



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 319 192**

51 Int. Cl.:

B60L 3/00 (2006.01)

B60L 3/12 (2006.01)

G05B 9/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04740000 .7**

96 Fecha de presentación : **17.06.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1646525**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.04.2006**

54 Título: **Control del funcionamiento de un convertidor.**

30 Prioridad: **17.07.2003 GB 0316709**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
05.05.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
05.05.2009

73 Titular/es: **Bombardier Transportation GmbH
Schoneberger Ufer 1
10785 Berlin, DE**

72 Inventor/es: **Gebhardt, Sven**

74 Agente: **Isern Jara, Jorge**

ES 2 319 192 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).

ES 2 319 192 T3

DESCRIPCIÓN

Control del funcionamiento de un convertidor.

5 La presente invención se refiere a un método para el control del funcionamiento de un convertidor. Además, la presente invención se refiere a un dispositivo para el control del funcionamiento de un convertidor. El convertidor puede ser, por ejemplo, un convertidor de corriente, un convertidor de voltaje, un convertidor CC/CA, o un inversor. En particular, la presente invención se refiere al sector de las aplicaciones de elevada potencia eléctrica, tales como el suministro de energía eléctrica a un motor de impulsión de un vehículo ferroviario por utilización de un convertidor conectado, con intermedio de una conexión de corriente alterna trifásica, al motor de impulsión.

10 Para muchas aplicaciones, un convertidor que está conectado a una carga eléctrica, comprende un lado de corriente continua y un lado de corriente alterna, con tres fases de corriente alterna. El lado de corriente continua está conectado a un circuito intermedio de corriente continua. La carga eléctrica está conectada a las tres fases de corriente alterna en el lado de la corriente alterna. Un dispositivo de control efectúa el control del funcionamiento del convertidor, de manera que las corrientes de fase de las tres fases de corriente alterna son utilizadas como variables de entrada para el proceso de control. Por ejemplo, es posible utilizar un dispositivo de control adaptado para emitir señales de modulación de amplitud de impulsos (PWM). Las señales PWM son transferidas al convertidor y efectúan la conmutación de las válvulas electrónicas del convertidor. Si la carga eléctrica está constituida por una máquina electromagnética puede recibir energía eléctrica del convertidor con intermedio de las tres fases de la conexión de corriente alterna (CA). De manera adicional o alternativa, se puede realimentar energía eléctrica desde la máquina electromagnética al convertidor con intermedio de la conexión de CA.

15 Hay varios errores y fallos de funcionamiento que pueden tener lugar durante el funcionamiento del dispositivo: una o varias de las tres fases de la conexión de corriente alterna podrían interrumpirse o el propio convertidor puede tener un funcionamiento defectuoso. Una o varias de las tres fases pueden estar conectadas a masa. Además, un sensor, que es utilizado para detectar una corriente de fase de una de las fases, puede ser defectuoso y/o podría fallar el suministro de energía para el funcionamiento del sensor. Una conexión de señal desde el detector al dispositivo de control podría estar interrumpida o no existir (debido posiblemente a un conector suelto). Además o de forma alternativa, cualquier dispositivo (tal como un amplificador) que se utiliza para procesar la señal desde el detector podría ser defectuoso o podría no estar ajustado correctamente.

20 Si existe un fallo de la medición de las corrientes de fase (incluyendo un fallo del proceso de la señal de medición), el dispositivo de control utilizará un valor erróneo de entrada y como consecuencia, el dispositivo de control intentará adaptar la corriente de fase. En otras palabras: el dispositivo de control emitirá señales de control hacia el convertidor a efectos de compensar el valor erróneo de la señal de entrada. Si la corriente de fase medida es demasiado reducida de modo permanente (por ejemplo cero debido al fallo de detección), el convertidor se puede averiar o incluso puede ser destruido.

25 En muchas aplicaciones, la carga eléctrica es simétrica con respecto a las tres fases de corriente alterna. La expresión "la carga es simétrica con respecto a las tres fases de corriente alterna" significa que el valor de la raíz de los cuadrados mínimos (RMS) de las corrientes eléctricas transportadas por las tres fases debe ser igual en cada momento de tiempo. Son ejemplos una carga conectada en estrella y una carga conectada en delta, de manera que, (en el último caso) la carga comprende la misma resistencia y la misma inductividad entre cada par de fases. No obstante, puede existir una pequeña desviación de la suma desde cero en algunos casos, por ejemplo en el caso de una carga conectada en delta. Esta desviación es aceptable si no se supera un nivel de tolerancia especificado. Particularmente, con una carga conectada en estrella la suma de las corrientes de las tres fases de la salida del convertidor es cero, si no hay fallos, tales como por ejemplo una conexión a masa (tierra).

30 Si la suma de las corrientes de las tres fases debe ser cero, es posible medir las corrientes de las tres fases para calcular la suma de las corrientes de las tres fases y comparar dicha suma con el valor umbral. Si se supera el valor umbral, se puede llegar a la conclusión de que existe un fallo. A efectos de evitar falsas alarmas, el valor medio o valor filtrado de la suma puede ser comparado con el valor de umbral. Si se supera el valor de umbral se pueden adoptar acciones apropiadas tales como la desconexión del convertidor e interrumpiendo, por lo tanto, el funcionamiento de la máquina electromagnética.

35 No obstante, otros fallos o funcionamientos defectuosos, tales como cortocircuitos en una bobina de la carga eléctrica (por ejemplo, en arrollamientos de una máquina electromagnética) u otro comportamiento no simétrico de la carga, no pueden ser detectados por este método.

40 Además, uno de los tres sensores de corriente y otros dispositivos correspondientes para el proceso de la señal del sensor han sido omitidos a efectos de ahorro de costes. Como resultado, el procedimiento que se ha descrito no puede ser aplicado. Una posibilidad de comprobar el funcionamiento del proceso de señal del sensor en un dispositivo de este tipo consiste en utilizar una bobina de pruebas adicional en cada sensor y generar una corriente de señal en la línea de señal por inducción. La corriente de señal puede ser entonces procesada y se puede comprobar el funcionamiento de los dispositivos de proceso correspondientes.

ES 2 319 192 T3

De acuerdo con otro método, la potencia eléctrica que es transferida desde el convertidor a una máquina electromagnética se determina y se compara con la potencia mecánica producida por la máquina. La realización de este método requiere la consideración de pérdidas de conversión de energía de la máquina. Además, no se puede adoptar en la práctica de manera suficientemente rápida una acción apropiada si existe un fallo de funcionamiento en la detección de, como mínimo, una de las corrientes de fase o si la correspondiente fase queda interrumpida.

Es un objetivo de la presente invención dar conocer un método para el control de un convertidor, en el que una carga eléctrica es conectada al convertidor en el lado de la corriente alterna, haciendo posible detectar fallos y/o funcionamiento defectuoso del dispositivo de manera rápida para prevenir daños. Preferentemente, el método debe ser capaz de detectar comportamiento no simétrico de los valores medidos respecto a tres fases de corriente alterna. Además, es deseable dar a conocer un método que puede ser llevado a cabo con un coste reducido y/o puede ser implementado en dispositivos con un coste reducido. Además, es un objetivo de la presente invención dar a conocer un dispositivo correspondiente.

Se propone la utilización de un modelo matemático que es capaz de modelar el funcionamiento de la carga eléctrica. El convertidor comprende un lado de corriente alterna con tres fases de corriente alterna. La carga eléctrica es conectada a las tres fases de corriente alterna. En particular, la carga eléctrica es un motor de impulsión de un vehículo de tracción ferroviario. De forma adicional o alternativa, el modelo puede ser capaz de modelar el funcionamiento de la carga eléctrica incluyendo el funcionamiento del convertidor. El documento US 6242873 describe el control de un vehículo híbrido en serie utilizando un esquema de control adaptativo y predictivo para las exigencias de carga, pero no para la comprobación de los datos del sensor.

Se miden corrientes de fase eléctrica de un mínimo de dos de las fases y se utilizan los correspondientes valores medidos de la corriente para controlar el funcionamiento del convertidor. De acuerdo con un primer aspecto de la invención, el modelo matemático es utilizado para calcular, como mínimo, un valor de la corriente de, como mínimo, una de las corrientes de fase durante el funcionamiento del convertidor y se comprueba utilizando el, como mínimo, un valor de corriente calculado si, como mínimo, una de las corrientes de fase eléctrica y/o el valor de corriente medida correspondiente son plausibles y/o conducen a resultados plausibles en el funcionamiento del convertidor. El término "valor de corriente calculado" comprende cualquier valor o señal numérica que represente a la corriente.

