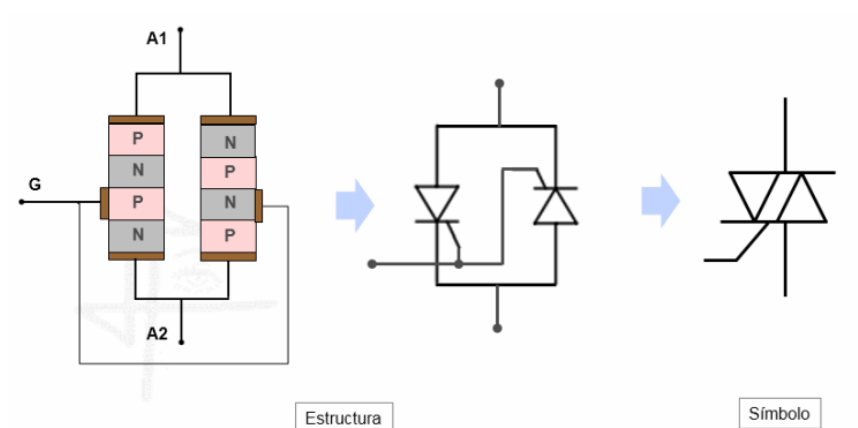


Triac



Introducción

El TRIAC (Triodo de alterna) es un dispositivo semiconductor de potencia ampliamente utilizado en el control de corriente alterna. Se trata de un interruptor bidireccional capaz de conducir en ambos semiciclos de la onda AC, lo que lo hace ideal para aplicaciones como el control de intensidad en lámparas, variadores de velocidad para motores y regulación de calefactores eléctricos, entre otros.

En este video, analizaremos la estructura y el principio de funcionamiento del TRIAC, su activación mediante pulsos en la compuerta (gate), sus modos de conducción y las técnicas para un disparo eficiente. Además, veremos cómo utilizarlo en circuitos prácticos con optoacopladores y controladores de fase.

Aplicaciones

El Triac es bien conocido por los diseñadores como un dispositivo semiconductor, esencial para controlar la energía de red AC. Diseñado específicamente para funcionar como un interruptor en un sistema de energía de corriente alterna, las ventajas del Triac son su funcionamiento silencioso, su capacidad de ser controlado en cualquier momento y sin rebotes, su apagado automático cuando la corriente llega a cero después de quitar el control, y su capacidad para resistir un gran número de ciclos de funcionamiento.

El campo de aplicación del Triac es amplio. De hecho, cubre el control de todos los equipos que operan en corriente alterna: electrodomésticos (actuador, bomba, lámparas, motor universal), automatización de edificios (calefactor, ventilador) y control industrial (accionamiento de motores, arrancadores).

Familia de tiristores

Dentro de la familia de los tiristores podemos destacar:

- SCS: Interruptor controlado por silicio o tiristor tetrodo: un tiristor con puertas catódicas y anódicas
- SCR: Rectificador Controlado de Silicio
- SITh: Tiristor de inducción estática, o FCTh: Tiristor controlado por campo: contiene una estructura de compuerta que puede cerrar el flujo de corriente del ánodo.
- TRIAC: Triodo para corriente alterna: Un dispositivo de conmutación bidireccional que contiene dos estructuras de tiristores con contacto de puerta común.
- Quadrac: tipo especial de tiristor que combina un DIAC y un TRIAC en un solo paquete.



S. C. R.

El S. C. R. está constituido por cuatro capas de silicio dopadas alternativamente con impurezas del tipo **P** y del tipo **N**, como se indica en la figura 1, estando su símbolo representado en la misma figura. La región terminal **P** es el ánodo (A) y la otra región terminal **N** el cátodo (K). La compuerta (G) se sitúa en la zona **P**. Las situaciones o estados en los que se puede encontrar el S. C. R. vienen determinados por la polarización a la que esté sometido y, como su nombre indica (controlado), mediante una señal exterior se le puede cambiar de uno a otro. Con polarización inversa (A negativo respecto a K) las uniones J1 y J3 quedan polarizadas inversamente, la corriente a través del dispositivo será debida a portadores minoritarios, siendo muy pequeña y pudiéndose considerar casi nula para cualquier valor de la tensión de polarización menor que la máxima inversa aplicable V_{BR} , a la que se produce la ruptura por avalancha, con posibilidad de destrucción del componente. El S. C. R. se comporta como un circuito abierto y se dice que está en estado de bloqueo inverso.

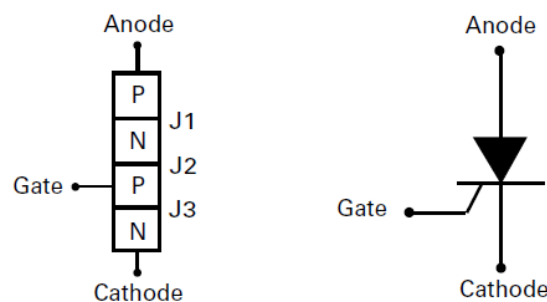


Figura 1: esquema de un SCR y símbolo

Con polarización directa ($V_A > V_K$) la única corriente que circula por el dispositivo es muy pequeña hasta un valor de polarización V_{BR} llamado de avalancha, ruptura o de cebado, en el que la corriente a través del dispositivo crece de forma abrupta, no siendo recomendable establecer dicha conducción por este método. Hasta dicho valor V_{BR} , el S. C. R. sigue comportándose como un circuito abierto, pero ahora se encuentra en el llamado estado de bloqueo directo. Si con polarización directa se introduce una corriente en la compuerta (G) que contribuya a aumentar el tipo de portadores que predominan en esa zona, se conseguirá que, por efecto de la difusión, aumente también el número de portadores mayoritarios que constituirán una corriente de elevado valor que cebará el S. C. R., siendo ésta limitada exclusivamente por la impedancia exterior al dispositivo. El S. C. R. se encuentra ahora en estado de conducción y se comporta casi como un cortocircuito siendo la tensión VAK entre sus extremos muy pequeña (1 V) para tiristores de media-baja potencia.



