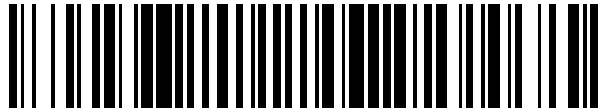


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 901 195**

51 Int. Cl.:

H03K 17/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.01.2019** **E 19152166 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.09.2021** **EP 3518422**

54 Título: **Controlador de conmutador para control de conducción inversa adaptativa en dispositivos conmutadores**

30 Prioridad:

26.01.2018 US 201815881346

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

21.03.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

ZOELS, THOMAS ALOIS y
CARASTRO, FABIO

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 901 195 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

Controlador de conmutador para control de conducción inversa adaptativa en dispositivos conmutadores

5 **[0001]** La materia divulgada en el presente documento se refiere a dispositivos conmutadores y controladores de conmutadores y, más específicamente, a procedimientos y sistemas que pueden gestionar dispositivos conmutadores durante sobrecargas de potencia de una manera adaptativa.

10 **[0002]** Esta sección está destinada a presentar al lector determinados aspectos de la técnica que pueden estar relacionados con aspectos de la presente divulgación, que se describen y/o reivindican más adelante. Se considera que este análisis es útil para proporcionar al lector información de antecedentes para facilitar un mejor entendimiento de los diversos aspectos de la presente divulgación. Por consiguiente, puede entenderse que estas afirmaciones deben leerse en este sentido y no como admisiones de la técnica anterior.

15 **[0003]** Los dispositivos conmutadores pueden usarse en sistemas eléctricos para acoplar y/o desacoplar fuentes de alimentación y una carga eléctrica. Los sistemas pueden emplear circuitos de conmutación y/o dispositivos conmutadores de excitación automática, tales como transistores, para implementar convertidores eléctricos, tales como convertidores de tracción y rectificadores que pueden convertir la electricidad de corriente alterna (CA) en electricidad de corriente continua (CC) y convertidores reductores que pueden cambiar la
20 tensión de salida de una fuente de alimentación de CC con menos pérdidas. En determinadas situaciones, los dispositivos conmutadores pueden estar sujetos a un esfuerzo eléctrico durante eventos de sobrecarga eléctrica, que pueden producirse debido a fluctuaciones en la fuente de alimentación y/o desequilibrios en la carga. Los esfuerzos eléctricos pueden dar lugar a una disipación de potencia y a un esfuerzo eléctrico excesivos en el conmutador y/o en el sistema, lo que puede dar lugar a fallos térmicos de los componentes y/o
25 del sistema.

[0004] El documento US 2011/210713 describe un aparato de conversión de potencia y un procedimiento de control para un aparato de conversión de potencia.

30 **[0005]** A continuación, se resumen determinados modos de realización de la invención reivindicada. Estos modos de realización no pretenden limitar el alcance de la invención reivindicada y solo pretenden proporcionar una breve explicación de posibles formas de la invención. De hecho, la invención puede abarcar una variedad de formas que pueden ser similares a o diferentes de los modos de realización expuestos a continuación.

35 **[0006]** La invención se define mediante un sistema de acuerdo con la reivindicación 1 y un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9. Modos de realización preferentes de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

40 **[0007]** Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor cuando la siguiente descripción detallada se lea con referencia a los dibujos adjuntos, en los que caracteres similares representan partes similares en todos los dibujos, en los que:

45 la FIG. 1 es un diagrama esquemático que ilustra un modo de realización de un sistema que tiene un conmutador que acopla una fuente de alimentación y/o una carga y que tiene un controlador de conmutador acoplado operativamente al conmutador;

la FIG. 2 es un diagrama de flujo que ilustra un modo de realización de un procedimiento para controlar el funcionamiento del conmutador usando el controlador de conmutador de la FIG. 1;

50 la FIG. 3 es un gráfico que ilustra características de corriente-tensión (IV) de un modo de realización de ejemplo del conmutador de la FIG. 1, en el que la corriente inversa fluye predominantemente a través de una ruta de conducción de tercer cuadrante o una ruta de conducción de diodo de cuerpo del conmutador a 25 °C o 125 °C durante eventos de sobrecarga de corriente;

55 la FIG. 4 es un diagrama esquemático de una parte del sistema de la FIG. 1 que ilustra componentes de un modo de realización del controlador de conmutador;

60 la FIG. 5A es un gráfico que ilustra una respuesta de caída de tensión de un ejemplo de conmutador de carburo de silicio (SiC) que funciona en modo de conducción inversa durante un evento de sobrecarga de corriente, en el que la corriente inversa fluye predominantemente a través de la ruta de conducción de tercer cuadrante del conmutador, de acuerdo con un modo de realización;

65 la FIG. 5B es un gráfico que ilustra una respuesta de disipación de potencia del conmutador SiC de la FIG. 5A funcionando en modo de conducción inversa durante el evento de sobrecarga de corriente, en el que la corriente inversa fluye predominantemente a través de la ruta de conducción de diodo de cuerpo del conmutador, de acuerdo con un modo de realización;

la FIG. 6A es un gráfico que ilustra la respuesta de caída de tensión del conmutador SiC de la FIG. 5A funcionando en modo de conducción inversa durante el evento de sobrecarga de corriente, en el que la corriente inversa fluye predominantemente a través de la ruta de conducción de tercer cuadrante del conmutador, de acuerdo con un modo de realización; y

la FIG. 6B es un gráfico que ilustra la respuesta de disipación de potencia del conmutador SiC de la FIG. 5A funcionando en modo de conducción inversa durante el evento de sobrecarga de corriente, en el que la corriente inversa fluye predominantemente a través de la ruta de conducción de tercer cuadrante del conmutador, de acuerdo con un modo de realización.

[0008] A continuación, se describirán uno o más modos de realización específicos de la presente materia. En un esfuerzo por proporcionar una descripción concisa de estos modos de realización, es posible que determinadas características de una implementación real no se describan en la memoria descriptiva. Se debe apreciar que, en el desarrollo de cualquier implementación real, como en cualquier proyecto de ingeniería o diseño, se deben tomar numerosas decisiones específicas de la implementación para lograr los objetivos específicos de los desarrolladores, tales como el cumplimiento de las restricciones relacionadas con el sistema y el negocio, los cuales pueden variar de una implementación a otra. Además, se debe apreciar que dicho esfuerzo de desarrollo podría ser complejo y requerir mucho tiempo, pero no obstante sería una tarea rutinaria de diseño, fabricación y manufactura para los expertos en la técnica que se benefician de esta divulgación.

[0009] Cuando se presentan elementos de diversos modos de realización de la presente invención, los artículos "un/a", "el/la", "los/las" y "dicho(s)/a(s)" pretenden indicar que hay uno o más de los elementos. Los términos "que comprende(n)", "que incluye(n)" y "que tiene(n)" pretenden ser inclusivos y expresan que puede haber elementos adicionales distintos de los elementos enumerados. La solicitud puede hacer referencia a determinadas métricas de medición eléctrica. De este modo, debe entenderse que "W" puede referirse a vatios, "J" puede referirse a julios, "A" puede referirse a amperios y "V" puede referirse a voltios. También debe entenderse que las métricas térmicas, tales como los grados Celsius, pueden indicarse mediante "°C", como es habitual en la técnica.

[0010] Los dispositivos conmutadores se usan en sistemas eléctricos para acoplar y/o desacoplar fuentes de alimentación y cargas eléctricas. Muchos sistemas emplean dispositivos conmutadores de excitación automática, tales como transistores de efecto de campo de semiconductor de óxido metálico (MOSFET), para implementar convertidores eléctricos, tales como convertidores de tracción y rectificadores que convierten la electricidad de corriente alterna (CA) en electricidad de corriente continua (CC) y convertidores reductores que cambian la tensión de salida de una fuente de alimentación de CC con menos pérdidas.

[0011] El uso de determinados materiales de banda ancha (por ejemplo, carburo de silicio (SiC)) para fabricar regiones de fuente, puerta y drenaje, y/o canales en un dispositivo conmutador MOSFET ofrece ventajas, tales como dimensiones de dispositivo reducidas, control de canal más estricto y corrientes de fuga reducidas, en comparación con otros materiales. Sin embargo, en dimensiones reducidas, la respuesta de un dispositivo conmutador SiC durante eventos de sobrecarga puede dar lugar a una gran resistencia y una caída de tensión sustancial, particularmente durante eventos de sobrecarga que inducen grandes corrientes inversas (por ejemplo, corrientes que inducen una conducción de corriente inversa en el dispositivo MOSFET). Como resultado de esta caída de tensión, la potencia disipada durante los eventos de sobrecarga puede ser grande y puede dar lugar a esfuerzos térmicos, lo que puede causar fallos en el dispositivo conmutador y/o en el sistema que rodea al dispositivo conmutador.