Estos objetivos son solucionados por las características de la reivindicación 1 de método y por la reivindicación 6 de dispositivo. Las reivindicaciones dependientes se refieren a realizaciones ventajosas de la invención.

En una realización específica el dispositivo puede comprender el convertidor en el que una entrada de señal de control del convertidor es conectada a la salida de señal de control del dispositivo de control. De manera adicional o alternativamente la carga eléctrica puede ser una máquina de corriente alterna trifásica, en particular un motor asíncrono, en el que el dispositivo comprende la máquina electromagnética y en el que la máquina electromagnética está conectada a las tres fases de la conexión de corriente alterna trifásica.

Se conocen por la técnica anterior modelos matemáticos que pueden ser implementados en software y que son utilizados para el funcionamiento de un microordenador. Por ejemplo el documento DE 195 31 771 A1 (inventor: Depenbrock) describe un método y dispositivo para determinar la velocidad de rotación de una máquina de campo rotativo. El documento da a conocer que el proceso de la señal comprende un modelo de máquina completa que incluye un convertidor, cuyo lado de corriente alterna está conectado a la máquina. El modelo de máquina utiliza parámetros de la máquina (que pueden depender de la temperatura), de la velocidad de rotación de la máquina, de un voltaje eléctrico en el lado de corriente continua del convertidor y de señales de control para controlar el convertidor. En particular, el modelo de la máquina es capaz de calcular las corrientes de fase eléctrica transportadas por el extractor de la máquina.

Se pueden utilizar modelos alternativos que, por ejemplo, pueden no estar basados en la medición de la velocidad de rotación de la máquina.

De acuerdo con la invención el modelo matemático es utilizado para comprobar la plausibilidad de como mínimo una de las corrientes de fase del modo que se ha descrito anteriormente. En particular el dispositivo de control lleva a cabo la comprobación de la plausibilidad. Preferentemente la comprobación de la plausibilidad se lleva a cabo utilizando un ordenador y software para el funcionamiento del ordenador, de manera que el ordenador forma parte del dispositivo de control. Se propone llevar a cabo de manera repetida la comprobación de plausibilidad, por ejemplo en cada ciclo operativo del dispositivo de control.

Pueden presentarse valores no plausibles por diferentes razones, tal como demuestran a título de ejemplo los fallos y/o defectos de funcionamiento mencionados en lo anterior. No es absolutamente necesario llevar a cabo la comprobación de plausibilidad por comparación de las corrientes de fase calculadas con una corriente de fase que se basa en la medición. En vez de ello resulta posible analizar el desarrollo de la corriente de fase calculada con el tiempo y detectar un comportamiento poco habitual. El análisis es posible dado que el modelo puede obtener información con respecto al proceso de control llevado a cabo por el controlador (por ejemplo, obtiene información con respecto a las señales de control).

ES 2 319 192 T3

No obstante, en caso de realizaciones preferentes, que se describen en detalle más adelante, la corriente de como mínimo una fase eléctrica calculada es comparada con el valor de la corriente medida correspondiente. En el dispositivo, eso corresponde a una realización en la que los medios de comprobación están conectados a los medios de modelado y como mínimo a dos sensores. Los medios de comprobación pueden comprender medios de comparación que están adaptados para comparar la corriente de como mínimo una fase calculada con el correspondiente valor actual medido.

El término “valor de corriente medido” comprende el caso en el que la carga eléctrica es simétrica en las tres fases de corriente alterna, en el que se miden solamente las corrientes de la fase eléctrica de dos de las fases y la corriente de la fase eléctrica de la tercera fase es calculada a partir de las dos corrientes de fase medidas y se utiliza en la comprobación de plausibilidad (como valor “medido”). Dado que dicha como mínimo una corriente de fase puede ser calculada repetidamente por el modelo con elevadas frecuencias de repetición, es posible una reacción muy rápida frente a un fallo y/o defecto de funcionamiento. En particular, la frecuencia de repetición puede ser la misma o incluso más elevada que la frecuencia de medición de la corriente de fase (frecuencia de muestreo). La frecuencia de medición y la frecuencia de repetición del modelo se encuentran, por ejemplo, dentro de una gama de 15 a 20 kHz (por ejemplo 17 kHz) con una frecuencia de corriente alterna de 0 a 200 Hz. Como resultado es posible una reacción dentro de un tiempo significativamente más corto que el intervalo de conmutación típico del convertidor (aproximadamente 1/300 Hz de promedio). Esto permite el filtrado o proceso difuso (“fuzzy”) tal como se describe más adelante en el presente documento.

La presente invención hace posible utilizar valores de corriente medidos de dos o de las tres fases solamente y llevar a cabo una comprobación de plausibilidad para la totalidad de las tres fases y/o para cada fase separadamente si la carga eléctrica es simétrica en las tres fases. En particular, si una máquina electromagnética está conectada a la conexión de corriente alterna en forma de un sistema trifásico conectado en estrella, la corriente de la tercera fase se puede calcular utilizando la suma de las otras dos corrientes de fase en cada punto de tiempo, dado que la suma de todas las corrientes de fase debe ser cero con la conexión de estrella. A pesar de ello, es posible detectar un fallo con respecto a cada fase, en particular con respecto a la tercera fase (incluyendo un fallo del convertidor) y/o un fallo en los dispositivos para medición de las dos corrientes de fase separadamente para las dos fases.

Preferentemente, el valor de corriente calculado de cada una de las tres fases es comprobado independientemente en cuanto a plausibilidad. En el dispositivo esto corresponde a una realización en la que los medios de comprobaciones se han conectado a los medios de modelado y están adaptados para comprobar valores de corriente de cada una de las tres fases independientemente una de otra a efectos de plausibilidad. Este diagnóstico selectivo de fase no es posible con la técnica anterior que se ha descrito y permite una identificación más rápida de la razón del defecto de funcionamiento y/o del fallo.

En particular cuando se ha utilizado cualquier valor de medición en la comprobación de plausibilidad, es preferible que el por lo menos un valor de corriente calculado sea almacenado y/o se retrase una señal correspondiente antes de utilizar la corriente calculada en la comprobación de plausibilidad. El almacenamiento del valor de la corriente calculado hace posible utilizarlo con un cierto retardo. En el dispositivo esto corresponde a una realización en la que el dispositivo de control comprende un almacenamiento, adaptado para almacenar como mínimo un valor de corriente calculado y/o corresponde a una realización en la que el dispositivo de control comprende medios de retardo. Los medios de retardo se han conectado a los medios de modelado y están adaptados para retrasar una señal generada por los medios de modelado antes de que la señal sea utilizada por los medios de comprobación.

Habitualmente, los valores de medición tienen que ser procesados antes de que puedan ser utilizados en el proceso de datos, en particular en el proceso digital de datos. Por ejemplo, el valor de la medición es filtrado, amplificado y/o convertido a un formato digital. Al retrasar la utilización del valor de la corriente calculado o al retrasar la correspondiente señal, se tiene en cuenta el tiempo para obtener y procesar el valor de medición, y la comprobación de plausibilidad se puede llevar a cabo tan pronto como se dispone del valor de medición.

De manera general, es preferible llevar a cabo una compensación desplazada si el valor de la corriente de fase que se ha medido se utiliza en la comprobación de plausibilidad. La compensación desplazada puede ser llevada a cabo en cualquier momento antes de que se conecte el suministro de corriente alterna de la carga eléctrica. En esta situación la corriente de fase debe ser cero. Si no es este el caso, el valor medido correspondiente puede ser identificado como un valor de desplazamiento y puede ser almacenado para las siguientes mediciones. Opcionalmente, a efectos de eliminar variaciones debidas a ruidos, se puede determinar una serie de valores de desplazamiento, por ejemplo la determinación puede ser llevada a cabo de manera repetida a lo largo de un periodo de tiempo, y se puede calcular un valor medio y este se puede almacenar como valor para la compensación de desplazamiento. Es posible intervenir (en particular para impedir el funcionamiento del convertidor) si el valor de compensación de desplazamiento que se ha determinado supera un valor de umbral.

La invención hace posible llevar a cabo una comprobación de plausibilidad solamente con dos corrientes de fases medidas no redundantes. No es necesario utilizar sensores de corriente redundante o sensores con arrollamientos de prueba y comparar las señales producidas por los sensores redundantes a efectos de comprobar si las señales son plausibles. Un valor medido no plausible se detectará comparándolo con el valor de corriente calculado correspondiente, por ejemplo. Como consecuencia, se pueden ahorrar costes del sensor o sensores redundantes y el material correspondiente para procesar la señal o señales del sensor. Asimismo la fiabilidad y disponibilidad general se mejoran, en particular dado que, por ejemplo, uno de los sensores redundantes puede fallar.

