

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 519 165**

51 Int. Cl.:

H02M 7/5387 (2007.01)

H04L 1/00 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2010** **E 10000316 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.08.2014** **EP 2346155**

54 Título: **Método y sistema de control para controlar la conversión de potencia en un convertidor de potencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.11.2014

73 Titular/es:
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE

72 Inventor/es:
FULCHER, ROBERT VERNON;
JONES, RODNEY y
WAITE, PHILIP PERRY

74 Agente/Representante:
PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 519 165 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).

MÉTODO Y SISTEMA DE CONTROL PARA CONTROLAR LA CONVERSIÓN DE POTENCIA EN UN CONVERTIDOR DE POTENCIA

DESCRIPCIÓN

5 La presente invención se refiere al control de conversión de potencia en al menos un módulo convertidor mediante el uso de señales de control de conmutación enviadas desde un controlador maestro a un módulo convertidor. Además, la invención se refiere a un sistema de control para controlar la conversión de potencia mediante el uso de un controlador maestro. Además, la invención se refiere a un convertidor de potencia.

10 Se usan convertidores de potencia, por ejemplo en turbinas eólicas, para convertir una potencia de CA de frecuencia variable proporcionada por el generador de la turbina eólica en una potencia de CA de frecuencia fija nominal que va a alimentarse a una red de distribución. Tales convertidores de potencia comprenden normalmente un rectificador o rectificador activo para convertir la potencia de CA de frecuencia variable en una potencia de CC y un inversor para convertir la potencia de CC en la potencia de CA de frecuencia fija. Tanto el rectificador como el inversor comprenden normalmente dos terminales de tensión de CC y tres terminales de tensión de CA. En el caso del rectificador, los terminales de tensión de CA están conectados a los terminales de salida del generador que proporcionan, por ejemplo, una potencia de CA trifásica y los terminales de CC están conectados a un enlace de CC entre el rectificador y el inversor. El inversor también comprende dos terminales de CC conectados al enlace de CC. Además, comprende tres terminales de CA conectados a una red de distribución a través de circuitos de filtrado apropiados según pueda ser necesario. El rectificador activo y el inversor pueden formarse a partir de los mismos componentes de circuito pero con flujo de potencia diferente (de CA a CC en el caso del rectificador activo, de CC a CA en el caso del inversor).

25 Otras aplicaciones de convertidores de potencia comprenden, a saber, la conversión de una potencia de CA de frecuencia fija a una potencia de CA de frecuencia variable, por ejemplo para controlar la velocidad rotacional y/o par motor de un motor eléctrico.

30 Configuraciones típicas de un rectificador y un inversor, ambos denominados comúnmente convertidores de potencia a continuación, comprenden una serie de al menos dos dispositivos de conmutación activos conectados entre el nivel de tensión superior del enlace de CC y el nivel de tensión inferior del enlace de CC y un nodo entre ambos dispositivos de conmutación activos que está conectado a uno de los terminales de CA. Un diseño de este tipo se conoce como semipunte, o fase. La misma estructura está presente para todos los demás terminales de tensión de CA del convertidor de potencia de modo que un convertidor de potencia para una potencia de CA trifásica tiene tres semipuentes comprendiendo cada uno al menos dos dispositivos de conmutación activos. La estructura con dos dispositivos de conmutación activos en un semipunte dado se conoce como convertidor de dos niveles porque mediante un control apropiado la tensión de salida observada en el terminal de fase central puede ser o bien el nivel de tensión superior del enlace de CC o bien el nivel de tensión inferior del enlace de CC.

40 Una conversión de potencia mediante el uso de los dispositivos de conmutación activos se realiza normalmente de la siguiente manera:

45 En el caso de convertir potencia de CC en potencia de CA, cada terminal de tensión de CA está conectado a través de los dispositivos de conmutación activos al nivel de CC alto y al nivel de CC bajo de una manera alternante. Introduciendo un desplazamiento de fase entre las señales de control que definen la salida de cada terminal de CA puede establecerse una potencia de CA polifásica, por ejemplo una potencia de CA trifásica. La potencia de CA puede estar diseñada para que sea una potencia de CA equilibrada, por ejemplo una potencia de CA trifásica en la que las corrientes trifásicas siempre suman cero.

50 En el caso de convertir potencia de CA en potencia de CC, los dispositivos de conmutación activos se conmutan para cada terminal de entrada de CA de manera que el terminal está conectado al terminal de tensión de CC superior o al terminal de tensión de CC inferior.

55 Para ambos modos de conversión de potencia, la conmutación de los dispositivos de conmutación activos se realiza normalmente basándose en un esquema de modulación de ancho de impulso en el que el tiempo y la duración de un dispositivo de conmutación activo que está ENCENDIDO, es decir conductor, o APAGADO, es decir no conductor, se define por impulsos de conmutación de nivel alto o nivel bajo, respectivamente. Otros esquemas para determinar la conmutación de los dispositivos activos son igualmente válidos, incluyendo control de potencia directo, control de corriente directa, un control de par motor directo o equivalente.

60 A veces se conectan dos o más semipuentes en paralelo o en serie a un terminal de CA, en particular en convertidores de potencia que tienen potencia nominal alta. En caso de que, por ejemplo, se conecten tres semipuentes, comprendiendo cada uno dos dispositivos de conmutación, en paralelo en un convertidor trifásico, el convertidor de potencia completo comprendería 12 dispositivos de conmutación activos (tres por dos por dos). Normalmente, un convertidor de potencia que comprende semipuentes paralelos o en serie está organizado en forma de módulos convertidores comprendiendo cada uno un semipunte para cada uno de los terminales de CA.

Estos módulos de potencia se conectan en paralelo o en serie para formar el convertidor de potencia. En particular, para convertidores de potencia de potencia nominal alta para aparatos industriales y aplicaciones de energías renovables, es una técnica convencional construir estos convertidores a partir de múltiples módulos convertidores que funcionan en paralelo o en serie para conseguir la tensión, corriente y potencia nominal necesarias.

5 Es deseable usar un controlador central para todos los módulos convertidores en un convertidor de potencia. De ese modo una dificultad es construir un sistema de comunicación entre el controlador central, que también podría considerarse como sistema de control principal u ordenador en tiempo real, que ejecute los algoritmos de control y los módulos convertidores distribuidos del convertidor de potencia. Los requisitos principales de un sistema de comunicación de este tipo son transmitir las señales de control de conmutación a los módulos convertidores con un alto grado de precisión de sincronismo, un alto grado de resolución de borde de los estados de conmutación en un esquema de modulación de ancho de impulso dado, una respuesta de latencia baja a condiciones de errores y tolerancia a errores de un bit. Además, debe comprender medios físicos viables y asequibles para interconexiones entre el controlador central y los módulos convertidores. Además, el sistema de comunicación debe poder transmitir preferiblemente corriente, tensión y otras señales de realimentación analógicas y señales de estado lógico, es decir señales digitales, desde los módulos convertidores al controlador central.

El documento JP 2005 333 246 A da a conocer un método para controlar varios módulos convertidores, en el que todas las señales de control están sincronizadas según el tiempo de llegada más aguas abajo y su convertidor.

20 El documento WO 2009/087063 A1 da a conocer un convertidor de potencia con un control de células distribuido en el que una unidad de control central transmite una tensión de CA de referencia y una señal portadora de conmutación a subunidades del controlador de las que cada subunidad controla la conmutación de conmutadores electrónicos de potencia según un patrón de modulación de ancho de impulso de modo que cada vez que la señal portadora de conmutación cruza la tensión de CA de referencia se aplica o bien una tensión de CC alta o bien una tensión de CC baja a terminales de salida del submódulo convertidor correspondiente. Por tanto, las señales de conmutación reales para los dispositivos de conmutación activos se determinan a nivel local en lugar de mediante el controlador central. Sin embargo, es deseable calcular todos los estados de conmutación en el controlador central. Sin embargo, esto significa que en el caso de un convertidor de CA trifásico que usa una estructura de semipunto de dos niveles para cada módulo convertidor es necesario que se transmitan al menos doce estados de conmutación dentro de un periodo de PWM dado (un estado de conmutación que representa el "estado encendido" y un estado de conmutación que representa el "estado apagado" para cada uno de los seis dispositivos de conmutación activos).

