

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 736 164**

51 Int. Cl.:

H02P 21/22 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.01.2011** E 11151234 (9)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019** EP 2477324

54 Título: **Dispositivo controlador para el control de un dispositivo convertidor de potencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.12.2019

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

GODRIDGE, PAUL

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 736 164 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo controlador para el control de un dispositivo convertidor de potencia

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo de dispositivos controladores para el control de un dispositivo convertidor de potencia de un generador y métodos de operación de dicho dispositivo controlador.

Técnica antecedente

10 Para controlar una máquina de inducción usando un convertidor de frecuencia, una técnica de control comúnmente usada es un "control vectorial", también conocida como Control de campo orientado (FOC, del inglés "Field Oriented Control"), que hace uso del conocimiento de la velocidad y ángulo de la máquina para determinar la amplitud y ángulo (fase) apropiados de la tensión de salida del convertidor que permita un control independiente del flujo y par o potencia de la máquina. La velocidad y ángulo del árbol de la máquina pueden medirse directamente, tal como a través del uso de un codificador, o indirectamente usando un observador de velocidad "sin codificador".

15 Muchos controladores conocidos se refieren a aplicaciones en las que la máquina de inducción se usa como un motor así como un generador. Por lo tanto dichos controladores necesitan organizar las condiciones de puedan no ser relevantes en una aplicación de generador pura. Dicha condición puede incluir la operación en y alrededor de velocidad cero y por lo tanto en y alrededor de cero voltios en los terminales del estator del generador. Las aplicaciones de motorización pueden requerir también típicamente conocimiento de la velocidad y/o del ángulo del árbol además del ángulo del flujo del rotor. Estos requisitos pueden conducir a complicadas estrategias de control.

20 El documento US 2009/0267550 A1 divulga un primer dispositivo de control de motor que controla un motor con un estator que tiene un devanado de armadura y un rotor que tiene un imán permanente, incluyendo el primer dispositivo de control de motor una unidad de estimación del componente de fluctuación del par para estimar un componente de fluctuación del par generado en el motor basándose en un flujo concatenado del devanado de la armadura y una corriente de armadura que circula en el devanado de la armadura, en el que el control del motor se realiza basándose en el componente de fluctuación del par estimado y en el que la unidad de estimación del
25 componente de fluctuación del par estima el componente de fluctuación del par basándose en un producto interior de un vector de flujo concatenado que es una representación vectorial del flujo concatenado o un vector de acuerdo con el flujo concatenado y un vector de corriente que es una representación vectorial de la corriente de la armadura. Una unidad de control de corriente realiza un control de realimentación de corriente de modo que el error de corriente obtenido mediante la resta del valor de corriente en el eje d del valor de la consigna de corriente en el eje d y el error
30 de corriente obtenido mediante la resta del valor de corriente en el eje q y el valor de corrección de corriente del eje q respecto al valor de la consigna de corriente en el eje q, ambos convergen a cero mediante la utilización por ejemplo de un control proporcional-integral.

A la vista de la situación anteriormente descrita, existe una necesidad de una técnica simplificada que permita proporcionar un dispositivo controlador para un dispositivo convertidor de potencia de un generador eléctrico.

35 Sumario de la invención

Esta necesidad puede cumplirse por la materia objeto de acuerdo con las reivindicaciones independientes. Realizaciones ventajosas de la materia objeto divulgada en el presente documento se describen por las reivindicaciones dependientes.

40 De acuerdo con un primer aspecto de la invención se proporciona un controlador tal como se define en la reivindicación 1.

Este aspecto de la invención se basa en la idea de usar en un dispositivo controlador vectorial la salida de un regulador de eje d que proporciona una respuesta de eje d, que es operativa en la reducción de la diferencia entre una realimentación de eje d y una demanda de eje d, tal como se mide por la desalineación de los ejes del controlador.

45 Debería entenderse que el término "marco de referencia" tal como se usa en el presente documento no se refiere a un marco como una entidad física sino por el contrario a un sistema de coordenadas respectivo al que se hace referencia comúnmente como el "marco de referencia" en la aplicación de control vectorial.

50 Generalmente en el presente documento, el dispositivo convertidor de potencia comprende un convertidor de potencia y opcionalmente etapas de procesamiento adicionales. De acuerdo con una realización, una salida del dispositivo controlador pasa a través de etapas adicionales del dispositivo convertidor de potencia antes de que se

convierta al menos en una tensión real aplicada a los terminales del generador.

De acuerdo con una realización, el regulador comprende un componente proporcional que usa un término proporcional, es decir un término que es proporcional a la entrada para reducir la diferencia entre la realimentación de eje d y la demanda de eje d. De acuerdo con una realización adicional, el regulador comprende un componente
5 integral que usa un término integral, por ejemplo la entrada integrada a lo largo de un período de tiempo para reducir la diferencia entre la realimentación de eje d y la demanda de eje d. De acuerdo con una realización adicional más, el regulador comprende un componente diferencial que usa un término diferencial, por ejemplo una derivada de la entrada para reducir la diferencia entre la realimentación de eje d y la demanda de eje d.

En una realización ejemplar, el regulador es un regulador proporcional-integral que tiene un componente
10 proporcional y un componente integral.

De acuerdo con una realización, la unidad de error comprende una entrada de fem para recibir una señal estimada de la fuerza contraelectromotriz del estator indicativa de una magnitud de una fuerza contraelectromotriz del estator estimada; y un divisor para proporcionar una señal de error mediante la división de la respuesta de eje d por la
15 magnitud de la fuerza contraelectromotriz del estator estimada. La magnitud de la señal de error está influida por el ángulo de desalineación entre el eje del marco de referencia y el flujo del rotor y por la amplitud de la fuerza contraelectromotriz del estator. Por ello, dividiendo la señal de error por la fuerza contraelectromotriz del estator estimada, el resultado es proporcional al ángulo de desalineación. Esto facilita el procesamiento adicional de la señal de error.

