



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
UNIVERSIDAD SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y EL



UNIDAD PROFESIONAL AZCAPOZALCO

INGENIERIA EN ROBOTICA INDUSTRIAL



PROFESOR : M. en C. RAÚL RIVERA BLAS

ALUMNOS : ALVARADO ORTIZ GERARDO
BLANCO CERON GABRIEL
ROBLEDO GALICIA ROGELIO
YÁNEZ DIAZ ISAAC

GRUPO : 6R3M

INTRODUCCION

El triac es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado por inversión de la tensión o al disminuir la corriente por debajo del valor de mantenimiento. El triac puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa.

DESCRIPCION GENERAL

Cuando el triac conduce, hay una trayectoria de flujo de corriente de muy baja resistencia de una terminal a la otra, dependiendo la dirección de flujo de la polaridad del voltaje externo aplicado. Cuando el voltaje es más positivo en MT2, la corriente fluye de MT2 a MT1 en caso contrario fluye de MT1 a MT2. En ambos casos el triac se comporta como un interruptor cerrado. Cuando el triac deja de conducir no puede fluir corriente entre las terminales principales sin importar la polaridad del voltaje externo aplicado por tanto actúa como un interruptor abierto.

Debe tenerse en cuenta que si se aplica una variación de tensión importante al triac (dv/dt) aún sin conducción previa, el triac puede entrar en conducción directa.

CONSTRUCCION BASICA, SIMBOLO, DIAGRAMA EQUIVALENTE

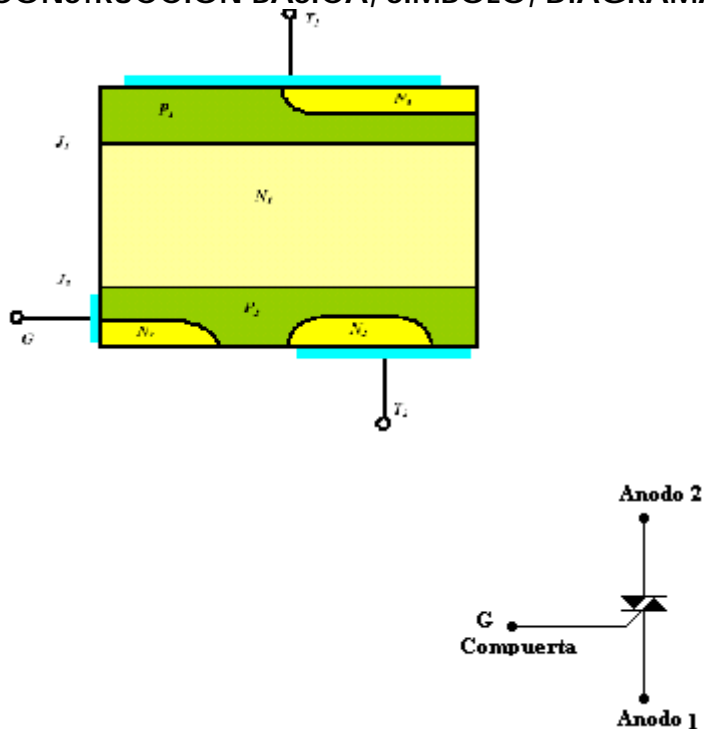


FIG. 1 FIG. 2

La estructura contiene seis capas como se indica en la FIG. 1, a un que funciona siempre como un tiristor de cuatro capas. En sentido MT2-MT1 conduce a través de $P_1N_1P_2N_2$ y en sentido MT1-MT2 a través de $P_2N_1P_1N_4$. La capa N_3 facilita el disparo con intensidad de puerta

negativa. La complicación de su estructura lo hace más delicado que un tiristor en cuanto a di/dt y dv/dt y capacidad para soportar sobre intensidades. Se fabrican para intensidades de algunos amperios hasta unos 200 A eficaces y desde 400 a 1000 V de tensión de pico repetitivo. Los triac son fabricados para funcionar a frecuencias bajas, los fabricados para trabajar a frecuencias medias son denominados *alternistores*. En la FIG. 2 se muestra el símbolo esquemático e identificación de las terminales de un triac, la nomenclatura Ánodo 2 (A2) y Ánodo 1 (A1) pueden ser reemplazados por Terminal Principal 2 (MT2) y Terminal Principal 1 (MT1) respectivamente.

El Triac actúa como dos rectificadores controlados de silicio (SCR) en paralelo Fig. 3, este dispositivo es equivalente a dos latches

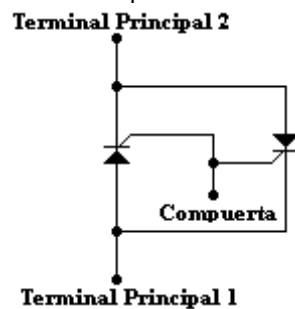


FIG. 3
CARACTERÍSTICA TENSION – CORRIENTE

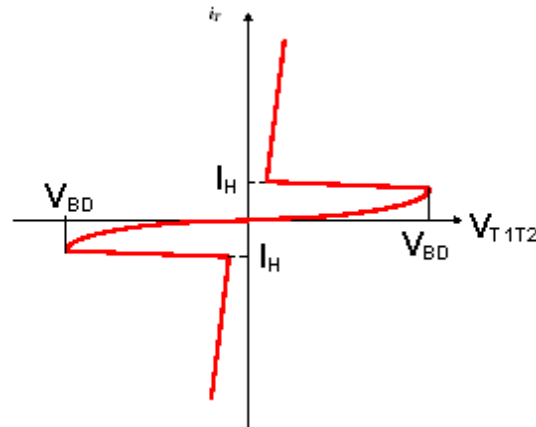


FIG. 4
La FIG. 4 describe la característica tensión – corriente del Triac. Muestra la corriente a través del Triac como una función de la tensión entre los ánodos MT₂ y MT₁.

El punto V_{BD} (tensión de ruptura) es el punto por el cual el dispositivo pasa de una resistencia alta a una resistencia baja y la corriente, a través del Triac, crece con un pequeño cambio en la tensión entre los ánodos.

El Triac permanece en estado ON hasta que la corriente disminuye por debajo de la corriente de mantenimiento I_H . Esto se realiza por medio de la disminución de la tensión de la fuente. Una vez que el Triac entra en conducción, la compuerta no controla más la conducción, por esta razón

se acostumbra dar un pulso de corriente corto y de esta manera se impide la disipación de energía sobrante en la compuerta.

El mismo proceso ocurre con respecto al tercer cuadrante, cuando la tensión en el ánodo MT2 es negativa con respecto al ánodo MT1 y obtenemos la característica invertida. Por esto es un componente simétrico en cuanto a conducción y estado de bloqueo se refiere, pues la característica en el cuadrante I de la curva es igual a la del III

METODOS DE DISPARO

Como hemos dicho, el Triac posee dos ánodos denominados (MT1 y MT2) y una compuerta G.

La polaridad de la compuerta G y la polaridad del ánodo 2, se miden con respecto al ánodo 1.

El triac puede ser disparado en cualquiera de los dos cuadrantes I y III mediante la aplicación entre los terminales de compuerta G y MT1 de un impulso positivo o negativo. Esto le da una facilidad de empleo grande y simplifica mucho el circuito de disparo. Veamos cuáles son los fenómenos internos que tienen lugar en los cuatro modos posibles de disparo.

1 – El primer modo del primer cuadrante designado por **I (+)**, es aquel en que la tensión del ánodo MT2 y la tensión de la compuerta son positivas con respecto al ánodo MT1 y este es el modo más común (Intensidad de compuerta entrante).

La corriente de compuerta circula internamente hasta MT1, en parte por la unión P2N2 y en parte a través de la zona P2. Se produce la natural inyección de electrones de N2 a P2, que es favorecida en el área próxima a la compuerta por la caída de tensión que produce en P2 la circulación lateral de corriente de compuerta. Esta caída de tensión se simboliza en la figura por signos + y -.

Parte de los electrones inyectados alcanzan por difusión la unión P2N1 que bloquea el potencial exterior y son acelerados por ella iniciándose la conducción.

2 – El Segundo modo, del tercer cuadrante, y designado por **III(-)** es aquel en que la tensión del ánodo MT2 y la tensión de la compuerta son negativos con respecto al ánodo MT1 (Intensidad de compuerta saliente).

Se dispara por el procedimiento de puerta remota, conduciendo las capas P2N1P1N4.

La capa N3 inyecta electrones en P2 que hacen más conductora la unión P2N1. La tensión positiva de T1 polariza el área próxima de la unión P2N1 más positivamente que la próxima a la puerta. Esta polarización inyecta huecos de P2 a N1 que alcanzan en parte la unión N1P1 y la hacen pasar a conducción.

3 – El tercer modo del cuarto cuadrante, y designado por **I(-)** es aquel en que la tensión del ánodo MT2 es positiva con respecto al ánodo MT1 y la tensión de disparo de la compuerta es negativa con respecto al ánodo MT1 (Intensidad de compuerta saliente).

El disparo es similar al de los tiristores de puerta de unión. Inicialmente conduce la estructura auxiliar P1N1P2N3 y luego la principal P1N1P2N2.

El disparo de la primera se produce como en un tiristor normal actuando T1 de puerta y P de cátodo. Toda la estructura auxiliar se pone a la tensión positiva de T2 y polariza fuertemente la unión P2N2 que inyecta electrones hacia el área de potencial positivo. La unión P2N1 de la estructura principal, que soporta la tensión exterior, es invadida por electrones en la vecindad de la estructura auxiliar, entrando en conducción.

