

Preguntas Más Frecuentes Tema 7

Contenido

- P.7.1: Tengo dificultades en entender la carga y descarga de un condensador. ¿Podrían explicármelo? . 2
- P.7.2: ¿Cómo podemos saber la expresión matemática de la tensión en los extremos de un Condensador en un instante determinado? 5
- P.7.3: ¿Pueden aclarar cómo se carga y descarga el condensador del Monoestable de la figura 10.3 del texto? 6
- P.7.4: ¿Qué función realizan los diodos D1 y D2 en el Monoestable discreto de la figura 10.4? 9
- P.7.5: ¿Qué diferencia hay entre un Monoestable que se dispara por un pulso y un Biestable T básico (sin reloj) que cada vez que a la entrada le llega un pulso cambia de estado? 13
- P.7.6: No entiendo bien las formas de la señal de salida, Q, del biestable T en el problema 10.1 del libro de problemas. ¿Por qué en la solución se distinguen dos casos en función del tiempo que dura el pulso del monoestable con respecto al periodo del reloj? 14
- P.7.7: En el esquema del circuito de tiempo tipo 555 aparece un comparador analógico ¿Cómo funcionan estos comparadores? 16
- P.7.8: En este tema aparece un transistor BIPOLAR y otro MOS ¿Cómo funcionan estos transistores?.. 17
- P.7.9: Me resulta difícil entender la figura 10.10 en la que se representa en un mismo esquema las dos configuraciones del circuito de tiempo 555, la del Astable y la del Monoestable en función de la posición de dos interruptores. ¿Cómo son los circuitos resultantes? 21
- P.7.10: ¿Cómo se calculan los valores de las resistencias y del condensador en el diseño de un astable mediante un circuito de tiempo tipo 555, si tenemos tres incógnitas y sólo dos ecuaciones? 22
- P.7.11: ¿Por qué cuando se quiere obtener un tren de pulsos en el que el tiempo de alta coincida con el tiempo en baja se usa un diodo en paralelo con R_B ? 23
- P.7.12: ¿Se puede obtener una onda cuadrada con el 555 sin necesidad de usar el diodo? 25

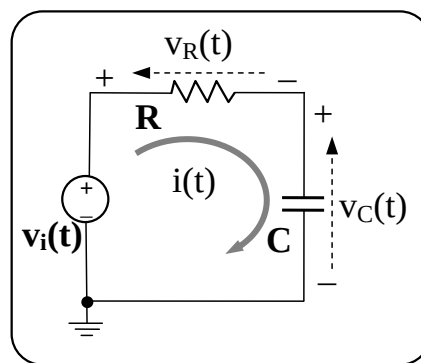
P.7.1: Tengo dificultades en entender la carga y descarga de un condensador. ¿Podrían explicármelo?

R.7.1: Las expresiones de la carga, $Q(t)$, y de la corriente, $i_C(t)$, en un condensador vienen dada por:

$$Q(t) = C v_C(t)$$

$$i_C(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = C \frac{dv_C(t)}{dt}$$

Veamos las ecuaciones de un circuito R-C como el de la siguiente figura:



En este circuito se verifica que:

$$v_i(t) = v_R(t) + v_C(t)$$

$$i(t) = i_R(t) = i_C(t)$$

Las expresiones de las corrientes que pasan por la resistencia, $i_R(t)$ y por el condensador, $i_C(t)$, son:

$$i_R(t) = \frac{v_i(t) - v_C(t)}{R}, \quad i_C(t) = C \frac{dv_C(t)}{dt}$$

Por tanto:

$$i(t) = \frac{v_i(t) - v_C(t)}{R} = C \frac{dv_C(t)}{dt}$$

$$v_i(t) = R \cdot i(t) + v_C(t) = RC \frac{dv_C(t)}{dt} + v_C(t)$$

Por consiguiente, para obtener la expresión de $v_C(t)$ y ver cómo varía la tensión entre los terminales del condensador tenemos que resolver la siguiente ecuación diferencial:

$$v_i(t) = RC \frac{dv_C(t)}{dt} + v_C(t),$$

Veamos primero la solución de la ecuación diferencial cuando la señal de entrada, $v_i(t)$, toma un valor constante, por ejemplo V_{CC} .

La solución de esta ecuación diferencial de coeficiente constantes es de la forma:

$$v_c(t) = A \cdot e^{-t/RC} + B$$

Siendo A y B dos constantes de integración que debemos calcular a partir de las condiciones iniciales de t y $v_c(t)$.

Como tenemos dos constantes a identificar, necesitamos dos condiciones de contorno y estas son las condiciones iniciales y finales de la diferencia de potencial entre los terminales del condensador. Así:

En $t=0$ suponemos que el condensador está descargado. Por lo que tanto, $v_c(0) = 0$

En $t \rightarrow \infty$ el condensador se ha cargado a la máxima tensión, V_{CC} . Por lo tanto, $v_c(t \rightarrow \infty) = V_{CC}$

Sustituyendo estos valores en la solución de la ecuación diferencial obtendremos los valores de las constantes de integración. Así, este caso concreto tenemos:

$$v_c(0) = A \cdot e^{-0} + B = 0; \quad A + B = 0; \quad A = -B$$

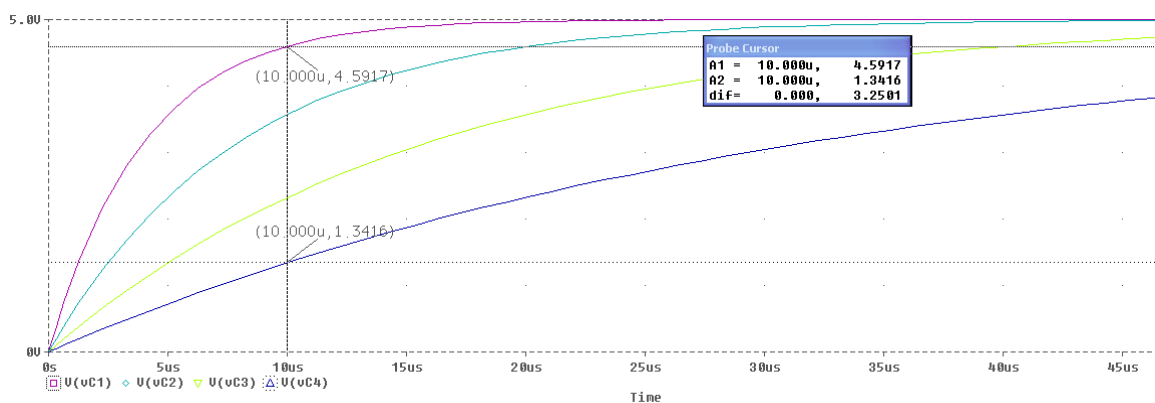
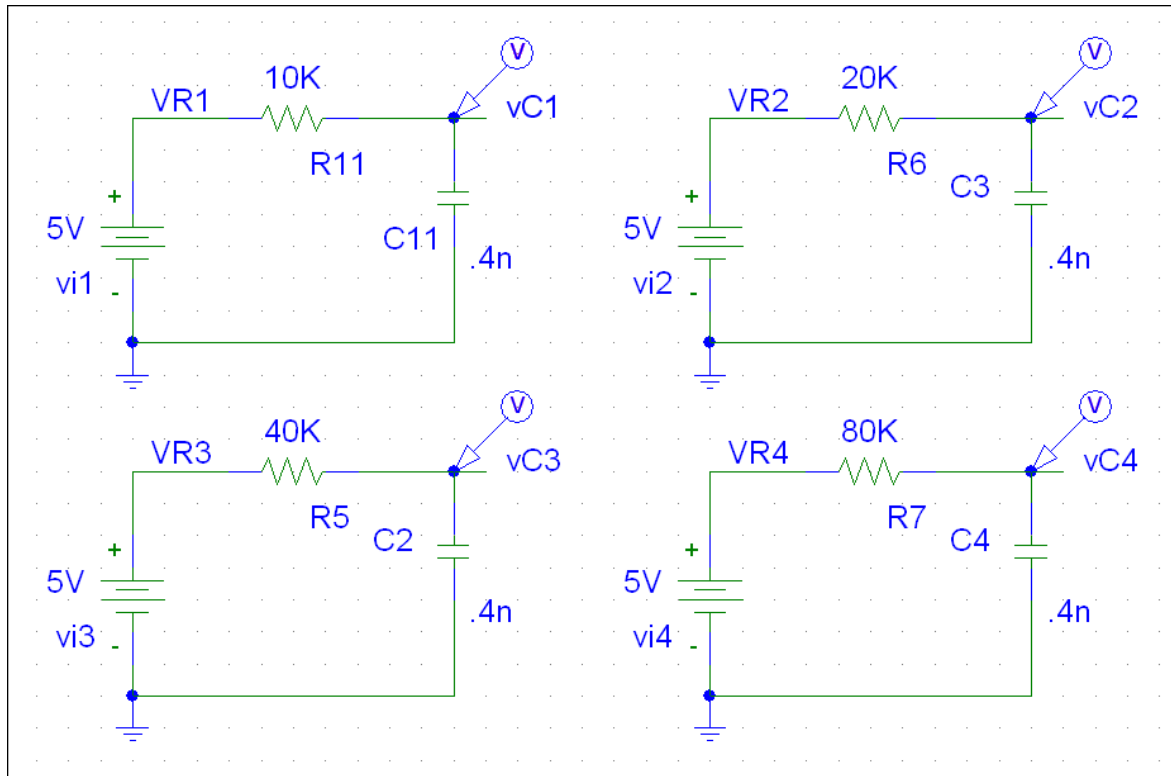
$$v_c(t \rightarrow \infty) = A \cdot e^{-\infty} + B = A \cdot 0 + B = V_{CC}; \quad B = V_{CC}$$

