

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 667 055**

51 Int. Cl.:

H02P 27/08

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2011** **E 11189255 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018** **EP 2456066**

54 Título: **Máquina de inducción de baja inductancia y alta eficiencia**

30 Prioridad:

19.11.2010 US 949882

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

09.05.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

EL-REFAIE, AYMAN MOHAMED FAWZI y
KING, ROBERT DEAN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 667 055 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

Máquina de inducción de baja inductancia y alta eficiencia

Antecedentes de la invención

5 Las realizaciones de la invención se refieren en general a motores de inducción que tienen una baja inductancia de fuga y, más en concreto, a un método y a un sistema para diseñar máquinas de inducción de baja inductancia y alta eficacia que proporcionan convertidores de potencia que incluyen transistores de efecto de campo de semiconductor de óxido de metal (MOSFET) de carburo de silicio. El documento JP 2009050059 A describe un detector de fallo para detectar un fallo en un convertidor de potencia que incluye una pluralidad de elementos de conmutación.

10 Las máquinas de inducción generalmente se accionan usando un convertidor de potencia con dispositivos de conmutación de silicio activos. Los dispositivos de conmutación normalmente se activan utilizando una técnica de modulación por ancho de pulso (PWM) para convertir una potencia de alimentación de CC en una potencia de CA que se puede usar para accionar la máquina de inducción. En PWM, los dispositivos de conmutación se accionan usando un tren de impulsos de CC. Cuando se aplica repentinamente una tensión procedente del convertidor de potencia a través de una carga inductiva, con el tiempo, la corriente a través de la carga aumenta casi linealmente.

15 Cuando la tensión se desconecta después, la corriente a través de la carga no cae inmediatamente a cero, sino que disminuye aproximadamente de manera lineal con el tiempo, a medida que el campo magnético del inductor colapsa y la corriente fluye en un diodo de circulación libre. Por tanto, los impulsos de tensión de entrada aplicados a través de la carga por el convertidor de potencia se asemejan a una forma de ondulación de corriente dentada. La variación en la corriente de salida se conoce normalmente como la ondulación de corriente.

20 La ondulación de corriente generalmente no es deseable porque desperdicia energía en el inductor y puede causar pulsaciones no deseadas en la carga. La ondulación de corriente produce EMI no deseado y vibraciones mecánicas, y genera pérdidas armónicas en el motor. La corriente armónica pasa por los conductores del estator y del rotor y da lugar a pérdidas armónicas de cobre y el flujo armónico se limita a la superficie de los núcleos y crea pérdidas armónicas de núcleo en el estator y los dientes de rotor. Cuanto mayor es la ondulación de corriente, menor es la calidad de la forma de onda de corriente de una máquina de inducción.

25 La ondulación de corriente se debe principalmente a los armónicos contenidos en la forma de onda de tensión PWM. Para una tensión de barra de CC dada, la ondulación de corriente depende principalmente de la frecuencia de conmutación del convertidor de potencia y de la inductancia transitoria o de fuga de la máquina. La ecuación 1 representa el factor de ondulación de corriente de máquina como una relación de la corriente de fase fundamental máxima de máquina.

$$k_{\text{ondulación}} = \frac{1}{I_{\text{máx}}} \frac{V_{\text{DC}} T_s}{4L_{\sigma}} \quad \text{Ec.1}$$

$I_{\text{máx}}$ es la corriente de fase fundamental máxima (A), V_{DC} es la tensión de barra de CC (V), T_s es el período o los periodos de conmutación y L_{σ} es la inductancia transitoria de máquina (H).

35 Si la inductancia de fuga de una fase de la máquina de inducción es proporcionalmente grande, la ondulación de corriente será normalmente baja independientemente de la frecuencia de conmutación de los dispositivos de conmutación en el convertidor de potencia. Por tanto, cuanto mayor sea la inductancia de fuga de una máquina de inducción, más se parecerá la forma de onda de corriente de salida a una forma de onda ideal. En consecuencia, las máquinas de inducción están diseñadas típicamente para tener una inductancia de fuga suficientemente alta para mantener una ondulación de corriente baja.

40 Sin embargo, el diseño de una máquina que tenga una alta inductancia de fuga tiene una serie de inconvenientes que incluyen una menor eficiencia de máquina y una capacidad reducida de debilitamiento de flujo de máquina. Además, una mayor inductancia de fuga inyecta armónicos a través de huecos de tensión en el sistema de potencia.

