

TIRISTORES

INTRODUCCION

El diodo semiconductor de dos capas ha dado lugar a dispositivos de tres, cuatro e incluso cinco capas. Se considerará primero una familia de dispositivos *pnpn* de cuatro capas: el SCR (rectificador controlado de silicio: silicon controlled rectifier).

Dispositivos *pnpn*

RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO (SCR)

Unas cuantas de las áreas más comunes de aplicación para los SCR incluyen los controles de relevadores, los circuitos de retraso de tiempo, las fuentes de alimentación reguladas, los interruptores estáticos, los controles de motores, muestreadores (choppers), inversores, cicloconvertidores, cargadores de baterías, circuitos de protección controles de calefacción y controles de fase.

En los últimos años, los SCR se han diseñado para controlar potencias tan altas como 10 MW con valores nominales individuales tan elevados como 2000 A a 1800V. Su intervalo de frecuencia de aplicación se ha extendido también cerca de 50 kHz, permitiendo algunas aplicaciones de alta frecuencia, tales como calentamiento por inducción y limpieza ultrasónica.

OPERACIÓN BASICA DEL RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO

Como la terminología indica, el SCR es un rectificador construido de material de silicio con una tercera terminal para propósitos de control. Se eligió el silicio debido a su elevada capacidad de temperatura y potencia. La operación básica del SCR es diferente de la del diodo semiconductor fundamental de dos capas donde una tercera terminal, llamada compuerta, determina cuándo el rectificador conmuta del estado del circuito abierto al de corto circuito. No es suficiente con polarizar directamente la región del ánodo al cátodo del dispositivo. En la región de conducción, la resistencia dinámica del SCR es por lo general de 0.01 a 0.1 Ω .

El símbolo gráfico para el SCR se muestra en la Figura 1 con las conexiones correspondientes a la estructura semiconductor de cuatro capas. Como se indica en la Figura 1(a), si se va a establecer la conducción directa, el ánodo debe ser positivo con respecto al cátodo. Sin embargo, este no es un criterio suficiente para activar el dispositivo. También debe aplicarse en la compuerta un pulso de magnitud suficiente para establecer una corriente de disparo, representada simbólicamente por I_{GT} .

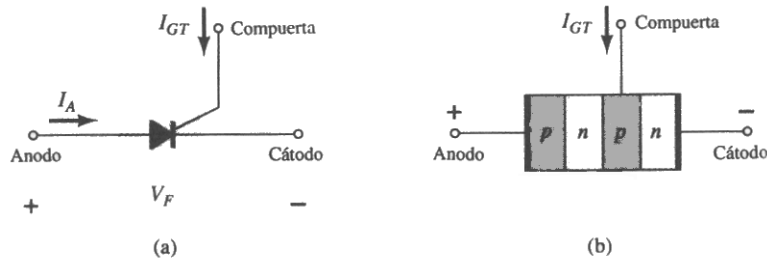


Figura 1 (a) símbolo del SCR (b) construcción básica.

Un examen más detallado de la operación básica de un SCR se logra dividiendo la estructura *pnpn* de cuatro capas de la Figura 1(b) en dos estructuras de transistor de tres capas, como se indica en la Figura 2(a) y considerando después el circuito resultante de la Figura 2(b).

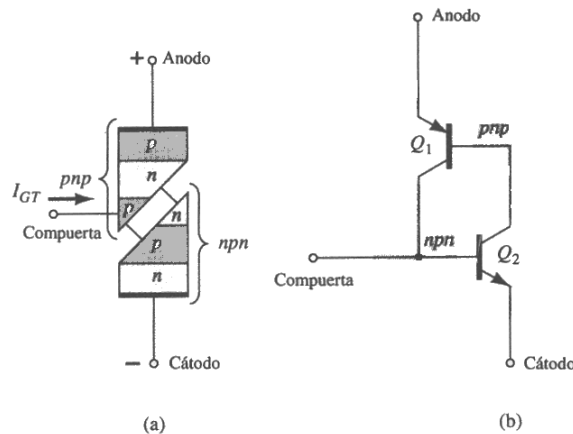


Figura 2 Circuito equivalente de SCR con dos transistores.

