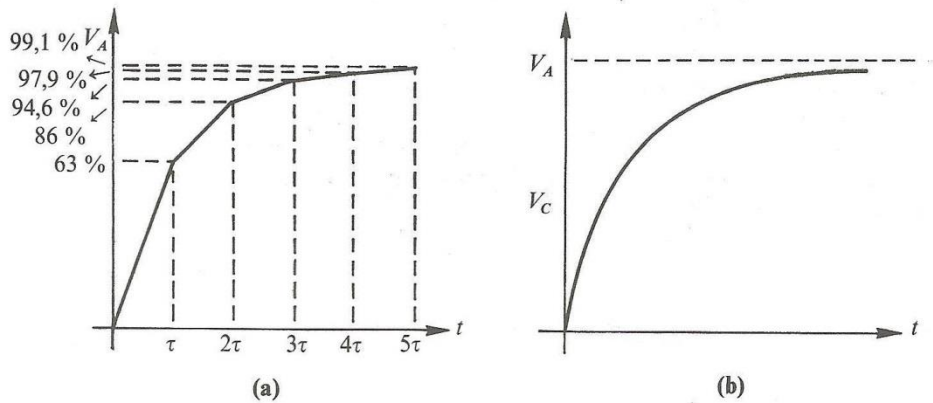


Gráfica 27.2. Diagramas de tensión en un circuito RC.

Una aproximación a la curva de carga de un condensador se representa en la Gráfica 27.3a, donde se puede apreciar el incremento lineal de tensión en cada  $\tau$ , y cómo realmente no llega nunca a estar totalmente cargado, ya que cada  $\tau$  queda un 37 por 100 de tensión residual que siempre existirá por pequeño que se haga. Lo expuesto hasta ahora es una aproximación a la curva real de carga que obedece a una función exponencial y cuya expresión es

$$V_C = V_A \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

la cual permite conocer la tensión en extremos del condensador en cada instante. La representación de la curva real de carga del condensador se muestra en la Gráfica 27.3b, donde la asíntota a  $V_A$  indica que el condensador nunca está totalmente cargado.



Gráfica 27.3. Tensión de carga de un condensador: (a) Aproximación lineal. (b) Curva real.

Tanto en la aproximación lineal como en la curva real, se puede observar que  $V_C$  tarda un determinado tiempo en alcanzar un valor que se pueda considerar prácticamente igual a  $V_A$ . Este es el principio de los temporizadores analógicos.

### 27.3. FUNCIONAMIENTO

Para centrar la atención, exclusivamente, en el efecto temporizador, tomaremos por sencillez un interruptor, como activación de la señal de entrada, y un relé, como circuito a excitar tras la temporización.

#### ■ Temporizador a la activación

El circuito de la Figura 27.3 muestra un temporizador básico a la activación. Inicialmente  $C$  está descargado, ya que en caso de presentar alguna carga la habría perdido a través de la puesta a masa de  $S$ , que cumple ese cometido. En el momento de actuar sobre  $S$ , el

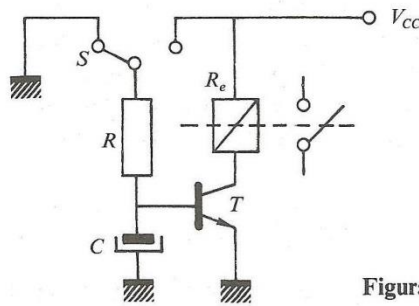


Figura 27.3. Temporizador a la activación básico.

condensador  $C$  es un cortocircuito; por tanto,  $T$  está en corte. A medida que transcurre el tiempo,  $C$  se irá cargando a través de  $R$  y llegará un momento en que la tensión en sus extremos sea suficiente para hacer conducir al transistor, excitando éste al relé, y activar (cerrar o abrir) sus contactos asociados, por lo que desde que se cerró  $S$  se ha retardado la activación del relé.