45 Para varias aplicaciones, la inductancia de fuga asociada a una fase particular es proporcionalmente baja. Esta baja inductancia de fuga significa que, para la misma frecuencia de portadora, la ondulación de corriente será mucho más alta. Las altas ondulaciones de corriente inyectan cantidades de ruido potencialmente inaceptables en el motor. Si la ondulación de corriente es lo suficientemente alta, esto puede hacer que la salida funcione fuera de sus características específicas. Por ejemplo, en el caso de un motor eléctrico, el aumento de ondulación de corriente da como resultado un control reducido sobre el par y la velocidad del motor. Cuando la ondulación de corriente es lo suficientemente alta, el motor puede fallar por completo porque no está funcionando dentro de su gama de corrientes adecuada.

Una capacidad de debilitamiento de flujo aumentada es una característica importante para una máquina de inducción que se utiliza, por ejemplo, en una aplicación de tracción, en la que es conveniente activar el motor de inducción y de accionamiento en una amplia gama de velocidades con una potencia de salida constante o casi constante para velocidades por encima del punto de esquina de máquina de inducción. El funcionamiento a una velocidad de motor por debajo del punto de esquina a menudo se denomina funcionamiento en la región de «par constante», mientras que el funcionamiento por encima del punto de esquina de la máquina de inducción a menudo se denomina funcionamiento en modo de «potencia constante». En general, un diseño de máquina de inducción con baja inductancia de fuga permite el funcionamiento en un modo de «potencia constante» en una gama de velocidades superior a 3 veces la velocidad base de la máquina de inducción.

Por tanto, sería deseable diseñar una máquina de inducción que mantenga una forma de onda de corriente de calidad y que funcione con una baja inductancia de fuga para aumentar la eficiencia de la máquina y ampliar la capacidad de debilitamiento de flujo de la máquina.

Breve descripción de la invención

De acuerdo con un aspecto de la invención, un sistema de accionamiento eléctrico incluye una máquina de inducción y un convertidor de potencia acoplado eléctricamente a la máquina de inducción para accionar la máquina de inducción. El convertidor de potencia comprende una pluralidad de dispositivos de conmutación de carburo de silicio (SiC). El sistema de accionamiento eléctrico incluye además un controlador que está acoplado eléctricamente al convertidor de potencia y que está programado para transmitir señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC a una frecuencia de conmutación dada de manera que una ondulación de corriente de pico a pico es menor de aproximadamente cinco por ciento.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, un método de fabricación de un sistema de accionamiento eléctrico incluye las etapas de proporcionar una máquina de inducción que tiene una inductancia de fuga dada y proporcionar un convertidor de potencia de SiC que tiene una pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC, en el que el convertidor de potencia de SiC se puede acoplar a una fuente de alimentación. El método también incluye la etapa de proporcionar un controlador que está programado para transmitir señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC a una velocidad que minimiza una ondulación de corriente que puede generarse debido a la inductancia de fuga dada de la máquina de inducción. Además, el método incluye la etapa de acoplar el convertidor de potencia de SiC a la máquina de inducción para accionar la máquina de inducción, y al controlador.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, un sistema de accionamiento de vehículo incluye un convertidor de potencia acoplado eléctricamente a un motor de inducción para accionar el motor de inducción. El convertidor de potencia incluye una pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC y el motor de inducción está diseñado para tener una inductancia de fuga dada. El sistema de accionamiento de vehículo incluye además un controlador programado para enviar señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC para hacer que los dispositivos de conmutación de SiC conmuten a una velocidad que minimice la ondulación de corriente generada debido a la inductancia de fuga dada del motor de inducción.

Varias otras características y ventajas quedarán claras a partir de la siguiente descripción detallada y los dibujos.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos ilustran realizaciones actualmente contempladas para llevar a cabo la invención.

En los dibujos:

La figura 1 ilustra un sistema de accionamiento de máquina de inducción convencional.

La figura 2 ilustra un sistema de accionamiento de máquina de inducción de baja inductancia y alta eficiencia, de acuerdo con una realización de la invención.