Nótese que uno de los transistores de la Figura 2 es dispositivo *nnp*, en tanto que el otro es un transistor *pnp*. En t_1 un pulso de V_G volts aparecerá en la compuerta del SCR. Las condiciones de circuito que se establecen con esta entrada se muestran en la Figura 3. El potencial V_G se eligió lo bastante grande como para poner en conducción a Q_2 ($V_{BE2} = V_G$). La corriente de colector de Q_2 aumentará entonces a un valor suficientemente grande para poner en conducción Q_1 ($I_{B1} = I_{C2}$). Cuando Q_1 entra en conducción, I_{C1} aumentará, produciendo un incremento correspondiente en I_{B2} . El aumento en la corriente de base para Q_2 dará por resultado un incremento adicional en I_{C2} . El resultado neto es un incremento regenerativo en la corriente de colector de cada transistor. La resistencia resultante ánodo a cátodo [$R_{SCR} = V / (I_A - \text{grande})$] es entonces muy pequeña, lo que origina la representación en corto circuito para el SCR, como se indica en la Figura 3b. La acción regenerativa que acaba de describirse produce SCR que tiene tiempos de disparo típicos de 0.1 a 1 μs . Sin embargo, los dispositivos de alta potencia en el intervalo de 100 a 400 A pueden tener tiempos de disparo de 10 a 25 μs .

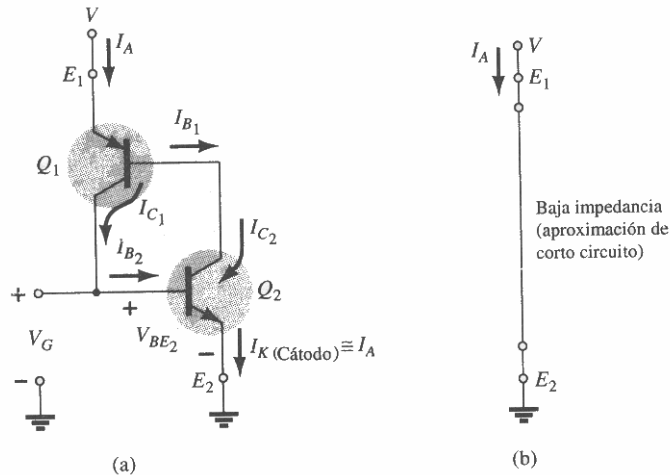


Figura 3. Estado “de conducción” del SCR.

Además del disparo de la compuerta, los SCR también pueden activarse mediante un aumento significativo de la temperatura del dispositivo o incrementando el voltaje ánodo a cátodo hasta el valor de ruptura que se muestra en la característica de la Figura 6. Un SCR no puede apagarse con sólo suprimir la señal de la compuerta:

Los dos métodos generales para desactivar un SCR se clasifican como la interrupción de corriente de ánodo y la técnica de conmutación forzada.

Las dos posibilidades para la interrupción de corriente se ilustran en la Figura 4.

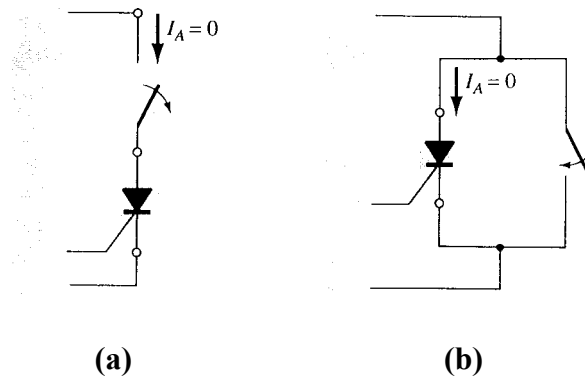


Figura 4. Interrupción de la corriente de ánodo.