35 Existen dos enfoques para transmitir los estados de conmutación desde un controlador central al módulo convertidor en el estado de la técnica. El primero es usar una conexión paralela desde el controlador central hasta cada uno de los módulos convertidores distribuidos. Una conexión paralela de este tipo sería normalmente un cable cinta eléctrico. Esta conexión paralela lleva canales de comunicación de cobre individuales para cada dato, por ejemplo seis vías para las señales de control de conmutación para los dispositivos de conmutación activos, tres vías para las tres señales de realimentación de corriente, tres vías para tres señales de realimentación de tensión, etc. Este tipo de conexión paralela tiene algunos inconvenientes, por ejemplo, la cantidad de circuitos que son necesarios en ambos extremos del enlace de comunicación. Además, la información transferida a través del enlace de comunicación se fija por los circuitos en ambos extremos de modo que este tipo de conexión no es flexible. Además, la distancia que puede implementarse con un canal de conexión paralela habitualmente está limitada.

45 El segundo enfoque del estado de la técnica con respecto a un enlace comprende un enlace en serie de alto rendimiento. La topología de conexión para un enlace de este tipo es un sistema de encadenamiento mariposa. Sin embargo, esto significa que la carga útil de datos es comparativamente grande ya que la única conexión desde/hasta el controlador central tiene que transportar información para todos los módulos convertidores distribuidos, y el intervalo de mensajes por tanto tiene que ser grande para mantener el requisito de ancho de banda del canal de comunicación dentro de un intervalo práctico y viable. Normalmente, el intervalo de mensajes es una vez por periodo de modulación de ancho de impulso. Esto significa que las condiciones de emergencia deben asumirse mediante una conexión separada entre los módulos convertidores. Adicionalmente, determinados modos de control que tienen un periodo de cálculo de CPU menor que el tiempo de ciclo del enlace de comunicación no pueden implementarse en este sistema.

50 Por tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un método de control ventajoso y un sistema de control ventajoso que sean, en particular, adecuados para su uso con módulos de potencia distribuidos controlados por un controlador central.

60 Un objetivo adicional de la presente invención es proporcionar un convertidor de potencia ventajoso con módulos convertidores distribuidos y un controlador central.

65 El primer objetivo se resuelve mediante un método para controlar la conversión de potencia de CC en potencia de CA, o viceversa, según la reivindicación 1 y mediante un sistema de control para controlar la conversión de potencia de CC en potencia de CA, o viceversa, en un módulo convertidor, según la reivindicación 8. El segundo objetivo se

resuelve mediante un convertidor de potencia según la reivindicación 15. Las reivindicaciones dependientes contienen desarrollos adicionales de la invención.

El método de la invención es un método para controlar la conversión de una potencia de entrada en una potencia de salida en al menos un módulo convertidor que comprende al menos un terminal de potencia de entrada, al menos un terminal de potencia de salida, y para cada terminal de potencia de salida al menos un dispositivo de conmutación activo conectado entre una potencia de entrada y el terminal de potencia de salida respectivo. El método controla la conversión de potencia controlando el sincronismo de conmutación del al menos un dispositivo de conmutación activo en cada módulo convertidor. La conmutación se controla enviando señales de control de conmutación desde un controlador maestro, que puede ser, por ejemplo, un controlador central o uno seleccionado de varios controladores equivalentes, a cada módulo convertidor, conteniendo cada señal de control de conmutación un mensaje de control que define un estado de conmutación (o estados de conmutación en el caso de un módulo convertidor con al menos dos dispositivos de conmutación activos) para el al menos un dispositivo de conmutación activo (es decir un estado de conmutación para cada dispositivo de conmutación activo en un módulo convertidor) y el tiempo, en relación con una referencia de tiempo derivada del controlador maestro, en el que el estado de conmutación definido para el al menos un dispositivo de conmutación activo debe aplicarse en el módulo convertidor respectivo. Según el método de la invención, las señales de control de conmutación se envían con un tiempo de ciclo que es igual a o menor que la constante de tiempo más corta de un módulo convertidor usado y los elementos de circuito de potencia inmediatos en relación con el módulo convertidor respectivo usado y la duración de un mensaje de control es igual a, o menor que, el tiempo de ciclo. Obsérvese que en caso de que el módulo convertidor comprenda más de un dispositivo de conmutación activo el mensaje de control contiene estados de conmutación individuales para cada dispositivo de conmutación activo sin que esto se mencione explícitamente a continuación.

Tales tiempos de ciclo cortos y mensajes de control permiten conectar un controlador maestro como, por ejemplo, un controlador central, a módulos convertidores distribuidos mediante enlaces de conexión en serie como, por ejemplo, fibras ópticas o cables de cobre de par diferencial. Toda la arquitectura de control puede implementarse entonces en forma de sistema de comunicación radial entre el controlador central y los módulos convertidores con una carga útil mínima, y por tanto, con una necesidad de ancho de banda mínima, en cada enlace de comunicación. Además, la duración de mensaje corta significa que se reduce el tiempo de respuesta a errores, o condiciones transitorias, aumentando el potencial rendimiento de control puesto que la tasa a la que aumenta cualquier error en corriente o tensión en el módulo convertidor y el circuito de potencia inmediato viene determinada por las características transitorias (constante de tiempo) del circuito de potencia total. Por tanto, tener una duración de mensaje, o tiempo de ciclo de mensaje, no mayor que la constante de tiempo más corta del módulo convertidor, permite el aumento mencionado de rendimiento de control.

Además, la transmisión de los estados de conmutación para cada semipunte de un módulo convertidor constituido por semipuentes, y la corta duración de estos estados significa que el sistema es independiente de la estrategia de control o de modulación de ancho de impulso aplicada a los módulos convertidores paralelos, o conectados de otro modo. De hecho, los módulos convertidores pueden tener estrategias y frecuencias de conmutación diferentes, si es necesario.

El método de la invención puede aplicarse igualmente a inversores de fuente de corriente como a inversores de fuente de tensión.

En particular, las señales de control de conmutación se envían con un tiempo de ciclo que es igual a, o menor que, el tiempo muerto de los dispositivos de conmutación activos usados. Este desarrollo adicional del presente método de control se basa en el hallazgo de que la constante de tiempo mínima en un módulo convertidor viene dada normalmente por el tiempo muerto de la conmutación entre los estados de un dispositivo de conmutación activo. Este tiempo muerto considera el retardo de apagado inherente en las características de los dispositivos de conmutación activos. Por ejemplo, en un módulo convertidor que comprende dos semipuentes, la constante de tiempo mínima en el módulo convertidor viene dada normalmente por el hecho de que sólo se permite que el segundo dispositivo de conmutación de un semipunte se encienda después de estar seguro de que el primer dispositivo de conmutación se ha apagado durante un tiempo suficiente para que el primer dispositivo de conmutación pase a alta impedancia.

Otro método para evaluar la constante de tiempo mínima en el convertidor de potencia es considerar la evolución de un fallo: cómo de rápido tiene que responder el sistema de control para impedir que fluya corriente excesiva en los dispositivos de conmutación dada la inductancia en bucle del circuito de potencia inmediato y el margen entre niveles de corriente operativos y el nivel de corriente al que los dispositivos de potencia deben apagarse con fines de protección.

Normalmente, el retardo que representa el tiempo muerto es de 2 μ s, y los tiempos de impulso mínimos en un esquema de modulación de ancho de impulso son normalmente de 4 μ s. Sin embargo, la resolución de borde de estados de conmutación en un periodo de modulación de ancho de impulso dado es preferiblemente menor que 100 ns. Además, la precisión de borde de modulación de ancho de impulso entre módulos convertidores diferentes también es preferiblemente menor que 100 ns. Por tanto, según otro desarrollo adicional del método de control de la

invención, el mensaje de control contiene información de sincronismo que define los tiempos dentro del tiempo de ciclo en los que el estado (o estados) de conmutación contenido en el mensaje de control debe aplicarse al al menos un dispositivo de conmutación activo en el módulo convertidor respectivo. La información de sincronismo tiene una resolución de tiempo que es mayor que el tiempo de ciclo, y lo suficientemente alta para cumplir con el requisito de 100 ns anterior. Sin embargo, también es posible una resolución de tiempo que es al menos un orden de magnitud mayor que el tiempo de ciclo.

Según el método de control de la invención, el estado de conmutación (o estados en el caso de un módulo convertidor con más de un dispositivo de conmutación activo) que va a aplicarse al al menos un dispositivo de conmutación activo de un módulo convertidor puede estar contenido al menos por triplicado en un mensaje de control. Después se aplica un algoritmo de votación por mayoría a los estado de conmutación triplicados para determinar el estado (o estados) de conmutación real que va a aplicarse al al menos un dispositivo de conmutación activo. Este desarrollo es ventajoso en el caso de un único error de mensaje puesto que permite que el sistema convertidor siga funcionando. En el desarrollo descrito, cualquier error de un bit puede eliminarse mediante la votación por mayoría. Sin embargo, no pueden corregirse errores de bits múltiples mediante este método.