Si suponemos la tensión base-emisor necesaria para excitar al relé igual a  $0,7\text{ V}$ , podremos calcular el tiempo que tarda el condensador en adquirir dicha tensión de la siguiente forma:

$$V_C = V_{CC} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

$$0,7 = V_{CC} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

$$1 - \frac{0,7}{V_{CC}} = e^{-t/\tau}$$

tomando logaritmos

$$\ln \left( 1 - \frac{0,7}{V_{CC}} \right) = \frac{-t}{R \cdot C} \cdot \ln e$$

de donde

$$t = -\ln \left( 1 - \frac{0,7}{V_{CC}} \right) \cdot R \cdot C$$

que será el tiempo necesario para que el condensador adquiera los  $0,7\text{ V}$ .

De forma similar, si lo que se desea es diseñar un temporizador para un tiempo determinado, bastará fijar  $C$  para, posteriormente, calcular el valor del otro componente de la siguiente forma:

$$R = \frac{-t}{C \ln \left( 1 - \frac{0,7}{V_{CC}} \right)}$$

Para diseñar un temporizador variable entre dos tiempos  $t_1$  y  $t_2$ , supuesto  $t_1 > t_2$ , la expresión anterior se transforma en

$$R_{\min} = \frac{-t_2}{C \ln \left( 1 - \frac{0,7}{V_{CC}} \right)}$$

y

$$R_{\max} = \frac{-t_1}{C \ln \left( 1 - \frac{0,7}{V_{CC}} \right)}$$

modificando el circuito de manera que  $R$  se sustituya por una resistencia de valor  $R_{\min}$  en serie con un potenciómetro de valor  $P = R_{\max} - R_{\min}$  y dependiendo, por tanto, del ajuste de  $P$  se obtendrán temporizaciones comprendidas entre  $t_1$  y  $t_2$ .

### ■ Temporizador a la activación mejorado

El circuito visto anteriormente puede, a veces, presentar problemas de exactitud de temporización, debido a que el circuito base-emisor de  $T$  está en paralelo con  $C$ , por lo que se le está sometiendo simultáneamente a un proceso de carga y a otro de descarga, no siendo del todo exacto el proceso desarrollado anteriormente. Para resolver este inconveniente se empleará el circuito de la Figura 27.4, donde  $T_1$  está configurado como seguidor de emisor, lo que ofrece dos ventajas, elevar, por una parte, la impedancia de entrada y, por otra, el valor que ha de alcanzar  $V_C$ ; obteniendo, por tanto, mayores posibilidades de temporización.

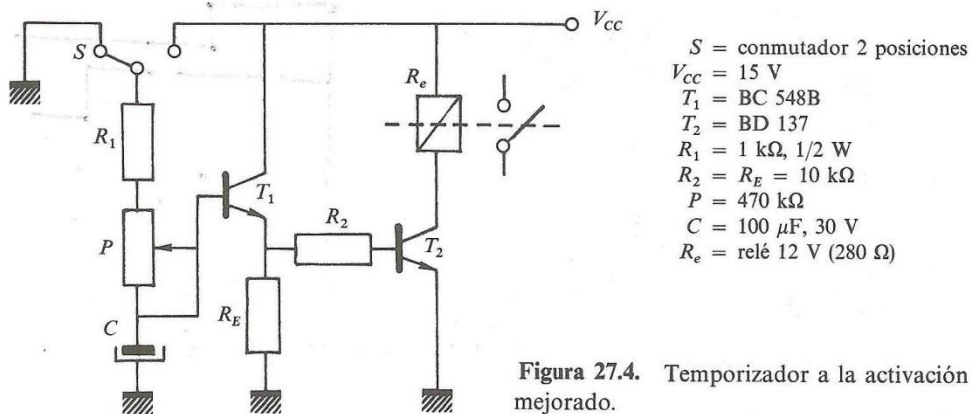


Figura 27.4. Temporizador a la activación mejorado.

