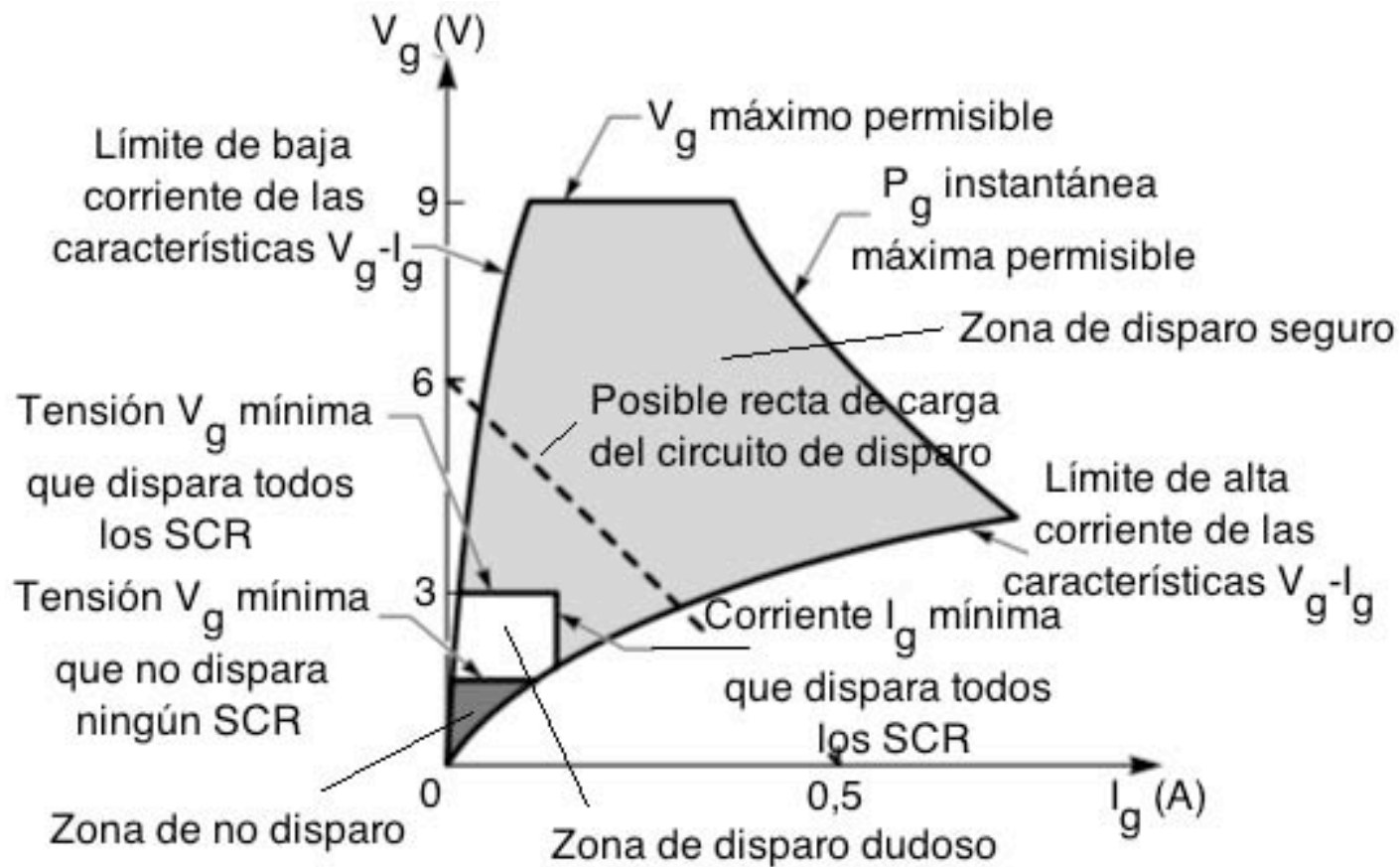


CIRCUITOS DE DISPARO PARA TIRISTORES



Características V_g/I_g mostrando todos los datos de interés.

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL CIRCUITO DE DISPARO.

El circuito de disparo debe proporcionar una señal de disparo que sea capaz de poner en conducción a cualquier tiristor del tipo seleccionado en forma segura y confiable. Para lograr esto el circuito de disparo debe incluir los siguientes elementos:

1.- Aislamiento de salida: Dado que en general existirá una diferencia muy grande entre la tensión de trabajo del circuito de disparo y la tensión de operación del tiristor, la etapa de salida debe aislar el circuito de disparo de la tensión de trabajo AK del tiristor.

Adicionalmente esto permite que en una misma tarjeta se agrupen todos los circuitos de disparo que manejan a todos los tiristores del equipo, compartiendo una fuente de potencia baja-media.

El aislamiento de salida puede ser óptico o por transformador.

2.- Aislamiento de entrada: Dado que el circuito de disparo genera pulsos de corriente de niveles relativamente altos y un nivel de ruido de conmutación elevado, factores que pueden perturbar la operación de los circuitos de instrumentación y control, la etapa de entrada del circuito de disparo debe aislarlo galvánicamente del circuito de control del equipo de electrónica de potencia.

El aislamiento de entrada usualmente se implementaba con opto-acopladores, pero la tendencia actual es emplear aisladores digitales ("digital isolators"), dispositivos de tecnología totalmente CMOS que ofrecen

mayor número de conexiones (pueden incluir conexiones en ambos sentidos), mas velocidad, menor consumo de energía, mayor inmunidad al ruido, ocupan menos espacio en el circuito, y son mas confiables.

3.- Aislamiento de fuentes: Para completar la separación galvánica entre los tres niveles de potencia y ruido (etapa de conmutación de potencia, circuitos de disparo, circuitos de instrumentación y control), las fuentes del circuito de disparo deben estar totalmente aisladas de las fuentes de los circuitos de instrumentación y control del equipo de electrónica de potencia.

4.- Pérdida de señal de control: Si por cualquier razón (falla del circuito de control, ruptura de cables de conexión, falla de los circuitos de acople, etc.) se pierden las señales de control producidas por el

controlador central, el circuito de disparo debe detener su acción, dejando de aplicar pulsos de disparo al tiristor (el modo de fallo debe ser "en apagado").

5.- Parada de emergencia: En el circuito de disparo es conveniente (y a veces obligatorio) incluir una señal de parada de emergencia.

La señal de parada de emergencia debe tener la mas alta prioridad y el menor retardo de operación posible, y ser independiente de los circuitos "normales" de instrumentación y control. Esta señal puede ser la combinación ("OR" lógico) de varias señales independientes de emergencia, por ejemplo: sobre-velocidad, fin de carrera, sobre-temperatura, "botón de pánico", etc., todas con el mismo nivel de autoridad.

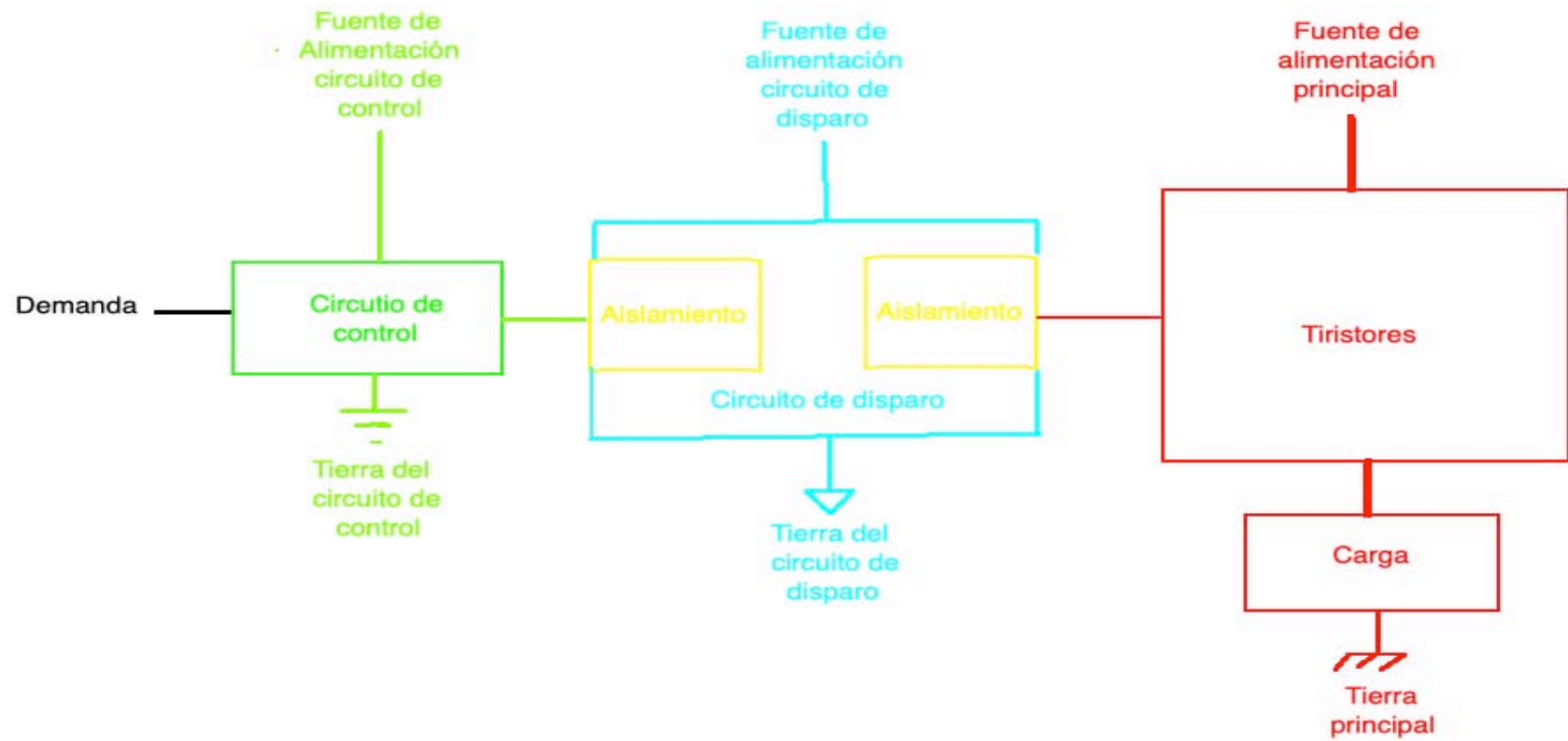
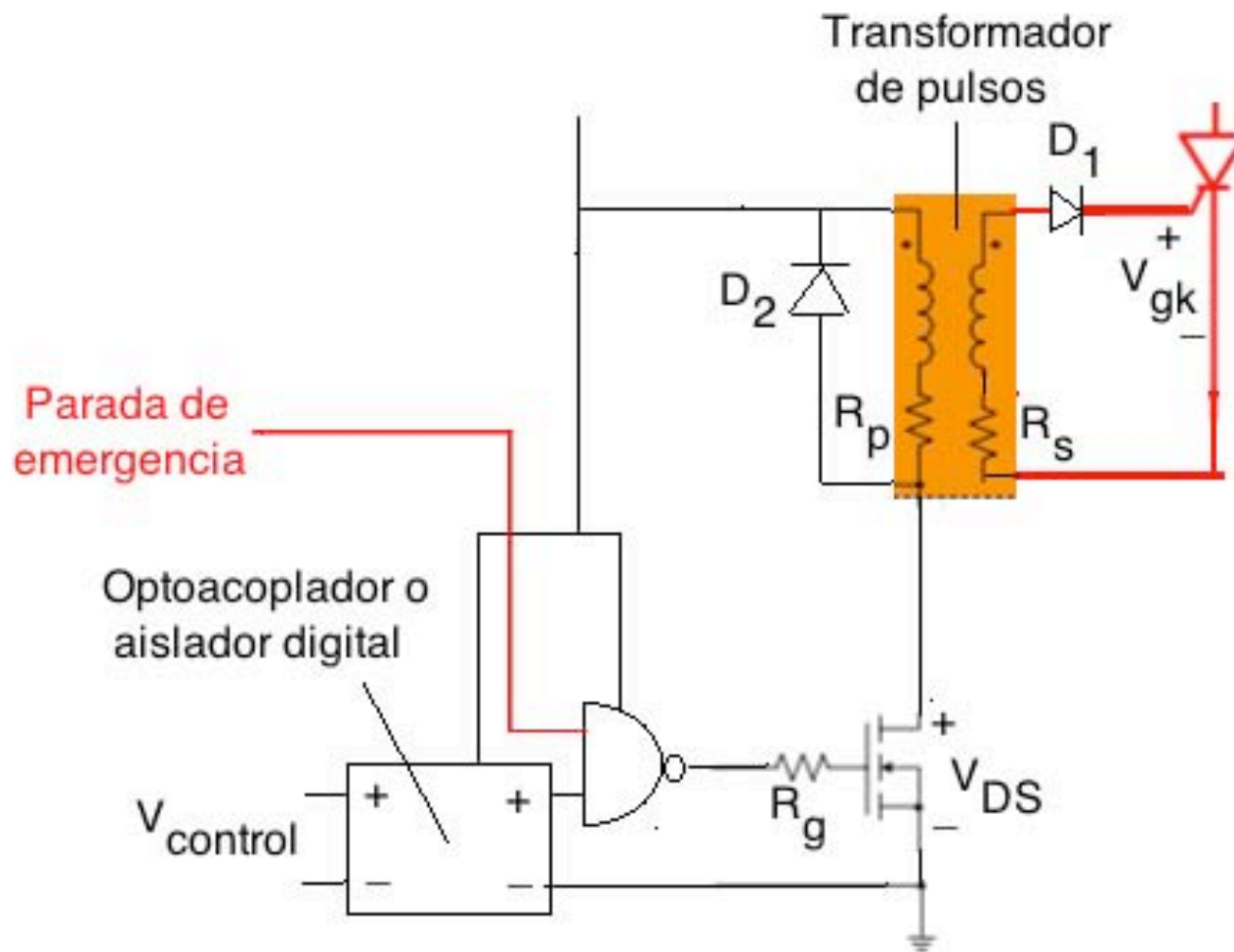


