

ELECTRONICA DE POTENCIA.

GUIA PRÁCTICA

Ing. José Emilio Ledo Galano.

Introducción.

Pertenezco a una generación de ingenieros, cuyos primeros pasos en La Electrónica de potencia se remontan a los años 80, una época donde aún reinaban los diodos, tiristores y algunos transistores bipolares de conmutación. Recuerdo aquellos engorrosos circuitos auxiliares, usados para el apagado de los tiristores principales; formados por inductores, condensadores de potencia, diodos y tiristores auxiliares, que debían ser activados según una secuencia estricta, a partir de rigurosos cálculos de los procesos transitorios que ocurrían en el circuito en cada periodo.

También aparecieron los GTO (Gate turn off Thyristor), una especie de tiristor que podía ser apagado por la compuerta, si a la misma se le aplicaba un potente impulso de corriente negativa. Debo admitir, que he sobrevivido sin haber tenido nunca uno de ellos en mis manos.

Por aquel entonces, ya se hablaba de los MOSFETs de potencia, pero solo los veíamos en la revistas. Lo describían como un transistor prácticamente ideal, que solo tenía cosas buenas, un ente celestial de conmutación rápida, que se controlaba por voltaje y no consumía energía de control. Más tarde, cuando llegaron y comenzamos a familiarizarnos con los primeros ejemplares, quedó claro, que también tenían cosas malas.

Con este pequeño ensayo, no pretendo escribir un libro de texto, ni nada que se le parezca; solo intentaré plasmar de la forma más escueta posible, todo lo aprendido desde el punto de vista práctico durante los casi 30 años, que llevo implicado de forma continua, en el diseño, servicio y reparación de convertidores de potencia basados en semiconductores. Los pequeños detalles y sutilezas, que solo se adquieren al combinar una sólida base teórica adquirida en la universidad, con el intento de dar soluciones a los problemas cotidianos que van surgiendo a lo largo del desarrollo de diferentes proyectos.

Comenzaré haciendo un resumen sobre las principales características y funcionamiento de los principales componentes activos y pasivos usados en los circuitos de potencia. Luego iremos viendo diferentes tipos de convertidores de uso generalizado en reguladores de voltaje y corriente, temperatura, cargadores de baterías, control de motores, calentamiento por inducción, inversores en general, etc.

Espero que sea útil, fundamentalmente, para aquellos que se inician en el campo de la electrónica de potencia, jóvenes técnicos e ingenieros recién incorporados a la vida laboral, y también a aficionados entusiastas.

No puedo terminar esta pequeña introducción, sin antes advertir sobre los peligros que encierra el trabajo con los circuitos de conversión de energía.

En estos circuitos, como su nombre indica, la potencia no escasea. En ellos normalmente está presente el potencial de la red eléctrica y se trabaja con niveles de voltaje muy peligrosos para la vida. Los capacitores pueden almacenar la energía del campo eléctrico durante días, y también pueden explotar, si se conectan mal, o si se exceden sus parámetros máximos permitidos. Cuidado con las bobinas y transformadores, pueden generar picos de voltajes que perforan el aislamiento.

Antes de manipular un circuito, hay que asegurarse que ha sido desconectado de la red o fuente de alimentación alternativa, y de que han sido descargados los capacitores. Se debe ser muy cuidadoso cuando hay que realizar mediciones en caliente. Intenten no estar solos en estos casos.

CAPITULO I

LOS LADRILLOS QUE COMPONEN LA ELECTRONICA DE POTENCIA

Bienvenido al mundo real.

Los circuitos electrónicos de potencia pueden ser diversos y complejos, sin embargo los mismos están formado a partir de una base de componentes de tipos bastante limitada. Me refiero a aquellos circuitos, que superan el kW de potencia. Por debajo de los 500 vatios, existe una amplia gama de circuitos integrados especializados, que resuelven con gran eficiencia, fiabilidad y miniaturización las tareas de conversión, cubriendo todas las configuraciones posibles de convertidores DC-DC, Dimmers , reguladores del factor de potencia, etc.

En primer lugar tenemos los llamados componentes pasivos, donde podemos ubicar los resistores, capacitores, inductores y transformadores. Los componentes pasivos no generan ni controlan la energía, solo pueden almacenarla, consumirla o transmitirla.

En segundo lugar, tenemos los componentes activos, que normalmente son los semiconductores de potencia: diodos, transistores y tiristores. Los mismos pueden encontrarse como componentes simples o modulares, formando puentes y semipuentes rectificadores monofásicos o trifásicos a base de diodos y tiristores, o puentes y semipuentes inversores a base de tiristores transistores bipolares, IGBTs o MOSFETs.

Cada uno de estos componentes, fueron estudiados en la universidad de forma detallada, y para mejor comprensión de su funcionamiento, siempre se usaban modelos matemáticos, que idealizaban su comportamiento, de forma que se resaltaban los parámetros fundamentales, y se despreciaban los parámetros parásitos, presentes en cada uno de ellos. De esta forma se conseguía explicar la física de su operación, mediante expresiones analíticas armoniosas, que muchas veces resultaban ser soluciones a sistemas de ecuaciones diferenciales lineales de primer y segundo orden. Un ejemplo típico, lo podemos ver en la teoría que explica el funcionamiento de los transformadores.

Semejante enfoque, es de gran utilidad a nivel académico, ya que permite simplificar el proceso de aprendizaje, y la comprensión de los contenidos. En el análisis de aplicaciones reales, semejante idealización puede conllevar a errores graves, que pueden provocar el fallo de todo el sistema.

Los resistores de potencia presentan una inductancia parásita, que puede estar entre varios nH y cerca de los mH, en dependencia de su tamaño y tecnología de fabricación.

Los conductores, ya sean en forma cableada o de circuito impreso, presentan siempre inductancia parásita, que depende de su longitud y geometría. Un centímetro de conductor recto, tiene una inductancia aproximada de 10 nH.

Los capacitores tienen resistencia e inductancia parásitas, en mayor o menor medida, en dependencia del tipo de condensador, su tamaño y la tecnología de fabricación.

Los inductores presentan una resistencia óhmica diferente de cero, que provoca pérdidas de potencia en forma de calor, en la mayoría de los casos tienen un núcleo magnético no lineal con pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault, y que además puede llegar a saturarse.

Los transformadores son los campeones en cuanto a parásitos se refiere. Inductancia de dispersión, resistencia de los devanados, capacitancia entre bobinados y todas las pérdidas de potencia relacionadas con las propiedades físicas del material del núcleo.