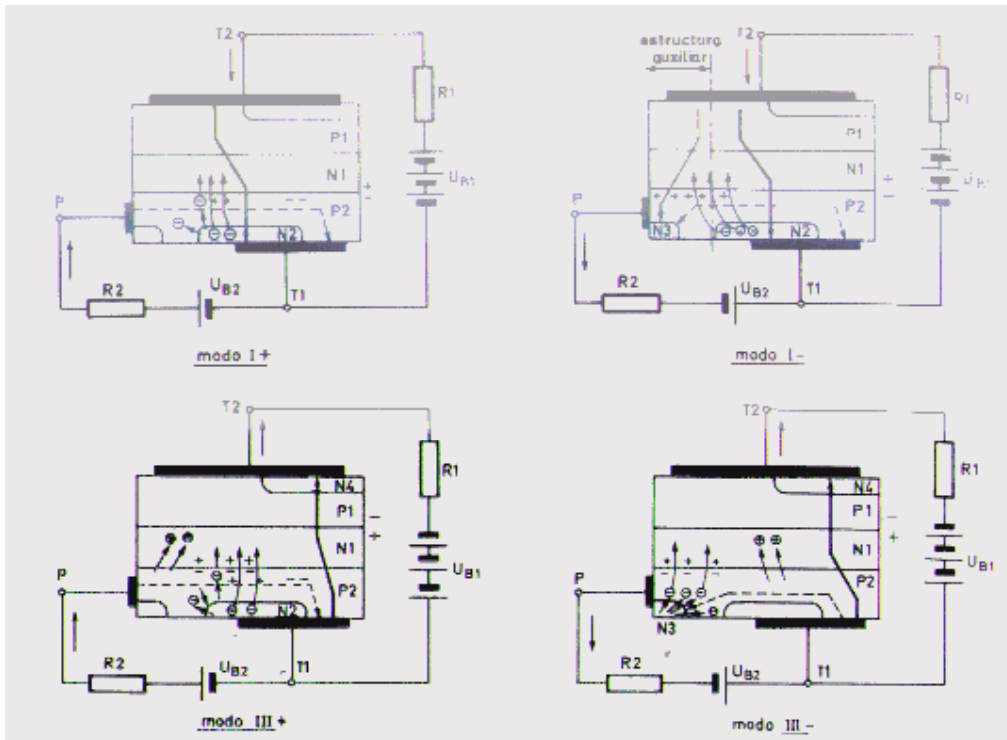
4 – El cuarto modo del Segundo cuadrante y designado por **III(+)** es aquel en que la tensión del ánodo T2 es negativa con respecto al ánodo MT1, y la tensión de disparo de la compuerta es positiva con respecto al ánodo MT1 (Intensidad de compuerta entrante).

El disparo tiene lugar por el procedimiento llamado de puerta remota. Entra en conducción la estructura P2N1P1N4.

La inyección de N2 a P2 es igual a la descrita en el modo I(+). Los que alcanzan por difusión la unión P2N1 son absorbidos por su potencial de unión, haciéndose más conductora. El potencial positivo de puerta polariza más positivamente el área de unión P2N1 próxima a ella que la próxima a T1, provocándose una inyección de huecos desde P2 a N1 que alcanza en parte la unión N1P1 encargada de bloquear la tensión exterior y se produce la entrada en conducción.

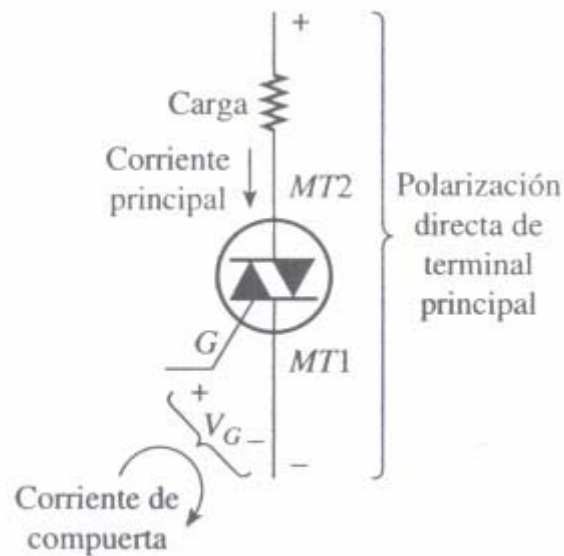
El estado I(+), seguido de III(-) es aquel en que la corriente de compuerta necesaria para el disparo es mínima. En el resto de los estados es necesaria una corriente de disparo mayor. El modo III(+) es el de disparo más difícil y debe evitarse su empleo en lo posible.

En general, la corriente de encendido de la compuerta, dada por el fabricante, asegura el disparo en todos los estados.



Características eléctricas de los triacs

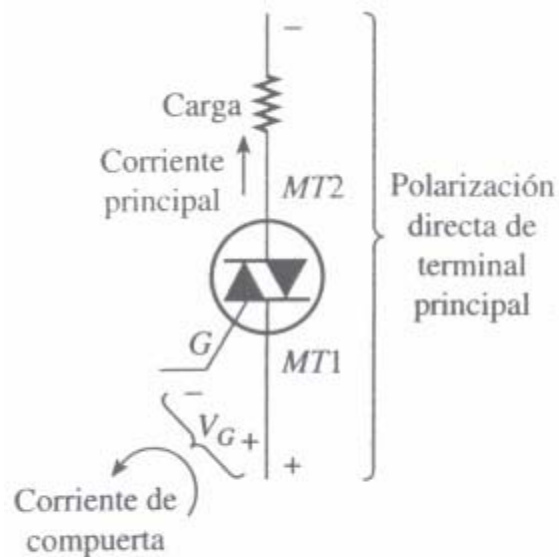
Cuando un triac está polarizado con un voltaje externo más positivo en MT2 (llamada polarización del terminal principal directa o positiva), por lo general se activa mediante un flujo de corriente de la compuerta hacia MT1. Las polaridades de los voltajes y la dirección de las corrientes de este caso se muestran en la figura siguiente.



(a)

Cuando un triac esta polarizado como lo muestra la figura el disparo es idéntico al disparo de un SCR. La terminal G es positiva con respecto a MT1, lo que ocasiona que la corriente de disparo fluya hacia el interior del dispositivo en la terminal MT1 el voltaje de compuerta necesario para disparar un triac se simboliza como V_{GT} , la corriente de compuerta necesaria para el disparo se simboliza como I_{GT} . La mayoría de los triacs de tamaño medio tienen un V_{GT} de aproximadamente 0.6 a 2.0 V y un I_{GT} de 0.1 a 20mA. Como es habitual, estas características varían bastante según los cambios de temperatura. Las variaciones típicas en las características eléctricas con la temperatura se grafican en las hojas de especificación del fabricante

Cuando el triac esta polarizado mas positivamente en MT1 (llamada polarización inversa o negativa de terminal principal), como muestra la figura siguiente, a menudo el disparo se logra enviando la compuerta de corriente al interior del triac a la terminal MT1 y fuera del triac en la terminal G. El voltaje de compuerta será negativo con respecto a MT1 para lograr esto. Las polaridades de voltaje y direcciones de corriente para invertir la polarización de terminal principal se ilustran en la siguiente Fig.



(b)

Para un triac individual en especial, el I_{GT} para la polarización directa de terminal principal puede ser bastante diferente de I_{GT} para la polarización inversa de terminal principal.

Al igual que un SCR, un triac no requiere una corriente de compuerta continua una vez que ha sido disparado. Permanecerá en estado encendido hasta que la polaridad de la terminal principal cambie o hasta que la corriente de terminal principal caiga por debajo de la corriente de sostenimiento. La mayoría de los triacs de tamaño medio tiene un valor nominal de corriente de sostenimiento menor a 100mA.

Otras características importantes de los triacs son: la corriente rms de terminal principal máxima permitida, $I_{T_{rms}}$ y el voltaje de rompimiento, $V_{D_{ROM}}$ que es el voltaje pico de terminal principal mas alto que el triac puede bloquear en cualquier dirección. Si el voltaje instantáneo aplicado de MT2 a MT1 debe exceder $V_{D_{ROM}}$, el triac entrara en rompimiento y comienza a dejar pasar la corriente de terminal principal. Esto no daña el triac, pero representa una perdida de control de compuerta, a fin de evitar un rompimiento el triac debe tener un valor nominal $V_{D_{ROM}}$ mayor que el valor pico de voltaje CA que acciona el circuito. Los valores nominales más populares de $V_{D_{ROM}}$ para los triacs son 100, 200, 400 y 600V.