Por tanto:

$$v_c(t) = V_{CC}(1 - e^{-t/RC})$$

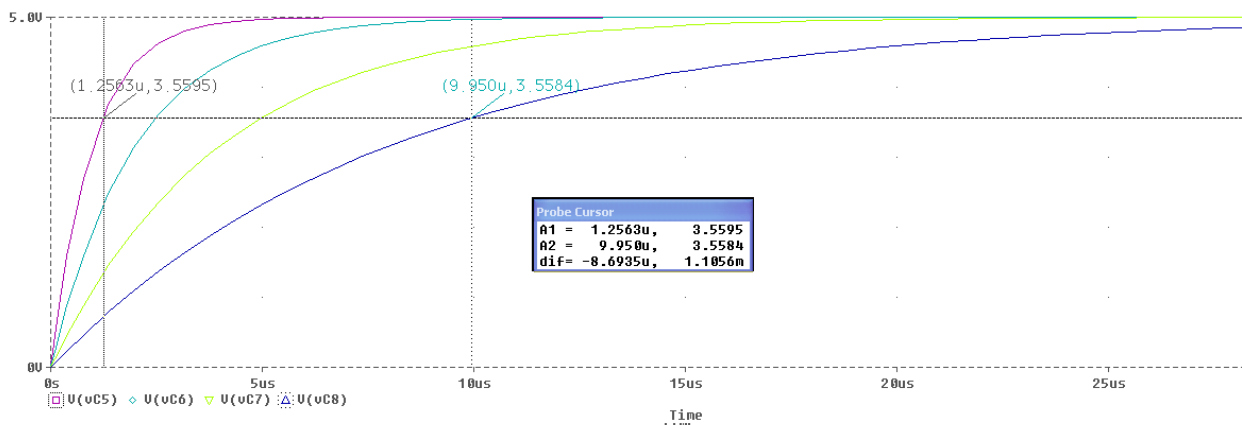
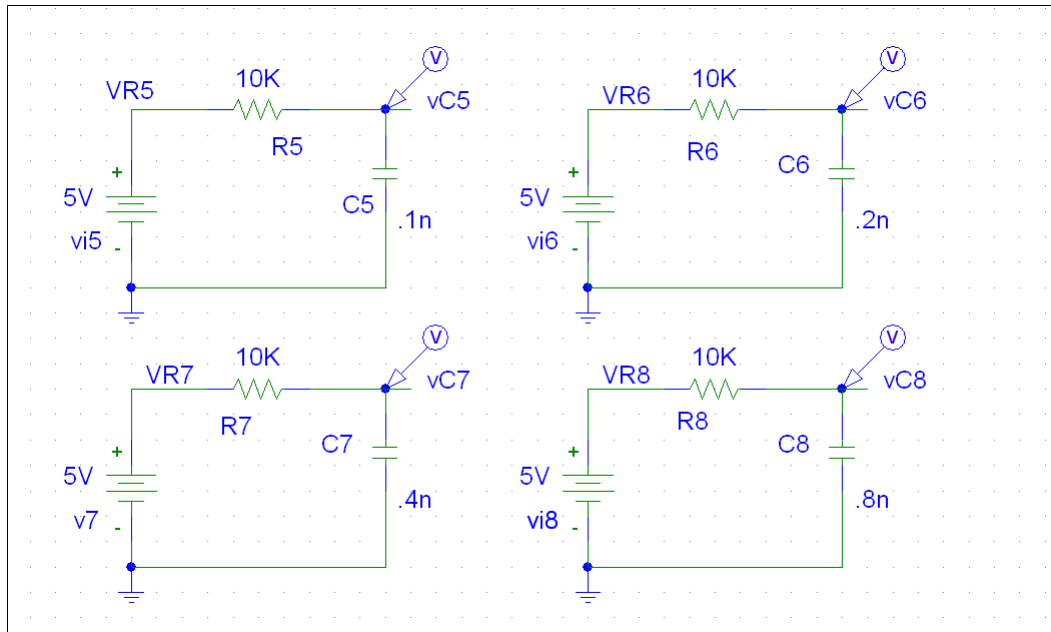
Como podemos observar, en la carga/descarga del condensador intervienen dos factores: Por una parte la exponencial, que depende del producto RC que es la constante de tiempo ($\tau = RC$) de carga/descarga del circuito RC de la figura y que controla la pendiente con la que va aumentando la tensión entre los terminales del condensador. El otro factor es el tiempo que duran dichos procesos de carga/descarga. Es decir, si este tiempo es grande se cargará mucho, (pudiendo llegar a ser V_{CC} que es el valor constante de la señal de entrada) y si es pequeño se cargará menos (hasta un valor intermedio entre $0V$ y V_{CC}).

En las siguientes figuras presentamos los procesos de carga del condensador de este circuito RC para diferentes valores de R y C . En la primera dejamos fijo el valor de C y variamos el de R .



Como podemos observar en las gráficas, cuanto mayor es la R , mayor es la constante de tiempo, τ , menor es la pendiente y más tiempo tarda en cargarse porque lo hace a través de una mayor impedancia que hace que la corriente que circula sea menor. Además, vemos que para un tiempo $t=10\mu s$, la tensión entre los terminales del condensador tiene un valor distinto y que es función de τ .

Si hacemos la simulación variando los valores de C y dejando constante el valor de R , resulta:



Análogamente, cuanto mayor es la C , también es mayor τ , menor es la pendiente y más tiempo tarda en cargarse.



P.7.2: ¿Cómo podemos saber la expresión matemática de la tensión en los extremos de un Condensador en un instante determinado?

R.7.2: Vamos a calcular la expresión general de la tensión entre los terminales del condensador en un determinado tiempo, t , distinto de 0 y de ∞ y en función de valores intermedios de carga que no tienen por qué ser $v_C(t) = 0$, ni $v_C(t) = V_{CC}$.

Vamos a llamar $V_{inicial}$ al valor de la tensión entre los terminales del condensador en el instante inicial, $t=0$, y V_{final} al valor de la tensión entre los terminales del condensador en el instante final, t_{final} (en general, estos valores dependen del problema concreto a resolver y, o son datos del problemas o se calculan a partir de otros datos).

Recordemos que la solución general de la ecuación diferencial era:

$$v_C(t) = A \cdot e^{-t/RC} + B$$

Lo único que ha cambiado ahora son las condiciones iniciales, ya que ahora se debe verificar que:

$$v_C(t=0) = V_{inicial} = A \cdot e^{-0} + B; \quad A + B = V_{inicial}$$

$$v_C(t_{final}) = V_{final}$$

Si consideramos que este tiempo es lo suficiente grande como para que

$$e^{-t/RC} \rightarrow 0, \text{ podemos poner que } v_C(t_{final}) = V_{final} = B$$

Por tanto, obtenemos los valores de las constantes de integración resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} A + B = V_{inicial} \\ V_{final} = B \end{cases}$$

Así, obtenemos:

$$\begin{cases} A = V_{inicial} - V_{final} \\ B = V_{final} \end{cases}$$

Finalmente, si sustituimos los valores de estas constantes en la solución de la ecuación diferencial, obtenemos la expresión general de la tensión entre los extremos de C:

$$v_C(t) = (V_{inicial} - V_{final}) \cdot e^{-t/RC} + V_{final}$$

Esta expresión la usamos, por ejemplo, para conocer la tensión entre los extremos del C de un circuito RC en un determinado instante, t_1 , a partir del valor de carga que ya tiene el condensador ($V_{inicial}$) y el valor al que tiende (V_{final}). Así, tendremos:

$$v_C(t_1) = (V_{inicial} - V_{final}) \cdot e^{-t_1/RC} + V_{final}$$

(NOTA: Esta ecuación es la que usamos en el análisis del circuito de la figura 10.8 del apartado 10.3 del texto base).



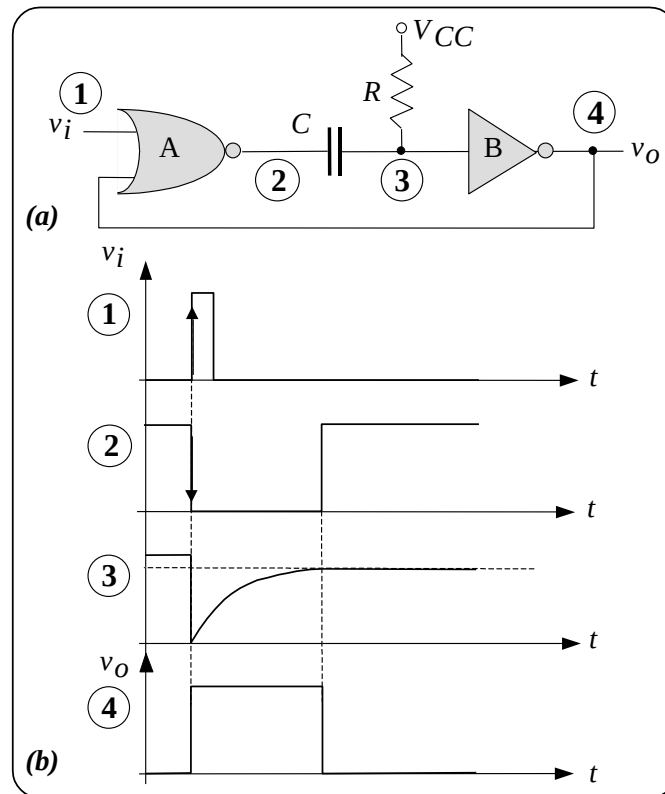
P.7.3: ¿Pueden aclarar cómo se carga y descarga el condensador del Monoestable de la figura 10.3 del texto?