Los diodos tiristores y transistores al conmutar, necesitan un tiempo determinado para entrar en conducción o apagarse. Dichos tiempos pueden variar mucho en dependencia del componente que se utilice. Todos estos semiconductores, presentan grandes capacitancias parásitas entre sus electrodos, la cual además no es constante si no que depende de factores como el voltaje aplicado y la temperatura del dispositivo.

Los transistores bipolares IGBTs y MOSFETs, adolecen del efecto Miller. Las variaciones del estado de la salida (colector o drenaje) durante los transitorios, influye en el estado del circuito de entrada o compuerta a través de la capacitancia parásita entre estos electrodos. Más adelante veremos esto en detalle.

Todo MOSFET lleva de compañero un diodo parásito entre drenaje y fuente, que es producto del proceso tecnológico de fabricación, imposible de erradicar ya que forma parte de la física del sistema, es el diodo antiparalelo. El problema de este diodo es que presenta un tiempo de recuperación mucho más largo que los tiempos de conmutación del propio transistor, y esto no es bueno si se quiere operar a altas frecuencias.

Son precisamente estos parámetros indeseables presentes en cada dispositivo, los que determinan el comportamiento de todo el circuito; de ahí que la correcta selección de cada componente, para que sus parámetros estáticos y dinámicos estén acorde con cada aplicación, es sin duda una de las partes más importante de cada diseño.

Resistores

Las resistencias son el componente más predecible en toda la electrónica. Son lineales y su funcionamiento se puede describir por la ley de Ohm

$$I = \frac{U}{R};$$

En electrónica de potencia, son tres los parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de elegir una resistencia:

- Resistencia nominal.
- Potencia nominal.
- Inductancia parásita.

La resistencia real de cualquier resistor, se ve afectada por la temperatura, normalmente esa dependencia es directamente proporcional para los resistores de metal, película metálica, capas de óxidos y resistencias de carbón, y es inversamente proporcional para la mayoría de resistores basados en materiales semiconductores.

Un caso peculiar son los termistores, dispositivos donde la variación de la resistencia con la temperatura es muy elevada, y son muy usados como sensores de temperatura en todo tipo de equipos y circuitos.

Emplear una resistencia con bajo valor de inductancia, es vital para un resistor integrante de una red Snubber, o si se utiliza como shunt para medir la corriente en una porción del circuito. Solo se recomienda usar resistores bobinados en circuitos que operen en corriente continua o baja frecuencia: Frenado de motores, carga y descarga de capacitores, como elementos calefactores en hornos y incubadoras, etc.



Fig.1.1. Resistores de potencia.

La potencia P que se disipa en una resistencia:

$$P = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R};$$

Donde la potencia se expresa en vatios, el voltaje en voltios, la corriente en amperios y la resistencia en Ohmios.

De los cursos elementales de física y electricidad, sabemos que los resistores pueden conectarse en serie y paralelo para modificar su resistencia y potencia disipada. En ambos casos, es recomendable que todas las resistencias tengan el mismo valor, para que la potencia disipada sea la misma en cada una de ellas, entonces tendremos que para la conexión serie:

$$P_{eq} = P \cdot N; \quad y \quad R_{eq} = R \cdot N;$$

Mientras que para la conexión en paralelo:

$$P = P \cdot N; \quad y \quad R_{eq} = R/N;$$

Donde P y R son la potencia y resistencia nominal de los resistores usados y N es la cantidad de resistores.

Muchos resistores modernos entre 20 y 50 vatios vienen en encapsulado TO-220, TO-247 etc., y están diseñado para trabajar adosadas a un disipador de calor. En su caso es importante consultar el parámetro I^2t que nos da una idea de la energía máxima que puede absorber sin deteriorarse, teniendo en cuenta, que si la potencia aplicada es excesiva, el calentamiento es adiabático y no hay suficiente tiempo para la evacuación del calor hacia la superficie de disipación.

No utilice nunca resistores bobinados en redes Snubbers de protección de semiconductores, ni como elemento para censar la corriente. Su inductancia parásita es demasiado elevada.

Capacitores de potencia.

Los capacitores o condensadores, son dispositivos encargados de almacenar la energía del campo eléctrico; están constituido por dos placas separadas por un material dieléctrico.

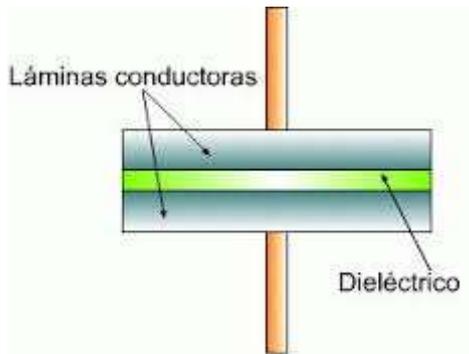


Fig.1.2. Esquema simplificado de un capacitor.

Su parámetro fundamental es la capacitancia eléctrica C , que es una constante que establece una relación entre la carga almacenada y el potencial aplicado a las placas del capacitor:

$$C = Q/V;$$

Donde la carga se expresa en Culombios y el potencial en voltios.

C se expresa en Faradio Φ , en honor al físico inglés, pero un faradio es una capacitancia muy grande, y es mucho más natural el uso de pico faradio, nano faradio y microfaradio.

$$1pF = 10^{-12} F; \quad 1nF = 10^{-9}F; \quad 1\mu F = 10^{-6}F;$$

La capacitancia o capacidad de almacenar cargas, depende del tamaño y geometría del condensador, así como de las propiedades del dieléctrico que se utilice para su fabricación.

Existen condensadores de cerámica, plástico, papel, poliéster, película de polipropileno, electrolíticos, aceite, tántalo, Mono capa, doble capa, electroquímicos, etc. Cada una de estas familias de condensadores tiene sus características propias, que determinan los rangos de capacitancia, y su cualidad para trabajar en distintas aplicaciones.

Hoy día, los capacitores comerciales cubren un ancho margen de capacitancias, desde unos pocos picofaradios hasta miles de faradios, presentes en los súper capacitores electroquímicos de doble capa.

