

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 474**

51 Int. Cl.:

**H03K 17/16** (2006.01)

**H03K 17/0412** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2014** **E 14194497 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2020** **EP 2884664**

54 Título: **Control de puerta de transistor bipolar de puerta aislada de alto rendimiento**

30 Prioridad:

**10.12.2013 US 201314101579**

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

**18.11.2020**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**WAGONER, ROBERT GREGORY;  
RITTER, ALLEN MICHAEL y  
SCHNETZKA, HAROLD ROBERT**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

**ES 2 794 474 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

Control de puerta de transistor bipolar de puerta aislada de alto rendimiento

5 La presente divulgación se refiere en general a circuitos de control de puerta para dispositivos semiconductores, y más en particular a circuitos de control de puerta para transistores bipolares de puerta aislada (IGBT: insulated gate bipolar transistors).

10 Los dispositivos semiconductores como los transistores IGBT se pueden utilizar en muchos sistemas eléctricos como elementos de conmutación electrónica para una diversidad de aplicaciones. Por ejemplo, los transistores IGBT se pueden utilizar en circuitos de puente de un convertidor de energía para convertir energía de corriente alterna (AC: alternating current) en energía de corriente continua (DC: direct current) y vice versa. A menudo un diodo de libre circulación es acoplado en paralelo con el transistor IGBT para controlar el flujo de corriente en, por ejemplo, un circuito de puente. Los transistores IGBT normalmente comprenden tres terminales, que incluyen una puerta, un colector y un emisor. El transistor IGBT puede ser operado como un elemento de conmutación controlando el voltaje entre puerta y emisor mediante un circuito de control de puerta. Por ejemplo, cuando el voltaje entre puerta y emisor supera un voltaje de umbral para el transistor IGBT, se puede activar el transistor IGBT de modo que la corriente puede fluir a través del colector y del emisor del transistor IGBT. Cuando el voltaje entre puerta y emisor es menor que el voltaje de umbral para el transistor IGBT, se puede desactivar el transistor IGBT de modo que se limita el flujo de la corriente a través del colector y del emisor. Ver documentos US 2011/0133790 y US 2013/0278298, por ejemplo.

25 Durante la operación del transistor IGBT, es importante activar y desactivar el transistor IGBT rápidamente para reducir pérdidas en la desactivación. Reducir la resistencia de puerta de desactivación asociada al transistor IGBT puede permitir que el transistor IGBT se desactive más rápido. Durante una desactivación típica del transistor IGBT, una capacitancia parásita de Miller procedente de entre puerta y colector opera junto con la resistencia de puerta de desactivación para controlar la velocidad de cambios de voltaje (dv/dt) del voltaje entre colector y emisor. Sin embargo, una estructura típica de transistor IGBT tiene unas propiedades inherentes que limitan la velocidad a la que se puede desactivar un transistor IGBT. Más en concreto, según se explica con más detalle a continuación, cuando el voltaje entre puerta y emisor es negativo con respecto a una región de deriva del transistor IGBT, una región de deriva adyacente a una capa de óxido de la puerta tiende hacia una inversión y pasa a ser una derivación para una carga de desplazamiento procedente del colector a través de la derivación hacia el emisor.

35 Por ejemplo, la Figura 1 muestra una pluralidad de estructuras de transistor IGBT de ejemplo 100 que se pueden utilizar en una diversidad de aplicaciones. Las estructuras de transistor IGBT de ejemplo 100 se proporcionan para fines de ilustración y discusión. Según se muestra, cada estructura de transistor IGBT 100 incluye una puerta 110, un colector 120 y un emisor 130. Una capa de óxido de la puerta 150 está situada adyacente a la puerta 110.

45 Cada estructura de transistor IGBT 100 puede incluir una región de deriva 135 en la que, en condiciones de bloqueo, se acumula la mayor parte del voltaje. Para aumentar el bloqueo en el transistor IGBT, la corriente de desplazamiento puede fluir hacia la puerta 110 a menos que la puerta 110 pase a polarizarse de forma opuesta con respecto al emisor 130, en cuyo momento esa polarización negativa obligará a los portadores de polaridad similar a salir de la región de deriva 135 alejándose de la proximidad de la capa de óxido de la puerta 150. Entonces, unas corrientes de desplazamiento pueden utilizar el canal 140 que se forma hacia el emisor 130, en lugar de utilizar el control de puerta como una forma de dirigirse hacia el emisor 130. El canal 140 que se forma proporciona un camino o "derivación" que conecta con una región P+ adyacente al emisor 130. Tener una carga invertida en la región N- cerca de la capa de óxido de la puerta 150 puede crear una región de bloqueo, causando que la corriente procedente de la capacitancia de Miller fluya hacia el emisor 130 en lugar de la puerta 150.

55 La presencia de la derivación o canal de inversión 140 puede afectar a la capacitancia de Miller del transistor IGBT durante la desactivación. Por ejemplo, si se permite la existencia de la derivación de inversión 140 cuando el transistor IGBT 100 se está desactivando y la corriente del colector sigue fluyendo, se puede evitar la retroalimentación natural de la capacitancia de Miller del transistor IGBT 100. Esto puede reducir el efecto de la capacitancia de Miller en la velocidad de cambios de voltaje (dv/dt) del voltaje entre colector y emisor, permitiendo que el transistor IGBT 100 experimente potencialmente un sobre-voltaje del voltaje entre colector y emisor durante la desactivación.

65 Además, una activación más rápida del transistor IGBT puede provocar un comportamiento de "desacoplamiento" de un diodo de libre circulación que está acoplado en paralelo con el otro transistor IGBT de un tramo de fase durante la recuperación inversa del diodo. El comportamiento de "desacoplamiento" (es decir, una alta velocidad de cambio (di/dt) de la corriente de recuperación inversa en el diodo) puede provocar picos de voltaje. Esto, a su vez, puede provocar daños en el diodo y, en última instancia, puede causar un fallo en el circuito.

Por lo tanto, existe una necesidad de un circuito de control de puerta y de un procedimiento que pueda proporcionar un mejor control de la velocidad de cambios de voltaje (dv/dt) del voltaje entre colector y emisor durante la desactivación del semiconductor. Sería especialmente útil un circuito de control de puerta y un procedimiento que permita controlar las velocidades de cambio de voltaje del voltaje entre colector y emisor durante un período de tiempo en el que un diodo de libre circulación está experimentando una recuperación inversa de diodo.

Diversos aspectos y ventajas de la invención se describirán en parte en la siguiente descripción, o se pueden derivar claramente de la descripción, o se pueden aprender con la puesta en práctica de la invención.

El documento GB 2 417 149 A divulga un sistema en el que una corriente aplicada por un controlador para cargar o descargar la puerta de un transistor IGBT es adaptada de un ciclo a otro ciclo en función de la respuesta del transistor IGBT medida en un instante predeterminado en cada ciclo.

La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

Se pueden hacer variaciones y modificaciones a estos aspectos de ejemplo de la presente divulgación.

Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se comprenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y a las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan a esta especificación y forman parte de la misma, ilustran formas de realización de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

La Figura 1 muestra ejemplos de estructuras de transistor IGBT;

La Figura 2 muestra un ejemplo de circuito de puente de acuerdo con una forma de realización de la presente divulgación;

La Figura 3 muestra un ejemplo de circuito de control de puerta para un transistor IGBT de acuerdo con una forma de realización de la presente divulgación;

La Figura 4 muestra un ejemplo de forma de onda de control de puerta que puede ser aplicada por un circuito de control activo de puerta de acuerdo con una forma de realización de la presente divulgación;

La Figura 5 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo para activación de puerta de un transistor IGBT de acuerdo con una forma de realización de la presente divulgación; y

Las Figuras 6 y 7 muestran unos resultados de simulación de un ejemplo de circuito de control de puerta para un transistor IGBT, según una forma de realización de la presente divulgación.