R.7.3: Veamos el funcionamiento del circuito monoestable de la figura 10.3 del texto base que, por comodidad, repetimos a continuación. El funcionamiento de este circuito está explicado paso a paso en el vídeo del tema 7.

Para entender el funcionamiento de este circuito es importante tener claro el funcionamiento del condensador (ver preguntas más frecuentes anteriores, P.7.1 y P.7.2), sobre todo los siguientes puntos:

- Para ver la carga y descarga del C hay que tener en cuenta la diferencia de potencial (d.d.p.) entre sus terminales.

- Recordar que el C responde a los cambios de tensión, ya que la corriente que circula por él, $i_C(t) = C \, dv_C(t)/dt$, es proporcional a la variación de la d.d.p. entre sus terminales con el tiempo, es decir, es proporcional a la pendiente de la señal $v_C(t)$. Esto supone que, si en un instante determinado hay un cambio brusco en el potencial de uno de sus terminales, este cambio se transmite de igual forma al otro terminal.



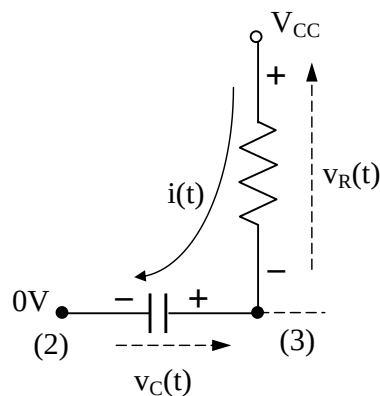
Veamos el funcionamiento del circuito.

Inicialmente tanto la entrada, punto (1), como la salida (4) están en "0". Esto supone que la salida de la puerta NOR, punto (2), está en "1". Por otra parte, si la salida del circuito, que coincide con la del inversor, está en 0, el punto (3) que coincide con la entrada del inversor tiene que estar en "1". Así, tanto la resistencia como el C tienen sus dos terminales a 1, luego por ellos no circula ninguna corriente y el condensador está descargado.

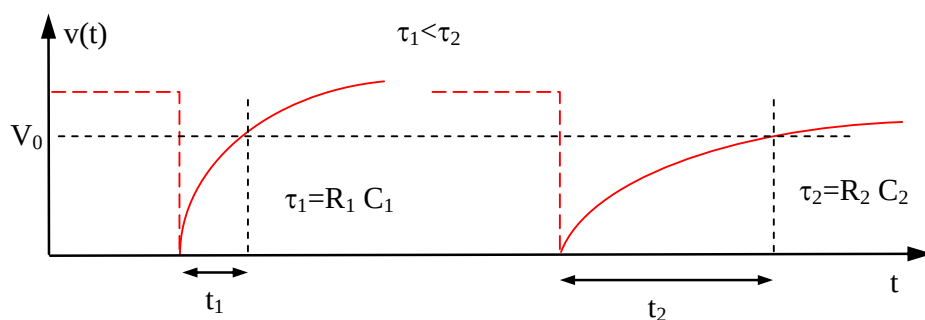
En un instante determinado se produce el pulso de disparo del monoestable en la entrada v_i . Este "1" en v_i hace que la salida de la puerta NOR pase a "0", es decir, la tensión en el punto (2) cae a cero y el condensador que responde a los cambios bruscos de tensión transmite esta caída a la entrada del inversor, pasando el punto (3) a "0" y, consecuentemente, el punto (4) que es la salida del inversor pasa a "1".

Si analizamos la red R - C vemos que ahora entre los terminales de la R cae una diferencia de potencial ($\approx V_{CC}$) pues su terminal superior está en V_{CC} y el inferior (punto 3) está en "0". Esto hace que por R y C empiece a circular una corriente, $i(t)$, y el condensador se va cargando exponencialmente hacia V_{CC} con una constante de tiempo $\tau = RC$. Conforme el condensador se va cargando va aumentando el potencial del punto (3). Cuando este potencial ha aumentado lo suficiente como para que alcance el valor de

tensión correspondiente al “1” lógico, el inversor cambia de estado y pasa su salida (4) a “0”.



Lógicamente, conforme el C se va cargando, va aumentando la d.d.p. entre sus terminales y la d.d.p. entre los terminales de la R va disminuyendo en la misma proporción, ya que $v_C(t) + v_R(t) = V_{CC}$. La forma en la que el potencial del punto (3) va aumentando depende de la constante de tiempo, $\tau = RC$ que controla la pendiente de la curva. Cuanto mayor es la constante de tiempo, menor es la pendiente y más tiempo tarda en alcanzar el mismo valor de tensión (la correspondiente al “1” lógico), como se muestra en la siguiente figura. Por tanto, podemos controlar el ancho del pulso del monoestable variando la constante de tiempo, es decir variando la R y/o la C.



Siguiendo con la descripción del funcionamiento del circuito, el “0” del punto (4) pasa a través de la realimentación a la entrada de la puerta NOR que, dado que el pulso de disparo es muy estrecho, ya tiene su otra entrada también a “0” porque el pulso de disparo ya ha desaparecido, esto hace que, de nuevo, la salida de la puerta NOR pase a su estado inicial de “1”. Con esto, el circuito está en las mismas condiciones del inicio, en la que el C tiene sus dos terminales al mismo potencial y el monoestable está en su estado estable, donde permanece hasta que le llegue otro pulso de disparo.

Cuando le llega otro pulso de disparo, de nuevo, el punto (2) pasa de “1” a “0”, cambio que se transmite por el condensador al terminal (3) pasando este punto a “0” y el condensador se descarga a través de la impedancia de entrada del inversor y se repite todo el proceso.

Resumiendo, el monoestable genera un pulso cuya duración, t_m , depende de la constante de tiempo, $\tau = RC$, que controla el tiempo que tarda el condensador en alcanzar la

tensión correspondiente al “1” lógico y es el tiempo que el monoestable está en el **estado metaestable**.



P.7.4: ¿Qué función realizan los diodos D1 y D2 en el Monoestable discreto de la figura 10.4?

R.7.4: Para entender la función que realizan estos diodos en el circuito del monoestable es imprescindible que tengamos claro el comportamiento de este dispositivo en función de la tensión aplicada entre sus terminales.

Este conocimiento es objeto de estudio de la asignatura de Fundamentos Físicos de la Informática, sin embargo vamos a empezar resumiendo dicho funcionamiento con el fin de que nos resulte más fácil explicar y entender la función que cumplen los diodos en el circuito de la figura 10.4.

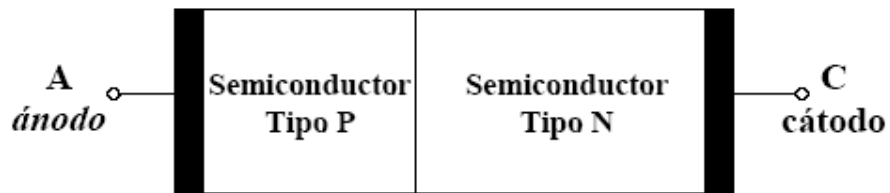
Aunque el capítulo 2 del texto base no es objeto de examen de esta asignatura, recomendamos leer el apartado 2.3 con el fin de tener un conocimiento más general y completo de dicho dispositivo.

El **diodo** es un dispositivo semiconductor que posee dos terminales llamados ánodo y cátodo y que, como consecuencia de tener una estructura física asimétrica (unión de un semiconductor tipo P con otro tipo N), tiene un comportamiento también asimétrico de forma que, conduce o no conduce en función de la polaridad de la tensión aplicada entre sus dos terminales. Así, cuando la tensión del ánodo (semiconductor tipo P) supera a la del cátodo (semiconductor tipo N) en el valor de la tensión de despegue de la unión P-N ($V_\gamma \approx 0,5V - 0,7V$) el dispositivo conduce, decimos que está **polarizado en directa** y se caracteriza porque presenta muy baja impedancia ($r_d \approx 0$, casi un cortocircuito). Por el contrario, cuando la tensión del ánodo es menor que la del cátodo el diodo no conduce, está **polarizado en inversa** y presenta muy alta impedancia ($r_i \rightarrow \infty$, casi un circuito abierto).

Este comportamiento es el que se presenta resumido en la siguiente figura en la que hemos añadido a la figura 2.6 del texto su símbolo y su estructura física con el fin de tener toda la información en una única figura. Como podemos ver, se representan los circuitos equivalente y las características V-I que resumen su comportamiento tanto para el caso del dispositivo real con polarización directa e inversa, como para el caso del dispositivo ideal en el que se simplifica su comportamiento, hasta el punto de que queda reducido a un cortocircuito ($r_d \approx 0$) o a un circuito abierto ($r_i \rightarrow \infty$).