En la Figura 4(a), I_A es cero cuando el interruptor está abierto (interrupción en serie) en tanto que en la Figura 4(b) se establece la misma condición cuando el interruptor está cerrado (interrupción en derivación). La conmutación forzada corresponde a “forzar” la corriente a través del SCR en la dirección opuesta a la conducción directa. Hay una amplia variedad de circuitos para efectuar esta función, varios de los cuales pueden encontrarse en los manuales de los principales fabricantes en esta área. Uno de los tipos más básicos se presenta en la Figura 5. Como se indica en la figura, el circuito de apagado consiste en un transistor *npn*, una batería cd, V_B y un generador de pulsos. Durante la conducción del SCR el transistor se encuentra en el estado “de corte”; esto es, $I_B=0$ y la impedancia de colector a

emisor es sumamente alta (para todos los propósitos prácticos, un circuito abierto). Esta alta impedancia evitará que el circuito de apagado afecte la operación del SCR. Para las condiciones de apagado, se aplica un pulso positivo en la base del transistor, poniéndolo en conducción, con lo que se produce una muy baja impedancia del colector al emisor (representación en corto circuito). El potencial de la batería aparecerá entonces directamente en el SCR como se muestra en la Figura 5(b), forzando la corriente a través de él en la dirección inversa para el apagado. Los tiempos de apagado de los SCR son por lo general de 5 a 30 μ s.

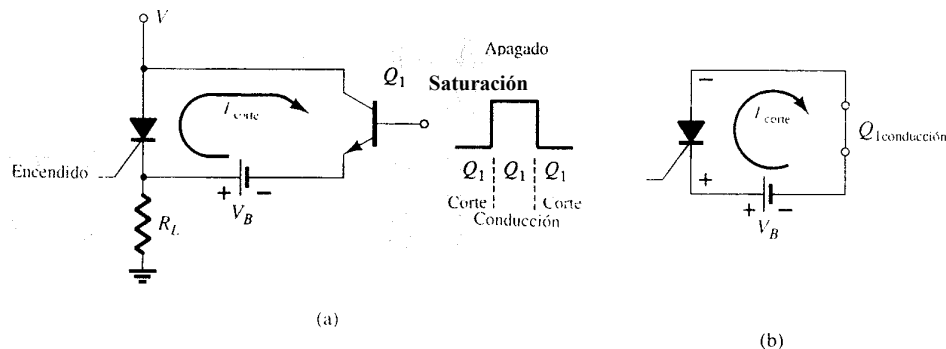


Figura 5. Técnica de conmutación forzada.

CARACTERÍSTICAS Y VALORES NOMINALES DEL SCR

Las características de un SCR se proporcionan en la Figura 6 para diversos valores de la corriente de compuerta. Las corrientes y voltajes de interés usual se indican sobre la característica. A continuación se presenta una breve descripción de cada una de ellas.

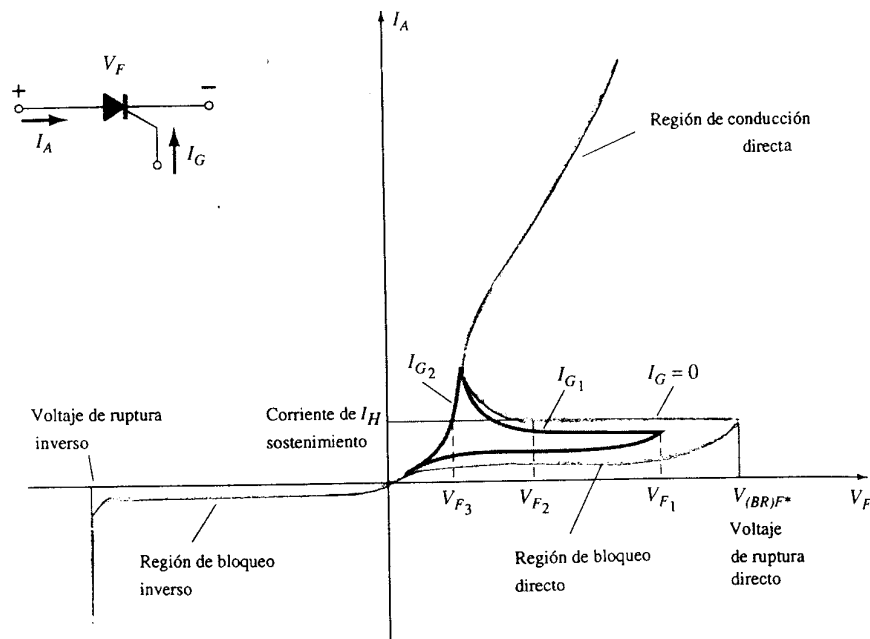


Figura 6. Características del SCR.