Ahora se hará referencia en detalle a formas de realización de la invención, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la misma. De hecho, será evidente para los expertos en la materia que se pueden hacer diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance o el espíritu de la misma. Por ejemplo, características ilustradas o descritas como parte de una forma de realización se pueden utilizar con otra forma de realización para producir una forma de realización adicional. De este modo, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones cuando caen dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

Por lo general, aspectos de ejemplo de la presente divulgación están orientados a controles de puerta de alto rendimiento para controlar elementos de conmutación de semiconductores, tales como transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). Los circuitos y procedimientos de control de puerta, según aspectos de la presente divulgación, pueden proporcionar un control mejorado de la velocidad de cambios de voltaje entre colector y emisor (dv/dt) y/o la velocidad de cambios de corriente del colector (di/dt) durante la desactivación. Como resultado, se puede controlar más eficazmente el voltaje pico a través del transistor IGBT en la desactivación, lo que permite tener tiempos de conmutación más rápidos y pérdidas de conmutación del transistor IGBT reducidas mediante el uso de valores más bajos de resistencia de puerta. La presente divulgación se describe con referencia a controlar transistores IGBT a efectos de ilustración y exposición. Los expertos en la materia, utilizando las divulgaciones proporcionadas en este documento, comprenderán que ciertos aspectos de la presente divulgación son también aplicables a otros dispositivos de conmutación de semiconductores.

Un ejemplo de control de puerta de alto rendimiento de acuerdo con formas de realización de la presente divulgación puede controlar un voltaje de puerta aplicado a la puerta del transistor IGBT a uno o más voltajes intermedios entre el voltaje de "On" (activación) de puerta del transistor IGBT y el voltaje de "Off" (desactivación) de la puerta. Por ejemplo, el nivel de voltaje intermedio puede ser aplicado por el circuito de control de puerta siempre y cuando la corriente del colector del transistor IGBT sea distinta de cero. Además, se puede proporcionar una red de retroalimentación pasiva entre el colector y la puerta del transistor IGBT para proporcionar un bucle de retroalimentación de gran ancho de banda.

De acuerdo con aspectos particulares de la presente divulgación, el voltaje entre puerta y emisor del transistor IGBT puede ser controlado en forma de señal pequeña durante la desactivación del transistor IGBT. Más en concreto, el voltaje entre puerta y emisor puede ser ligeramente menor que el voltaje de umbral, de modo que la corriente procedente de  $dv/dt$  a través de la capacitancia de Miller hace que el voltaje de puerta en el propio transistor IGBT sea cercano al voltaje de umbral. Cuando el transistor IGBT se controla en forma de señal pequeña durante la desactivación, el transistor IGBT puede ser un circuito amortiguador eficaz para un diodo de libre circulación acoplado en paralelo con el transistor IGBT que puede estar físicamente muy cerca del transistor IGBT.

Ahora se comentarán aspectos de la presente divulgación con referencia a la aplicación de un primer voltaje, un segundo voltaje, un tercer voltaje y un cuarto voltaje a una puerta de un transistor IGBT. El uso de los términos "primero", "segundo", "tercero" y "cuarto" se utilizan para diferenciar entre los niveles de voltaje y no se usan para indicar ni la magnitud ni el orden de secuencia de los voltajes aplicados a la puerta del transistor IGBT.

Más en concreto, un circuito de control de puerta de alto rendimiento, según una forma de realización de ejemplo de la presente divulgación, puede incluir un circuito de control activo de puerta configurado para aplicar un primer voltaje por encima del voltaje de umbral para el transistor IGBT a la puerta del transistor IGBT para activar el transistor IGBT y para aplicar un segundo voltaje por debajo del voltaje de umbral para el transistor IGBT a la puerta del transistor IGBT para desactivar el transistor IGBT. El segundo voltaje puede ser el menor de todos los voltajes aplicados a la puerta del transistor IGBT. Cuando se aplica el primer o el segundo voltaje a la puerta del transistor IGBT, el transistor IGBT es operado en forma de señal grande, lo que hace efectivamente que el transistor IGBT esté totalmente activado durante la aplicación del primer voltaje o totalmente desactivado durante la aplicación del segundo voltaje. Durante la desactivación del transistor IGBT, el transistor IGBT puede ser controlado en forma de señal pequeña, de manera que el voltaje entre puerta y emisor del transistor IGBT sea cercano al voltaje de umbral. Más en concreto, se puede aplicar un tercer voltaje a la puerta del transistor IGBT por parte del circuito controlador de puerta para controlar la  $dv/dt$  del voltaje entre colector y emisor y la  $di/dt$  de la corriente del colector durante un primer período de desactivación. El tercer voltaje puede ser un voltaje positivo que es menor que el primer voltaje y mayor que el segundo voltaje.

Además, se puede aplicar un cuarto voltaje a la puerta del transistor IGBT durante un segundo período de desactivación que es posterior al primer período de desactivación. El cuarto voltaje puede ser menor que el tercer voltaje y mayor que el segundo voltaje. El segundo período de desactivación puede corresponder a un período de recuperación inversa de un diodo de libre circulación acoplado en paralelo con el transistor IGBT. El cuarto voltaje puede proporcionar protección al diodo durante la recuperación inversa. Por ejemplo, el cuarto voltaje se puede aplicar para proteger el diodo de un voltaje inverso transitorio como resultado de un comportamiento de "desacoplamiento" del diodo. El cuarto voltaje puede estar configurado para permitir una  $dv/dt$  normal de diodo del voltaje entre colector y emisor más un margen, de modo que sólo la alta  $dv/dt$  que se produce durante el "desacoplamiento" sea limitada por el bucle de retroalimentación de la capacitancia de Miller en el transistor IGBT.

Con referencia ahora a las Figuras, se describirán en detalle ejemplos de la presente divulgación. La Figura 2 muestra un ejemplo de circuito de puente 200 que se puede usar en, por ejemplo, un convertidor de energía. El circuito de puente 200 incluye un primer transistor IGBT 210 (por ejemplo, un transistor IGBT "superior") y un segundo transistor IGBT 220 (por ejemplo, un transistor IGBT "inferior"). El primer transistor IGBT 210 puede incluir una puerta 212, un colector 214 y un emisor 216. De modo similar, el segundo transistor IGBT 220 puede incluir una puerta 222, un colector 224 y un emisor 226.

Un primer diodo de libre circulación 215 puede estar acoplado en paralelo con el primer transistor IGBT 210. Un segundo diodo de libre circulación 225 puede estar acoplado en paralelo con el segundo transistor IGBT 220. El primer diodo de libre circulación 215 y el segundo diodo de libre circulación 225 pueden presentar características de recuperación inversa cuando conmutan de un estado de conducción a un estado de bloqueo. Más en concreto, cuando conmutan de un estado de conducción a un estado de bloqueo, puede fluir una gran corriente a través del diodo en dirección inversa durante un corto tiempo hasta que se agote una carga de recuperación inversa.

El circuito de puente puede incluir un circuito de control de puerta 300. El circuito de control de puerta 300 puede controlar los voltajes entre puerta y emisor de las respectivas puertas del primer transistor IGBT 210 y del segundo transistor IGBT 220 para controlar la conmutación del primer transistor IGBT 210 y del segundo transistor IGBT 220. Por ejemplo, el circuito de control de puerta 300 puede proporcionar comandos de modulación de ancho de pulso (PWM: pulse width modulation) al primer transistor IGBT 210 y al segundo transistor IGBT 220 para convertir una potencia de corriente alterna en la entrada 230 del circuito de puente 200 en una potencia de corriente continua o vice versa.

La Figura 3 muestra un ejemplo de circuito de control de puerta 300 según una forma de realización de ejemplo de la presente divulgación. El circuito de control de puerta 300 se describirá con referencia al control

de un voltaje entre puerta y emisor del primer transistor IGBT 210. El circuito de control de puerta 300 puede estar configurado para controlar el voltaje entre puerta y emisor de otros transistores IGBT, tal como el segundo transistor IGBT 220 que se muestra en la Figura 2.