El proceso de cálculo expuesto anteriormente es válido, si se tiene presente que  $V_C$  queda modificado de la siguiente forma. Supuestas las tensiones  $V_{BE}$  de  $T_1$  y de  $T_2$  iguales a 0,7 V y que  $T_2$  ha de estar en saturación para activar el relé, se obtiene de la malla de entrada de  $T_2$

$$V_{E1} = I_{B2} \cdot R_2 + 0,7$$

donde  $I_{B_2}$  habrá que buscarla a través de la resistencia interna del relé ( $R_e$ ) y de  $H_{FE\min}$  de la siguiente forma:

$$I_{B_2} = \frac{V_{CC}}{R_e \cdot H_{FE_2\min}}$$

considerando que con este valor de  $I_{B_2}$  el transistor  $T_2$  se satura, de donde analizando la malla de entrada de  $T_1$  obtenemos

$$V_C = 0,7 + V_E$$

o lo que es lo mismo,

$$V_C = 0,7 + (I_{B_2} \cdot R_2 + 0,7)$$

y, finalmente,

$$V_C = 1,4 + I_{B_2} \cdot R_2$$

### ■ Temporizador a la desactivación

Recordemos que se trata de retrasar la desactivación del relé una vez desaparecida la señal de excitación. En la Figura 27.5 se representa un circuito de este tipo.

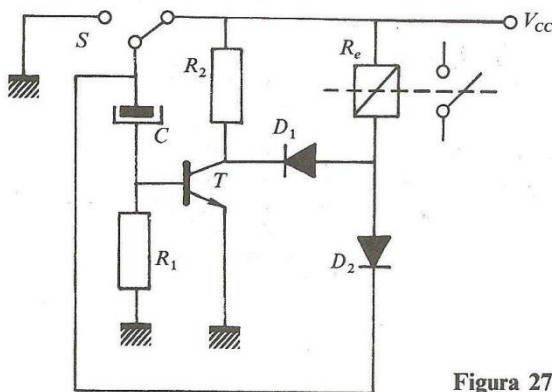


Figura 27.5. Temporizador a la desactivación.

Al activar la señal de entrada, con  $S$  en la posición representada, el diodo  $D_2$  se polariza directamente, excitando con ello al relé, en el que cae prácticamente toda la tensión  $V_{CC}$ . Mientras tanto  $D_1$  se encuentra polarizado inversamente, ya que  $T$  está al corte y, por tanto, su colector al potencial de  $V_{CC}$ . En tanto no se actúe sobre  $S$ , el circuito permanecerá en estas condiciones, es decir,  $R_e$  activado.

En el momento de actuar sobre  $S$ , el diodo  $D_2$  queda con su cátodo a potencial de  $V_{CC}$  y, por consiguiente, polarizado inversamente; a su vez  $D_1$  queda conectado prácticamente

a masa, ya que  $T$  ha pasado a saturación debido al cortocircuito que representa  $C$  al estar inicialmente descargado. Paulatinamente, el condensador irá adquiriendo carga a través de  $R_1$  y, llegado un momento, la tensión en extremos de  $R_1$  descenderá por debajo de  $0,7$  V, momento a partir del cual  $T$  deja de conducir y la tensión en su colector aumentará, con lo que el relé se desactivará.

De esta forma, hemos logrado retrasar la desconexión del relé desde que desapareció la señal de entrada un tiempo determinado por los valores de  $R_1$  y de  $C$ .