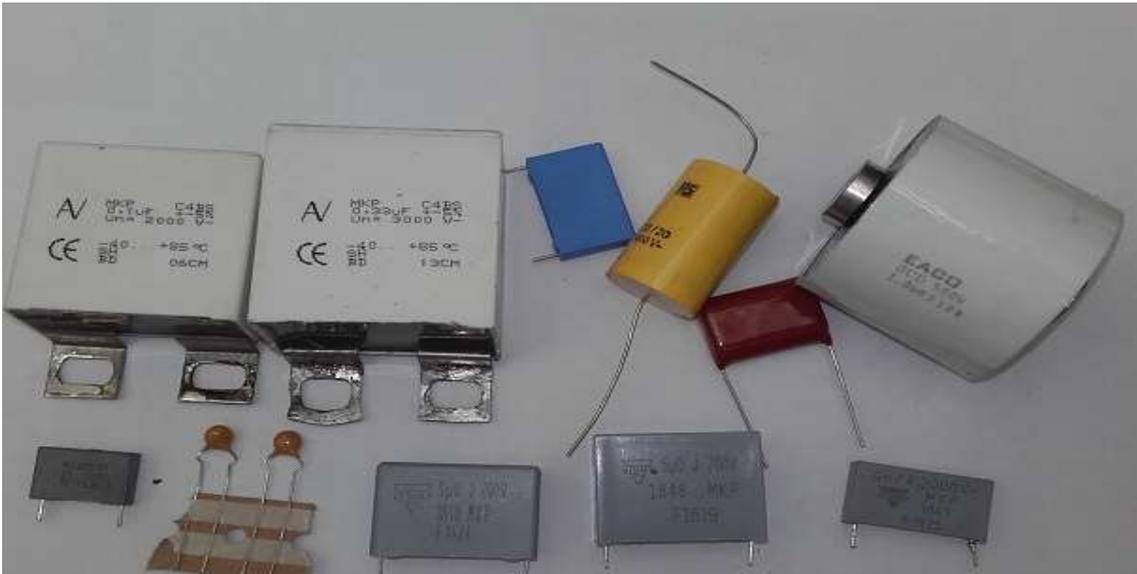


Fig.1.3. Capacitores usados en circuitos de potencia.

La corriente directa no puede circular a través de un condensador. Si conectamos un capacitor a una batería con voltaje E , la corriente circulará solo un instante mientras dure el proceso de carga, a partir de entonces, el voltaje en el capacitor se iguala al de la batería y la corriente cae a cero.

Cuando decimos que la corriente circula a través de un condensador, no significa que los electrones atraviesen el dieléctrico.

La corriente surge como un intercambio de cargas entre los electrodos del capacitor a través del circuito externo.

La corriente de un condensador se puede expresar como la velocidad de variación de la carga en el tiempo:

$$i_c = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt};$$

Esto implica que dicha corriente es directamente proporcional a la capacitancia C , a la frecuencia de trabajo F y al voltaje V que se le aplique al condensador.

Podemos escribir la expresión del voltaje entre los electrodos del capacitor, partiendo de la ecuación anterior:

$$U_c = \frac{1}{C} \int i_c dt;$$

La energía W que puede almacenar un capacitor, depende de la capacitancia y del voltaje que se le aplique:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2;$$

De la fórmula de la energía, podemos ver que el voltaje de un capacitor no puede variar a saltos, de forma instantánea. Para toda transformación de energía se requiere un intervalo de tiempo mayor que cero. Esto se usa como una de las leyes fundamentales en la teoría de cálculos de los procesos transitorios de los circuitos eléctricos, donde el voltaje en los capacitores y la corriente en los inductores se usan como condiciones iniciales para integrar las ecuaciones diferenciales que describen los procesos físicos que tienen lugar durante la conmutación de los circuitos.

Esto es lo que sabemos de los capacitores de los distintos programas académicos. En ellos se habla fundamentalmente de dos parámetros:

- La capacitancia.
- El voltaje máximo permitido.

En electrónica de potencia tenemos que ver otras características relevantes, a la hora de seleccionar un capacitor:

- Potencia del capacitor en Vares o kilo vares.
- Corriente máxima que puede soportar.
- Resistencia serie equivalente o ESR.
- Inductancia serie equivalente o ESL.

De modo que la calidad de un capacitor es mayor mientras menor sean los parámetros ESR y ESL, y este tendrá un mejor comportamiento a altas frecuencias de trabajo.

Normalmente, ESR y ESL son mayores a medida que aumenta la capacitancia, por eso es mucho más eficiente usar varios capacitores de menor capacitancia en paralelo formando un banco, cuyas características son mucho mejores que la de cada capacitor por separado. Si el espacio no lo permite, entonces se recomienda colocar en paralelo por lo menos un capacitor con bajo ESR.

El comportamiento de un condensador cuando se conecta a un circuito, puede explicarse mediante su impedancia, llamada Reactancia Capacitiva X_C . La reactancia capacitiva (símbolo X_C) es una medida de la oposición que presenta el condensador a la corriente alterna (AC). Es similar a la resistencia y es medida en ohmios, Ω , pero la reactancia es más compleja que la resistencia porque su valor depende de la frecuencia (f) de la señal eléctrica que pasa a través del condensador, así como del valor de la capacidad, C.

La Reactancia capacitiva, es una magnitud vectorial, cuyo módulo se calcula por la siguiente fórmula:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} ;$$

Donde: X_C = reactancia in ohmios (Ω)

f = frecuencia in Hertz (Hz)

C = capacidad in faradios (F)

La reactancia X_c disminuye con la frecuencia, y es infinitamente grande Para corriente continua (DC). Así ocurre que los condensadores dejan pasar la AC pero bloquean la DC.

Una peculiaridad importante del capacitor, es que en él la corriente se adelanta 90 grados con respecto al voltaje, exactamente lo contrario de lo que ocurre con las cargas inductivas; por este motivo, una de las principales aplicaciones de los capacitores es como compensadores del factor de potencia o coseno de Φ .

Como en el caso de los resistores, los capacitores también pueden ser conectados en serie y paralelo, para obtener otras capacitancias, mayores voltajes y potencia reactiva,

Cuando de conectan en paralelo, la capacitancia resultante aumenta:

$$C_{eq} = C1 + C2 + C3 + C_n ;$$

La capacitancia disminuye si los conectamos en serie:

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \frac{1}{C_n}};$$

Es posible por ejemplo fabricar un potente banco de condensadores para calentamiento por inducción, mediante la conexión en paralelo de cientos de capacitores de poliéster de unos pocos nano Faradios y el voltaje adecuado; solo hay que conectarlo de tal forma que el sistema esté equilibrado, y todos funcionen a la par.