De acuerdo con una realización adicional, el controlador de corriente tiene un regulador de eje q que recibe la realimentación de eje q y la demanda de eje q y proporciona en respuesta a las mismas una respuesta de eje q
20 operativa para reducir la diferencia entre la realimentación de eje q y la demanda de eje q; y un estimador para proporcionar la señal de la fuerza contraelectromotriz del estator estimada en base a la respuesta de eje q del regulador de eje q. Con este fin, se supone que, si todos los términos de anticipación del control de corriente de eje q son correctos, siendo uno de esos términos de anticipación la f_{cem} "observada", el regulador de eje q no debería tener contribución para formar la tensión de salida desde el controlador de corriente. Por lo que, de acuerdo con la
25 realización anteriormente descrita, la salida del regulador de eje q se usa como una indicación de si los términos de anticipación son correctos. Y si la salida del regulador de eje q no es cero, se supone que los términos de anticipación son erróneos y se supone adicionalmente que esto es debido a que la f_{cem} no se estimó correctamente, requiriendo la modificación de la estimación de la fuerza contraelectromotriz del estator.

De acuerdo con una realización adicional, el dispositivo controlador comprende además una unidad de realimentación de ángulo para recibir la señal de error y proporcionar en respuesta a la misma la señal de ángulo al
30 convertidor de señal. La unidad de realimentación puede configurarse en cualquier forma adecuada, dependiendo de la clase de señal de error proporcionada. La clase de señal de error depende a su vez de qué realizaciones se ponen en práctica para generar la señal de error.

De acuerdo con una realización, la unidad de realimentación de ángulo comprende un bucle de enclavamiento de fase para recibir la señal de error y proporcionar en respuesta a la misma una señal de velocidad indicativa de una
35 velocidad de rotación estimada del marco de referencia; y un integrador para proporcionar la señal de ángulo mediante el procesamiento de la señal de velocidad de modo que integre la velocidad de rotación estimada del marco de referencia como el ángulo de rotación del marco de referencia.

El uso del bucle de enclavamiento de fase tiene la ventaja de que dicho componente está completamente comprendido y está disponible tecnológicamente. Por ejemplo, el bucle de enclavamiento de fase puede ser similar a
40 los bucles de enclavamiento de fase que se usan para sincronizar una salida del convertidor a una red.

De acuerdo con un segundo aspecto de la materia objeto divulgada en el presente documento, se define en la reivindicación 5 un método de operación de un controlador.

De acuerdo con una realización, el método comprende recibir una señal estimada de la fuerza contraelectromotriz del estator indicativa de una magnitud de una fuerza contraelectromotriz del estator estimada; y proporcionar una
45 señal de error mediante la división de la respuesta de eje d por la magnitud de la fuerza contraelectromotriz del estator estimada.

La expresión de respuesta de eje d proporcionada de acuerdo con realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento especifica que esta respuesta no incluye términos de anticipación que se incluyen solamente en
50 una "respuesta de eje d global".

De acuerdo con una realización adicional, la operación de comparación incluye adicionalmente proporcionar la realimentación de eje q y la demanda de eje q a un regulador de eje q y recibir en respuesta a las mismas una

respuesta de eje q desde el regulador de eje q, en el que la respuesta de eje q es operativa para reducir la diferencia entre la realimentación de eje q y la demanda de eje q; que proporciona la señal de la fuerza contraelectromotriz del estator estimada en base a la respuesta de eje q del regulador de eje q. Por ejemplo, en una realización la señal de fuerza contraelectromotriz del estator estimada es la respuesta de eje q del regulador de eje q.

5 De acuerdo con una realización, la unidad de realimentación comprende proporcionar en respuesta a la señal de error una señal de velocidad indicativa de una velocidad de rotación estimada del marco de referencia; y proporcionar la señal de ángulo mediante el procesamiento de la señal de velocidad de modo que integre la velocidad de rotación estimada del marco de referencia como el ángulo de rotación del marco de referencia.

10 Una realización de la materia objeto divulgada en el presente documento describe un observador de velocidad o, más específicamente, un observador de velocidad y ángulo del flujo del rotor, que pueden usarse, por ejemplo, en un controlador de generador de inducción. Puede ser también aplicable a otros tipos de generador, distintos del generador de inducción descrito en realizaciones de ejemplo.

15 Realizaciones o características de realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento pueden realizarse por medio de un programa informático, respectivamente software. Sin embargo, realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento pueden realizarse también por medio de uno o más circuitos electrónicos específicos, respectivamente hardware. Adicionalmente, realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento pueden realizarse también de forma híbrida, es decir en una combinación de módulos de software y módulos de hardware.

20 Como se usa en el presente documento, la referencia a un programa informático se pretende que sea equivalente a una referencia a un elemento de programa y/o a un medio legible por ordenador que contiene instrucciones para controlar un sistema informático para coordinar la ejecución del método anteriormente descrito.

25 El programa informático puede implementarse como un código de instrucciones legibles por ordenador mediante el uso de cualquier lenguaje de programación adecuado, tales como, por ejemplo, JAVA, C++ y puede almacenarse en un medio legible por ordenador (disco extraíble, memoria volátil o no volátil, memoria/procesador embebido, etc.). El código de instrucciones es operativo para programar un ordenador o cualquier otro dispositivo programable para llevar a cabo las funciones pretendidas. El programa informático puede estar disponible desde una red, tal como la Red informática mundial, desde la que puede descargarse.