[0012] En la presente solicitud, se hace referencia a eventos de sobrecarga o eventos de corriente de sobrecarga. Un evento de corriente de sobrecarga puede definirse con referencia a las especificaciones de un dispositivo electrónico, tal como un transistor y/o un diodo. Los eventos de sobrecarga pueden ser eventos en los que la corriente puede hacer que la unión del dispositivo (por ejemplo, una unión de diodo, una unión de transistor) se caliente a una temperatura muy por encima de los valores máximos nominales. El evento de corriente de sobrecarga puede definirse, por ejemplo, como la corriente que excede un valor pico máximo permitido dependiente de ancho de pulso de una corriente de sobrecarga semisinusoidal, aplicada en el instante en que el semiconductor de potencia está funcionando a su temperatura máxima de unión. Típicamente, en la hoja de datos que contiene la especificación del dispositivo puede aparecer una corriente pico máxima permitida (no repetitiva) durante una media onda sinusoidal de 10 ms. El evento de corriente de sobrecarga también se puede definir en base a un valor i^2t especificado para el dispositivo.

[0013] Teniendo en cuenta lo anterior, los modos de realización que se divulgan en el presente documento están dirigidos a sistemas y procedimientos para operar un conmutador. Los dispositivos pueden, por ejemplo, reducir la caída de tensión antes mencionada en un conmutador debido a un evento de sobrecarga de corriente que induce corrientes inversas en el conmutador. Los dispositivos también pueden usarse, por ejemplo, para operar el conmutador durante el modo de corriente inversa. Más específicamente, los presentes modos de realización están dirigidos a controlar el funcionamiento del conmutador de manera que la corriente atraviese

predominante o principalmente una de las dos posibles rutas eléctricas a través del funcionamiento del conmutador, cuando funciona en un modo de conducción inversa. La primera ruta eléctrica (denominada en el presente documento la ruta de conducción de tercer cuadrante o la ruta de conducción de canal MOSFET) incluye el canal del conmutador MOSFET, mientras que la segunda ruta eléctrica (también conocida como ruta de conducción de diodo de cuerpo) incluye un diodo de cuerpo del conmutador. El controlador de conmutador selecciona la ruta de corriente particular basándose en las condiciones medidas (por ejemplo, corriente de fuente-drenaje, tensión fuente-drenaje, temperatura) del dispositivo conmutador para mitigar la caída de tensión y, como consecuencia, la potencia disipada en el dispositivo conmutador debido al evento de sobrecarga puede reducirse. Debe observarse además que, para determinados sistemas, el conmutador está diseñado para funcionar regularmente en modo de conducción inversa, y el evento de sobrecarga puede ser un evento de alta sobrecarga de corriente que incrementa sustancialmente la corriente inversa.

[0014] Teniendo en cuenta lo anterior, la FIG. 1 ilustra un modo de realización de un sistema 100 que tiene un controlador de conmutador 102 (también denominado unidad de excitación de puerta) para facilitar el funcionamiento de al menos un conmutador 104 del sistema 100. Como se ilustra, el controlador de conmutador 102 está acoplado operativamente al conmutador 104. En el modo de realización ilustrado, el conmutador 104 es un transistor, tal como un transistor MOSFET SiC, que tiene un terminal de drenaje 106, un terminal de fuente 108 y un terminal de control 109. El controlador de conmutador 102 supervisa eléctricamente el conmutador 104 a través de los terminales 106 y/o 108 del conmutador 104. Como se detalla a continuación, la supervisión puede incluir supervisar tensiones y/o corrientes. Cabe destacar que se pueden obtener otras mediciones, incluida la temperatura, de los terminales 106 y/o 108, o por medio de un dispositivo de detección de temperatura acoplado comunicativamente, como se detalla en el presente documento.

[0015] En el modo de realización ilustrado, el controlador de conmutador 102 controla el conmutador 104 proporcionando una tensión de excitación 110 adecuada al terminal de control 109 del conmutador 104. La tensión de excitación 110 puede ser, por ejemplo, una señal de tensión que cambia una o más propiedades eléctricas (por ejemplo, resistividad, impedancia, conductividad) entre el terminal de drenaje 106 y el terminal de fuente 108 del conmutador 104. La tensión entre el terminal de control 109 y el terminal de fuente 106 determina, en general, la cantidad de corriente que fluye entre el terminal de fuente 108 y el terminal de drenaje 106, a través del canal de transistor (por ejemplo, el conmutador 104). En el modo de realización ilustrado, el conmutador 104 es un dispositivo conmutador MOSFET que incluye un diodo de cuerpo 112 que es parásito o está colocado intencionalmente para los fines descritos en el presente documento. En dichos modos de realización, el diodo de cuerpo 112 permite un flujo de corriente unidireccional entre los terminales 106 y 108 en función de una diferencia de tensión entre los terminales 106 y 108, y puede no ser controlado directamente por la tensión de excitación 110 proporcionada a través del terminal de control 109.

[0016] En el modo de realización ilustrado del sistema 100, el conmutador 104 se usa para regular las corrientes eléctricas a través del circuito eléctrico dispuesto entre una fuente de alimentación 120 y una carga 122. De este modo, en determinados modos de realización, el conmutador 104 puede ser un componente de un regulador de tensión, un rectificador, un convertidor de tensión (por ejemplo, un convertidor reductor, un convertidor de potencia de tracción) y/o un protector contra sobrecargas. El conmutador 104 es controlado por el controlador de conmutador 102 para proporcionar una señal de tensión particular a la carga 122 cuando la fuente de alimentación 120 no es fiable ni estable. De otro modo, el conmutador 104 puede ser controlado por el controlador de conmutador 102 para proteger la fuente de alimentación 120 contra las demandas de carga de la carga 122 que excedan los márgenes de seguridad predeterminados para el funcionamiento. Por ejemplo, una sobrecarga de potencia 124 o evento de sobrecarga de corriente es una perturbación que puede gestionarse mediante el uso del conmutador 104. La sobrecarga de potencia 124 puede ser causada por una demanda excesiva de la carga 122 o una perturbación en la generación en la fuente de alimentación 120, y puede dar lugar a grandes corrientes en el conmutador 104.

[0017] Como se ha comentado anteriormente, cuando el conmutador 104 ilustrado está funcionando en modo de conducción inversa, el conmutador incluye dos posibles rutas eléctricas (es decir, la ruta de conducción de tercer cuadrante y la ruta de conducción de diodo de cuerpo) entre el terminal de fuente 106 y el terminal de drenaje 108. Cuando el conmutador 104 está funcionando en un modo de conducción directa, el diodo de cuerpo 112 generalmente impide que la corriente fluya en sentido inverso entre el terminal de drenaje 108 y el terminal de fuente 106 y la corriente (es decir, los portadores de carga) puede viajar a través del canal de conmutador. Por el contrario, cuando el conmutador 104 está funcionando en modo de conducción inversa, la corriente puede fluir entre el terminal de fuente 106 y el terminal de drenaje 108 a través del canal del conmutador, lo que también se denomina en el presente documento ruta de conducción de tercer cuadrante, y/o a través de la ruta eléctrica de diodo de cuerpo, dependiendo de la tensión de excitación 110 suministrada al terminal de control 109. Es decir, como se comenta con más detalle a continuación, durante el funcionamiento en el modo de conducción inversa, la corriente fluye predominantemente usando la ruta de conducción de tercer cuadrante o la ruta eléctrica de diodo de cuerpo, en base a la tensión de excitación 110 recibida del controlador de conmutador 102. Como se describe con más detalle a continuación, en determinados modos de realización, cuando la tensión de la sobrecarga de potencia 124 es relativamente baja, se puede usar la ruta de conducción de tercer cuadrante, mientras que en otras situaciones se puede usar la ruta de diodo de cuerpo.