Descripción detallada

La figura 1 ilustra un sistema de accionamiento de máquina de inducción trifásica convencional 10. El sistema 10 incluye un enlace de CC 12 que proporciona una tensión de entrada de CC que se convierte o invierte en una forma de onda de CA que alimenta una máquina de inducción de CA 14. Un condensador de filtro de entrada 16 se acopla al enlace de CC 12 para filtrar la tensión VDC en el enlace de CC 12. Un convertidor de potencia 18 recibe la tensión de entrada del enlace de CC 12 cuando la potencia fluye desde el enlace de CC 12 a la máquina de inducción de CA 14. Esta dirección de flujo de potencia se refiere a menudo al funcionamiento en un modo «de propulsión». Cuando la dirección de flujo de potencia es desde la máquina de inducción 14 al convertidor de potencia 18, la tensión de entrada al convertidor de potencia 18 es CA procedente de la máquina de inducción 14, mientras que la salida desde el convertidor de potencia 18 es una tensión CC en el enlace de CC 12. El funcionamiento con flujo de potencia desde la máquina de inducción de CA 14 al convertidor de potencia 18 se refiere a menudo al funcionamiento en un modo de frenado regenerativo que es útil, por ejemplo, en un vehículo en el que es conveniente mantener un valor de velocidad dado en un grado descendente, o mientras desacelera el vehículo.

El convertidor de potencia 18 es un inversor trifásico típico que tiene dos dispositivos de conmutación conectados en serie por conexión de fase. Por ejemplo, unos dispositivos 20 y 22 forman una primera conexión de fase, unos dispositivos 24 y 26 forman una segunda conexión de fase y unos dispositivos 28 y 30 forman una tercera conexión de fase. Los dispositivos 20-30 son dispositivos de conmutación de semiconductor de silicio convencionales tales como, por ejemplo, IGBT de silicio, MOSFET, transistor de potencia de Darlington bipolar de silicio, dispositivos de tipo GTO, SCR o IGCT que tienen una frecuencia de conmutación de no más de 15-20 kHz dependiendo de la potencia nominal de la máquina de inducción 14. Unos diodos 32, 34, 36, 38, 40, 42 están acoplados en una relación antiparalela a través de dispositivos de conmutación de silicio respectivos 20-30.

La figura 2 ilustra un sistema de accionamiento de máquina de inducción 44 de acuerdo con una realización de la invención. El sistema de accionamiento 44 incluye un enlace de CC 46 que tiene una tensión de alimentación de CC V_S 48. El sistema de accionamiento 44 también incluye una fuente de alimentación 50 que proporciona tensión de alimentación de CC V_S 48. En una realización, la fuente de alimentación 50 incluye una fuente de CA 54 y un rectificador 52 configurado para convertir una tensión de alimentación de CA 54 en el enlace de CC o tensión de alimentación V_S . En otra realización, la fuente de alimentación 50 incluye una fuente de alimentación de CC 54, tal como una batería, una celda de combustible o una rueda de inercia con un convertidor electrónico de potencia asociado. En otra realización más, la fuente de alimentación 50 incluye una fuente de alimentación de CC 54, tal como una batería, una celda de combustible, un ultracondensador o una rueda de inercia con control electrónico de potencia asociado acoplado a un convertidor de tensión bidireccional de CC a CC 52 que aumenta la tensión de alimentación al enlace de CC o tensión de alimentación V_S . Un enlace de CC 46 suministra una tensión de salida de CC V_{DC} 56 a un convertidor de potencia o inversor 58, que acciona una máquina de inducción 60. Un condensador de filtro de entrada 62 se ilustra entre un carril de CC positivo 64 y un carril de CC negativo 66 y sirve para proporcionar una función de filtro para las corrientes de alta frecuencia procedentes de la fuente de alimentación 50 para garantizar la calidad de potencia entre los carriles positivo y negativo 64 y 66.

La máquina de inducción 60 incluye un estator 68 y un conjunto de rotor 70. De acuerdo con varias realizaciones de la invención, la máquina de inducción 60 puede ser una máquina asíncrona que tiene, como ejemplos, un rotor de jaula de ardilla o un rotor de anillo deslizante, cada uno de los cuales puede funcionar como un motor o un generador.