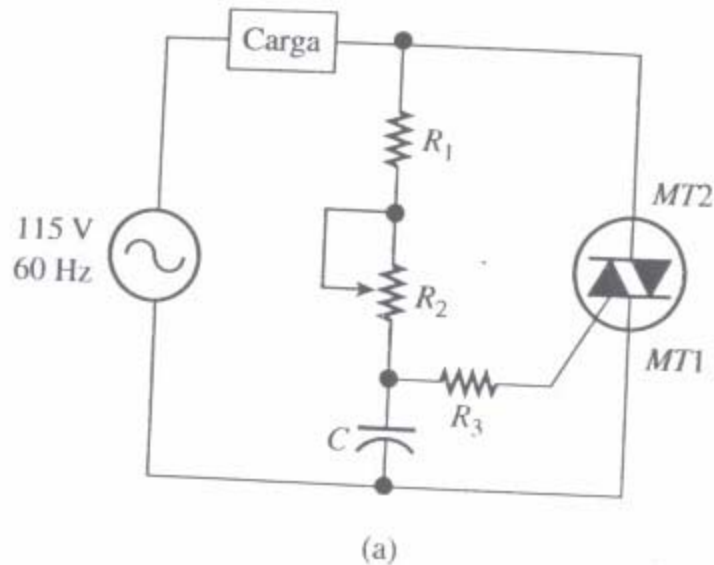
Para muchos fabricantes la secuencia disponible de valores nominales $I_{T_{rms}}$ es 1, 3, 6, 10, 15 y 25mA. Otro valor nominal eléctrico importante que se proporciona en las hojas de especificación es V_{TM} el voltaje de estado encendido de las terminales principales. Idealmente el voltaje de estado encendido debe ser 0V pero por lo general cae entre 1 y 2V para triacs reales, lo mismo que para los SCR. Un valor nominal bajo de V_{TM} es preferible debido a que significa que el triac replica cercanamente la acción de un interruptor mecánico, aplicando el voltaje de alimentación completo a la carga. También significa que el triac en sí mismo consume muy poca energía. La energía consumida por el triac esta dada por el producto de la corriente de terminal principal y el voltaje de terminal principal. Una alta disipación de energía no es aconsejable desde el punto de vista de protección del triac de altas temperaturas y también desde el punto de vista de una transferencia económica de energía de la fuente a la carga.

Métodos de disparos para triacs

Circuitos de control de compuerta RC

El circuito de disparo del triac mas simple se muestra en la siguiente figura. En esta podemos observar que el capacitor C se carga a través de R1 y R2 durante la parte del ángulo de retardo de cada medio ciclo. Durante un medio ciclo positivo, MT2 es positivo con respecto a MT1 y C se carga positivo en su placa superior. Cuando el voltaje en C se acumula hasta un

valor suficientemente grande para suministrar suficiente corriente de compuerta (I_{GT}) a través de R_3 para disparar el triac, este se dispara.



Durante un medio ciclo negativo, C se carga negativo en su placa superior, nuevamente cuando el voltaje a través del capacitor es lo bastante grande para suministrar la corriente suficiente de compuerta en la dirección inversa a través de R_3 para disparar el triac, este se dispara.

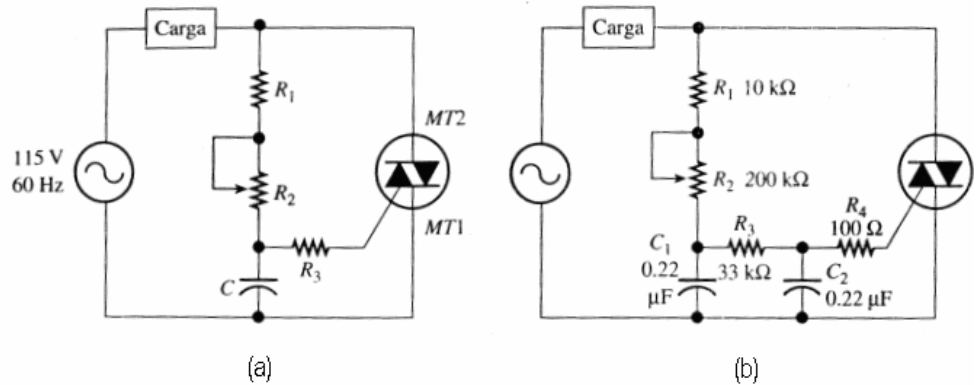
El ritmo de carga del capacitor C se establece por medio de la resistencia R_2 . Para una R_2 grande, la velocidad de carga es lenta, lo que produce un retardo de disparo largo y una corriente de carga promedio pequeña. Para una R_2 pequeña la velocidad de carga es rápida el ángulo de retardo de disparo es pequeño y la corriente de carga es alta.

DISPOSITIVOS DE ROMPIMIENTO EN LOS CIRCUITOS DE CONTROL DE COMPUERTA DE TRIACS

FIGURA 6-4

(a) Circuito simple de control de compuerta (circuito de disparo) para un TRIAC. El potenciómetro R_2 ajusta al retardo de disparo.

(b) Circuito de control de compuerta mejorado, que permite un rango más amplio de ajuste del retardo de disparo.



Los circuitos de control de compuerta de la figura 6-4 se pueden mejorar con la adición de un dispositivo de rompimiento en la terminal de la compuerta, como se muestra en la figura 6-5(a). El dispositivo de rompimiento dibujado en la figura 6-5(a) es un *diac*, pero existen otros muchos dispositivos de rompimiento que también trabajan bien. El uso de un dispositivo de rompimiento en el circuito de disparo de compuerta RC. Estas ventajas se basan en el hecho de que los dispositivos de rompimiento suministran un pulso de corriente de compuerta en vez de una corriente de compuerta senoidal.

La habilidad de un dispositivo de rompimiento para suministrar un pulso de corriente se puede entender mediante la figura 6-5(b), lo cual muestra una curva característica típica de corriente-voltaje para un diac. (A los se les conoce también con los nombres de *diodo de disparo bidireccional* y *diodo de disparo simétrico*).

Ahora interpretemos la curva característica del diac. La curva muestra que para voltajes directos aplicados menores al *voltaje de rompimiento director* (simbolizado $+V_{BO}$) el diac virtualmente no permite que corriente alguna fluya. No obstante, una vez que se ha alcanzado el voltaje de rompimiento director, el diac se conmuta a conducción y la corriente emerge al declinar el voltaje a través de las terminales. Refiérase a la figura 6-5(b) para observar este fenómeno. Este pico de corriente en la curva característica es responsable de la capacidad de pulsación del diac.

En la región de voltaje negativo, el comportamiento es idéntico. Cuando el voltaje inverso aplicado es más pequeño que el *voltaje de rompimiento inverso* (simbolizado $-V_{BO}$) el diac no permite que corriente alguna fluya. Cuando el voltaje aplicado alcanza $-V_{BO}$, el diac se conmuta a conducción en la dirección opuesta. Esto se grafica como una corriente negativa en la figura 6-5(b).

Los diacs se fabrican para ser relativamente estables térmicamente y para tener tolerancias bastante cercanas en los voltajes de rompimiento. Existe una diferencia muy pequeña en la magnitud entre el voltaje de rompimiento directo y el voltaje de rompimiento inverso para un diac. La diferencia es por lo general menor a 1V. Esto permite que el circuito de disparo mantenga ángulos de retardo de disparo prácticamente iguales para ambos ciclos de la alimentación de CA.

La operación del circuito en la figura 6-5(a) es la misma que la del circuito en la figura 6-4(a), excepto que el voltaje del capacitor debe acumularse hasta el voltaje de rompimiento del diac con el fin de suministrar corriente de compuerta al triac. Para un diac, el voltaje de rompimiento sería bastante más alto que el voltaje que sería necesario en la figura 6-4(a). El voltaje de rompimiento más popular para los diacs es 32V ($+V_{BO}=+32V$, $-V_{BO}=-32V$). Este valor es conveniente para el uso con una alimentación de 115VCA. Por lo tanto, cuando el voltaje del capacitor alcanza 32V, en cualquier polaridad, el diac cae en rompimiento, con lo que suministra un pulso ENCENDIDO de corriente a la compuerta del triac. Debido a que el voltaje del capacitor debe alcanzar valores más altos cuando un diac se usa, la constante de tiempo de carga debe reducirse. Esto significa que la figura 6-5(a) tendría valores de componentes más pequeños (valores de resistor y capacitor) que la figura 6-4(a).

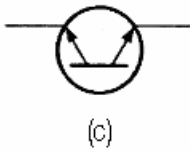
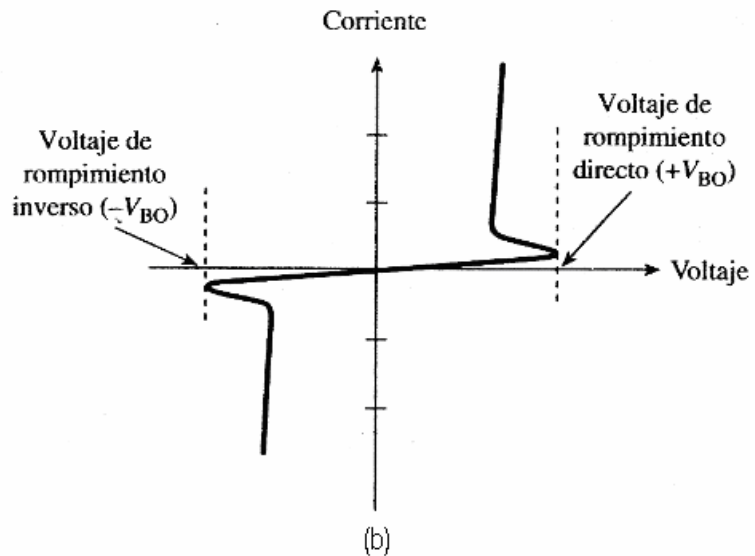
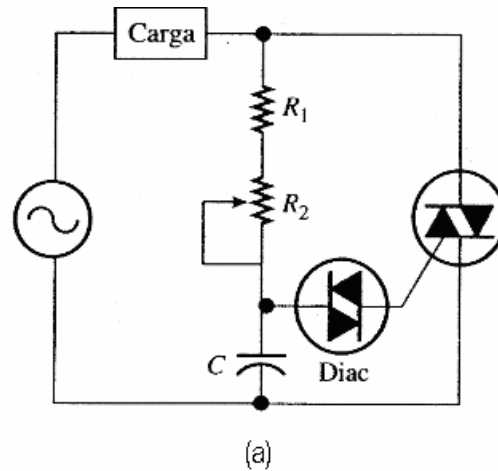
En la figura 6-5(c) se presenta un segundo símbolo esquemático para el diac. Este símbolo se utiliza con menor frecuencia, y se prefiere el símbolo del diac de la figura 6-5(a).