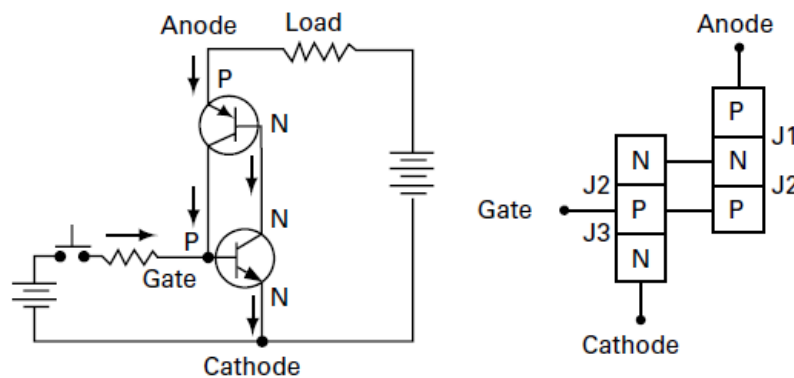


Figura 2: analogía con transistores y equivalencia

Activación de un S. C. R.

- Térmica: Si la temperatura es muy alta, hay un aumento de huecos, aumentando la corriente de fuga causando la avalancha térmica.
- Luz: Si se deja incidir luz en las uniones de un S. C. R. hay un aumento de huecos provocando el encendido
- $\frac{dv}{dt}$: Si la tasa de cambio es demasiado grande, puede provocar el encendido
- Alta tensión: Si la tensión es mayor que la tensión de ruptura, pasa una mínima corriente de fuga suficiente puede activar el S. C. R.
- Corriente de compuerta: es el método que comúnmente se utiliza y estudiaremos a continuación.

Al polarizar el ánodo positivamente respecto al cátodo, se inyectan electrones y huecos en sus extremos, estos portadores se difunden respectivamente, a través de las uniones N1-P1 y P2 -N2 , realimentándose en el bucle interno de ambos transistores. Mientras dicha polarización permanezca dentro de ciertos límites, la cantidad de portadores se mantiene estable y de valores pequeños. Cuando la tensión ánodo-cátodo aumenta hasta un valor crítico V_{BR} , se generan tal cantidad de portadores que, por efecto de la realimentación y los factores de amplificación de los transistores, el tiristor pasa al estado de conducción. Esta forma de establecer la conducción (cebado) es desaconsejable en la mayoría de los casos, ya que el elemento no ha sido diseñado para soportar esa corriente inversa de fugas.



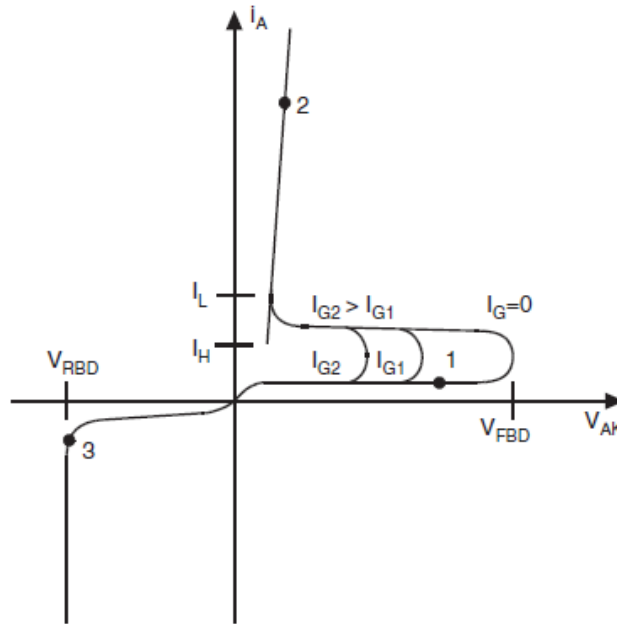


Figura 3: funcionamiento de un S. C. R.

Una vez cebado, la puerta pierde el control sobre el estado del S. C. R. hasta tal punto que es posible desconectarla sin que cambie de estado. El paso al estado de bloqueo se conseguirá únicamente cuando la tensión ánodo-cátodo disminuya por debajo de un valor de mantenimiento (V_H), tal que la corriente de ánodo alcance un nivel inferior a I_H (llamada también de mantenimiento), en el que el S. C. R. se bloquea y la compuerta vuelve a asumir el control del cebado. Se debe advertir que, aun cebado el tiristor, si la corriente de ánodo, determinada por el circuito exterior es inferior a un valor I_L llamado «corriente de enganche» y desaparece la corriente de puerta; el componente vuelve al estado de bloqueo. Dicho valor I_L es ligeramente mayor que I_H .