Al igual que en el temporizador a la activación, si tomamos una tensión base-emisor necesaria para excitar al relé igual a  $0,7$  V, tendremos que el condensador se habrá de cargar hasta una tensión

$$V_C = V_{CC} - 0,7$$

de donde

$$V_{CC} - 0,7 = V_{CC} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

$$\frac{V_{CC} - 0,7}{V_{CC}} - 1 = e^{-t/\tau}$$

$$\frac{0,7}{V_{CC}} = e^{-t/\tau}$$

y tomando logaritmos

$$\ln 0,7 - \ln V_{CC} = \frac{-t}{R_1 \cdot C}$$

De igual forma que en el caso anterior, si se busca una temporización determinada, conocido  $t$  y fijando  $C$ , tendremos que

$$R_1 = \frac{-t}{C(\ln 0,7 - \ln V_{CC})}$$

y, finalmente, si se desea una temporización variable, basta proceder como en el temporizador a la activación para saber los valores extremos de la resistencia total de carga de  $C$ .

### ■ Temporizador a la desactivación mejorado

El circuito de la Figura 27.5 presenta, además del inconveniente conocido del temporizador a la activación básico, otro mucho más serio y es que al estar  $C$  inicialmente descargado, toda la tensión  $V_{CC}$  cae en extremos de  $R_1$ , con lo que la base de  $T$  queda directamente conectada a  $V_{CC}$  y el riesgo de destrucción de  $T$  es muy elevado. Para evitar estos inconvenientes se conecta una resistencia en serie con la base de  $T_2$ , tal como muestra el circuito de la Figura 27.6, que habrá de ser tenida en cuenta a la hora de



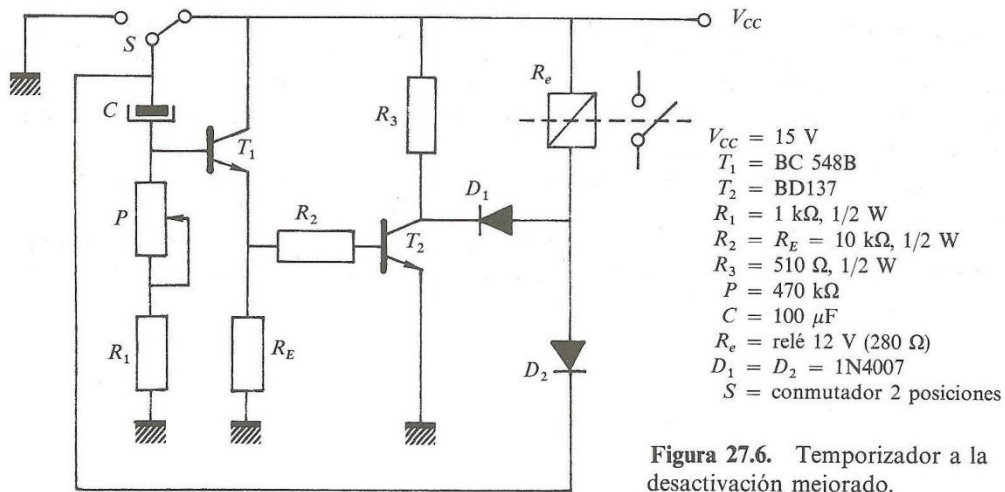


Figura 27.6. Temporizador a la desactivación mejorado.

calcular el temporizador, como se vio anteriormente. A la hora de calcular dicha resistencia, se ha de tomar  $C$  como un cortocircuito y considerar en ese caso la corriente que circula por la base de  $T_2$  sea inferior a la máxima especificada por el fabricante. No es necesario una resistencia en la base de  $T_1$ , ya que queda protegido porque en su configuración la tensión de emisor es ligeramente inferior a la de base.

Supongamos que, nuevamente, la tensión base-emisor de ambos transistores es igual a  $0,7 \text{ V}$  y que  $T_2$  ha de estar en saturación para activar al relé. En estas condiciones, tendremos que si en el caso del temporizador a la activación mejorado, la tensión de base de  $T_1$ , o en extremos de  $C$ , tenía que ser

$$V_C = 1,4 + I_{B_2} \cdot R_2$$

en éste será

$$V_{(R_1+P)} = 1,4 + I_{B_2} \cdot R_2$$

y como la tensión en extremos de  $(R_1 + P)$  es la que determina la desexcitación del relé, tendremos que

$$V_C = V_{CC} - V_{(R_1+P)}$$

será el valor al que se tenga que cargar  $C$  para provocar la desactivación del circuito. De esta forma, una vez conocida  $V_C$  sólo se hace necesario proceder a calcular las resistencias como ya es conocido.