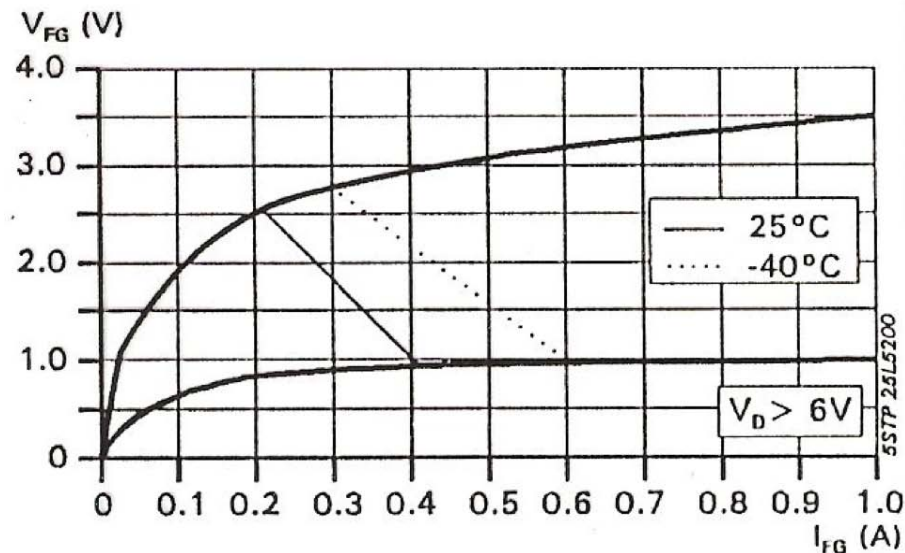
Diagrama de bloques de un circuito de disparo genérico.



Circuito de disparo mínimo con aislamiento de entrada, aislamiento de salida y señal de parada de emergencia.

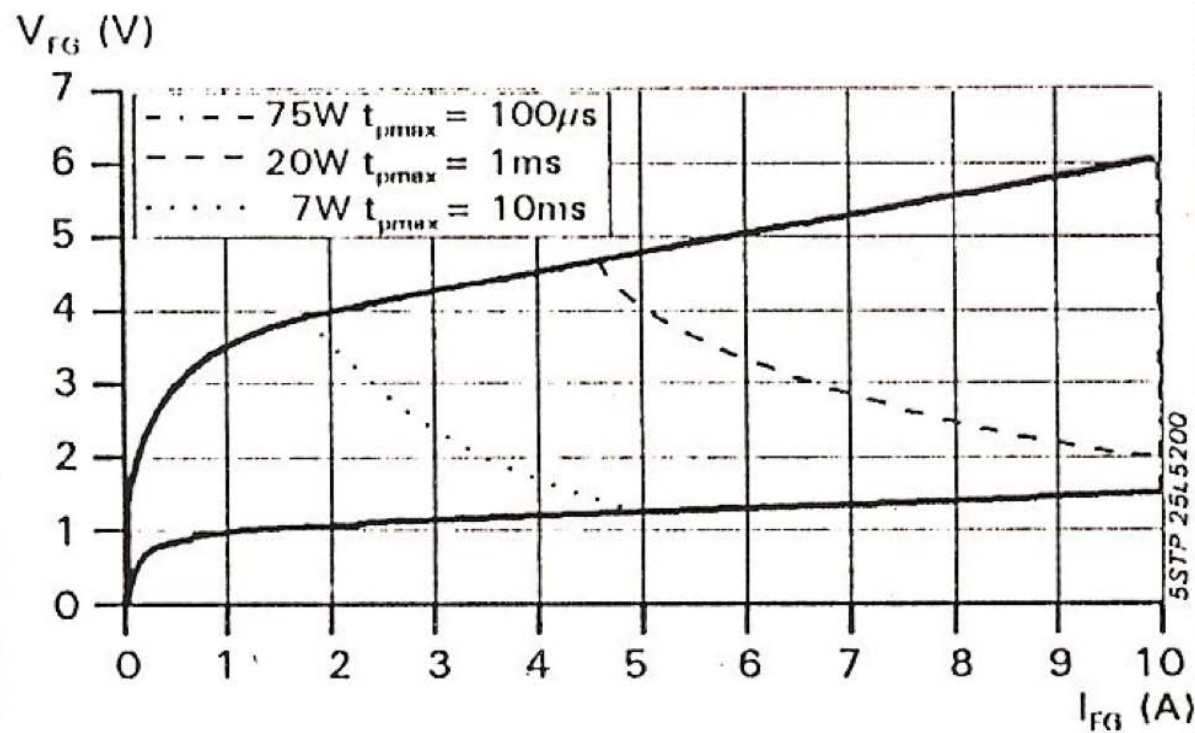
CONDICIONES DE DISEÑO DEL CIRCUITO DE DISPARO.

- 1.- La recta de carga del circuito de disparo debe quedar totalmente fuera del “área de disparo inseguro” típica del dispositivo en el peor caso, considerando la temperatura de juntura mínima posible al principio de la operación, cuando el dispositivo se encuentra a la menor temperatura ambiente considerada en el diseño.



Zona de disparo inseguro, Tiristor 5STP 25L5200, ABB.

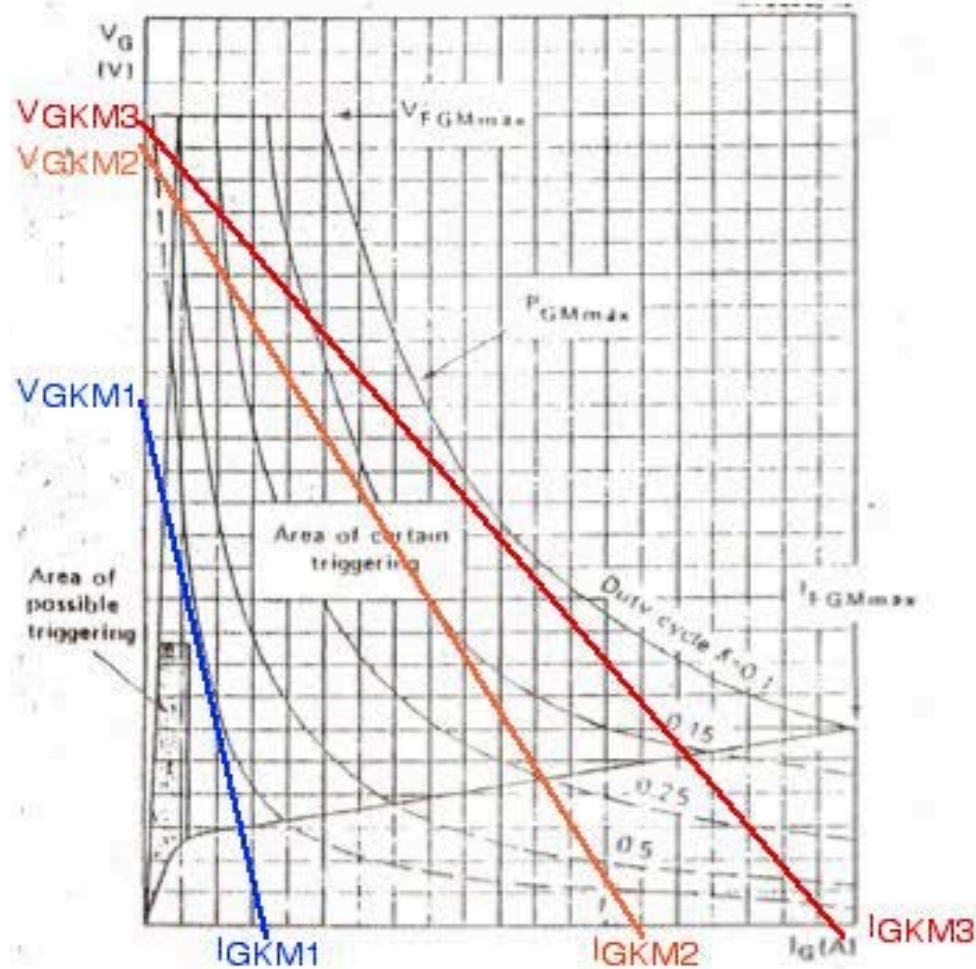
2.- La recta de carga debe quedar completamente por debajo de la hipérbola de máxima disipación que corresponda al ciclo de trabajo considerado para la fuente de disparo.



Hipérbola de máxima disipación de potencia pulsante permitida, Tiristor 5STP 25L5200, ABB.

- 3.- La potencia pico de cada pulso de disparo debe ser menor que la potencia pico de la juntura g-k especificada por el fabricante (P_{GM}) para el ciclo de trabajo empleado en el tren de pulsos de disparo.
- 4.- La tensión g-k aplicada por el circuito de disparo en el peor caso debe ser menor que la tensión V_{FG} especificada por el fabricante.
- 5.- Si el circuito de disparo aplica tensión inversa en la compuerta, esta debe ser menor que el voltaje compuerta-cátodo inverso máximo (V_{RGM}).
- 6.- El circuito de disparo debe incorporar elementos de protección y filtrado para prevenir los disparos accidentales inducidos por ruido eléctrico, colocados sobre los contactos compuerta-cátodo.