Adicional o alternativamente, cada método de control también puede contener un código CRC (código de comprobación de redundancia cíclica). Después se realiza una comprobación CRC en cada mensaje de control, y el estado (o estados) de conmutación contenido en el mensaje de control no se aplica al al menos un dispositivo de conmutación activo del módulo convertidor respectivo si falla la comprobación CRC. En otras palabras, no se usa un mensaje recibido erróneo. Por tanto, el estado del al menos un dispositivo de conmutación activo permanece en el estado definido por el mensaje de control previo. En este caso, el módulo convertidor estará en el estado incorrecto durante un periodo de ciclo, sin embargo, dado que el tiempo de ciclo se ha definido como menor que la constante de tiempo del circuito de potencia, el estado incorrecto no conducirá a una corriente/tensión fuera de la capacidad del circuito de potencia.

Cuando la comprobación CRC, o votación por mayoría, para el estado (o estados) de conmutación contenido en el mensaje de control que sigue a un número predeterminado de mensajes de control para los que la comprobación CRC, o votación por mayoría ha fallado, es satisfactoria, este estado de conmutación se aplica al al menos un dispositivo de conmutación activo de modo que el módulo convertidor tiene la capacidad de funcionar en presencia de fallos. En caso de que también falle la comprobación CRC, o votación por mayoría, para el estado de conmutación contenido en el mensaje de control que sigue a un número predeterminado de mensajes de control para los que ha fallado la comprobación CRC, o votación por mayoría, el módulo convertidor respectivo se establece en un estado de fallo.

Ventajosamente, se usa una transmisión de datos de dúplex completo para transmitir las señales de control al al menos un módulo convertidor. Esto permite usar la misma línea de transmisión para adquirir señales de realimentación de tensión y/o señales de realimentación de corriente y/o señales de intervención, etc. desde el al menos un módulo convertidor al controlador central con el mismo tiempo de ciclo que las señales de control de conmutación. El dúplex completo tiene dos vías separadas, una vía (de control) que contiene el estado de conmutación e información de tiempo y una vía (de realimentación) que contiene las señales de realimentación de tensión y/o señales de realimentación de corriente y/o señales de intervención, etc.

Un sistema de control de la invención para controlar la conversión de una potencia de entrada en una potencia de salida en un módulo convertidor que comprende al menos un terminal de potencia de entrada, al menos un terminal de potencia de salida, y para cada terminal de potencia de salida al menos un dispositivo de conmutación activo conectado entre un terminal de potencia de entrada y el terminal de potencia de salida respectivo, permite controlar el sincronismo de la conmutación del al menos un dispositivo de conmutación activo según el método de control de la invención. El sistema de control comprende un controlador maestro, que puede ser, por ejemplo, un controlador central o uno seleccionado de varios controladores equivalentes, y, para cada módulo convertidor controlado por el controlador maestro, un enlace de comunicación que interconecta el controlador maestro y el módulo convertidor respectivo. Según la invención, el sistema de control comprende un generador de sincronismo que genera una señal de sincronismo que tiene un tiempo de ciclo que es igual a, o menor que, la constante de tiempo más corta de los módulos convertidores interconectados con el controlador maestro y los elementos de circuito de potencia inmediatos en relación con los módulos convertidores respectivos usados. El generador (45) de sincronismo está integrado en o interconectado con el controlador maestro. Además, un generador de señales está integrado en o interconectado con el controlador maestro. Este generador de señales genera señales de control de conmutación, conteniendo cada señal de control de conmutación un mensaje de control que define un estado de conmutación (o estados de conmutación en el caso de un módulo convertidor con al menos dos dispositivos de conmutación activos) para el al menos un dispositivo de conmutación activo en un módulo convertidor interconectado con el controlador maestro, en el que la duración de cada mensaje de control es igual a, o menor que, el tiempo de ciclo. Como enlaces de comunicación se usan enlaces de comunicación en serie.

Resulta posible el uso de enlaces de comunicación en serie gracias a que se lleva a cabo el método de la invención. Es ventajoso usar enlaces de comunicación en serie que conectan cada módulo convertidor individual con el controlador maestro a través del uso de enlaces de comunicación paralelos porque son necesarios menos circuitos

5 en ambos extremos del enlace de comunicación y la flexibilidad de la información transferida es mayor. Además, el enlace de comunicación en serie puede ser más largo que un enlace de comunicación paralelo. Con respecto a la conexión de encadenamiento mariposa mencionada mediante enlaces en serie de alto rendimiento, tales como Ethercat, el sistema de control de la invención es ventajoso porque puede formarse un sistema de comunicación radial y pueden mantenerse pequeñas las necesidades de carga útil de datos y de ancho de banda de cada enlace de comunicación.

10 Es particularmente ventajoso si los enlaces de comunicación usados son enlaces de dúplex completo de modo que no sólo pueden enviarse las señales de control de conmutación a los módulos convertidores sino también señales de realimentación tales como señales de realimentación de corriente o señales de realimentación de tensión, o pueden transferirse otros tipos de señales desde los módulos convertidores al controlador central sin usar un esquema de multiplexación de tiempo.

15 Según un desarrollo adicional del sistema de control de la invención, pueden estar presentes al menos dos módulos convertidores que están conectados en paralelo o en serie. Cada módulo convertidor comprende entonces al menos un terminal de potencia de entrada, al menos un terminal de potencia de salida, y para cada terminal de potencia de salida al menos un dispositivo de conmutación activo conectado entre un terminal de potencia de entrada y el terminal de potencia de salida respectivo. Conectar al menos dos módulos convertidores en paralelo o en serie permite aumentar la potencia nominal de un convertidor de potencia.

20 En particular, cada módulo convertidor puede comprender al menos un terminal de CC de alta tensión y un terminal de CC de baja tensión como terminales de potencia de entrada o terminales de potencia de salida y al menos dos terminales de CA, en particular tres terminales de CA, como terminales de potencia de salida o terminales de potencia de entrada, respectivamente, y, para cada terminal de CA, al menos un dispositivo de conmutación superior conectado entre el terminal de alta tensión de CC y el terminal de tensión de CA respectivo y al menos un dispositivo de conmutación activo inferior conectado entre el terminal de baja tensión de CC y el terminal de tensión de CA respectivo. Este desarrollo del sistema de control de la invención permite transformar potencia de CC en potencia de CA polifásica, o potencia de CA polifásica en potencia de CC. Una aplicación importante es el uso de tres terminales de CA para convertir potencia de CC en potencia de CA trifásica, o viceversa. Tales convertidores que convierten potencia de CC en potencia de CA trifásica, o viceversa, se usan normalmente en muchos aparatos industriales y en aplicaciones de energías renovables, tales como turbinas eólicas. En particular, si se desea una potencia nominal alta, dos o más módulos convertidores que comprenden al menos dos terminales de CA, en particular tres terminales de CA, pueden conectarse en paralelo o en serie.

35 Para permitir una corrección de errores de un bit, el generador de señales puede generar el mensaje de control por triplicado. Entonces, un módulo de votación que ejecuta un algoritmo de votación por mayoría sobre un mensaje de control recibido estaría presente en cada módulo convertidor interconectado con el controlador central. Por tanto, pueden corregirse errores de un bit gracias a las dos versiones del mensaje de control que no contienen el error de bit.

40 Adicional o alternativamente, el generador de señales puede comprender un generador de códigos CRC para generar, para cada mensaje de control, un código CRC y para añadir el código CRC generado al mensaje de control respectivo. En este desarrollo, un módulo de comprobación CRC que realiza una comprobación CRC en cada mensaje controlado recibido está presente en cada módulo convertidor interconectado con el controlador central. Dicho módulo CRC bloquea la aplicación del estado (o estados) de conmutación contenido en el mensaje derivado del controlador al al menos un dispositivo de conmutación activo del módulo convertidor respectivo en caso de que falle la comprobación CRC. Gracias a esto puede evitarse aplicar un estado de conmutación incorrecto al al menos un dispositivo de conmutación activo del módulo convertidor respectivo.

50 El módulo de comprobación CRC o el módulo de votación puede permitir la aplicación del estado (o estados) de conmutación contenido en el mensaje de control que sigue a varios mensajes de control para los que ha fallado la comprobación CRC o votación por mayoría al al menos un dispositivo de conmutación activo en caso que la comprobación CRC o votación por mayoría para dicho siguiente mensaje de control sea satisfactoria, o de lo contrario establecer el módulo convertidor respectivo en un estado de fallo. En caso de que el siguiente mensaje de control satisfaga la comprobación CRC, el módulo convertidor estuvo en el estado incorrecto durante hasta un número dado de tiempos de ciclo. Sin embargo, el convertidor de potencia y sus componentes de potencia inmediatos pueden estar diseñados para poder funcionar en presencia de tal breve condición. Por tanto, el módulo convertidor puede tener la capacidad de funcionar en presencia de fallos. Aunque un estado de conmutación incorrecto de este tipo puede dar como resultado una pequeña cantidad de distorsión de forma de onda, sucederá con tan poca frecuencia que será tolerable. Lo importante es que el sistema convertidor puede seguir funcionando después del breve estado de puente incorrecto de modo que el sistema convertidor puede seguir funcionando aunque uno de los mensajes de control contenga un estado de conmutación incorrecto.