DIODO

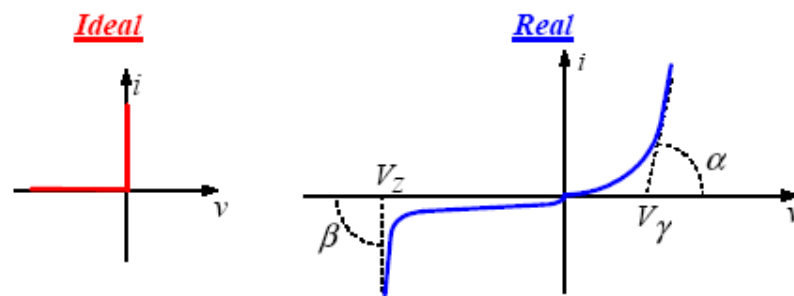
Estructura Física



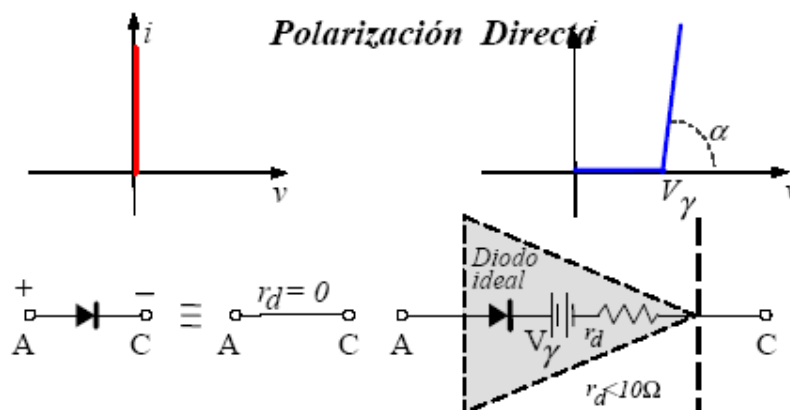
Símbolo



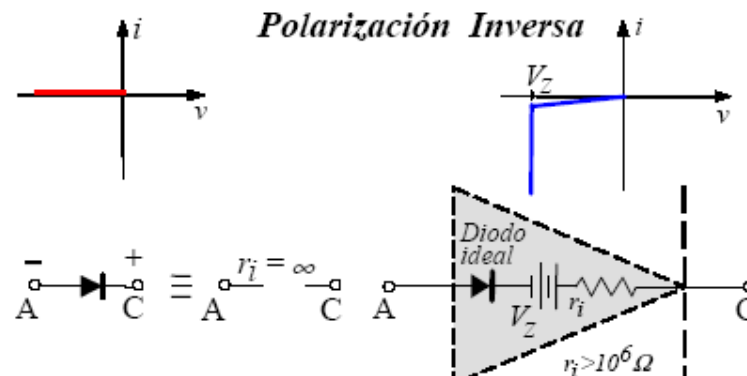
Características V-I



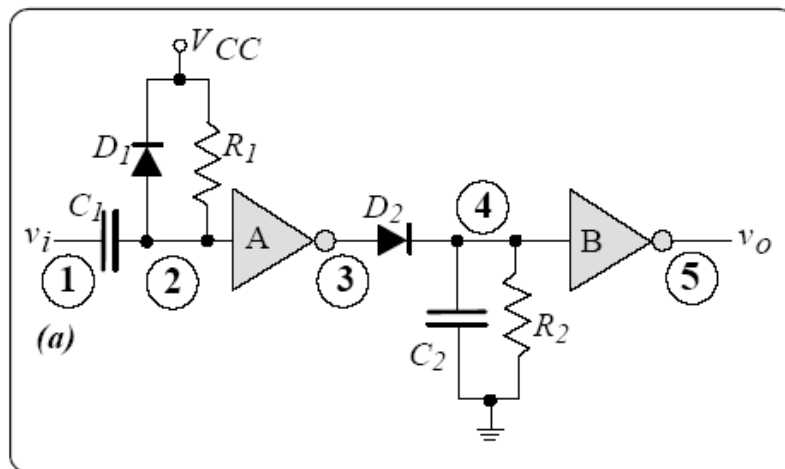
Polarización Directa



Polarización Inversa



Veamos la función que realizan los diodos D_1 y D_2 en el circuito de la figura 10.4 del texto y que mostramos a continuación.



Diodo D1: La principal función del diodo D_1 es hacer que la tensión máxima en la entrada del inversor A sea prácticamente la tensión de alimentación, V_{CC} .

Esta función la realiza cuando aparece la subida del pulso de disparo en v_i debido a que esta subida se transmite por el condensador, C_1 (recordemos que el condensador responde a los cambios bruscos de tensión y los transmite desde uno de sus terminales al otro). Por tanto, si en el ánodo del diodo aparece un pulso de valor superior a V_{CC} , el ánodo de D_1 está a un potencial mayor que el cátodo y está polarizado en directa. Esto hace que D_1 pase a conducción y que entre sus extremos caiga la tensión de despegue de la unión P-N ($V_\gamma \approx 0,5V - 0,7V$) y presente muy baja impedancia. Así, la tensión en la entrada del inversor A, como mucho, toma el valor:

$$V_{CC} + V_\gamma = 5V + 0,7V = 5,7V.$$

Además, puesto que presenta muy baja resistencia ($\approx r_d$) el exceso de carga de C_1 se pierde en muy poco tiempo, ya que su constante de tiempo es muy pequeña ($\tau = r_d C_1$). Obsérvese que el condensador C_1 se descarga a través de R_1 en paralelo con la resistencia del diodo, r_d . Como la resistencia del diodo en conducción es muy pequeña frente a R_1 , la resistencia equivalente de estas dos resistencias en paralelo es prácticamente la del diodo. En efecto,

$$R_1 // r_d = R_1 r_d / (R_1 + r_d), \quad (// \text{ forma de abreviada de expresar "en paralelo"})$$

Si $r_d \ll R_1$ podemos despreciar en el denominador la r_d frente a R_1 y nos queda que:

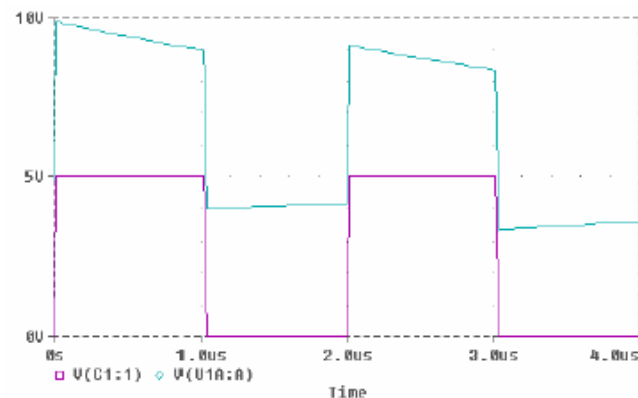
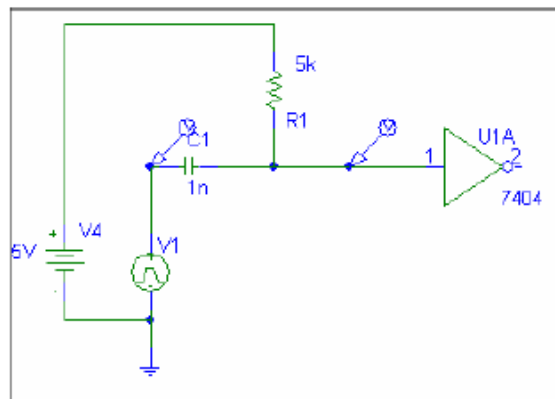
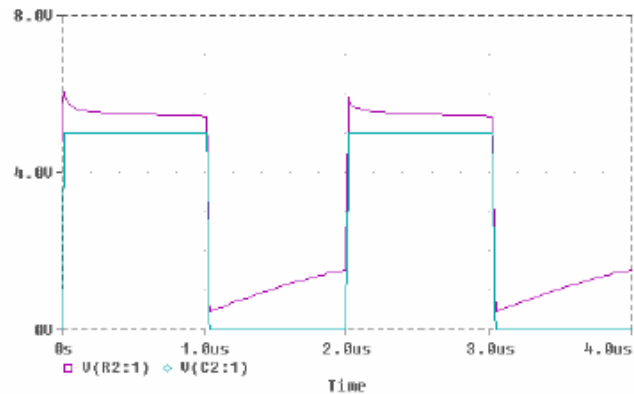
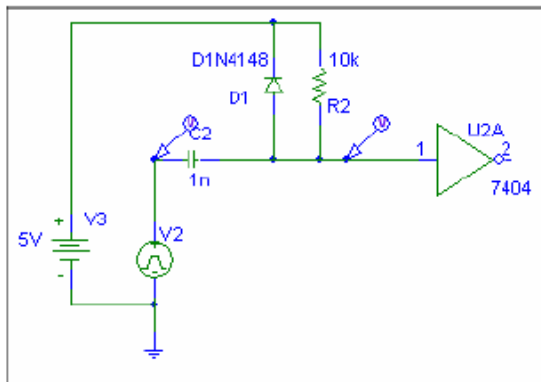
$$R_1 // r_d \approx R_1 r_d / R_1 \approx r_d$$

Por tanto, en esta situación es como si R_1 no existiera y el diodo, D_1 impide que la subida del pulso de v_i pase al inversor A.

Por el contrario, cuando en v_i se produce la bajada del pulso, este se transmite a través del condensador y como ahora el ánodo de D_1 está a una tensión más baja que el cátodo, D_1 está polarizado en inversa, no conduce, presenta muy alta impedancia, lo que equivale a un circuito abierto (es como si no estuviera) y sólo actúa la resistencia que tiene en

paralelo, R_1 . Esto permite que el condensador C_1 se cargue hacia V_{CC} con una constante de tiempo $\tau = R_1 C_1$ y con el potencial más alto en la placa de la derecha.