ES 2 319 192 T3

La comprobación de plausibilidad puede ser llevada a cabo de diferentes maneras. De acuerdo con una realización preferente la comprobación de plausibilidad comprende el cálculo de la diferencia entre el como mínimo un valor de corriente de fase eléctrica calculado y un valor de comparación. La diferencia, la por lo menos una corriente de fase eléctrica calculada y/o el valor de comparación pueden ser filtrados para eliminar las interferencias transitorias. La comprobación de plausibilidad puede comprender la comparación de la por lo menos una corriente de fase eléctrica calculada con el valor de corriente medido correspondiente. Además, es preferible que la como mínimo una corriente de fase sea medida repetidamente y se compare repetidamente con la como mínimo una corriente de fase eléctrica calculada.

Una concentración de desplazamiento (por ejemplo, tal como se ha descrito anteriormente) se puede llevar a cabo en cualquier momento de tiempo cuando se desconecta la corriente alterna suministrada de la carga eléctrica.

Un dispositivo para la medición de por lo menos una de las corrientes de fase y/o para procesar dichos valores medidos se puede comprobar en cuanto a plausibilidad en cualquier momento (de acuerdo con por lo menos una realización de la invención) cuando se ha iniciado el funcionamiento del convertidor.

Por ejemplo, el valor de la por lo menos una corriente calculado se compara con un valor de umbral. Una correspondiente intervención en el funcionamiento del convertidor se lleva a cabo si el valor de umbral se corresponde y/o es superado. En una realización específica del dispositivo, los medios de comprobación pueden comprender medios de comparación del umbral que están adaptados para comparar un resultado intermedio de los medios de comprobación (por ejemplo la diferencia entre una corriente de fase medida y calculada) con un valor de umbral.

La realización siguiente corresponde a la mejor forma de realización de la invención actualmente conocida: un modelo de voltaje definido entre las tres fases es generado controlando el convertidor, empezando en un estado operativo definido de la carga. La por lo menos una corriente de fase eléctrica calculada es comparada con un valor de corriente medido correspondiente. En el dispositivo esto corresponde a una realización en la que el dispositivo de control comprende medios generadores de un modelo de voltaje que están adaptados para generar un modelo de voltaje definido entre las tres fases y que están conectados a la salida de señal de control para la emisión de una señal hacia el convertidor, de manera que la señal de salida corresponde al modelo de voltaje.

Por ejemplo, si la carga eléctrica comprende una máquina electromagnética, el modelo de voltaje es generado cuando las bobinas de la máquina no están todavía magnetizadas (estado definido), por ejemplo cuando la corriente alterna ha sido desconectada y ha transcurrido suficiente tiempo de manera que las bobinas no están magnetizadas de forma relevante. Aplicado a un sistema ferroviario en el que la máquina electromagnética es un motor de impulsión de un vehículo de tracción ferroviaria, se propone llevar a cabo esta comprobación de plausibilidad cuando el vehículo se pone en marcha por primera vez después de un periodo de reposo y/o repetidamente durante el funcionamiento del vehículo. Por ejemplo, es posible repetir la comprobación de plausibilidad cada vez en que el vehículo alcanza otra sección de una red de suministro de potencia eléctrica y, por lo tanto, el suministro de corriente eléctrica de la máquina es desconectado durante un corto periodo de tiempo.

Preferentemente, el modelo de voltaje es constante en el tiempo, es decir, el voltaje entre cada par de fases se mantiene constante. En otras palabras: se suministra una corriente continua a la carga eléctrica en vez de una corriente alterna. Si la carga eléctrica comprende una bobina (tal como en el caso de una máquina electromagnética), el voltaje constante y la inductividad de la bobina resultarán en una corriente continua creciente de forma lineal siempre que el proceso de magnetización de la bobina no haya alcanzado la fase de saturación. Por lo tanto se genera un impulso de corriente. Este proceso de impulso de corriente tiene la ventaja de que es simple y que puede ser evaluado fácilmente utilizando un valor calculado por el modelo. Por ejemplo, es necesario solamente comparar el valor de la corriente medido y calculado en un punto de tiempo, por ejemplo en un punto de tiempo predeterminado. No obstante, es preferible comparar los valores en una serie de momentos de tiempo.

Se puede utilizar una serie de diferentes modelos de voltaje. Por ejemplo, el potencial eléctrico de una primera de las fases puede tener un valor constante y los potenciales eléctricos de las otras dos fases son cero. De acuerdo con un ejemplo alternativo, el potencial eléctrico de una primera de las fases puede tener un valor positivo constante y los potenciales eléctricos de las otras dos fases pueden tener un valor negativo constante. También se pueden generar variaciones de estos modelos.

En el caso de máquinas electromagnéticas asíncronas se tiene que generar un flujo magnético antes del funcionamiento de la máquina. El flujo inicial se puede generar por una fuente de corriente controlada. Esta fuente de corriente puede ser utilizada para la comprobación de plausibilidad, de manera que no es necesario generar un impulso de corriente separado. Si se detecta algún fallo y/o defecto de funcionamiento al evaluar al impulso de corriente, se puede impedir el arranque de la máquina. En particular esto significa que el dispositivo de control no pone en marcha el funcionamiento del convertidor y se impiden daños en la máquina.

Tal como se ha mencionado antes, el modelo matemático es utilizado para calcular como mínimo un valor de corriente calculado de como mínimo una de las corrientes de fase durante el funcionamiento del convertidor. Tal como se puede reconocer por la descripción del método de impulso de corriente, el funcionamiento del convertidor no tiene que ser un funcionamiento normal, por ejemplo cuando una máquina electromagnética convierte energía eléctrica en energía mecánica. Por el contrario, la operación puede ser una "operación de prueba". No obstante, se describirán

ES 2 319 192 T3

otras realizaciones en las que el modelo matemático calcula el valor de la corriente durante el funcionamiento normal de la carga eléctrica.

Una comprobación de plausibilidad del tipo que se ha descrito antes puede detectar cualquier fallo y/o defecto de funcionamiento de la medición de corriente de fase incluyendo el proceso de la señal de medición, cualquier error de los parámetros de la carga eléctrica, que son utilizados por el modelo, y cualquier interrupción de una fase. La detección es selectiva en cuanto a fase. De manera más general, el comportamiento no simétrico en fallo de la carga eléctrica y/o una cadena de medición en fallo afectarán las corrientes de fase medidas y por lo tanto se puede detectar. En particular se puede detectar cualquier error de ganancia del proceso de la señal de medición y/o conectores sueltos.

La generación del modelo de voltaje de acuerdo con el método de impulso de corriente puede empezar, por ejemplo, de 2 a 3 ms después de que se ha desconectado el suministro de corriente alterna de la carga eléctrica. Este tiempo debe ser suficiente para permitir la disminución de flujo magnético de la carga eléctrica a un valor pequeño y negligible.

De acuerdo con una variante preferente del método de impulso de corriente el convertidor es controlado, de manera que el voltaje entre las tres fases es cero o pasa a ser cero después de un tiempo especificado después de la puesta en marcha de la generación o del modelo de voltaje definido, o es cero o pasa a ser cero cuando una corriente de fase de una de las tres fases ha alcanzado un valor de corriente especificado. Por ejemplo, cada una de las tres fases se encuentra en cortocircuito en potencial alto o bajo. Por ejemplo, el valor de la corriente especificada se encuentra entre 10 y 50% del valor de la corriente nominal durante el funcionamiento normal de una máquina electromagnética. En el caso de que la carga eléctrica sea la de un motor de impulsión de un vehículo ferroviario, el tiempo especificado puede encontrarse entre 1 y 5 ms. Estos valores especificados son el resultado de un compromiso satisfactorio entre el tiempo necesario para llevar a cabo la comprobación de plausibilidad y la precisión de la comprobación de plausibilidad.

En principio la comprobación de plausibilidad puede ser llevada a cabo antes y/o después de la conmutación de los voltajes de la línea de corriente alterna a cero. No obstante es preferible medir la como mínimo una corriente de fase cuando el voltaje entre la totalidad de las tres fases es cero o ha pasado a ser cero. Entonces, en particular si la carga eléctrica es una máquina eléctrica, las corrientes de fase disminuyen pero son casi constantes en el tiempo en comparación con las fases anteriores, cuando se aplica el modelo de voltaje definido. Como consecuencia, se pueden obtener valores de medición más precisos de las corrientes de fase y se pueden comparar con los valores calculados.