65 Normalmente, el número de mensajes de control para los que se permite que falle la comprobación CRC o votación por mayoría será de uno con el fin de impedir que el módulo convertidor respectivo esté en un estado de conmutación incorrecto durante un tiempo demasiado prolongado. Sin embargo, si el módulo convertidor y el

aparato conectado al módulo convertidor toleran estar en un estado de conmutación incorrecto, dicho número de mensajes de control puede ser mayor de uno para aumentar la capacidad de funcionamiento en presencia de fallos.

5 Un convertidor de potencia de la invención comprende al menos un terminal de potencia de entrada, al menos un terminal de potencia de salida, y, para cada terminal de potencia de salida, al menos un módulo convertidor. Cada módulo convertidor comprende al menos un dispositivo de conmutación activo conectado entre un terminal de potencia de entrada y el terminal de potencia de salida respectivo. En particular, pueden estar presentes dos o más módulos convertidores para cada terminal de potencia de salida para permitir una potencia nominal mayor. Tales módulos convertidores pueden estar conectados en paralelo o en serie. El convertidor de potencia comprende además un sistema de control de la invención para controlar la conversión de potencia. Las propiedades y ventajas del convertidor de potencia de la invención se derivan de las propiedades y ventajas ya mencionadas del sistema de control de la invención y, por tanto, no se describen de nuevo.

15 Obsérvese que según la presente invención, no es necesario que el controlador maestro esté separado del/de los módulo(s) convertidor(es), por ejemplo en forma de un controlador central. Sería factible ubicar el controlador maestro inmediatamente adyacente a, o alojado dentro de, uno de los módulos convertidores.

20 Características, propiedades y ventajas adicionales de la presente invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción de realizaciones de la invención junto con los dibujos adjuntos.

La figura 1 muestra esquemáticamente una turbina eólica y su equipo eléctrico.

La figura 2 muestra el inversor mostrado en la figura 1 y el controlador del inversor.

25 La figura 3 muestra esquemáticamente un ejemplo de un inversor de potencia nominal alta.

La figura 4 muestra esquemáticamente una primera realización de un conjunto de circuitos del inversor.

30 La figura 5 muestra esquemáticamente una segunda realización de un conjunto de circuitos del inversor y el controlador central.

35 A continuación, la presente invención se describirá a modo de ejemplo junto con el convertidor eléctrico de potencia de una turbina eólica. Sin embargo, la invención también puede implementarse en otros convertidores de potencia, por ejemplo los convertidores de potencia usados para controlar un motor eléctrico de velocidad variable, o los convertidores de potencia usados en otros aparatos de energías renovables como, por ejemplo, células solares.

40 La figura 1 muestra esquemáticamente una turbina eólica típica y su equipo eléctrico para controlar el generador y la salida de potencia. La turbina 1 eólica comprende un rotor 3 con un árbol 5 de rotor que transmite la cantidad de movimiento rotacional del rotor 3 giratorio a una caja 7 de engranajes. En la caja 7 de engranajes se lleva a cabo una transmisión de la rotación a un árbol 9 de salida con una determinada proporción de transmisión. El árbol 9 de salida está fijado al rotor de un generador 11 de CA que transforma la potencia mecánica proporcionada por la rotación del árbol 9 de salida en la potencia eléctrica. El generador 11 de CA puede ser o bien un generador síncrono o bien un generador asíncrono (alimentado de manera individual o alimentado de manera doble). En un generador síncrono, el rotor rota con la misma frecuencia rotacional que un campo magnético rotatorio producido por un estator del generador. En cambio, en un generador asíncrono, las frecuencias rotacionales del campo magnético de estator y el rotor son diferentes. La diferencia en la frecuencia rotacional se describe como el desplazamiento (*slip*) del generador. El generador 11 mostrado en la figura 1 es un generador de velocidad variable, es decir se permite que la velocidad rotacional del rotor varíe dependiendo de las condiciones del viento.

50 Para proporcionar una electricidad de frecuencia fija nominal para la red de distribución a la que está conectada la turbina eólica, la turbina 1 eólica está equipada con un convertidor 13 electrónico de potencia que convierte partes o la totalidad de la electricidad de frecuencia variable entregada por el generador 11 en una potencia eléctrica que tiene una frecuencia fija nominal que está adaptada a la red de distribución. Además, el convertidor 13 electrónico de potencia controla la potencia de salida de la electricidad suministrada por la turbina 1 eólica.

55 Si una turbina eólica forma parte de un parque eólico, está conectada normalmente a un cable 15 colector, que forma parte de una red 17 de distribución de tensión intermedia interna, a través de filtros 19 en forma de reactores y transformadores 21. La red 17 de distribución interna está conectada, a través de una subestación 23 que incluye un transformador, a una red de suministro que normalmente se hará funcionar con un determinado factor de potencia solicitado por el operador del sistema de suministro.

60 La regulación de la salida de potencia de la electricidad suministrada por la turbina 1 eólica se describirá junto con las figuras 1 y 2. La salida de potencia se controla por el convertidor 13 electrónico de potencia de la turbina 1 eólica según una petición de factor de potencia o, alternativamente, según una petición de potencia activa y una petición de potencia reactiva. El convertidor 13 electrónico de potencia comprende un rectificador 25 activo para producir una tensión de CC con un nivel de tensión alto y un nivel de tensión bajo a partir de la tensión de CA de frecuencia

variable proporcionada por la turbina 1 eólica, un inversor 27 que produce una tensión de CA de frecuencia fija a partir de la tensión de CC, y un enlace 29 de CC que conecta el rectificador 25 activo con el inversor 27. El convertidor 13 electrónico de potencia incluye además un controlador 31 del generador que controla el par motor generado por el generador 11 de CA controlando la corriente de estator o tensión de estator del generador 11 de CA, y un controlador 33 del inversor que controla la corriente de salida del convertidor 13 electrónico de potencia para suministrar una potencia de CA trifásica que tiene corrientes en avance o en retraso en un ángulo especificado por el factor de potencia solicitado.

El controlador 33 del inversor recibe los niveles de tensión en el enlace 29 de CC, los niveles de corriente en la salida 37 del inversor, los niveles de tensión entre los filtros 19 y el transformador 21, y señales de control de corriente desde un controlador 41 de potencia y genera las señales de demanda de corriente según el factor de potencia solicitado. La estructura del inversor 27 y la estructura general del controlador 33 del inversor se muestran en la figura 2. De la misma manera, el controlador 31 del generador recibe los niveles de tensión en el enlace 29 de CC, los niveles de corriente y/o tensión en la salida del generador y las señales de control desde el controlador 41 de potencia.

Aunque la presente invención puede implementarse con el inversor así como con el rectificador, la siguiente descripción está limitada a una descripción del inversor para evitar repeticiones innecesarias.

El inversor 27 comprende tres pares de dispositivos 35 de conmutación activos, tales como transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), transistores de unión bipolar, transistores de efecto de campo (MOS-FET), transistores Darlington, tiristores de apagado por puerta o IGCT. En la presente realización, cada par de dispositivos 35 de conmutación activos incluye dos transistores bipolares de puerta aislada como dispositivos 35 de conmutación activos. Los pares de dispositivos 35 de conmutación activos están conectados entre el nivel de tensión alto (dispositivo 35_U de conmutación activo) y el nivel de tensión bajo (dispositivo 35_L de conmutación activo) del enlace 29 de CC. Tales pares de dispositivos 35 de conmutación activos también se conocen como semipunto o fase. Las tres líneas de la salida 37 del inversor están conectadas cada una a uno diferente de los pares de dispositivos 35 de conmutación activos, es decir a un semipunto diferente, y allí a un nodo entre los dispositivos 35 de conmutación del semipunto respectivo. Mediante un esquema adecuado de conmutación de los dispositivos 35 de conmutación activos, la tensión de CC en el enlace 29 de tensión puede transformarse en una tensión de CA trifásica en la salida 37 del inversor con niveles de corriente para hacer coincidir la frecuencia de la red de distribución con el factor de potencia solicitado.

La topología del convertidor de potencia descrita con respecto al inversor 27 mostrado en la figura 2 se conoce como convertidor de 2 niveles.