SELECCIÓN DE LA RECTA DE CARGA.



Tres rectas de carga posibles para el circuito de disparo, cumpliendo con la condición 1 del diseño.

Para cumplir con la condición 2 del diseño:

La recta de carga 1 permite operar con un pulso continuo, de potencia igual a la potencia nominal de la junta.

La recta de carga dos permite operar con un tren de pulsos de disparo de potencia pico igual a 6,66 veces la nominal y ciclo de trabajo del 15%.

La recta 3 permite operar con una potencia pico igual a 10 veces la nominal, y ciclo de trabajo del 10%.

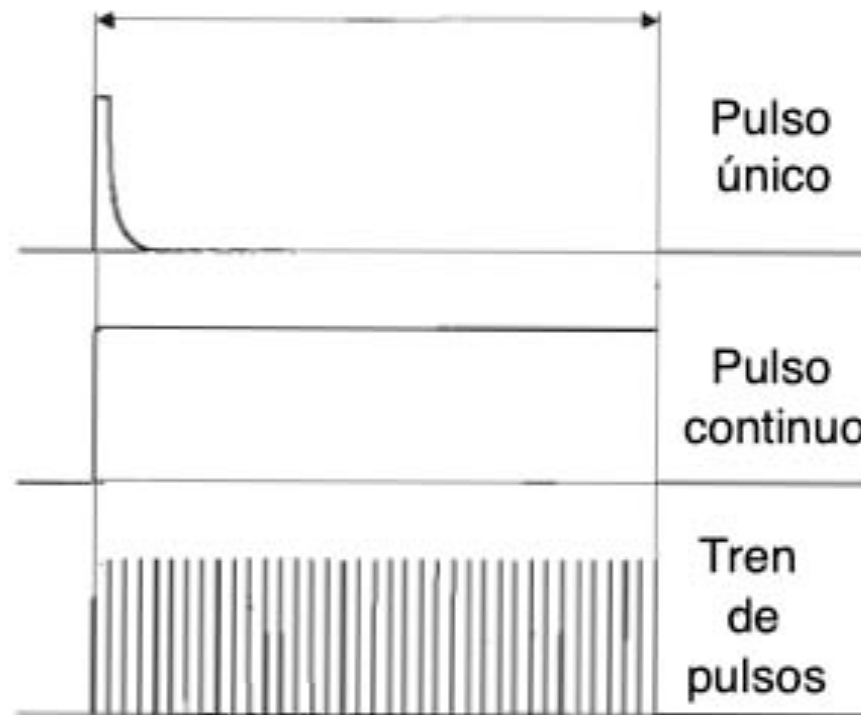
En las tres rectas presentadas se cumple con las condiciones 3 y 4 del diseño, por lo que son opciones en principio válidas.

Dado que en general se desea lograr la mayor velocidad de encendido, es razonable seleccionar rectas de carga del tipo 2, que cumplen con los objetivos, están bien separadas de la zona de encendido inseguro y mantienen un margen de seguridad respecto a la máxima potencia pico aplicable.

TIPOS DE PULSOS DE DISPARO.

Existen dos tipos de pulsos que pueden ser utilizados para disparar a un tiristor:

Período de conducción deseado

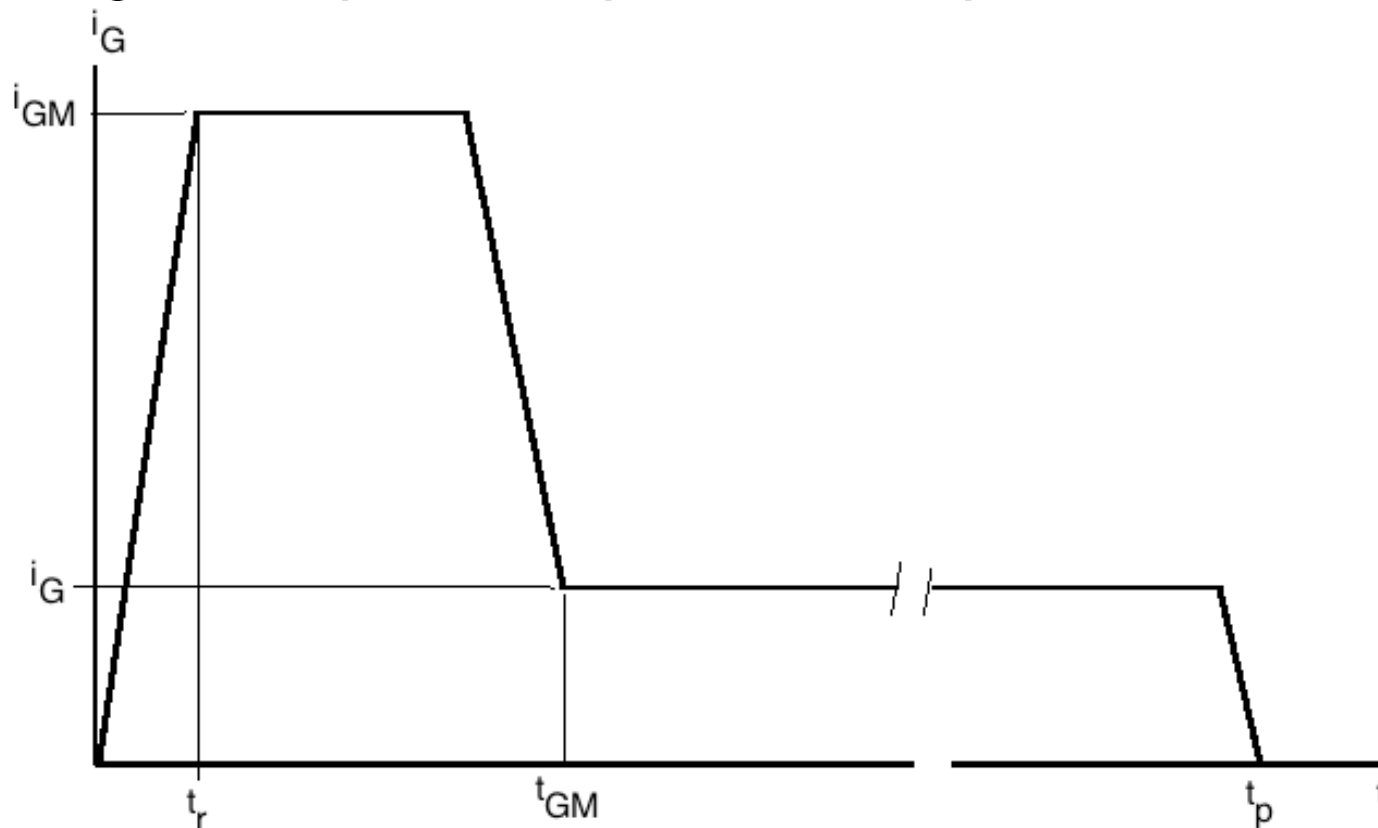


1.- Pulsó único: En principio el tiristor puede ser disparado con un pulso único que cumpla con las especificaciones de voltaje, corriente y potencia del dispositivo, cuyo frente de subida coincida con el instante de disparo deseado, y que tenga una duración por lo menos igual al tiempo que la corriente ánodo-cátodo tarde en alcanzar el valor de enganche (I_L).

En la práctica, dado que el tiempo necesario para que la corriente alcance el valor de enganche depende del circuito externo y puede ser variable, conviene que la duración del pulso único sea mayor; el caso límite es el pulso continuo, que se aplica durante todo el intervalo de conducción deseado.

Para acelerar el encendido del tiristor, conviene que el valor inicial del pulso sea lo más elevado posible; lo que,

para cumplir con la limitación de potencia promedio, obliga a emplear un pulso de amplitud variable.



Pulso de corriente de encendido ideal en la modalidad de pulso único.
IGM: valor pico para acelerar el encendido; IG: valor de sostenimiento.

Si la constante de tiempo de subida de la corriente de carga es muy lenta, el sobre-pico debe mantenerse hasta que la corriente AK alcance el valor de la corriente de enganche del dispositivo, I_L .

En general se considera que el pulso único ideal debe cumplir con:

- a.- El tiempo de subida, t_r , debe ser menor de $1\mu s$.
- b.- El valor máximo de la corriente, i_{GM} , debe estar como mínimo entre 8 y 10 veces el valor de la corriente mínima que enciende a todos los dispositivos de ese tipo, i_{Gm} .
- c.- El valor mínimo de sostenimiento debe estar entre 2 y 4 veces el valor de la corriente, i_{Gm} .

d.- La duración del sobre-pico de encendido debe ser mayor que el tiempo de encendido, t_{on} , especificado para los dispositivos del tipo considerado.

e.- El pulso de encendido debe durar por lo menos $100\mu s$, pero de ser posible debe estar aplicado durante todo el intervalo de conducción.

2.-Tren de pulsos: Durante todo el intervalo de conducción deseado se aplica un tren de pulsos cada uno de los cuales tiene una duración igual o mayor al tiempo de conmutación de encendido del tiristor.

La amplitud de cada pulso, su duración y el ciclo de trabajo se seleccionan para operar a la mayor distancia posible de la zona de disparo inseguro, cumpliendo con las restricciones de potencia promedio y potencia pico.

La amplitud instantánea de cada pulso inyecta la máxima cantidad de portadores compatible con las limitaciones de potencia de compuerta, optimizando la velocidad de encendido del tiristor.

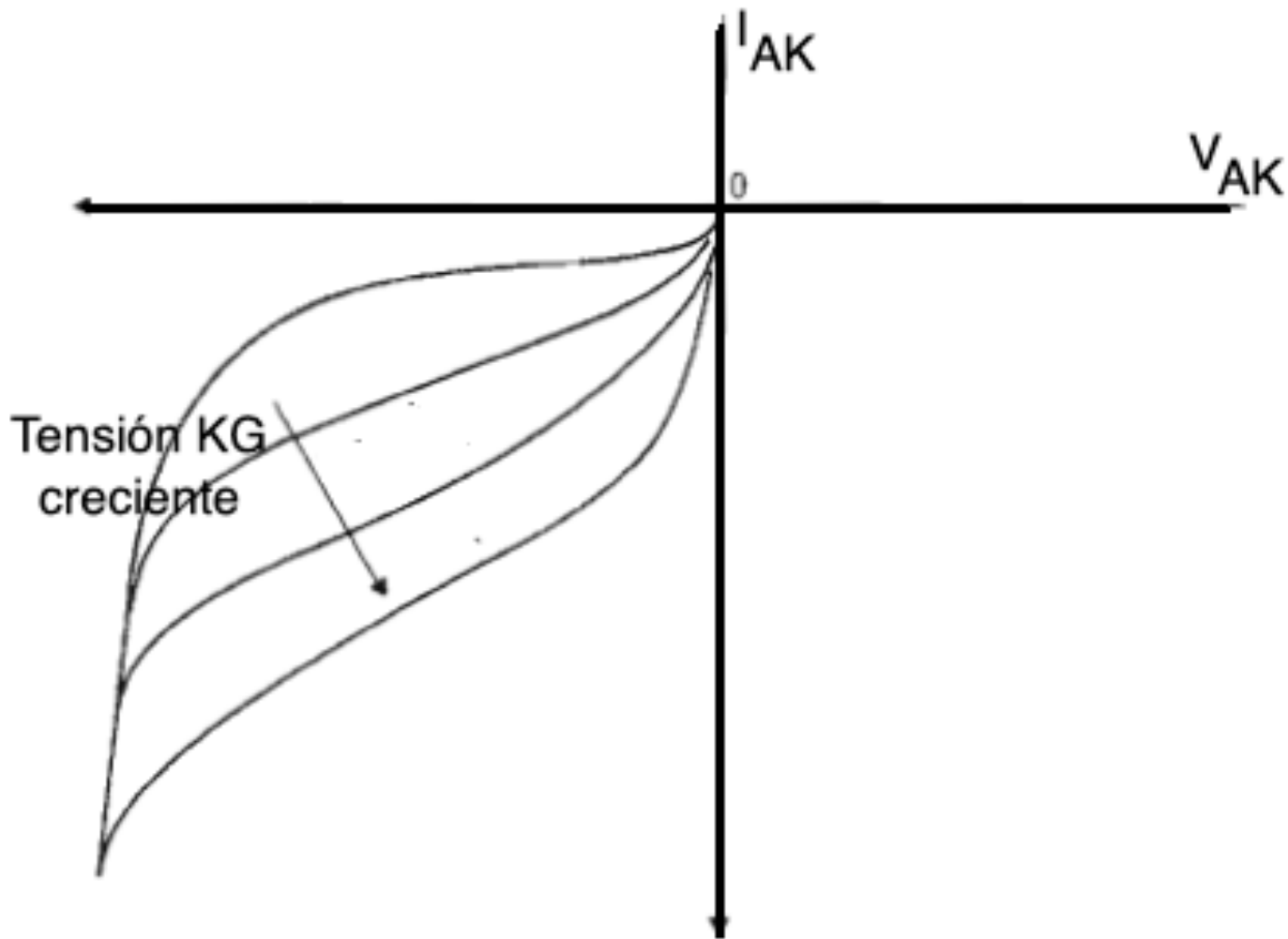
El tren de pulsos se aplica con aislamiento galvánico entre el generador de pulsos de disparo y el tiristor, y se puede mantener durante todo el período de conducción esperado del tiristor, para evitar apagados accidentales.