Con el fin de mostrar la diferencia de comportamiento de esta parte del circuito, con diodo y sin él, hemos realizado las simulaciones que presentamos a continuación.



Como podemos comprobar los pulsos que llegan a la entrada del inversor en el caso del circuito con el Diodo D_1 toman valores entre 0 y 5V, mientras que en el circuito sin diodo los pulsos tiene una componente de continua de casi 4V lo que hace que el tren de pulsos tome valores entre 4 y 10V, aproximadamente.

Diodo D_2 : La función del diodo D_2 es impedir que C_2 se descargue a través de la impedancia de salida del inversor A y que lo haga a través de R_2 cuyo valor lo controlamos externamente.

Veamos ahora qué ocurre entre los puntos (3) y (4) en función de los valores que va tomando la señal en el punto (3).

Inicialmente el punto (3) está a "0". Por tanto, C_2 está descargado. Cuando el potencial del punto (3) pasa a alta, el diodo D_2 pasa a estar polarizado en directa, el potencial del ánodo es mayor que el del cátodo y, consecuentemente, pasa a conducción, entre sus extremos cae una tensión que como mucho vale 0,7V (tensión de despegue de la unión P-N, V_γ) y el condensador C_2 empieza a cargarse hacia esa tensión con una constante de tiempo $\tau = r_d C_2$ y con el potencial más alto en la placa superior. Por tanto, la tensión del punto (4) pasa a alta y, consecuentemente, el punto (5) pasa a baja.

Cuando el potencial del punto (3) pasa a baja, el diodo D_2 pasa a estar polarizado en inversa, el potencial del ánodo es menor que el del cátodo y D_2 deja de conducir, se corta y presenta alta impedancia. Como el condensador está en paralelo con R_2 , que está apoyada a tierra, el condensador C_2 empieza a descargarse a través de esa resistencia que es mucho menor que la resistencia del diodo, pues este está cortado y equivale a un circuito abierto. Así, la constante de tiempo de la descarga de C_2 viene dada por $R_2 C_2$ y la señal en (4) decae exponencialmente hacia cero con esta constante de tiempo. Cuando la señal en (4) alcanza el valor correspondiente al "0" el inversor B cambia de estado y en la salida del circuito aparece "1".



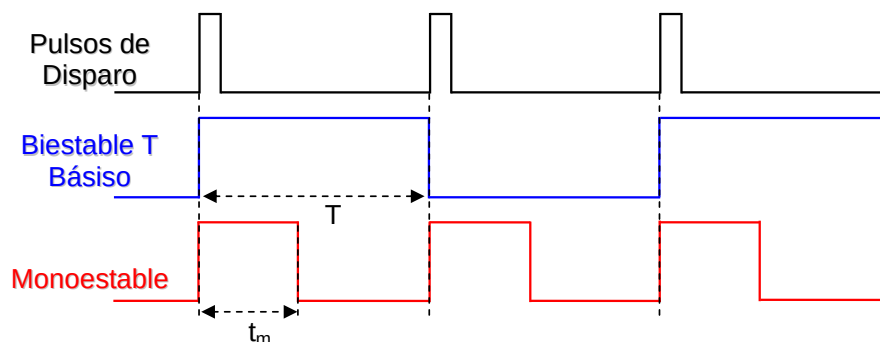
P.7.5: ¿Qué diferencia hay entre un Monoestable que se dispara por un pulso y un Biestable T básico (sin reloj) que cada vez que a la entrada le llega un pulso cambia de estado?

R.7.5: La diferencia entre ambos es la siguiente:

El biestable T tiene dos estados estables lo que hace que cada vez que en la señal de entrada, T, aparece un pulso, el biestable cambia de estado. Esto hace que el periodo de su señal de salida sea el doble que el del reloj, ya que durante un periodo de reloj permanece en uno de sus estados estables. Es decir, si está en el estado "0" y le llega un pulso, pasa al estado "1" y en ese estado se queda hasta que le llegue otro pulso y si no le llega, no cambia de estado. Para que cambie de estado hay que estimularlo desde el medio externo.

Sin embargo, el monoestable sólo tiene un estado estable en el que permanece mientras que no reciba un estímulo externo. Cuando le llega el pulso de disparo cambia de estado, pero en ese estado (metaestable) no se queda indefinidamente esperando a que le llegue otro pulso para cambiar de estado, sino que tras un determinado tiempo que, en general, está marcado por la constante de tiempo de una red R-C, él sólo cambia de estado y se pasa al estado estable donde se queda indefinidamente hasta que le llegue otro pulso externo. Por tanto, el periodo de su señal de salida coincide con el del tren de pulsos de disparo.

Así, suponiendo que ambos se disparan en las subidas del reloj, la diferencia entre sus respuestas ante los mismos pulsos de disparo es:



P.7.6: No entiendo bien las formas de la señal de salida, Q , del biestable T en el problema 10.1 del libro de problemas. ¿Por qué en la solución se distinguen dos casos en función del tiempo que dura el pulso del monoestable con respecto al periodo del reloj?

R.7.6: Vamos a analizar este circuito y vamos a construir los cronogramas en los distintos casos que se pueden presentar.

El circuito está formado por un monoestable que genera una señal de salida que actúa como entrada de un biestable T cuya salida, a su vez, a través de un lazo de realimentación y junto con la señal de reloj generan la señal de disparo del monoestable.

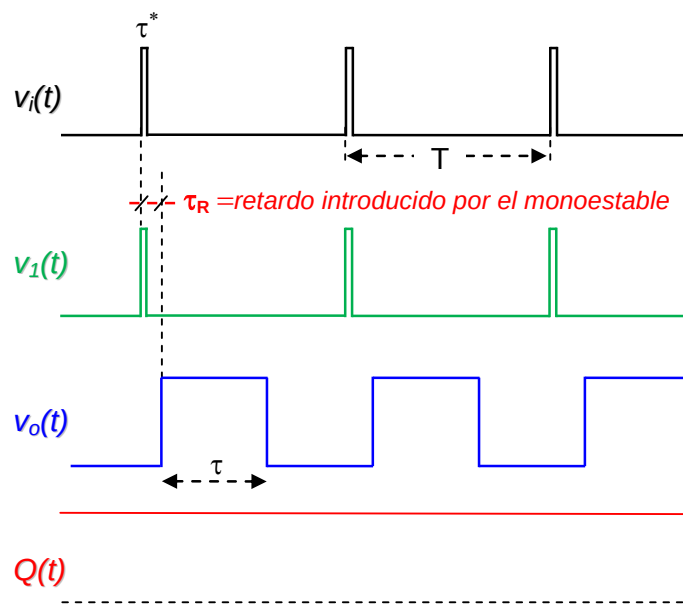
Para el biestable tenemos como datos que, inicialmente está en “1” ($Q=1$) y que se dispara en las bajadas de los pulsos de la señal de entrada $v_i(t)$ que actúa como reloj.

Para el monoestable (circuito dentro del recuadro sombreado) sabemos que el tiempo que está en alta depende de los valores de R y C a través de la expresión $\tau=0,69RC$. Además, conocemos su funcionamiento pues coincide con el de la figura 10.3 del texto. Recordemos que se dispara cuando en su entrada (punto (1)) aparece un flanco positivo.

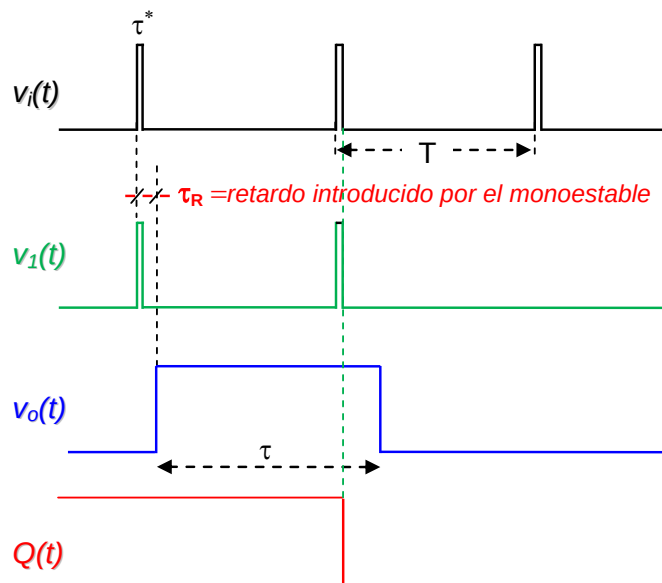
Puesto que, inicialmente el biestable está en “1”, en la salida de la puerta AND y entrada del monoestable (punto (1)) aparecen los pulsos del reloj, $v_i(t)$, con cuyas subidas se dispara al monoestable. En el estudio previo que hemos hecho de este circuito monoestable no hemos considerado el retardo que se produce desde que la subida del pulso de entrada lo dispara hasta que se presenta la correspondiente subida en su salida, es decir, el propio retardo de los componentes del monoestable. Si ahora tenemos en cuenta este retardo puede ocurrir que no se dispare nunca al biestable T, que se dispare sólo una vez o que se dispare con cada pulso de reloj. Es decir, su funcionamiento depende de la duración del retardo introducido por el monoestable respecto a la anchura del pulso del reloj y de la anchura del pulso generado por el monoestable respecto al periodo del reloj.