Triac

El triac (triodo de corriente alterna) es un componente con tres terminales y derivado del S. C. R. que puede considerarse como dos S. C. R. en antiparalelo. Presenta, sin embargo, dos ventajas fundamentales sobre este circuito equivalente:

- El circuito de control resulta mucho mas sencillo al existir solo una compuerta de mando que llamaremos "Gate"
- Puede entrar en estado de conducción independientemente de la polaridad de la tensión aplicada en el gate



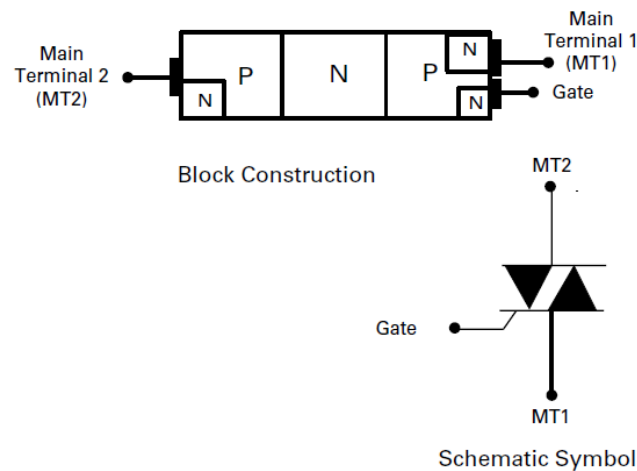


Figura 4: construcción de un Triac y símbolo

Al igual que ocurriría con un S. C. R. el cambio de estado de bloqueo a conducción se realiza por aplicación de un pulso de corriente en el gate, y el paso al estado de bloqueo se produce por aplicación de una tensión de polaridad inversa, o por una disminución de la corriente por debajo del valor I_H , siendo este último caso el más utilizado.



Figura 5: estructura de un triac

La figura 5 representa su estructura interna, formada por seis capas de material semiconductor. Los pines a los cuales se le aplicará la tensión principal se llaman "terminal principal 1" y "terminal principal 2". N_3 y P_2 forman la compuerta para las distintas polaridades de esta terminal. Si se polariza el triac con una tensión positiva en MT1 respecto de MT2 con el gate "al aire" y aumentamos el valor de esta polarización obtenemos una curva característica idéntica a la de S. C. R. en polarización directa, pero



al contrario de éste, si se invierte el sentido de polarización se observa una curva simétrica respecto del origen, tal como se muestra en la figura 6.

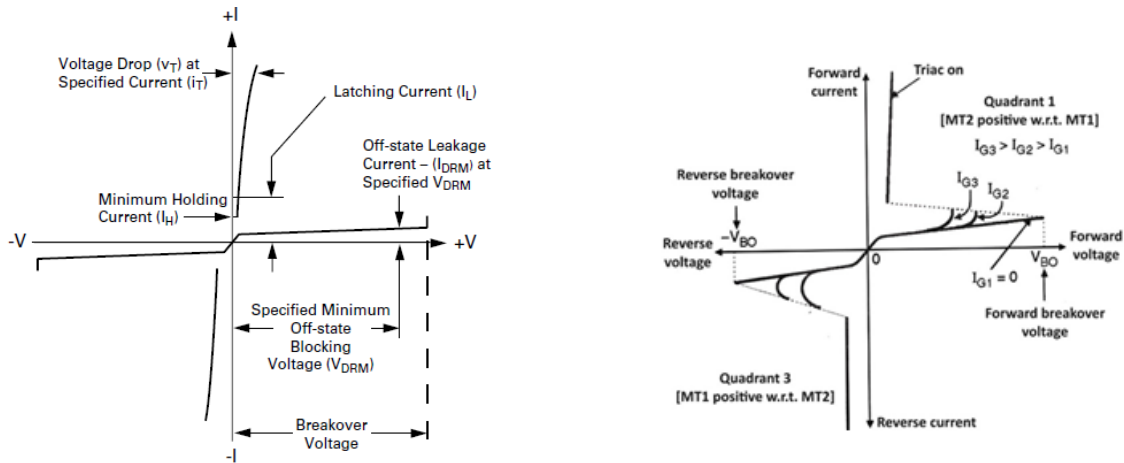


Figura 6: modos de conducción de un triac

Modos de disparos de compuerta de un Triac

Al igual que ocurre con un S. C. R. si a la compuerta se conecta una fuente de tensión respecto de un terminal principal, se produce un cebado del triac provocando el encendido. Tomando una referencia y en función del sentido de las polarizaciones de las terminales principales, se debe hablar de los cuatro cuadrantes de disparo del triac, tal como se observa en la figura 7.

Los cuadrantes más comunes para la activación de Triac son Cuadrantes I y III, donde se sincroniza el suministro de la compuerta con el suministro del terminal principal (puerta positiva-MT2 positiva, puerta negativa - MT2 negativo). La sensibilidad de la compuerta de los Triacs es óptima en los cuadrantes I y III debido a la inherente Construcción de los materiales. Si los cuadrantes I y III no pueden ser utilizados, los siguientes mejores modos de funcionamiento son los cuadrantes II y III donde la compuerta tiene un suministro de polaridad negativa con CA alimentación del terminal principal. Normalmente, el cuadrante II es aproximadamente igual en sensibilidad de compuerta en comparación al Cuadrante I, sin embargo, trabando la sensibilidad actual en el cuadrante II es la más baja. Por lo tanto, es difícil para los Triacs engancharse en el Cuadrante II cuando el suministro de corriente del terminal tiene un valor muy bajo.