5 Volviendo a la Figura 3, el circuito de control de puerta 300 incluye un circuito de control activo de puerta 310. El circuito de control activo de puerta 310 puede estar configurado para aplicar voltajes, a través de una resistencia de puerta 312, a la puerta 212 del transistor IGBT 210 para controlar la operación del transistor IGBT. El circuito de control activo de puerta 310 puede incluir uno o más dispositivos o circuitos de control, tal como uno o más controladores, microprocesadores, dispositivos lógicos, unidades de memoria, microcontroladores u otros dispositivos de control. El circuito de control activo de puerta 310 puede recibir comandos (por ejemplo, comandos de PWM) procedentes de otros controladores de sistema, tal como un controlador de un sistema de generación de energía en el que se utiliza el circuito de control de puerta 300.

15 En una forma de realización de ejemplo, el circuito de control activo de puerta 310 puede incluir uno o más procesadores y uno o más medios legibles informáticamente. El uno o más procesadores pueden estar configurados para ejecutar instrucciones legibles informáticamente almacenadas en el uno o más medios legibles informáticamente para hacer que el circuito de control activo de puerta 310 realice operaciones, tales como aplicar un voltaje a la puerta 212 del transistor IGBT 210 de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación.

20 El circuito de control activo de puerta 310 puede recibir elementos de retroalimentación procedentes del transistor IGBT 210. Por ejemplo, según se muestra, el circuito de control activo de puerta 310 puede recibir una retroalimentación de corriente del colector IC así como el voltaje entre colector y emisor VCE y el voltaje entre puerta y emisor VGE. Se pueden incluir otros elementos de retroalimentación activos sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

25 En ejemplos de formas de realización, el circuito de control de puerta 300 puede incluir además una red de retroalimentación pasiva 320. La red de retroalimentación pasiva 320 puede incluir un elemento de retroalimentación pasivo acoplado entre el colector 214 del transistor IGBT 210 y la puerta 212 del transistor IGBT 210. El elemento de retroalimentación pasivo puede ser, por ejemplo, un condensador. La red de retroalimentación pasiva 320 se puede incluir para proporcionar un bucle de retroalimentación de gran ancho de banda para estabilidad del control.

30 De acuerdo con aspectos particulares de la presente divulgación, el circuito de control activo de puerta 310 puede proporcionar cuatro niveles de voltaje diferentes a través de la resistencia de puerta 312 a la puerta 212 del transistor IGBT 210. Los cuatro niveles de voltaje diferentes corresponden a cuatro modos de operación diferentes del transistor IGBT 210.

35 Un primer modo de operación puede ser un modo de operación "IGBT en ON" (IGBT activado) del transistor IGBT 210. El modo de transistor IGBT en ON puede corresponder a un período de tiempo en el que el transistor IGBT 210 es activado de modo que la corriente fluye a través del colector 214 y del emisor 216 del transistor IGBT 210. Durante el modo de transistor IGBT en ON, el circuito de control activo de puerta 310 puede aplicar un primer voltaje en forma de señal grande a la puerta 212 del transistor IGBT 210. El primer voltaje puede ser suficientemente mayor que el voltaje de umbral para el transistor IGBT 210 para que el transistor IGBT 210 sea totalmente activado. Por ejemplo, el primer voltaje puede estar en el rango de aproximadamente 10V a aproximadamente 15V, tal como aproximadamente 15V. Tal como se utiliza en este documento, el término "aproximadamente" utilizado en relación con un valor especificado tiene por objeto referirse a un 20% del valor especificado.

40 Un segundo modo de operación puede ser un modo de operación "IGBT en OFF" (IGBT desactivado) del transistor IGBT 210. El modo de transistor IGBT en OFF puede corresponder a un período de tiempo en el que el transistor IGBT 210 es desactivado de modo que se limita la corriente que fluye a través del colector 214 y del emisor 216 del transistor IGBT 210. Durante el modo de transistor IGBT en OFF, el circuito de control activo de puerta 210 puede aplicar un segundo voltaje en forma de señal grande a la puerta 212 del transistor IGBT 210. El segundo voltaje puede ser suficientemente menor que el voltaje de umbral para el transistor IGBT 210 para que el transistor IGBT sea totalmente desactivado. Por ejemplo, el segundo voltaje puede estar en el rango de aproximadamente -2V a aproximadamente -7V, tal como aproximadamente -7V.

45 Durante la desactivación del transistor IGBT 210 (por ejemplo, transición del modo de transistor IGBT en ON al modo de transistor IGBT en OFF), el circuito de control activo de puerta 310 puede controlar el transistor IGBT en forma de señal pequeña controlando el voltaje entre puerta y emisor del transistor IGBT 210 para que sea cercano al voltaje de umbral. Más en concreto, el circuito de control activo de puerta 310 puede operar el transistor IGBT 210 en un modo de "desactivación de transistor IGBT" durante un primer período de tiempo de desactivación. Después del primer período de desactivación, el circuito de control

activo de puerta puede pasar a operar el transistor IGBT 210 en un modo de "recuperación de diodo" durante un segundo período de desactivación.

5 El modo de desactivación de transistor IGBT puede corresponder a un período de tiempo en el que el transistor IGBT 210 se está desactivando. Durante el modo de desactivación de transistor IGBT, el circuito de control activo de puerta 210 puede aplicar un tercer voltaje a la puerta 212 del transistor IGBT 210. El tercer voltaje puede ser un voltaje cercano al voltaje de umbral para controlar el transistor IGBT 210 en forma de señal pequeña, tal como un voltaje positivo (por ejemplo, un voltaje mayor que 0V) que es menor que el primer voltaje y mayor que el segundo voltaje. Por ejemplo, el tercer voltaje puede estar en el rango de aproximadamente 0V a aproximadamente 8V, tal como aproximadamente 4V. El circuito de control activo de puerta 210 puede operar el transistor IGBT 210 en un modo de desactivación de transistor IGBT mientras una corriente  $I_c$  de colector distinta de cero fluye en el colector 214 del transistor IGBT 210 para reducir la  $dv/dt$  del voltaje entre colector y emisor VCE durante la desactivación. La reducción de la  $dv/dt$  puede limitar los picos de voltaje en el voltaje entre colector y emisor VCE.

15 El modo de recuperación de diodo puede corresponder a un período de tiempo de recuperación inversa del diodo de libre circulación acoplado en paralelo con el transistor IGBT 210. Durante el modo de recuperación del diodo, el circuito de control activo de puerta 210 puede aplicar un cuarto voltaje a la puerta 212 del transistor IGBT 210. El cuarto voltaje puede ser un voltaje cercano al voltaje de umbral para el transistor IGBT 210 para controlar el transistor IGBT 210 en forma de señal pequeña, tal como un voltaje positivo (por ejemplo, un voltaje mayor que 0V) que sea menor que el tercer voltaje y mayor que el segundo voltaje. Por ejemplo, el cuarto voltaje puede estar en el rango de aproximadamente 1V a aproximadamente 5V, tal como por ejemplo aproximadamente 1V. El cuarto voltaje se puede aplicar durante un tiempo suficiente para que el diodo de libre circulación agote su carga de recuperación inversa, momento en el que el circuito de control activo de puerta puede aplicar el segundo voltaje para operar el transistor IGBT 210 en el modo de transistor IGBT en OFF.

30 La Figura 4 muestra una representación gráfica de una forma de onda de voltaje 410 aplicada por el circuito de control activo de puerta 310 durante la desactivación del transistor IGBT 210. La forma de onda 410 representa el voltaje aplicado por el circuito de control activo de puerta a la puerta 212 del transistor IGBT 210. Según se muestra, el circuito de control activo de puerta 310 puede aplicar un primer voltaje desde el momento  $t_0$  hasta el momento  $t_1$  para operar el transistor IGBT 210 en un modo de transistor IGBT en ON. El circuito de control activo de puerta 310 puede aplicar un segundo voltaje después de un momento  $t_3$  para operar el transistor IGBT 210 en un modo de transistor IGBT en OFF. Entre el modo de transistor IGBT en ON y el modo de transistor IGBT en OFF, el circuito de control activo de puerta 310 puede aplicar un tercer voltaje a la puerta 212 del transistor IGBT 210 para operar el transistor IGBT 210 en un modo de desactivación de transistor IGBT durante un primer período de desactivación desde el momento  $t_1$  hasta el momento  $t_2$ . Después del primer período de desactivación, el circuito de control activo de puerta 310 puede aplicar un cuarto voltaje a la puerta 212 del transistor IGBT 210 para operar el transistor IGBT 210 en un modo de recuperación de diodo durante un segundo período de desactivación desde el momento  $t_2$  hasta el momento  $t_3$ .