La frecuencia del tren de pulsos no es crítica, por lo que se define en función del acoplador de pulsos disponible, y usualmente se fija en el rango de 1 a 10 kHz.

El aislamiento galvánico se puede lograr con medios ópticos o magnéticos.

Tanto en el pulso único como en el tren de pulsos la potencia promedio y la potencia pico aplicadas a la compuerta deben ser iguales o menores a los respectivos valores máximos indicados en la hoja de datos.

En principio es aceptable que el circuito de disparo aplique una tensión inversa al circuito de compuerta del tiristor, siempre que no se supere la tensión inversa máxima especificada por el fabricante, pero debe recordarse que la corriente de fuga inversa crece con la tensión inversa aplicada al circuito de compuerta.



Relación corriente de fuga inversa vs. tensión inversa en la juntura G-K.

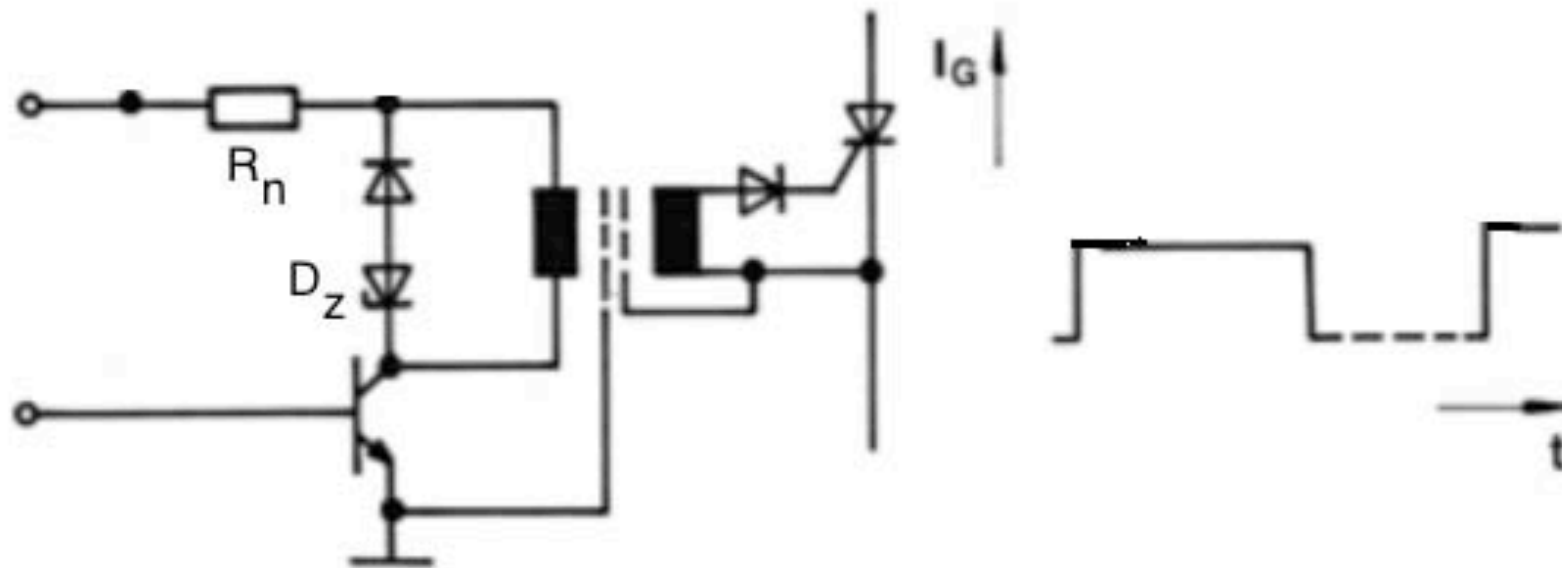
CIRCUITOS DE DISPARO CON AISLAMIENTO MAGNÉTICO.

El aislamiento es proporcionado por un transformador de pulsos; el nivel de aislamiento depende del transformador de pulsos, pero usualmente puede ser de varios miles de voltios. En general para trabajar con redes de 440V se usa aislamiento de 2,5kV; y para tensiones de 690V de 4kV.

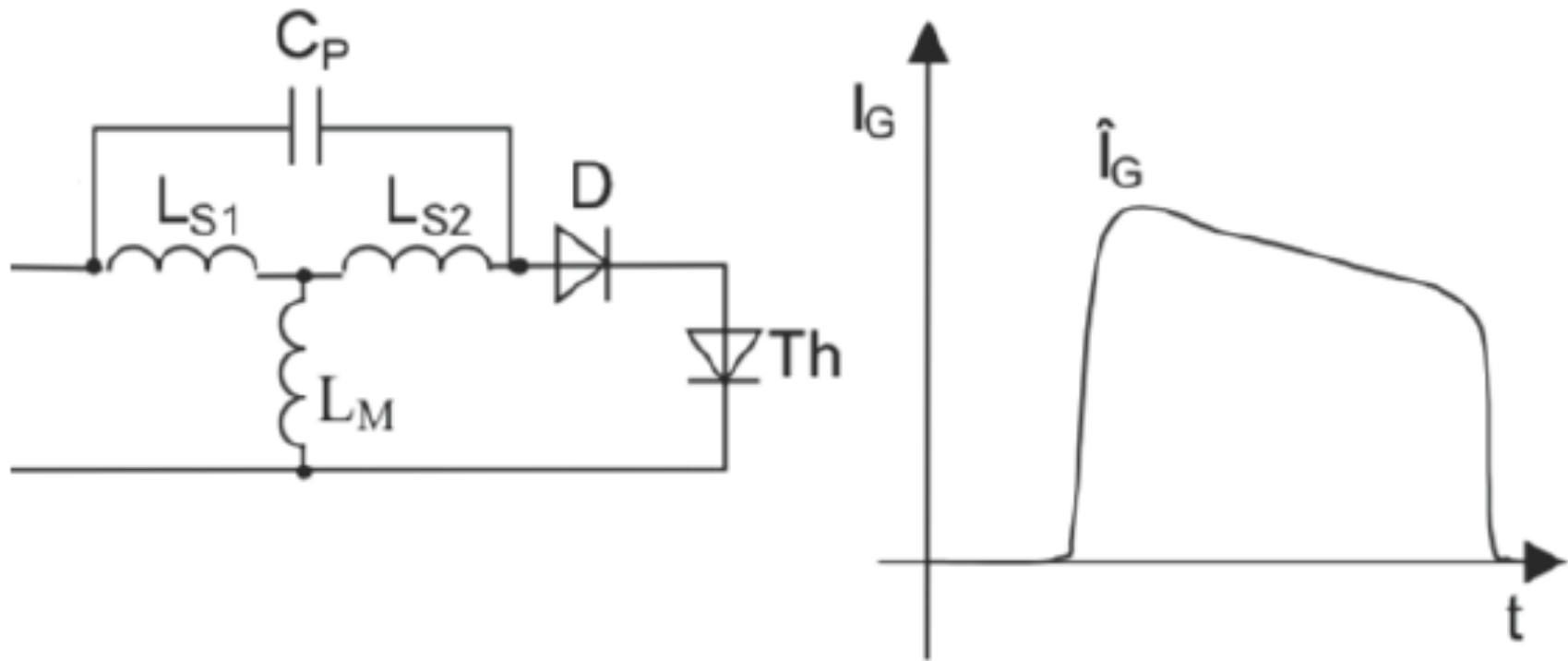
El transformador de pulsos debe cumplir con la norma IEC 60664 en lo referente a la tensión de ruptura por aire e inter-bobinados.

Para evitar problemas de interferencia por acople de ruido eléctrico se recomienda que el transformado tenga dos pantallas de aislamiento electrostático; la pantalla

de la bobina del primario se debe aterrarse en la tierra del circuito de disparo, y la del bobinado secundario se debe conectar al cátodo del tiristor que se desea controlar.



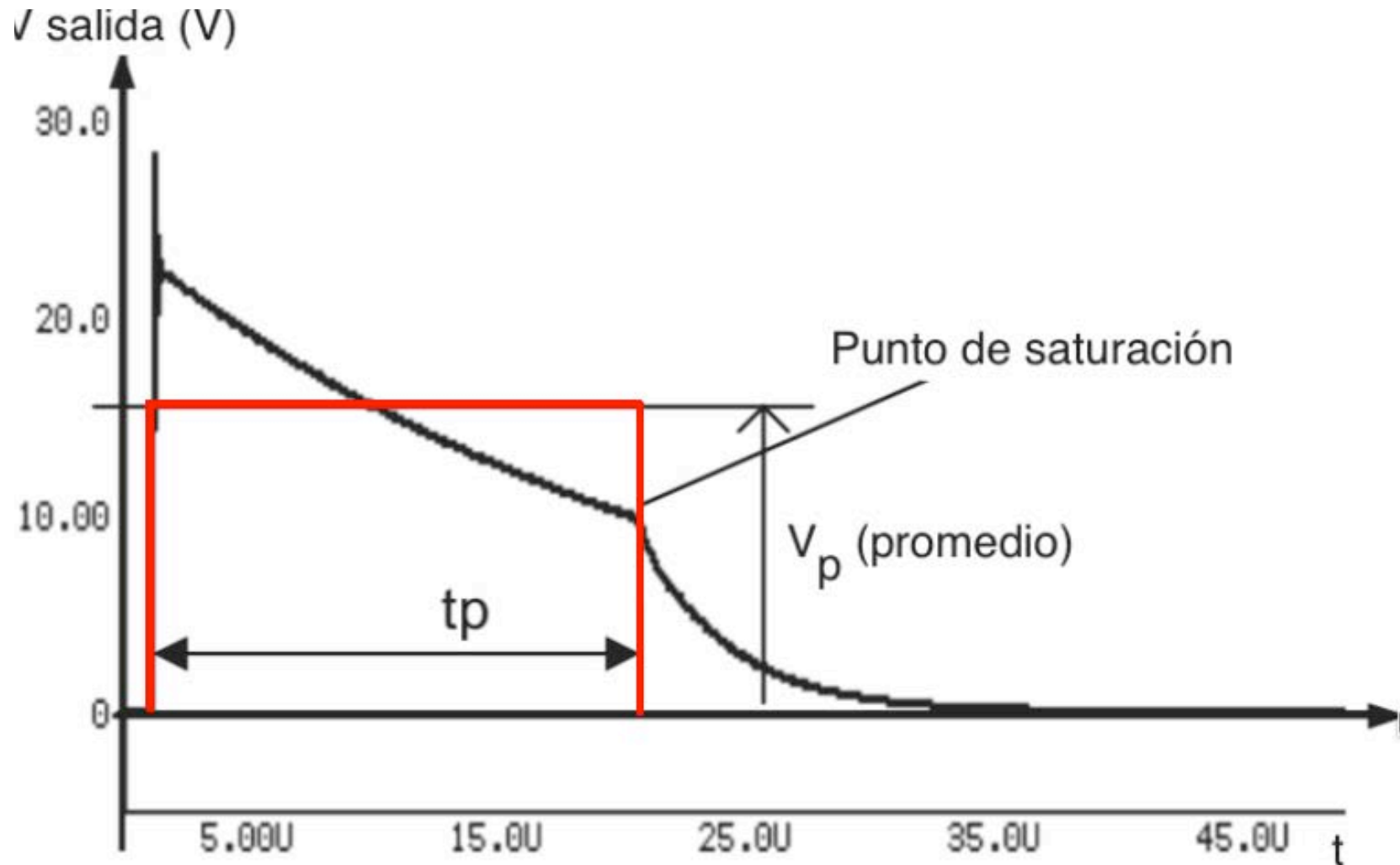
Circuito de disparo con transformador de pulsos mostrando la conexión de las pantallas de blindaje (izquierda) y forma del pulso aplicado (derecha).



