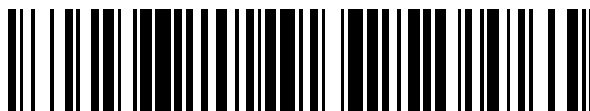


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 699 714**

51 Int. Cl.:

H03K 17/082 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.05.2010 PCT/EP2010/056682**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2010 WO10149430**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.05.2010 E 10721471 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018 EP 2446536**

54 Título: **Procedimiento de conmutación de una fase de convertidor electrónico de corriente con transistores IGBT con conducción inversa**

30 Prioridad:

26.06.2009 DE 102009030740

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

12.02.2019

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

ECKEL, HANS-GÜNTER

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 699 714 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de conmutación de una fase de convertidor electrónico de corriente con transistores IGBT con conducción inversa.

5 La invención se refiere a un procedimiento para la conmutación de un IGBT con conducción inversa accionado en modo diodo a un IGBT con conducción inversa accionado en modo IGBT, que forman una fase de convertidor electrónico de corriente y están conectados eléctricamente en paralelo respecto a una fuente de tensión continua, con los pasos de procedimiento de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. Además la invención se refiere a un dispositivo para la implementación del procedimiento de acuerdo con la invención.

10 Los IGBT con conducción inversa también son conocidos como *Reverse-Conducting* IGBT (RC-IGBT) (transistor bipolar de puerta aislada con conducción inversa). Estos RC-IGBT son un perfeccionamiento de los IGBT con capacidad de bloqueo inverso conocidos. Un RC-IGBT se diferencia de un IGBT convencional porque la función de diodos y la función de IGBT están reunidas en un chip. De esta manera existe un semiconductor de potencia con el que la eficacia de ánodo en modo diodo depende de la tensión de puerta. Esto requiere una modificación en la activación respecto a IGBT convencionales.

15 En el caso de IGBT con conducción inversa la eficacia de ánodo en modo diodo puede controlarse mediante la puerta. Si la puerta está activada se reduce la eficacia de ánodo, mientras que la tensión directa aumenta y la carga almacenada disminuye. Si, por el contrario, la puerta está desactivada, la eficacia de ánodo se mantiene elevada, por lo que la tensión directa es baja y la carga almacenada es elevada.

20 Este comportamiento del IGBT con conducción inversa se puede aprovechar para reducir la pérdida de recuperación inversa del IGBT con conducción inversa accionado en modo diodo y la pérdida de activación del segundo IGBT con conducción inversa de una fase de convertidor electrónico de corriente.

25 En la publicación *A High Current 3300V Module Employing Reverse Conducting IGBTs Setting a New Benchmark in Output Power Capability* de M. Rahimo, U. Schlapbach, A. Kopta, J. Vobecky, D. Schneider y A. Baschnagel, impresa en el ISPSD de 2008, se describe un procedimiento para la conmutación de un IGBT con conducción inversa accionado en modo diodo a un IGBT con conducción inversa accionado en modo IGBT. De acuerdo con este procedimiento conocido se activa un IGBT accionado en modo diodo después de transcurrir un primer retardo de tiempo predeterminado, que comienza en el momento de una señal de control de desactivación nominal. El IGBT accionado en modo IGBT de los dos RC-IGBT conectados en hilera se activa después de transcurrir un primer retardo de tiempo predeterminado, que comienza en el momento de una señal de control de activación nominal. Inmediatamente antes de activar el RC-IGBT activado en modo IGBT, el RC-IGBT activado en modo diodo se vuelve a desactivar. Para ello está predeterminado el período de tiempo para el RC-IGBT accionado en modo diodo, mientras que este IGBT con conducción inversa permanece activado.

35 Una desventaja de este procedimiento conocido es la sensibilidad respecto a tiempos de funcionamiento tolerados negativamente. Por una parte la tensión de puerta debe haber disminuido desde el IGBT con conducción inversa accionado en modo diodo por debajo de una tensión de umbral antes de que se llegue a un pico de corriente inversa desde el IGBT con conducción inversa accionado en modo diodo. Por otro lado, el IGBT con conducción inversa accionado en modo diodo, al activar el IGBT con conducción inversa accionado en modo IGBT, no puede estar desactivado mucho tiempo, porque si no el efecto de la disminución de eficacia de ánodo ya no funciona. Las rutas de transmisión de señal desde un equipo de control superior, por ejemplo, un equipo de control de un convertidor electrónico de corriente, a los circuitos disparadores, también denominados circuitos de excitación, de los dos RC-IGBT conectados eléctricamente en hilera presentan, no obstante, respectivamente un aislamiento galvánico. Esto da como resultado tolerancias relativamente grandes en los tiempos de conmutación por las que siguen aumentando tolerancias en las rutas de activación de los RC-IGBT conectados eléctricamente en hilera. Con ello la activación de los retardos de tiempo adaptados unos a otros condiciona un gran esfuerzo.

