

A

PARTADO

3.3

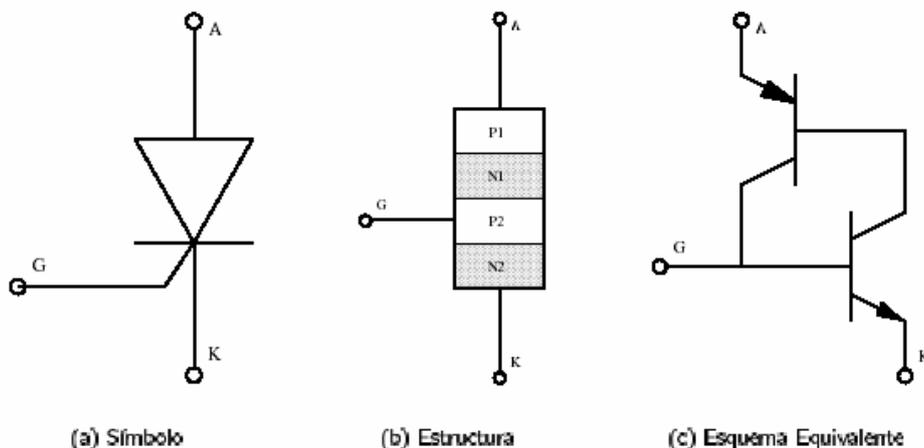
# El tiristor

A. Introducción

Se denominan tiristores a todos aquellos componentes semiconductores con dos estados estables cuyo funcionamiento se basa en la realimentación regenerativa de una estructura PNP. Existen varios tipos dentro de esta familia, de los cuales el más empleado con mucha diferencia es el rectificador controlado de silicio (SCR), por lo que suele aplicársele el nombre genérico de tiristor.

Es un componente con dos terminales principales, ánodo y cátodo y uno auxiliar para disparo o puerta. Se puede decir que se comporta como un diodo rectificador con iniciación de la conducción controlada por la puerta: como rectificador, la conducción no es posible en sentido inverso, pero sí en sentido directo. Sin embargo, a diferencia de los diodos, el tiristor no conduce en sentido directo hasta que no se aplica un pulso de corriente por el terminal de puerta. El instante de conmutación (paso de corte a conducción), puede ser controlado con toda precisión actuando sobre el terminal de puerta, por lo que es posible gobernar a voluntad el paso de intensidades por el elemento, lo que hace que el tiristor sea un componente idóneo en Electrónica de Potencia, ya que es un conmutador casi ideal, rectificador y amplificador a la vez como comprobaremos con posterioridad

En la siguiente figura se pueden apreciar el símbolo, estructura y esquema equivalente del tiristor de potencia