La presente invención no está limitada al caso de que la comprobación de plausibilidad sea llevada a cabo en una situación operativa especial y no está limitada al caso de que la comprobación de plausibilidad es llevada a cabo solamente una vez y/o repetidamente de la misma manera. En vez de ello se pueden combinar y llevar a cabo con el mismo dispositivo diferentes formas de realizar la comprobación de plausibilidad. Por ejemplo, el método de impulso de corriente descrito anteriormente puede ser llevado a cabo antes de poner en marcha el funcionamiento normal de la carga eléctrica y además se puede llevar a cabo como mínimo otra comprobación de plausibilidad durante el funcionamiento normal de la carga eléctrica. Un ejemplo de esta otra comprobación de plausibilidad se describe a continuación.

De acuerdo con una realización preferente el modelo matemático utiliza como mínimo un voltaje entre pares de las tres fases como función de tiempo y/o utiliza parámetros de la carga eléctrica para el cálculo de como mínimo un valor de corriente calculado. Los términos “como mínimo un voltaje entre pares de las tres fases” comprende el caso en el que el modelo utiliza como mínimo un potencial eléctrico de una de las fases y un potencial de referencia. En particular el modelo calcula el valor de la corriente durante el funcionamiento normal del convertidor.

Una aplicación a título de ejemplo de esta realización se refiere a la posibilidad de que el suministro de corriente alterna a la carga eléctrica se pueda interrumpir durante el funcionamiento normal. Dado que un dispositivo de control, utilizado para controlar el funcionamiento del convertidor y por lo tanto de la carga eléctrica, reaccionará de manera rápida e impetuosa, la interrupción tiene que ser detectada con rapidez. En particular, una detección debe ser posible dentro de una fracción del periodo de corriente alterna. Un modelo matemático es útil en este caso dado que la frecuencia de repetición del cálculo del modelo puede ser muy elevada, tal como se ha indicado anteriormente.

Tal como se ha mencionado en lo anterior, los valores de corriente calculados se pueden comparar con valores de corriente medidos a efectos de comprobar el valor corriente medido respectivo a efectos de plausibilidad. No obstante, de acuerdo con un diferente aspecto de la presente invención no es necesaria la medición de la corriente de fase. En vez de ello se utiliza un valor umbral que representa un máximo de un valor absoluto de una o más de una de las corrientes de fase. Se escoge el máximo de manera que es no correspondido ni superado durante el funcionamiento normal del convertidor. En particular repetidamente durante el funcionamiento del convertidor, el valor de la corriente de fase que se ha calculado (a partir del cálculo del modelo) es comparado con el valor umbral. Es posible llevar a cabo esta comparación para dos o las tres fases separadamente. Si el valor umbral es correspondido o superado se puede tomar una acción apropiada tal como desconectar el suministro de corriente alterna (por ejemplo desconectando el convertidor). Una ventaja de esta realización es que la comparación con un valor fijo es más simple de implementar y de realizar que la comparación con un valor medido. A pesar de ello el diagnostico es rápido y fiable.

En como mínimo una o más de uno de los procedimiento de comprobación de plausibilidad descritos en lo anterior la comprobación de plausibilidad puede incluir un proceso especial para decidir si existe un fallo y/o defecto de funcionamiento. Este proceso especial puede ser llevado a cabo a efectos de incrementar la fiabilidad de tomar la

ES 2 319 192 T3

decisión y se designa como “evaluación Fuzzy (“difusa”)” en esta descripción. Además, la evaluación fuzzy no puede ser aplicada solamente a comprobación de la plausibilidad de las corrientes de fase, sino también a la comprobación de la plausibilidad de las cantidades de entrada del modelo matemático de la carga eléctrica, tal como voltaje de línea y/o (en el caso de una máquina eléctrica) la velocidad de rotación de la máquina.

5 Se propone, cuando se lleva a cabo la comprobación de plausibilidad, determinar de forma repetida un primer valor de plausibilidad de manera que el primer valor de plausibilidad es una medición instantánea de un grado de plausibilidad y/o no plausibilidad. Además, un segundo valor de plausibilidad se deriva de una serie de los primeros valores de plausibilidad, de manera que cada uno de los primeros valores de plausibilidad puede influir en el segundo
10 valor de plausibilidad de manera correspondiente a su grado de plausibilidad y/o no plausibilidad. Se toma una acción apropiada si el segundo valor de plausibilidad cumple un criterio determinado.

En la evaluación fuzzy el segundo valor de plausibilidad refleja la plausibilidad de una serie de primeros valores de plausibilidad y por lo tanto un primer valor de plausibilidad defectuoso tiene menores probabilidades de tener como
15 resultado la interrupción del funcionamiento del convertidor. El efecto de la evaluación Fuzzy puede ser comparado con el efecto de un filtro inteligente. Además, se puede implementar fácilmente en hardware y/o software, por ejemplo utilizando un contador, de manera que el valor del contador es el segundo valor de plausibilidad. El término “contador” no está limitado a contar números enteros. En el ejemplo un primer valor de plausibilidad con un grado más bajo de plausibilidad tiene como resultado un incremento superior del número del contador que un primer valor de
20 plausibilidad con un grado más elevado de plausibilidad. Viceversa, el número del contador se puede disminuir si el grado de plausibilidad del primer valor de plausibilidad es elevado.

Hay varias características que se pueden combinar con este enfoque básico independientemente una de otra o en combinación de como mínimo algunas de las características. En primer lugar el grado de plausibilidad del primer
25 valor de plausibilidad puede ser ponderado y el segundo valor de plausibilidad es influido de manera correspondiente al primer valor de plausibilidad ponderado. En el caso más simple se puede utilizar un factor de ponderación de 1 para todos los grados de plausibilidad del primer valor de plausibilidad. No obstante, es posible disminuir el peso de los primeros valores de plausibilidad de acuerdo con el incremento del grado de plausibilidad.

En segundo lugar es posible decidir si el grado de plausibilidad del primer valor de plausibilidad es igual a un
30 valor de umbral más bajo o si el igual o menor que un valor de umbral más bajo. Si este es el caso, el segundo valor de plausibilidad está influido para mostrar la plausibilidad disminuida. Si no es este el caso, el segundo valor de plausibilidad no es corregido o es corregido para mostrar una plausibilidad total incrementada (por ejemplo el número del contador es disminuido).

35 En tercer lugar es posible que solamente el efecto de un número limitado de primeros valores de plausibilidad recientes influya en el segundo valor de plausibilidad. Esto significa que los primeros valores de plausibilidad, que corresponden a incidentes que tuvieron lugar hace tiempo, no afectan al segundo valor de plausibilidad. De manera alternativa, si se utiliza un contador para el segundo valor de plausibilidad es posible tanto la disminución como
40 el aumento del número del contador dependiendo del grado de plausibilidad del primer valor de plausibilidad. Como resultado, el número del contador se puede disminuir a cero y en este caso los incidentes que han tenido lugar anteriormente ya no afectan al segundo valor de plausibilidad.

En particular, el primer valor de plausibilidad es una diferencia entre un resultado derivado del valor de la corriente
45 calculado y un valor de comparación, por ejemplo, la diferencia entre el valor calculado y el correspondiente valor del corriente de fase medido. Además, o de forma alternativa, el “grado de plausibilidad” significa que una mayor desviación con respecto a un resultado normal, esperado o deseado tiene un mayor grado de plausibilidad, por ejemplo. En caso de que la diferencia sea el primer valor plausible, el grado de plausibilidad es menor para mayores diferencias. Por ejemplo, el criterio predeterminado puede ser que un valor umbral del segundo valor de plausibilidad es correspondido
50 y/o superado. De manera general, la evaluación Fuzzy o una de sus realizaciones tienen las siguientes ventajas:

- Desviaciones pequeñas y/o muy escasas con respecto a un estado normal, esperado o deseado no tiene como resultado necesariamente la interrupción del funcionamiento del convertidor.

55 - Desviaciones grandes y/o múltiples con respecto a un estado normal, esperado o deseado tendrán como resultado una detección rápida y fiable del fallo y/o defecto de funcionamiento.

- El procedimiento puede ser implementado fácilmente. Los parámetros del procedimiento, tales como el peso y los valores umbral, se pueden adaptar fácilmente.

60 - Un procedimiento que puede funcionar con una reducida frecuencia de repetición, pero que puede formar parte de una rutina de control de nivel más elevado, puede controlar de manera fiable el resultado de la evaluación Fuzzy, en particular la comprobación del número del contador.