45 Así, la invención se basa en el objetivo de seguir configurando el procedimiento conocido de tal forma que sea menos sensible a tiempos de funcionamiento tolerados negativamente.

Este objetivo se resuelve, de acuerdo con la invención, uniendo las características del preámbulo de la reivindicación 1 con las características caracterizadoras.

50 Con ello, la desactivación de la puerta del IGBT con conducción inversa accionado en modo diodo ya no se efectúa con control de tiempo, sino con control de incidencias. De acuerdo con el procedimiento de acuerdo con la invención, como incidencia se elige el inicio de un flujo de corriente por un IGBT con conducción inversa accionado en modo IGBT.

En este momento del flujo de corriente por el IGBT con conducción inversa accionado en modo IGBT, en una primera forma de realización, se calcula mediante una tensión que cae en una inductancia, estando esta inductancia dispuesta en

5 el circuito de conmutación. La pendiente de corriente en el circuito de conmutación es aproximadamente al menos una potencia de diez superior a la existente en un circuito de carga asignado. De esta manera el inicio de la conmutación en la caída de tensión inductiva se puede calcular inequívocamente sin gran esfuerzo. Con ello, la conmutación da como resultado un gran cambio de corriente positiva (di_c/dt) y, con ello, un valor de tensión negativa elevado de acuerdo con la cantidad en la inductancia, que se utiliza como tensión de medición. El recorrido de esta tensión de medición se evalúa en cuando a un valor límite predeterminado, accionándose un circuito de excitación conectado después tan pronto como se llegue a este valor límite o se quede por debajo.

10 Una forma de realización ventajosa del dispositivo para detectar el momento del flujo de corriente en el IGBT con conducción inversa accionado en modo IGBT es una inductancia de dispersión dentro del módulo de RC-IGBT, que está dispuesto entre emisor auxiliar y emisor de potencia. Esta inductancia de dispersión está conectada eléctricamente en paralelo respecto a las dos entradas de un equipo de evaluación.

15 Otra posibilidad para detectar el momento del flujo de corriente en el RC-IGBT accionado en modo IGBT consiste en que se mide la corriente de colector del RC-IGBT accionado en modo diodo. Una realización especialmente oportuna de una medición de corriente consiste en que se emplea un transformador de corriente que está construido de acuerdo con el principio de la bobina de Rogowski. La señal de partida de un transformador de corriente construido de acuerdo con el principio de la bobina de Rogowski es proporcional al cambio de corriente (di_c/dt) y, con ello, se debe evaluar sencillamente como con la utilización de una inductancia en el circuito de conmutación.

20 En otra posibilidad para detectar el momento del flujo de corriente en el RC-IGBT accionado en modo IGBT la detección de corriente se realiza mediante un transformador saturable. Mediante tal transformador saturable se calcula un paso por cero de la corriente de colector por el IGBT accionado en modo diodo. Un transformador saturable emite una señal de partida solo cuando la intensidad de campo magnético se encuentra en el estrecho intervalo lineal de la curva característica de magnetización. De esta manera la descarga de la puerta del IGBT con conducción inversa accionado en modo diodo no se efectúa al iniciarse el procedimiento de conmutación, sino solo con el paso por cero de la corriente de colector, es decir, al iniciarse la corriente de recuperación inversa.

25 Para seguir explicando la invención se hace referencia al dibujo, en el que están ilustradas esquemáticamente varias formas de realización de un dispositivo para la implementación del procedimiento de acuerdo con la invención.

La figura 1 muestra un diagrama de bloques de una sección de puente de dos RC-IGBT con una fuente de tensión continua.

30 En las figuras 2 y 3 están representados los recorridos temporales de señales de control nominales de los dos RC-IGBT de la sección de puente de acuerdo con la figura 1 respectivamente en un diagrama en el tiempo t.