Sin embargo, dentro del alcance de la invención, son aplicables para convertidores de potencia otras topologías distintas de la topología descrita con respecto al inversor 27, tales como topologías con enclavamiento a neutro de 3 niveles, convertidores de condensador simétrico flotante, puente H en cascada, etc. Puesto que estas topologías adicionales se conocen generalmente a partir del estado de la técnica, no se describirán en el presente documento.

La conmutación de los dispositivos 35 de conmutación activos se realiza según un esquema de modulación de ancho de impulso. Un controlador 33 del inversor central establece señales de control de conmutación para los dispositivos 35 de conmutación activos del inversor 27 según el esquema de modulación de ancho de impulso y las envía a un conjunto 39 de circuitos del inversor 27. Cada señal de control de conmutación contiene un mensaje de control que define estados de conmutación BL, BU, YL, YU, RL, RU que van a establecerse en los dispositivos 35 de conmutación activos en el inversor en el siguiente tiempo de ciclo y la información de sincronismo que permite que el conjunto 39 de circuitos determine los tiempos de conmutación exactos para cada uno de los dispositivos 35 de conmutación activos.

El conjunto 39 de circuitos también obtiene señales de realimentación tales como, en la presente realización a modo de ejemplo, señales de realimentación de corriente y tensión desde la salida del inversor y las envía al controlador 43 central. Además, el conjunto 39 de circuitos puede enviar señales de intervención rápida al controlador 33 central del inversor tales como, por ejemplo, una señal de desactivación en caso de que se detecte una sobrecarga de corriente en la salida del inversor.

La potencia nominal de un inversor 27 tal como el mostrado en la figura 2, o de otros convertidores de potencia, puede aumentarse conectando varios módulos convertidores conectados en paralelo o en serie. Como una realización a modo de ejemplo de un convertidor de potencia que tiene una potencia nominal alta, la figura 3 muestra un inversor 127 que comprende tres módulos 27_1, 27_2, 27_3 inversores que están conectados en paralelo entre un enlace 29 de CC y una salida 37 del inversor. Cada módulo 27_1, 27_2, 27_3 inversor corresponde al inversor 27 descrito con respecto a la figura 2. El controlador 32 central controla todos los módulos 27_1, 27_2, 27_3 inversores proporcionando las señales de control de conmutación respectivas. Cada módulo 27_1, 27_2, 27_3 inversor está conectado al controlador 33 central mediante un enlace 40_1, 40_2, 40_3 de datos en serie en forma de un único cable de dúplex completo, por ejemplo un hilo de cobre o un cable óptico.

El controlador 33 central comprende un conjunto 41 de circuitos de transmisión y recepción que forma una interfaz en serie para permitir la transmisión de datos en serie hacia y desde conjuntos 39_1, 39_2, 39_3 de circuitos de los módulos 27_1, 27_2, 27_3 inversores, que también forman interfaces en serie. Un circuito 45 de sincronismo proporciona una señal de sincronismo con tiempos de ciclo iguales a, o preferiblemente menores que, la constante de tiempo más corta de los módulos 27_1, 27_2, 27_3 inversores. Aunque no se muestra explícitamente en la figura 3, los conjuntos 39_1, 39_2, 39_3 de circuitos de los módulos 27_1, 27_2, 27_3 inversores también comprenden circuitos de sincronismo de este tipo.

La constante de tiempo más corta en un módulo 27_1, 27_2, 27_3 inversor es normalmente el denominado “tiempo muerto” de los dispositivos 35 de conmutación activos. La conmutación de los dispositivos 35 de conmutación activos en un semipunte se coordina de manera que se permita el retardo de apagado inherente en las características de los dispositivos de conmutación antes de encender el otro dispositivo en el semipunte. El tiempo de espera antes de encender el otro dispositivo es el tiempo muerto. El tiempo muerto es normalmente de 2 μ s, y los tiempos de impulso mínimos en el esquema de modulación de ancho de impulso son normalmente de 4 μ s. Se ha elegido que el tiempo de ciclo proporcionado por los circuitos de sincronismo tenga, en la presente realización, por tanto, una longitud de 2 μ s, o menos. Además, el mensaje de control transmitido en una señal de control de conmutación tiene una duración de 2 μ s, o menos. Por tanto, manteniendo la duración de mensaje en 2 μ s, o menos, los estados de conmutación pueden actualizarse fácilmente con el enlace 40_1, 40_2, 40_3 de datos en serie.

Los requisitos para un módulo 27 convertidor tal como el descrito con respecto a la figura 2 serían que la resolución de borde de los estados de conmutación en un periodo de modulación de ancho de impulso dado sea de 100 ns o menos. Además, la precisión de sincronismo para los bordes entre módulos 27_1, 27_2, 27_3 convertidores diferentes tiene que ser de 100 ns, o menos. Para conseguir esto, el mensaje de control también contiene información de sincronismo que permite un sincronismo fino con una resolución de tiempo de 100 ns o menos.

En el caso del presente ejemplo, en el que el tiempo de ciclo tiene una longitud de 2 μ s, la información de sincronismo tiene que dividirse en al menos 20 subintervalos con el fin de conseguir una resolución de sincronismo de < 100 ns. Una subdivisión de este tipo puede conseguirse mediante el uso de un mensaje codificado en 5 bits. La menor carga útil de datos se consigue transmitiendo los 5 bits de información de sincronismo, para cada semipunte (o fase).

Además, es necesario un bit para definir un estado de conmutación de un dispositivo de conmutación activo en un módulo 27_1, 27_2, 27_3 inversor.

Por tanto, se requieren un total de siete bits de información, por semipunte, por cada tiempo de ciclo de 2 μ s, dando un total de 21 bits para un módulo inversor de dos niveles, trifásico, como en la figura 2. Esto permite controlar cada una de las fases independientemente entre sí, lo que es un requisito del sistema de control.

Si cada módulo de potencia consiste en un rectificador y un módulo inversor y, por tanto, en seis fases en total, entonces cuando se considera que están presentes bits de control y formateo adicionales en el mensaje de control, y otros datos de control diversos, entonces se requiere una longitud de mensaje de aproximadamente 100 bits. Para transferir todo el mensaje dentro del tiempo de ciclo de 2 μ s, es suficiente una frecuencia de reloj del conjunto de circuitos de transmisión y recepción del orden de 50 a 100 MHz.

Es ventajoso si el inversor (27) puede seguir funcionando en el caso de un error de mensaje de control. Una primera alternativa para conseguir esto se describirá con respecto a la figura 4 mientras que se describirá una segunda alternativa con respecto a la figura 5.

La figura 4 muestra un módulo 27 inversor y su conjunto de circuitos para recibir señales desde y enviar señales al controlador 33 central en una vista muy esquemática. El conjunto 39 de circuitos comprende un circuito 47 decodificador para distribuir los estados de conmutación a los dispositivos 35 de conmutación según un mensaje de control recibido desde el controlador 33 central a través del enlace 40 de datos en serie. El mensaje de control se envía por el controlador 33 central por triplicado a través del enlace 40 de datos en serie. Un módulo 49 de votación en el conjunto 39 de circuitos (o, alternativamente, conectado al conjunto 39 de circuitos) recibe el mensaje de control triplicado y ejecuta un algoritmo de votación por mayoría. El mensaje de control se reenvía entonces al circuito 47 decodificador si las tres copias del mensaje de control son idénticas. En caso que sólo dos de las tres copias sean idénticas para un determinado bit, el bit contenido en estos dos mensajes de control se usa en la versión del mensaje de control reenviado al circuito 47 de distribución. En caso que los tres mensajes de control difieran entre sí en un determinado bit, el módulo de votación puede o bien establecer el módulo 27 inversor en un estado de fallo, o bien mantener los estados de conmutación establecidos previamente hasta que llegue el siguiente mensaje de control triplicado. En caso de que también en este siguiente mensaje de control las tres copias del mensaje de control difieran entre sí, el módulo 27 inversor se establece en un estado de fallo. De lo contrario, los estados de conmutación contenidos en este mensaje de control se distribuyen a los dispositivos 35 de conmutación activos de modo que pueda continuar el funcionamiento del módulo 27 inversor. Por tanto, mediante la alternativa descrita con respecto a la figura 4 el convertidor puede seguir funcionando incluso en el caso de un único mensaje

de error. Aunque, en el caso de un único mensaje de error, el módulo inversor respectivo que recibe el único mensaje de error estará en un estado incorrecto durante un periodo de 2 μ s, lo que da como resultado una pequeña cantidad de distorsión de forma de onda, el sistema y el aparato conectado al mismo pueden estar diseñados de modo que sea tolerable tal distorsión de forma de onda.