Veamos los distintos casos que se pueden presentar:

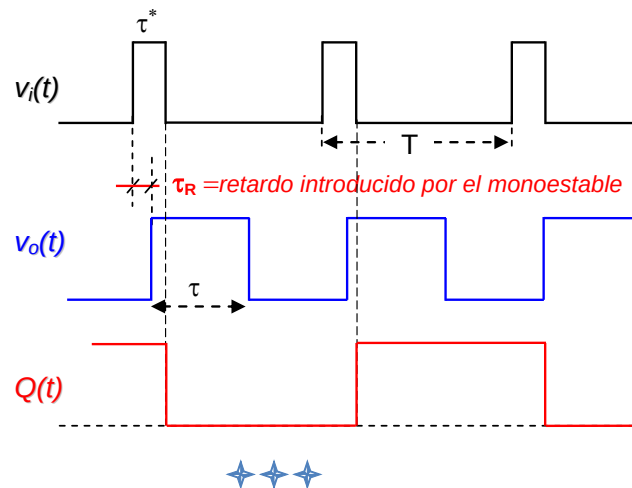
1. Supongamos que la duración del pulso del reloj (τ^*) es tan pequeña que es menor que el retardo que introduce el monoestable (τ_R). En este caso, la bajada del reloj se produce antes de que se produzca la subida en el pulso que genera el monoestable en $v_o(t)$. Por lo tanto, el biestable T no se dispara y permanece indefinidamente en “1”. Veamos esto a través del cronograma en el que se he exagerado el retardo introducido por el monoestable para resaltar el hecho que se está considerando.



- 2: Supongamos que la duración del pulso del reloj (τ^*) es menor que el retardo que introduce el monoestable (τ_R) y que la anchura del pulso del monoestables (τ) es mayor que el periodo del reloj (T). En este caso, la bajada del primer pulso de reloj se produce antes de que se produzca la subida en el pulso que genera el monoestable en $v_o(t)$. Por lo tanto, el biestable T no cambia de estado y permanece en "1" pero, cuando baja el segundo pulso, como el tiempo que dura el pulso generado por el monoestable es mayor que el periodo del reloj, la señal $v_o(t)$ está en "1" y el biestable cambia de estado pasando a "0". A partir de aquí, la señal en el punto (1), $v_1(t)$, pasa a "0" y la puerta AND no permite el paso de los pulsos de reloj al monoestable, por lo que este no vuelve a dispararse, su salida $v_o(t) = 0$ y $Q(t) = 0$ indefinidamente.



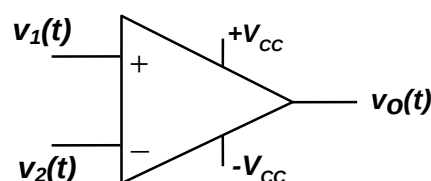
- 3: Finalmente, suponemos que la duración del pulso del reloj (τ^*) es mayor que el retardo que introduce el monoestable (τ_R) y que la anchura del pulso del monoestables (τ) es menor que el periodo del reloj (T). En este caso, la bajada del reloj se produce después de que se produzca la subida en el pulso que genera el monoestable en $v_o(t)$. Por lo tanto, ahora el biestable T sí que cambia de estado ya que las bajadas de los pulsos de reloj se producen cuando la señal $v_o(t)$ está en “1” y el cronograma es el siguiente.



P.7.7: En el esquema del circuito de tiempo tipo 555 aparece un comparador analógico ¿Cómo funcionan estos comparadores?

R.7.7: Los comparadores del circuito de tiempo tipo 555 son dos amplificadores diferenciales funcionando como comparadores analógicos.

Este circuito, tal como se muestra en la figura adjunta, posee dos entradas, una no inversora, $v_1(t)$, y otra inversora, $v_2(t)$, y una salida, $v_o(t)$. Las entradas $-V_{CC}$ y $+V_{CC}$ corresponden a las señales de alimentación que en muchos casos suele ser ± 15 Voltios. En nuestro caso, como lo vamos a utilizar en circuitos digitales lo vamos a alimentar con $-V_{CC}=0$ Voltios (tierra) y $+V_{CC}=5$ Voltios (fuente de tensión continua de 5 Voltios) ya que esta es la alimentación del resto de los circuitos



Su funcionamiento lo podemos resumir de la siguiente forma:

- Si $v_1(t) > v_2(t)$ la señal de salida toma el valor $v_o(t)=+V_{CC}$. Por tanto, en nuestro caso su salida será de 5 voltios (en digital “1”).
- Si $v_1(t) < v_2(t)$ la señal de salida toma el valor $v_o(t)=-V_{CC}$. Por tanto, en nuestro caso su salida será de 0 voltios (en digital “0”).



P.7.8: En este tema aparece un transistor BIPOLAR y otro MOS ¿Cómo funcionan estos transistores?

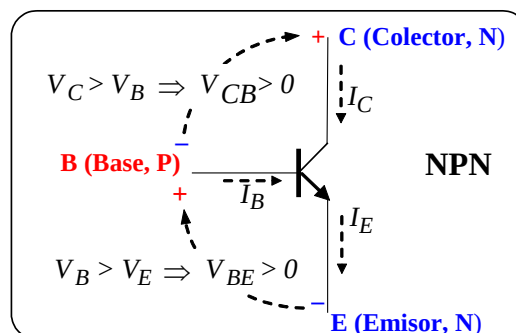
R.7.8: El funcionamiento de los transistores Bipolares y MOS no es objeto de estudio de esta asignatura porque lo es de la asignatura de Fundamento Físicos de la Informática.

En el Capítulo 2 del texto base (pags. 78 a 162) se presenta el funcionamiento de estos dispositivos en **corte** y **saturación**, que es su forma normal de funcionamiento en la Electrónica Digital. Sin embargo, el conocimiento que hace falta para entender los circuitos de los temas 7, 8 y 9 es muy sencillo y lo resumimos a continuación.

1. TRANSISTORES BIPOLARES

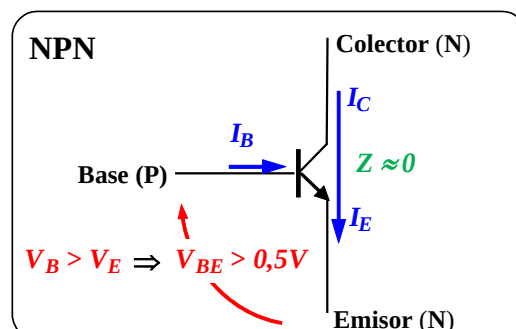
Los transistores bipolares son dispositivos de tres terminales (Emisor, Base y Colector) cuya estructura física consiste en dos uniones de materiales semiconductores tipo P y N con una zona central común que constituye la Base. Así, dependiendo de los materiales semiconductores usados en cada una de las zonas, existen dos tipos de transistores bipolares, los NPN y los PNP. El funcionamiento de ambos es análogo, con la única diferencia de los cambio en las polaridades de las tensiones y de los sentidos de las corrientes. Así, en este resumen nos vamos a centrar en los NPN que, además, son los que se van a usar en las celdas de memoria del tema siguiente.

En la siguiente figura presentamos un transistor bipolar tipo NPN con los convenios usados para las tensiones y corrientes.

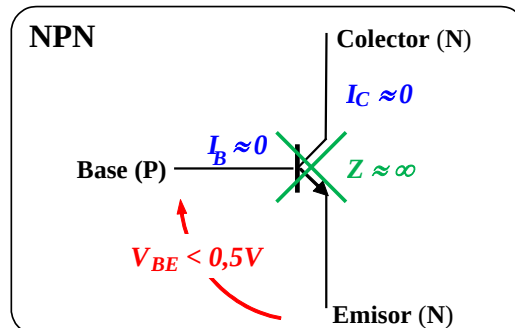


Su funcionamiento es el siguiente:

- Si la tensión de la Base (silicio tipo P) del transistor supera a la tensión del Emisor (silicio tipo N) en el valor de la tensión de despegue de la unión P-N ($V_B - V_E = 0,5V$) el transistor conduce y entonces, entre Colector y Emisor presenta muy poca resistencia. Equivale a un cortocircuito entre esos terminales (Colector y Emisor) y deja pasar toda la corriente.



- b) Si la tensión de la Base no supera en el valor de la tensión de despegue de la unión P-N ($V_\gamma=0,5V$) a la tensión del Emisor, entonces el transistor no conduce, está al corte y presenta muy alta impedancia entre su Colector y Emisor. Equivale a un circuito abierto entre ambos terminales.



Como podemos observar funciona como si fuera un interruptor en el que la corriente que circula entre su Colector y Emisor está controlada por la tensión existente entre Base y Emisor. En el siguiente cuadro resumimos dicho funcionamiento.

Corte $\begin{cases} I_C = I_{CE0} \approx 0 \\ V_{BE} < V_\gamma \approx 0,5V \\ V_{CE} \approx E \text{ (Alimentación)} \end{cases}$	Saturación (Conducción para nosotros) $\begin{cases} I_C = I_{Csat} \approx E/R_C \\ V_{BE} \approx 0,8V \\ V_{CE} = V_{CEsat} \approx 0,2V \end{cases}$
--	--

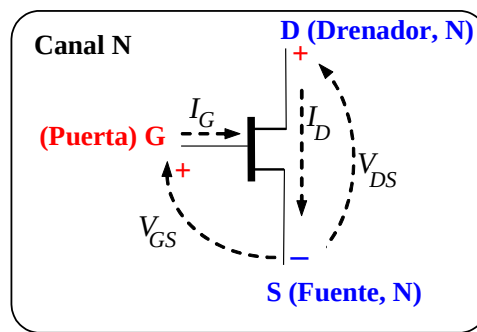
2. TRANSISTORES MOS

Aunque su principio de funcionamiento es totalmente diferente, desde el punto de vista de su comportamiento externo es análogo y el conocimiento necesario para entender cómo se comportan cuando estos dispositivos están integrados en un circuito digital en el que sólo funcionan en corte y saturación se puede resumir como mostramos a continuación.