En las figuras 4 y 5 están ilustrados los recorridos temporales de las señales de control reales de los dos RC-IGBT de la sección de puente de acuerdo con la figura 1 respectivamente en uno de los dos diagramas en el tiempo t.

35 En la figura 6 está representado un diagrama de bloques de una primera forma de realización del dispositivo para la implementación del procedimiento de conmutación de acuerdo con la invención.

La figura 7 muestra un diagrama de bloques de una segunda forma de realización del dispositivo para la implementación del procedimiento de conmutación de acuerdo con la invención.

40 En la figura 8 están representadas en un diagrama en el tiempo t una corriente de colector y una tensión de medición correspondiente.

La figura 9 muestra un diagrama de bloques de una tercera forma de realización del dispositivo para la implementación del procedimiento de conmutación de acuerdo con la invención.

En la figura 10 está representada una curva característica de magnetización de un transformador saturable.

45 La figura 11 muestra en un diagrama en el tiempo t una corriente de colector con una tensión de medición correspondiente.

50 En la figura 1 una sección de puente está señalada con 2; una fuente de tensión continua, con 4; una barra conductora positiva, con 6; y una barra conductora negativa, con 8. Mediante estas dos barras conductoras 6 y 8 la sección de puente 2 y la fuente de tensión continua 4 están conectadas eléctricamente en paralelo. La sección de puente presenta dos IGBT con conducción inversa T1 y T2, que están conectados eléctricamente en hilera. Un punto de unión de estos dos RC-IGBT T1 y T2 forma una salida A en el lado de corriente alterna, salida a la que se puede conectar una carga. La fuente

de tensión continua 4 presenta dos condensadores 10 y 12 que están conectados también eléctricamente en hilera. Un punto de unión de estos dos condensadores 10 y 12 forma una conexión central M. Como alternativa, en lugar de los dos condensadores 10 y 12, se puede utilizar también solo un condensador que esté dispuesto entre las barras conductoras 6 y 8. Así el centro M no es accesible. En la salida A de la sección de puente 2 está presente, en referencia a la conexión central M de la fuente de tensión continua 4, una tensión rectangular U_{AM} modulada por ancho de pulsos. Un diagrama de bloques representando en la figura 1 se corresponde con una parte de un diagrama de bloques de un convertidor electrónico de corriente de varias fases, especialmente un inversor.

Como la función de diodo y la función IGBT están reunidas en un chip, en el caso del IGBT con conducción inversa T1 y T2 no es necesario ningún diodo de libre circulación ni ningún diodo inverso. Estos IGBT son denominados también, por su conductividad inversa, RC-IGBT (*Reverse Conducting-Insulated Gate Bipolar Transistor*) (transistor bipolar de puerta aislada con conducción inversa). Como en un chip están reunidas la funcionalidad de diodo y la de IGBT, este RC-IGBT se puede accionar en modo diodo (corriente colector-emisor negativa) y en modo IGBT (corriente colector-emisor positiva). En modo diodo la eficacia de ánodo puede ser controlada por la puerta. Si la puerta está activada, la eficacia de ánodo se reduce y, con ello, aumenta la tensión de paso, mientras que la carga almacenada disminuye. Sin la puerta está desactivada, la eficacia de ánodo se mantiene elevada. Esto tiene como consecuencia que la pérdida de paso sea baja y la carga almacenada sea elevada.