5 Una segunda alternativa que permite que el inversor siga funcionando en caso de un error de mensaje se muestra en la figura 5. La figura muestra un módulo 27 inversor con su conjunto 33 de circuitos que contiene el circuito 47 decodificador descrito con respecto a la figura 4 y un módulo 51 de comprobación CRC. El controlador central comprende un generador 53 de códigos CRC que genera, para cada mensaje de control, una suma de comprobación y añade la suma de comprobación al mensaje de control antes de enviarlo a un módulo 27 inversor a través del enlace 40 de datos en serie. En el módulo 27 inversor que recibe el mensaje de control, el módulo de comprobación CRC recalcula el código CRC y, en caso de que se encuentre que el código CRC es idéntico al código recibido, reenvía el mensaje de control al circuito 47 decodificador. En caso que el módulo de comprobación CRC calcule un código CRC diferente del código CRC recibido, el mensaje de control no se reenvía al circuito 47 decodificador, y o bien el módulo 27 inversor se establece en un estado de fallo o bien, preferiblemente, los dispositivos de conmutación activos se mantienen en los estados en los que se han establecido según el mensaje de control recibido previamente. Cuando entonces se recibe el siguiente mensaje de control y el código CRC calculado por el módulo 51 de comprobación CRC es idéntico al código CRC recibido, este mensaje de control se reenvía al circuito 47 decodificador, y los estados de conmutación respectivos se distribuyen a los dispositivos 35 de conmutación activos. En caso de que también el código CRC de dicho siguiente mensaje calculado por el módulo 51 de comprobación CRC difiera del código CRC recibido, el módulo 27 inversor se establece en un estado de fallo.

Pueden combinarse ambos métodos, votación por mayoría y comprobación CRC.

25 En resumen, puede detectarse un error de mensaje y, si es posible, corregirse mediante un algoritmo de votación por mayoría o detectarse mediante un algoritmo de comprobación CRC. En caso de que se detecte sólo un único mensaje de error y el siguiente mensaje de control no tenga errores, el sistema puede simplemente mantenerse en los estados de conmutación establecidos previamente de modo que pueda estar en un estado incorrecto hasta el siguiente ciclo de sincronismo. Si dos mensajes de control consecutivos contienen errores, el módulo inversor respectivo se establece en un estado de fallo. Sin embargo, obsérvese que no es obligatorio establecer el módulo inversor en un estado de fallo si dos mensajes de control consecutivos contienen errores. Si el módulo inversor y el aparato controlado por el módulo convertidor toleran estados de conmutación incorrectos durante más de un ciclo de sincronismo, puede establecerse un módulo inversor en un estado de fallo sólo cuando más de dos mensajes de control consecutivos contengan errores.

35 En caso de que el mensaje de control contenga un error en sus datos de sincronismo, estos errores pueden gestionarse mediante la inclusión de lógica adicional en el conjunto de circuitos de recepción, lo que garantiza que se satisfagan los requisitos inmediatos de los puentes de convertidor, por ejemplo que se respeten los tiempos muertos y los tiempos de encendido/apagado mínimos.

40 Tal como ya se mencionó con respecto a la figura 3, los enlaces de comunicación que interconectan el controlador 33 central y los módulos 27_1, 27_2, 27_3 inversores son enlaces de dúplex completo. Esto significa que, al mismo tiempo que se transmiten datos desde el controlador 33 central a los módulos 27_1, 27_2, 27_3 inversores, pueden transmitirse datos desde los módulos 27_1, 27_2, 27_3 inversores al controlador 33 central. Tales datos transmitidos desde los módulos inversores al controlador central pueden incluir realimentaciones de tensión, realimentaciones de corriente, señales de intervención, por ejemplo una señal de desactivación en el caso de una sobrecarga de corriente, etc. De esta manera, puede conseguirse un apagado coordinado de los módulos inversores conectados en paralelo o en serie, usando un único sistema de comunicación por cable sin que sean necesarias líneas de comunicación dedicadas adicionales. Por tanto, aunque, según la invención descrita con respecto a las figuras 1 a 5, cada módulo convertidor de un convertidor de potencia está conectado a un controlador central sólo mediante un cable en serie, tal como un cable de cobre o un cable óptico, pueden enviarse mensajes de control a los módulos convertidores que cumplen con los siguientes requisitos:

- 55 - la resolución de borde de estados de conmutación en un periodo de modulación de ancho de impulso dado es menor que 100 ns;
- la precisión de borde de modulación de ancho de impulso es menor que 100 ns, entre módulos convertidores;
- está presente una respuesta de latencia baja a condiciones de error, es decir desactivación en caso de sobrecarga de corriente, en menos de 5 μ s;
- 60 - se proporciona un medio físico variable y asequible para las interconexiones entre el sistema de control principal (controlador central) y los módulos convertidores distribuidos;
- 65 - se proporciona tolerancia a errores de un bit.

ES 2 519 165 T3

Los números indicados en la lista anterior son a modo de ejemplo, otros valores pueden ser aplicables dependiendo de las características del circuito de potencia y las constantes de tiempo asociadas.

REIVINDICACIONES

1. Método para controlar la conversión de una potencia de entrada en una potencia de salida por medio de al menos un módulo (27) convertidor que comprende al menos un terminal de potencia de entrada, al menos un terminal de potencia de salida, para cada terminal de potencia de salida al menos un dispositivo (35) de conmutación activo conectado entre un terminal de potencia de entrada y el terminal de potencia de salida respectivo, controlándose la conversión controlando el sincronismo de conmutación del al menos un dispositivo (35) de conmutación activo en cada módulo (27) convertidor, en el que la conmutación se controla enviando señales de control de conmutación desde un controlador (33) maestro a cada módulo (27) convertidor, conteniendo cada señal de control de conmutación un mensaje de control que define un estado de conmutación para el al menos un dispositivo (35) de conmutación activo y el tiempo, en relación con una referencia de tiempo derivada del controlador maestro, en el que el estado de conmutación definido para el al menos un dispositivo (35) de conmutación activo debe aplicarse en el módulo (27) convertidor respectivo,
- 5
10
15
20
- caracterizado porque
- las señales de control de conmutación se envían con un tiempo de ciclo igual a o menor que la constante de tiempo más corta de los módulos (27) convertidores y los elementos de circuito de potencia inmediatos en relación con el módulo (27) convertidor respectivo usado y la duración de un mensaje de control es igual a, o menor que, el tiempo de ciclo.
2. Método según la reivindicación 1,
- 25
- caracterizado porque
- las señales de control de conmutación se envían con un tiempo de ciclo que es igual a o menor que el tiempo muerto del al menos un dispositivo (35) de conmutación activo.
- 30
3. Método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2,
- 35
- caracterizado porque
- el mensaje de control contiene información de sincronismo que define los tiempos dentro de un tiempo de ciclo en los que el estado de conmutación contenido en el mensaje de control debe aplicarse al al menos un dispositivo (35) de conmutación activo en el módulo convertidor respectivo, en el que la información de sincronismo tiene una resolución de tiempo que es mayor que el tiempo de ciclo.
- 40
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3,
- 45
- caracterizado porque
- el estado de conmutación que va a aplicarse al al menos un dispositivo (35) de conmutación activo de un módulo (27) convertidor está contenido al menos por triplicado en un mensaje de control, y se aplica un algoritmo de votación por mayoría al estado de conmutación triplicado para determinar el estado de conmutación real que va a aplicarse al al menos un dispositivo (35) de conmutación activo.
- 50
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,
- 55
- caracterizado porque
- cada mensaje de control también contiene un código CRC;
 - se realiza una comprobación CRC en cada mensaje de control; y
 - el estado de conmutación contenido en el mensaje de control no se aplica al al menos un dispositivo (35) de conmutación activo del módulo (27) convertidor respectivo si falla la comprobación CRC.
- 60
6. Método según la reivindicación 4 o la reivindicación 5,
- 65
- caracterizado porque
- el estado de conmutación contenido en un mensaje de control que sigue a un número máximo predeterminado de mensajes de control para los que ha fallado la comprobación CRC o votación por mayoría, respectivamente, se aplica al al menos un dispositivo (35) de conmutación activo si la comprobación CRC o votación por mayoría, respectivamente, para dicho siguiente mensaje de control es

satisfactoria.

7. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6,

5 caracterizado porque

se usa transmisión de datos de dúplex completo para transmitir la señal de control de conmutación al al menos un módulo (27) convertidor.