65 Además, la presente invención comprende:

- una estructura de datos que se pueden cargar en un ordenador, que están adaptados para llevar a cabo el método de acuerdo con una de las realizaciones descritas en esta descripción mientras es ejecutado en un ordenador.

ES 2 319 192 T3

A continuación se describirán realizaciones específicas de la presente invención a título de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos. Las figuras de los dibujos muestran esquemáticamente:

5 La figura 1, un dispositivo con un convertidor, del que el lado de corriente alterna está conectado a una carga, en particular un motor asíncrono;

La figura 2, dispositivos y unidades utilizados para procesar una señal de sensor de un sensor mostrado en la figura 1;

10 La figura 3, una realización específica de un dispositivo de control que puede formar parte del dispositivo de la figura 1 y que corresponde a la mejor forma actualmente conocida de la invención;

La figura 4, una realización específica de medios de comprobación que pueden formar parte del dispositivo de control de la figura 3;

15 La figura 5, un diagrama de flujo que muestra una comprobación de plausibilidad.

La figura 1 muestra un convertidor (11) que puede estar construido tal como es conocido por la técnica anterior. Por ejemplo, el convertidor puede ser un convertidor de corriente CC/CA (“corriente continua/ corriente alterna”) y puede comprender tres vías paralelas que conectan una primera y segunda líneas de conexión CC de un circuito intermedio CC (no mostrado en la figura). Cada una de las vías puede comprender un puente que tiene dos válvulas electrónicas (por ejemplo, tiristores de desconexión de puertas (“Gate Turn-Off” o transistores bipolares de puerta aislada, IGBT) que están conectadas en serie entre sí. En cada caso una fase (5a, 5b, 5c) de una conexión CA puede ser conectada a un punto de conexión entre las dos válvulas electrónicas. Además, en cada caso un diodo puede ser conectado de forma antiparalela a las válvulas electrónicas. Las líneas de señal de entrada de las válvulas electrónicas para recibir señales de control, en particular señales PWM, pueden ser conectadas a una entrada de señal de control (10) del convertidor de corriente. La entrada (10) de señal de control es conectada a una salida de señal de control de un dispositivo de control (4) del dispositivo (1). El lado de corriente continua del convertidor de corriente puede ser conectado a un segundo convertidor, que está adaptado para dar salida a una corriente continua hacia el convertidor de corriente. El lado de entrada del segundo convertidor puede estar conectado a una red de suministro de potencia, por ejemplo una red de corriente alterna monofásica de un sistema ferroviario. No obstante, son posibles las configuraciones y tipos de funcionamiento, tales como realimentación de energía eléctrica desde el convertidor de corriente al segundo convertidor.

35 Tal como se ha mostrado en la figura 1, las tres fases (5a, 5b, 5c) de la conexión CA conectan el convertidor (11) a la carga eléctrica (13), en particular a un motor asíncrono, que puede ser el motor de accionamiento del vehículo de tracción ferroviario.

Una primera fase (5^a) y una segunda fase (5b) de las fases (5a, 5b, 5c) que combinan en cada caso solamente con un sensor de corriente (3a, 3b) para medir la corriente de fase. Dado que la carga eléctrica (13) es simétrica en las tres fases (5a, 5b, 5c), la tercera fase (5c) no está combinada con el sensor de corriente. No obstante, es posible calcular la corriente de fase de la tercera fase (5c) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$45 \quad I_c = -(I_a + I_b),$$

en la que I_a , I_b , I_c son las respectivas corrientes de las tres fases (5a, 5b, 5c).

50 Los sensores de corriente (3a, 3b) están conectados, en cada caso, al dispositivo de control (4) con intermedio de la conexión de señal (7a, 7b) del sensor.

En aplicaciones de alta potencia, tales como vehículos de tracción ferroviaria, la función del sensor de corriente se puede basar en el principio de detección de una corriente por evaluación del campo magnético producido por el flujo de la corriente. Un ejemplo de este sensor de corriente (3) y correspondiente al dispositivo para procesar la señal del sensor se ha mostrado en la figura 2. El sensor de corriente (3) está acoplado a una fase (5) y genera una señal de corriente que corresponde a la corriente transportada por la fase (5). Una línea de señal para emitir la señal del sensor está conectada a un convertidor de corriente/voltaje (41) para convertir la señal de corriente en una señal de voltaje. El convertidor (41) de corriente/voltaje está conectado opcionalmente a un filtro (43) para filtrar la señal de voltaje a efectos de eliminar partes de señal, que son el resultado de interferencias transitorias, y a efectos de eliminar ruidos. Una salida del filtro (43) está conectada a una entrada de un amplificador (45) para amplificar la señal de voltaje. Si no existe el filtro (43) la salida del convertidor (41) de corriente/voltaje puede estar conectada directamente al amplificador (45).

65 De acuerdo con soluciones de la técnica anterior se puede disponer un comparador entre el convertidor de corriente/voltaje (41) y el amplificador (45), por ejemplo entre el filtro (43) y el amplificador (45). El comparador puede ser utilizado para comparar la corriente de fase medida con una corriente de fase medida por un sensor de corriente redundante.

ES 2 319 192 T3

Una salida del amplificador (45) está conectada a un análogo del convertidor digital (A/D) para digitalizar la señal de voltaje. La señal digitalizada puede ser utilizada para procesos de datos digitales, en particular realizada por un ordenador de un dispositivo controlador (4) mostrado en la figura 1. Por ejemplo, los elementos (41, 43, 45, 47) del dispositivo mostrado en la figura 2 pueden ser dispuestos entre el sensor de corriente (3^a) o (3b) y una entrada de señal del dispositivo de control (4). De manera alternativa, como mínimo algunos de los dispositivos (41, 43, 45, 47) pueden formar parte del dispositivo de control (4).

Durante el funcionamiento del convertidor (11), el dispositivo de control (4) para controlar el convertidor (11) utiliza valores de corriente de fase que se basan en la medición llevada a cabo por los sensores de corriente (3a, 3b).

El dispositivo de control (4) puede estar construido y/o dispuesto tal como se ha mostrado en la figura 3. En particular, las funciones de proceso de señal de las unidades del dispositivo de control, que se describirán a continuación, se pueden llevar a cabo utilizando hardware y/o software. Como mínimo, algunas de las funciones pueden ser llevadas a cabo por la misma unidad de hardware (por ejemplo, una unidad de proceso central) y/o el mismo software. Por ejemplo, cálculos de modelo para modelar el funcionamiento de la carga eléctrica (13) y la comprobación de plausibilidad pueden ser llevados a cabo por una unidad central de proceso del dispositivo de control (4).

De acuerdo con la disposición mostrada en la figura 3, el dispositivo de control (4) está conectado con intermedio de la conexión (7) de señal del sensor a los sensores de corriente (3). Durante el funcionamiento, las señales del sensor son transferidas a los medios de comprobación (29) del dispositivo de control (4) y opcionalmente a los medios de modelado (21). Los medios de modelado (21) que están adaptados para modelar el funcionamiento de la carga eléctrica (13), están conectados a los medios de comprobación (29) con intermedio de la línea de señal (32). Opcionalmente, unos medios de retardo (23) para retrasar una señal de salida de los medios de modelado (21) están dispuestos en la línea de señal (32).

En particular, la señal de salida representa, como mínimo, un valor de corriente calculado de las fases (5a, 5b, 5c). El objetivo de los medios de retardo (23) es el de retrasar la señal de salida de manera correspondiente al tiempo de retardo que se necesita para medir las corrientes de fase de las fases (5a, 5b) y el proceso de las señales de medición antes de la llegada a los medios de comprobación (29). No obstante, la forma alternativa de tener en cuenta el tiempo de retardo es almacenar, por lo menos temporalmente, el como mínimo un valor calculado en el almacenamiento de datos (26), que está conectado a los medios de comprobación (29). En este caso, se puede realizar una conexión adicional entre los medios de modelado (21) y el almacenamiento (26).

De acuerdo con otra realización opcional, unos medios (24) de comparación de umbral están conectados a la salida de los medios de modelado (21). Una salida de los medios de comparación de umbral (24) está conectada a una entrada de los medios de comprobación (29). Los medios (24) de comparación de umbral están adaptados para comparar de manera repetida una señal de salida que representa un valor de corriente de fase con un valor de umbral. En particular, el valor de umbral corresponde a un máximo de un valor absoluto de la corriente de fase a comparar. El máximo se escoge de manera que sea un límite para el funcionamiento normal del convertidor (11).