1. **Voltaje de ruptura directo $V_{(BR)F*}$** es el voltaje arriba del cual el SCR entra en la región de conducción. El asterisco (*) corresponde a una letra que se añadirá y que depende de la condición de la terminal de la compuerta del modo siguiente:
 O = circuito abierto de G a K.
 S = corto circuito de G a K.
 R = resistor de G a K.
 V = polarización (voltaje) fija de G a K.
2. **Corriente de sostenimiento (I_H)** es el valor de la corriente por debajo del cual el SCR conmuta del estado de conducción al de la región de bloqueo directa, en condiciones establecidas.
3. **Regiones de bloqueo directa e inversa** son aquellas que corresponden a la condición de circuito abierto para el rectificador controlado que bloquea el flujo de carga (corriente) del ánodo al cátodo.
4. **Voltaje de ruptura inverso** es equivalente a la región Zener o de avalancha del diodo semiconductor fundamental de dos capas.

APLICACIONES DEL SCR

Unas cuantas de las posibles aplicaciones para el SCR se mencionan en la introducción del SCR. Un interruptor estático serie de media onda se muestra en la Figura 7(a). Si el interruptor se cierra como se muestra en la Figura 7(b), circulará una corriente de compuerta durante la parte positiva de la señal de entrada, disparando al SCR. El resistor R_1 limita la magnitud de la corriente de compuerta. Cuando el SCR se dispare, el voltaje ánodo a cátodo (V_F) disminuirá el valor de conducción, produciéndose una corriente de compuerta bastante reducida y pérdidas sumamente bajas en el circuito de compuerta. En la región negativa de la señal de entrada, el SCR se apagará, ya que el ánodo es negativo con respecto al cátodo. El diodo D_1 se incluye para evitar una inversión en la corriente de compuerta.

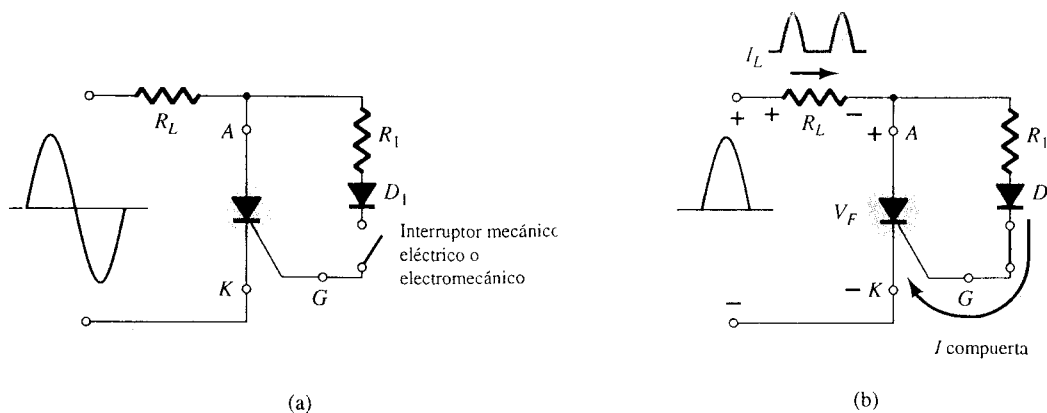


Figura 7. Interruptor estático serie de media onda.

Un circuito capaz de establecer un ángulo de conducción entre 90° y 180° se muestra en la Figura 8(a). El circuito es similar al de la Figura 7(a), excepto por la adición de un resistor variable y la eliminación del interruptor. La combinación de los resistores R y R_1 limitará la corriente de compuerta durante la parte positiva de la señal de entrada. Si R_1 se fija para su valor máximo, puede ocurrir que la corriente de compuerta nunca alcance la magnitud de disparo. Conforme R_1 disminuye desde el máximo, la corriente de compuerta aumentará con el mismo voltaje de entrada.