10 8. Sistema de control para controlar la conversión de una potencia de entrada en una potencia de salida para al menos un módulo (27) convertidor que comprende al menos un terminal de potencia de entrada, al menos un terminal de potencia de salida, y para cada terminal de potencia de salida al menos un dispositivo (35) de conmutación activo conectado entre un terminal de potencia de entrada y el terminal de potencia de salida respectivo, controlando el sincronismo de la conmutación del al menos un dispositivo (35) de conmutación activo, comprendiendo el sistema de control un controlador (33) maestro y, para cada módulo convertidor controlado por el controlador (33) maestro, un enlace (40) de comunicación que interconecta el controlador (33) maestro y el módulo (27) convertidor respectivo;

20 caracterizado por

- un generador (45) de sincronismo que genera una señal de sincronismo que tiene un tiempo de ciclo igual a o menor que la constante de tiempo más corta de los módulos (27) convertidores y los elementos de circuito de potencia inmediatos en relación con el módulo (27) convertidor respectivo usado, estando el generador (45) de sincronismo integrado en o interconectado con el controlador (33) maestro;

25 - un generador (46) de señales, integrado en o interconectado con el controlador (33) maestro, que genera señales de control de conmutación, conteniendo cada señal de control de conmutación un mensaje de control que define un estado de conmutación para el al menos un dispositivo (35) de conmutación activo en un módulo (27) convertidor interconectado con el controlador (33) maestro, siendo la duración de cada mensaje de control igual a o menor que el tiempo de ciclo;

y porque

- los enlaces (40) de comunicación son enlaces de comunicación en serie.

35 9. Sistema de control según la reivindicación 8,

caracterizado porque

40 los enlaces (40) de comunicación son enlaces de dúplex completo.

10. Sistema de control según la reivindicación 8 o la reivindicación 9,

45 caracterizado porque

están presentes al menos dos módulos (21_1, 27_2, 27_3) convertidores que están conectados en paralelo o en serie, en el que cada módulo (27_1, 27_2, 27_3) convertidor comprende al menos un terminal de potencia de entrada, al menos un terminal de potencia de salida, para cada terminal de potencia de salida al menos un dispositivo (35) de conmutación activo conectado entre un terminal de potencia de entrada y el terminal de potencia de salida respectivo.

50

11. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10,

55 caracterizado porque

cada módulo (27) convertidor comprende un terminal de CC de alta tensión y un terminal de CC de baja tensión como terminales de potencia de entrada o terminales de potencia de salida, al menos dos terminales de CA como terminales de potencia de salida o terminales de potencia de entrada, respectivamente, y, para cada terminal de CA, al menos un dispositivo (35_U) de conmutación activo superior conectado entre el terminal de alta tensión de CC y el terminal de tensión de CA respectivo, y al menos un dispositivo (35_L) de conmutación activo inferior conectado entre el terminal de baja tensión de CC y dicho terminal de tensión de CA respectivo.

60

12. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11,

65 caracterizado porque

- el generador (46) de señales genera el mensaje de control por triplicado; y

5 - un módulo (49) de votación que ejecuta un algoritmo de votación por mayoría sobre un mensaje de control recibido está presente en cada módulo (27) convertidor interconectado con el controlador (33) maestro.

13. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12,

10 caracterizado porque

- el generador (46) de señales comprende un generador de códigos CRC para generar, para cada mensaje de control, un código CRC y para añadir el código CRC generado al mensaje de control respectivo; y

15 - un módulo (51) de comprobación CRC que realiza una comprobación CRC en cada mensaje de control recibido está presente en cada módulo (27) convertidor interconectado con el controlador (33) maestro, bloqueando dicho módulo (51) de comprobación CRC la aplicación del estado de conmutación contenido en el mensaje de control al al menos un dispositivo (35) de conmutación activo del módulo (27) convertidor respectivo en caso de que falle la comprobación CRC recibida.

14. Sistema de control según la reivindicación 12 o la reivindicación 13,

25 caracterizado porque

el estado de conmutación contenido en un mensaje de control que sigue a un número máximo predeterminado de mensajes de control para los que ha fallado la comprobación CRC o votación por mayoría, respectivamente, se aplica al al menos un dispositivo (35) de conmutación activo si la comprobación CRC o votación por mayoría, respectivamente, para dicho siguiente mensaje de control es satisfactoria, o de lo contrario el módulo (27) convertidor respectivo se establece en un estado de fallo.

30

15. Convertidor de potencia, que comprende

35 - al menos un terminal de potencia de entrada,

- al menos un terminal de potencia de salida,

40 - para cada terminal de potencia de salida, al menos un módulo (27) convertidor que comprende al menos un dispositivo (35) de conmutación activo conectado entre un terminal de potencia de entrada y el terminal de potencia de salida respectivo, y

- un sistema de control para controlar la conversión de potencia;

45 caracterizado porque

el sistema de control es un sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14.