En una realización específica, el dispositivo de control (4) puede comprender un temporizador (27) para iniciar una rutina de comprobación de plausibilidad en un tiempo especificado después de empezar el funcionamiento del convertidor (11), por ejemplo, después de generar un modelo de voltaje definido entre las dos fases (método de impulso de corriente). El temporizador (27) puede estar conectado a los medios de comprobación (29).

Otras conexiones del dispositivo de control (4) pueden existir, tales como a un dispositivo de medición para medir un voltaje en el lado de corriente continua del convertidor (11) (por ejemplo, el voltaje del circuito intermedio de corriente continua) a un sensor de velocidad de rotación de la máquina electromagnética, y/o a medios de entrada para introducir parámetros de la carga eléctrica (13).

Una salida de los medios de comprobación (29) es conectada a los medios de salida (31) del dispositivo de control (4). El objetivo de los medios de salida (31) es el de generar señales de salida apropiadas para el convertidor (11), por ejemplo señales PWM, y emitir las señales con intermedio de la salida (8) de señal de control del dispositivo de control (4). Los medios de salida (31) pueden ser un generador de señal estándar PWM.

Tal como se ha mostrado en la figura 4, los medios de comprobación (29) pueden comprender un comparador (33) para comparar como mínimo un valor de corriente de fase calculado con un valor de corriente de fase medido correspondiente. La entrada del comparador (33) es conectada a la salida de los medios de modelado (21) con intermedio de la línea de señal (32) y está conectada, como mínimo, a un sensor de corriente con intermedio de la conexión (7) de señal del sensor. En la realización específica que se ha mostrado, una salida del comparador (33) está conectada a medios (35) de comparación de umbral para comparar un valor de salida del comparador (tal como la diferencia entre la corriente de fase calculada y medida) con un valor de umbral. Por ejemplo, los valores de comparación de umbral (35) pueden estar adaptados para decidir si el valor del umbral ha sido correspondido y/o superado.

Opcionalmente, los valores de medición de las fases (5a, 5b) son introducidos en el medio de modelado (21), por ejemplo para disparar y/o sincronizar el proceso de modelado por/ con medición. En este caso, los medios (25) de generación del modelo de voltaje pueden estar dispuestos adicionalmente para controlar el funcionamiento del medio

ES 2 319 192 T3

de salida (31) y, de esta forma, generar señales de salida que corresponden al modelo de voltaje deseado. Los medios (25) de generación de modelo de voltaje pueden ser conectados directamente a los medios de salida (31).

De modo general es posible proporcionar los medios (25) de generación de modelos de voltaje o medios de control equivalentes para controlar el funcionamiento de los medios de salida (31) y conectar los medios de modelado (21) a los medios de control, de manera que los medios de modelado (21) pueden controlar el funcionamiento del convertidor (11), dependiendo del resultado del cálculo del modelo.

Un primer ejemplo del funcionamiento del dispositivo de control se describirá a continuación. El primer ejemplo se refiere al caso en el que la carga eléctrica es una máquina electromagnética. El procedimiento se inicia cuando las bobinas de la máquina no están magnetizadas. Los medios (25) de generación del modelo de voltaje generan una señal de modelo de voltaje que corresponde a voltajes constantes entre las fases (5a, 5b, 5c) para un periodo definido de tiempo (por ejemplo, 2 ms). La señal de modelo de voltaje es recibida por los medios de salida (31) que emiten señales de control correspondientes al convertidor (11). En el caso de válvulas electrónicas, que están controladas por señales PWM, los medios de salida (31) conectan como mínimo una de las válvulas electrónicas al inicio del periodo definido y desconectan la por lo menos una de las válvulas electrónicas al final del periodo definido.

Como resultado del voltaje constante, las corrientes transportadas por las correspondientes fases y por la bobina correspondiente de la máquina electromagnética aumentan linealmente hasta el final del periodo definido. Los medios de modelado (21) empiezan a modelar el funcionamiento de la máquina electromagnética en el inicio del periodo definido y continúan el modelado hasta después del final del periodo definido. Dos de las corrientes de fase son medidas por los sensores de corriente (3a, 3b) y la tercera corriente de fase es calculada. Los tres valores de corriente resultantes "medidos" son comparados, como mínimo, en un momento de tiempo después del final del periodo definido con los valores de corriente calculados por los medios de modelado. Preferentemente, la comprobación de plausibilidad en este, como mínimo, punto de tiempo es puesta en marcha por el temporizador (27) que emite la correspondiente señal de puesta en marcha a los medios de comprobación (29).

El comparador (33) calcula la diferencia existente entre cada uno de los valores de corriente calculados y el valor de corriente medido correspondiente. Si los medios (35) de comparación de umbral detectan que una de las diferencias es mayor que un valor de umbral predeterminado, emite una señal de inhibición a los medios de salida (31) que inhiben cualquier funcionamiento posterior del convertidor. En otras palabras: la corriente alterna y, de este modo, la máquina electromagnética, son desconectadas hasta que la situación ha sido analizada. Después de la reposición del dispositivo de control (4) se puede repetir el proceso de comprobación de plausibilidad descrito.

Si no se excede del umbral, se puede iniciar el funcionamiento normal de la máquina electromagnética.

Un segundo ejemplo del funcionamiento del dispositivo de control se describirá a continuación. Durante el funcionamiento normal de la máquina electromagnética, los medios de modelado (21) calculan de forma continua los valores esperados de las corrientes de fase y los medios de comparación de umbral (35) comprueban continuamente si la diferencia entre una de las corrientes de fase calculadas y la correspondiente corriente de fase medida supera el valor de umbral. Si el valor de umbral ha sido superado, se interrumpe inmediatamente el funcionamiento de la máquina electromagnética. Alternativamente, el comparador (33) calcula de manera continua la diferencia para cada una de las corrientes de fase y las tres diferencias son utilizadas separadamente como cantidades de entrada del proceso de evaluación Fuzzy, que se describe más adelante de forma detallada.

Por ejemplo, el dispositivo de control (4) puede funcionar llevando a cabo ciclos de trabajo consecutivos con duración de ciclos constante (o variable). Este ciclo de trabajo es aplicable, como mínimo, al muestreo de señales de medición de las corrientes de fase medidas y al cálculo de modelo. Además, la comprobación de plausibilidad y/o el procedimiento para controlar el funcionamiento del convertidor se pueden llevar a cabo dentro del mismo ciclo de trabajo o a la misma frecuencia. No obstante, es suficiente llevar a cabo el proceso de control a una frecuencia más baja. En una realización específica, la duración del ciclo puede estar comprendida en una gama de 50 a 70 μ s.

En cualquier caso, el proceso de control debe ser significativamente más rápido y debe ser llevado a cabo a una frecuencia superior a la frecuencia (promedio) de las señales de control de salida del dispositivo de control (4) hacia el convertidor (11). Además, la frecuencia básica de la corriente alterna, que puede encontrarse en una gama de 0 a 250 Hz en el caso de proporcionar energía eléctrica desde el convertidor a un motor asíncrono de un vehículo de tracción ferroviaria, debe ser menor que la frecuencia (promedio) de salida de las señales de control (posiblemente en una gama de 300 Hz o superior en el caso de un motor de impulsión asíncrono).

Una forma a título de ejemplo de llevar a cabo la evaluación Fuzzy se describe a continuación con referencia a la figura 5. En la etapa (S1) el modelo de la carga eléctrica, en particular del motor asíncrono, calcula un valor de una de las corrientes de fase. En la etapa (S1), se mide y se procesa el valor correspondiente de la corriente de fase. El valor medido y calculado son transferidos a un comparador que compara los dos valores en la etapa (S2). En particular, el comparador calcula la diferencia entre los dos valores y opcionalmente genera el valor absoluto de la diferencia. La diferencia o su valor absoluto es comparado a la etapa (S3) con un valor de umbral, por ejemplo por los medios de comparación de umbral. Si se supera el valor de umbral, el proceso continúa con la etapa (S4), de manera que un valor del contador es incrementado en una cantidad en la que la diferencia supera al valor de umbral. Si el valor de umbral no es superado, el proceso continúa con la etapa (S5), de manera que el valor del contador es dismi-

ES 2 319 192 T3

nuido en una cantidad constante. Después de la etapa (S5) el procedimiento vuelve al inicio y continúa con la etapa (S1).

5 Después de la etapa (S4), el procedimiento continúa con la etapa (S6), de manera que se lleva a cabo una decisión sobre si el valor del contador se corresponde con un segundo valor de umbral o si se corresponde o supera con el segundo valor de umbral. Si éste es el caso, se decide que existe un fallo y/o defecto de funcionamiento y se toma una acción apropiada en la etapa (S7). Si no se supera el segundo valor de umbral, el proceso vuelve al inicio y continúa con la etapa (S1).