El convertidor de potencia 58 recibe tensión de salida de CC V_{DC} 56 del enlace de CC 46 y convierte la tensión de salida de CC para proporcionar una forma adecuada de potencia de CA para accionar la máquina de inducción 60. Según una realización, el convertidor de potencia 58 es un inversor trifásico de CC a CA que tiene una pluralidad de dispositivos de conmutación 72, 74, 76, 78, 80, 82. Cada dispositivo de conmutación 72-82 incluye un MOSFET de carburo de silicio (SiC) 84, 86, 88, 90, 92, 94 y un diodo antiparalelo asociado 96, 98, 100, 102, 104, 106. De acuerdo con una realización, los MOSFET de SiC 84-94 son MOSFET de SiC fabricados por la Compañía General Electric con una frecuencia de conmutación superior a 50 kHz.

El SiC es una sustancia cristalina que tiene propiedades materiales que hacen que sea una alternativa atractiva al silicio para aplicaciones de alta tensión y alta potencia. Por ejemplo, el SiC tiene una banda vacía grande que proporciona una corriente de fuga muy baja, lo que facilita el funcionamiento a temperaturas elevadas. De hecho, los dispositivos semiconductores fabricados sobre un sustrato de SiC pueden soportar temperaturas superiores a 200 grados Centígrados. El SiC también tiene un alto campo de ruptura que es aproximadamente diez veces el del silicio y una conductividad térmica que es aproximadamente tres veces la del silicio, lo que permite proporcionar mayores densidades de potencia con circuitos de SiC. Además, una alta movilidad de electrones de SiC permite una conmutación a alta velocidad, con algunos circuitos de SiC capaces de lograr al menos diez veces más las ganancias de rendimiento de conmutación que dispositivos de conmutación de silicio similares. Por tanto, el SiC se ha considerado un material ventajoso para su uso en la fabricación de dispositivos semiconductores de potencia de próxima generación. Tales dispositivos de SiC incluyen, por ejemplo, diodos Schottky, tiristores y MOSFET. Debido a que los MOSFET de SiC se pueden fabricar más pequeños que los MOSFET de silicio convencionales, los MOSFET de SiC se pueden envasar en un entorno de automoción y se pueden utilizar a temperaturas más altas.

Moviéndonos de izquierda a derecha en la figura 2, unos dispositivos de conmutación 72, 74 están asociados a una primera fase de salida 108, unos dispositivos de conmutación 76, 78 están asociados a una segunda fase de salida 110 y unos dispositivos de conmutación 80, 82 están asociados a una tercera fase de salida 112. Aunque en la figura 2 se ilustra un convertidor de potencia trifásico y una máquina de inducción trifásica, un experto en la técnica entenderá que se pueden aplicar igualmente realizaciones de la presente invención a una realización monofase u otras realizaciones multifase. Por ejemplo, realizaciones alternativas incluyen configuraciones con un número variable de fases, por ejemplo, n-fases, donde $n = 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ o un número mayor, donde cada fase del convertidor de potencia incluye una pluralidad de dispositivos de conmutación similares a dispositivos 84, 86, cada uno con diodos antiparalelos asociados similares a unos diodos 96, 98. Un experto en la técnica reconocerá que, en tales realizaciones alternativas, la máquina de inducción 60 incluirá un número de devanados de fase que coincide con el número de fases del convertidor de potencia 58. Como ejemplo, una realización alternativa puede incluir un convertidor de potencia de 5 fases acoplado a una máquina de inducción que tiene devanados de 5 fases.

Un controlador 114 acoplado a unos MOSFET de SiC 84-94 a través de líneas respectivas 116 está configurado para controlar de forma independiente la conmutación de los MOSFET de SiC 84-94. En una realización, el

controlador 114 es un controlador PWM y está programado para generar una señal PWM para controlar los MOSFET de SiC 84-94. Un experto en la materia reconocerá que se pueden aplicar igualmente técnicas de control alternativas a realizaciones de la invención.