[0018] La FIG. 2 es un diagrama de flujo que ilustra un modo de realización de un procedimiento 150 para ajustar una tensión de excitación 110 proporcionada por el controlador de conmutador 102 para seleccionar entre la ruta de conducción de tercer cuadrante y la ruta de conducción de diodo de cuerpo del conmutador 104 durante un evento de sobrecarga 124 cuando el conmutador 104 está funcionando en modo de conducción inversa. El procedimiento 150 puede realizarse mediante un controlador de conmutador 102 u otro circuito de control o procesamiento adecuado del sistema 100. El procedimiento 150 ilustrado comienza en el bloque 152, en el que el controlador de conmutador 102 detecta o mide la tensión entre los terminales 106 y 108 del conmutador 100. Por ejemplo, la detección de tensión del bloque 152 puede realizarse durante un evento de sobrecarga 124. La tensión se puede medir como la diferencia de tensión entre la tensión de fuente y la tensión de drenaje, V_{SD} . Una tensión negativa de fuente-drenaje (por ejemplo, $V_{SD} < 0$) indica que el conmutador 104 está funcionando en modo de conducción directa, mientras que una tensión positiva de fuente-drenaje (por ejemplo, $V_{SD} > 0$) indica que el conmutador 104 está funcionando en modo de conducción inversa. Cabe destacar que, en determinados sistemas, el conmutador 104 está diseñado para funcionar estrictamente en modo de conducción directa y, de este modo, la V_{SD} solo puede ser positiva durante un evento de sobrecarga 104. Por el contrario, en determinados modos de realización, el conmutador 104 puede estar diseñado para funcionar normalmente en el modo de conducción inversa y, de este modo, una V_{SD} negativa no indica necesariamente que se está produciendo una sobrecarga de potencia 124 en dichos sistemas.

[0019] El procedimiento 150 ilustrado continúa en el bloque 154, en el que el controlador de conmutador 102 determina una tensión límite (V_{T-RCP}) para el funcionamiento del conmutador 104. V_{T-RCP} es, en general, un valor para V_{SD} en el que es adecuado que el controlador de conmutador 102 controle el conmutador 104 para cambiar entre la ruta de conducción de tercer cuadrante y la ruta de conducción de diodo de cuerpo durante el funcionamiento en modo de conducción inversa. V_{T-RCP} puede determinarse en base a características medidas previamente (por ejemplo, determinadas previamente) del dispositivo conmutador 104. En algunos modos de realización, una tabla de consulta o alguna otra estructura de datos similar almacenada en una memoria asociada al controlador de conmutador 102 se puede usar para determinar la V_{T-RCP} en base a un parámetro medido del conmutador 104. V_{T-RCP} también puede ajustarse en base a determinadas características operativas del conmutador 104, tal como la temperatura o la antigüedad del conmutador 104. La tabla de consulta también se puede usar para ajustar la V_{T-RCP} . Por ejemplo, una tabla de consulta para un conmutador 104 particular puede incluir una lista de valores de V_{T-RCP} en función de una temperatura medida del conmutador 104, como se detalla a continuación. Los procedimientos para determinar V_{T-RCP} se detallan a continuación.

[0020] Continuando con el procedimiento 150 ilustrado, en el bloque de decisión 156, el controlador de conmutador 102 compara la tensión de fuente-drenaje (V_{SD}) medida con la tensión límite de ruta de conducción inversa (V_{T-RCP}) para determinar si la corriente debe atravesar la ruta de conducción de tercer cuadrante o la ruta de conducción de diodo de cuerpo del conmutador 104. Esta comparación también puede usarse para determinar si el sistema 100 está experimentando un evento de sobrecarga 124 particular cuando funciona en el modo de conducción inversa. Por ejemplo, como se detalla a continuación, a bajas tensiones (por ejemplo, $V_{SD} < V_{T-RCP}$), que indican eventos de sobrecarga débil o eventos sin sobrecarga, el controlador de conmutador 102 puede controlar el conmutador 104 para seleccionar la ruta de conducción de tercer cuadrante. Por consiguiente, en el bloque 158, el controlador de conmutador 102 proporciona una tensión de excitación 110 adecuada al conmutador 104 para hacer que la corriente inversa fluya predominantemente a través de la ruta de conducción de tercer cuadrante. Por el contrario, durante eventos de sobrecarga intensa, como cuando $V_{SD} > V_{T-RCP}$, el controlador de conmutador 102 puede controlar el conmutador 104 para seleccionar la ruta de conducción de diodo de cuerpo. Por consiguiente, en el bloque 160, el controlador de conmutador 102 proporciona una tensión de excitación 110 adecuada al conmutador 104 para hacer que la corriente inversa fluya predominantemente a través del diodo de cuerpo 112.

[0021] Como se ha comentado anteriormente, controlar la ruta eléctrica de la corriente inversa del conmutador 104 durante un evento de sobrecarga puede limitar los efectos indeseables del evento de sobrecarga. Por ejemplo, la FIG. 3 es un gráfico 200 que ilustra la corriente 202 del conmutador 104 en función de la tensión de fuente-drenaje 204 del conmutador 104 que funciona a diferentes temperaturas, en el que la corriente fluye predominantemente a través de la ruta de conducción de tercer cuadrante o la ruta de conducción de diodo de cuerpo. De este modo, el gráfico 200 de la FIG. 3 ilustra cómo la ruta de corriente inversa puede limitar los efectos de las corrientes de sobrecarga, cómo se pueden determinar las tensiones límite para un conmutador en particular y cómo se pueden compensar los efectos de la temperatura en los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento. El gráfico 200 incluye una región 210 relacionada con eventos de sobrecarga de corriente relativamente baja, y una región 212 relacionada con eventos de sobrecarga de corriente relativamente alta.

[0022] En particular, la curva 220 representa el comportamiento IV del conmutador 104 en el que la corriente inversa fluye predominantemente a través de la ruta de conducción de diodo de cuerpo a 25 °C, mientras que la curva 222 representa el comportamiento IV del conmutador 104 en el que la corriente inversa fluye predominantemente a través de la ruta de conducción de tercer cuadrante a 25 °C. En el conmutador representado en la FIG. 3, las curvas 220 y 222 se intersecan en el punto de cruce 224. El punto de cruce 224

se puede usar para determinar una primera tensión límite (V_{T-RCP}) 226 para el conmutador 104 cuando funciona a 25 °C. De acuerdo con el procedimiento 150 de la FIG. 2, el controlador de conmutador 102 indica al conmutador 104 que use la ruta de diodo de cuerpo cuando V_{SD} esté por encima de la primera V_{T-RCP} 226, e indica al conmutador 104 que use la ruta de conducción de tercer cuadrante cuando V_{SD} esté por debajo de la primera V_{T-RCP} 226. De este modo, cuando el conmutador 104 se controla, como se divulga en el presente documento, a 25 °C, el conmutador demuestra un comportamiento IV que corresponde a la curva 220 cuando V_{SD} está por debajo de la primera V_{T-RCP} 226, y demuestra un comportamiento IV que corresponde a la curva 222 cuando V_{SD} está por encima de la primera V_{T-RCP} 226. Dado que la primera V_{T-RCP} 226 se determina en base al punto de cruce 224, los procedimientos descritos en el presente documento permiten una minimización de la caída de tensión durante eventos de sobrecarga de corriente. La reducción de la caída de tensión puede reducir la cantidad de esfuerzo térmico debido al calor generado en el conmutador 104, así como las pérdidas de conducción globales, durante el evento de sobrecarga.

[0023] También se reconoce actualmente que los cambios de temperatura pueden afectar el comportamiento IV del conmutador 104. Por consiguiente, en el gráfico 200 de la FIG. 3, la curva 230 representa el comportamiento IV del conmutador 104, en el que la corriente inversa fluye predominantemente a través de la ruta de conducción de diodo de cuerpo a 125 °C, mientras que la curva 232 representa el comportamiento IV del conmutador 104, en el que la corriente inversa fluye predominantemente a través de la ruta de conducción de tercer cuadrante a 125 °C. Las curvas 230 y 232 se intersecan en el punto de cruce 234, y el controlador de conmutador 102 puede usar el punto de cruce 234 para determinar una segunda tensión límite de ruta de conducción inversa (V_{T-RCP}) 236 para el conmutador que funciona a 125 °C. En este ejemplo, la segunda V_{T-RCP} 236 para el conmutador que funciona a 125 °C es menor que la primera V_{T-RCP} 226 (para el conmutador que funciona a 25 °C). Por tanto, se puede apreciar que el controlador de conmutador 102 puede ajustar la V_{T-RCP} basándose en la temperatura del conmutador 104, como se ha comentado anteriormente. Además, el controlador de conmutador 102 también puede incluir, o estar acoplado comunicativamente a, sensores adecuados configurados para medir la temperatura del conmutador 104. En determinados modos de realización, el controlador de conmutador 102 también puede hacer un seguimiento de la vida útil del conmutador 104, por ejemplo, almacenando la cantidad de tiempo de funcionamiento del conmutador (por ejemplo, el tiempo de actividad) en una memoria del controlador 102. En dichos modos de realización, el controlador de conmutador 102 puede, de forma adicional o alternativa, ajustar la V_{T-RCP} de acuerdo con la antigüedad del conmutador. Por ejemplo, un desarrollador puede medir el impacto de la antigüedad en el comportamiento IV de un conmutador 104, y puede almacenar en una memoria del controlador de conmutador 102 una lista de ajustes de V_{T-RCP} determinados usando los puntos de cruce, como se ha comentado anteriormente para la temperatura.