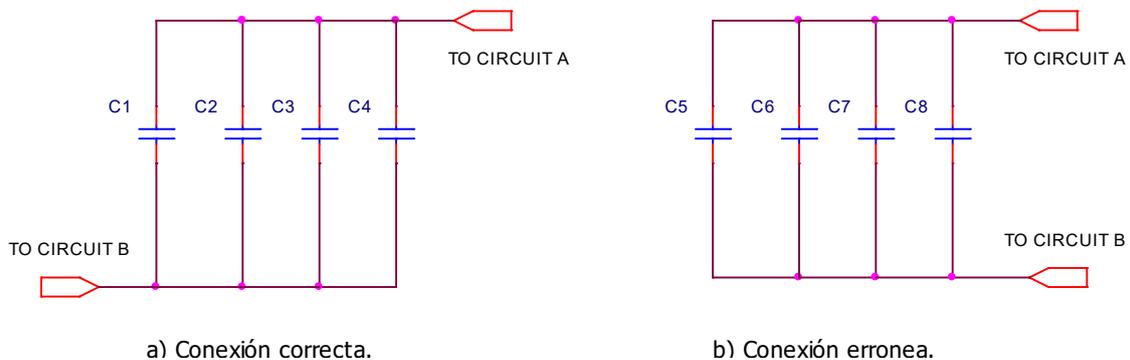


Fig.1.4. Conexión de capacitores en paralelo.

A veces, es útil conectar dos o más capacitores en serie, para poder usarlos en circuitos donde el voltaje supere el valor máximo permitido para un solo capacitor. En este caso, es conveniente que todos los capacitores tengan la misma capacitancia, para que el reparto de voltaje sea equitativo, tanto en circuitos de corriente alterna como en corriente continua.

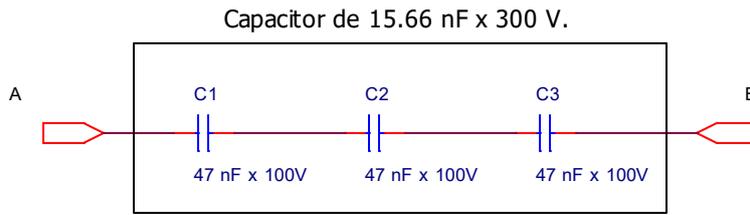


Fig.1.5. Conexión en serie de condensadores.

Un caso especial, es la conexión en serie de dos capacitores electrolíticos o de aluminio, con el objetivo de poder utilizarlos en un circuito de corriente alterna de baja frecuencia, por ejemplo, como capacitor de trabajo o arranque de motores asíncronos monofásicos. Para ello hay que conectarlos en serie y con la polaridad inversa.

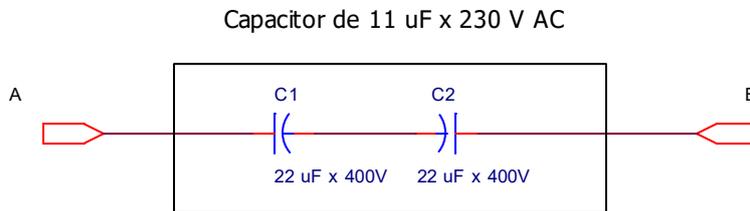


Fig.1.6. Obtención de un capacitor de corriente alterna usando dos electrolíticos.

Inductores

Un inductor es un componente pasivo, cuya misión principal en los circuitos de potencia es almacenar energía en forma de campo magnético, también se usan como filtros, y como limitadores de corriente en circuitos de corriente alterna (Reactores).

Los inductores se oponen a las variaciones de la corriente que por ellos circula. El grado en que frenan los cambios, es proporcional a la inductancia L , que constituye su principal parámetro.

La unidad de la inductancia L es el Henry H . Su valor depende del cuadrado del número de espiras N , de la geometría de la bobina y del material que se use como núcleo.

$$1 H = 1Wb/1A$$

La inductancia L establece una relación entre el flujo magnético y la corriente que circula por una bobina.

Las bobinas con núcleo de aire son componentes lineales, las que tienen un material ferromagnético, no lo son.

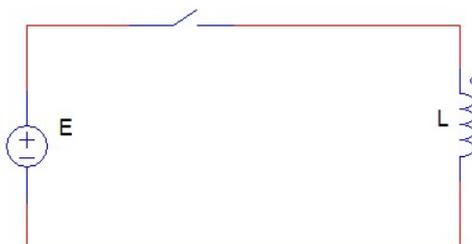
Las bobinas reales, además de su inductancia L , cuentan con otra inductancia parásita o de dispersión L_s , tienen una resistencia R que es mayor que cero, y capacitancias parásitas C_p entre sus espiras; también hay que tener en cuenta las pérdidas de potencia en el núcleo. En la mayoría de las aplicaciones de Electrónica de potencia, la inductancia de dispersión y las capacitancias parásitas se pueden despreciar; también podemos despreciar su resistencia R , si esta es muy pequeña.

El factor de calidad Q de una bobina, es una relación entre la energía que se almacena y la que se disipa en ella:

$$Q = \frac{2\pi fL}{R}$$

Q aumenta con la frecuencia y la inductancia, y disminuye a medida que aumenta la resistencia R .

Si conectamos un inductor a una fuente de CD, algo bastante común en los convertidores de potencia:

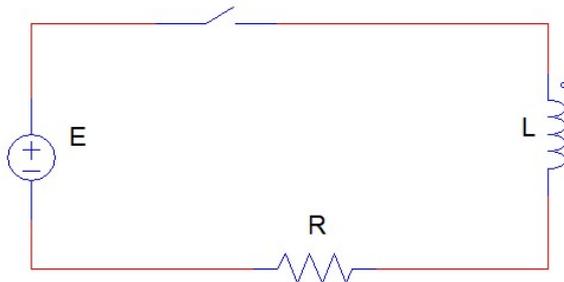


$$L \frac{di_L}{dt} = E$$

$$i_L = \frac{E}{L} \int dt = \frac{E}{L} t + i(0)$$

Vemos que la corriente a través del inductor se incrementa de forma lineal, desde su valor inicial hasta el infinito. En un circuito de CD, la inductancia L no limita el valor final de la corriente, solo influye en la velocidad con que dicha corriente aumenta o disminuye.

Un caso más real, es si tenemos en cuenta que la resistencia en el circuito siempre es mayor que cero:



$$L \frac{di_L}{dt} + i_L R = E$$

La solución completa, teniendo en cuenta el valor inicial de la corriente $i_L(0)$ es:

$$i_L = \frac{E}{R} + (i_L(0) - \frac{E}{R}) e^{-\frac{R}{L}t}$$

Aquí, la corriente final a través de la bobina está limitada por la resistencia R

En los circuitos reales, el tiempo en que la bobina se encuentra conectada a la fuente de alimentación, se calcula cuidadosamente, para evitar que la corriente alcance valores peligrosos para los componentes que forman el convertidor.