30 Anteriormente se han descrito y en lo que sigue se describirán realizaciones de ejemplo de la materia objeto divulgada en el presente documento con referencia a un dispositivo controlador y a un método de operación de un dispositivo controlador. Ha de señalarse que naturalmente puede ser posible también cualquier combinación de características relativas a aspectos diferentes de la materia objeto divulgada en el presente documento. En particular, algunas realizaciones se han descrito con referencia a unas reivindicaciones de tipo aparato mientras que otras realizaciones se han descrito con referencia a unas reivindicaciones de tipo método. Sin embargo, un experto en la materia recogerá de lo anterior y de la descripción que sigue que, salvo que se notifique lo contrario, además de cualquier combinación de características que pertenecen a un aspecto, también cualquier combinación entre características que se refieren a diferentes aspectos o realizaciones, por ejemplo incluso entre características de las reivindicaciones de tipo aparato y características de las reivindicaciones de tipo método, se considera que se divulgan con esta aplicación.

40 Los aspectos y realizaciones anteriormente definidos y aspectos y realizaciones adicionales de la presente invención son evidentes a partir de los ejemplos que se van a describir en lo sucesivo y que se explican con referencia a los dibujos, pero a los que la invención no está limitada.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 muestra esquemáticamente un diagrama vectorial de una fuerza contraelectromotriz interna real retrasada respecto al marco de referencia del controlador.

45 La Fig. 2 muestra un dispositivo controlador de acuerdo con realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento.

Descripción detallada

50 La ilustración en los dibujos es esquemática. Se observa que en las diferentes figuras, se proporcionan elementos similares o idénticos con los mismos signos de referencia o con signos de referencia que son diferentes de los signos de referencia correspondiente solamente en la primera cifra.

A continuación, se ilustran realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento por referencia a

una máquina de inducción. Sin embargo, los aspectos y realizaciones divulgados en el presente documento no están limitados a una máquina de inducción sino que son ampliamente utilizables en el campo de los generadores eléctricos.

5 El flujo de una máquina de inducción crea una tensión interna, o fuerza contraelectromotriz (de aquí en adelante denominada como f_{cem}), dentro de la máquina, que está en cuadratura con el ángulo del flujo de rotor de la máquina. Cuando gira generador, entonces así lo hace la amplitud instantánea de la f_{cem} de la máquina. De ese modo, para cualquier flujo de máquina dado, la f_{cem} puede considerarse que es una fuente de tensión trifásica cuya frecuencia y ángulo se relacionan directamente con la frecuencia y ángulo del flujo del rotor y cuya magnitud es proporcional a la frecuencia y al flujo.

10 Cualquier corriente que proporcione el convertidor dentro de la máquina que esté en fase con esta f_{cem} influirá en el par y la potencia de la máquina. Cualquier corriente que proporcione el convertidor dentro de la máquina que esté en cuadratura con esta f_{cem} influirá en el flujo de la máquina. Realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento describen un método para identificar el ángulo de la f_{cem} de la máquina. Aspectos y realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento son adecuadas por lo tanto para aplicaciones cuando la máquina no funciona en o cerca de velocidad cero, dado que la f_{cem} estará en o cerca de cero bajo dichas condiciones.

En un esquema de 'control vectorial' típico, el controlador de corriente expresará las cantidades de c.a. tales como tensión y corriente como cantidades de c.c. en un "marco de referencia rotativo". En este caso, nuestro marco de referencia rotativo será el ángulo de rotación "observado" de la f_{cem} de la máquina.

20 La Fig. 1 muestra esquemáticamente un diagrama vectorial 100 de una fuerza contraelectromotriz interna real retrasada respecto al marco de referencia del controlador.

El diagrama vectorial 100 se ilustra con referencia al eje q 101 y al eje d 102 del marco de referencia del controlador. Por ello, el eje q 101 y el eje d 102 definen el marco de referencia del dispositivo controlador en cualquier punto en el tiempo. Con el tiempo, el sistema de coordenadas d-q, es decir, el marco de referencia, gira en el plano del dibujo.

25 Se indica en 103 el vector de la f_{cem} interna (f_{cem} del estator) de la máquina, es decir del generador eléctrico. Los vectores 104 y 105 son el componente en el eje q y el componente en el eje d de la caída de tensión en el estator del generador eléctrico.

Por ello, los vectores 103, 104, 105 representan las caídas de tensión en el generador eléctrico.

30 Se indica en 106 el vector de la f_{cem} del controlador de corriente aplicada al eje q. Debería observarse que el vector 106 comienza en el origen 107 del sistema de coordenadas d-q. Se indica en 108 el término de anticipación del eje q del controlador de corriente proporcionado por el controlador de corriente para tener en cuenta la caída de tensión de eje q 104 en el estator. Se indica en 109 el término de anticipación del eje d del controlador de corriente proporcionado por el controlador de corriente para tener en cuenta la caída de tensión de eje d 105 en el estator. Por ello los vectores 106, 108, 109 muestran los términos de anticipación que aplica el controlador de corriente en un intento para adaptar las caídas de tensión internas dentro del generador eléctrico.

35 Se indica en 110 la salida del regulador de eje d (es decir la respuesta en el eje d) requerida debido a que la f_{cem} interna del generador no reposa sobre el eje q. Por ello, el vector 110 muestra una contribución que ha de tomar una respuesta en el eje del regulador de eje d (término PI_{Id} en caso de que se use un regulador proporcional-integral (PI) como un regulador de eje d) debido a la desalineación de los ejes del controlador (eje d, eje q) con el flujo del rotor del generador y la f_{cem} del estator del generador.

40 En el estado en el que la f_{cem} del generador fuera a estar adelantada respecto a los ejes del controlador de corriente, entonces el vector 110 de respuesta de eje d reposaría en la polaridad opuesta a la mostrada en la Fig. 1. En el estado en el que la f_{cem} de la máquina 103 está en fase con el eje q del controlador, entonces el vector 110 de respuesta de ese d estaría cerca de cero, sometido a un conocimiento preciso de las caídas de tensión del estator de la máquina. En la práctica, estas caídas de tensión del estator no se conocerían con precisión, conduciendo a errores ligeros en el ángulo del flujo de rotor observado.