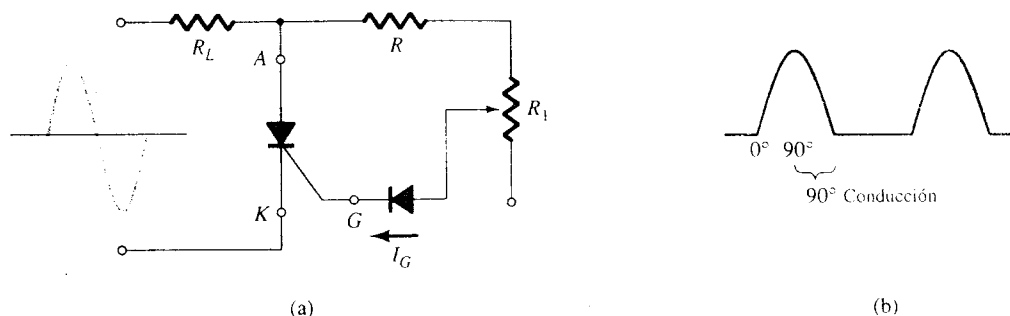


Figura 8. Control de fase de resistencia variable de media onda.

DIAC

El diac es básicamente una combinación inversa en paralelo de dos terminales de capas semiconductoras que permite disparar en cualquier dirección. La característica demuestra claramente que hay un **voltaje** de disparo en cualquier dirección. Esta posibilidad de una condición de conducción en cualquier dirección puede utilizarse para aprovechar todas sus ventajas en aplicaciones ca.

El arreglo básico de las capas del semiconductor del diac se muestra junto con su símbolo gráfico. Nótese que no se hace referencia a ninguna terminal. En lugar de eso, hay un ánodo 1 (o electrodo 1) y un ánodo 2 (o electrodo 2). Cuando el ánodo 1 es positivo con respecto al ánodo 2, las capas de semiconductor de interés particular son $P_1 n_2 P_2 n_3$. Para el ánodo 2 positivo con respecto al ánodo 1, las capas aplicables son $P_2 n_2 P_1 n$.

En la unidad los voltajes de ruptura son muy cercanos en magnitud, pero pueden variar desde un mínimo de 28 V hasta un máximo de 42 V. Se relacionan mediante la siguiente ecuación que se incluye en la hoja de especificaciones:

$$V_{BR1} = V_{BR2} \pm 10\% V_{BR2}$$

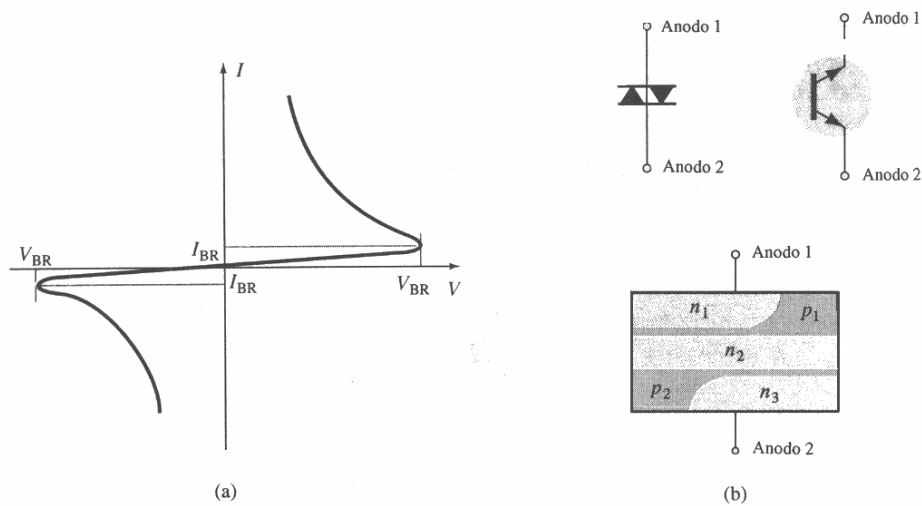


Figura 9 Diac (a) características: (b) símbolos y construcción básica.

Los niveles de corriente (I_{BR1} e I_{BR2}) tienen también magnitudes muy cercanas en cada dispositivo. Ambos niveles de corriente son de aproximadamente $200 \mu A = 0.2 \text{ mA}$.