■ Temporizador a la activación-desactivación

Como ya se dijo es la combinación de dos temporizadores, uno a la activación y otro a la desactivación, luego una vez conocidos éstos nos preocuparemos de interconectarlos adecuadamente para conseguir el funcionamiento deseado.

La Figura 27.7 presenta dicho circuito, donde se puede apreciar que se ha sustituido  $D_2$  del temporizador a la desactivación por un temporizador a la activación, luego está claro que en lugar de obtener la activación del relé simultáneamente con la actuación sobre  $S$ , ahora se introduce un retardo generado por dicho temporizador, bloque 1 de la Figura 27.7. Al desconectar la señal de entrada mediante  $S$ , su acción sobre la señal de salida se retardará por el efecto del temporizador a la desactivación, bloque 2 de la misma figura.

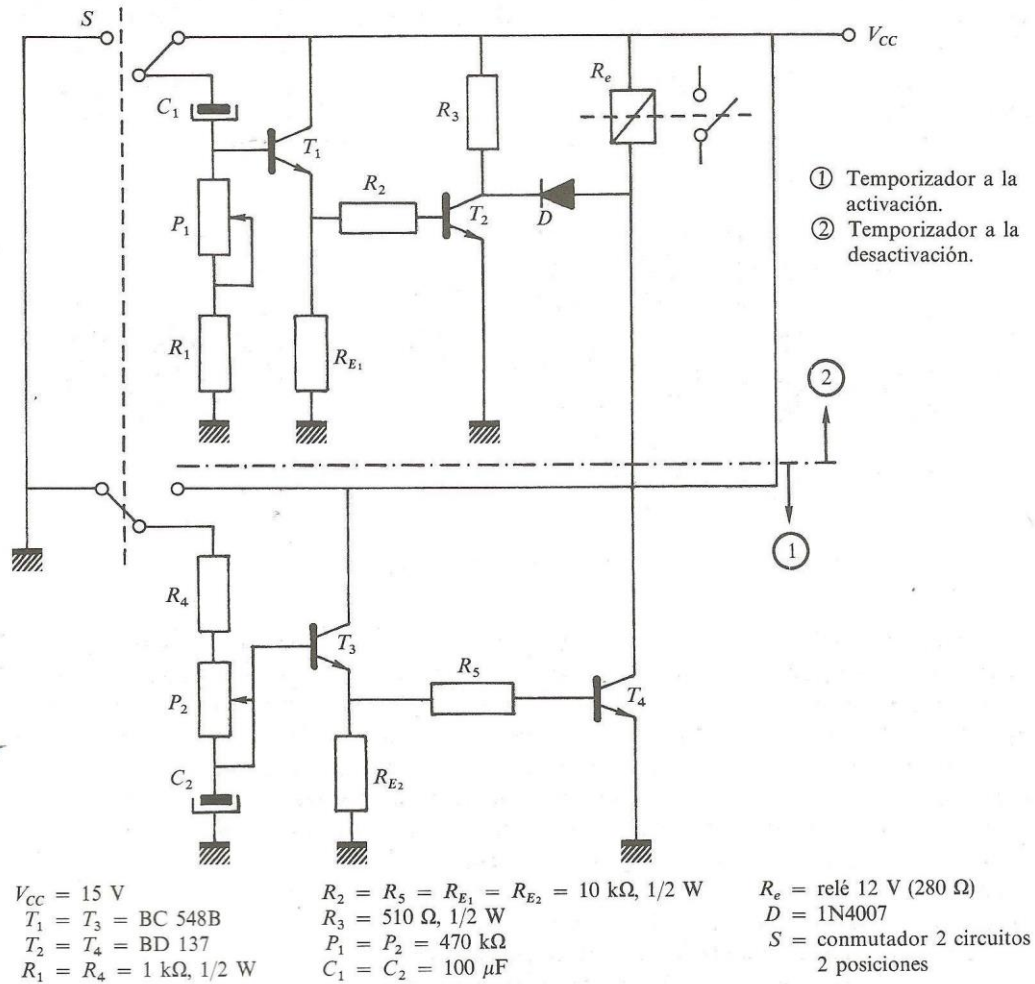


Figura 27.7. Temporizador a la activación-desactivación.

## 27.4. CONSIDERACIONES GENERALES

Anteriormente se dijo que por sencillez tomábamos un interruptor como señal de entrada y un relé como etapa a excitar. En cada caso particular, tanto la señal de entrada como la etapa a excitar presentarán características específicas y como tales habrán de ser tratadas; no obstante, para el caso que nos ocupa en cuanto a la etapa de salida, se hace necesario hacer ciertas consideraciones sobre los relevadores electro-magnéticos o relés que son los empleados.