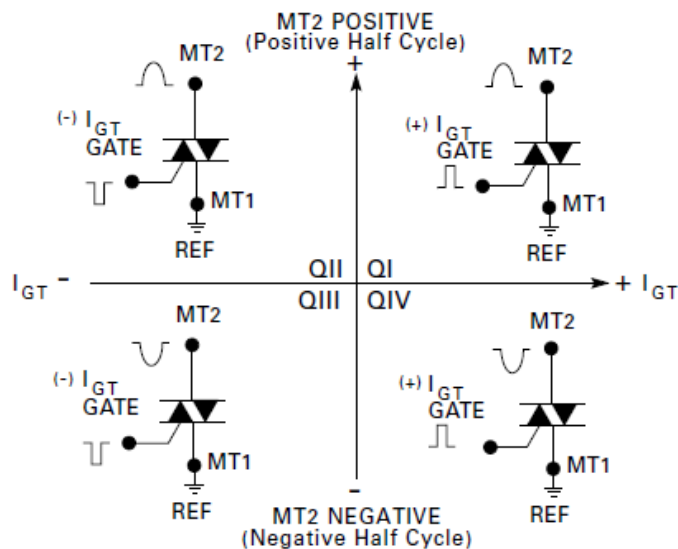


Figura 7: cuadrantes de un triac

Control de un triac

El Triac cambia del estado apagado al estado conductor cuando se aplica una corriente o pulsos de corriente en la compuerta. El encendido del dispositivo se puede lograr con precisión mientras se sincroniza con la entrada de tensión, mientras que el apagado se produce cuando la corriente pasa por cero después de la eliminación de la señal de control. El Triac es activado por una corriente de compuerta I_G cuya duración debería permitir que la corriente de carga alcance el valor de corriente de enganche (I_L). Gracias a su versatilidad, generalmente se utiliza un microcontrolador para activar el Triac.

Requisito de aislamiento

Para algunas aplicaciones, para ahorrar el costo de un transformador, se puede elegir conectar este microcontrolador directamente a la línea. No se puede acceder a ninguna tensión peligrosa ya que siempre hay una interfaz conductora entre el circuito de control y el usuario final. Sin embargo, cuando se requiere seguridad adicional o aislamiento funcional se utilizan controles aislados.

Los fototriacs se utilizan para proporcionar aislamiento óptico entre los circuitos de entrada y de salida. Se utilizan fototriacs con cruce por cero (ZC) y sin cruce por cero (NZC) para aplicaciones de interfaz entre CC de baja corriente y alta alimentar cargas de CA. En muchas aplicaciones, el uso de ZC TRIAC eliminar/minimizar las sobretensiones actuales que resultan en interferencia electromagnética (EMI) y radiofrecuencia interferencia (RFI). Sin embargo, cuando se utilizan TRIAC para controlar cargas



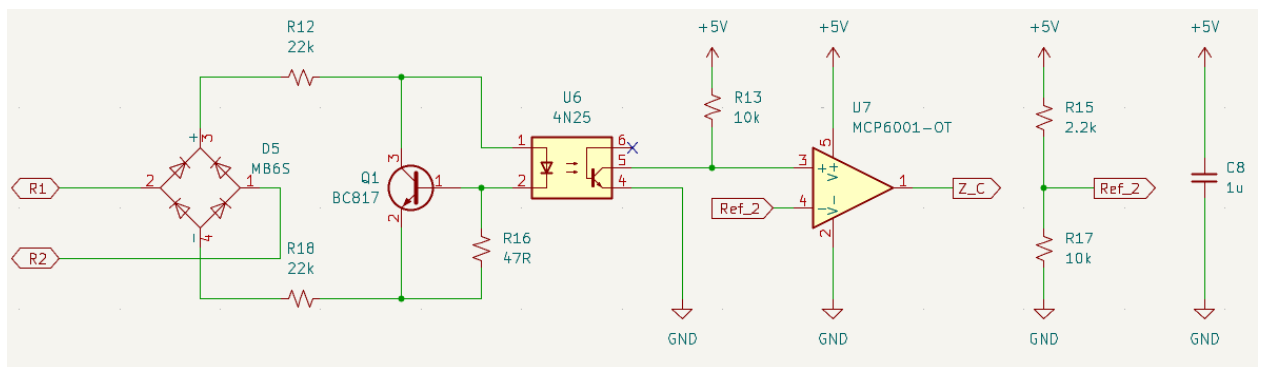


Figura 9: circuito detector de cruce por cero

Limitaciones del fototriacs

Como se especifica en muchas hojas de datos de fototriac, el optoaislador no debe usarse para impulsar una carga directamente. Es destinado a ser un dispositivo de activación únicamente. Los fototriacs rara vez se utilizan como interruptores de CA. Hay varias razones por qué los fototriacs no están diseñados para un servicio independiente.

Algunos son obvios y pueden deducirse directamente de la hoja de datos. Por ejemplo, la máxima disipación de potencia especificada es de sólo unos pocos cientos de mW a 25 °C, mientras que la sobrecorriente máxima soportada es de alrededor de 1 A. La conmutación di/dt , es un parámetro dinámico algo difícil de comprender y representa una debilidad importante del fototriac que hace que este dispositivo no sea adecuado para impulsar una carga directamente. Este parámetro corresponde al comportamiento del fototriac/Triac en el momento del apagado. Si la pendiente de la corriente decreciente es demasiado alta y/o si la pendiente de la tensión es demasiado alta, el dispositivo puede dispararse y la conducción puede continuar después del punto de cruce de corriente cero. Este evento no destructivo es problemático ya que la carga se vuelve inmanejable.