La energía almacenada la calculamos como:

$$W_L = \frac{L I^2}{2}$$

Como en el caso de los demás componentes pasivos, los inductores también se pueden conectar en serie y en paralelo.

Si conectamos varios inductores en serie:

$$L_{Equ} = L_1 + L_2 + L_n$$

Si la conexión es en paralelo:

$$L_{Equ} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_n}}$$

En circuitos de corriente alterna, los inductores se oponen al paso de la corriente eléctrica, mediante su reactancia inductiva X_L . Magnitud vectorial, cuyo módulo depende de la frecuencia y de la inductancia L:

$$X_L = 2\pi fL$$

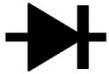
A diferencia de los condensadores, donde la corriente se adelanta al voltaje, en un inductor ideal la corriente se retrasa 90° con relación al voltaje.

En cualquier circuito, el voltaje inducido en una bobina, depende de la velocidad con que varíe la corriente a través de ella:

$$V_L = -L \frac{di}{dt}$$

A los inductores no le gustan los cambios repentinos. Si se interrumpe de forma abrupta el paso de la corriente a través de ellos, sin caminos alternativos, aparecerán picos de voltaje capaces de destruir el aislamiento y los semiconductores que intervengan en dicha operación.

Diodos semiconductores de potencia



Su funcionamiento y aplicaciones sigue siendo el mismo que en los dispositivos de baja señal. Elementos unidireccionales que permiten el paso de la corriente en un sentido, y la bloquean en el otro. Eso sí, con modificaciones importantes en su estructura, tamaño y encapsulado, para poder lidiar con corrientes desde unos pocos amperios hasta varios miles, y con voltajes desde 50V hasta varias decenas de miles de voltios.

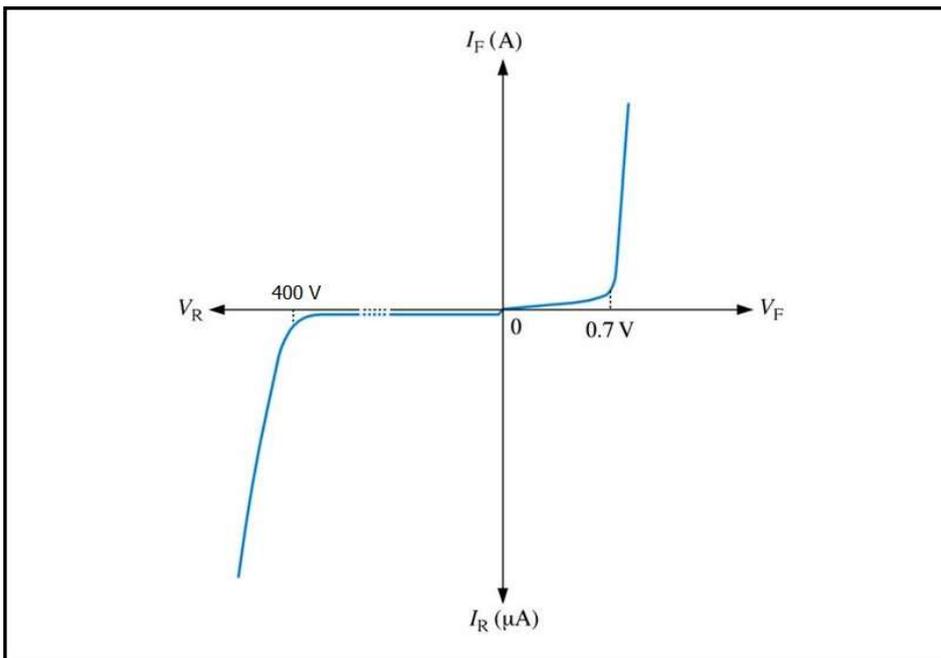


Fig.1.7. Característica V-A de un diodo de silicio.

Entre los principales parámetros de un diodo rectificador, debemos destacar los siguientes:

- La corriente media nominal en polarización directa
- El voltaje máximo de bloqueo en inversa
- La caída de voltaje en conducción
- El tiempo de recuperación inversa
- Tipo de encapsulado

Existen muchos otros, pero estos son los más importantes a tener en cuenta a la hora de su selección para una aplicación dada.

Los diodos rectificadores de potencia se clasifican en dos grandes grupos:

1. Diodos rectificadores convencionales
2. Diodos rectificadores de recuperación rápida

Los diodos convencionales se suelen fabricar por difusión, suelen ser los más baratos. Se optimizan para minimizar las pérdidas en conducción y poder soportar grandes valores de voltaje en inversa. Todo esto se logra sacrificando sus parámetros dinámicos. Son lentos al encenderse y apagarse, su tiempo de apagado T_{RR} puede alcanzar hasta de 25 μ s.

Estos dispositivos son diseñados para ser usados en rectificadores a frecuencia de la red (50 / 60 Hz), y en convertidores de gran potencia con frecuencias por debajo de los 1000 Hz. Se recomienda su protección con redes snubbers, para limitar la velocidad de variación del voltaje dU/dt .

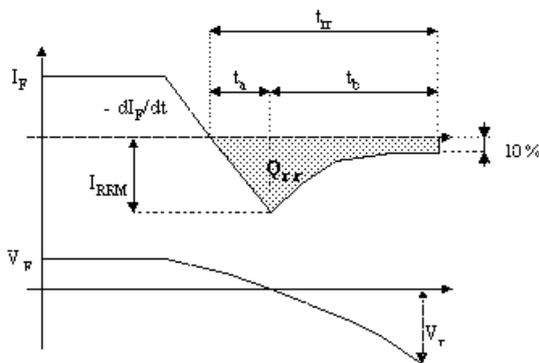


Fig.1.8. Proceso de apagado de un diodo.

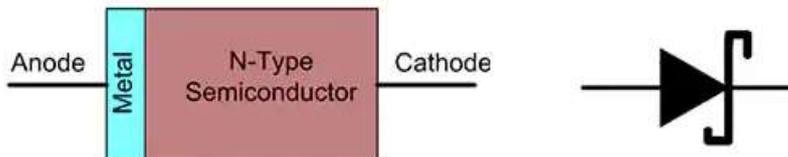
Los diodos, necesitan un tiempo determinado para iniciar la conducción, y para bloquear el paso de la corriente. Esos tiempos dependen de la tecnología de fabricación, y de la magnitud de la corriente, ya que tienen que ver con la recombinación y evacuación de los portadores de cargas en las inmediaciones de la unión P-N o similar.