Estos transistores también tiene tres terminales (Drenador, Puerta y Fuente) y su estructura es tal que dependiendo tipo de transistor (NMOS o PMOS) y del potencial que se aplique al terminal de Puerta se crea o no un canal entre el Drenador y la Fuente por el que circula o no una corriente.

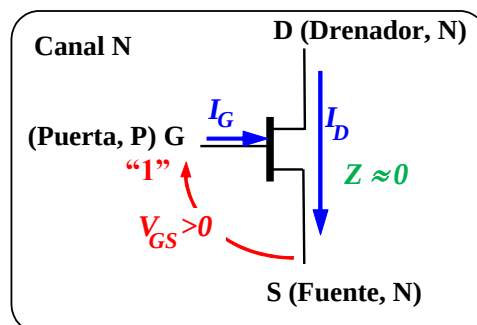
2.1. Transistores MOS canal N (NMOS)

En este transistor el Drenador y la Fuente son semiconductores tipo N y al aplicarle un potencial positivo en su Puerta (semiconductor tipo P) respecto de la Fuente, se crea un canal de inversión tipo N entre Drenador y Fuente por el que circula una corriente. En la siguiente figura presentamos un transistor MOS canal N con los convenios usados para las tensiones y corriente.

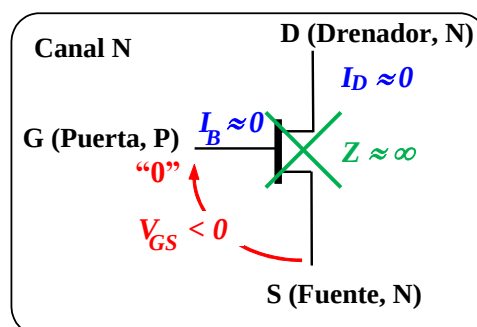


Su funcionamiento en Corte y Saturación es el siguiente:

2.1.a. Si la tensión de la Puerta es mayor que la tensión de Fuente ($V_G > V_S$, en nuestro caso podemos despreciar el valor de la tensión umbral, V_T) el transistor conduce (se crea el canal), presenta muy baja impedancia entre estos terminales lo que equivale a un cortocircuito. En digital la condición de que $V_G > V_S$ es equivalente a que en la puerta del transistor MOS cana N exista un "1".



2.1.b. Si la tensión de la Puerta es menor que la tensión de Fuente ($V_G < V_S$, para nuestro uso en digital equivale a que en la puerta tiene un "0") el transistor pasa al corte (no se crea canal, el Drenador y la Fuente están aislados), no conduce y presenta muy alta impedancia entre dichos terminales lo que equivale a un circuito abierto.



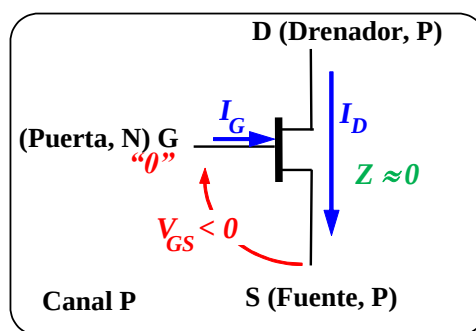
Este funcionamiento de los transistores NMOS lo resumimos en el siguiente cuadro:

Corte (no conduce)	$V_{GS} < 0 \rightarrow "0"$	Alta Z entre Drenador y Fuente Equivale a un Circuito abierto
Conducción	$V_{GS} > 0, \rightarrow "1"$	Muy baja Z entre Drenador y Fuente Equivale a un Cortocircuito

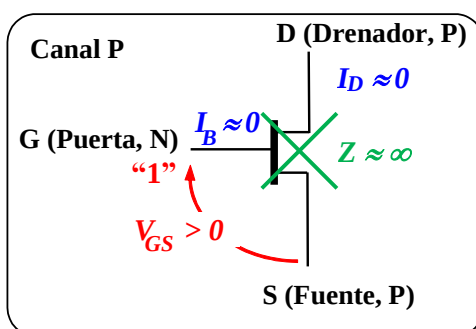
2.2. Transistores MOS canal P (PMOS):

Los convenios usados para las tensiones y corrientes son los mismos que para el canal N, pero su funcionamiento es justo el opuesto ya que su estructura también lo es. En estos dispositivos el Drenador y la Fuente son semiconductores tipo P y la Puerta N de forma que, ahora se crea el canal de inversión (tipo P) entre el Drenador y la Fuente cuando se aplica una tensión negativa a la Puerta respecto a la Fuente.

2.2.a. Si la tensión de la Puerta es menor que la tensión de Fuente (equivalente en digital a un tener en la puerta un "0") el transistor conduce, presenta muy baja impedancia entre Drenador y Fuente y equivale a un cortocircuito entre esos dos terminales.



2.2.b. Si la tensión de la Puerta es mayor que la tensión de Fuente (equivalente en digital a tener en la puerta un "1") el transistor pasa al corte, presenta muy alta impedancia entre Drenador y Fuente y equivale a un circuito abierto entre esos dos terminales.



Este funcionamiento de los transistores PMOS lo resumimos en el siguiente cuadro:

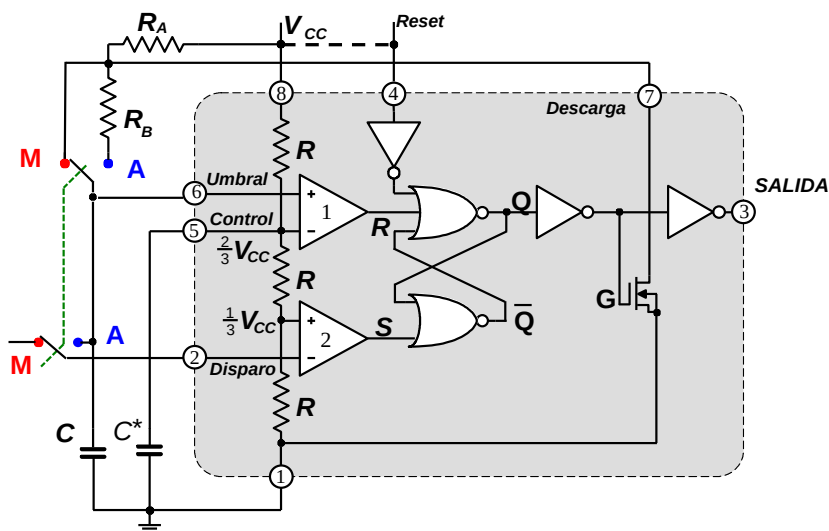
Corte (no conduce)	$V_{GS} > 0 \rightarrow "1"$	Alta Z entre Drenador y Fuente Equivale a un Circuito abierto
Conducción	$V_{GS} < 0, \rightarrow "0"$	Muy baja Z entre Drenador y Fuente Equivale a un Cortocircuito

De nuevo, el funcionamiento de estos transistores es el de un interruptor en el que la corriente que circula entre el Drenador y la Fuente está controlada por la tensión de la Puerta.

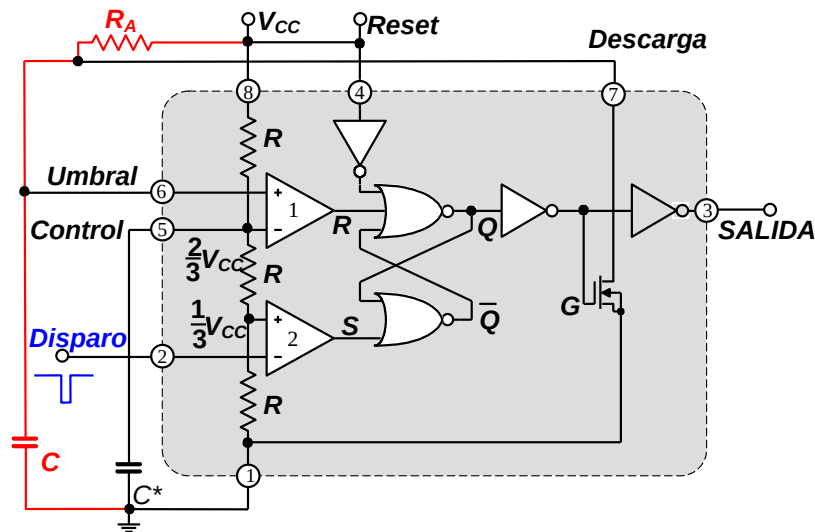


P.7.9: Me resulta difícil entender la figura 10.10 en la que se representa en un mismo esquema las dos configuraciones del circuito de tiempo 555, la del Astable y la del Monoestable en función de la posición de dos interruptores. ¿Cómo son los circuitos resultantes?