45 Con el vector de respuesta 110 de eje d se identifica una señal que indica la amplitud y polaridad de cualquier desalineación entre el marco de referencia rotativo del controlador (eje d 102, eje q 101) y la f_{cem} de nuestra máquina y por lo tanto la desalineación entre la estimación de los controladores del flujo del rotor y el flujo del rotor del generador.

50 Sin embargo, la magnitud del vector de respuesta de eje d está claramente influida tanto por el ángulo de desalineación entre los ejes del controlador y el flujo del rotor como también por la amplitud de la f_{cem} . De ese modo

para crear una señal de error que sea proporcional al ángulo de desalineación, de acuerdo con una realización, la respuesta de eje d se divide por el término 106 de f_{cem} del controlador, de aquí en adelante también denominada como $V_{f_{cem}}$. De acuerdo con una realización, la respuesta de eje d se filtra para impedir un acoplamiento excesivo de la actividad del controlador de corriente de alta dinámica en la señal de error y, como consecuencia, en la velocidad "observada" que puede obtenerse de la señal de error.

La Fig. 2 muestra un dispositivo controlador 200 de acuerdo con realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento.

El dispositivo controlador 200 se configura para controlar un dispositivo convertidor de potencia 202 de un generador eléctrico 204 durante la rotación del generador eléctrico 204. De acuerdo con una realización, el dispositivo convertidor de potencia comprende un convertidor de potencia y etapas de procesamiento adicionales. De acuerdo con una realización, el dispositivo controlador 200 comprende una entrada de realimentación 206 para recibir una realimentación de corriente 208. Adicionalmente, el dispositivo controlador 200 comprende una entrada de demanda 210, 212 para recibir una demanda de corriente 214, 216, comprendiendo la demanda de corriente 214, 216 una demanda primera, de eje d 214 para una corriente en un eje d (véase 102 en la Fig. 1) definida por la dirección del flujo del rotor del generador eléctrico 204 y una demanda segunda, de eje q 216 para una corriente en un eje q (véase 101 de la Fig. 1) definida por la dirección de una fuerza contraelectromotriz del estator generada por un flujo en el generador eléctrico 204. Adicionalmente, el dispositivo controlador 200 comprende un convertidor de señal 218 configurado para recibir una señal de ángulo 220 y en respuesta a la misma transponer la realimentación de corriente 208 sobre dos ejes de un marco de referencia rotativo, en el que el ángulo de rotación del marco de referencia se define por la señal de ángulo 220 y en el que los dos ejes son el eje d y el eje q. La transposición de la realimentación de corriente 208 da como resultado una realimentación de eje d 222 y una realimentación de eje q 224.

Adicionalmente, el dispositivo controlador 200 comprende de acuerdo con una realización un controlador de corriente 226 configurado para adaptar la realimentación de eje d 222 a la demanda de eje d 214 y para adaptar la realimentación de eje q 224 a la demanda de eje q 216. El controlador de corriente tiene un regulador de eje d 228 que recibe la realimentación de eje d 222 y la demanda de eje d 214 y proporciona en respuesta a las mismas una respuesta de eje d 230 operativa para reducir la diferencia entre la realimentación de eje d 222 y la demanda de eje d 214. De acuerdo con una realización, el regulador de eje d 228 incluye un componente regulador proporcional-integral 227 y un punto de suma 229, proporcionando una señal diferencia de eje d 231 que indica la diferencia entre la realimentación de eje d 222 y la demanda de eje d 214, señal diferencia 231 que se suministra al componente del regulador proporcional-integral 227. En respuesta a la señal diferencia 231, el componente del regulador proporcional-integral 227 proporciona la respuesta de eje d 230.

De acuerdo con una realización, el dispositivo controlador comprende además una unidad de error 232 para proporcionar una señal de error 234 indicativa de un error de ángulo del marco de referencia rotativo sobre la base de la respuesta de eje d 230 del regulador de eje d 228.

De acuerdo con una realización, la unidad de error 232 en la Fig. 2 comprende una entrada de fem 236 para recibir una señal de fuerza contraelectromotriz del estator estimada 238, indicativa de una fuerza contraelectromotriz del estator estimada. Adicionalmente, la unidad de error 232 comprende un divisor 240 para proporcionar la señal de error 234 mediante la división de la respuesta de eje d 230 por la magnitud de la fuerza contraelectromotriz del estator estimada (no mostrada en la Fig. 2). De acuerdo con una realización adicional mostrada en la Fig. 2, la unidad de error 232 comprende un filtro 242 para filtrar la respuesta de eje d 230 y proporcionar en respuesta a la misma una respuesta de eje d filtrado 244. En esta realización, el divisor 240 divide la respuesta de eje d filtrado 244 por la fuerza contraelectromotriz del estator estimada, que se indica por la señal 238, para proporcionar la señal de error 234.

De acuerdo con una realización, El controlador de corriente 226 comprende un regulador de eje q 246 que recibe la realimentación de eje q 224 y la demanda de eje q 216 y proporciona en respuesta a las mismas una respuesta de eje q 248 operativa para reducir la diferencia entre la realimentación de eje q 224 y la demanda de eje q 216. De acuerdo con una realización, el regulador de eje q 246 incluye un componente regulador proporcional-integral 247 y un punto de suma 249, proporcionando una señal diferencia de eje q 250 que indica la diferencia entre la realimentación de eje q 224 y la demanda de eje q 216, señal diferencia 250 que se suministra al componente del regulador proporcional-integral 247. En respuesta a la señal diferencia 250, el componente del regulador proporcional-integral 247 proporciona la respuesta de eje q 248.

Un componente inductivo estimado $-\omega L$ de la impedancia de estator, indicada como 252 en la Fig. 2, se usa por el controlador de corriente 226 para generar un término de anticipación de tensión 253 que se añade a la respuesta de eje d 230 en un punto de suma 255. Adicionalmente, basándose en un componente resistivo estimado R de la impedancia de estator efectiva, indicada como 254 en la Fig. 2, el controlador de corriente 226 también genera un término de anticipación de tensión 257 que se añade a la respuesta de eje d 230 en el punto de suma 255. La suma de las contribuciones de tensión de eje d 230, 253, 257 dan como resultado una tensión de salida de eje d 256.