El tiempo de apagado es mucho mayor que el tiempo de encendido, y es el que hay que tener más en cuenta en todos los diseños. Un ejemplo típico, es el regulador DC-DC tipo Buck o Chopper, en el inicio de cada ciclo el diodo de libre camino se encuentra polarizado en directo, conduciendo la corriente de salida, lo que constituye un cortocircuito para el transistor regulador.

Los diodos de recuperación rápida y ultrarápida, también llamados diodos de conmutación, se fabrican por crecimiento epitaxial, tecnología que permite una mayor precisión en el control de las impurezas y demás parámetros del semiconductor.

Se fabrican con corrientes de hasta varios cientos de amperios, y voltajes algo mayores a 1000V. El tiempo de apagado suele estar entre unos 20 nS y unos pocos μ s, dependiendo de su potencia y calidad de fabricación. La caída de voltaje en conducción suele ser mayor que la de los diodos lentos.

Para aplicaciones de bajo voltaje y altas frecuencias de trabajo, se recomienda el uso de diodos Schottky. Este tipo de diodos está formado por la unión de un metal y una capa semiconductor tipo N.

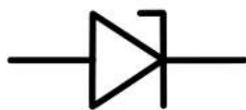


Los Schottkys son los diodos más rápidos del mercado, con tiempos de recuperación de unos pocos nS, y su caída de voltaje en conducción es la menor de todos (alrededor de 0.4V). No soportan grandes voltajes en inversa, su uso se ha limitado a aplicaciones de hasta 100V.

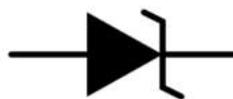
La aparición de los dispositivos de carburo de silicio (Sic diodes) está cambiando las cosas. Ya se fabrican con este material, disponibles en el mercado diodos Schottky de 650V/1200V/1700V y 50A con tiempo de recuperacion cero.

Los diodos de carburo de silicio, de momento son caros, su caída de voltaje en conducción es mayor que la de los demás, y sus niveles de corriente aun no son demasiado altos, pero su velocidad de conmutación es impresionante, no necesitan redes snubber, pueden trabajar a voltajes elevados, y su coeficiente de temperatura es positivo, lo que facilita su conexión en paralelo de forma sencilla, directa y eficiente.

Además de los diodos rectificadores, en los convertidores de potencia se usan otros tipos de diodos como los Zeners y diodos TVS, ambos presentan características V/A muy parecidas, pero su funcionamiento es muy distinto.



Zener Diode



TVS Diode

Los Zeners son diodos muy dopados, diseñados para trabajar en la zona de ruptura cuando se polarizan en inversa; en ese régimen son capaces de estabilizar el voltaje Zener, para el que han sido fabricados, siempre que se garanticen los márgenes de corriente y potencia. Su operación en la parte directa de la curva VA es similar a la de un diodo rectificador.

Es importante destacar que el coeficiente térmico es positivo. El voltaje Zener aumenta con el aumento de la temperatura. Si se usa como fuente de referencia de voltaje (regulador de tensión), se puede añadir un diodo rectificador conectado en serie, para una aceptable compensación térmica.

Los diodos TVS (Transient Voltage Suppression Diode) son diodos de avalancha, especialmente diseñados para limitar los picos de voltajes y ser usados como elementos de protección. Como los Zeners, operan en la zona inversa de su característica VA. También los hay simétricos.

Estos dispositivos no regulan el voltaje, ellos absorben los picos que superan su voltaje nominal, siempre y cuando la potencia no exceda a la nominal del diodo.

Conexión serie / paralelo

La conexión en serie y paralelo de diodos, es a veces necesaria para aumentar el voltaje máximo inverso de funcionamiento, o la corriente máxima rectificada. Sin embargo, hay que saber que esto no es una tarea fácil, y no siempre resulta útil. El problema viene dado por la dispersión en los parámetros de las curvas VA. No existe un diodo igual a otro aunque sean del mismo modelo.

Esto puede provocar, que cuando se conectan en paralelo, solo un dispositivo se encuentre en estado de conducción, y la situación es aun más grave si se tiene en cuenta que los diodos de silicio tienen coeficiente térmico negativo. La caída de voltaje en conducción disminuye a medida que se calientan.

La única forma de garantizar el correcto funcionamiento, es añadir resistencias en serie con cada dispositivo, como se muestra en la fig.1.10.

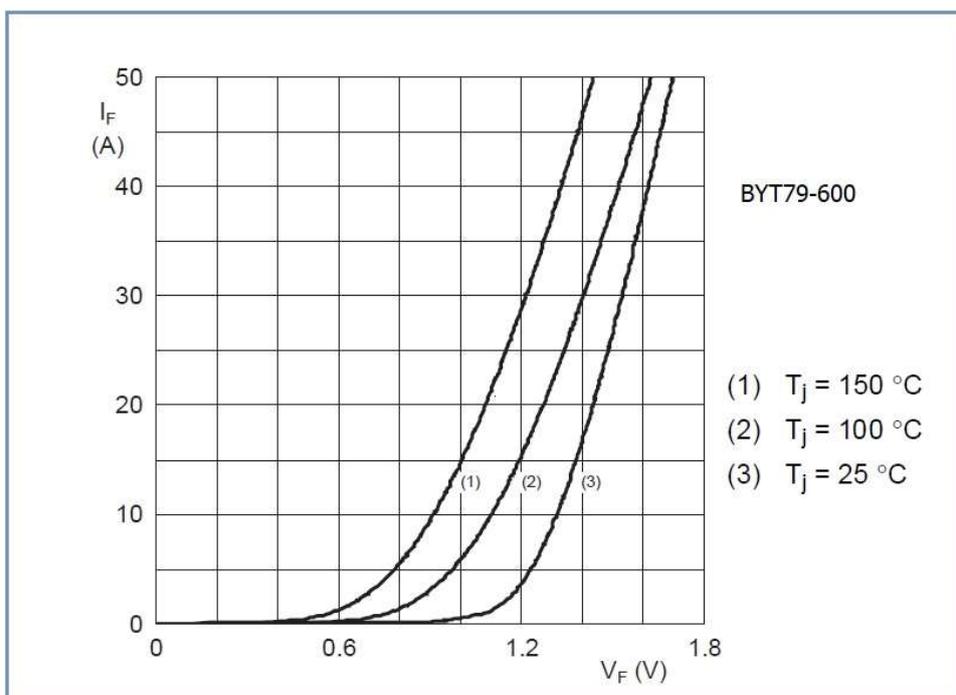


Fig.1.9. Influencia de la temperatura para un diodo de Si.