FIGURA 6-5

(a) El circuito de control de compuerta de TRIAC que contiene un DIAC (diodo de disparo bidireccional). Este método de disparo tiene varias ventajas sobre los métodos mostrados en la figura 6-4.

(b) Curva característica de voltaje en función de la corriente de un DIAC.

(c) Otro símbolo esquemático para un DIAC.



INTERRUPTORES BILATERALES DE SILICIO TEORÍA Y OPERACIÓN DE UN SBS

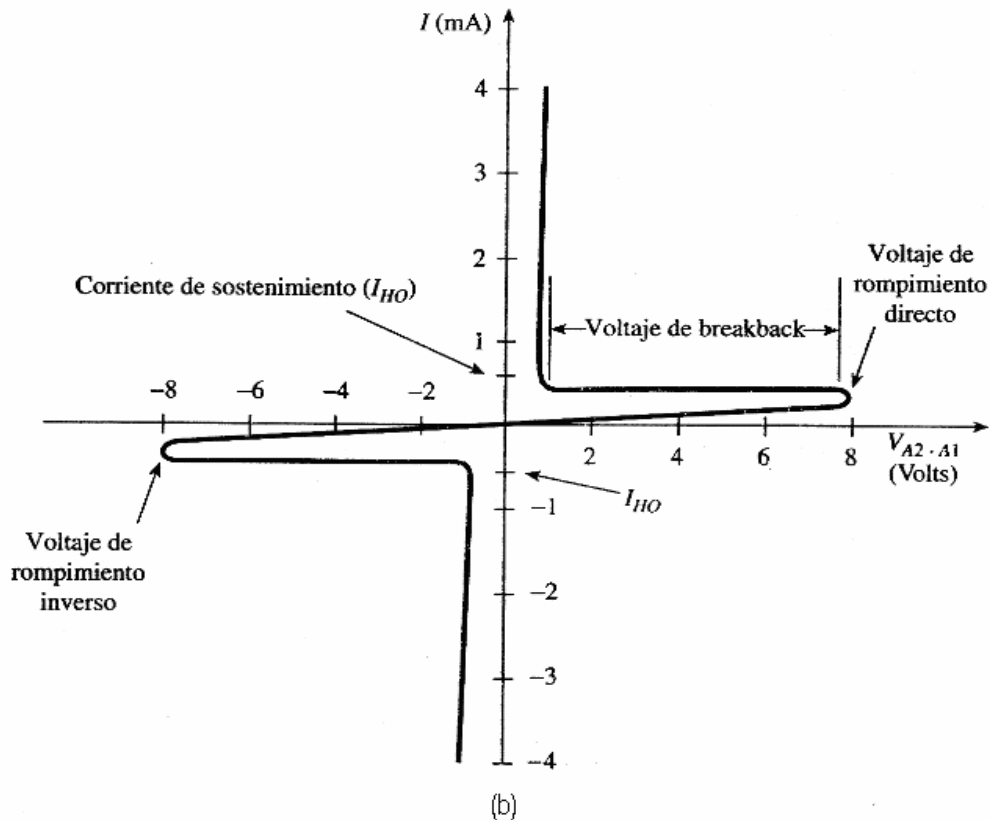
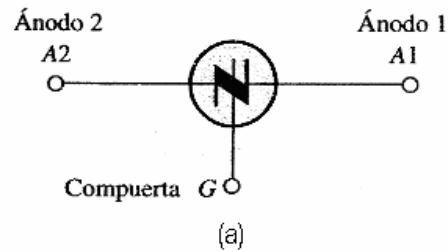
Existe otro dispositivo de rompimiento que es capaz de disparar triacs. Se denomina *interruptor bilateral de Silicio* (SBS, por sus siglas en inglés; *silicon bilateral switch*), y es popular en los circuitos de control de disparo de bajo voltaje. Los SBS tienen voltajes de rompimiento más bajos que los diacs, los de valor ± 8 son los más conocidos. La curva característica de voltaje-corriente de un SBS es similar a la del diac, pero el SBS tiene una región de "resistencia negativa" más pronunciada. Es decir, su declinación en voltaje es más drástica después de que ingresa al estado de conducción. En la figura 6-6(a) se muestra un SBS. Su curva característica de corriente-voltaje se muestra en la figura 6-6(b). Observe que cuando el SBS cambia a su estado de conducción, el voltaje a través de sus terminales de ánodo caen prácticamente a cero (a aproximadamente 1V). Se dice que el SBS

tiene un *voltaje de rompimiento* de 7V, debido a que el voltaje entre A2 y A1 disminuye en cerca de 7V cuando se enciende.

FIGURA 6-6

(a) Símbolo esquemático y nombres de terminales de un SBS (interruptor bilateral de Silicio).

(b) Curva característica de corriente-voltaje de un SBS, con puntos importantes indicados.



La curva característica de la figura 6-6(b) es para la Terminal de compuerta del SBS desconectado. La Terminal de compuerta se puede utilizar para alterar el comportamiento básico de corriente-voltaje de un SBS, como lo veremos en breve. Sin embargo, el SBS es muy útil aun sin su Terminal de compuerta, precisamente gracias al rompimiento de acción instantánea de A2 a A1.

Para usar un SBS sin su Terminal de compuerta, se podría instalar en el lugar del diac de la figura 6-5(a). Debido al V_{BO} más bajo del SBS, los componentes temporizadores de RC tendrían que incrementar su valor. Quizá se esté preguntando por qué querríamos usar un SBS en este circuito de control en lugar de un diac. Bien, en términos generales, el SBS es un dispositivo superior comparado con el diac. No sólo el SBS muestra una característica de conmutación más vigorosa, como lo indica la figura 6-

6(b), sino que un SBS es más estable térmicamente, más simétrico y tiene menos dispersión de lote que un diac.

Para decirlo con números, un SBS moderno tiene un coeficiente de temperatura de aproximadamente $+0.02\ \%/^{\circ}\text{C}$. Esto significa que su V_{BO} se incrementa por sólo 0.02% por cambio de grado de temperatura, lo que resulta en sólo $0.16\ \text{V}/100\ ^{\circ}\text{C}$, la cual verdaderamente, es una estabilidad de temperatura.

Los SBS son simétricos dentro de alrededor de $0.3\ \text{V}$. Es decir, la diferencia en la magnitud entre $+V_{BO}$ y $-V_{BO}$ es menor que $0.3\ \text{V}$. Esto produce retardos de disparo virtualmente idénticos para medios ciclos positivos y negativos.

La difusión de lote de SBS es menor a $0.1\ \text{V}$. Esto significa que la diferencia en V_{BO} entre todos los SBS en un lote es menor que $0.1\ \text{V}$. En contraste, la difusión de lote entre los diacs es de casi $4\ \text{V}$.

USO DE LA TERMINAL DE COMPUERTA DE UN SBS.

Como se mencionó, la Terminal de compuerta de un SBS se puede usar para alterar su comportamiento básico de rompimiento. Por ejemplo, si un diodo zener se conecta entre G y A1, como se muestra en la figura 6-7(a), el voltaje de rompimiento directo ($+V_{BO}$) cambia a aproximadamente al valor de V_Z del diodo zener. Con un diodo zener de $3.3\ \text{V}$ conectado, $+V_{BO}$ sería igual a $3.3\ \text{V} + 0.6\ \text{V}$ (existe una unión pn interna). Esto produciría

$$+V_{BO} = 3.9\text{V}$$

El voltaje de rompimiento inverso no se vería afectado y permanecería en $-8\ \text{V}$. El nuevo comportamiento de corriente-voltaje sería como el dibujado en la figura 6-7(b). Este comportamiento sería útil si se desearan tener diferentes ángulos de retardo de disparo para los medios ciclos positivos y negativos (lo que sería poco usual).

INTERRUPTORES BILATERALES DE SILICIO

Teoría y operación de un SBS.

Existe otro dispositivo de rompimiento que es capaz de disparar triacs. Se denomina *interruptor bilateral de silicio* (SBS, por sus siglas en inglés; *silicon bilateral switch*), y es popular en los circuitos de control de disparo de bajo voltaje. Los SBS tienen voltajes de rompimiento más bajos que los diacs, los de valor ± 8 son los más conocidos. La curva característica de voltaje - corriente de un SBS es similar a la del diac, pero el SBS tiene una región de "resistencia negativa" más pronunciada. Es decir, su declinación en voltaje es más drástica después de que ingresa al estado de conducción. En la figura 6-6(a) se muestra un SBS. Su curva característica de corriente-voltaje se muestra en la figura 6-6(b). Observe que cuando el SBS cambia a su estado de conducción, el voltaje a través de sus terminales de ánodo caen prácticamente a cero (a aproximadamente $1\ \text{V}$). Se dice que "el SBS tiene un voltaje de rompimiento de $7\ \text{V}$, debido a que el voltaje entre A2 y A1 disminuye en cerca de $7\ \text{V}$ cuando se enciende.