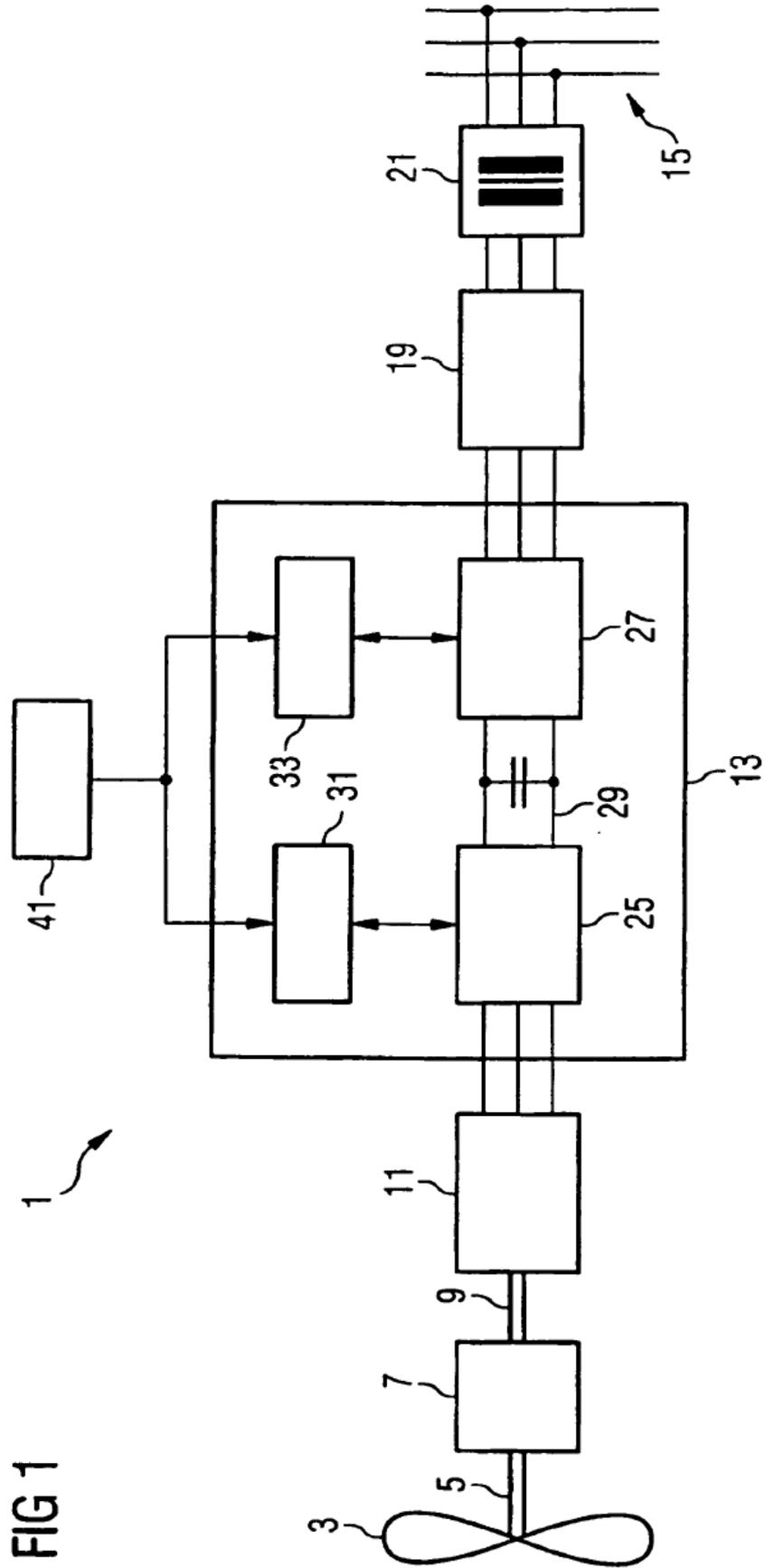


FIG 1

FIG 2

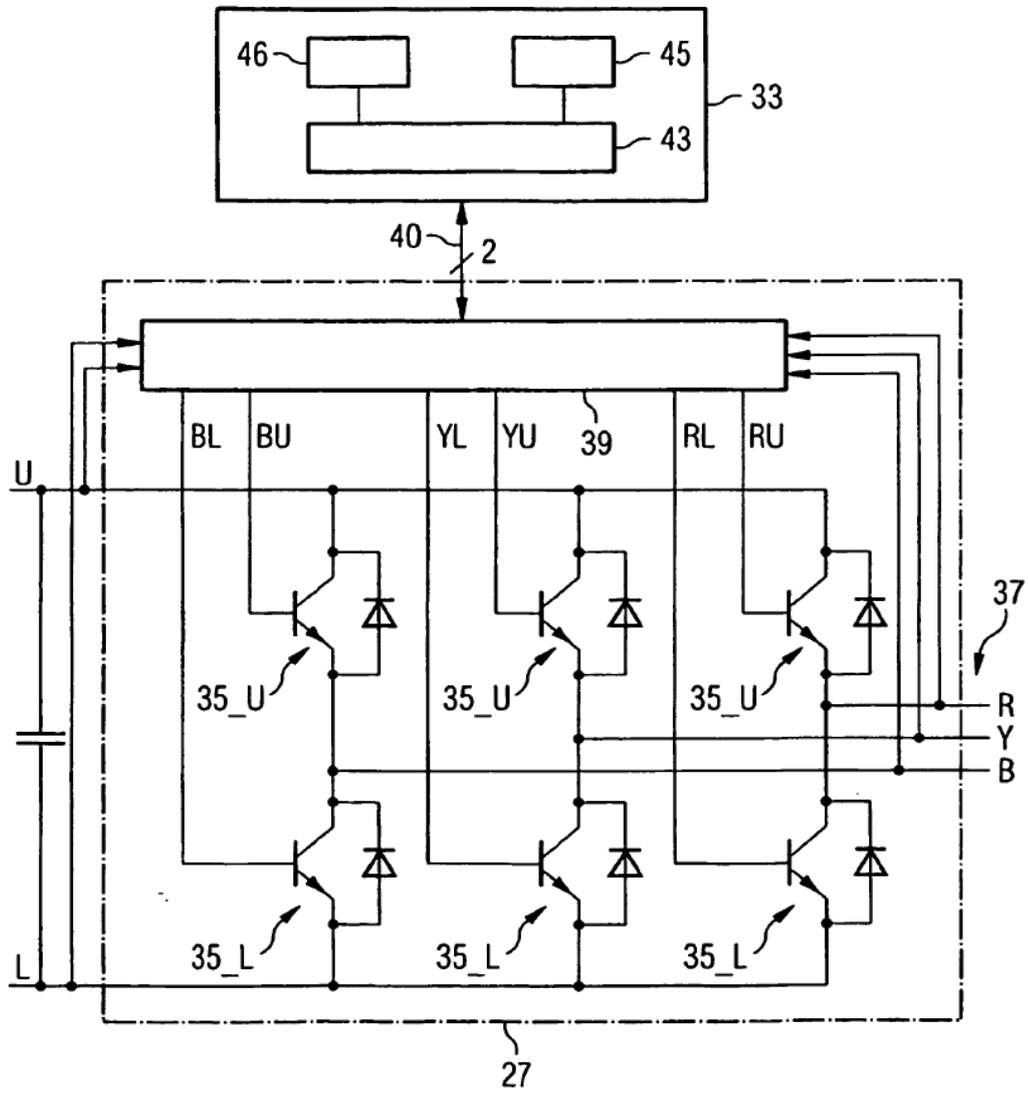


FIG 3

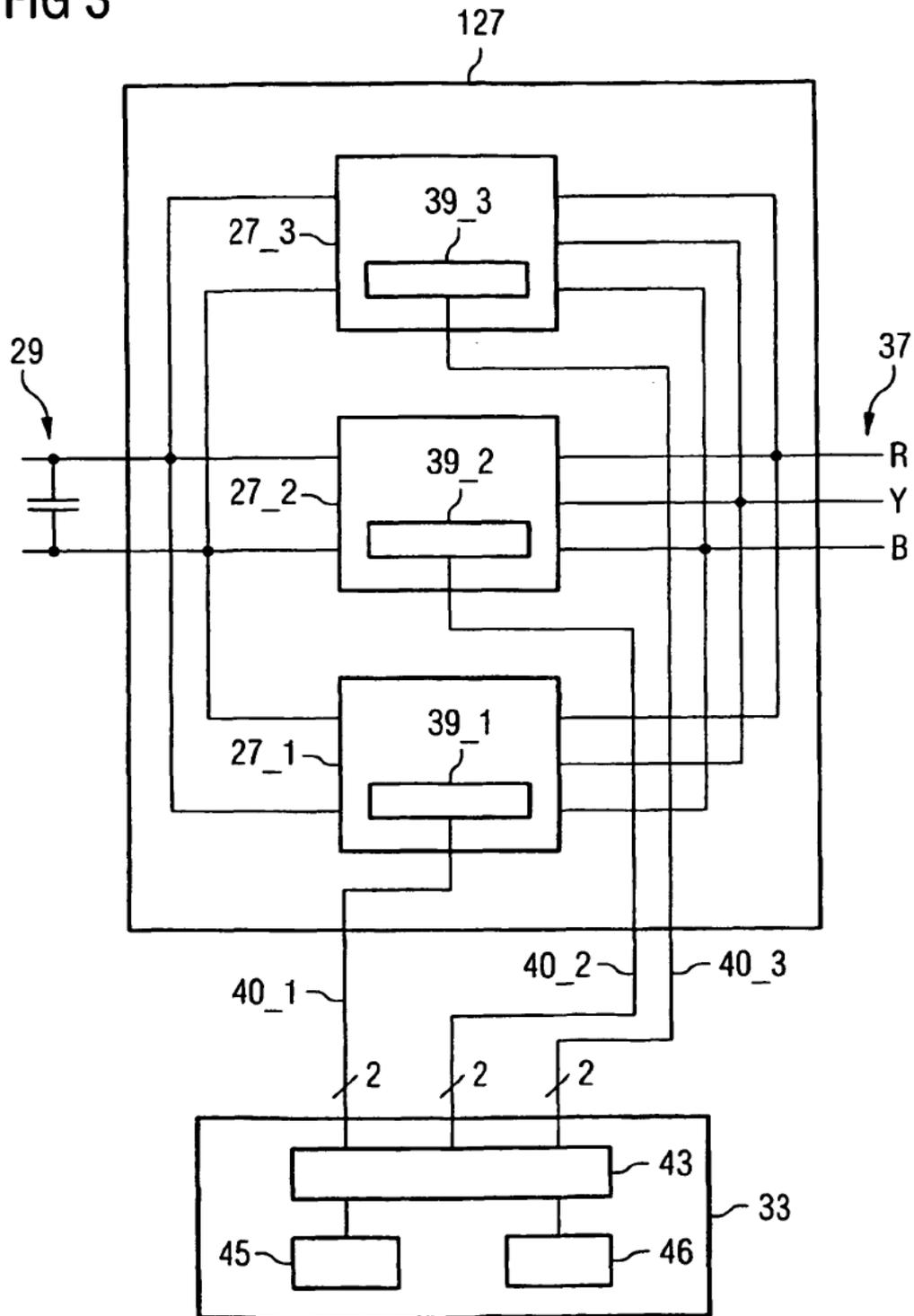


FIG 4

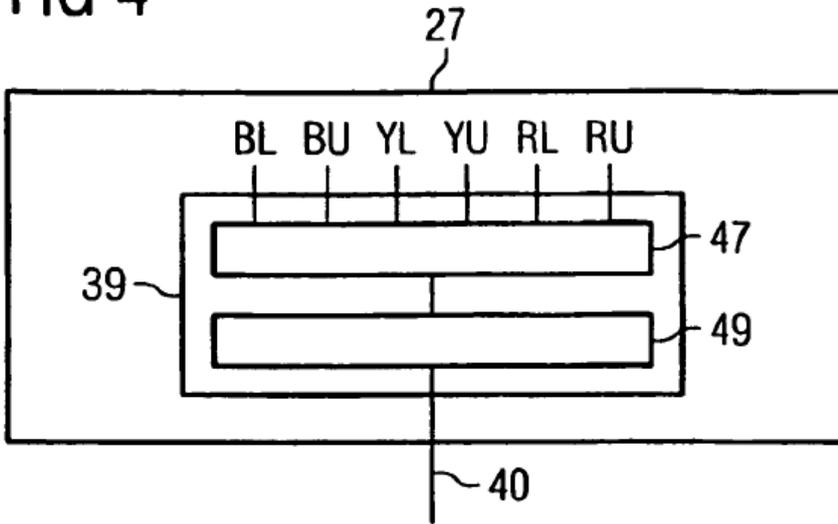


FIG 5