Circuito equivalente del transformador de pulsos (izquierda) y forma genérica del pulso producido (derecha).

La capacitancia inter-arrollados del transformador de pulsos ofrece un camino para la circulación de corrientes de alto di/dt como las que se producen cuando los tiristores entran en bloqueo y las capacitancias de las juntas tienen que ser cargadas. Dado que esta corriente parásita circularía a través de la compuerta del tiristor, podría causar un encendido fuera de secuencia.

Para evitar esta posibilidad es necesario que la capacitancia inter-bobinados del transformador de pulsos sea mínima, lo que requiere que el transformador tenga un par de pantallas de blindaje electrostático; la del bobinado primario debe ser conectada a la tierra del circuito de disparo y la del secundario al terminal de cátodo del tiristor.



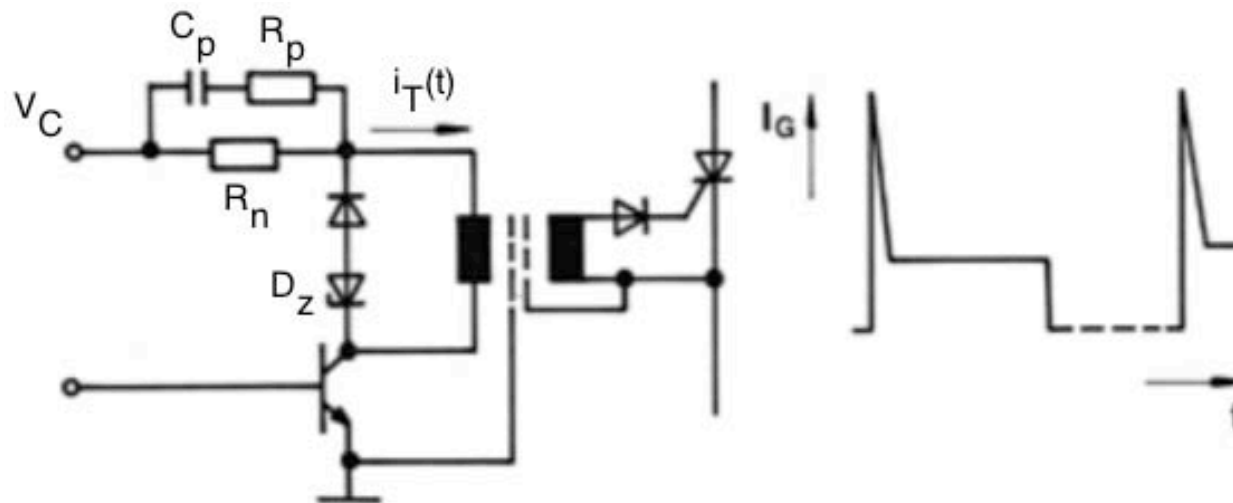
Forma real del pulso de salida de un transformador de pulsos (trazo negro) y aproximación ideal de diseño (trazo rojo).

En el diseño del circuito de disparo el principal elemento de incertidumbre es el modelo del transformador, ya que en general no se conocen con exactitud ni los valores exactos de las inductancias ni el de la capacitancia interbobinados; en estas condiciones es usual realizar el diseño considerando que el componente es básicamente ideal y que genera un pulso cuadrado cuya altura es el valor promedio indicado por el fabricante.

La amplitud de la corriente en el primario del transformador está definida en primera aproximación por la resistencia R_n . Cuando finaliza el pulso de disparo y el transistor de control (puede ser un MOSFET) entra en corte, la corriente en el primario del transformador circula por el diodo de libre conducción; el tiempo de caída se puede acelerar conectando un diodo Zener en

anti-serie; esto aumenta la tensión inversa a la salida del secundario, lo que hace imprescindible la colocación del diodo D_1 para evitar que se aplique un exceso de tensión inversa a la juntura compuerta-cátodo.

El circuito básico puede ser modificado para producir un sobre-pico inicial en el pulso de encendido.



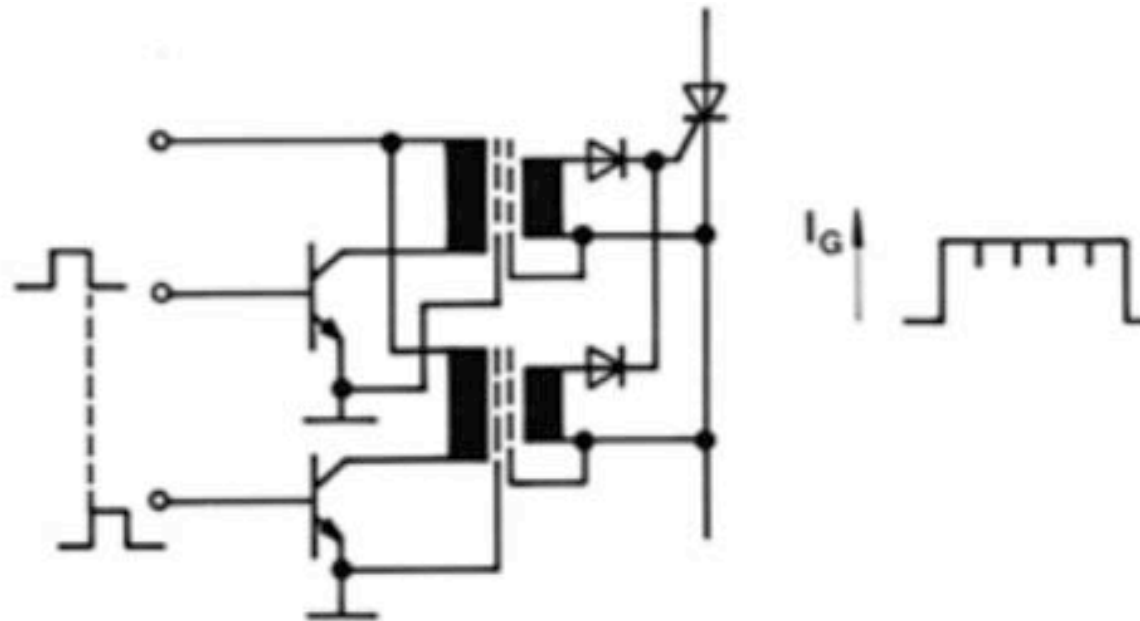
Circuito modificado par producir el pico inicial de sobre-corriente.

Inicialmente el condensador C_p está descargado y ofrece un camino de baja impedancia, R_p está en paralelo con R_n y el valor pico de la corriente en el transformador en el transformador, $i_T(0^+)$ es:

$$i_T(0^+) = \frac{V_c}{(R_p \parallel R_n)}$$

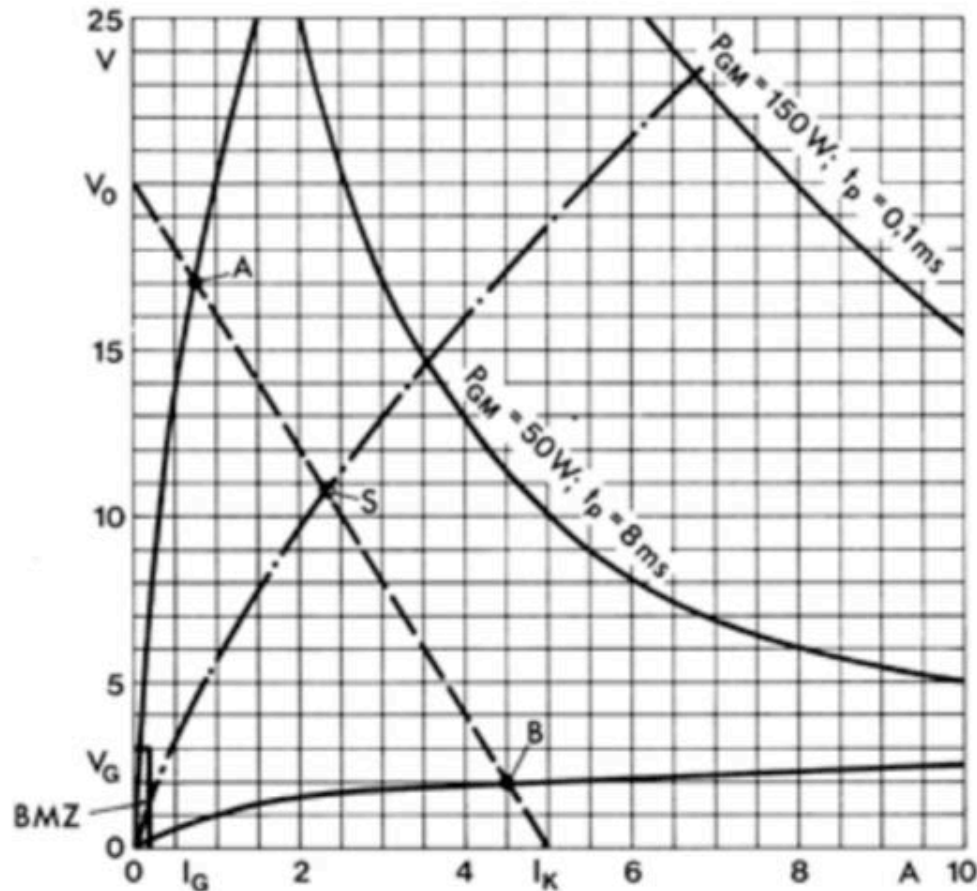
Si el tiristor a controlar está trabajando en un circuito alimentado por la línea AC de 50 o 60Hz, se pueden requerir pulsos de disparo continuo de varios ms de duración, lo que puede causar problemas de saturación en el transformador de pulsos si se usa un circuito básico.

Este problema se elimina usando dos circuitos básicos operando entrelazados con un ciclo de trabajo del 50%, lo que permite sintetizar un "pulso continuo" de duración arbitraria sin problemas de saturación.