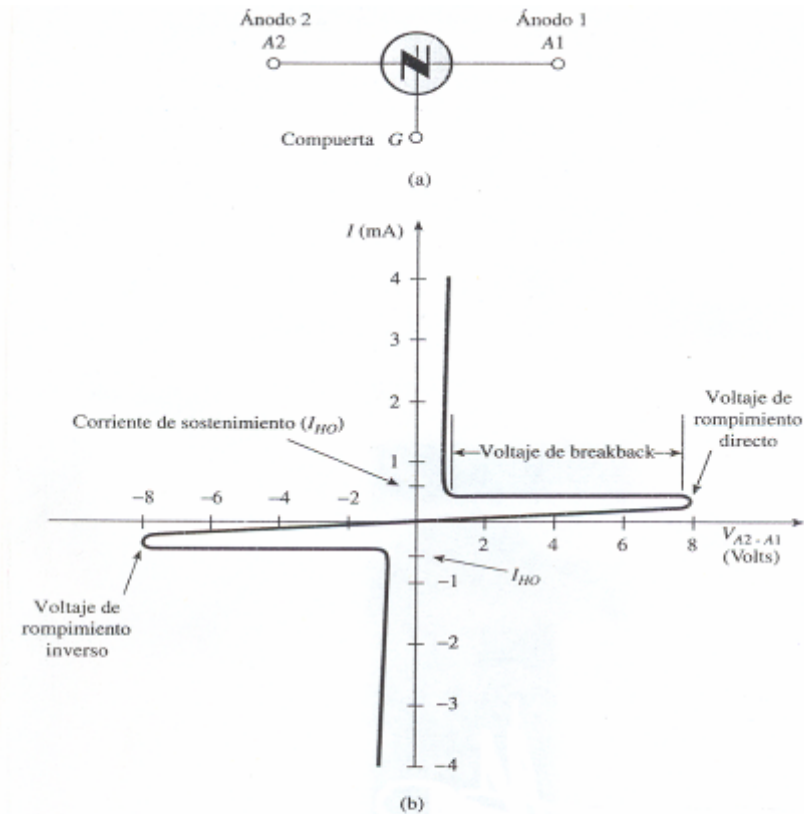


FIGURA 6-6

(a) Símbolo esquemático y nombres de terminales de un SBS (interruptor bilateral de silicio). (b) Curva característica de corriente-voltaje de un SBS, con puntos importantes indicados.

La curva característica de la figura 6-6(b) es para la Terminal de compuerta del SBS desconectado. La Terminal de compuerta se puede utilizar para alterar el comportamiento básico de corriente-voltaje de un SBS, como lo veremos en breve. Sin embargo, el SBS es muy útil aun sin su Terminal de compuerta, precisamente gracias al rompimiento de acción instantánea de A2 a A 1.

Para usar un SBS sin su Terminal de compuerta, se podría instalar en el lugar del diac de la figura 6-5(a). Debido al V_{BO} más bajo del SBS, los componentes temporizadores de RC tendrían que incrementar su valor. Quizá se esté preguntando por qué querríamos usar un SBS en este circuito de control en lugar de un diac. Bien, en términos generales, el SBS es un dispositivo superior comparado con el diac. No sólo el SBS muestra una característica de conmutación más vigorosa, como lo indica la figura 6-

6(b), sino que un SBS es más estable térmicamente, más simétrico y tiene menos dispersión de lote que un diac.

Para decirlo con números, un SBS moderno tiene un coeficiente de temperatura de aproximadamente $+0.02\%/^{\circ}\text{C}$. Esto significa que su V_{BO} se incrementa por sólo 0.02% por cambio de grado de temperatura, lo que resulta en sólo $0.16\text{ V}/100^{\circ}\text{C}$, la cual verdaderamente, es una estabilidad de temperatura.

Los SBS son simétricos dentro de alrededor de 0.3 V . Es decir, la diferencia en la magnitud entre $+V_{BO}$ y $-V_{BO}$ es menor que 0.3 V . Esto produce retardos de disparo virtualmente idénticos para medios ciclos positivos y negativos.

La difusión de lote de SBS es menor a 0.1 V . Esto significa que la diferencia en V_{BO} entre todos los SBS en un lote es menor que 0.1 V . En contraste, la difusión de lote entre los diacs es de casi 4 V .

Uso de la Terminal de compuerta de un SBS.

Como se mencionó, la Terminal de compuerta de un SBS se puede usar para alterar su comportamiento básico de rompimiento. Por ejemplo, si un diodo zener se conecta entre G y A1, como se muestra en la figura 6-7(a), el voltaje de rompimiento directo ($+V_{BO}$) cambia a aproximadamente al valor de V_Z del diodo zener. Con un diodo zener de 3.3 V conectado, $+V_{BO}$ sería igual a $3.3\text{ V} + 0.6\text{ V}$ (existe una unión pn interna). Esto produciría

$$+V_{BO} = 3.9\text{V}$$

El voltaje de rompimiento inverso no se vería afectado y permanecería en -8 V . El nuevo comportamiento de corriente-voltaje sería como el dibujado en la figura 6-7(b). Este comportamiento sería útil si se desearan tener diferentes ángulos de retardo de disparo para los medios ciclos positivos y negativos (lo que sería poco usual).

Eliminación del destello de triac (histéresis) Con un SBS en compuerta.

Una de las mejores características del uso de un SBS en compuerta para el control de disparo de un triac es que puede eliminar la *histéresis* o el efecto *destello*. Permítanos primer delimitar el problema del destello. Advertimos que esta explicación es algo compleja.

Refiérase nuevamente a la figura 6-5(a). Suponga que $R2$ está ajustado de forma que e no podrá cargarse completamente hasta 32 V en cualquier dirección. En este caso, el diac nunca se dispararía, y la carga estaría desactivada por completo. Si la carga fuera una carga de iluminación, no alumbraría en absoluto. Dado que C nunca descarga nada de su carga acumulada, siempre comienza un nuevo medio ciclo con una carga residual de polaridad opuesta. Es decir, cuando comienza un medio ciclo positivo de alimentación de ca, la carga inicial sobre C es negativa en la parte superior y positiva en la inferior, esta carga es el remanente del medio ciclo negativo previo. Del mismo modo, cuando un medio ciclo negativo de la línea de alimentación de ca comienza, la carga inicial en C es positiva en la parte superior y negativa en la inferior, remanente del medio ciclo positivo anterior. El efecto de esta carga inicial es hacer dificultar que el capacitor se cargue hasta el voltaje de rompimiento del diac.

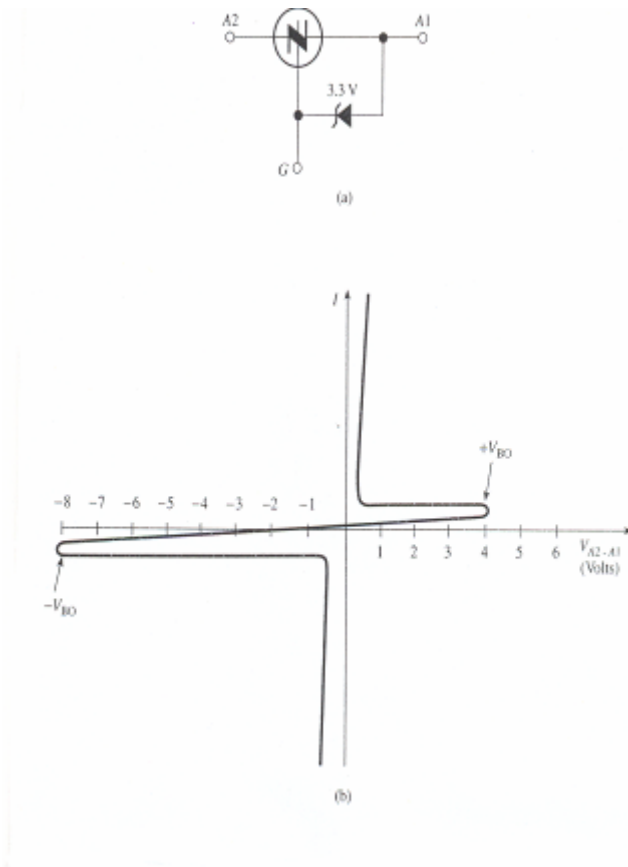


FIGURA 6-7

(a) SBS combinado con un diodo zener para alterar el punto de rompimiento en la dirección directa. (b) Curva característica de la combinación diodo zener-SBS. El voltaje de rompimiento directo es más bajo, pero el voltaje de rompimiento inverso no cambia.

Ahora suponga que disminuimos lentamente R_2 hasta que el capacitor apenas pueda cargarse a V_{BO} del diac. Asuma que el primer rompimiento ocurre en el medio ciclo positivo (tiene exactamente tantas probabilidades de que ocurra en el medio ciclo negativo como en el positivo). Cuando el diac cae en rompimiento, descarga parte de la carga + que se ha acumulado en la placa superior de C . La ruta de descarga va de G al circuito MT_1 del triac. Durante el medio ciclo positivo restante, no se carga más C , debido a que el triac coloca entero de disparo cuando se enciende. Por tanto, cuando ese medio ciclo positivo finaliza y el siguiente medio ciclo negativo comienza, la carga + inicial en la parte superior de C será *menor* que la que existió para los medios ciclos negativos previos. El capacitor tiene una "ventaja" esta vez, al intentar cargarse a $-V_{BO}$.