Análogamente, en consideración al eje q, un componente inductivo estimado ωL de la impedancia de estator, indicada como 258 en la Fig. 2, se usa por el controlador de corriente 226 para generar un término de anticipación de tensión 259 que se añade a la respuesta de eje q 248 en un punto de suma 260. Adicionalmente, basándose en un componente resistivo estimado R de la impedancia de estator efectiva, indicada como 254 en la Fig. 2, el controlador de corriente 226 también genera un término de anticipación de tensión 261 que se añade a la respuesta de eje q 248 en el punto de suma 260. La suma de las contribuciones de tensión de eje q 248, 259, 261 da como resultado una suma de tensión 262. De acuerdo con una realización, a la suma de tensión 262 se añade la fcm estimada 238, por ejemplo en un punto de suma 263, para generar de ese modo una tensión de salida de eje q 264.

El dispositivo controlador 200 comprende además un convertidor de señal adicional 266 para transponer la tensión de salida de eje d 256 y la tensión de salida de eje q 264 en una salida de controlador 268 en el dominio del dispositivo convertidor de potencia 202 teniendo en cuenta la señal de ángulo 220. Por ejemplo, si el dispositivo convertidor de potencia comprende un convertidor trifásico, que proporciona la señal de realimentación 208 para sus tres fases, la salida del controlador 268 será también trifásica, como se indica en la Fig. 2. Por ello, en este sentido el convertidor de señal adicional 266 realiza una operación de transposición que es la inversa de la operación de transposición realizada por el convertidor de señal 218. De acuerdo con una realización mostrada en la Fig. 2, la salida del controlador (268), por ejemplo una tensión de controlador respectiva para cada fase, se suministra al dispositivo convertidor de potencia 202. Debería entenderse que el dispositivo convertidor de potencia 202 puede comprender etapas adicionales que proporcionan, en respuesta a la salida del controlador 268, tensiones reales a ser aplicadas a los terminales del generador.

De acuerdo con una realización adicional, el dispositivo controlador 200 comprende además un estimador 270 para proporcionar la señal de la fuerza contraelectromotriz del estator estimada 238 sobre la base de la respuesta de eje q 248 del regulador de eje q 246. Se da en el presente documento un ejemplo del mismo a continuación. Sin embargo, de acuerdo con otras realizaciones, puede usarse cualquier otro método o dispositivo para proporcionar la señal de fuerza contraelectromotriz del estator estimada 238.

De acuerdo con una realización adicional, el dispositivo controlador 200 comprende además una unidad de realimentación de ángulo 272 para recibir el error de ángulo 234 y proporcionar en respuesta al mismo la señal de ángulo 220 al convertidor de señal 218 y al convertidor de señal adicional 266.

Por ejemplo, en una realización, la unidad de realimentación de ángulo 272 comprende un bucle de enclavamiento de fase que tiene un componente de regulador 274, por ejemplo un componente de regulador proporcional-integral como se muestra en la Fig. 2. El bucle de enclavamiento de fase se configura para recibir el error de ángulo 234 y proporcionar en respuesta al mismo una señal de velocidad 276 indicativa de una velocidad de rotación estimada del marco de referencia. Adicionalmente, la unidad de realimentación de ángulo 272 comprende un integrador 278 para proporcionar la señal de ángulo 220 mediante el procesamiento de la señal de velocidad 276 de modo que integre la velocidad de rotación estimada del marco de referencia como el ángulo de rotación del marco de referencia.

En consideración a realizaciones adicionales de la materia objeto divulgada en el presente documento, las definiciones de ejemplo para las señales de la Fig. 2 anteriores representan lo siguiente:

la, lb, lc: Corrientes instantáneas de fase del interruptor medidas

lq, ld: Corrientes de fase del convertidor expresadas como un par de vectores ortogonales en el marco de referencia rotativo del "flujo del rotor" observado, en el que el eje d se define que está en la dirección del flujo del rotor "observado" y el eje q se define que está en la dirección de la fcm del estator "observada"

lq', ld': Demandas del controlador para corrientes en el eje q y en el eje d, respectivamente

$\omega \cdot L$: Componente inductivo de la impedancia de estator efectiva, en la que ω es la velocidad del rotor observada y L es la inductancia de estator equivalente de la máquina, frecuentemente denominada como σL_s . En este caso L_s es la inductancia equivalente del devanado del estator y σ es la relación de la inductancia del estator aparente respecto a la real, cuando se tienen en cuenta el rotor y las inductancias equivalentes de magnetización.

R: Componente resistivo de la impedancia de estator efectiva, más comúnmente denominada como R_s

Plq, Plid: Salidas desde los controladores PI (proporcional e integral), cuya finalidad es contribuir a la tensión de salida global del controlador de tal manera que haga que ld coincida con ld' y que lq coincida con lq'

V_{fcm}: El término de tensión de la fcm estimada. El término de tensión se estima a partir de la respuesta de eje q del regulador de eje q. A partir de la fcm estimada el controlador produce un flujo de rotor estimado

Vq, Vd: La suma de los términos de tensión de salida del controlador, expresados sobre el eje q y el eje d

Va, Vb, Vc: La suma de los términos de tensión de salida del controlador, expresada como tensiones de fases instantáneas.

5 En el esquema de control vectorial mostrado anteriormente, el eje q se define para que esté alineado con la f_{cem} de la máquina y se define el eje d para que esté alineado con el flujo de rotor. De ese modo el componente de eje d del convertidor de corriente I_d se usa para controlar el flujo de la máquina y, para un flujo y velocidad dados, el componente de eje q de la corriente del convertidor sobre I_q se usa para controlar el par y la potencia de la máquina.