En los recorridos de señal de las figuras 2 a 5 se asume que el IGBT con conducción inversa T1 se acciona en modo diodo y el IGBT con conducción inversa T2, en modo IGBT. En el diagrama de la figura 2, en tiempo t está representada una señal de control nominal S_{T1}^* para el RC-IGBT T1 accionado en modo diodo, mientras que una señal de control nominal S_{T2}^* para el RC-IGBT T2 accionado en modo IGBT está ilustrada en el diagrama de la figura 3 en el tiempo t. Estas dos señales de control nominales S_{T1}^* y S_{T2}^* señalan un procedimiento de conmutación para el momento t1. Partiendo de este momento t1, transcurrido un período de tiempo ΔT_1 se activa el IGBT T1 con conducción inversa accionado en modo diodo (figura 4). El IGBT T2 con conducción inversa accionado en modo IGBT se activa de acuerdo con el transcurso temporal del estado de conmutación T_{2Sch} de acuerdo con la figura 5 transcurrido un período de tiempo ΔT_3 partiendo del momento t1 (momento t4). En el momento t4 el IGBT T2 con conducción inversa accionado en modo diodo debe estar desactivado de acuerdo con el transcurso temporal del estado de conmutación T_{1Sch} de acuerdo con la figura 4. Por otra parte, el IGBT T1 con conducción inversa accionado en modo diodo no debe estar desactivado desde hace mucho tiempo, porque si no el efecto de la disminución de eficacia de ánodo ya no funciona. Es decir, que el período de tiempo ΔT_R entre la desactivación del RC-IGBT T1 accionado en modo diodo y la activación del RC-IGBT T2 accionado en modo IGBT debería ser lo más corto posible. Dependiendo del período de tiempo ΔT_1 y del período de tiempo ΔT_R , en referencia al período de tiempo ΔT_3 se deduce el período de tiempo ΔT_2 durante el cual el IGBT T1 accionado en modo diodo está activado.

De acuerdo con la publicación mencionada al principio, esta conmutación de dos IGBT T1 y T2 con conducción inversa de una fase de convertidor electrónico de corriente está controlada por tiempo. Esta conmutación controlada por tiempo requiere de una alta precisión temporal. Para estar seguros, en el caso de esta conmutación controlada por tiempo, el período de tiempo ΔT_R se elige tan largo como para que el momento de activación t4 del IGBT T2 con conducción inversa accionado en modo IGBT el IGBT T1 con conducción inversa accionado en modo diodo de dos RC-IGBT T1 y T2 conectados eléctricamente en hilera esté desactivado con seguridad. Como en la ruta de transmisión de señales de un equipo de control a un circuito disparador del RC-IGBT T1 o T2 están presentes elementos constructivos que están sometidos a tolerancias relativamente grandes, el período de tiempo ΔT_R se debe elegir aún más largo.

De acuerdo con el procedimiento de acuerdo con la invención, esta conmutación representada en los diagramas de las figuras 2 a 5 ya no se efectúa con control de tiempo, sino con control de incidencias. Como incidencia se elige el inicio del flujo de corriente por el RC-IGBT T2 accionado en modo IGBT. No obstante, esta incidencia se determina en el RC-IGBT accionado en modo diodo.

En la figura 6 está ilustrada esquemáticamente una primera forma de realización de un dispositivo para la implementación del procedimiento de conmutación de acuerdo con la invención. Este dispositivo presenta un equipo de evaluación 14 que está conectado por el lado de salida con una entrada de un circuito disparador 16, que se denomina también circuito de excitación. Este dispositivo presenta también un equipo para detectar una dispersión después del tiempo de la corriente de colector i_c por el RC-IGBT T1 accionado en modo diodo. Es decir, se calcula el cambio de corriente de la corriente de colector i_c . En la forma de realización de acuerdo con la figura 6, como equipo está prevista una inductancia 18, especialmente una inductancia de dispersión interna del módulo. Si en el caso del equipo se trata de una inductancia de dispersión 18 interna del módulo, esta inductancia 18 se encuentra en el módulo de IGBT entre un emisor auxiliar E1 y un emisor de potencia E. Si se trata de una inductancia 18, esta está conectada por un lado con el emisor de potencia E. En la forma de realización representada en la figura 6, el emisor E1 forma un potencial de referencia para el equipo de evaluación 14 y para el circuito de excitación 16. El emisor de potencia E del RC-IGBT T1 accionado en modo diodo de dos RC-IGBT T1 y T2 conectados eléctricamente en hilera está conectado, con conducción eléctrica, con una entrada 20 del equipo de evaluación 14. Al equipo de evaluación 14 se le suministra también la señal de control nominal S_{T1}^* .

Como la pendiente de corriente en el circuito de conmutación es aproximadamente al menos una potencia de diez superior a la existente en el circuito de carga, el inicio del flujo de corriente por el RC-IGBT T2 accionado en modo IGBT en la caída de tensión se puede percibir claramente en la inductancia 18 del RC-IGBT T1 accionado en modo diodo.