La alta frecuencia de conmutación de los MOSFET de SiC 84-94 permite que la máquina de inducción 60 se diseñe con una baja inductancia de fuga sin tener que preocuparse por el efecto negativo de la ondulación de corriente en la calidad de la forma de onda de corriente. Es decir, la máquina de inducción 60 puede tener una baja inductancia de fuga manteniendo al mismo tiempo una forma de onda de buena calidad. En una realización, la ondulación de corriente de pico a pico es menor de aproximadamente 5 %. Al disminuir la inductancia de fuga de la máquina de inducción 60, aumenta la tensión a la máquina de inducción 60, aumentando así significativamente la eficiencia de la máquina de inducción 60. Además, la disminución de la inductancia de fuga de la máquina de inducción 60 amplía su capacidad de debilitamiento de flujo, permitiendo así una ampliación de la gama de velocidades en la que el sistema de accionamiento 44 puede funcionar en un modo de funcionamiento de «potencia constante». La gama de velocidades de potencia constante a menudo se denomina relación de la velocidad máxima para el funcionamiento en «potencia constante» frente a la velocidad base de una máquina de inducción donde el par se puede mantener en un valor máximo o constante.

Por tanto, de acuerdo con una realización de la invención, un sistema de accionamiento eléctrico incluye una máquina de inducción y un convertidor de potencia acoplado eléctricamente a la máquina de inducción para accionar la máquina de inducción. El convertidor de potencia comprende una pluralidad de dispositivos de conmutación de carburo de silicio (SiC). El sistema de accionamiento eléctrico incluye además un controlador que está acoplado eléctricamente al convertidor de potencia y que está programado para transmitir señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC a una frecuencia de conmutación dada de manera que una ondulación de corriente de pico a pico es menor de aproximadamente cinco por ciento.

Según otra realización de la invención, un método de fabricación de un sistema de accionamiento eléctrico incluye las etapas de proporcionar una máquina de inducción que tiene una inductancia de fuga dada y proporcionar un convertidor de potencia de SiC que tiene una pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC, en el que el convertidor de potencia de SiC se puede acoplar a una fuente de alimentación. El método también incluye la etapa de proporcionar un controlador que está programado para transmitir señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC a una velocidad que minimiza una ondulación de corriente que puede generarse debido a la inductancia de fuga dada de la máquina de inducción. Además, el método incluye la etapa de acoplar el convertidor de potencia de SiC a la máquina de inducción para accionar la máquina de inducción, y al controlador.

De acuerdo con otra realización más de la invención, un sistema de accionamiento de vehículo incluye un convertidor de potencia acoplado eléctricamente a un motor de inducción para accionar el motor de inducción. El convertidor de potencia incluye una pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC y el motor de inducción está diseñado para tener una inductancia de fuga dada. El sistema de accionamiento de vehículo incluye además un controlador programado para enviar señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC para hacer que los dispositivos de conmutación de SiC conmuten a una velocidad que minimice la ondulación de corriente generada debido a la inductancia de fuga dada del motor de inducción.

Esta descripción escrita usa ejemplos para mostrar la invención, incluido el mejor modo, y también para permitir a cualquier persona experta en la técnica que ponga en práctica la invención, incluidos la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier método incorporado. El ámbito de aplicación patentable de la invención está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que les ocurra a los expertos en la materia. Tales otros ejemplos pretenden estar dentro del ámbito de aplicación de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto a los lenguajes literales de las reivindicaciones.

Varios aspectos y realizaciones de la presente invención se definen mediante las siguientes cláusulas numeradas:

1. Sistema de accionamiento eléctrico que comprende:

una máquina de inducción;

un convertidor de potencia acoplado eléctricamente a la máquina de inducción para accionar la máquina de inducción, comprendiendo el convertidor de potencia una pluralidad de dispositivos de conmutación de carburo de silicio (SiC); y

un controlador acoplado eléctricamente al convertidor de potencia y programado para transmitir señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC a una frecuencia de conmutación dada tal que una ondulación de corriente de pico a pico es menor de aproximadamente cinco por ciento.

2. Sistema de accionamiento eléctrico según la cláusula 1, en el que la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC comprende una pluralidad de transistores de efecto de campo de semiconductor de óxido de metal (MOSFET) de SiC.