Puede verse que el diagrama de bloques de la Fig. 2 implementa las siguientes ecuaciones vectoriales:

$$V_d = I_d' \cdot R - I_q' \cdot \omega \cdot L + P I_{Id}$$

10
$$V_q = I_q' \cdot R + I_d' \cdot \omega \cdot L + P I_{Iq} + V_{f_{cem}}$$

En este esquema, el trabajo de los controladores PI 227, 247 es contribuir a la tensión en cada uno de los ejes d y q para controlar las corrientes de los ejes d y q a sus valores de referencia 214, 216.

Las tensiones a las que contribuye el controlador de eje q ($P I_{Iq}$) estarán influidas por:

15 (a) Errores en las impedancias del estator R y/o ωL usadas por el controlador, conduciendo a errores en los términos $I_q' \cdot R$ y/o $I_d' \cdot \omega \cdot L$. Dichos errores darían como resultado una contribución en estado estable desde el controlador $P I_{Iq}$.

(b) La f_{cem} interna de la máquina no coincidente con la amplitud del término de anticipación del controlador, $V_{f_{cem}}$. De nuevo, dichos errores darían como resultado una contribución desde el controlador $P I_{Iq}$ en el estado estable.

20 (c) Hay un transitorio en cualquiera de I_q' o I_q . En este caso se esperaría que el controlador de corriente proporcionara una respuesta transitoria en $P I_{Iq}$.

Las tensiones a las que contribuye el controlador de eje d ($P I_{Id}$) estarán influidas por:

25 (a) Errores en las impedancias del estator R y/o ωL usadas por el controlador, conduciendo a errores en los términos $I_d' \cdot R$ y/o $I_q' \cdot \omega \cdot L$. Dichos errores darían como resultado una contribución desde el controlador $P I_{Id}$ en estado estable.

(b) La f_{cem} interna de la máquina no reposa totalmente sobre el eje q. De nuevo, dichos errores darían como resultado una contribución desde el controlador $P I_{Id}$ en estado estable. Esto se ilustra con más detalle a continuación.

30 (c) Hay un transitorio en cualquiera de I_d' o I_d . En este caso se esperaría que el controlador de corriente proporcionara una respuesta transitoria en $P I_{Id}$.

35 Por lo tanto si hay una contribución en estado estable en la respuesta de eje q $P I_{Iq}$, esta contribución está dominada por los errores en la magnitud del término de f_{cem} del controlador. Por lo tanto este término puede usarse como un medio para determinar si se ha estimado correctamente la amplitud de la f_{cem} de la máquina 238 y por lo tanto la magnitud del flujo. Sin embargo, la estimación de la f_{cem} de la máquina puede realizarse de cualquier manera adecuada.

Para realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento, la contribución realizada por el término $P I_{Id}$ es altamente relevante. En estado estable, la magnitud de este término está dominada por cualesquiera errores en la alineación entre nuestro marco de referencia rotativo del controlador y la f_{cem} de la máquina 238.

40 Por lo tanto, como se ha descrito anteriormente, para crear un término de error (la señal de error 234) que sea proporcional al ángulo de desalineación, la respuesta de eje d (o su contraria filtrada o procesada adicionalmente) se divide por el término de la f_{cem} del controlador 238 ($V_{f_{cem}}$).

45 Esto da como resultado un término de error de ángulo 234 que puede usarse por un bucle de enclavamiento de fase (PLL). El tipo de PLL elegido en una realización tiene la señal de error 234 como su entrada, seguida por un controlador PI 274 cuya salida 276 es una "frecuencia observada" y la "frecuencia observada" se integra entonces por medio del integrador 278 para producir un "ángulo observado" indicado por la señal de ángulo 220. Este es el

"ángulo del marco de referencia rotativo" definido por el eje d 102 y el eje q 101 mostrados en la Fig. 1.

El PLL usado en la unidad de realimentación de ángulo 272 puede ser del tipo usado para sincronización de convertidores de red a la red.

Brevemente, un PLL de ejemplo puede describirse como sigue:

- 5 1. La señal de error 234 se suministra a un regulador PI 274 cuya salida es la frecuencia "observada" del generador 204.
2. Esta frecuencia se integra a continuación para producir el ángulo "observado" del sistema, en este caso el ángulo del flujo del rotor del generador 204.
- 10 3. Este "ángulo observado" se usa a continuación como marco de referencia para las ecuaciones de control vectorial y se usa por lo tanto en la conversión de abc (208) a dq (222, 224) de las realimentaciones de corriente de la máquina 208 y en la conversión de dq (256, 264) a abc (268) de las tensiones de salida del controlador 268.

15 Por ello, un paso importante de las realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento es usar la respuesta de eje d del regulador de eje d como una medida de la desalineación del eje del controlador y suministrar esta señal a un PLL, tal como se haría típicamente en un convertidor de red para sincronización a la red.

La ventaja que surge es que el esquema es muy simple de implementar. Una desventaja es que el esquema no es adecuado para la operación en o cerca de velocidad cero, cuando la f_{cem} interna pasa a estar cercana a cero. Sin embargo, no hay ninguna consecuencia en una aplicación de generador de turbina eólica de velocidad variable totalmente alimentado.

20 De acuerdo con una realización, el generador eléctrico es un generador totalmente alimentado. En este caso, "totalmente alimentado" significa que toda la energía eléctrica que fluye desde el generador a la red pasa a través del convertidor. En dicho esquema y de acuerdo con una realización el convertidor comprende un puente de generador para extraer energía desde el generador y un puente de red para entregar energía a la red. De acuerdo con una realización, el dispositivo controlador de acuerdo con realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento se refiere a parte del sistema de control para el puente de generador.

Resumiendo adicionalmente algunas características de realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento, se observa que ciertas realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento tienen su base alrededor de observar la f_{cem} de la máquina y generar una señal de error si la f_{cem} no reposa totalmente sobre el marco de referencia del controlador.