5 La conmutación de la corriente de colector i_c del RC-IGBT T1 accionado en modo diodo al RC-IGBT T2 accionado en modo IGBT da como resultado un gran cambio de corriente positiva di_c/dt y, con ello, un valor negativo, elevado de acuerdo con la cantidad, de una tensión de medición u_M . Este valor de la tensión de medición u_M se compara en el equipo de evaluación 14 con un valor de umbral predeterminado. Si se llega a este valor de umbral o se sobrepasa, el RC-IGBT T1 accionado en modo diodo se desactiva, es decir, la descarga de la puerta G del RC-IGBT T1 accionado en modo diodo empieza, así, con el inicio del procedimiento de conmutación.

10 En la figura 7 está representada más en detalle una segunda forma de realización del dispositivo para la implementación del procedimiento de conmutación de acuerdo con la invención de dos IGBT T1 y T2 con conducción inversa conectados eléctricamente en hilera. Esta segunda forma de realización se diferencia de la primera forma de realización porque, en lugar de una inductancia 18, se utiliza un transformador de corriente 22, que está construido de acuerdo con el principio de la bobina de Rogowsky. La tensión de partida de tal transformador de corriente 22 es proporcional al cambio de corriente di/dt de la corriente de colector i_c , que fluye por el IGBT T12 con conducción inversa accionado en modo diodo.
 15 En el diagrama de acuerdo con la figura 8, el transcurso temporal de la corriente de colector i_c que fluye en el IGBT T1 con conducción inversa accionado en modo diodo y un transcurso temporal de una tensión de medición u_M calculado se detectan en el tiempo t . La curva de corriente $i_c(t)$ se corresponde con una curva característica de desactivación de un diodo. En el momento t_M , en el que la amplitud de la corriente de colector i_c empieza a disminuir, el recorrido de la tensión de medición $u_M(t)$ presenta un flanco positivo. El momento t_M de este flanco se valora como momento del inicio del flujo de corriente en el IGBT T2 con conducción inversa accionado en modo IGBT. El momento t_M es el momento más próximo posible en el que el IGBT T1 con conducción inversa accionado en modo diodo se puede desactivar.

25 En la figura 9 está representada más en detalle una tercera forma de realización para la implementación del procedimiento de conmutación de acuerdo con la invención de dos IGBT T1 y T2 con conducción inversa. Esta tercera forma de realización se diferencia de la primera forma de realización de acuerdo con la figura 6 porque, en lugar de la inductancia 18, está previsto un transformador saturable 24. En la figura 10 está representada una curva característica de magnetización de este transformador saturable 24. Esta curva característica de magnetización presenta solo un estrecho intervalo lineal. Mediante este transformador saturable 24 solo se calcula el paso por cero de la corriente de colector i_c del IGBT T1 con conducción inversa accionado en modo diodo. La percepción de un paso de corriente por cero se efectúa con el transformador 24 saturable solo cuando la fuerza de campo magnético se encuentra en el estrecho intervalo de la curva caracterizadora de magnetización. Justo entonces el transformador 24 saturable envía una señal de partida, en concreto, una tensión de medición u_M . El recorrido de esta tensión de medición u_M está representado en el diagrama de la figura 11, en el tiempo t , junto con el transcurso temporal de la corriente de colector i_c del RC-IGBT accionado en modo diodo. Así, con ayuda del transformador 24 saturable, se calcula el momento de conmutación en la conmutación del RC-IGBT T1 accionado en modo diodo al RC-IGBT T2 accionado en modo IGBT. Este momento t_M se sitúa, en relación con el momento t_M , más tarde en el tiempo. De esta manera, el RC-IGBT T1 accionado en modo diodo se desactiva posteriormente. De esta manera se puede reducir la eficacia de ánodo durante más tiempo, por lo que la carga almacenada disminuye.