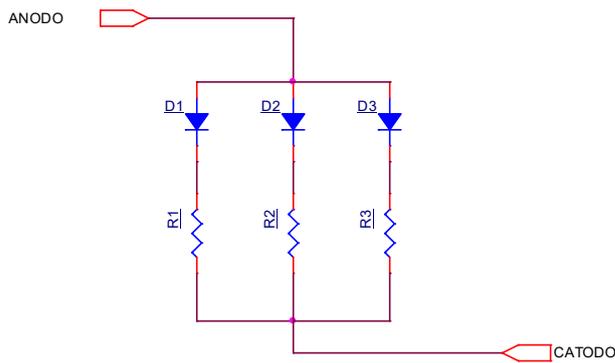


Fig.1.10. Conexión en paralelo.

El valor y la potencia de las resistencias equalizadoras se calculan en dependencia de la corriente. Aunque suelen tener valores pequeños, siempre empeoran el rendimiento del circuito y constituyen elementos adicionales.

La conexión en paralelo de los diodos de carburo de silicio (SiC) se puede hacer de forma directa, ya que su resistencia aumenta con el aumento de la temperatura.

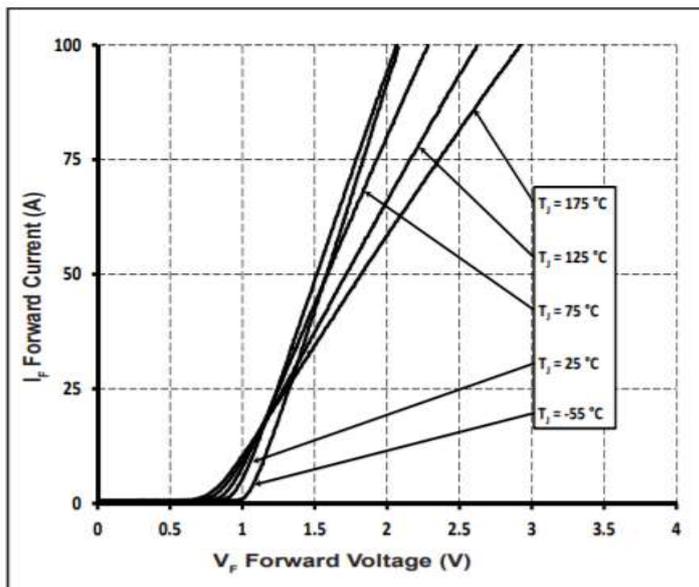
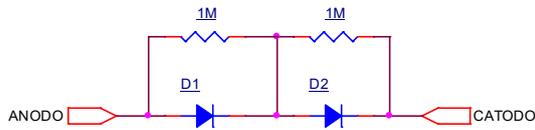


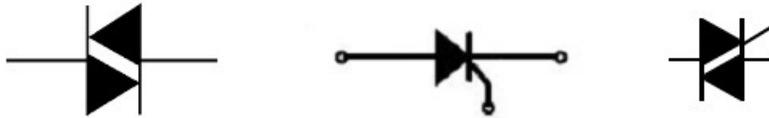
Fig.1.9. Zona de conducción del Schottky C5D50065D de CREE.

Si lo que necesitamos es usar los diodos en circuitos donde el voltaje de trabajo sea mayor que el voltaje máximo en inversa soportado por el dispositivo, entonces podemos conectarlos en serie. En este caso, también es necesario conectar una

resistencia de alto valor en paralelo con cada diodo, estos resistores forman un divisor de voltaje, para garantizar que todos estén sometido a la misma tensión inversa.



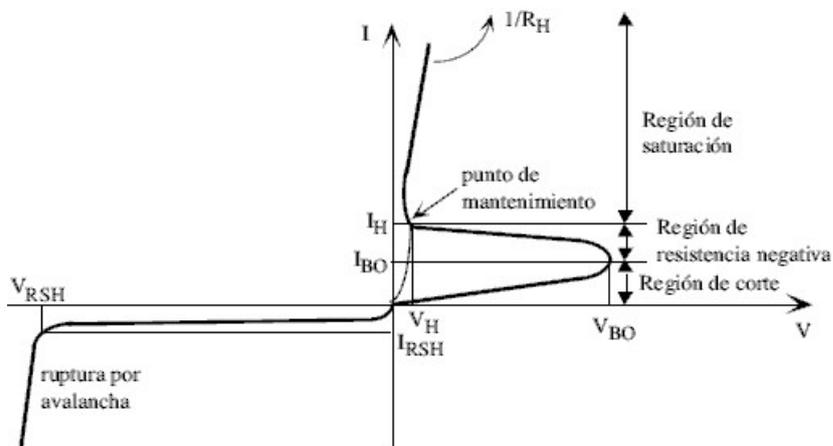
Dispositivos de cuatro capas



A diferencia de los diodos, ellos están constituidos por tres uniones P-N o cuatro capas, y su funcionamiento es muy diferente. Presentan zonas con resistencia negativa en su característica VA, lo que lo hace muy interesantes. Los representantes más comunes de esta familia son:

- El Diac
- El Tiristor
- El Triac
- GTO

El Diac unidireccional o Dinistor

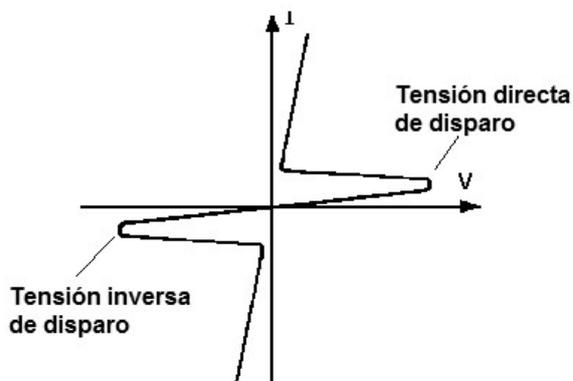


Se diferencia de un diodo rectificador, en que para entrar en conducción no basta con que se polarize en directo. Para ello además el voltaje aplicado entre ánodo y cátodo debe superar el Voltaje de encendido V_{BO} , que depende de cada dispositivo.