10 El procedimiento que se ha descrito puede ser llevado a cabo para dos o tres de las fases separadamente. En particular, el contador o contadores pueden ser implementados por software o hardware. Además, es posible modificar el procedimiento. Por ejemplo, el valor del contador puede ser disminuido en la etapa (S5) en una cantidad que depende del estado operativo.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ES 2 319 192 T3

REIVINDICACIONES

5 1. Método para controlar el funcionamiento de un convertidor (11), en particular un convertidor de corriente para suministrar energía eléctrica a un motor de impulsión de un vehículo ferroviario, en el que:

- el convertidor (11) comprende un lado de corriente alterna con tres fases de corriente alterna,

- una carga eléctrica (13) está conectada a las tres fases de corriente alterna,

10 - se miden corrientes de fase eléctrica, de como mínimo, dos de las fases y los correspondientes valores de corriente medidos son utilizados para controlar el funcionamiento del convertidor (11),

15 - un modelo matemático, que es capaz de modelar el funcionamiento de la carga eléctrica (13), es utilizado para calcular, como mínimo, un valor de corriente calculado de, como mínimo, una de las corrientes de fase durante el funcionamiento del convertidor (11), y

20 - se comprueba utilizando el, como mínimo, un valor de corriente calculado si, como mínimo, una de las corrientes de fase eléctrica y/o el correspondiente valor de corriente medido es plausible y/o conduce a resultados plausibles del funcionamiento del convertidor (11),

25 de manera que cuando se lleva a cabo la comprobación de plausibilidad, un primer valor de plausibilidad, que es la diferencia entre el valor de corriente calculado y el valor de corriente de fase medido correspondiente, es determinado de forma repetida, de manera que el grado de plausibilidad del primer valor de plausibilidad es menor para diferencias mayores entre el valor de corriente calculado y el valor de corriente de fase medido correspondiente, de manera que se deduce un segundo valor de plausibilidad de una serie de los primeros valores de plausibilidad relacionados con la misma fase, de manera que cada uno de la serie de primeros valores de plausibilidad puede influir en el segundo valor de plausibilidad de manera correspondiente a su grado de plausibilidad y de manera que se toma una acción si el segundo valor de plausibilidad cumple con un criterio predeterminado.

30 2. Método, según la reivindicación 1, en el que la carga eléctrica es simétrica en las tres fases de corriente alterna, de manera que se miden solamente las corrientes de fase eléctrica de dos de las fases y en el que la corriente de fase eléctrica de la tercera fase es calculada a partir de las dos corrientes de fase medidas y es utilizada en la comprobación de plausibilidad.

35 3. Método, según una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que la comparación de plausibilidad comprende la comparación de la, como mínimo, una corriente de fase eléctrica calculada con un valor de corriente medida correspondiente.

40 4. Método, según la reivindicación 3, en el que la, como mínimo, una corriente de fase es medida repetidamente y es comparada repetidamente con la, como mínimo, una corriente de fase eléctrica calculada dentro de un periodo de una secuencia ARC de una corriente alterna realizada por las tres fases.

45 5. Estructura de datos que se pueden cargar en un ordenador, que está adaptada para llevar a cabo el método según una de las reivindicaciones de método anteriores, mientras éste es realizado en un ordenador.

50 6. Dispositivo (1) para controlar el funcionamiento de un convertidor (11), en particular un convertidor de corriente para suministrar energía eléctrica a un motor de impulsión de un vehículo ferroviario, cuyo dispositivo comprende:

- un dispositivo de control (4) para controlar el funcionamiento del convertidor (11) de manera que el dispositivo de control (4) comprende en un lado de salida una salida (8) para la señal de control destinada a emitir señales de control hacia el convertidor (11);

- una conexión (5) de corriente alterna trifásica, que está adaptada para conectar el convertidor (11) y una carga eléctrica (13);

55 - como mínimo dos sensores, (3a, 3b) para medir corrientes de fase eléctrica de, como mínimo, dos de las fases de la conexión de corriente alterna trifásica (5), de manera que los sensores (5) están conectados a una entrada del dispositivo de control (4), de manera que el dispositivo de control (4) comprende medios de modelado (21) que están adaptados para modelar el funcionamiento de la carga eléctrica (13) y están adaptados para calcular, en base al modelado, como mínimo, un valor de corriente calculado de, como mínimo, una de las corrientes de fase durante el funcionamiento del convertidor (11) y comprende medios de comprobación (29) que mediante la utilización de, como mínimo, un valor de corriente calculado, son adaptados para comprobar si, como mínimo, una de las corrientes de fase eléctrica y/o un valor de corriente medido correspondiente es plausible y/o conduce a resultados plausibles del funcionamiento del convertidor (11),

65 y en el que el dispositivo de control (4) está adaptado, cuando se lleva a cabo la comprobación de plausibilidad, para determinar repetidamente un primer valor de plausibilidad que es una diferencia entre el valor de la corriente calculada y el valor de la corriente de fase medida correspondiente, de manera que un grado de plausibilidad del primer valor

ES 2 319 192 T3

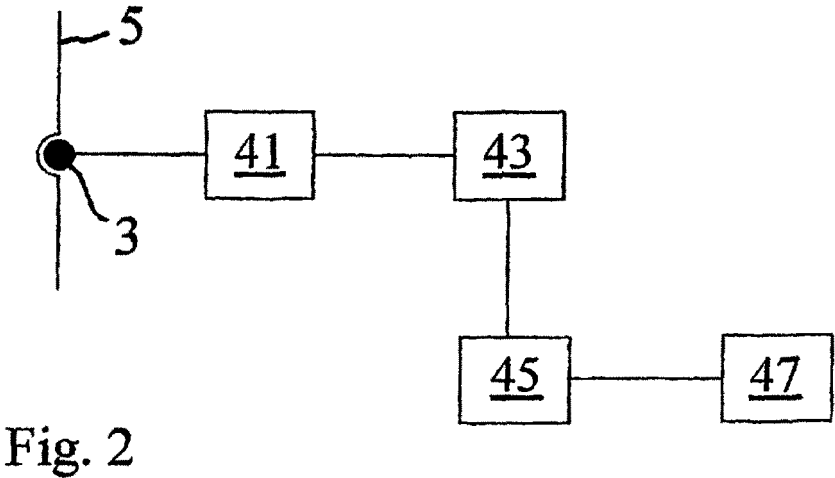
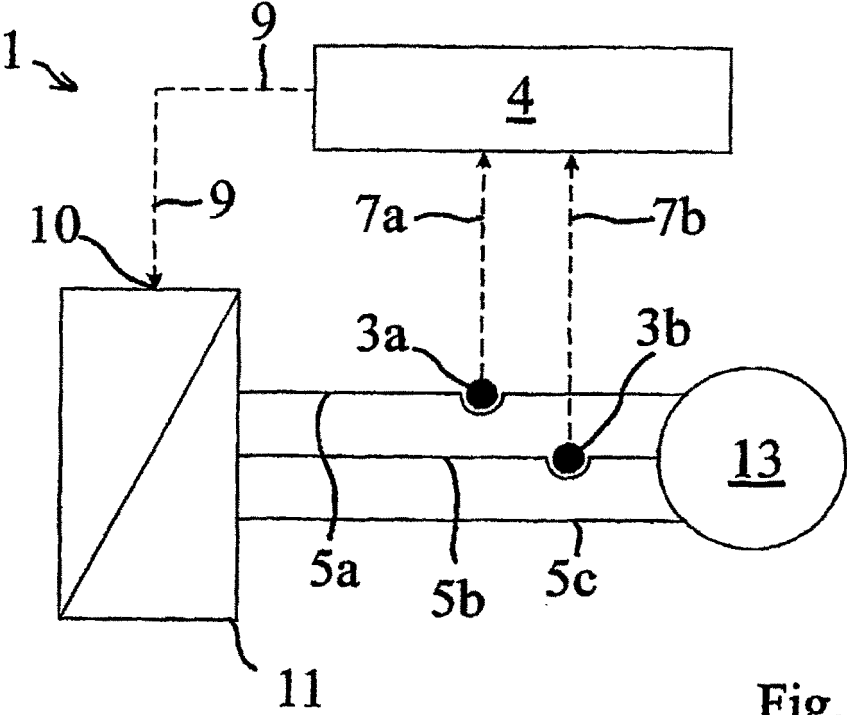
de plausibilidad es menor para diferencias más elevadas entre el valor de la corriente que se ha calculado y el valor de corriente de fase medido correspondiente y para dilucidar un segundo valor de plausibilidad a partir de una serie de los primeros valores de plausibilidad relacionados con la misma fase, de manera que cada uno de los primeros valores de plausibilidad pueden influir al segundo valor de plausibilidad de manera correspondiente a su grado de plausibilidad y/o no plausibilidad.