Debido a esta ventaja inicial, C alcanzará a $-V_{BO}$ mucho más temprano en el medio ciclo negativo que cuando alcanzó $+V_{BO}$ en el medio ciclo positivo anterior. Además, dado que C perderá algo de carga - en su placa superior cuando el diac caiga en rompimiento durante el medio ciclo negativo, comenzará el siguiente medio ciclo positivo con menos carga inicial que nunca

Antes. Por tanto, se disparará mucho más temprano en el *siguiente* medio ciclo positivo que cuando se disparó en el *primer* medio ciclo positivo.

El resultado general de este fenómeno es éste: usted puede ajustar R_2 para apenas disparar el triac, esperándose obtener una luz muy tenue de las lámparas, pero tan pronto como el primer disparo ocurre, todos los disparos subsecuentes se presentarán mucho antes en el medio ciclo. Será imposible ajustar con suavidad desde la condición completamente apagada a la condición resplandeciente-tenue. En lugar de ello las lámparas "destellarán".

Lo que se *puede* hacer, es que una vez que las lámparas se han encendido podrá ajustar la resistencia R_2 de vuelta a un valor más alto para retardar el rompimiento del diac hasta más tarde en el medio ciclo. En otras palabras, se debe girar el potenciómetro en la dirección de origen con el fin de crear una luz muy tenue. Usted puede demostrar esto con casi cualquier reductor comercial de luz en su casa. A menos que sea uno de muy buena calidad, exhibirá un destello y una subsiguiente reducción de luz al tiempo en que la perilla se gira de regreso.

Lo que tenemos aquí es una situación en la que un solo valor determinado de resistencia R_2 puede ocasionar dos resultados de circuito completamente diferentes, según la *dirección* con la que R_2 esté cambiando. Este fenómeno ocurre muy a menudo en el campo de la electrónica y, de hecho, en toda la naturaleza. Su nombre genérico es histéresis. El destello de un triac es un ejemplo específico de histéresis.

EJEMPLO:

Suponga que se requiere una resistencia R_2 de $5000\ \Omega$ sólo para apenas ocasionar que el diac caiga en rompimiento como en la figura 6-5(a).

- (a) Si la resistencia R_2 es $6000\ \Omega$ y la reducimos a $5025\ \Omega$ ¿se creará alguna luz?
- (b) Si la resistencia R_2 es $4700\ \Omega$ y la incrementamos a $5025\ \Omega$, ¿se creará alguna luz?
- (c) ¿Qué palabra utilizaría para resumir este comportamiento?

Solución. (a) Cuando $R_2 = 6000\ \Omega$, el diac no caerá en rompimiento debido a que R_2 debe declinar todo el recorrido a $5000\ \Omega$ para apenas ocasionar el rompimiento. Si entonces reducimos R_2 a $5025\ \Omega$, la resistencia sigue siendo demasiado alta para permitir el rompimiento del diac, de forma que el triac no está disparando y no se crea ninguna luz.

(b) Si R_2 es $4700\ \Omega$, éste es menor que la resistencia que apenas causa el rompimiento, así que el diac caerá en rompimiento y disparará el triac y las lámparas resplandecerán. Si elevamos la resistencia a $5025\ \Omega$, el diac seguirá en rompimiento debido a que ahora el capacitor siempre comienza a cargarse con una carga opuesta más pequeña en sus placas de la que tenía en la parte (a). La carga más pequeña resulta del hecho del capacitor parcialmente descargado en el medio ciclo precedente. Con el diac en rompimiento, el triac estará disparando y las lámparas estarán emitiendo un poco de luz.

(c) El hecho de que $5025\ \Omega$ proveniente de *arriba* (de $6000\ \Omega$) no originara luz alguna, y en cambio que $5025\ \Omega$ proveniente de *abajo* (de

4700 Ω) originara algo de luz, significa que un valor de resistencia dado causa dos resultados completamente diferentes, según la dirección del enfoque. Por tanto, podemos decir que este comportamiento denota histéresis.

La histéresis del triac se puede eliminar casi por completo con el circuito de la figura 6-8(a). Para entender cómo funciona, debemos investigar la acción de un SBS cuando una cantidad pequeña de corriente fluye en su Terminal de compuerta. Remítase a la figura 6-8(b) y (c).

La figura 6-8(b) muestra un resistor R insertado en la terminal de compuerta de un SBS y una cierta cantidad de corriente, i_G , fluyendo de A_2 a G . Esto implica que el voltaje aplicado al resistor de compuerta es negativo en relación con A_2 .

Si una pequeña corriente de compuerta fluye entre A_2 y G , la característica de rompimiento directo es modificada drásticamente. El voltaje $+V_{BO}$ cae a cerca de 1 V. como se muestra en la figura 6.8(c).

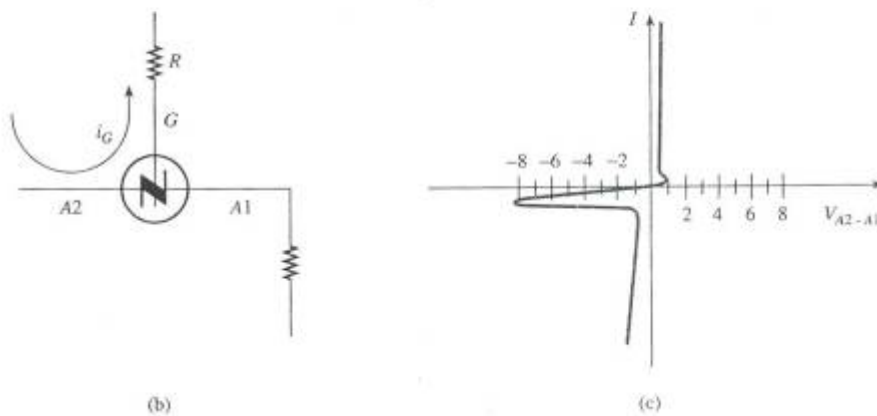
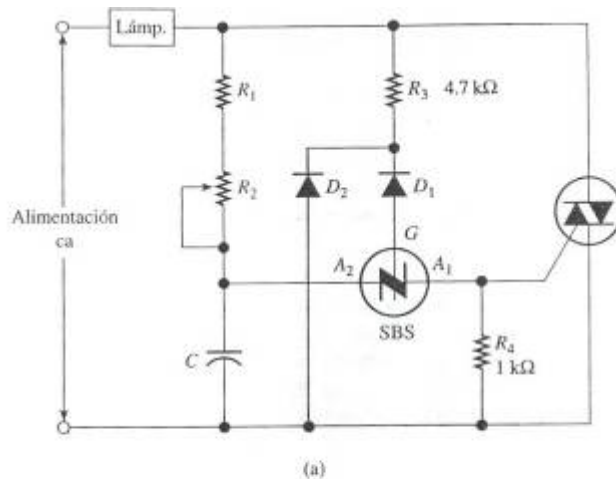


FIGURA 6-8

(a) Circuito de disparo de triac más complejo. El destello del triac se puede eliminar con este circuito. (b) Dirección de la corriente de compuerta a través del SBS cuando la alimentación de ca alcanza su cruce cero. (c) El voltaje de rompimiento directo es muy bajo cuando la corriente de compuerta está fluyendo en el SBS.

Esto significa que el SBS caerá en rompimiento tan pronto como el voltaje de A_2 a A_1 alcance 1 V. Como muestra la curva, $-V_{BO}$ no se ve afectado por la corriente de compuerta de A_2 a G .

Ahora observe la figura 6-8(a). Suponga que R_2 se establece de manera que el voltaje del capacitor no puede alcanzar ± 8 V para hacer que SBS rompa. El triac no disparará, y la luz se extinguirá. Durante el medio ciclo positivo, C se cargará con signo positivo en la parte superior y negativo en la inferior. Ahora veamos qué pasa al completar la alimentación ca el medio ciclo positivo y aproximarse a 0 V. Cuando la línea superior de alimentación se acerca de cero en relación con la línea inferior, significará que la parte superior de R_3 está cerca de cero volts en relación a la parte inferior de C. Sin embargo, la parte superior de C es positiva en relación con la parte inferior de C en este momento debido a la carga del capacitor. Por tanto, existe un voltaje impreso entre A_2 y la parte superior de R_3 ; este voltaje es de signo positivo en A_2 y negativo en la parte superior de R_3 . Éste polariza directamente al diodo D_1 y ocasiona que una pequeña cantidad de corriente de compuerta SBS fluya. La ruta de flujo es hacia dentro de SBS en A_2 , fuera del SBS en G , a través de D_1 y a través de R_3 . Con esta pequeña I_g incluso un voltaje directo muy bajo de A_2 a A_1 hará entrar en rompimiento al SBS, como lo muestra la figura 6-8(c). Existe un pequeño voltaje directo entre A_2 y A_1 en este momento, es decir, el voltaje de capacitor. En tanto éste sea mayor a aproximadamente 1 volt, el SBS caerá en rompimiento. Cuando lo haga, vaciará la carga del capacitor a través de R_4 . Por tanto, el medio ciclo negativo de la alimentación ca inicia con el capacitor prácticamente descargado en su totalidad. El resultado será que el capacitor inicia su carga con la misma carga inicial (cerca de cero) sin importar si el triac está disparando o no. Por consiguiente. La histéresis del triac se elimina.