45 La Figura 4 muestra además dos casos de voltaje entre colector y emisor (VCE) que resultan de controlar el transistor IGBT 210 de acuerdo con la forma de onda 410. La forma de onda 420 representa el VCE para la corriente que fluye en el transistor IGBT 210 (corriente del colector que fluye hacia adelante  $I_C$ ). La forma de onda 430 representa el VCE para la corriente que fluye en un diodo de libre circulación acoplado en paralelo con el transistor IGBT 210 (corriente del colector inversa  $I_C$ ).

50 La transición entre el primer período de desactivación que corresponde al modo de desactivación del transistor IGBT y el segundo período de desactivación que corresponde al modo de recuperación del diodo se produce en el momento de transición  $t_2$ . El momento de transición  $t_2$  puede corresponder a un momento en el que comienza a producirse la recuperación inversa del diodo. Por ejemplo, en el ejemplo del circuito de puente 200 representado en la Figura 2, el momento de transición  $t_2$  se puede producir cuando se activa el otro transistor IGBT del circuito de puente 200. Por ejemplo, si el diodo de libre circulación 215 está conduciendo, el momento de transición  $t_2$  se puede producir cuando se activa el segundo transistor IGBT 220. Si el diodo de libre circulación 225 está conduciendo, el momento de transición  $t_2$  se puede producir cuando se activa el primer transistor IGBT 210.

60 En una forma de realización de ejemplo, el circuito de control activo de puerta 310 puede estar configurado para hacer una transición entre el primer período de desactivación y el segundo período de desactivación en un momento predeterminado. Más en concreto, la duración del período de desactivación del transistor IGBT puede ser un valor fijo determinado en base al tiempo más largo de desactivación del transistor IGBT 210. El momento de transición  $t_2$  puede ser un valor predeterminado basado en la duración del período en modo de desactivación de transistor IGBT. La duración del período en modo de recuperación del diodo también puede ser un valor fijo determinado en base al período más largo de recuperación inversa del diodo de libre circulación 215 que está acoplado en paralelo con el transistor IGBT 210.

En otras formas de realización de ejemplo, según se muestra en la Figura 3, la duración del primer período de desactivación que corresponde al modo de desactivación de transistor IGBT y la duración del segundo período de desactivación que corresponde al modo de recuperación del diodo se pueden determinar en base a parámetros monitorizados del sistema. Por ejemplo, el circuito de control activo de puerta 310 puede estar configurado para hacer una transición desde el primer período de desactivación hacia el segundo período de desactivación en base a, por lo menos en parte, una señal indicativa de que el otro transistor IGBT del circuito de puente es activado.

Como otro ejemplo, la duración del primer período de desactivación y la duración del segundo período de desactivación pueden ser controladas por el circuito de control activo de puerta 310 en base a por lo menos en parte la corriente del colector Ic del transistor IGBT 210. Por ejemplo, el circuito de control activo de puerta 310 puede monitorizar la corriente del colector IC utilizando un sensor de corriente adecuado. El circuito de control activo de puerta 310 puede estar configurado para aplicar un tercer voltaje durante al menos un período mientras la corriente de colector Ic es distinta de cero. El circuito de control activo de puerta 310 puede estar configurado para hacer una transición entre el primer período de desactivación y el segundo período de desactivación en base a, por lo menos en parte, la dirección de la corriente del colector Ic (por ejemplo, si la corriente del colector es positiva o negativa). El circuito de control activo de puerta 310 puede controlar el voltaje entre puerta y emisor del transistor IGBT 210 en base a otros parámetros monitorizados adecuados, tales como la temperatura, la corriente del colector, el voltaje del bus de corriente continua, la di/dt de la corriente del colector, la dv/dt del voltaje entre colector y emisor, y otras implementaciones adecuadas.

En aún otro ejemplo, la transición entre el tercer voltaje y el cuarto voltaje se puede producir, al menos en parte, como resultado de una terminación de una corriente de meseta de Miller resultante de una compleción de la dv/dt de desactivación del transistor IGBT 210. Más en concreto, durante la desactivación del transistor IGBT 210. Más en particular, se puede extraer una corriente de meseta de Miller resultante de la dv/dt del transistor IGBT 210 durante la desactivación del transistor durante la aplicación del tercer voltaje. Cuando se completa la dv/dt del transistor IGBT 210, el voltaje de meseta de Miller ya no puede alimentar la puerta del transistor IGBT 210, lo que resulta en una transición hacia el cuarto voltaje. Cuando el voltaje de meseta de Miller puede aceptar y suministrar corriente cercana al voltaje de umbral de la puerta, se puede utilizar con el fin de crear el tercer o el cuarto voltaje.

La Figura 5 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo (500) de activación de puerta de un transistor IGBT de acuerdo con una forma de realización de ejemplo de la presente divulgación. En (502), el procedimiento incluye aplicar un primer voltaje a una puerta de un transistor IGBT. El primer voltaje puede ser suficientemente mayor que un voltaje de umbral para el transistor IGBT, de modo que el transistor IGBT es activado completamente. En (504), se puede recibir una señal de desactivación del transistor IGBT. La señal se puede recibir procedente de un sistema de control adecuado y puede formar parte de, por ejemplo, comandos de PWM utilizados para controlar la conmutación del transistor IGBT. La señal puede iniciar la desactivación del transistor IGBT en la que se aplica un segundo voltaje a la puerta del transistor IGBT para desactivar el transistor IGBT (512). El segundo voltaje puede ser suficientemente menor que el voltaje de umbral para el transistor IGBT, de forma que el transistor IGBT es desactivado completamente.

Durante la desactivación del transistor IGBT, el procedimiento puede incluir aplicar un tercer voltaje a la puerta del transistor IGBT durante un primer período de desactivación (506). El tercer voltaje puede ser menor que el primer voltaje y mayor que el segundo voltaje. El tercer voltaje puede estar lo suficientemente cerca del voltaje de umbral para el transistor IGBT para que el transistor IGBT actúe como un circuito amortiguador eficaz para un diodo acoplado en paralelo con el transistor IGBT. El tercer voltaje puede controlar la dv/dt del voltaje entre colector y emisor y la di/dt de la corriente del colector del transistor IGBT durante la desactivación.

Después de aplicar el tercer voltaje, el procedimiento puede incluir hacer una transición desde un primer período de desactivación a un segundo período de desactivación (508). Por ejemplo, el procedimiento puede incluir hacer la transición entre el primer período de desactivación y el segundo período de desactivación en un momento predeterminado (por ejemplo, determinado en base a períodos fijos para el primer período de desactivación y el segundo período de desactivación). Como otro ejemplo, el procedimiento puede incluir hacer la transición entre el primer período de desactivación y el segundo período de desactivación cuando se activa un segundo transistor IGBT acoplado en serie con el transistor IGBT. Como otro ejemplo más, el procedimiento puede incluir hacer la transición entre el primer período de desactivación y el segundo período de desactivación en base a una corriente de colector del transistor IGBT o en base a otros parámetros monitorizados, tales como la temperatura, la corriente de colector, el voltaje del bus de corriente continua, la di/dt de la corriente del colector, la dv/dt del voltaje entre colector y emisor, y otros parámetros adecuados.

En (510), el procedimiento incluye aplicar un cuarto voltaje a la puerta del transistor IGBT para un segundo período de desactivación. El segundo período de desactivación puede corresponder a un período de recuperación inversa de un diodo de libre circulación acoplado en paralelo con el transistor IGBT. El cuarto

voltaje puede ser menor que el tercer voltaje y mayor que el segundo voltaje. El cuarto voltaje puede controlar la  $dv/dt$  del voltaje entre colector y emisor del transistor IGBT durante la recuperación inversa del diodo. En (512), se aplica el segundo voltaje a la puerta del transistor IGBT para desactivar el transistor IGBT.