3. Sistema de accionamiento eléctrico según la cláusula 1 o la cláusula 2, en el que la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC pueden conmutar a una frecuencia de al menos 50 kHz.
4. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que el convertidor de potencia comprende además una pluralidad de diodos conectados en una disposición antiparalela a la pluralidad de transistores MOSFET de SiC.
5. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que el convertidor de potencia es un convertidor de potencia trifásico que comprende N fases, donde N es una de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9; y en el que la máquina de inducción comprende N devanados de fase.
6. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que el convertidor de potencia es un convertidor de potencia monofásico.
7. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que el controlador es un controlador modulado por ancho de pulso (PWM) programado para generar una señal PWM para controlar la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC.
8. Método de fabricación de un sistema de accionamiento eléctrico que comprende las etapas de:
 - 15 proporcionar una máquina de inducción que tiene una inductancia de fuga dada;
 - proporcionar un convertidor de potencia de carburo de silicio (SiC) que tiene una pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC, en el que el convertidor de potencia de SiC puede acoplarse a una fuente de alimentación;
 - proporcionar un controlador, en el que el controlador está programado para transmitir señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC a una velocidad que minimiza una ondulación de corriente que puede generarse debido a la inductancia de fuga dada de la máquina de inducción; y
 - 20 acoplar el convertidor de potencia de SiC a la máquina de inducción para accionar la máquina de inducción, y al controlador.
9. Método según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la provisión del convertidor de potencia de SiC comprende proporcionar un convertidor de potencia de SiC que tiene una pluralidad de transistores de efecto de campo de semiconductor de óxido de metal (MOSFET).
10. Método según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la provisión del controlador comprende proporcionar un controlador programado para hacer que la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC conmute a una velocidad de al menos 50 kHz.
11. Método según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la provisión del controlador comprende proporcionar un controlador modulado por ancho de pulso (PWM) programado para generar una señal PWM para controlar la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC.
12. Método según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la provisión del convertidor de potencia de SiC comprende proporcionar un convertidor de potencia que tiene una de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 fases.
13. Método según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la provisión del convertidor de potencia de SiC comprende proporcionar un convertidor de potencia trifásico.
14. Método según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la provisión de la máquina de inducción comprende proporcionar una máquina de inducción que tiene uno de 3, 5, 7 y 9 devanados de fase.
15. Sistema de accionamiento de vehículo que comprende:
 - 40 un convertidor de potencia acoplado eléctricamente a un motor de inducción para accionar el motor de inducción, en el que el convertidor de potencia comprende una pluralidad de dispositivos de conmutación de carburo de silicio (SiC), y en el que el motor de inducción está diseñado para tener una inductancia de fuga dada; y
 - un controlador programado para enviar señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC para hacer que los dispositivos de conmutación de SiC conmuten a una velocidad que minimice la ondulación de corriente generada debido a la inductancia de fuga dada del motor de inducción.
16. Sistema de accionamiento de vehículo según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC comprende una pluralidad de transistores de efecto de campo de semiconductor de óxido de metal (MOSFET) de SiC.
17. Sistema de accionamiento de vehículo según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC pueden funcionar a una frecuencia de conmutación de al menos 50 kHz.