40 Con este procedimiento de acuerdo con la invención, el momento para la desactivación del RC-IGBT T1 accionado en modo diodo de dos RC-IGBT T1 y T2 conectados eléctricamente en hilera se puede situar muy cerca del momento t_4 , en el que se activa el IGBT T2 con conducción inversa accionado en modo IGBT de estos dos RC-IGBT T1 y T2 conectados en hilera, por lo que la disminución de eficacia de ánodo tiene efecto durante mucho tiempo. Como este procedimiento de acuerdo con la invención está controlado por incidencias, no es necesaria, como en el procedimiento de conmutación conocido, controlado por tiempo, una gran precisión.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la conmutación de un IGBT (T1) con conducción inversa accionado en modo diodo a un IGBT (T2) con conducción inversa accionado en modo IGBT, que forman una fase de convertidor electrónico de corriente y están conectados eléctricamente en paralelo respecto a una fuente de tensión continua (4), con los siguientes pasos de procedimiento:
- 5
- a) activar el IGBT (T1) accionado en modo diodo transcurrido un período de tiempo (ΔT_1) predeterminado, después de que una señal de control (S_{T1}^*) de este IGBT (T1) haya pasado a un estado de desactivación,
- b) activar el IGBT (T2) accionado en modo IGBT transcurrido un período de tiempo (ΔT_3) predeterminado, después de que una señal de control (S_{T2}^*) de este IGBT (T2) haya pasado a un estado de activación, siendo este período de tiempo (ΔT_3) más largo que el período de tiempo (ΔT_1) del IGBT (T1) accionado en modo diodo,
- 10 c) desactivar el IGBT (T1) accionado en modo diodo antes de que se active el IGBT (T2) accionado en modo IGBT,
- caracterizado por que** el IGBT (T1) accionado en modo diodo solo se desactiva en cuanto una corriente empieza a fluir en el IGBT (T2) con conducción inversa accionado en modo IGBT.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el inicio del flujo de corriente en el IGBT (T2) con conducción inversa accionado en modo IGBT es calculado por un cambio de corriente de una corriente de colector (i_c) que fluye en el IGBT (T1) con conducción inversa accionado en modo diodo.
- 15
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** el cambio de corriente de un IGBT (T1) con conducción inversa accionado en modo diodo se determina mediante una tensión (u_M) que disminuye en una inductancia (18) que se encuentra en el circuito de conmutación.
- 20
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** se mide y se evalúa una corriente de colector (i_c) que fluye por el IGBT (T1) con conducción inversa accionado en modo diodo.
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado por que** la corriente de colector (i_c) medida es evaluada con conducción inversa accionado en modo diodo hasta el paso por cero de corriente por el IGBT (T1).
- 25
6. Dispositivo para la implementación del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, con IGBT (T1, T2) con conducción inversa de una fase de convertidor electrónico de corriente, que está conectado eléctricamente en paralelo respecto a una fuente de tensión continua (4) y estando cada IGBT (T1, T2) con conducción inversa provisto de un circuito de excitación (16), que están conectados respectivamente por el lado de salida con una puerta y un emisor de potencia (G, E) de un IGBT (T1, T2), **caracterizado por que** están previstos un equipo de activación (14) y un equipo para detectar una control de colector (i_c), estando este equipo de evaluación (14) conectado por el lado de salida con una entrada del circuito de excitación (16) y, por el lado de entrada, con emisores de potencia (20, E) de este equipo y estando cada equipo de evaluación (14) provisto de una señal de control (S_{T1}^*, S_{T2}^*) correspondiente al IGBT (T1, T2) con conducción inversa correspondiente.
- 30
7. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** el equipo para detectar una corriente de colector (i_c) es una inductancia (18).
- 35
8. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** el equipo para detectar una corriente de colector (i_c) es un transformador de corriente (22) construido de acuerdo con el principio de la bobina de Rogowsky.
9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** el equipo para detectar una corriente de colector (i_c) es un transformador (24) saturable.