5

Las Figuras 6 y 7 muestran unos resultados de una simulación para un ejemplo de circuito de control de puerta para un transistor IGBT de acuerdo con una forma de realización de la presente divulgación. La forma de onda 610 representa el voltaje aplicado por un ejemplo de circuito de control activo de puerta a la puerta de un transistor IGBT. Según se muestra, el circuito de control activo de puerta puede aplicar un voltaje de aproximadamente 15V cuando el transistor IGBT está activado, un voltaje de aproximadamente 4V para el primer período de desactivación, un voltaje de aproximadamente 1V para el segundo período de desactivación y un voltaje de aproximadamente -7V cuando el transistor IGBT está desactivado.

10

La forma de onda 620 de la Figura 6 representa el voltaje entre colector y emisor VCE asociado con la corriente del colector que fluye hacia adelante (por ejemplo, la corriente en el transistor IGBT) durante la desactivación. La forma de onda 630 de la Figura 6 representa la corriente de colector IC para la corriente del colector que fluye hacia adelante. La forma de onda 640 de la Figura 7 muestra el voltaje entre colector y emisor VCE asociado con la corriente de colector que fluye en sentido inverso (por ejemplo, la corriente en el diodo de libre circulación) durante la desactivación. La forma de onda 650 de la Figura 7 representa la corriente de colector IC para la corriente del colector de flujo inverso. Como se ha demostrado, el control activo de puerta hace una transición desde el primer período de desactivación en el que se aplican 4V hacia un segundo período de desactivación en el que se aplica 1V para la recuperación inversa del diodo cuando la corriente del colector llega aproximadamente a cero. El voltaje entre colector y emisor muestra buenas características de  $dv/dt$  sin una condición de sobre-voltaje significativa. La corriente de colector IC también muestra buenas características de  $di/dt$  durante el primer y segundo períodos de desactivación.

15

20

25

Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, que incluyen la modalidad preferida, y también para permitir a cualquier persona experta en la materia practicar la invención, que incluye la fabricación y el uso de cualesquiera dispositivos o sistemas y realizar cualesquiera procedimientos incorporados. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Se pretende que esos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto a los lenguajes literales de las reivindicaciones.

30

35



## REIVINDICACIONES

1. Un circuito de control de puerta (300) para aplicar un voltaje de puerta a una puerta de un transistor (210), comprendiendo el circuito de control de puerta:
- 5 una resistencia de puerta (312);  
un circuito de control activo de puerta (310), estando el circuito de control activo de puerta (310) configurado para aplicar un primer voltaje a través de la resistencia de puerta (312) a la puerta del transistor (210) para activar el transistor, siendo el primer voltaje mayor que un voltaje de umbral para el transistor, estando el circuito de control activo de puerta configurado además para aplicar un segundo voltaje a través
- 10 de la resistencia de puerta a la puerta del transistor (210) para desactivar el transistor, siendo el segundo voltaje menor que el voltaje de umbral; en el que:  
durante la desactivación del transistor, antes de aplicar el segundo voltaje, el circuito de control activo de puerta (310) está configurado además para aplicar un tercer voltaje a la puerta del transistor (210) durante un primer período de desactivación (506), siendo el tercer voltaje menor que el primer voltaje pero mayor
- 15 que el segundo voltaje, el circuito de control activo de puerta (310) está configurado además para aplicar un cuarto voltaje a la puerta del transistor (210) durante un segundo período de desactivación (508), siendo el cuarto voltaje menor que el tercer voltaje pero mayor que el segundo voltaje;  
**caracterizado por el hecho de que** el segundo período de desactivación (508) corresponde a un período de tiempo de recuperación inversa de un diodo (215) acoplado en paralelo con el transistor (210), y el
- 20 circuito de control activo de puerta (310) recibe una retroalimentación de la corriente del colector ( $I_C$ ), voltaje entre colector y emisor ( $V_{CE}$ ) y voltaje entre colector y emisor ( $V_{GE}$ ) del transistor (210).
2. El circuito de control de puerta (300) de la reivindicación 1, en el que el circuito de control de puerta (310) comprende además un elemento de retroalimentación pasivo (320) acoplado entre un colector (214) del
- 25 transistor (210) y la puerta (212) del transistor (210).
3. El circuito de control de puerta (300) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de retroalimentación pasivo (320) comprende un condensador.
- 30 4. El circuito de control de puerta (300) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el transistor (210) es un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT).
5. El circuito de control de puerta (300) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el
- 35 circuito de control activo de puerta (310) está configurado para hacer la transición entre el primer período de desactivación (506) y el segundo período de desactivación (508) en un momento predeterminado.
6. El circuito de control de puerta (300) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el
- 40 circuito de control activo de puerta (310) está configurado para hacer la transición entre el primer período de desactivación (506) y el segundo período de desactivación (508) en base a, por lo menos en parte, uno o más de entre una temperatura, una corriente del colector, un voltaje de bus de corriente continua, una  $di/dt$  de la corriente del colector, una  $dv/dt$  del voltaje entre colector y emisor.
7. El circuito de control de puerta (300) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la
- 45 transición entre el tercer voltaje y el cuarto voltaje se produce, al menos en parte, como resultado de una terminación de una corriente de meseta de Miller que resulta de completar la  $dv/dt$  de desactivación del transistor (210).
8. Un circuito de puente (200) utilizado en un convertidor de energía de un sistema de energía, comprendiendo el circuito de puente:
- 50 un primer transistor (210) que tiene una puerta, un colector y un emisor;  
un segundo transistor (220) acoplado en serie con el primer transistor;  
un diodo (215) acoplado en paralelo con el primer transistor;  
un circuito de control de puerta (300) según se define en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores
- 55 configurado para aplicar un voltaje a la puerta del primer transistor (210).
9. Un procedimiento (500) de control de puerta de un transistor bipolar de puerta aislada, IGBT, (210) utilizado en un convertidor de energía de un sistema de generación de energía eólica, comprendiendo el
- 60 procedimiento:  
aplicar (502) un primer voltaje a través de una resistencia de puerta (312) a una puerta del transistor IGBT (210) para activar el transistor, siendo el primer voltaje mayor que un voltaje de umbral para el transistor IGBT;  
recibir (504) una señal de desactivación para desactivar el transistor IGBT;
- 65 después de recibir la señal de desactivación, aplicar un segundo voltaje a través de la resistencia de puerta (312) a la puerta del transistor IGBT para desactivar el transistor IGBT, siendo el segundo voltaje menor que el voltaje de umbral; en el que  
el procedimiento comprende además, durante la desactivación del transistor IGBT (210), antes de aplicar el segundo voltaje, aplicar dos o más voltajes intermedios cercanos al voltaje de umbral para controlar el

transistor IGBT (210) en forma de señal pequeña, comprendiendo la aplicación de los dos o más voltajes intermedios:

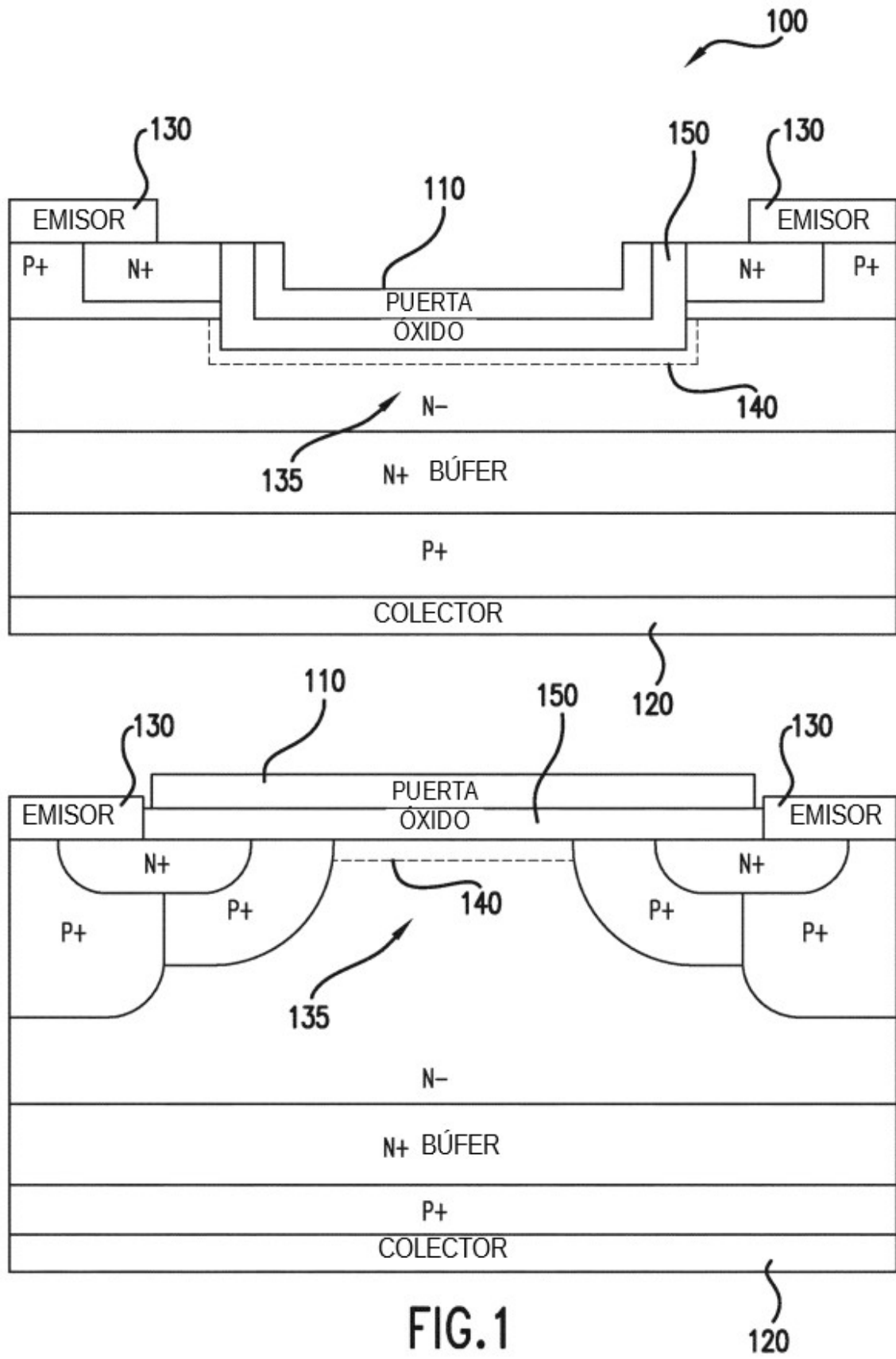
5 aplicar (506) un tercer voltaje a la puerta del transistor IGBT (210) durante un primer período de desactivación, siendo el tercer voltaje menor que el primer voltaje pero mayor que el segundo voltaje; y

10 aplicar (510) un cuarto voltaje a la puerta del transistor IGBT durante un segundo período de desactivación posterior al primer período de desactivación, siendo el cuarto voltaje menor que el tercer voltaje pero mayor que el segundo voltaje; y

**caracterizado por el hecho de que** el segundo período de desactivación (508) corresponde a un período de tiempo de recuperación inversa de un diodo (215) acoplado en paralelo con el transistor IGBT (210).

10 10. El procedimiento (500) de la reivindicación 9, en el que los dos o más voltajes intermedios se aplican para controlar la velocidad de cambio del voltaje entre colector y emisor del transistor IGBT (210) durante la desactivación.

15 11. El procedimiento (500) de la reivindicación 9 o 10, en el que los dos o más voltajes intermedios se aplican para controlar la velocidad de cambio de la corriente del colector del transistor IGBT (210) durante la desactivación.