[0024] La FIG. 4 es un diagrama 250 que ilustra una parte de un modo de realización del sistema 100 de la FIG. 1. Como en la FIG. 1, la parte del sistema 100 ilustrada en la FIG. 4 incluye el controlador de conmutador 102 acoplado operativamente al conmutador 104. En el ejemplo ilustrado en la FIG. 4, el conmutador 104 es un conmutador MOSFET, tal como un dispositivo MOSFET de carburo de silicio (SiC). El conmutador MOSFET 104 incluye el terminal de fuente 106, el terminal de drenaje 108 y el terminal de puerta (por ejemplo, el terminal de control 109), acoplados operativamente al controlador de conmutador 102, como se ha comentado. En particular, como se ha mencionado, el controlador de conmutador 102 genera y proporciona la tensión de excitación 110 al terminal de puerta del conmutador MOSFET 104 para controlar el funcionamiento del conmutador.

[0025] El controlador de conmutador 102 ilustrado incluye un procesador 252 y un sensor de tensión 254 que están acoplados de forma comunicativa. En el modo de realización ilustrado, el sensor de tensión 254 incluye un diodo de bloqueo 251 dispuesto entre una fuente de corriente 253 y el terminal de fuente 108. Como se ilustra, en determinados modos de realización, el sensor de tensión 254 incluye un convertidor de analógico a digital (ADC) que está acoplado operativamente a la fuente de corriente para supervisar la caída de tensión en el diodo de bloqueo 251. En el modo de realización ilustrado, la tensión medida por el sensor de tensión 254, que puede ser la tensión de fuente-drenaje V_{SD} , se proporciona al procesador 252 por medio de un bus interno del controlador de conmutador 102. Si bien el modo de realización ilustrado muestra una implementación particular para el sensor de tensión 254, debe entenderse que se pueden usar otros sistemas de medición. Además, como se ha comentado anteriormente, los sensores de temperatura también pueden estar presentes en el controlador de conmutador 102 y pueden estar acoplados al procesador 252. Los sensores de temperatura pueden ser, por ejemplo, termistores de coeficiente de temperatura negativo (NTC). También se pueden usar termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTC). Los sensores de temperatura pueden supervisar las temperaturas de las uniones.

[0026] El procesador 252 puede recibir la tensión V_{SD} detectada y compararla con la tensión límite de ruta de conducción inversa (V_{T-RCP}) determinada, como se ha comentado anteriormente. La V_{T-RCP} puede recuperarse de una memoria 255, que puede ser parte del controlador de conmutador 102. Además, el procesador 252 puede recibir otros datos, tales como la temperatura y/o la antigüedad del conmutador, como se ha comentado anteriormente, y en consecuencia, determinar la V_{T-RCP} . El procesador 252 puede realizar un procedimiento, tal como el procedimiento 150 de la FIG. 2, para comparar la V_{SD} y la V_{T-RCP} y determinar una ruta de corriente

inversa adecuada (por ejemplo, ruta de conducción de tercer cuadrante o ruta de conducción de diodo de cuerpo) para el conmutador 104. Basándose en la ruta de corriente inversa determinada, el procesador 252 proporciona señales de excitación a una fase de salida 256 para proporcionar una tensión de excitación particular 110 al terminal de puerta. La fase de salida 256 puede, por ejemplo, proporcionar una primera tensión 260 (por ejemplo, +20 V para determinados conmutadores SiC) que abre el canal MOSFET del conmutador 104. La fase de salida 256 puede, por ejemplo, proporcionar una segunda tensión 256 (por ejemplo, -8 V para determinados conmutadores SiC) que cierra el canal MOSFET y, en cambio, desplaza la corriente hacia la ruta de conducción de diodo de cuerpo del conmutador MOSFET 104. De este modo, el dispositivo MOSFET puede funcionar de la manera analizada anteriormente para permitir la caída de tensión reducida mencionada anteriormente a través del conmutador 104 durante eventos de sobrecarga.

[0027] Como se ilustra en la FIG. 4, el controlador de conmutador 102 también puede incluir una interfaz de controlador 258 que puede ser utilizada por el sistema 100 para controlar el controlador de conmutador 102 y el conmutador 104. Por ejemplo, cuando se configura como un convertidor de tracción, el conmutador 104 puede ser operado de una manera adecuada para proporcionar electricidad usando electricidad de corriente continua (CC) desde una fuente de alimentación de corriente alterna (CA). En otro ejemplo, cuando se configura como un convertidor reductor, el conmutador 104 se puede utilizar para convertir desde una tensión de CC a una segunda tensión de CC con menos pérdidas. En dichas situaciones, la interfaz de controlador 258 puede recibir un comando, que puede ser digital (por ejemplo, datos en serie, datos de protocolo Ethernet, etc.) o un comando analógico (por ejemplo, señal de modulación por ancho de pulso (PWM), señal de modulación de frecuencia (FM), una señal de amplitud, etc.), desde los circuitos de control o procesamiento adecuados del sistema 100. La interfaz de controlador 258 puede recibir y transmitir al procesador 252 especificaciones para el funcionamiento del controlador de conmutador 102 y/o del conmutador 104, tal como el ciclo de trabajo del conmutador 104. El procesador 252 puede transmitir o llevar el mensaje a la fase de salida 256 de modo que la fase de salida 256 pueda proporcionar una tensión de excitación 110 adecuada. Como ejemplo, el procesador 252 puede transmitir una PWM recibida desde la interfaz de controlador 258, y la fase de salida 256 puede controlar el conmutador 104 basándose en el mensaje. En otro ejemplo, el procesador 252 puede recibir, por medio de la interfaz de controlador 258, una especificación de un valor porcentual como un valor de coma flotante, y el procesador 252 puede convertir esa información en una señal apropiada para la fase de salida 256, tal como una señal PWM.

[0028] Los gráficos 300 en la FIG. 5A y 320 en la FIG. 5B ilustran la respuesta en función del tiempo 302 de un conmutador MOSFET SiC 104 que funciona en modo de conducción inversa con la ruta de conducción de diodo de cuerpo seleccionada durante un evento de sobrecarga de corriente. En el gráfico 300 de la FIG. 5A, la caída de tensión 304 se refiere a la diferencia de tensión entre la fuente y el drenaje (por ejemplo, tensión de fuente-drenaje o V_{SD}), y la corriente de sobrecarga 306 se refiere a la corriente inducida en el conmutador debido a la sobrecarga. La curva 308, asociada al eje de corriente de sobrecarga 306, ilustra un ejemplo de sobrecarga de corriente experimentada por el conmutador 104. Como indica la curva 308, el evento de sobrecarga en este ejemplo tiene un pico de aproximadamente 1500 A. La curva 310 ilustra la V_{SD} proporcionada a través del conmutador 104 durante el evento de sobrecarga, y la curva 312 ilustra la V_{SD} a través del conmutador 104 medida mediante un modo de realización del controlador de conmutador 102. Como se indica en la región 314 del gráfico 300, la caída de tensión máxima bajo la corriente de evento de sobrecarga (curva 308) está limitada a 5,5 V cuando se selecciona la ruta de conducción de diodo de cuerpo. Como se mencionó, al limitar la caída de tensión pico, los actuales modos de realización permiten una reducción en la cantidad de potencia y calor producidos en el diodo del conmutador 104.

[0029] De hecho, el gráfico asociado 320 de la FIG. 5B ilustra la cantidad de potencia y energía disipadas por el conmutador 104 en función del tiempo 302 durante el evento de sobrecarga de corriente indicado por la curva 308 en la FIG. 5A. De este modo, el gráfico 320 indica la potencia 322 disipada por el conmutador 104, así como la energía acumulada 324 disipada por el conmutador MOSFET SiC 104, durante el evento de sobrecarga de corriente. La curva 326 indica que la potencia disipada por el conmutador sigue la sobrecarga de corriente (curva 308 de la FIG. 5A), con una potencia pico de alrededor de 8000 W cuando se selecciona la ruta de conducción de diodo de cuerpo. La curva 328 indica que la energía acumulada disipada por el conmutador fue de 48 J cuando se selecciona la ruta de conducción de diodo de cuerpo. Como se ha comentado anteriormente, para seleccionar la ruta de conducción de diodo de cuerpo del conmutador 104, el terminal de control 109 puede establecerse en una tensión de puerta (es decir, tensión de puerta-fuente, o V_{GS}) que cierra el canal MOSFET entre la fuente y el drenaje del conmutador 104. En el ejemplo ilustrado, la tensión de puerta-fuente se establece en -8 V para seleccionar la ruta de conducción de diodo de cuerpo del conmutador 104.

