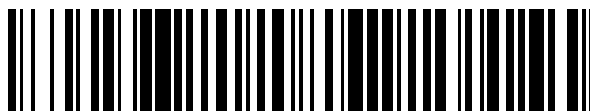


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 818 048**

51 Int. Cl.:

H02M 1/00 (2006.01)
B66B 1/00 (2006.01)
G05B 13/02 (2006.01)
H02M 7/5387 (2007.01)
H02M 7/797 (2006.01)
H02J 3/24 (2006.01)
H02J 3/48 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.08.2016** **E 16186241 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020** **EP 3136574**

54 Título: **Puesta en servicio automática de controlador para convertidores electrónicos de potencia activos trifásicos**

30 Prioridad:

31.08.2015 US 201562212168 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.04.2021

73 Titular/es:

OTIS ELEVATOR COMPANY (100.0%)
One Carrier Place
Farmington CT 06032, US

72 Inventor/es:

VALDIVIA-GUERRERO, VIRGILIO;
GONZALEZ-ESPIN, FRANCISCO y
FOLEY, RAYMOND FRANCIS

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 818 048 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

Puesta en servicio automática de controlador para convertidores electrónicos de potencia activos trifásicos

5 ANTECEDENTES

La presente descripción se refiere, en general, a un sistema de control de potencia y, más específicamente, a un sistema de control para un convertidor de potencia activo que interconecta una fuente de energía (por ejemplo, generador fotovoltaico o turbina eólica), carga (accionamiento de motor para ascensor) o sistema de almacenamiento (por ejemplo, batería), conectado a una red eléctrica.

Los convertidores electrónicos de potencia trifásicos conectados a la red se aplican ampliamente en áreas tales como unidades regenerativas, almacenamiento de energía conectado a la red y generación y transporte renovables. Cuando los convertidores están conectados a redes eléctricas débiles, la impedancia de la red interactúa con el control local. Esto puede provocar que un controlador estable se vuelva inestable (o tenga márgenes de estabilidad bajos) cuando se instala en las instalaciones del usuario final. La impedancia de la red de las instalaciones del usuario final generalmente se desconoce en el momento de la instalación, lo que puede requerir que el instalador tenga conocimientos técnicos avanzados, y/o provocar un retraso del proceso de puesta en servicio.

Para convertidores electrónicos de potencia para gestionar la incertidumbre de los parámetros modelo, pueden utilizarse técnicas de puesta en servicio automática. Para los convertidores trifásicos, las técnicas pueden asumir un modelo de motor fijo y una estrategia de control. Las técnicas también pueden aplicar perturbaciones en varias frecuencias.

Sin embargo, solo se ha informado de algunas técnicas de puesta en servicio automática para convertidores del lado de la red. Las técnicas comunicadas aplicadas a convertidores conectados a la red son complejas y están orientadas a estrategias de control concretas, tales como el control de tiempos muertos y el control adaptado en el espacio de estado. Las técnicas de puesta en servicio existentes generalmente requieren la inyección de una perturbación o perturbaciones a múltiples frecuencias para identificar las características dinámicas de la red eléctrica.

Los sistemas de control de potencia se enseñan en los documentos EP 2871743, US 2013/268219 y EP 0936730. El documento EP 2 871 743 describe un controlador de turbina eólica adaptado para controlar al menos uno de los siguientes: una corriente de salida de una turbina eólica, una tensión de salida de la turbina eólica, una potencia de salida reactiva de la turbina eólica y una corriente de salida del enlace de CC.

35 BREVE DESCRIPCIÓN

Según una realización no limitativa de la presente descripción, se proporciona un sistema para modular un nivel de corriente de un convertidor de potencia conectado a la red como se define en la reivindicación 1.

Además de una o más de las características descritas anteriormente o a continuación, o como alternativa, otras realizaciones podrían incluir que la salida del controlador de corriente esté determinada por los valores de ganancia calculados por el módulo de regulación y una corriente de un lado de corriente alterna del convertidor de potencia

Además de una o más de las características descritas anteriormente o a continuación, o como alternativa, otras realizaciones podrían incluir que se calculen una magnitud y una fase tomando transformadas discretas de Fourier tanto de la corriente como del ciclo de trabajo calculado a la frecuencia de cruce.