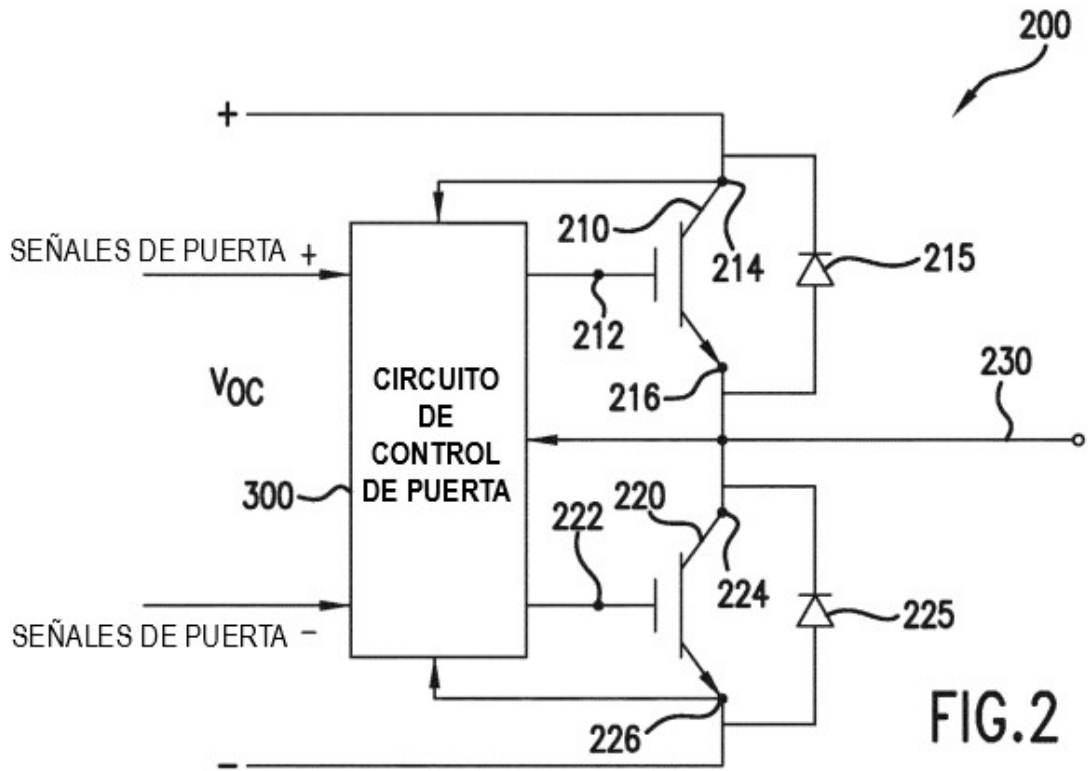


FIG.2

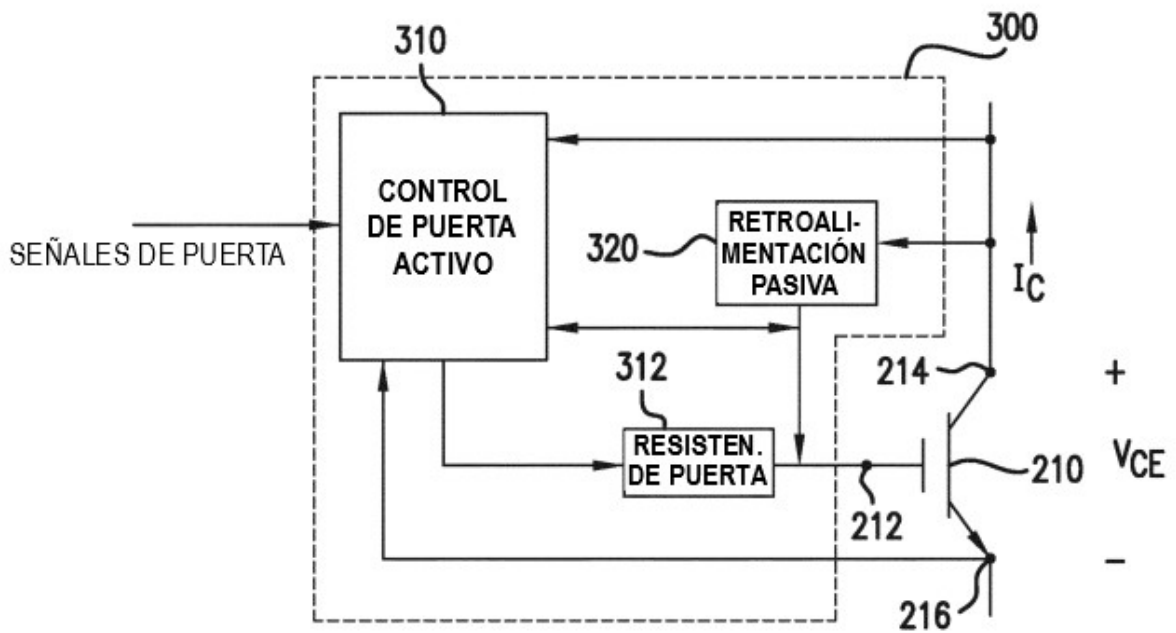


FIG.3

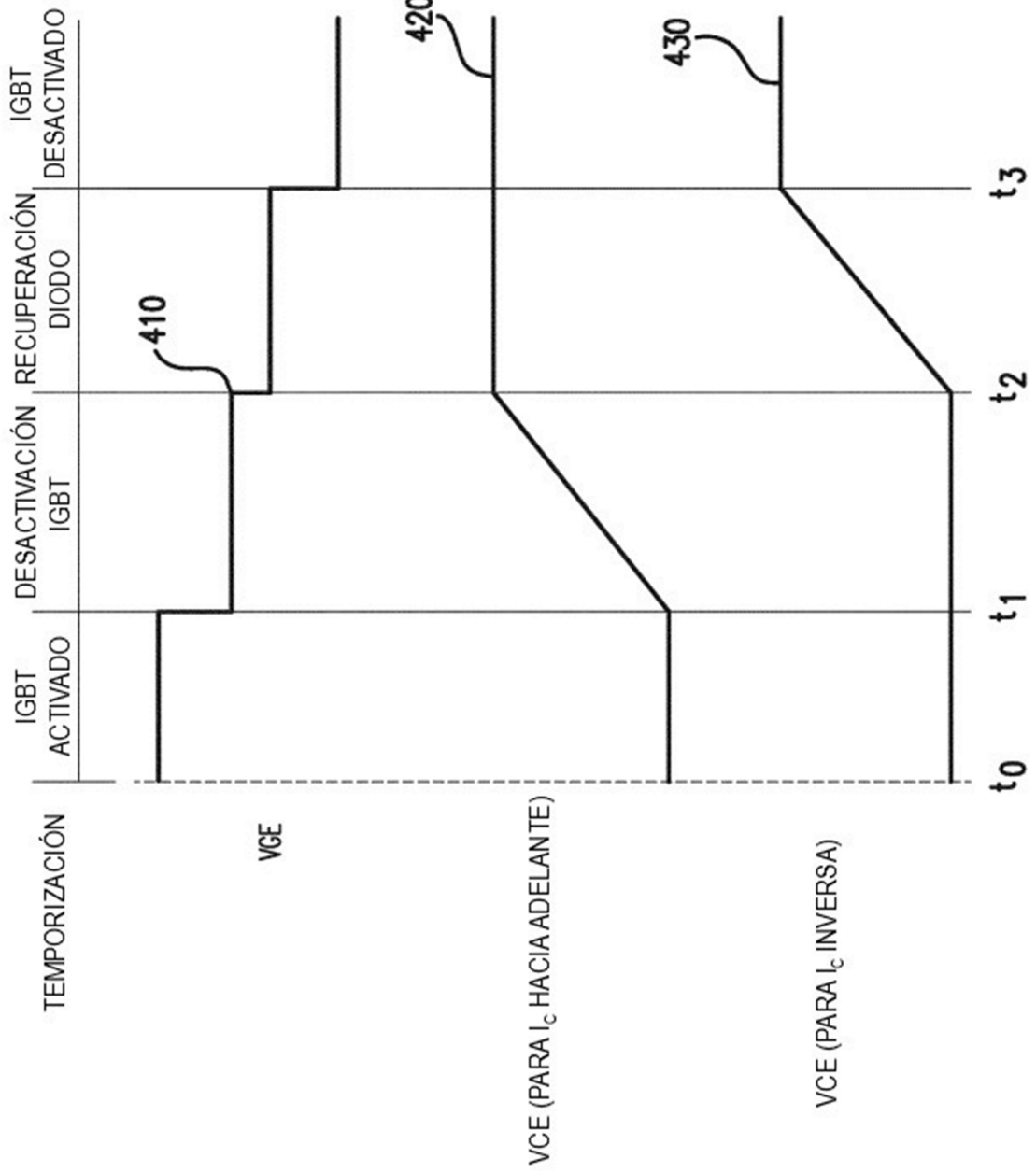


FIG.4