[0030] Como referencia para la comparación, los gráficos 330 de la FIG. 6A y 350 de la FIG. 6B ilustran la respuesta en función del tiempo 302 del conmutador MOSFET SiC 104 cuando se selecciona la ruta de conducción de tercer cuadrante durante el mismo evento de sobrecarga de corriente representado en las FIGS. 5A y 5B. Como en el gráfico 300 de la FIG. 5A, la curva 340 en la FIG. 6A ilustra la V_{SD} proporcionada a través del conmutador 104 durante el evento de sobrecarga, y la curva 342 ilustra la V_{SD} a través del conmutador 104 medida por el modo de realización del controlador de conmutador 102. Como se observa en la región 344, la caída de tensión cuando se selecciona la ruta de conducción de tercer cuadrante puede alcanzar

aproximadamente 7,5 V, que es considerablemente más alta que la caída de tensión pico observada cuando se selecciona la ruta de conducción de diodo de cuerpo, como se indica en la región 314 de la FIG. 5A. Se reconoce que el aumento en la caída de tensión puede dar lugar a una mayor disipación de potencia, como se ilustra en el gráfico 350 de la FIG. 6B. La curva 356 de la FIG. 6B indica que la potencia disipada por el conmutador 104 durante el evento de sobrecarga de corriente puede ser muy superior a 8000 W con la ruta de conducción de tercer cuadrante seleccionada, considerablemente más alta que la potencia pico disipada cuando se selecciona la ruta de conducción de diodo de cuerpo, como se indica en la curva 326 de la FIG. 5B. Como resultado, la potencia acumulada disipada con la ruta de conducción de tercer cuadrante seleccionada puede alcanzar aproximadamente 55 J, como se ilustra en la curva 358, que es más alta que la potencia disipada cuando se selecciona la ruta de conducción de diodo de cuerpo, como se indica en la curva 328 de la FIG. 5B. Como se ha comentado anteriormente, para seleccionar la ruta de conducción de tercer cuadrante del conmutador 104, el terminal de control 109 puede establecerse en una tensión de puerta (es decir, tensión de puerta-fuente, o V_{GS}) que mantiene un canal MOSFET abierto entre la fuente y el drenaje del conmutador 104. En el ejemplo ilustrado, la tensión de puerta-fuente se establece en -15 V para seleccionar la ruta de conducción de tercer cuadrante del conmutador 104.

[0031] Si bien los modos de realización de ejemplo comentados en la solicitud están relacionados con dispositivos de conmutación de tensión, debe entenderse que se pueden diseñar controladores de conmutador y procedimientos para su funcionamiento que pueden usar corrientes de detección. Por ejemplo, se puede usar un sensor de corriente para medir la corriente inversa en el terminal de drenaje y/o el terminal de fuente. El procedimiento 150 de la FIG. 2 puede, por tanto, adaptarse para emplear un umbral de corriente para realizar la comparación y decisión descritas. Además, si bien los ejemplos ilustrados se centran en dispositivos MOSFET y/o dispositivos transistores SiC, los procedimientos y sistemas analizados en el presente documento pueden adaptarse a otro conmutador que pueda tener un diodo de cuerpo o una ruta de corriente alternativa que presente una relación de tensión-corriente similar a la relación de características de diodo de cuerpo.

[0032] Los efectos técnicos de los modos de realización presentados en el presente documento pueden incluir el uso de dispositivos conmutadores de alta potencia (por ejemplo, conmutadores MOSFET SiC) que permiten una respuesta mejorada durante eventos de sobrecarga de corriente. Como se ha comentado en el presente documento, un conmutador que funciona en modo de conducción inversa puede controlarse para seleccionar la ruta de conducción de tercer cuadrante o la ruta de conducción de diodo de cuerpo para reducir la caída de tensión durante eventos de sobrecarga, reduciendo el calor que el conmutador disipará como resultado de la sobrecarga. Con ese fin, un controlador de conmutador puede seleccionar la ruta de conducción de tercer cuadrante del conmutador durante eventos de sobrecarga de baja corriente, y el controlador de conmutador puede seleccionar la ruta de conducción de diodo de cuerpo durante eventos de alta sobrecarga de corriente. Como resultado, la potencia disipada en el conmutador durante los eventos de sobrecarga puede reducirse, reduciendo la disipación de calor y la pérdida de energía en el sistema que utiliza el conmutador.

[0033] En esta descripción escrita se utilizan ejemplos para divulgar la invención, incluido el mejor preferente, y también para permitir que cualquier experto en la técnica lleve a la práctica la invención, incluidos la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos concebidos por los expertos en la técnica. Dichos otros ejemplos pretenden estar dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100) que comprende circuitos de conmutación, en el que los circuitos de conmutación comprenden:
- 5 un dispositivo transistor de efecto de campo de semiconductor de óxido metálico, MOSFET, (104) acoplado a una fuente de alimentación (120) y una carga (122); y
- 10 circuitos de excitación de puerta (102) acoplados al dispositivo MOSFET, en el que los circuitos de excitación de puerta comprenden un excitador (256) acoplado a un terminal de control (110) del dispositivo MOSFET y circuitos de procesamiento (252) acoplados al excitador, en el que los circuitos de procesamiento están configurados para:
- 15 determinar un evento de sobrecarga de corriente inversa (308) a través del dispositivo MOSFET en base a una medición en el dispositivo MOSFET;
- 20 configurar el excitador para proporcionar una primera tensión (260) como tensión de excitación al dispositivo MOSFET que hace que el dispositivo MOSFET funcione en un modo de conducción de tercer cuadrante cuando no hay un evento de sobrecarga de corriente inversa;
- 25 configurar el excitador para proporcionar una segunda tensión (262) como tensión de excitación al dispositivo MOSFET que hace que el dispositivo MOSFET funcione en un modo de diodo de cuerpo cuando hay un evento de sobrecarga de corriente inversa;
- 30 recibir una instrucción de conmutación; y
- hacer que el excitador proporcione la tensión de excitación en respuesta a la recepción de la instrucción de conmutación.
2. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el que el terminal de control es un terminal de puerta.
3. El sistema (100) de la reivindicación 1 o 2, en el que la primera tensión está configurada para abrir un canal de drenaje-fuente del dispositivo MOSFET, y en el que la segunda tensión está configurada para cerrar el canal de drenaje-fuente del dispositivo MOSFET.
- 35 4. El sistema de la reivindicación 3, en el que el dispositivo MOSFET comprende un dispositivo MOSFET de carburo de silicio (SiC).
- 40 5. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que los circuitos de procesamiento están configurados para:
- recibir información de temperatura asociada al dispositivo MOSFET; y
- 45 determinar una tensión límite en base a la información de temperatura recibida.
6. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que los circuitos de excitación de puerta comprenden circuitos de medición de tensión que comprenden una fuente de corriente, un diodo de bloqueo acoplado entre la fuente de corriente y un primer terminal del dispositivo MOSFET, y un convertidor de analógico a digital (ADC) acoplado al diodo de bloqueo y la fuente de corriente, y en el que la medición del dispositivo MOSFET comprende una comparación entre una tensión medida por los circuitos de medición de tensión con una tensión límite.
- 50 7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la primera tensión es de 20 voltios y en el que la segunda tensión es de -8 voltios.
- 55 8. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el evento de sobrecarga de corriente inversa a través del dispositivo MOSFET es de más de 1000 amperios.
- 60 9. Un procedimiento (150) para operar un dispositivo transistor de efecto de campo de semiconductor de óxido metálico (MOSFET) (104) en un modo de corriente inversa (124) usando un controlador de excitación de puerta (102), que comprende:
- 65 medir (152) una tensión de drenaje-fuente entre un drenaje (106) del dispositivo MOSFET y una fuente (108) del dispositivo MOSFET;

comparar (156) la tensión de drenaje-fuente medida con una tensión límite (226, 236) para identificar que los dispositivos MOSFET están experimentando un evento de sobrecarga (308);

recibir una instrucción de conmutación;

5

al recibir la instrucción de conmutación, proporcionar (160) al dispositivo MOSFET una primera tensión de puerta-fuente (262) que hace que el dispositivo MOSFET funcione en un modo de diodo de cuerpo durante el evento de sobrecarga; y

10

al recibir la instrucción de conmutación, proporcionar (158) al dispositivo MOSFET una segunda tensión de puerta-fuente (260) que hace que el dispositivo MOSFET funcione en un modo de conducción de tercer cuadrante, cuando está fuera del evento de sobrecarga.