Un relé, básicamente, está constituido por una bobina en cuyo interior se ha colocado como núcleo un material capaz de imantarse en presencia de un campo magnético. Cuando dicho material, generalmente hierro dulce, se imanta, atrae a una palanca que pivota sobre un soporte y que activa uno o varios contactos, que pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados. Al desaparecer la imantación, la palanca vuelve a su posición de reposo forzada por la acción de un muelle. La Figura 27.8 muestra la estructura básica de un relé y su símbolo, donde la línea a trazos representa el acoplamiento mecánico entre el relé propiamente dicho y los contactos, que se representan en su condición de reposo, es decir, desactivados. En este caso, se han representado dos pares de contactos *NC* y otros dos *NA*, con un punto común entre cada contacto *NC* y *NA*.

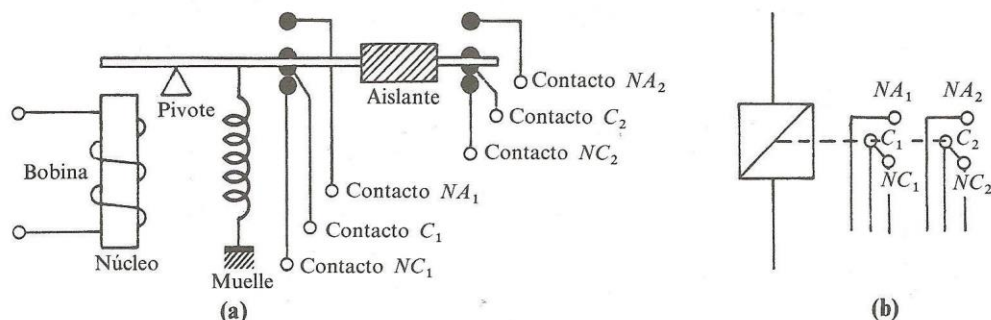


Figura 27.8. El relé electro-magnético: (a) Estructura básica. (b) Símbolo.

Cuando la bobina es recorrida por una corriente eléctrica genera un campo magnético proporcional a la corriente que la recorre, se hace, pues, necesario aplicar una d.d.p. determinada entre sus extremos para poder vencer la resistencia mecánica que ejerce el muelle. Ahora bien, una vez activado el relé, si se disminuye la tensión aplicada y, por tanto, la corriente hasta un valor sensiblemente inferior al de excitación, el relé aún continuará activado, ello es debido a la llamada **histéresis magnética** que se origina por la oposición que presentan las partículas que componen el núcleo a un cambio de orientación.

En resumen, un relé se excita (o se arma como también se le llama), a una tensión superior a la que se desarma. Además, los fabricantes dan una tensión nominal superior a la de excitación real, con el fin de asegurar la excitación en todos los casos.