TRIAC

El triac es fundamentalmente un diac con una terminal de compuerta para controlar las condiciones de disparo del dispositivo bilateral en cualquier dirección. En otras palabras, en cualquier dirección la corriente de compuerta puede controlar la acción del dispositivo de una manera muy similar a la que se mostró para un SCR. Sin embargo, las características del triac en el primer y tercer cuadrantes son un poco diferentes de las del diac, según. Obsérvese que la corriente de sostenimiento en cada dirección no está presente en las características del diac.

El símbolo gráfico para el dispositivo y la distribución de las capas semiconductoras se presentan con fotografías del dispositivo. Para cada dirección posible de conducción hay una combinación de capas semiconductoras cuyo estado se controlará mediante la señal aplicada a la terminal de la compuerta.

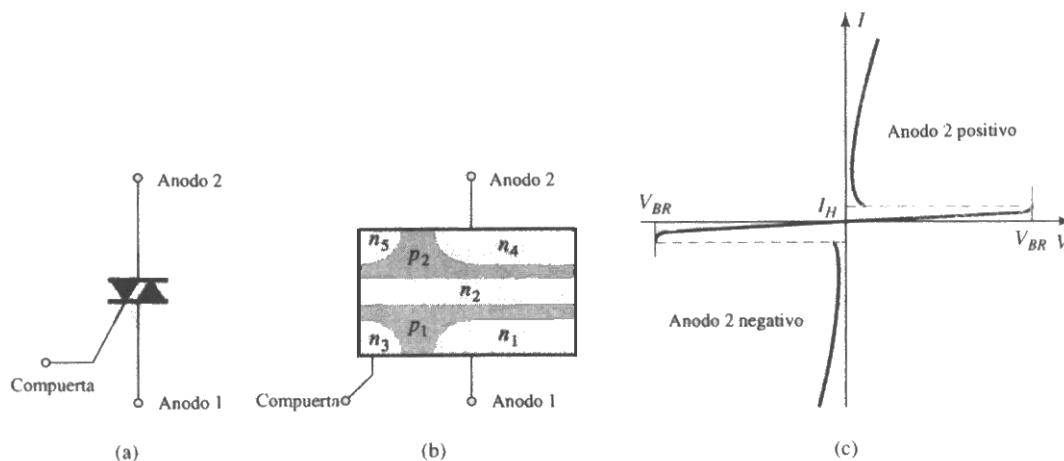


Figura 10 Triac (a) Símbolo (b) Construcción básica (c) Características.

Una aplicación fundamental del triac se presenta en la Figura 11. En este caso, controla la potencia ca a la carga por medio de la conmutación conducción-corte durante las regiones positiva y negativa de la señal senoidal de entrada. La acción de este circuito durante la parte positiva de la señal de entrada. La acción de este circuito durante la parte positiva de la señal de entrada es muy semejante a la del diodo Shockley. La ventaja de esta configuración es que durante la parte negativa de la señal de entrada se producirá el mismo tipo de respuesta, puesto que tanto el diac como el triac pueden dispararse en la dirección inversa. La forma de onda que resulta para la corriente a través de la carga se muestra en la Figura 11 Al variar el resistor R puede controlarse el ángulo de conducción. En la actualidad se encuentran unidades que pueden manejar cargas superiores a 10 kW.

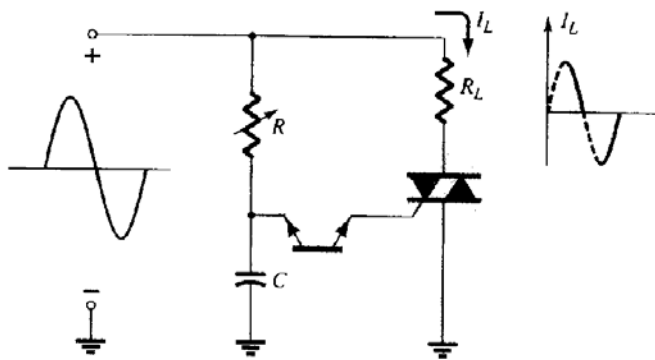


Figura 11 Aplicaciones del Triac: Control de fase (potencia)