Dispositivos de protección

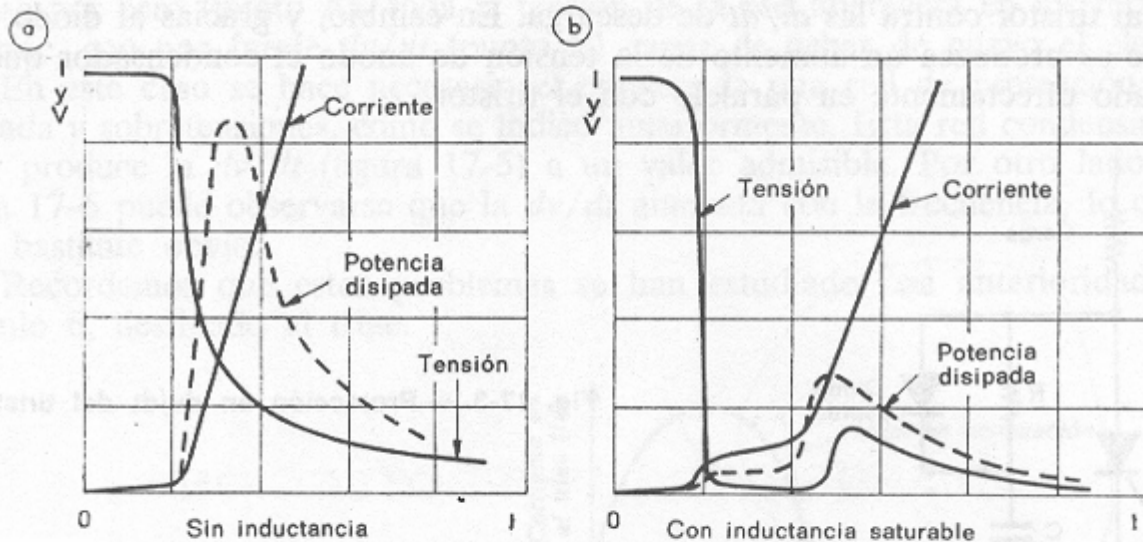
Los tiristores y triacs admiten, además de los dispositivos usuales de protección (radiadores, fusibles, etc.), el empleo de circuitos encargados de limitar los efectos de la dv/dt y de las sobreintensidades.

Protección contra di/dt

Si la carga tiene componentes capacitivos puede establecerse bruscamente una intensidad elevada de corriente en el momento mismo en que empieza el cebado del triac. La derivada di/dt impuesta al triac puede resultar perjudicial,

Si hay riesgo de aparición de di/dt pudiese llegar a sobrepasar el valor límite indicado por el fabricante, se podrá proteger el elemento añadiendo una inductancia en serie.

Lo mejor parece ser el uso de una inductancia saturable. Mientras no esta saturada, se convierte en un corto circuito. En definitiva, lo que se consigue es retardar el establecimiento de la corriente principal. En el caso de un tiristor (muy similar en el triac), tras este retardo, disipa una potencia menos importante ya que la superficie de conductora es mayor, con lo que se podrá aceptar valores mas altos de energía.



Caída de tensión en un tiristor en el momento del cebado y corriente sin (a) y con (b) inductancia saturable.

Protección contra dv/dt

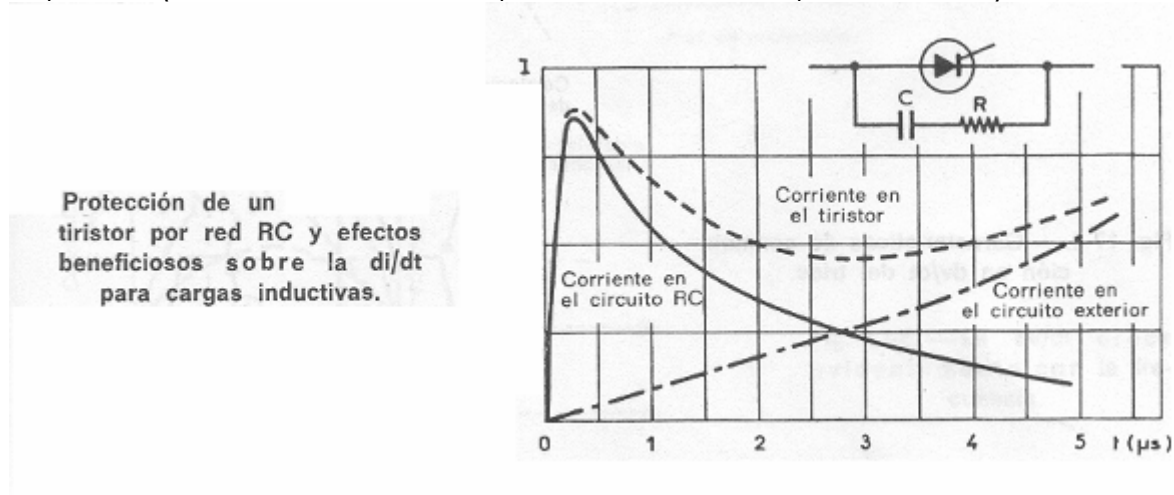
Las subidas muy bruscas de tensión aplicada al tiristor bloqueado puede provocar cebados intempestivos.

La brusca conexión a red de circuitos próximos con carga inductiva, o las variaciones bruscas de una fuerza contra electromotriz (de una carga constituida, por ejemplo, un rotor de un motor con colector) puede dar lugar a variaciones bruscas de tensión de alimentación del tiristor (o triac). Si éste se encuentra bloqueado, las derivadas dv/dt correspondientes pueden producir un cebado automático.

El método más corriente empleado para limitar la velocidad de subida de la tensión consiste en colocar un condensador en paralelo con el tiristor (o triac). Pero este condensador, al descargarse bruscamente en el cebado, introducirá una sobreintensidad y una di/dt excesivas que podrían dañar el dispositivo.

Es pues necesario limitar la corriente de descarga situando un resistor R (de 20 a 100 ohms) en serie con el condensador. El circuito RC resultante debe colocarse en paralelo con el tiristor (o triac), o lo más cerca posible de él.

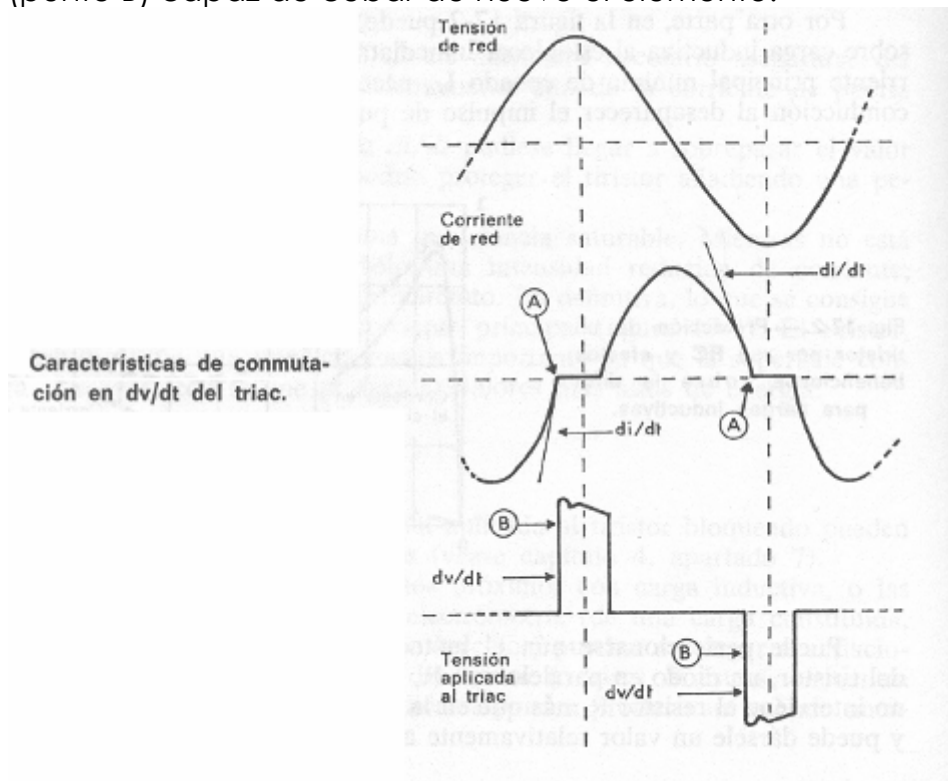
Por otra parte, en la siguiente figura puede verse cómo esta red facilita el cebado sobre carga inductiva al establecer inmediatamente una corriente superior a la corriente principal mínima de cebado I_{l} , necesaria para que el tiristor mantenga la conducción al desaparecer el impulso de la puerta (esto también es completamente válido para el triac).