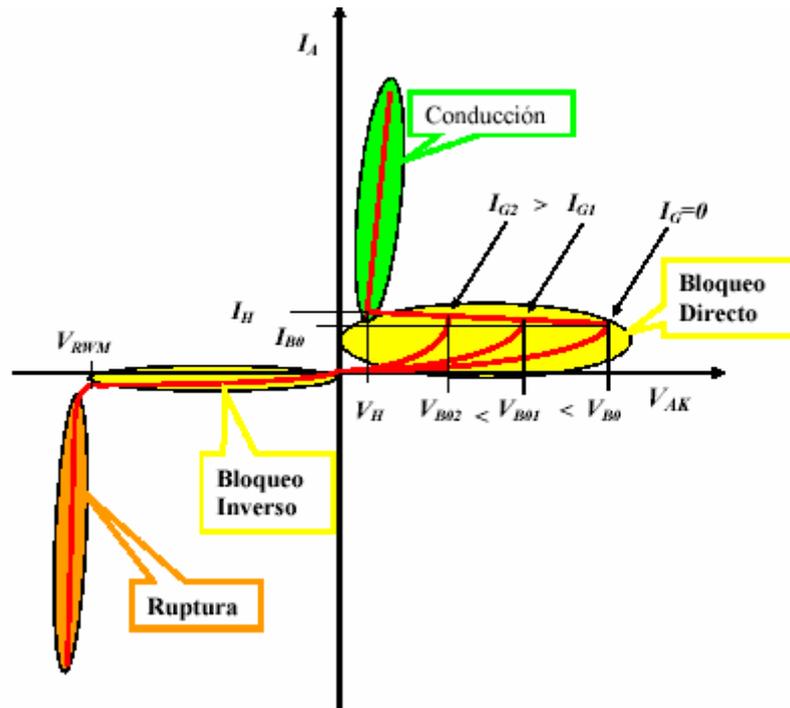


Como ya se ha comentado, el tiristor es un elemento unidireccional y sólo conduce corriente en el sentido ánodo – cátodo, siempre y cuando el elemento esté polarizado en sentido directo (tensión ánodo – cátodo positiva) y tengamos aplicado un impulso en la puerta. En el caso de que la polarización sea inversa, el elemento estará siempre bloqueado (de ahí que sea un elemento unidireccional). Las características eléctricas entre ánodo – cátodo dependerán de la señal que hay o ha habido en la puerta en el momento de polarización positiva, pudiendo comportarse como un cortocircuito o como un circuito abierto, de aquí su posible funcionamiento como conmutador.

## B. Características estáticas del tiristor

En la siguiente figura se muestra la curva estática del tiristor. En dirección inversa se comporta como un diodo, bloqueando la tensión hasta que se alcanza la tensión

inversa  $V_{RWM}$ , que es cuando tiene lugar la ruptura por avalancha. En la dirección directa el tiristor también bloquea la tensión hasta que llega a la ruptura de conducción en  $V_{BO}$ . El tiristor estará conduciendo mientras la corriente a su través sea mayor que un valor llamado corriente de enclavamiento o de enganche,  $I_{BO}$ , definida como la corriente de ánodo mínima que hace bascular al tiristor del estado de bloqueo al estado de conducción. Después, sus características son similares a las de un diodo, permaneciendo el componente en conducción mientras la corriente de ánodo a cátodo no caiga por debajo de un valor denominado corriente de mantenimiento  $I_H$ .



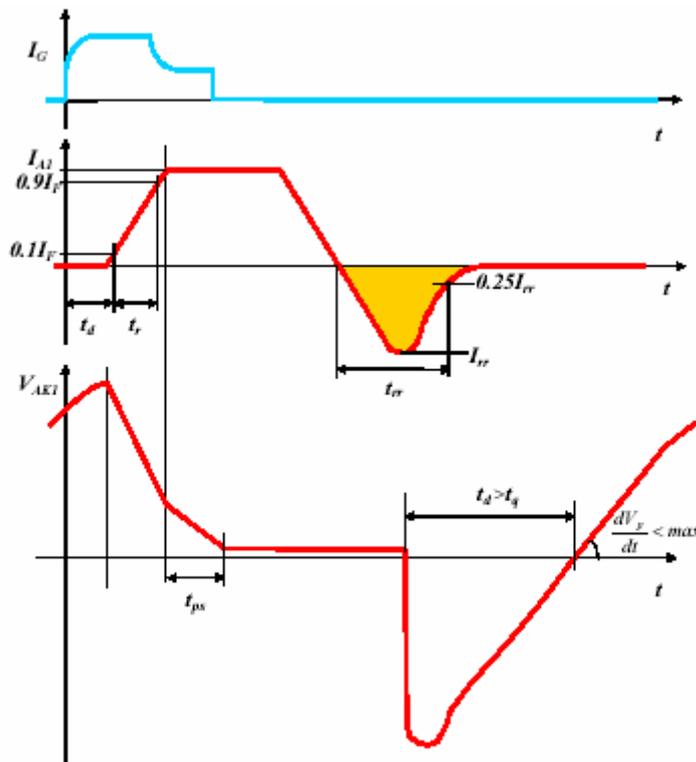
Por lo tanto, dentro de las características estáticas del tiristor, y dependiendo de la tensión que se aplique entre ánodo y cátodo, podemos distinguir tres zonas que dan lugar a los dos estados estables que posee: bloqueo y conducción (cebado).

- 1.  $V_{ak} < 0$  (zona de bloqueo inverso).** Dicha condición corresponde al estado de no conducción en inversa, comportándose como un diodo.
- 2.  $V_{ak} > 0$  sin disparo (zona de bloqueo directo).** El tiristor se comporta como un circuito abierto hasta alcanzar la tensión de ruptura directa.
- 3.  $V_{ak} > 0$  con disparo (zona de conducción).** Se comportará como un cortocircuito, si una vez ha ocurrido el disparo, por el SCR circula una corriente superior a la corriente de enclavamiento. Una vez en conducción, se mantendrá si el valor de la corriente ánodo-cátodo es superior a la corriente de mantenimiento.