7. Dispositivo, según la reivindicación 6, en el que los medios de comprobación (29) están conectados a los medios de modelado (21) y están adaptados para comprobar valores de corriente de cada una de las tres fases independientemente entre sí para plausibilidad.

8. Dispositivo, según la reivindicación 6 ó 7, en el que los medios de comprobación (29) están conectados a los medios de modelado (21) y a los, como mínimo, dos sensores (5a, 5b).

9. Dispositivo, según una de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el dispositivo de control (4) comprende un almacenamiento (26) que está adaptado para almacenar, como mínimo, un valor de corriente calculado.

10. Dispositivo, según una de las reivindicaciones 6 a 9, en el que el dispositivo de control (4) comprende medios de retardo (23) que están conectados a los moldes de modelado (21) y que están adaptados para retrasar una señal generada por los medios de modelado (21) antes de que la señal sea utilizada por los medios de comparación (29).



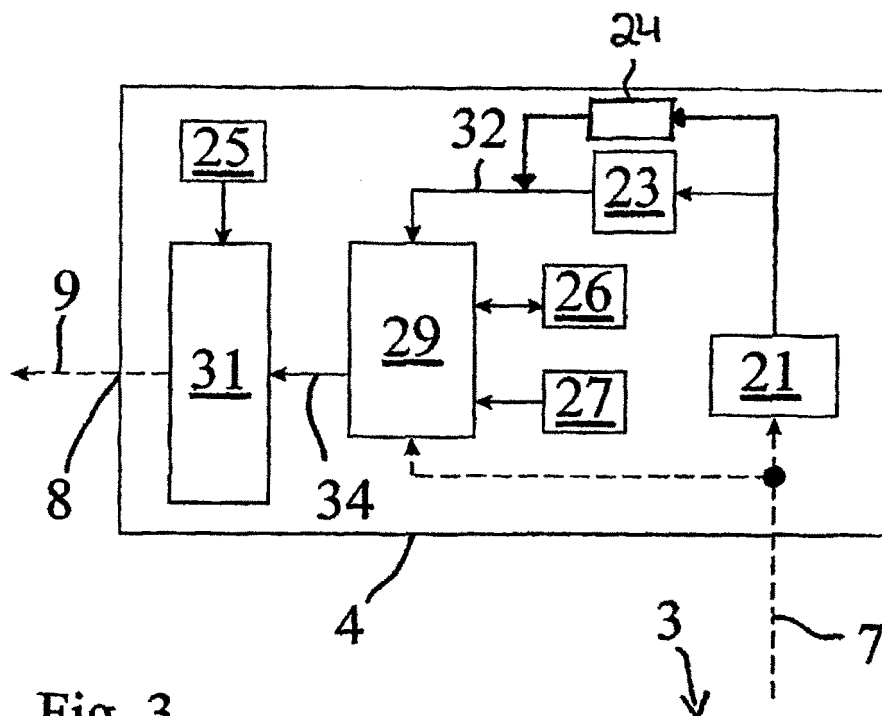


Fig. 3

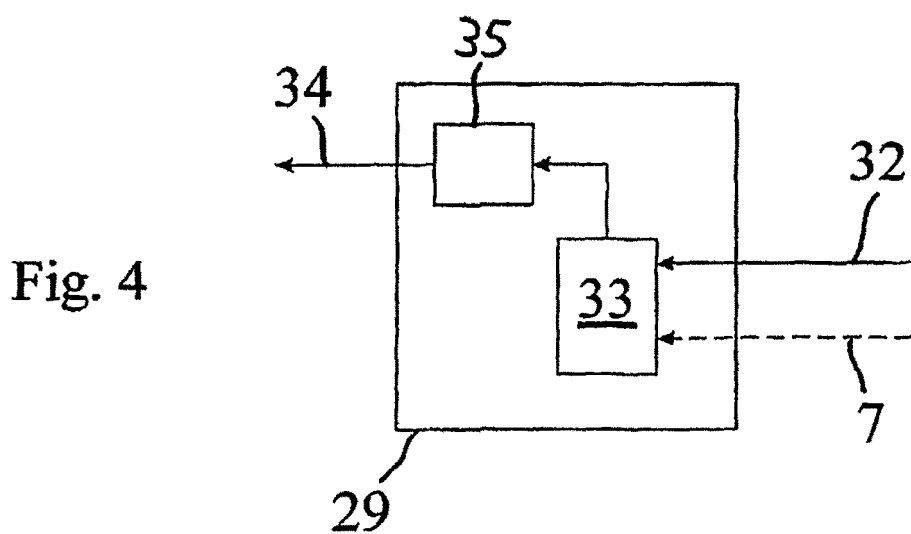


Fig. 4

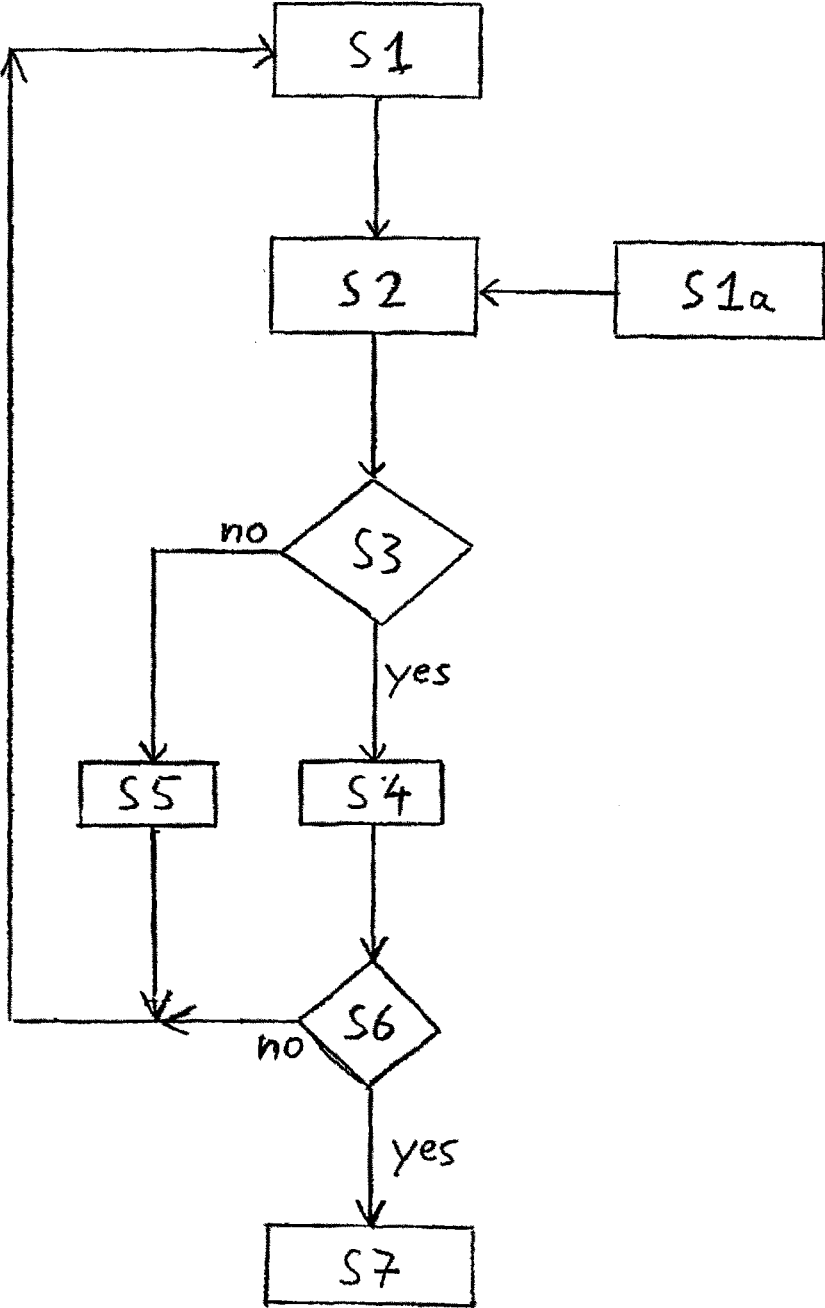


FIG. 5