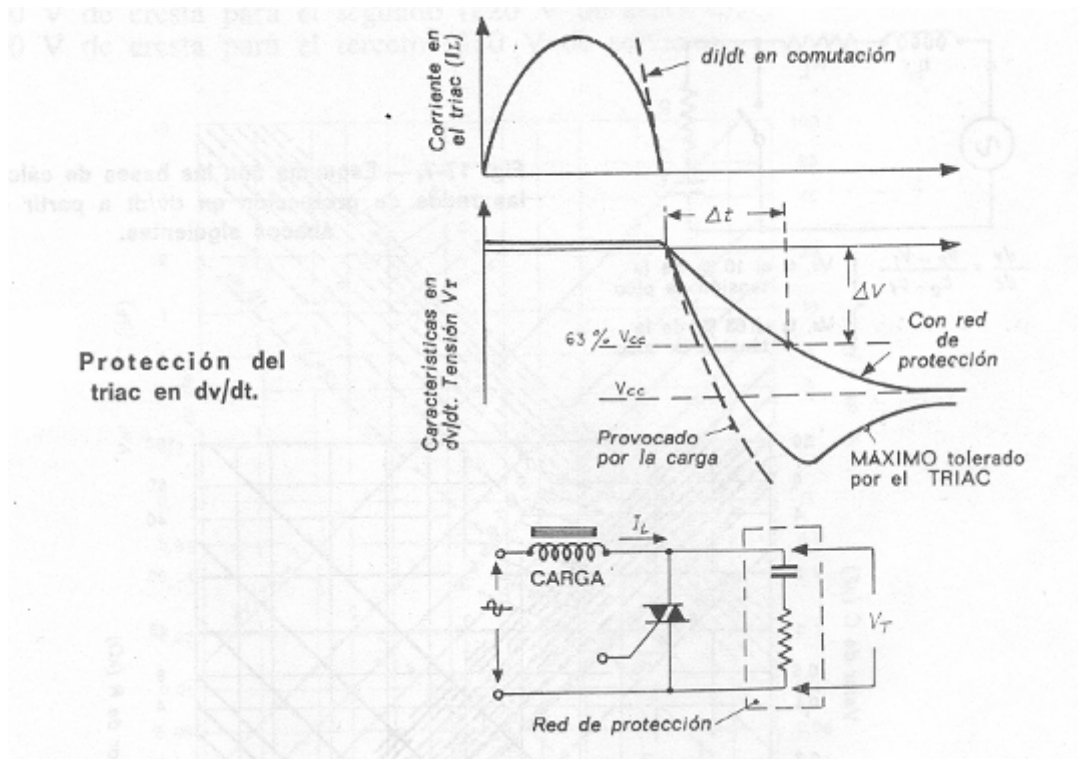
Bloqueo con carga inductiva

Supongamos un triac operando en AC con una carga inductiva que introduzca un desfase de 90 grados entre tensión y corriente. La situación se resume en las curvas de la siguiente figura donde se han representado la tensión y la corriente de red y la tensión aplicada en las terminales de

triac. Se verá que cuando la corriente pasa por cero (punto A), toda la tensión de la red aparecerá en las terminales del triac, con una fuerte dv/dt (punto B) capaz de cebar de nuevo el elemento.

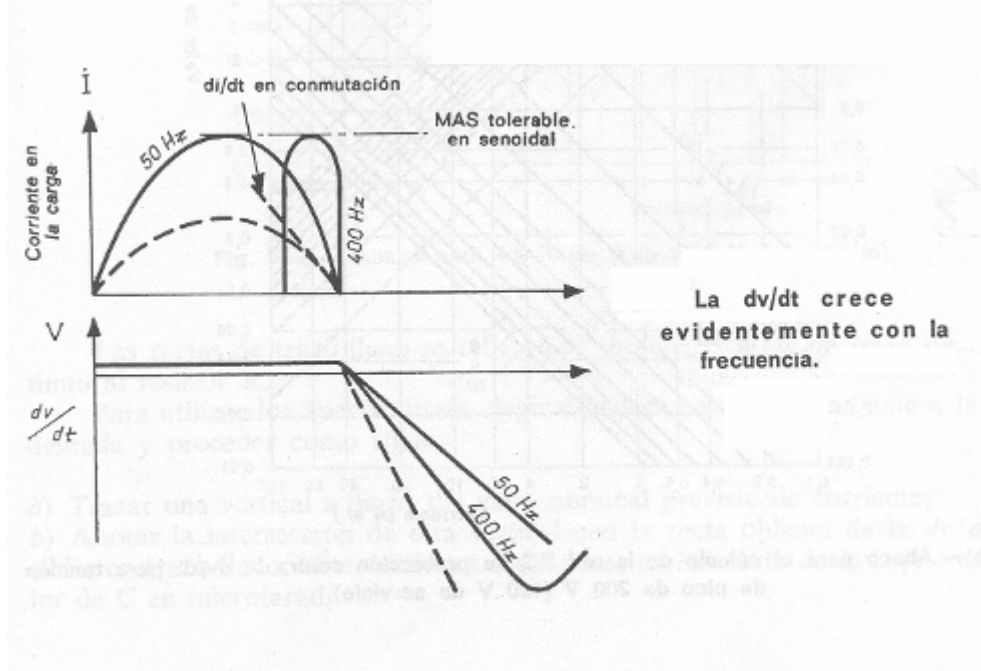


En este caso se hace necesario una red de protección contra derivada y sobre tensiones, como se indico anteriormente. Esta red CR produce la dv/dt un valor admisible como se ve a continuación.



Protección del triac en dv/dt .

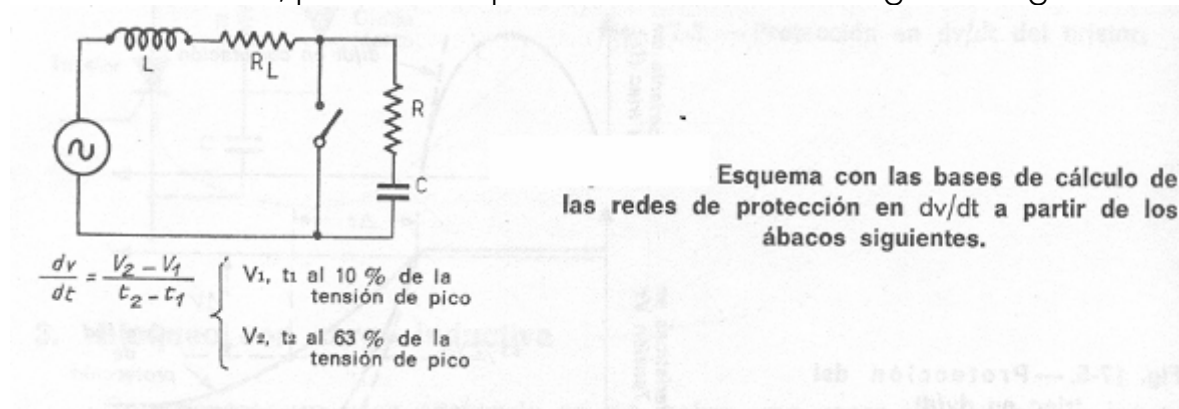
Por otro lado, en la siguiente figura puede observarse que la dv/dt aumenta con la frecuencia lo cual resulta bastante obvio.



Diagramas de calculo de la red RC

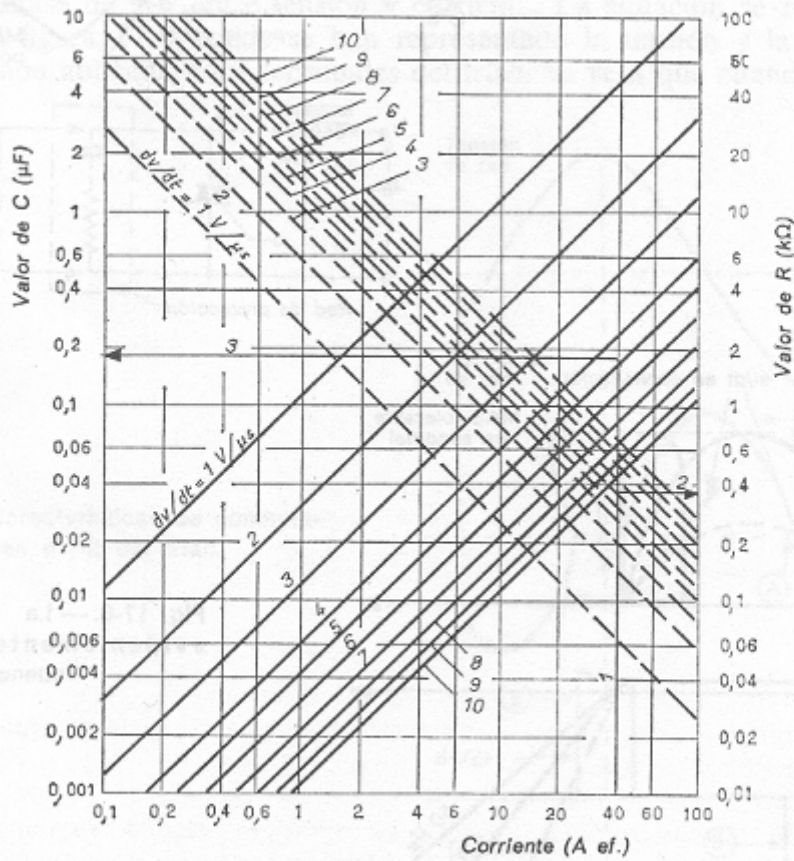
La compañía RCA propone un sistema para el calculo de redes RC de protección, en sus notas de aplicaciones "análisis and design of snubber networks for dv/dt supresión in triacs circuits".

Los valores R y C se obtendrán en función de la corriente I en la carga (en amperes eficaces) y de la dv/dt admisible, para distintos valores de la tensión de cresta, partir del esquema de calculo de la siguiente figura.



Estos valores se han establecido para el caso mas desfavorable que se pueda dar: con carga puramente inductiva, es decir, con $\cos \psi = 0$. Para valores menores de $\cos \psi$ la tensión de cresta se reduce en la misma proporción.

El siguiente ábaco nos servirá para calcular el circuito RC:



· Ábaco para el cálculo de la red RC de protección contra la dv/dt para tensión de pico de 200 V (120 V de servicio).

Las rectas de trazo lleno se refieren al condensador y las de trazo discontinuo al resistor R