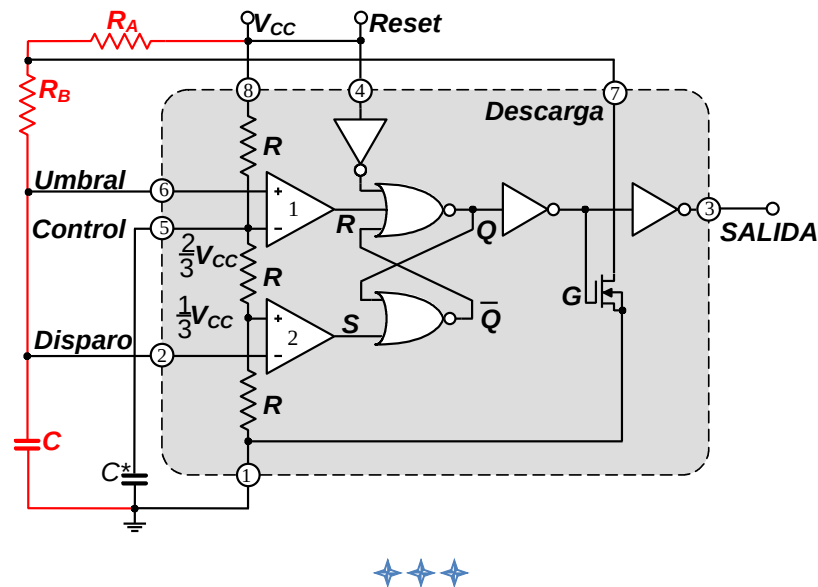
R.7.9: Este circuito funciona como Monoestable o Astable dependiendo de las posiciones de los interruptores. Así, si los interruptores están en la posición M el circuito corresponde a la configuración de Monoestable y si están en la posición A entonces el circuito es el del Astable



Si se sitúan los interruptores en la posición **M** el circuito para el **Monoestable** es:



Si se sitúan los interruptores en la posición **A** el circuito del **Astable** es:



P.7.10: ¿Cómo se calculan los valores de las resistencias y del condensador en el diseño de un astable mediante un circuito de tiempo tipo 555, si tenemos tres incógnitas y sólo dos ecuaciones?

R.7.10: Las expresiones de los tiempos de alta y de baja del tren de pulsos generado por el circuito de tiempo 555 son:

$$t_1 = 0,69 (R_A + R_B) C$$

$$t_2 = 0,69 R_B C$$

La forma de calcular el valor de las incógnitas es elegir un valor fijo para una de ellas y calcular las otras dos a partir del sistema de ecuaciones.

En Electrónica, siempre que se presenta este tipo de problema se suele elegir el valor del condensador. La razón es que cuando en el Laboratorio real montamos los circuitos, debemos ajustarnos a los valores estándar de las capacidades ya que es complicado

obtener un condensador de cualquier valor, mientras que es muy fácil y barato obtener cualquier valor de resistencia mediante un potenciómetro.

Supongamos que queremos conseguir un tren de pulsos cuyo periodo es $T = 100\text{ms}$ y el tiempo de duración del pulso $t_1 = 65\text{ms}$.

Como $T = t_1 + t_2$ podemos obtener el valor de t_2 . Así, $t_2 = T - t_1 = 100 - 65 = 35\text{ms}$

En este caso podemos, por ejemplo, elegir para C el valor de $0,1\mu\text{F}$. Si sustituimos el valor de C en la expresión de t_2 y despejamos R_B resulta:

$$R_B = \frac{t_2}{0,69C} = \frac{35 \cdot 10^{-3}}{0,69 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} = 507 \cdot 10^3 = 507\text{K}\Omega$$

$$R_A + R_B = \frac{t_1}{0,69C} = \frac{65 \cdot 10^{-3}}{0,69 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} = 942 \cdot 10^3 = 942\text{K}\Omega$$

$$R_A = (942 - 507) \cdot 10^3 = 435\text{K}\Omega$$

Otra forma de obtener los valores aproximados es mediante la gráfica que proporciona el fabricante y que se han reproducido en la figuras 10.13 del texto. En esta gráfica se representan distintos valores de C en función de la frecuencia y tomando como parámetro $R_A + 2R_B$. Como se puede observar hay infinitas soluciones que verifican las ecuaciones de estos circuitos. Extrapolando estas características podemos tener una idea del orden de magnitud de los valores de las resistencias y del condensador que necesitamos para las distintas frecuencias.



P.7.11: ¿Por qué cuando se quiere obtener un tren de pulsos en el que el tiempo de alta coincida con el tiempo en baja se usa un diodo en paralelo con R_B ?

R.7.11: Las expresiones de los tiempos (de alta, t_1 , de baja, t_2 , y periodo, T) del tren de pulsos generado a la salida del circuito 555 funcionando como astable son:

$$t_1 = 0,69 (R_A + R_B) C$$

$$t_2 = 0,69 R_B C$$

$$T = t_1 + t_2 = 0,69 (R_A + 2R_B) C$$

El ciclo de uso es:

$$\frac{t_1}{T} = \frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B}$$

Si se quiere que la onda sea cuadrada, es decir, una onda en la que $t_1 = t_2$, el ciclo de uso deberá ser:

$$\frac{t_1}{T} = \frac{1}{2}$$

Es decir, el tiempo en alta debe ser la mitad del periodo.

Si se analiza la expresión del ciclo de uso en función de las resistencias, se observa que interesa hacer R_A mucho menor que R_B , pues entonces se podría despreciar R_A frente a

R_B y así se obtendría $t_1/T = 1/2$. Esta solución presenta el problema de que R_A no se puede hacer muy pequeña porque controla el nivel de corriente de descarga del condensador a través del transistor NMOS, que pasa a conducción cuando la tensión en su puerta (G) es mayor que cero (despreciando la tensión umbral, V_T). Por tanto, hay que buscar una solución en la que se consiga que $t_1/T = 1/2$ sin anular la resistencia R_A .

Si se observa el proceso de carga y descarga del condensador en este circuito, se ve que sería conveniente que C se cargara a través de R_A y se descargara a través de R_B ya que entonces bastaría con hacer $R_A = R_B$. Si se tiene en cuenta el funcionamiento asimétrico del diodo, una forma de obtener esto es poner un diodo en paralelo con la resistencia R_B .

El diodo tiene la propiedad de que en polarización directa (tensión del ánodo mayor que la del cátodo) conduce y presenta una resistencia, r_d , muy baja (por ejemplo, 15-20Ω) y, por tanto, su nivel de conducción es alto. En cambio, cuando se polariza en inversa (tensión del ánodo menor que la del cátodo) presenta una resistencia muy alta y, prácticamente, no conduce.

Como el diodo se pone en paralelo con R_B , la resistencia resultante de R_B en paralelo con r_d es:

$$R'_B = \frac{R_B r_d}{R_B + r_d}$$

Así, cuando está polarizado en directa (cuando el C está descargado y empieza a cargarse hacia V_{CC}), r_d es mucho menor que R_B , la corriente pasa casi toda por la resistencia más pequeña, r_d , y se puede aproximar la expresión de la resistencia equivalente, R'_B , por:

$$R'_B \approx r_d.$$

Sin embargo, cuando el diodo está polarizado en inversa (cuando el C está cargado y empieza a descargarse), ocurre lo contrario, r_d es mucho mayor que R_B , la corriente pasa casi toda por la resistencia más pequeña, que ahora es R_B , y se puede aproximar la expresión de la resistencia equivalente, R'_B , por:

$$R'_B \approx R_B.$$

Sustituyamos estos valores en las expresiones de t_1 y t_2 .

El tiempo t_1 viene definido por la carga del condensador a través de R_A en serie con R'_B pero, durante ese tiempo, el diodo está polarizado en directa por lo que se obtiene:

$$t_1 = 0,69 (R_A + R'_B) C \approx 0,69 (R_A + r_d) C$$

Además como R_A es bastante mayor que r_d (véase orden de magnitud en las curvas que da el fabricante y que aparecen en la figura 10.13 del texto base), se puede despreciar r_d frente a R_A y resulta:

$$t_1 \approx 0,69 R_A C$$

El tiempo t_2 viene definido por la descarga del condensador a través de R'_B , pero al estar el C cargado, el diodo está polarizado en inversa y presenta muy alta impedancia (se puede aproximar por un circuito abierto, el diodo no conduce) resultando:

$$t_2 \approx 0,69 R_B C$$

Ahora, el periodo de la señal y el ciclo de uso son:

$$T = t_1 + t_2 = 0,69(R_A + R_B)C \quad \text{y} \quad \frac{t_1}{T} = \frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{R_A}{R_A + R_B}$$

De forma que, si se hace $R_A = R_B$ se obtiene una onda cuadrada ya que ahora el ciclo de uso tomará el valor de 1/2.

Al implementar el circuito en el simulador la onda que se obtiene es “casi” cuadrada debido a las aproximaciones realizadas en los cálculos. Para conseguirla “más” cuadrada hay que modificar, a la vista de los resultados obtenidos en la simulación, los valores de R_A y/o R_B .



P.7.12: ¿Se puede obtener una onda cuadrada con el 555 sin necesidad de usar el diodo?

Según la Hoja de características del 555 de National podemos obtener una onda cuadrada sin necesidad de usar el diodo. A continuación presentamos el esquema del circuito recomendado, las expresiones de los tiempos de alta (t_1) y de baja (t_2), y el resultado de la simulación en el que la diferencia entre t_1 y t_2 es de 4us cuando el orden de magnitud de estos tiempos es de décimas de ms .

$$t_1 = 0,69 R_A C, \quad t_2 = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B} C \ln \frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A}$$