18. Sistema de accionamiento de vehículo según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que el controlador es un controlador modulado por ancho de pulso (PWM) programado para generar una señal PWM para controlar la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC.
- 5 19. Sistema de accionamiento de vehículo según cualquiera de las cláusulas anteriores, que comprende además una fuente de tensión acoplada a un enlace de CC y configurada para proporcionar una tensión de alimentación al enlace de CC.
20. Sistema de accionamiento de vehículo según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la fuente de tensión comprende una fuente de CC que comprende al menos uno de una batería, un ultracondensador y una rueda de inercia.
- 10 21. Sistema de accionamiento de vehículo según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la fuente de tensión comprende una fuente de CC y un convertidor de tensión bidireccional de CC a CC configurado para aumentar una tensión de fuente de CC a una tensión de enlace de CC.
22. Sistema de accionamiento de vehículo según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la fuente de CC comprende al menos uno de una batería, un ultracondensador y una rueda de inercia.
- 15 23. Sistema de accionamiento de vehículo según cualquiera de las cláusulas anteriores, en el que la fuente de tensión comprende una fuente de CA y un rectificador configurado para convertir una tensión de la fuente de CA en una tensión de enlace de CC.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de accionamiento eléctrico que comprende:
una máquina de inducción (60);
un convertidor de potencia (58) acoplado eléctricamente a la máquina de inducción (60) para accionar la máquina de inducción (60), comprendiendo el convertidor de potencia (58) una pluralidad de dispositivos de conmutación de carburo de silicio (SiC) (72-82); y
un controlador (114) acoplado eléctricamente al convertidor de potencia (58) y programado para transmitir señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC (72-82) a una frecuencia de conmutación dada tal que una ondulación de corriente de pico a pico es menor de aproximadamente cinco por ciento.
2. Sistema de accionamiento eléctrico según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC (72-82) comprende una pluralidad de transistores de efecto de campo de semiconductor de óxido de metal (MOSFET) de SiC (84-94).
3. Sistema de accionamiento eléctrico según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC (72-82) pueden conmutar a una frecuencia de al menos 50 kHz.
4. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el convertidor de potencia (58) comprende además una pluralidad de diodos (96-106) conectados en una disposición antiparalela a la pluralidad de transistores MOSFET de SiC (84-94).
5. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el convertidor de potencia (58) es un convertidor de potencia trifásico.
6. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el convertidor de potencia (58) es un convertidor de potencia multifase que comprende N fases, donde N es una de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.
7. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la máquina de inducción (60) comprende N devanados de fase.
8. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el convertidor de potencia (58) es un convertidor de potencia monofásico.
9. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador (114) es un controlador modulado por ancho de pulso (PWM) programado para generar una señal PWM para controlar la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC (72-82).
10. Sistema de accionamiento eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una fuente de tensión (50) que comprende al menos uno de una batería, un ultracondensador y una rueda de inercia.
11. Método de fabricación de un sistema de accionamiento eléctrico, comprendiendo el método las etapas de:
proporcionar una máquina de inducción que tiene una inductancia de fuga dada;
proporcionar un convertidor de potencia de carburo de silicio (SiC) que tiene una pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC, en el que el convertidor de potencia de SiC puede acoplarse a una fuente de alimentación;
proporcionar un controlador, en el que el controlador está programado para transmitir señales de conmutación a la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC a una velocidad que minimiza una ondulación de corriente que puede generarse debido a la inductancia de fuga dada de la máquina de inducción; y
acoplar el convertidor de potencia de SiC a la máquina de inducción para accionar la máquina de inducción, y al controlador.
12. Método según la reivindicación 11, en el que la provisión del convertidor de potencia de SiC comprende proporcionar un convertidor de potencia de SiC que tiene una pluralidad de transistores de efecto de campo de semiconductor de óxido de metal (MOSFET).
13. Método según cualquiera de las reivindicaciones 11 o 12, en el que la provisión del controlador comprende proporcionar un controlador programado para hacer que la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC conmute a una velocidad de al menos 50 kHz.
14. Método según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que la provisión del controlador comprende proporcionar un controlador modulado por ancho de pulso (PWM) programado para generar una señal PWM para controlar la pluralidad de dispositivos de conmutación de SiC.

15. Método según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, en el que la provisión del convertidor de potencia de SiC comprende proporcionar un convertidor de potencia que tiene una de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 fases.

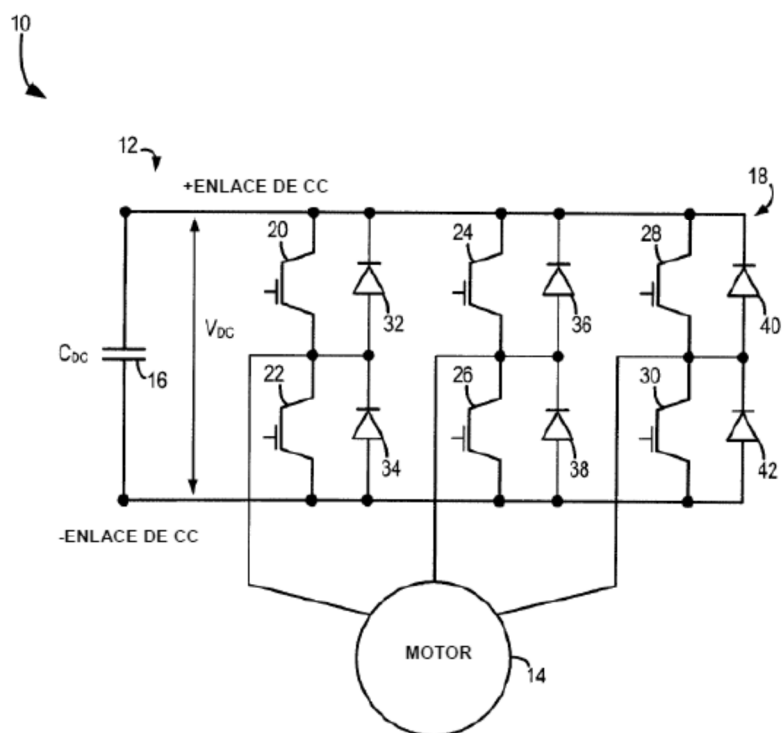


FIG. 1
(TÉCNICA ANTERIOR)