15

10. El procedimiento (150) de la reivindicación 9, en el que el dispositivo MOSFET comprende un dispositivo de carburo de silicio (SiC), y en el que la primera tensión de puerta-fuente es de -8 voltios, y en el que la segunda tensión de puerta-fuente es de 20 voltios.

20

11. El procedimiento (150) de la reivindicación 9 o 10, en el que medir la tensión de drenaje-fuente comprende:

20

proporcionar una corriente desde una fuente de corriente a un diodo de bloqueo acoplado al drenaje del dispositivo MOSFET; y

25

medir la tensión de fuente-drenaje midiendo una tensión en la conexión entre la fuente de corriente y el diodo de bloqueo.

25

12. El procedimiento (150) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que antes de comparar la tensión de drenaje-fuente medida con la tensión límite, el procedimiento comprende:

30

medir una temperatura de unión del dispositivo MOSFET; y

30

ajustar la tensión límite en base a la temperatura de unión.

35

13. El procedimiento (150) de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que ajustar la tensión límite en base a la temperatura de unión comprende recuperar la tensión límite desde una tabla de consulta almacenada en una memoria del controlador de excitación de puerta en base a la temperatura de unión estimada.

DIBUJOS

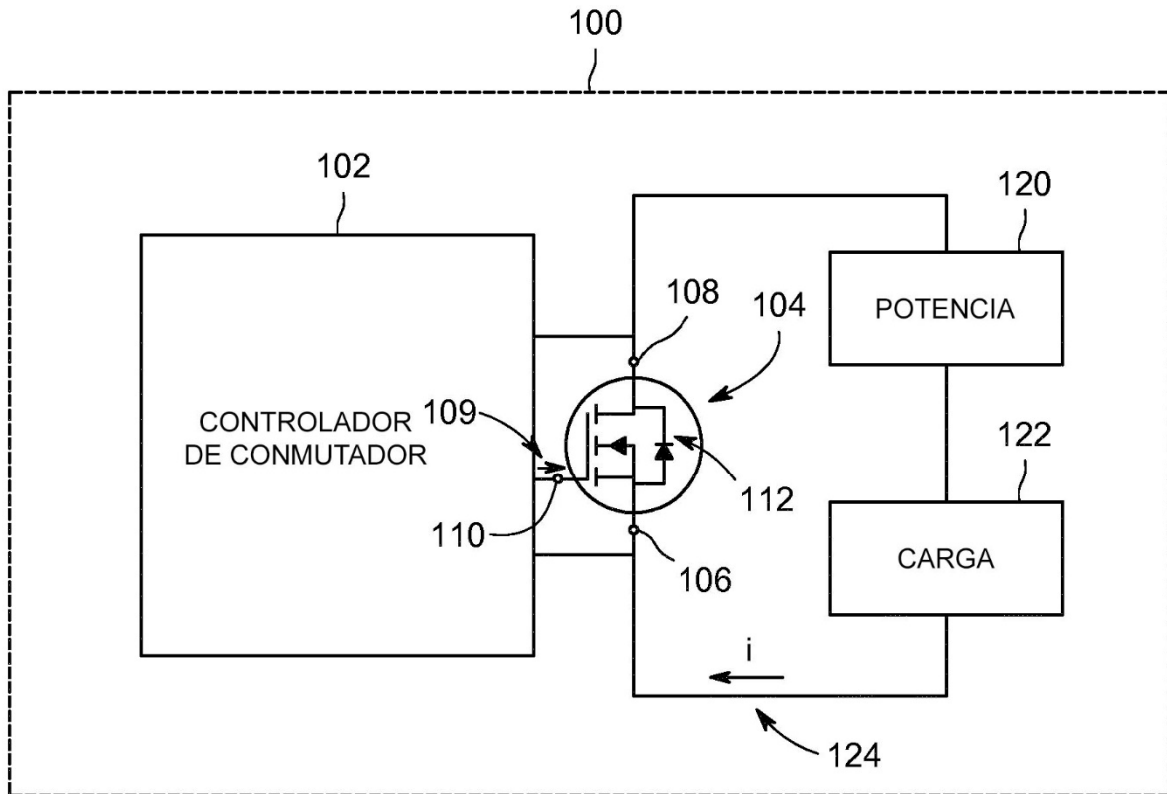


FIG. 1

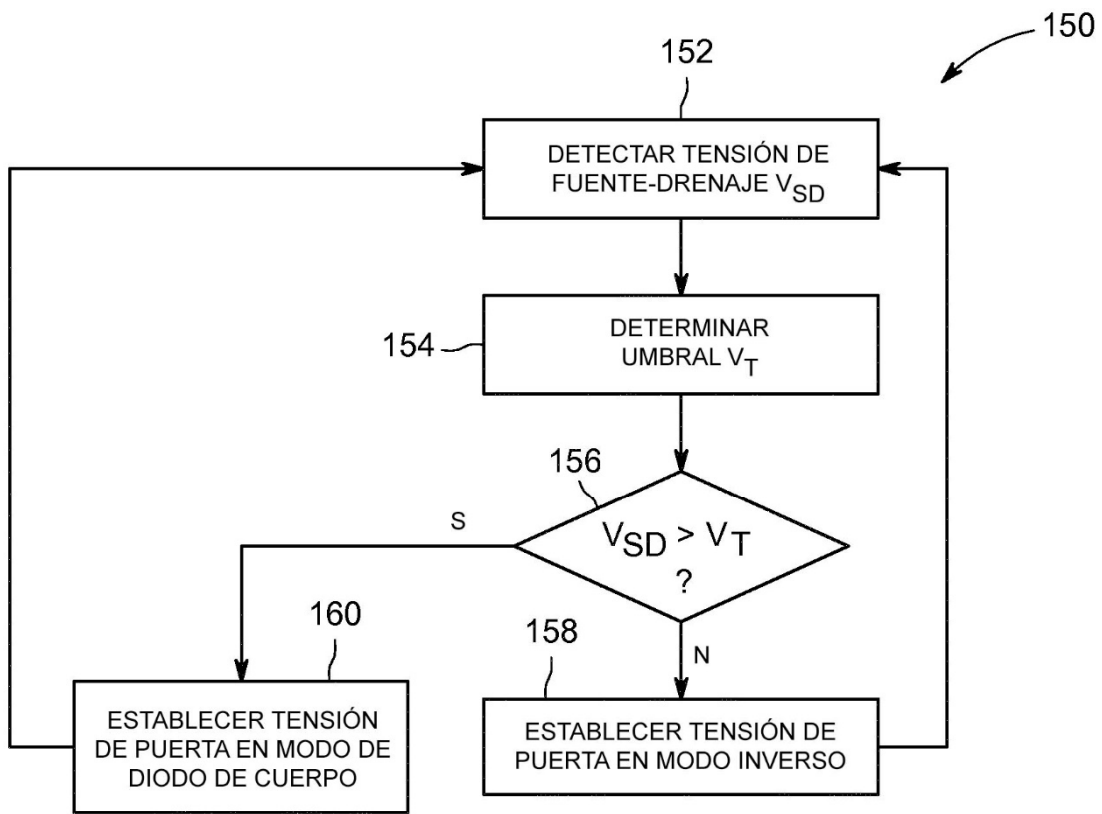


FIG. 2

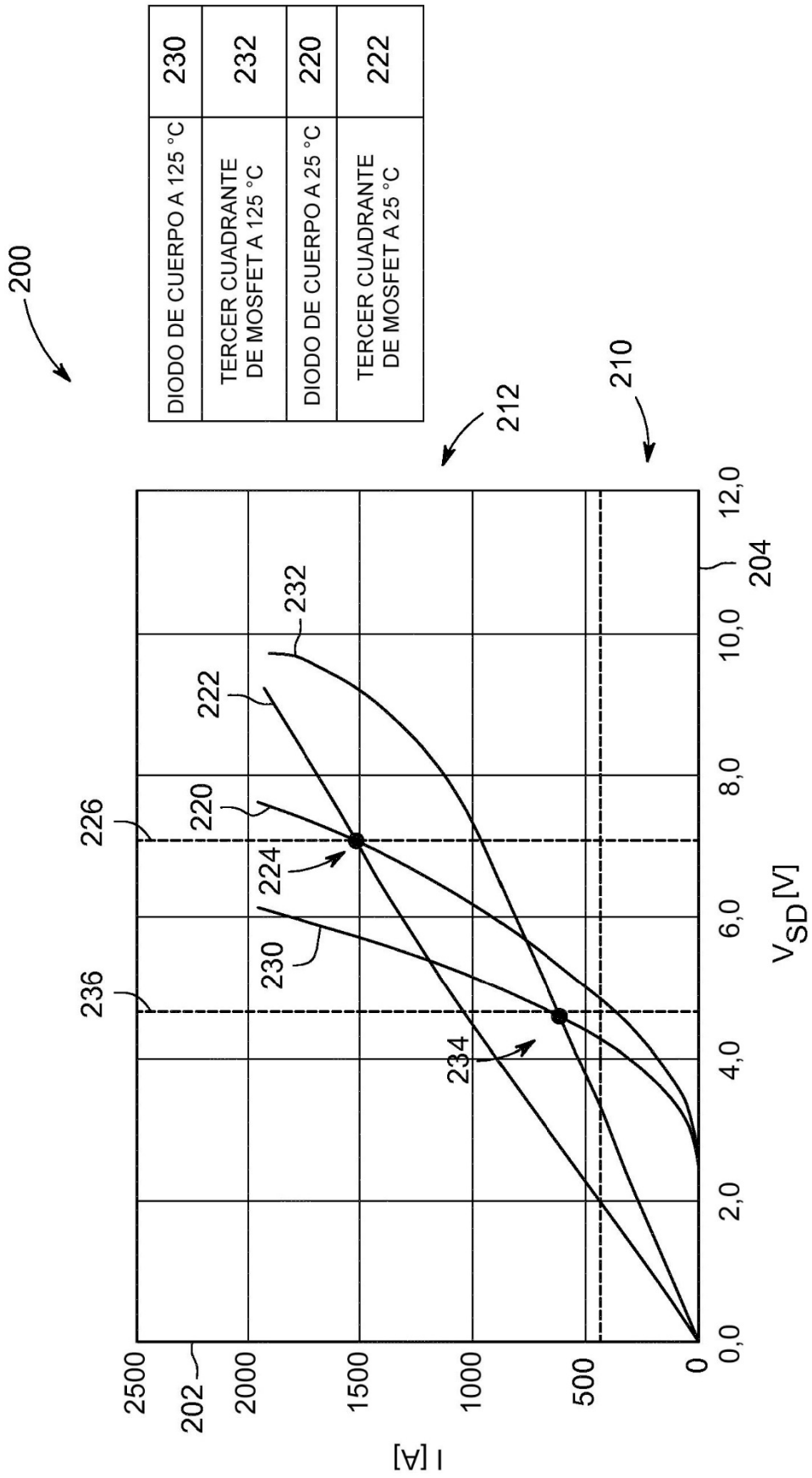


FIG. 3

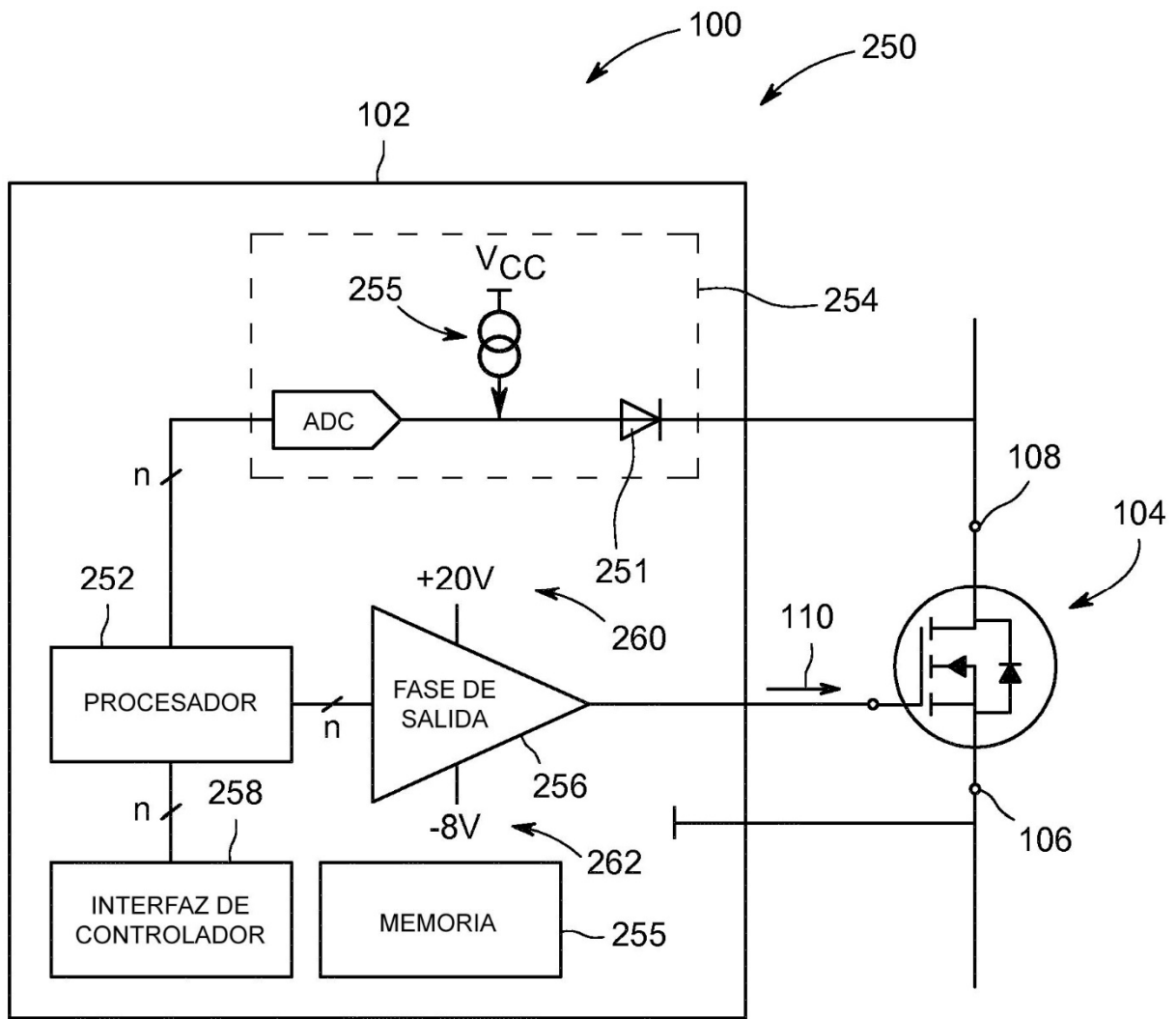


FIG. 4

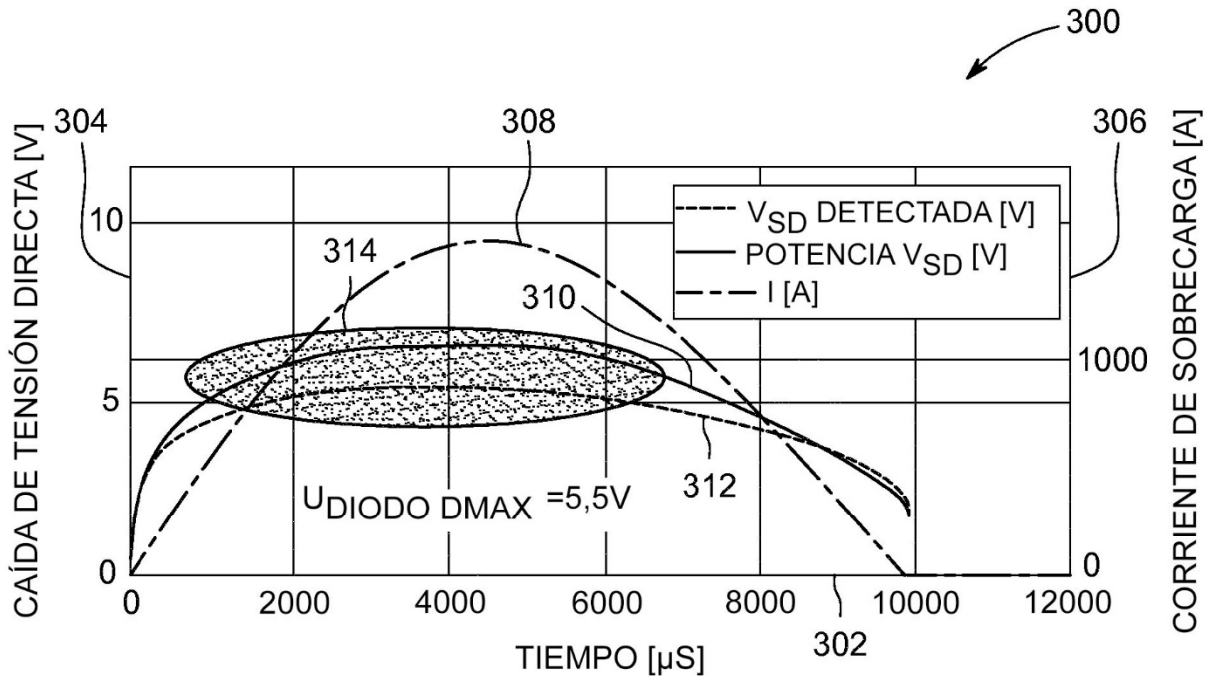


FIG. 5A

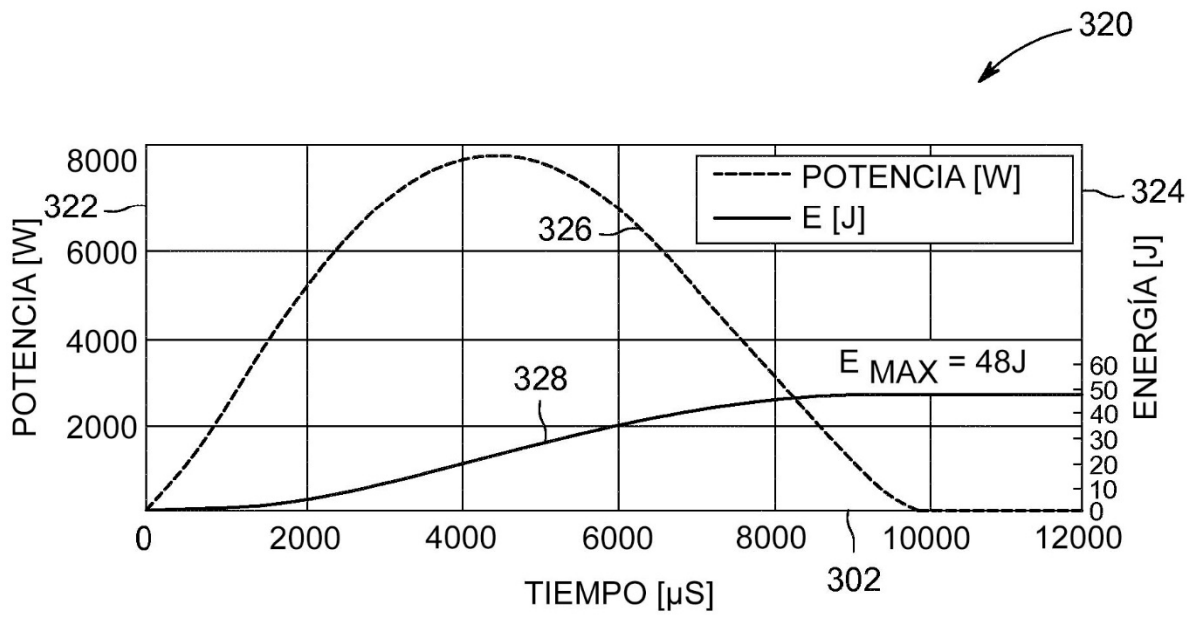


FIG. 5B

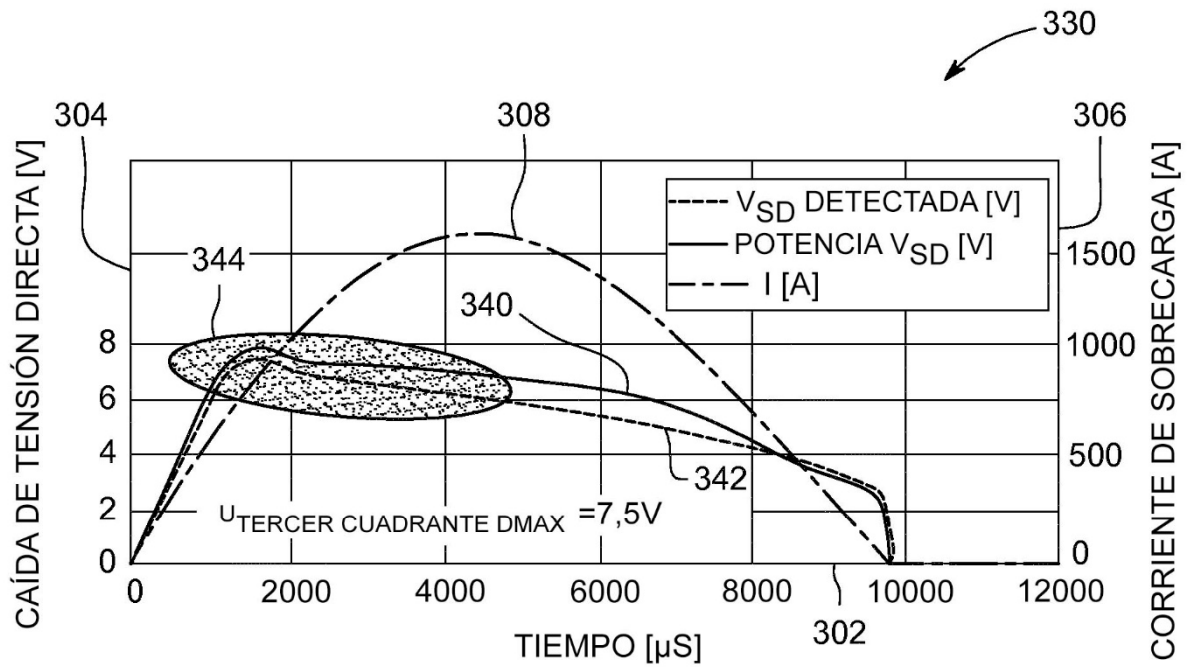


FIG. 6A

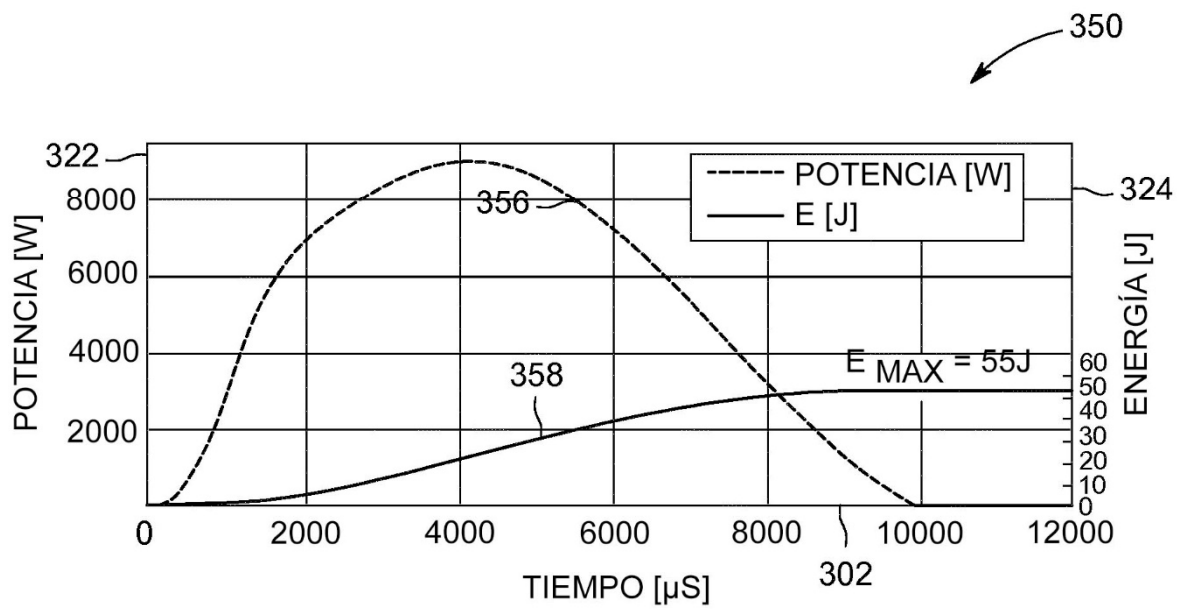


FIG. 6B