FIG 1

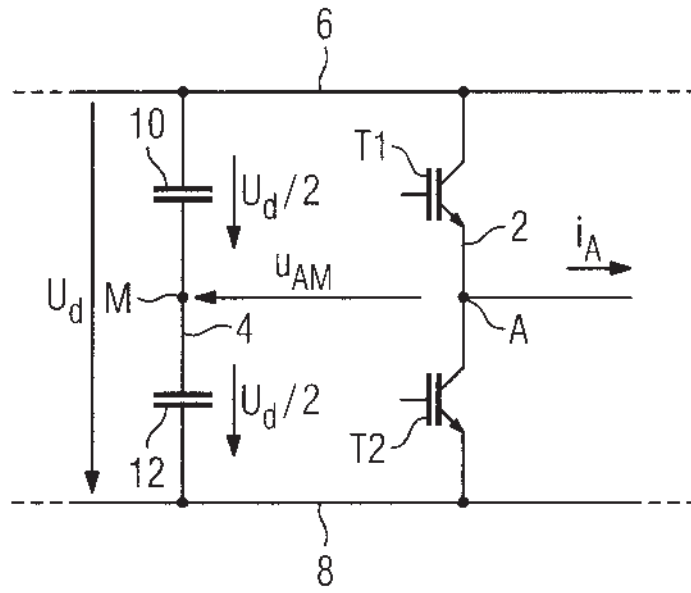


FIG 2



FIG 3

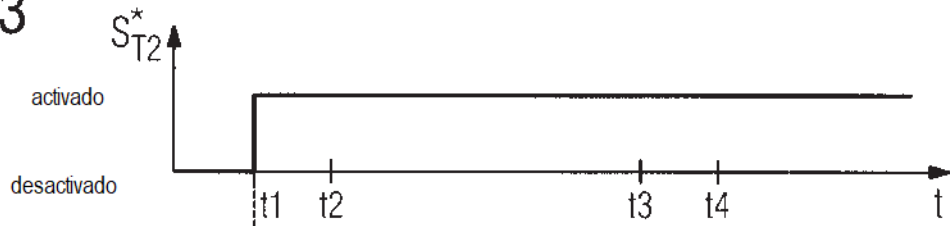


FIG 4

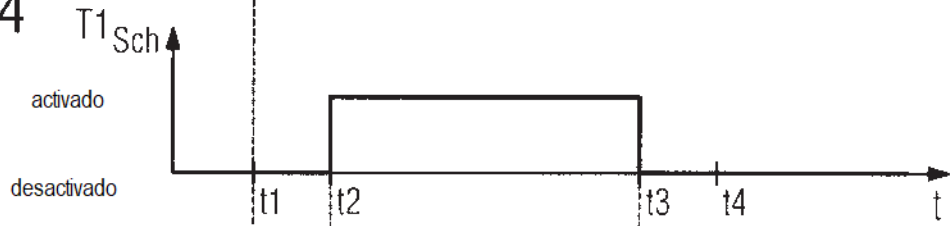


FIG 5

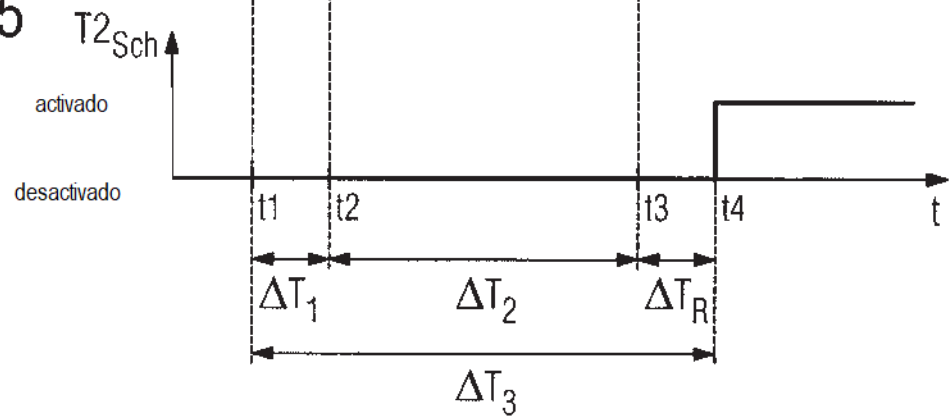


FIG 6