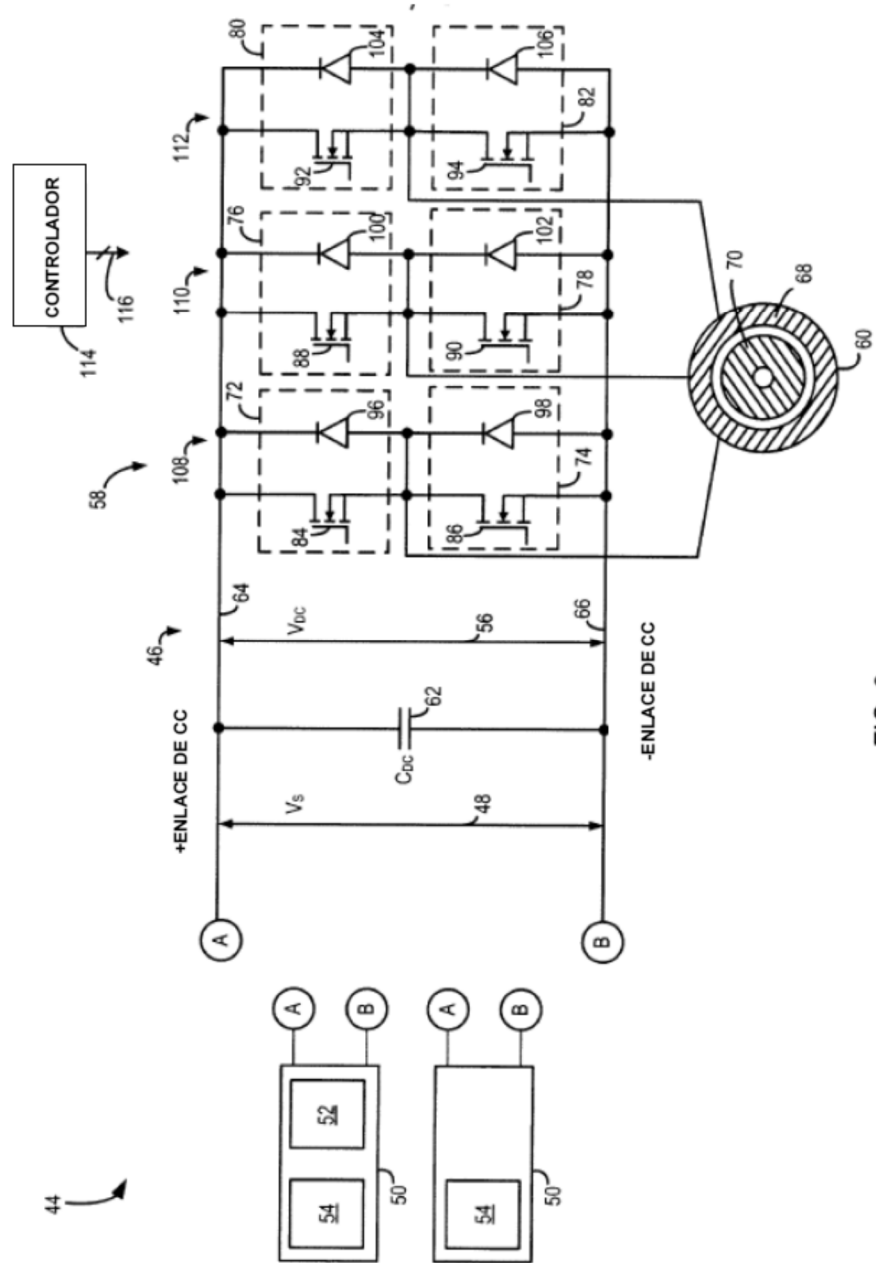


FIG. 2