Peak Blocking Current, Either Direction (Rated $V_{DRM}^{(1)}$)	I_{DRM}	—	10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction ($I_{TM} = 100$ mA Peak)	V_{TM}	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage (Figure 7, Note 2)	dv/dt	—	10	—	V/ μ s

OUTPUT	*1 Peak Blocking Current, Either Direction	I_{DRM}	—	10	100	nA	$V_{DRM} = 400V$
	Peak On-State Voltage, Either Direction	V_{TM}	—	1.7	3	V	$I_{TM}=100$ mA Peak
	*2 Critical rate of Rise of Off-State Voltage	dv/dt	100	—	—	V/ μ s	



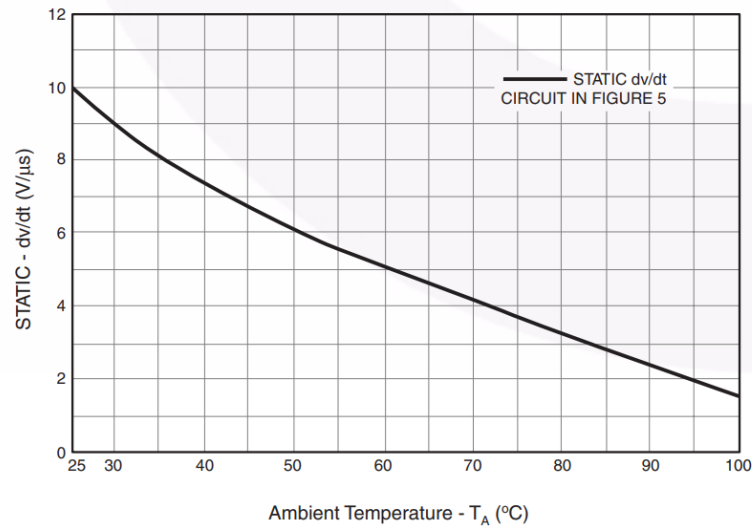


Figura 10: características de un fototriac

Principio del circuito de accionamiento

El circuito de control Triac más simple que se puede implementar se muestra en la Figura siguiente:

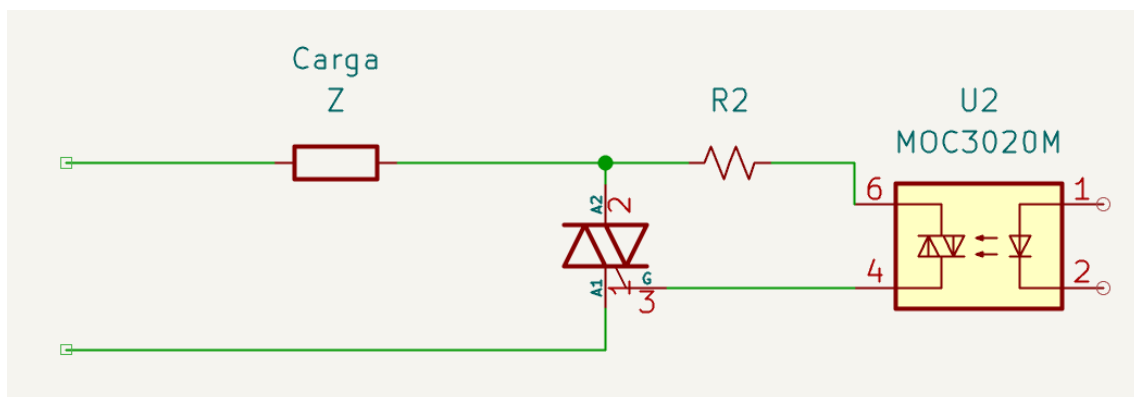


Figura 11: circuito de control aislado

Comenzando con el Triac de alimentación y el fototriac en estado apagado, se suministra tensión de CA al circuito:

- Para accionar el fototriac, se suministra una corriente I_F
- El fototriac se enciende cuando la corriente que fluye a través del LED. En este momento, la compuerta y el ánodo del Triac principal están conectados entre sí a través de R1. Debido a la diferencia de tensión entre el ánodo y la compuerta, surge una corriente de compuerta en el Triac, que lo activa desde el estado de



bloqueo al estado de conducción. La tensión a través del Triac cae a un valor bajo y en consecuencia, la corriente en el fototriac disminuye por debajo de su corriente de retención.

- El Triac de potencia, en modo conductor, se apaga cuando la corriente de carga disminuye por debajo del I_H .
- Se reactiva si I_F aún está presente a través del led