Se han de tener en cuenta las circunstancias expuestas a la hora de diseñar temporizadores con relés, debiendo proceder, en primer lugar, a estudiar las características concretas del relé a utilizar.

### 27.5. PROCESO OPERATIVO

1. Estudiar el relé a utilizar en la práctica, identificando el número y tipo de contactos, así como los terminales de la bobina.
2. Conectar una f.a. entre los extremos de la bobina. Aumentar lentamente la tensión desde 0 hasta obtener la excitación del relé. Disminuir lentamente la tensión hasta que se desactive. Anotar ambos valores. Repetir varias veces estas medidas, y establecer las tensiones de excitación y desexcitación como la media de las medidas anteriores.
3. Conectar el circuito de la Figura 27.4. Ajustar  $P$  al mínimo. Conectar  $V_{CC}$  y actuar sobre  $S$ . Cronometrar el tiempo que tarda el relé en armarse. Anotar dicho valor en la Tabla 27.1. Abrir  $S$  y cronometrar el tiempo que tarda el relé en desexcitarse.
4. Conectar el osciloscopio en modo c.c. entre extremos de  $C$ . Cerrar nuevamente  $S$  y observar cómo aumenta  $V_C$ . Anotar el valor final de  $V_C$  en la Tabla 27.1. Abrir  $S$ .
5. Ajustar  $P$  a su máximo valor. Repetir los puntos 3 y 4 anotando los resultados en la misma tabla.
6. Montar el circuito de la Figura 27.6. Repetir los puntos anteriores anotando los resultados en la Tabla 27.2 y sustituyendo las medidas en extremos de  $C$  por las mismas en extremos de  $(R_1 + P)$ .
7. Conectar el circuito de la Figura 27.7. Ajustar los dos potenciómetros al mínimo y situar  $S$  en la posición indicada en la figura. Cambiar la posición de  $S$  y realizar las medidas de tiempo necesarias para completar los valores correspondientes de la Tabla 27.3.
8. Cambiar la posición de  $S$  y medir el tiempo de desactivación.
9. Ajustar ambos potenciómetros a su máximo valor y repetir las operaciones necesarias para completar la Tabla 27.3.

Tabla 27.1.

	Tiempo de activación	Tiempo de desactivación	$V_C$
$P = \text{mínimo}$			
$P = \text{máximo}$			

Tabla 27.2.

	Tiempo de activación	Tiempo de desactivación	$V_C$
$P = \text{mínimo}$			
$P = \text{máximo}$			

Tabla 27.3.

	Tiempo de activación	Tiempo de desactivación
$P_1 = P_2 = \text{mínimo}$		
$P_1 = P_2 = \text{máximo}$		

## CUESTIONES

1. Establecer las diferencias entre un temporizador a la activación y uno a la desactivación.
2. ¿Cuál es la misión de  $D_2$  en el temporizador de la Figura 27.6? Predecir los resultados si dicho diodo se cortocircuita.
3. ¿Cuál es la función del diodo en el circuito de la Figura 27.7?
4. Explicar brevemente por qué no coinciden las tensiones de excitación y desexcitación de un relé.
5. ¿Tendría sentido un temporizador a la desactivación-activación? Razonar la respuesta.

## CONCLUSIONES

- Un temporizador es un dispositivo capaz de introducir un retardo entre dos operaciones que de no mediar dicho dispositivo ocurrirían de forma simultánea.
- Existen tres tipos de temporizadores: a la activación, a la desactivación y a la activación-desactivación.
- Los temporizadores analógicos estudiados en esta práctica basan su funcionamiento en el efecto de carga de un condensador a través de una resistencia, pudiendo controlar el tiempo que tarda en cargarse dicho condensador.
- Las señales que excitan a un temporizador han de ofrecer niveles bien diferenciados, generalmente que exista presencia o ausencia de dicha señal.