30 Adicionalmente, ciertas realizaciones pueden usar la señal de error para accionar una función que modifica la "frecuencia observada" y a continuación integrar esta frecuencia para producir el "ángulo observado".

Adicionalmente, ciertas realizaciones pueden usar el "ángulo observado" para el marco de referencia contra el que se evalúa la f_{cem} .

35 Adicionalmente, ciertas realizaciones pueden asumir que la contribución desde el término PI_{id} del controlador de corriente representa el componente de la f_{cem} que reposa sobre el eje d.

40 Adicionalmente, ciertas realizaciones usan un bucle de enclavamiento de fase para obtener a partir de un error del ángulo del marco de referencia (por ejemplo descrito por la señal de error 234) una velocidad de marco de referencia del marco de referencia. Ciertas realizaciones de la materia objeto divulgada en el presente documento pueden usarse con un generador de imanes permanentes o, de acuerdo con otra realización, un generador de inducción, por citar solamente dos ejemplos.

45 De acuerdo con realizaciones de la invención, cualquier componente adecuado del dispositivo controlador se proporciona en la forma de un producto de programa informático respectivo que permite a una unidad de procesador proporcionar la funcionalidad de los elementos respectivos tal como se divulgan en el presente documento. De acuerdo con otras realizaciones, cualquier componente adecuado del dispositivo controlador puede proporcionarse en hardware. De acuerdo con otras realizaciones —mezcladas—, algunos componentes pueden proporcionarse en software mientras otros componentes se proporcionan en hardware. Adicionalmente, debería observarse que puede proporcionarse un componente separado (por ejemplo módulo o unidad) para cada una de las funciones divulgadas en el presente documento. De acuerdo con otras realizaciones, se configura al menos un componente (por ejemplo un módulo o unidad) para proporcionar dos o más funciones tal como se divulgan en el presente documento.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo controlador (200) que controla un dispositivo convertidor de potencia (202) de un generador eléctrico (204) durante la rotación del generador eléctrico (204), comprendiendo el dispositivo controlador (200):

- 5 - una entrada de realimentación (206) que recibe una realimentación de corriente (208);
- una entrada de demanda (210, 212) que recibe una demanda de corriente (214, 216), comprendiendo la demanda de corriente una primera demanda, de eje d (214) para una corriente en un eje d (102) definido por la dirección del flujo del rotor del generador eléctrico (204) y una segunda demanda, de eje q (216) para una corriente en un eje q definido por la dirección de una fuerza contraelectromotriz del estator (103) generada por un flujo en el generador eléctrico (204);
- 10 - un convertidor de señal (218) que recibe una señal de ángulo (220) y en respuesta a la misma transpone la realimentación de corriente (208) sobre dos ejes (101, 102) de un marco de referencia rotativo, en el que el ángulo de rotación del marco de referencia se define por la señal de ángulo (220), siendo los dos ejes el eje d y el eje q y dando como resultado la transposición de la realimentación de corriente (208) una realimentación de eje d (222) y una realimentación de eje q (224);
- 15 - un controlador de corriente (226) que adapta la realimentación de eje d (222) a la demanda de eje d (214) y adapta la realimentación de eje q (224) a la demanda de eje q (216), teniendo el controlador de corriente (226) un regulador de eje d (228) que recibe la realimentación de eje d (222) y la demanda de eje d (214) y proporciona en respuesta a las mismas una respuesta de eje d (230) operativa para reducir la diferencia entre la realimentación de eje d (222) y la demanda de eje d (214);

20 **caracterizado por**

- una unidad de error (232) que proporciona una señal de error (234) indicativa de un error de ángulo del marco de referencia rotativo sobre la base de la respuesta de eje d (230) del regulador de eje d (228);
- una unidad de realimentación de ángulo (272) para recibir la señal de error (234) y proporcionar en respuesta a la misma la señal de ángulo (220) al convertidor de señal (218);
- 25 - en el que la unidad de error (232) comprende
 - o una entrada de fem (236) que recibe una señal estimada de la fuerza contraelectromotriz del estator (238) indicativa de una magnitud de una fuerza contraelectromotriz del estator estimada; y
 - o un divisor (240) que proporciona una señal de error (234) mediante la división de la respuesta de eje d (230) o una cantidad (244) derivada de la misma por la magnitud de la fuerza contraelectromotriz del estator estimada (238).
- 30

2. Dispositivo controlador de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el regulador de eje d (228) comprende un regulador proporcional-integral (227).

3. Dispositivo controlador de acuerdo con la reivindicación 1 o 2,

- 35 - teniendo el controlador de corriente (226) un regulador de eje q (246) que recibe la realimentación de eje q (224) y la demanda de eje q (216) y proporciona en respuesta a las mismas una respuesta de eje q (248) operativa para reducir la diferencia entre la realimentación de eje q (224) y la demanda de eje q (216);
- un estimador (270) para proporcionar la señal de la fuerza contraelectromotriz del estator estimada (238) sobre la base de la respuesta de eje q (248) del regulador de eje q (246).

4. Dispositivo controlador de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo la unidad de realimentación de ángulo (272):

- 45 - un bucle de enclavamiento de fase (274) para recibir la señal de error (234) y proporcionar en respuesta a la misma una señal de velocidad (276) indicativa de una velocidad de rotación estimada del marco de referencia; y
- un integrador (278) para proporcionar la señal de ángulo (220) mediante el procesamiento de la señal de velocidad (276) de modo que integre la velocidad de rotación estimada del marco de referencia como el ángulo de rotación del marco de referencia.