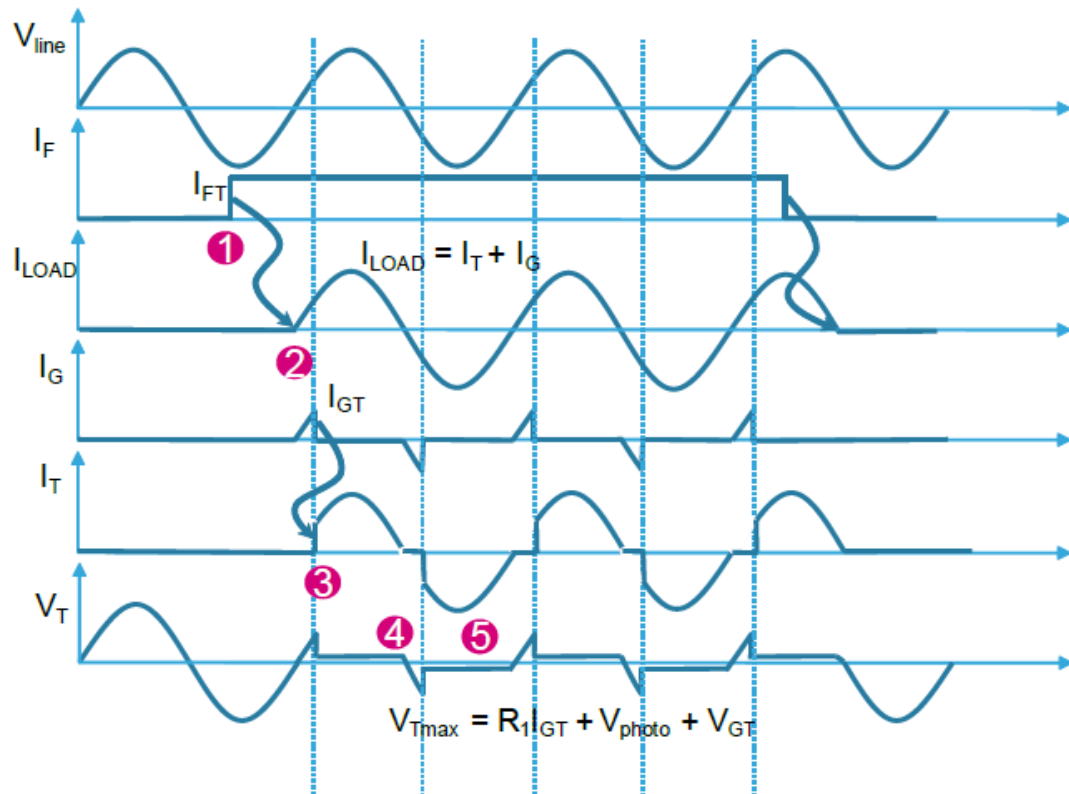


Figura 12: diagrama de funcionamiento del Triac

La resistencia R_2 se utiliza para proteger el fototriac contra sobretensiones al encender el fototriac. En teoría, R_2 puede ser retirado del circuito cuando se utilizan fototriacs de cruce por cero junto con una carga resistiva ya que la corriente se limitará a la corriente de activación de puerta I_G del Triac de potencia. Sin embargo, la activación involuntaria del El fototriac fuera de la zona de tensión cero puede crear una sobrecorriente alta y dañar el fototriac. El peor caso ocurre cerca del valor pico de tensión. El valor mínimo de R_2 debe elegirse de acuerdo con la sobrecorriente máxima, específicamente (I_{surge}) y tensión pico de línea (la corriente máxima de puerta Triac I_{GM} suele ser mayor que I_{surge}) definido en la siguiente ecuación:



$$R_2 = \frac{V_{linea(pico)}}{I_{surge}}$$

Circuito de accionamiento mejorado

Las líneas de alimentación de CA están sujetas a transitorios rápidos de tensión o ruido. Como los fototriacs están conectados a la red eléctrica, puede activarse accidentalmente si el dV/dt aplicado sobrepasa el dV/dt estático especificado. La red anterior (figura 11) muestra una inmunidad al ruido deficiente y debe modificarse con los esquemas que se muestran en figura siguiente.

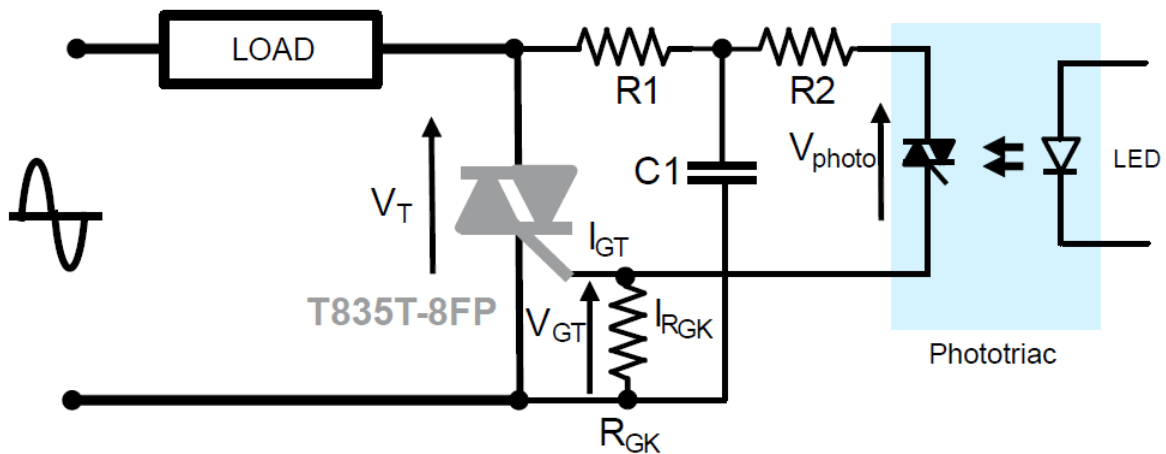


Figura 13: circuito de control mejorado

Para limitar la tasa de aumento de tensión a través del fototriac, primero se coloca un capacitor C_1 en paralelo con la fuente de alimentación. Este condensador no se puede dejar solo: si el Triac se activa cuando la tensión capacitor está cerca del pico de CA, una corriente de sobretensión alta pasa repentinamente a través del Triac. Dañará la confiabilidad del dispositivo e incluso puede dañarlo si se excede el encendido máximo de dI/dt .