Circuitos combinados. Señales de disparo desfasadas 50% (izquierda), configuración circuito al (centro), forma de onda del pulso aplicado (derecha).

El segundo elemento de incertidumbre es la característica real del circuito de compuerta.



Detalle de la gráfica de las características de compuerta.
El punto S define el valor típico de disparo

El punto de operación efectivo para un tiristor del tipo correspondiente puede estar en cualquier parte de la recta de carga entre los puntos A y B.

Usualmente, para tener una referencia numérica para poder realizar los cálculos se asume arbitrariamente un punto de dicha recta de carga como el "punto de operación" (punto "S" en la gráfica).

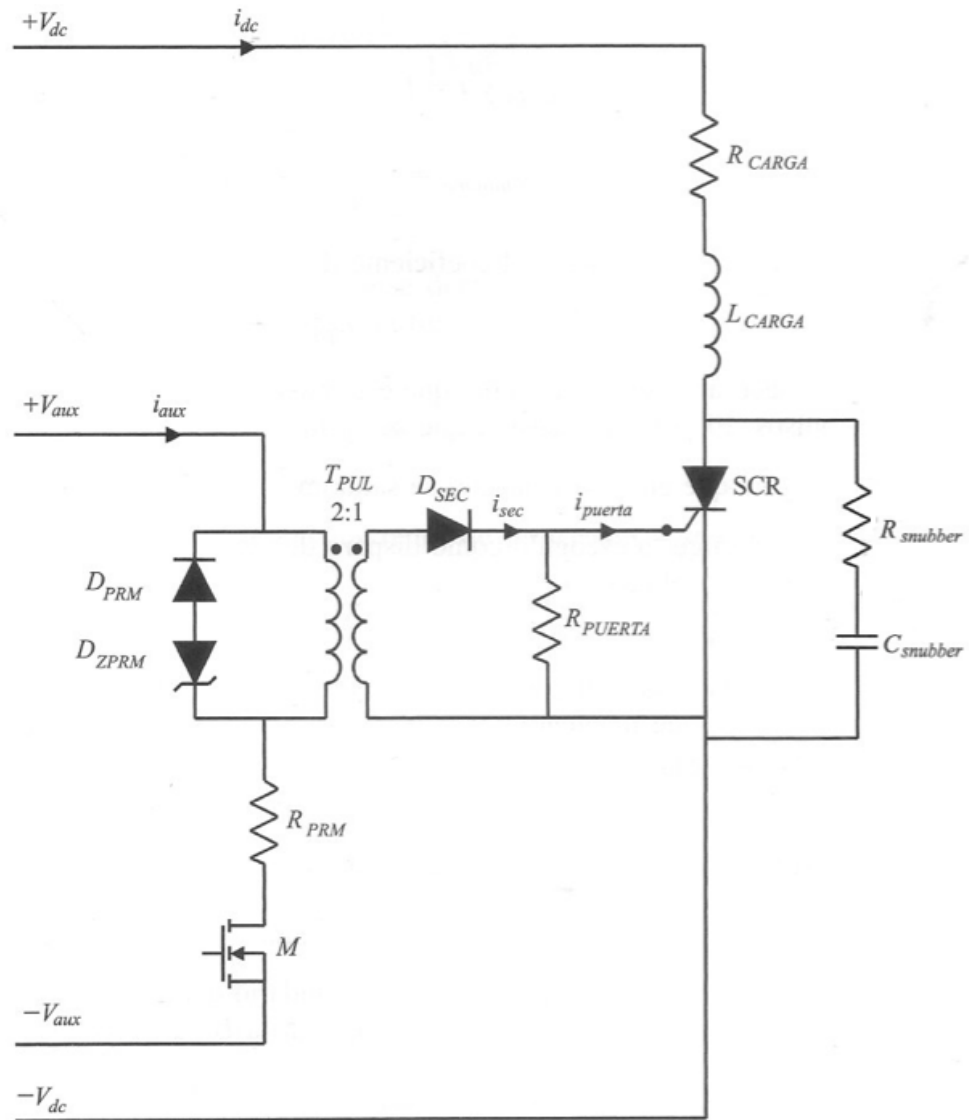
En todo caso el diseño no tiene solución única, pero existen varias maneras de obtener soluciones razonables, algunas de las cuales se exploran mediante el siguiente ejemplo.

MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DISEÑO.

Se desea diseñar el circuito de disparo con aislamiento por transformador de pulsos para un tiristor tipo IRF 110/111RKI cuya tensión de trabajo son 800V y su corriente media es de 100A. I_L es 400mA e I_H es de 200mA. La tensión de disparo típica es de 2V a una corriente típica de 100mA, con una disipación de 1,2W.

El tiristor debe manejar una carga de 250mH en serie con 10Ω , alimentados con una tensión de 600V. El ciclo de trabajo es del 50% y la frecuencia de disparo 100Hz, se desea aplicar un pulso único.

Se dispone de una fuente de 15V para el circuito de disparo y de un transformador de pulsos de relación de transformación 2:1 que puede considerarse ideal.



1.- Método circuital.

Se fija un factor de seguridad del 25% para la tensión y la corriente de disparo sobre los valores típicos de disparo. En esas condiciones se tiene

Voltaje de disparo deseado en la compuerta, V_{Gd} :

$$V_{Gd} = V_{Gt} + 1,25 = 2V * 1,25 = 2,5V$$

Corriente de disparo deseada en la compuerta, I_{Gd} :

$$I_{Gd} = I_{Gt} * 1,25 = 100mA * 1,25 = 125mA$$

Se comprueba que no se supera la potencia máxima en la compuerta, P_{Gd} :

$$P_{Gd} = V_{Gd} I_{Gd} = 2,5V * 125mA = 0,313mW$$

El valor final de la corriente AK del tiristor, I_F es:

$$I_F = \frac{600V}{10\Omega} = 60A$$

La constante de tiempo del circuito RL, τ_{RL} , es:

$$\tau_{RL} = \frac{L}{R} = \frac{250mH}{10\Omega} = 25ms$$

La corriente $i(t)$ es:

$$i(t) = \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Resolviendo para $i(t_{\text{enganche}}) = I_L = 400\text{mA}$

Resulta: $t_{\text{enganche}} = 167,22\mu\text{s}$

Aplicando el factor de seguridad del 25%, el tiempo mínimo de duración del pulso de encendido, t_p , debe ser:

$$t_p = t_{\text{enganche}} * 1,25 = 167,22\mu\text{s} * 1,25 \approx 200\mu\text{s}$$

La resistencia de Thèvenin equivalente entre compuerta y cátodo, R_{eq} , es:

$$R_{eq} = \frac{V_{Gd}}{I_{Gd}} = \frac{2,5V}{125mA} = 20\Omega$$

Por razones de seguridad, para evitar disparos accidentales por ruido, se colocará una resistencia del mismo valor en paralelo con la juntura G-K, de forma que el pulso de disparo deba proporcionar el doble de la corriente deseada de disparo, esto es 250mA@2,5V.

Asumiendo un voltaje de conducción normal de 0,7V en el diodo D_{SEC} , la tensión de salida en el secundario, V_{SEC} , debe ser:

$$V_{sec} = V_{D_{sec}} + V_{Gd} = 0,7V + 2,5V = 3,2V$$

Dado que el transformador de pulsos tiene una relación de vueltas 2:1, la tensión en el primario, V_{pri} , debe ser:

$$V_{pri} = 2V_{sec} = 2 * 3,12V = 6,24V$$

En el circuito del primario se tiene:

$$V_{aux} = V_{pri} + I_{aux}(R_{PRM} + R_{DSM})$$

Donde I_{aux} es la corriente del secundario reflejada sobre el primario, esto es, $250\text{mA}/2$, 125mA .

Si se selecciona un MOSFET con una resistencia en conducción de miliOhms, la caída en el MOSFET se puede despreciar, y la resistencia R_{PRM} resulta:

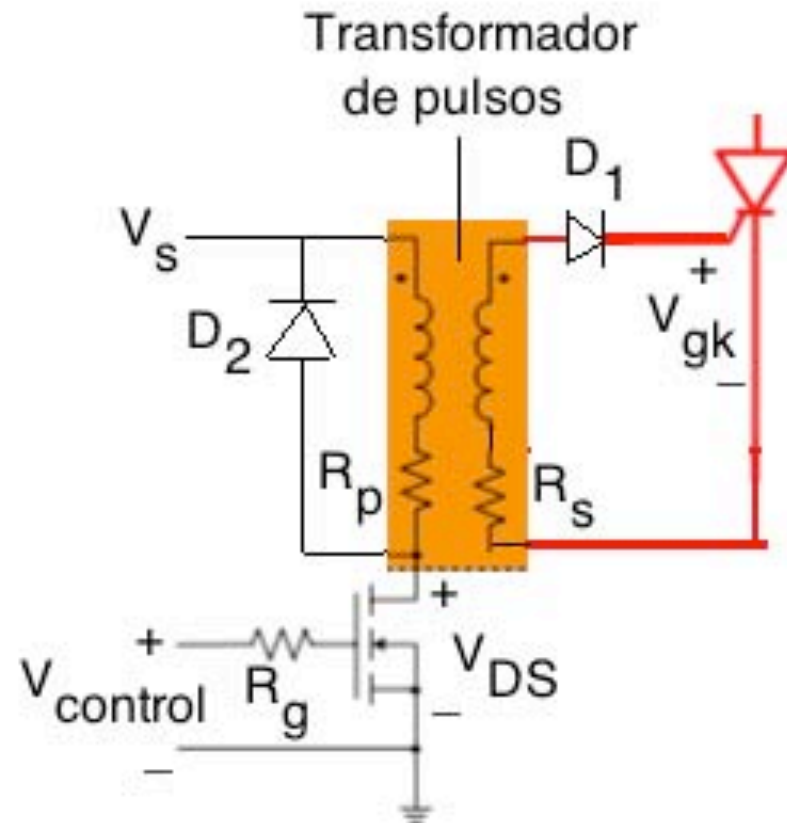
$$R_{PRM} = \frac{V_{aux} - V_{pri}}{I_{pri}} = \frac{15V - 6,4V}{125mA} = 68,8\Omega$$

El MOSFET puede ser el EPC2036 de 73mΩ de resistencia R_{on} máxima.

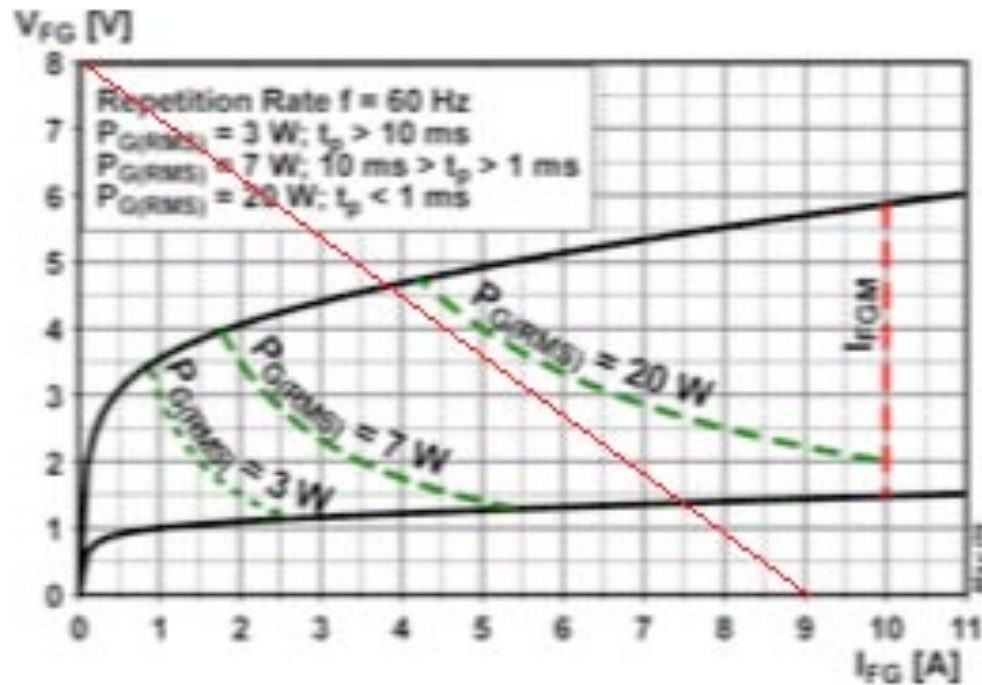
Para completar el diseño se deben seleccionar los diodos; para los rectificadores se seleccionan diodos ultra-rápidos para minimizar los retardos de conmutación, y para reducir rápidamente la corriente atrapada en el primario se conecta un Zener de unos 5,6V (valor estándar) para que la tensión en oposición sea de unos 6,3-6,4V.