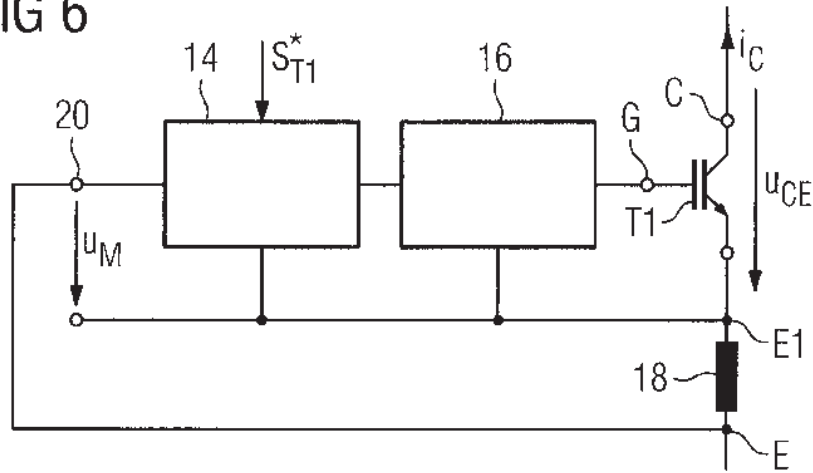


FIG 7

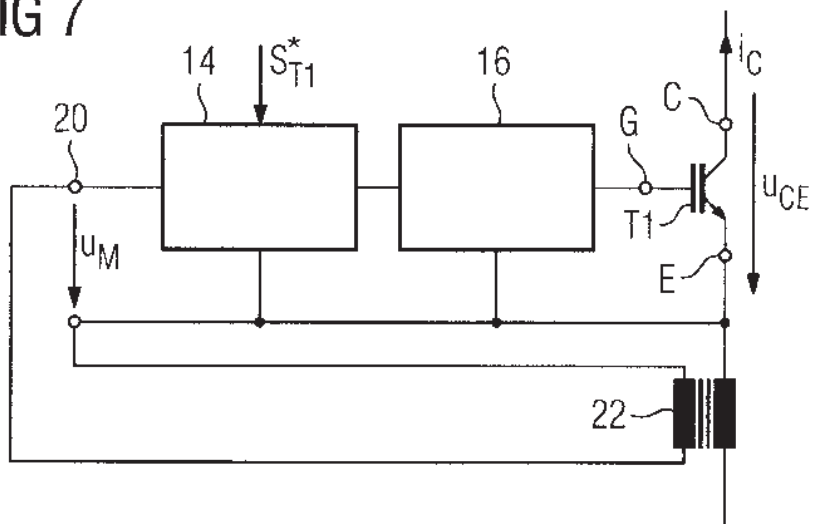


FIG 8

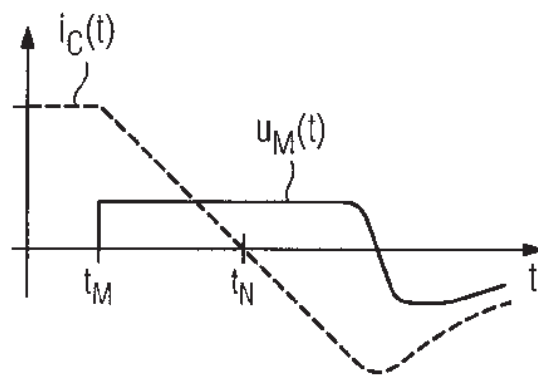


FIG 9

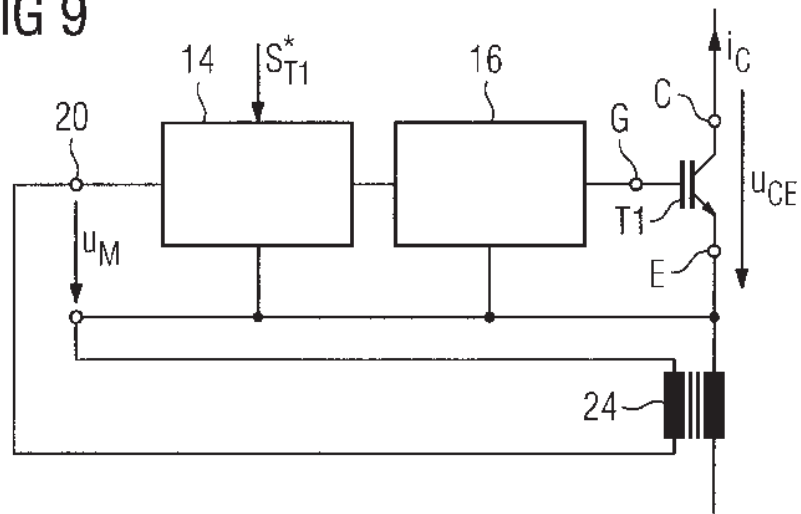


FIG 10

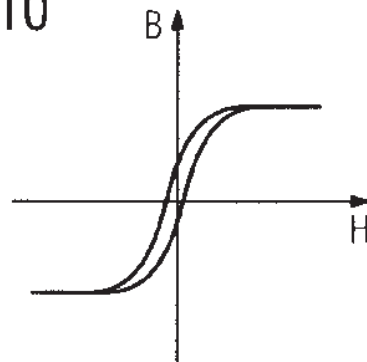


FIG 11