5. Método de operación de un dispositivo controlador (200) para el control de un dispositivo convertidor de potencia (202) de un generador eléctrico (204) durante la rotación del generador eléctrico (204), comprendiendo el método:

- recibir una realimentación de corriente (208);
- 50 - recibir una demanda de corriente, comprendiendo la demanda de corriente una primera demanda, de eje d (214) para una corriente en un eje d definido por la dirección del flujo del rotor del generador eléctrico y una segunda demanda, de eje q (216) para una corriente en un eje q definido por la dirección de una fuerza contraelectromotriz del estator (103) generada por un flujo en el generador eléctrico;

- 5 - recibir una señal de ángulo (220) y en respuesta a la misma transponer la realimentación de corriente (208) sobre dos ejes (101, 102) de un marco de referencia rotativo, en el que el ángulo de rotación del marco de referencia se define por la señal de ángulo, siendo los dos ejes el eje d y el eje q y dando como resultado la transposición de la realimentación de corriente (208) una realimentación de eje d (222) y una realimentación de eje q (224);
- 10 - en una operación de adaptación, adaptar la realimentación de eje d (222) a la demanda de eje d (214) y adaptar la realimentación de eje q (224) a la demanda de eje q (216), incluyendo la operación de adaptación proporcionar la realimentación de eje d (222) y la demanda de eje d (214) a un regulador de eje d (228) y recibir en respuesta a las mismas una respuesta de eje d (230) desde el regulador de eje d (228), siendo operativa la respuesta de eje d (230) para reducir la diferencia entre la realimentación de eje d (222) y la demanda de eje d (214);

caracterizado por

- 15 - proporcionar una señal de error (234) indicativa de un error de ángulo del marco de referencia rotativo sobre la base de la respuesta de eje d (230);
- recibir una señal estimada de la fuerza contraelectromotriz del estator (238) indicativa de una magnitud de una fuerza contraelectromotriz del estator estimada; y
- proporcionar una señal de error (234) mediante la división de la respuesta de eje d o una cantidad derivada de la misma por la magnitud de la fuerza contraelectromotriz del estator estimada (238);
- recibir la señal de error (234) y proporcionar en respuesta a la misma la señal de ángulo (220).

6. Método de acuerdo con la reivindicación 5,

- 20 - incluyendo adicionalmente la operación de adaptación proporcionar la realimentación de eje q (224) y la demanda de eje q (216) a un regulador de eje q (246) y recibir en respuesta a las mismas una respuesta de eje q (248) desde el regulador de eje q (246), siendo operativa la respuesta de eje q (248) para reducir la diferencia entre la realimentación de eje q (224) y la demanda de eje q (246);
- 25 - proporcionar la señal de la fuerza contraelectromotriz del estator estimada (238) sobre la base de la respuesta de eje q del regulador de eje q.

7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 6, comprendiendo la unidad de realimentación de ángulo:

- 30 - proporcionar en respuesta a la señal de error (234) una señal de velocidad (276) indicativa de una velocidad de rotación estimada del marco de referencia; y
- proporcionar la señal de ángulo (220) mediante el procesamiento de la señal de velocidad (276) de modo que integre la velocidad de rotación estimada del marco de referencia como el ángulo de rotación del marco de referencia.

FIG 1

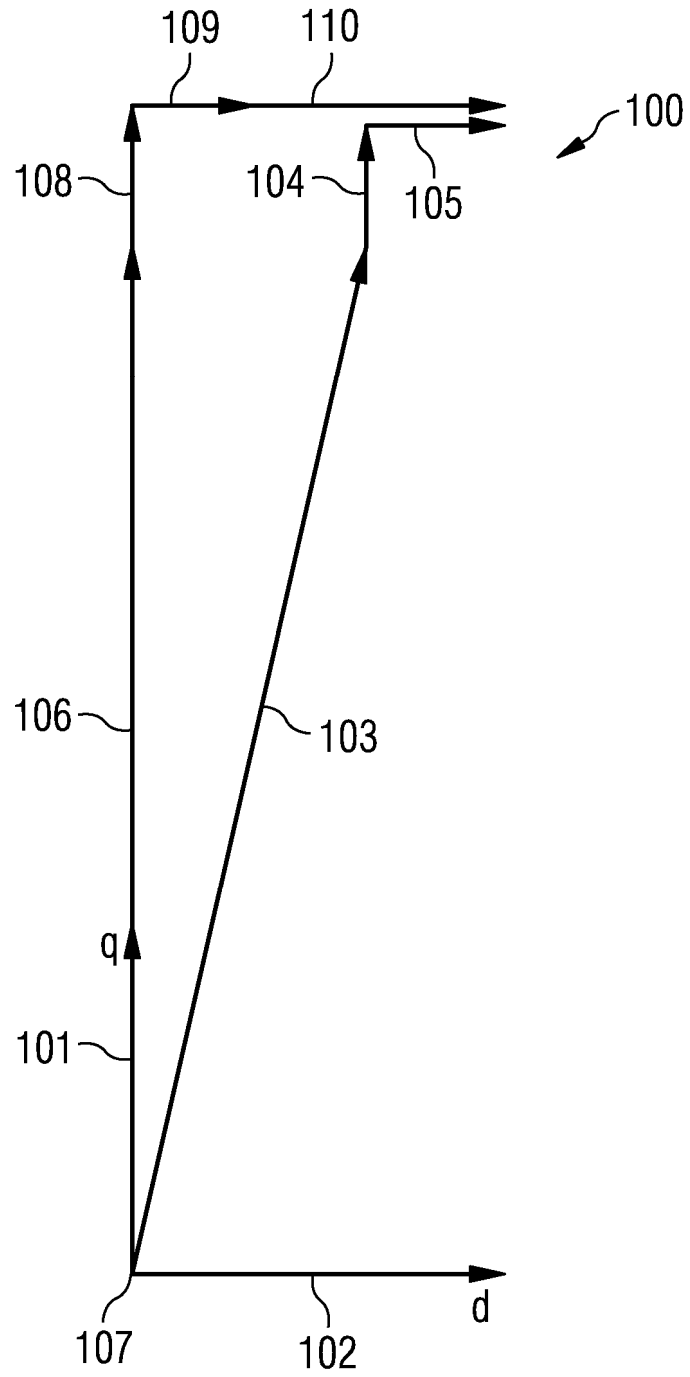


FIG 2