El Zener puede ser el BZX85-C5V6, y los diodos rectificadores los MUR120, con 75ns de tiempo de apagado.

2.- MÉTODO EN BASE A LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL TIRISTOR Y LA RESISTENCIA DE LOS BOBINADOS DEL TRANSFORMADOR DE PULSOS.



Circuito básico considerado.



Recta de carga sobre las características de compuerta del SCR.
 Se define la recta de carga del circuito de disparo sobre la gráfica de características de compuerta del tiristor, cumpliendo con los requisitos de potencia promedio y máxima, y lo mas alejada posible de la zona de disparo dudoso.

La recta se fija con una corriente máxima de 9A y una tensión de 8V, para estar lo mas alejado posible de la zona de disparo inseguro.

Sobre esa recta de carga, se selecciona como punto de operación tentativo el punto 3V-5,5A. Los márgenes de corriente y tensión son amplios, el punto exacto no es crítico.

Dado que la recta pasa cerca de la hipérbola de máxima disipación de potencia se debe trabajar con un tren de pulsos con un ciclo de trabajo de 1 a 10, para tener un margen razonable y no trabajar con un diseño crítico.

Se selecciona a priori una frecuencia de repetición de 1kHz, para un período de repetición de 1ms, por lo que los pulsos deben tener una duración de $100\mu s$; el tren de pulsos se aplicarán continuamente durante todo el período de conducción.

Se dispone de un transformador de pulsos de relación de transformación 1:1, con una resistencia de $0,4\Omega$ en el primario y de $0,3\Omega$ en el secundario.

Se selecciona un MOSFET de baja resistencia R_{Don} (QJA64 EP de Siliconix, que soporta 15A a 60V, tiene una resistencia de canal de $0,032\Omega$ y cuesta \$0,75).

La tensión de salida del secundario debe ser:

$$V_s = V_{gk} + V_{D1} + I_{gk}R_s = 3V + 0,7V + 5,5A * 0,3\Omega = 5,35V$$

Por lo tanto la tensión de alimentación del circuito de disparo debe ser:

$$V_F = V_p + I_p R_p + I_p R_{Dson}$$

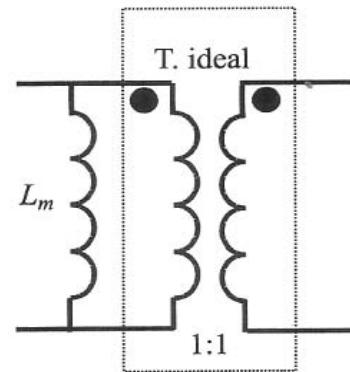
Donde $I_p = I_s$ y $V_p = V_s$ porque la relación de transformación es 1:1, luego:

$$V_F = 5,35V + 5,5A * 0,4\Omega + 5,5V * 0,032\Omega = 7,73V \approx 8V$$

3.- Procedimiento alternativo en base a las características magnéticas del transformador de pulsos y las curvas v/i de la compuerta del tiristor.

El transformador de pulsos considerado tiene una inductancia de magnetización, L_m , de 1mH, un área

voltaje-tiempo, A_{vtt} , de $300V\mu s$ y una relación de transformación 1:1. El es:



Modelo equivalente del transformador de pulsos en base a la inductancia de magnetización.

El área voltaje-tiempo del A_{vtp} del pulso de disparo es:

$$A_{vtp} = V_p t_p \leq A_{vtt}$$

Donde V_p es la amplitud del pulso y t_p es su duración.

Si se dispone de la fuente V_{DC} de 15V antes considerada, la duración del pulso de disparo máxima, t_{pM} es:

$$t_{pM} = \frac{A_{vtp}}{V_p} \leq \frac{A_{vtt}}{V_p} = \frac{300V\mu s}{15V} = 20\mu s$$

Considerando el tiempo máximo de $20\mu s$, y despreciando la caída en conducción en el transistor de control, el

valor máximo que puede alcanzar la corriente en la inductancia de magnetización, I_{Lmp} , es:

$$I_{Lmp} = \frac{V_{DC} t_{pM}}{L_m} = \frac{15V * 20\mu s}{1mH} = 0,3A$$

Cuando se enciende el transistor de control se aplica la tensión V_{DC} al primario del transformador, la tensión de salida del secundario es también V_{DC} (relación de transformación 1:1), luego la tensión en circuito abierto aplicada a la compuerta, V_{Go} , es:

$$V_{Go} = V_{DC} - V_{D2}$$

Como los pulsos de disparo deben ser estrechos para no saturar el transformador, han de ser de alta corriente, por lo que se selecciona una corriente pico igual a 5 veces la corriente promedio de disparo a 25°C, que para este tiristor es de 100mA.

Por lo tanto los pulsos de corriente de disparo tendrán una amplitud mínima, I_{Gm} de 0,5.

Trabajando sobre la gráfica se encuentra que la línea de 0,5A corta las curvas V/I de compuerta extremas a una tensión V_{GK} mínima de 0,8V y a una máxima de 6V.

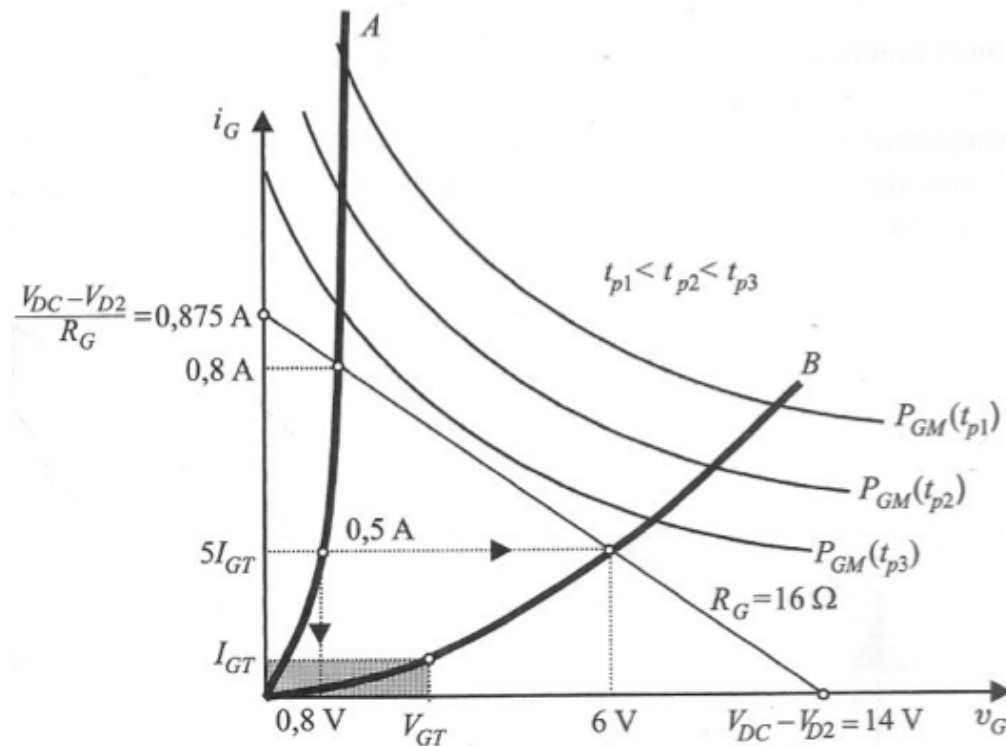
Como se debe trabajar en el peor caso (tiristores que requieren la máxima tensión para entrar en conducción), se trabaja con 6V para definir la resistencia de limitación de corriente, R_G .

$$R_G = \frac{V_{DC} - V_{D2} - V_{GKM}}{I_{Gm}} = \frac{15V - 1V - 6V}{0,5A} = 16\Omega$$

Fijado el valor de la resistencia, hay que comprobar el otro caso límite, cuando se maneja un tiristor con la caída de tensión mínima.

En ese caso la corriente de compuerta máxima, I_{GM} será:

$$I_{GM} = \frac{V_{DC} - V_{D2} - V_{GKM}}{R_G} = \frac{15V - 1V - 6V}{6\Omega} \approx 0,8A$$



Característica V/I de compuerta del tiristor a manejar, mostrando la recta de carga calculada y los valores extremos de corrientes y voltajes de compuerta.

La corriente $i_{CE}(t)$ en el transistor es:

$$i_{ce}(t) = i_{Lm}(t) + I_G$$

El valor máximo ocurre al final del pulso de disparo, cuando $i_{Lm}(t)$ alcanza su valor final, I_{Lmp} , y además el tiristor es de los que tienen la menor tensión de compuerta.

En esas condiciones, i_{CEM} resulta:

$$i_{ceM} = i_{Lmp} + I_{GM} = 0,3A + 0,8A = 1,1A$$

Suponiendo un valor de la ganancia de corriente del orden de 100, la corriente de base estará en el orden de los 11mA.

FILTROS DE COMPUERTA.