Una resistencia en serie R_1 , colocada entre C_1 y el Triac, limita esta sobrecorriente. Esta combinación de resistencia y un capacitor conectado en serie se llama **amortiguador**.

Por la misma razón, se usa una segunda resistencia R_2 para restringir la descarga de corriente de C_1 a través del fototriac en caso de que El fototriac se enciende cuando la tensión del capacitor está cerca del pico de CA.

Por último, una resistencia R_{GK} entre la puerta y A1 finaliza el circuito de accionamiento. Su finalidad es reducir los disparos espurios de la potencia Triac causado por dV/dt que ocurre a alta temperatura.



dV/dt estático

El encendido estático de dv/dt proviene de una tensión que aumenta rápidamente aplicado a través de los terminales de ánodo y cátodo de un Triac. Debido a la naturaleza de construcción de tiristor, se forma un pequeño condensador de unión a través de cada unión P-N. La figura siguiente, muestra cómo Los condensadores internos típicos están conectados en tiristores.

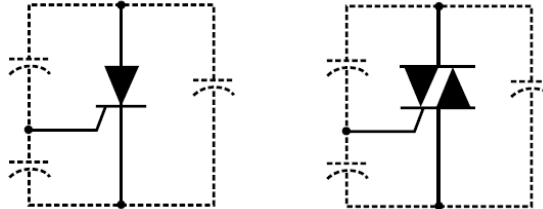


Figura 14: capacidad de la juntura

Cuando se aplica tensión repentinamente a través de una unión P-N, fluye una corriente de carga igual a:

$$i = C \frac{dv}{dt}$$

Cuando $C \frac{dv}{dt}$ se vuelve mayor o igual al tiristor I_G , el tiristor se enciende. Normalmente, este tipo de encendido no daña el dispositivo, siempre que la sobrecorriente sea limitada. Generalmente, los circuitos de aplicación de tiristores están diseñados con redes estáticas de protección dv/dt si se producen tensiones en rápido aumento.

El cambio dV/dt es el comportamiento por el cual un tiristor puede ser activado como resultado de un transitorio (ruido) de alta velocidad de respuesta en la carga de salida, incluso sin ninguna señal de disparo ($I_F = 0$) en la entrada.

El mecanismo por el cual este tipo de falsa activación se produce mediante el acoplamiento de la señal de alta frecuencia, ruido de salida transitorio de regreso a la puerta por medio de capacitancias parasitas de acoplamiento.



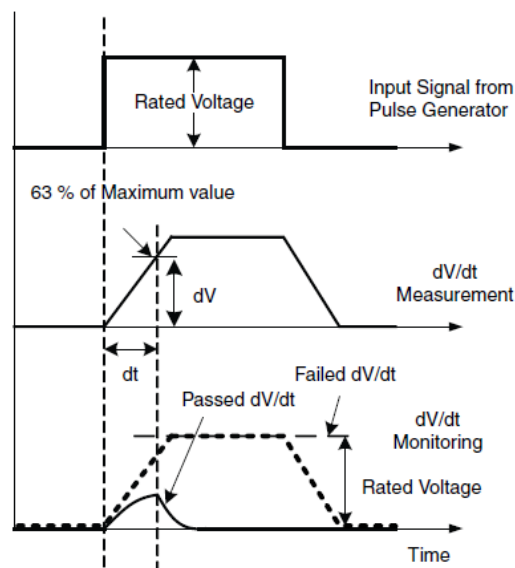


Figura 15: Estudio del transitorio dv/dt

Los fabricantes suelen proporcionar números dv/dt estáticos en hojas de datos y especificarlas en $V/\mu s$. Pueden variar desde decenas de volts/ μs hasta 10 kV/ μs

La figura siguiente describe un enfoque práctico para medir la conmutación del parámetro dv/dt . En otras palabras, ¿cuál es la frecuencia sinusoidal máxima que un TRIAC puede ver antes y no se puede apagar una vez que se activa?. En la práctica esta es probablemente la forma más fácil de medir la conmutación dv/dt . Lo único que se requiere es una fuente de CA de suficiente Rango de tensión y frecuencia.

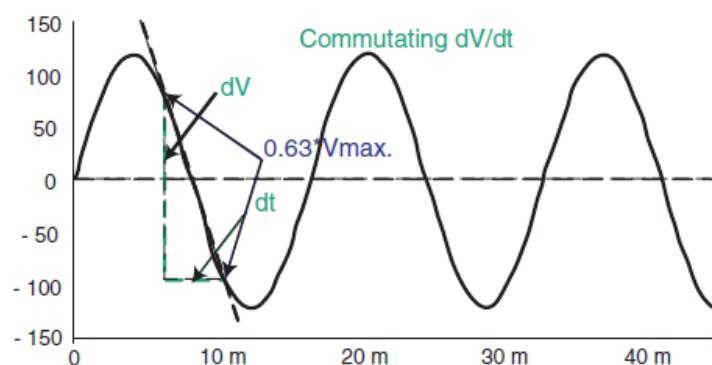


Figura 16: Ensayo dv/dt

En el caso de cargas inductivas, dv/dt es de mucha importancia, porque la conmutación efectiva dv/dt es muy estrechamente relacionado con el factor de potencia de la carga. Esto es ilustrado en la figura 17. Si la corriente está retrasada con respecto a la tensión, como es el caso en una carga inductiva, en el momento en que la corriente cruza



cero y el TRIAC se apaga, ya hay tensión a través del dispositivo, e inmediatamente es hora de encender encendido de nuevo. Por lo tanto, el dispositivo nunca tiene tiempo suficiente y simplemente permanece encendido ciclo tras ciclo. Este fenómeno se manifiesta en el dispositivo encendiéndose y no apagándose durante uno o más ciclos después del primer cruce por cero.