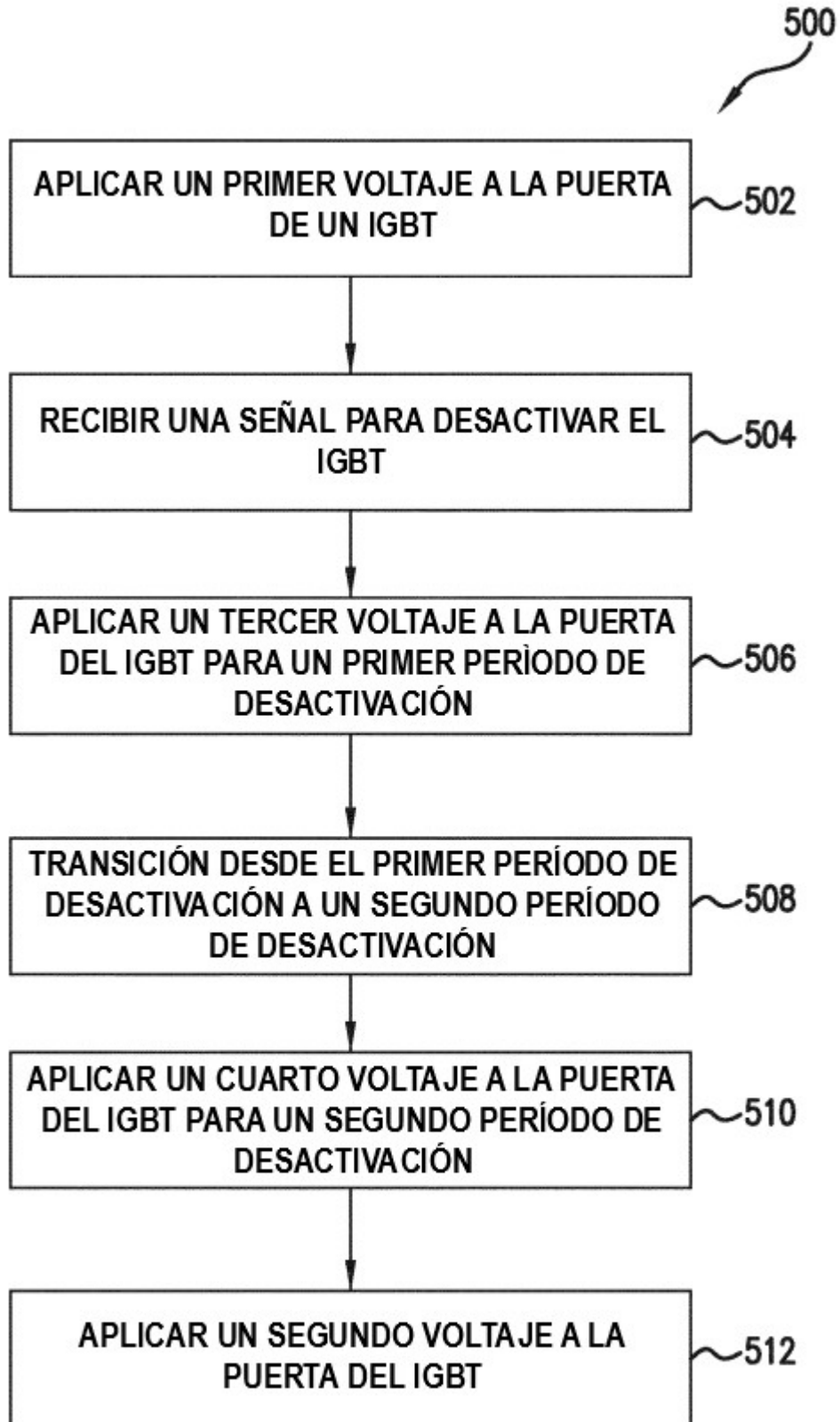


FIG.5

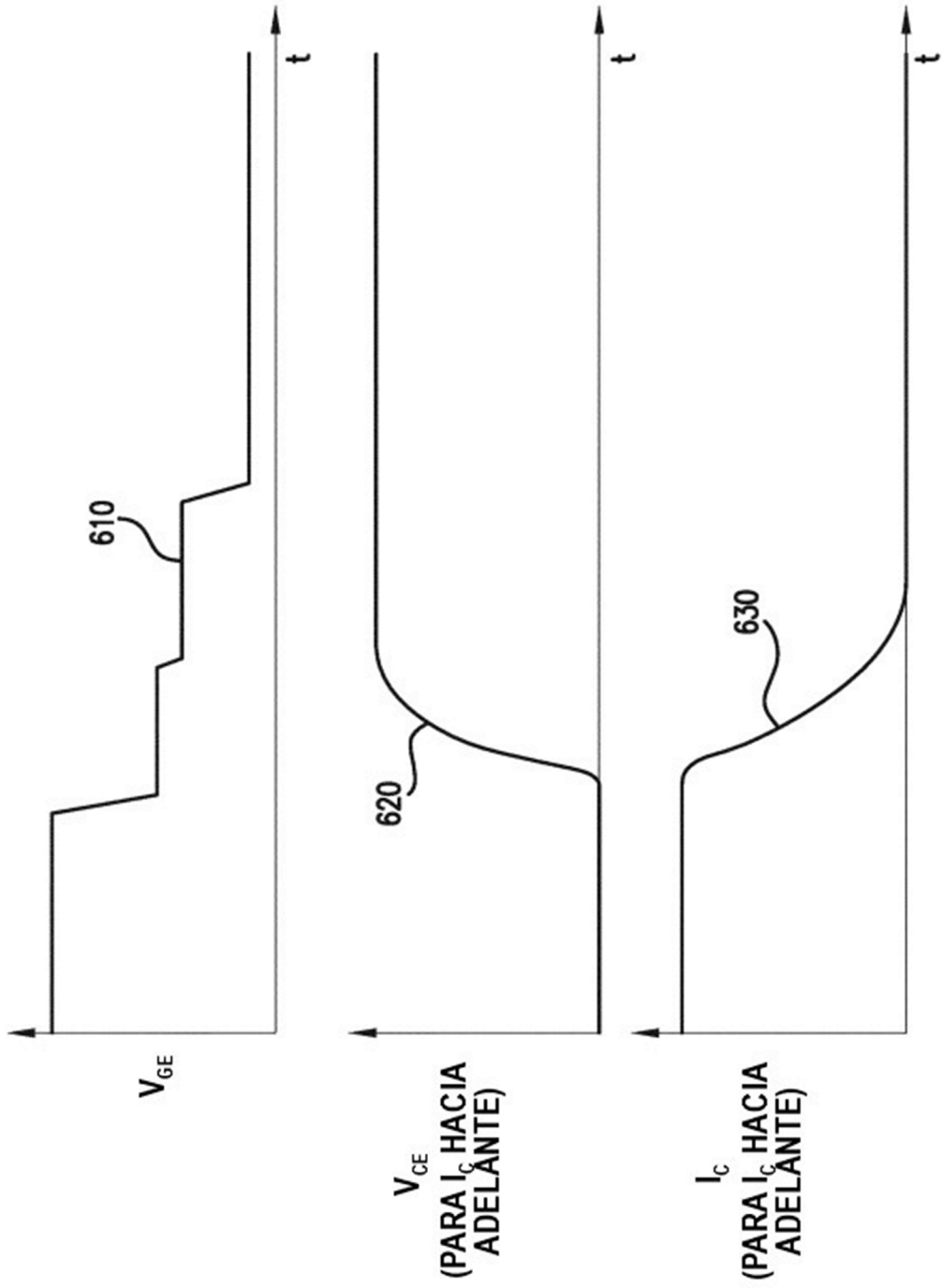


FIG.6

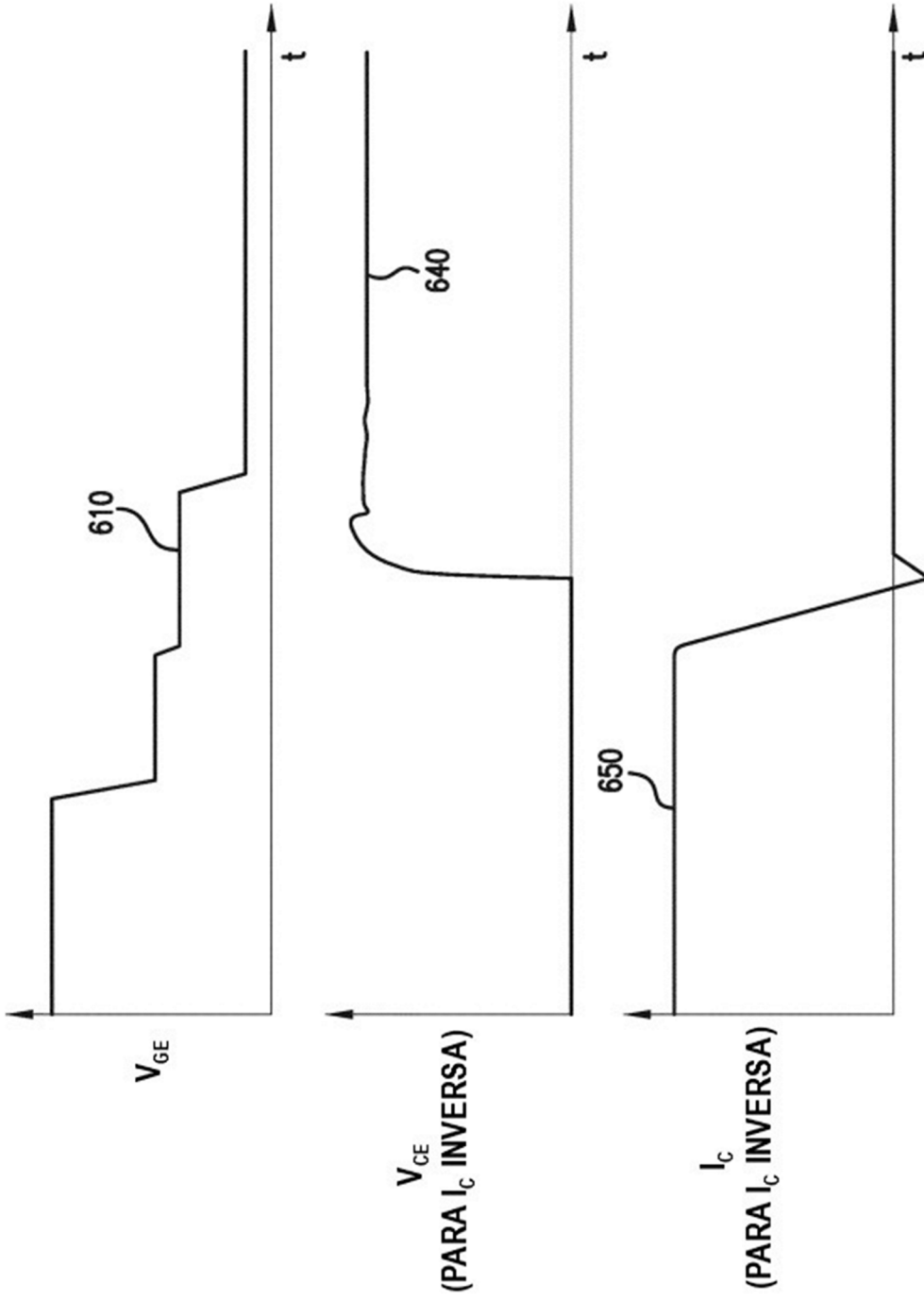


FIG.7