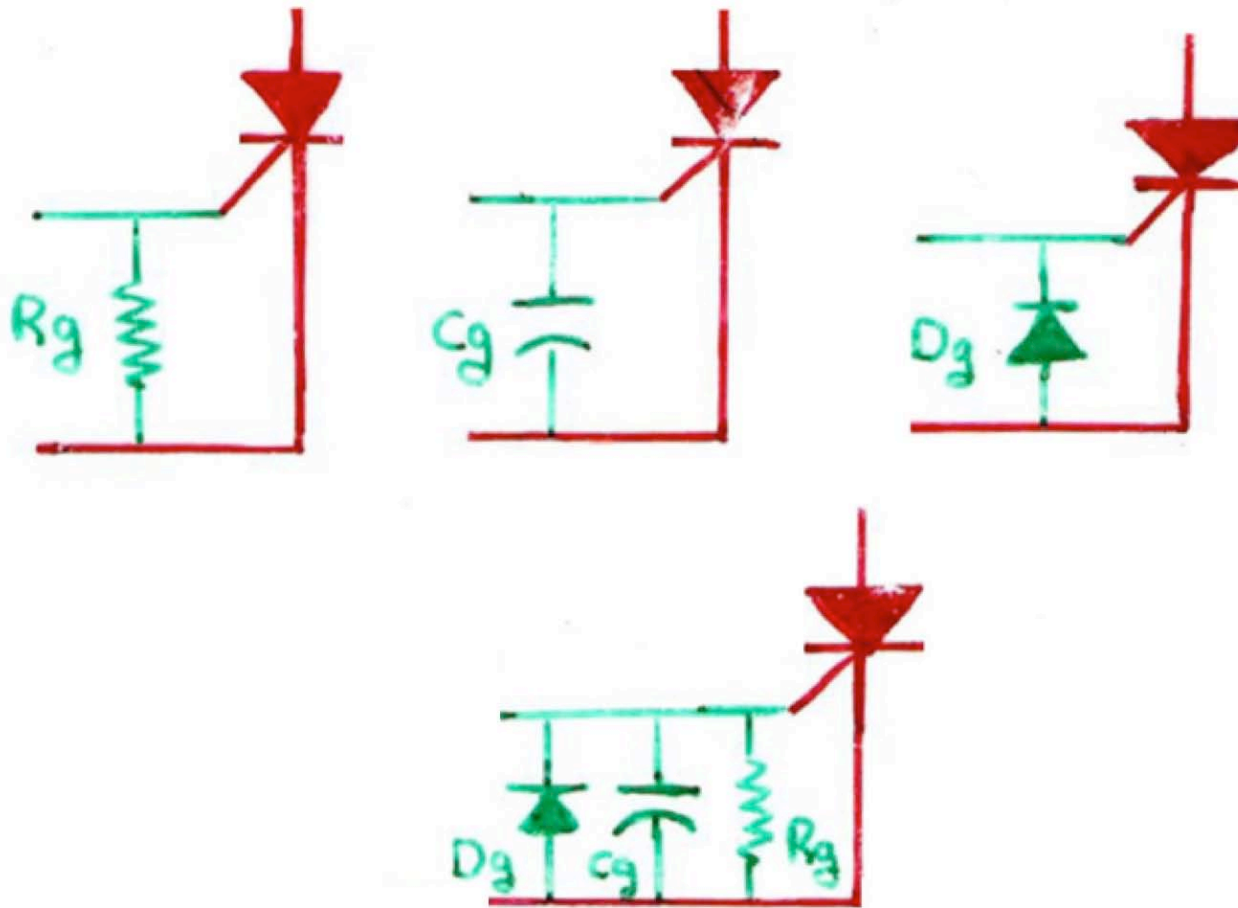
En general, especialmente en convertidores de potencias medias/altas, los tiristores y la circuitería de control estarán bastante separados (incluso es posible que estén en armarios distintos), por lo que el cableado entre los generadores de los pulsos de disparo y las compuertas de los tiristores puede ser considerablemente largo.

Dado que la operación de los circuitos de potencia genera un nivel de ruido de radio interferencia elevado, la combinación del ambiente eléctricamente ruidoso y un cableado largo ocasiona que las señales de disparo se contaminen que niveles altos de ruido.

Para minimizar el efecto del ruido eléctrico ambiental sobre las señales de disparo, es preciso primero que los dos cables (ida y retorno) que conectan cada circuito de disparo a su correspondiente tiristor sean del tipo par trenzado blindado.

Adicionalmente es necesario incluir circuitos de filtrado y protección montados directamente sobre el tiristor, lo mas cerca posible de los terminales de compuerta y cátodo.

La protección mínima es una resistencia de bajo valor (usualmente 50Ω) en paralelo con la juntura C-K, o un condensador en la misma posición; es también razonable incluir un diodo en antiparalelo, para limitar las posibles tensiones inversas; pero lo mejor es incluir los tres componentes.



Filtro de compuerta.

Elementos individuales (arriba), filtro completo (abajo).

CIRCUITOS DE DISPARO CON AISLAMIENTO ÓPTICO.

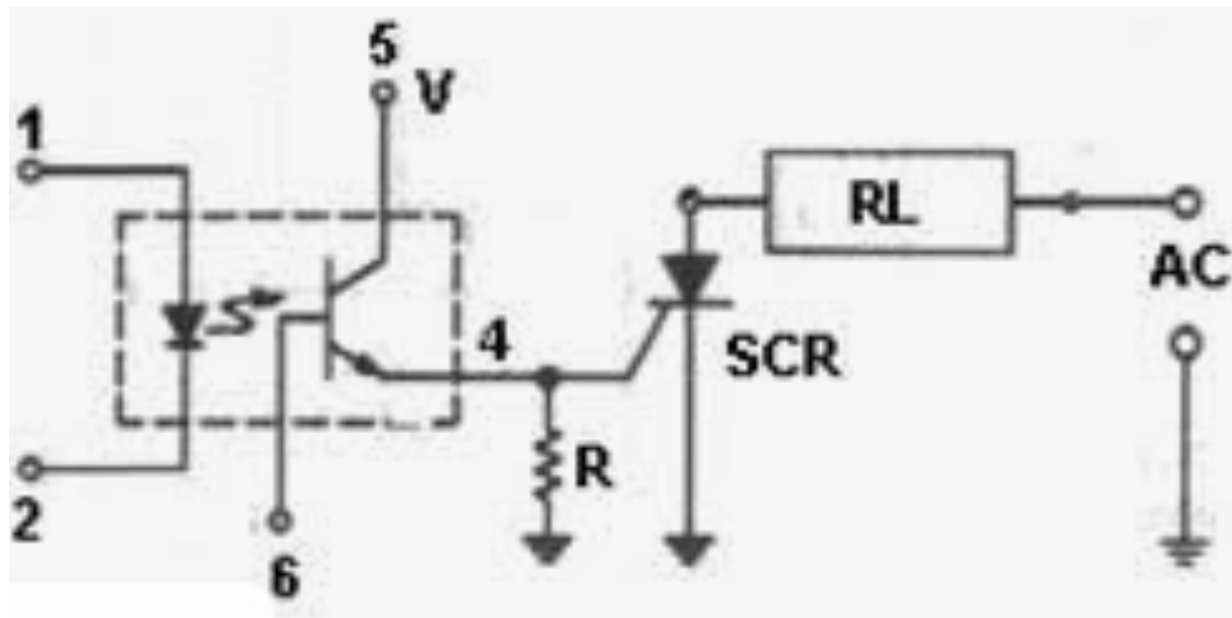
A.-Para dispositivos de muy alta potencia: El tiristor a emplear es del tipo LTT, que incorpora una región de compuerta fotosensible, y se enciende al recibir un pulso de luz de la frecuencia e intensidad luminosa correspondientes.

La fuente de luz de disparo es usualmente un LASER o una fuente luminosa de descarga de muy alta potencia lumínica y el acople fuente de luz-LTT se hace mediante fibra óptica.

El nivel de aislamiento LTT-fuente de luz de disparo es ideal y la distancia entre la fuente y el dispositivo a disparar puede ser arbitrariamente grande (decenas de metros).

Usando un acoplador óptico adecuado y una fuente de luz de alta potencia, preferiblemente LASER, es posible aplicar el pulso de disparo simultáneamente a un conjunto de fibras ópticas, todas la misma longitud para asegurar el mismo retardo de transmisión, lo que permite disparar con sincronización perfecta un arreglo de tiristores conectados en serie o en paralelo para aplicaciones de muy alta potencia.

B.-Para tiristores de potencia media de propósito general, no fotosensibles, el acople óptico requiere de un dispositivo opto-acoplador auxiliar.

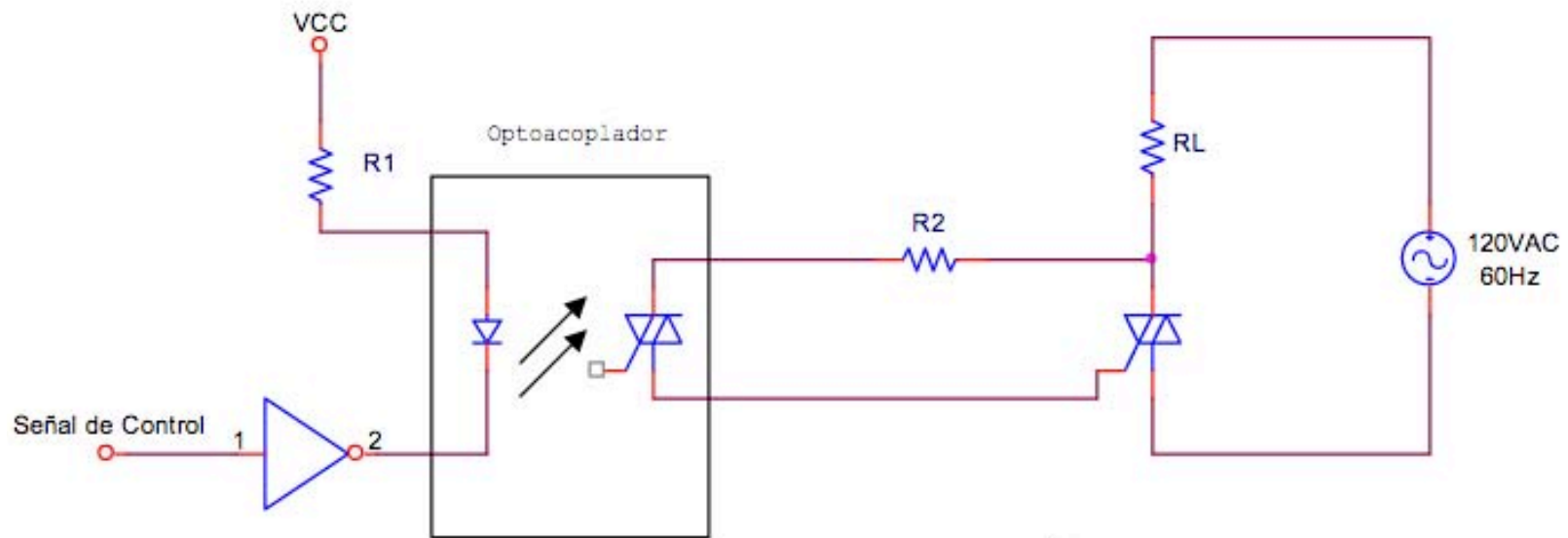


Circuito de disparo básico con opto-acoplador de propósitos generales.

En principio es posible usar un opto-acoplador de propósito general, con un foto-transistor como elemento de salida, pero esto requiere una fuente DC de tensión cuya referencia de tierra debe estar conectada al cátodo del SCR, lo que incrementa el conteo de partes y la complejidad del circuito.

Por lo tanto, usualmente se prefiere usar un opto-acoplador especializado, con salida de opto-SCR u opto-TRIAC.

Esta configuración tiene la ventaja de usar a la misma línea AC como fuente de la corriente de disparo, lo que simplifica significativamente el diseño.



Estructura esquemática básica de un circuito de disparo de tiristores con aislamiento óptico mediante opto-TRIAC (el C.I. puede ser un tipo MOC3011).

El uso de opto-TRIAC permite disparar a un TRIAC de potencia en cualquiera de los cuatro cuadrantes.

Si el dispositivo de potencia es un tiristor genérico, se puede reemplazar el opto-TRIAC por un opto acoplador con salida por SCR (por ejemplo un TLP548J).

Dado que el acople es a través de un tiristor, el pulso de disparo permanece aplicado durante todo el intervalo de conducción del tiristor principal.

Por último, si se desea operar siempre con disparo en coincidencia por el cruce por cero de una línea AC, se puede emplear un opto-acoplador con detector de cruce por cero integrado, lo que automáticamente sincroniza el controlador con la línea AC, sin aumentar el conteo de componentes.

El nivel de aislamiento es el que proporciona el C.I. del opto-acoplador, usualmente del orden de 3 a 5kV.

Por supuesto en aplicaciones de muy baja potencia el opto-SCR -TRIAC puede usarse para controlar directamente la carga, lo que reduce al mínimo absoluto el conteo de componentes y la complejidad del circuito de potencia.