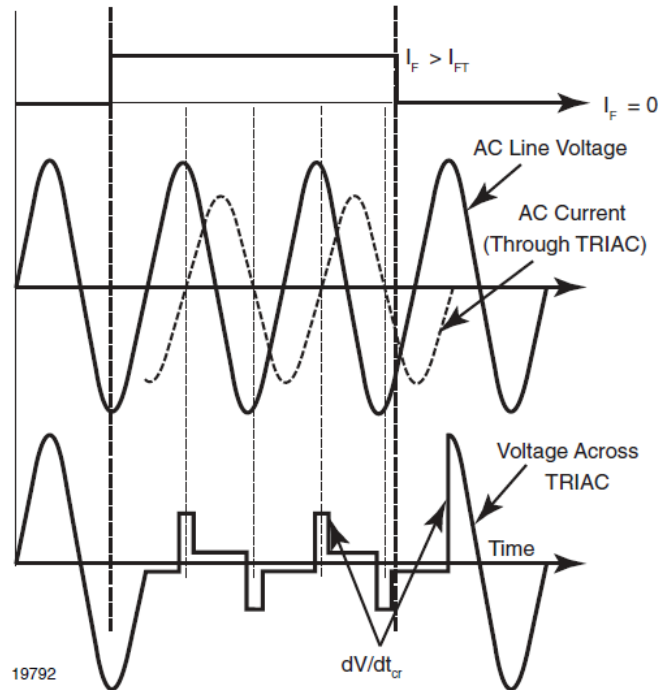


Figura 17: dv/dt en carga inductivas

Circuitos en estudio

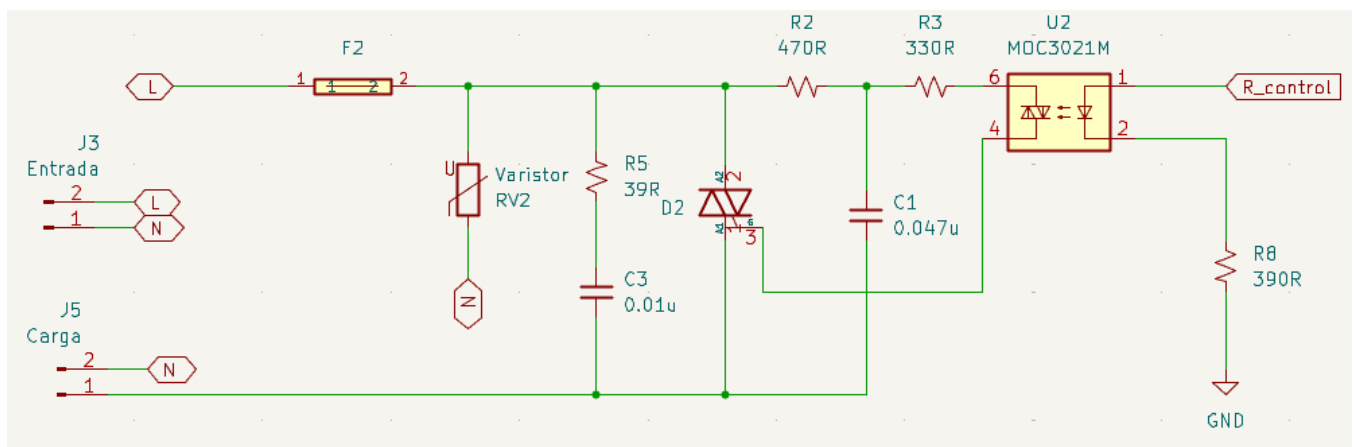


Figura 18: circuito con triac



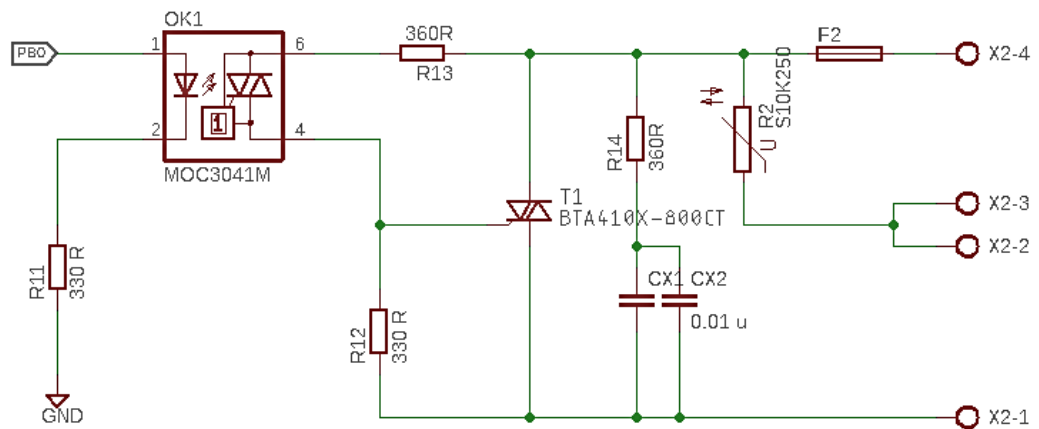


Figura 19: circuito con cruce por cero