Es muy importante que, tal y como se ha comentado, si un tiristor está polarizado en directa, la inyección de una corriente de puerta al aplicar un voltaje positivo entre G y K activará al tiristor. Conforme aumenta la  $I_G$  se reduce el voltaje de bloqueo directo, tal y como se muestra en la curva estática anteriormente señalada. Sin embargo, una vez empieza a conducir, es fijado al estado de ON, aunque la corriente de puerta desaparezca, no pudiendo ser cortado por pulso de puerta. Sólo cuando la corriente del ánodo tiende a ser negativa, o inferior a un valor umbral, por la influencia del circuito de potencia, se cortará el tiristor.

### c. Características dinámicas del tiristor

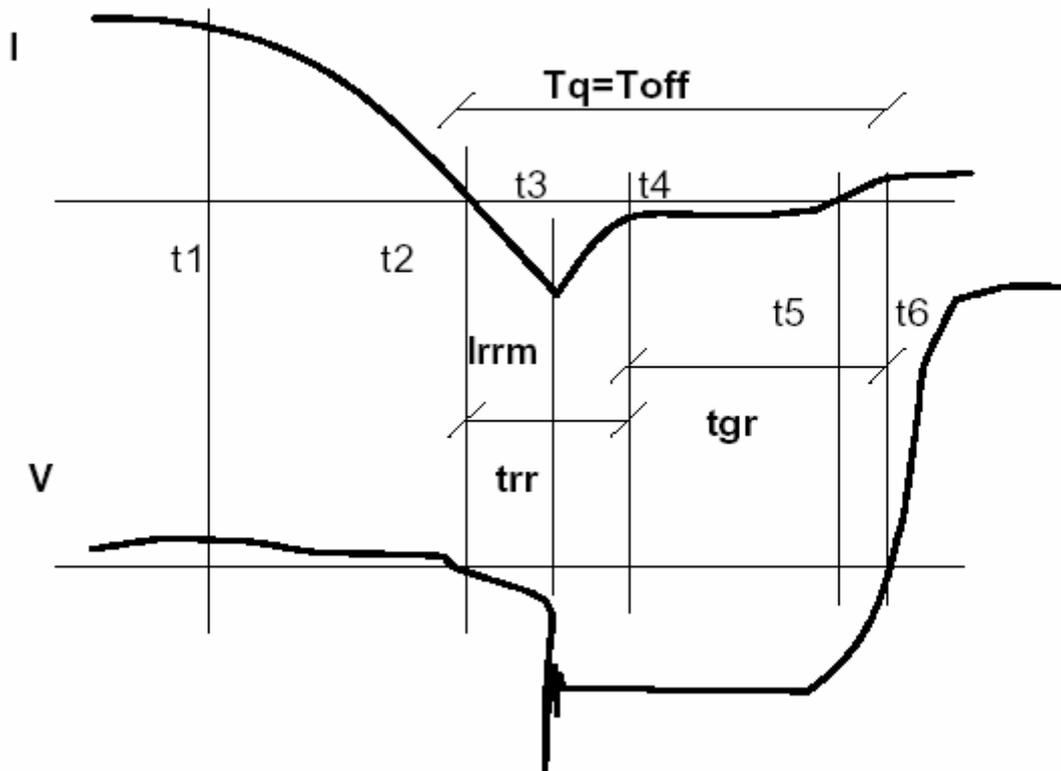
La característica de conmutación de un tiristor determina sus pérdidas de conmutación y su frecuencia máxima de funcionamiento, de la misma forma que se hizo para el transistor. En particular, para el caso del tiristor las curvas de conexión y desconexión presentan el siguiente comportamiento:



**Transitorio a conexión.** La forma de la curva de conexión es muy similar a la del transistor de potencia, donde la corriente a través del componente aumenta según disminuye la tensión ánodo-cátodo. El tiempo para alcanzar una conducción del 10%, medido desde la aplicación de la excitación de puerta se denomina tiempo de retardo o retardo ( $t_d$ ), y aquel entre el 10% y el 90% es el tiempo de subida ( $t_r$ ). La suma del tiempo de retardo y el tiempo de subida es el tiempo de conexión del tiristor o tiempo de encendido ( $t_{on} = t_d + t_r$ ). El tiempo de conexión se reduce si el pulso de puerta que se utiliza es de subida abrupta y la potencia de excitación se incrementa.