Una vez que el voltaje supera el valor V_{BO} , se inicia un proceso de avalancha de inyección de cargas con retroalimentación positiva, lo que da lugar a que el diodo entre de forma violenta en conducción (zona de resistencia negativa en el gráfico). A partir de aquí todo ocurre como en un diodo rectificador, y la corriente circula a través de la carga, si es mayor que la corriente de mantenimiento del dispositivo.

El comportamiento en la parte inversa de la característica VA es igual que el de un diodo rectificador.

Son mucho más comunes en el mercado, los Diacs simétricos o simplemente Diacs, que se comportan igualmente en ambas polaridades

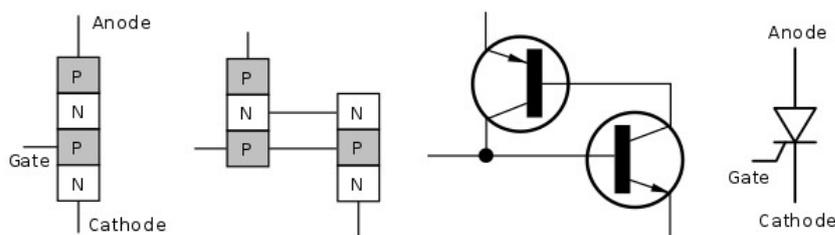


Los Diacs son usados mayormente como generadores de pulsos y elementos de disparo de tiristores y Triacs de mayor potencia.

El Tiristor o SCR

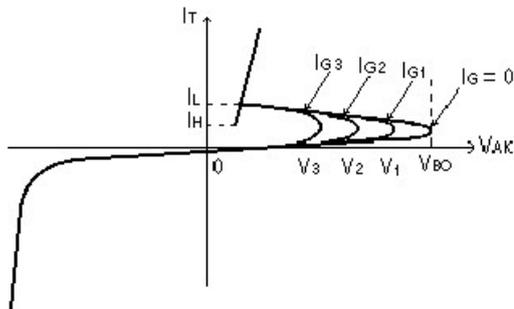
Es sin duda el conmutador electrónico de mayor potencia. Fue desarrollado por los ingenieros de General Electric en los años 60, quienes se basaron en los trabajos del premio nobel William Shokley.

Es un rectificador controlado (dispositivo unipolar). Capaz de conmutar corrientes de varios KA y voltajes de varios KV.



Como puede verse más arriba, es un dispositivo semiconductor de cuatro capas equivalente a la conexión de dos transistores bipolares con retroalimentación positiva.

Su funcionamiento es bastante parecido al de un Diac unipolar, con la diferencia de que el SCR cuenta con un electrodo de control o compuerta, que puede llevarlo al estado de conducción o disparo, sin que se tenga que alcanzar el voltaje de ánodo de ruptura.

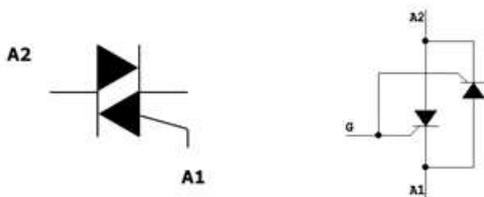


Su curva característica se convierte en la de un diodo rectificador convencional, si la corriente de control I_G se iguala o supera el valor nominal que aparece en su hoja de datos. Esta corriente puede ser desde unos pocos mA hasta varios amperios en dependencia de la potencia del SCR.

Es importante destacar, que una vez ocurrido el disparo, para que la corriente de ánodo se mantenga es necesario que esta supere un valor mínimo, llamado corriente de mantenimiento, detallada en la hoja de datos del dispositivo.

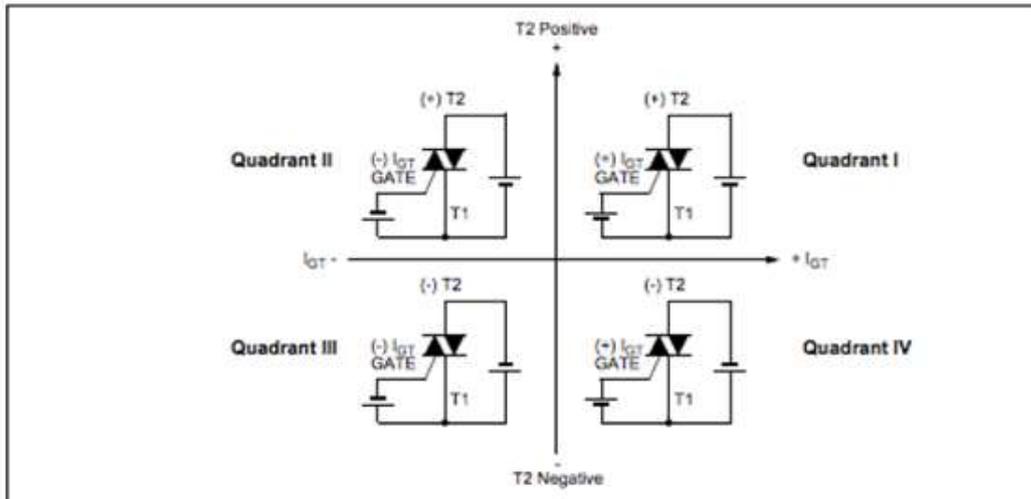
El Triac

El Triac es muy parecido al SCR, con la diferencia de que es un conmutador de corriente alterna. Es el equivalente a la conexión en anti paralelo de dos tiristores, por lo que su característica VA es simétrica.



La relación entre las polaridades de la corriente de ánodo A1 y la corriente de control I_G , hace que se puedan definir cuatro posibles cuadrantes de trabajo del Triac:

1. Primer cuadrante. A1 positiva y I_G positiva.
2. Segundo cuadrante. A1 positiva y I_G negativa.
3. Tercer cuadrante. A1 negativa y I_G negativa.
4. Cuarto cuadrante. A1 negativa y I_G positiva.



Los cuadrantes 1 y 3 son los más utilizados, por su facilidad de implementación utilizando los CI de control con opto acopladores disponibles en el mercado. El cuarto cuadrante es donde el dispositivo presenta menor sensibilidad, por lo que hay que aplicarle mayor corriente de control para que ocurra el disparo.

A diferencia de los SCR, no existen Triacs de gran potencia; su corriente no va más allá de los 100 A, por lo que a menudo es necesario utilizar dos tiristores conectados en anti paralelo.

Continuará....