**Transitorio a corte.** Si el circuito externo fuerza una reducción muy brusca de la intensidad del ánodo e intenta la conducción en sentido inverso, los portadores de las uniones no pueden reajustarse, por tanto hay un tiempo de retardo por almacenamiento donde se comporta como un cortocircuito conduciendo en sentido contrario al estar polarizado positivamente, produciendo un pico de corriente  $I_{RR}$ . El tiempo entre el inicio de la corriente de recuperación inversa y cuando ha caído por debajo del 25% de su valor se denomina tiempo de recuperación inversa  $t_{rr}$ . Cuando ha disminuido la concentración, la puerta recupera su capacidad de gobierno, pudiendo aplicar tensión directa sin riesgo de cebado. A este tiempo se le denomina tiempo de recuperación de

puerta  $t_{gr}$ . La duración del proceso de corte es  $t_{off} = t_g = t_q = t_{rr} + t_{gr}$ , tal y como se puede observar en detalle en la siguiente figura, mucho menos idealizada que la anterior. A partir de esta figura puede observarse que  $t_q$  es el menor tiempo que debe transcurrir entre que se invierte la intensidad por el ánodo y el instante en que aplicamos tensión ánodo-cátodo positiva sin que entre en conducción.



## D. Variantes del SCR

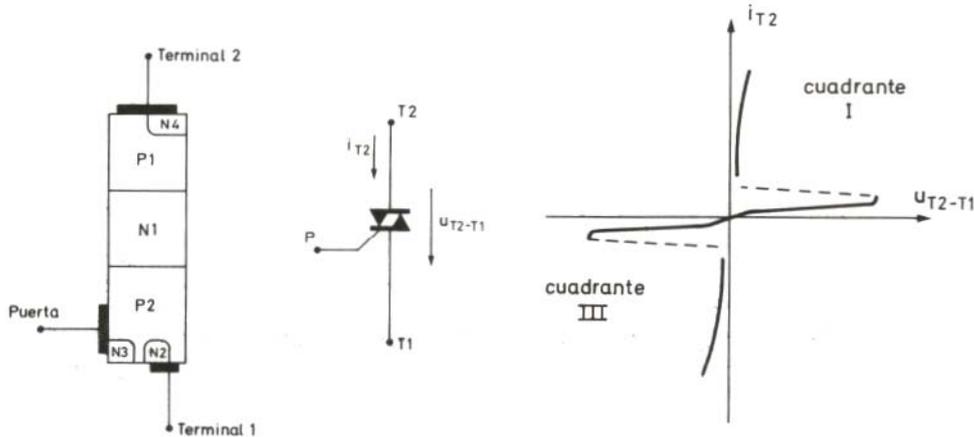
Existen otros dispositivos de cuatro capas cuyo modo de funcionamiento es similar al de un SCR. En esta sección se realiza una breve descripción de las variantes del SCR más importantes.

### .D.1 TRIAC

El tiristor tuvo gran aceptación en la electrónica de potencia gracias a su capacidad de rectificación controlada, pero no es apto para conmutar cargas directamente a la red eléctrica ya que sólo habrá circulación de corriente durante un semiciclo. Es por esto que se estudiaron otros dispositivos capaces de conmutar de forma controlada cargas en ambos sentidos de circulación de corriente, llegándose al conocido TRIAC (triode AC semiconductor).

Un triac, en esencia, no es más que dos tiristores conectados en antiparalelo de forma que ambos son activados por un mismo impulso de puerta, pero cada uno para rectifi-

car en un sentido. Por tanto, es capaz de bloquear tensión y conducir corriente en ambos sentidos entre sus terminales principales (T1 y T2), controlada la activación por un terminal de puerta. Por tanto, aunque es una estructura de seis capas, siempre funciona como una estructura de cuatro capas (P1N1P2N2' o P2N1P1N4).



Se puede observar que el disparo puede producirse tanto en el cuadrante I (tensión de T2 positiva respecto a T1) como en el III (viceversa).

**.D.2 GTO**

El SCR tiene una caída en conducción muy baja, pero necesita que el circuito de potencia anule su corriente anódica. Esto ha reducido su empleo a circuitos de alterna (bloqueo natural con una conmutación por ciclo).

Desde los primeros años del SCR los fabricantes han intentado conseguir que los SCR pudiesen cortarse desde la puerta. A principios de los años 80 aparecen los primeros GTOs. El GTO o Gate Turn-Off SCR es un tiristor que puede ser disparado con un pulso positivo a su terminal de puerta y bloqueado si se aplica un impulso negativo a ese mismo terminal.

En la siguiente figura se pueden apreciar los símbolos más utilizados para este tipo de dispositivos.