Además de una o más de las características descritas anteriormente o a continuación, o como alternativa, otras realizaciones podrían incluir un sistema de accionamiento de motor para ascensor conectado al convertidor de potencia conectado a la red.

Además de una o más de las características descritas anteriormente o a continuación, o como alternativa, otras realizaciones podrían incluir que la pluralidad de valores de ganancia incluya al menos un valor de ganancia proporcional.

Además de una o más de las características descritas anteriormente o a continuación, o como alternativa, otras realizaciones podrían incluir que la pluralidad de valores de ganancia incluya un valor de ganancia proporcional, un valor de ganancia integral y un valor de ganancia derivado.

60 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La materia se indica particularmente y se reivindica claramente en la conclusión de la memoria descriptiva. Lo anterior y otras características y ventajas de la presente descripción resultan evidentes a partir de la siguiente descripción detallada tomada conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los cuales:

La figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de ascensor;

la figura 2 ilustra un controlador de corriente según una realización de la presente descripción;

- 5 la figura 3 ilustra un procedimiento para la puesta en servicio de un controlador de corriente según una realización de la presente descripción.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

10 Haciendo referencia a la figura 1, un sistema de ascensor 10 puede incluir una estructura de soporte estacionaria 11 que generalmente puede ser una parte integral de un edificio de varios pisos, y al menos un carril (es decir, tres carriles 13, 15, 17 ilustrados) que tienen límites generalmente definidos por la estructura 11. El sistema de ascensor 10 incluye además al menos una cabina 14 que se desplaza dentro de al menos uno de los carriles 13, 15, 17. La cabina 14 puede desplazarse en dirección vertical, y además puede estar en dirección ascendente exclusiva en el carril 15 y en
15 dirección descendente exclusiva en el carril 13 (como ejemplo no limitativo). Se contempla y comprende además que el sistema de ascensor 10 puede ser autopropulsado, y puede tener múltiples cabinas 14 que se desplazan en cualquiera de los carriles 13, 15, 17 desplazándose las cabinas en dirección ascendente en el carril 15 y en dirección descendente en el carril 13. En otras realizaciones, las cabinas 14 pueden desplazarse en dos direcciones en un solo carril.

20 El sistema de ascensor 10 puede incluir además al menos una estación de transferencia 30 generalmente ubicada en o encima del piso superior y en o debajo del piso inferior. La al menos una estación de transferencia 30 puede impartir movimiento horizontal de las cabinas 14, facilitando la transferencia de las cabinas 14 entre los carriles 13, 15, 17. Aunque no se muestra en la figura 1, pueden utilizarse una o más estaciones de transferencia intermedias, similares
25 a la estación 30, entre el primer piso y el piso superior. Una estación de transferencia inferior 32 puede estar ubicada en o debajo del piso inferior. La figura 2 ilustra un controlador 200 según una realización. El controlador 200 puede estar conectado a un sistema de distribución eléctrica. El sistema de distribución eléctrica puede estar conectado a un accionamiento de motor 204 de un sistema industrial, que imparte movimiento en un sistema de ascensor 10, por ejemplo.

30 Aunque el sistema de la figura 1 ilustra un sistema de ascensor multicabina sin cable, se contempla y comprende además que el controlador 200 se puede aplicar a cualquier aplicación de accionamiento, incluido un sistema de ascensor con cable. El controlador 200 también puede aplicarse a un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado, o cualquier sistema conectado a una red eléctrica.

35 En otras realizaciones, el controlador 200 y el sistema de distribución eléctrica pueden conectarse a un sistema de generación renovable, o un sistema de almacenamiento de un sistema industrial mediante un convertidor de potencia 206, filtro compuesto por inductores 218, 220, condensador 224 y un enlace de CC 222.

40 El sistema de distribución eléctrica puede incluir un convertidor de potencia 206 que interconecta el accionamiento de motor 204 con la red, por ejemplo. El controlador 200 puede controlar una corriente de referencia proporcionada por un convertidor de potencia 206, que puede proporcionar un enlace de corriente continua que interconecta el sistema industrial con la red 208. En una realización, el convertidor de potencia 206 es un convertidor bidireccional de fuente de tensión (VSC) formado al menos por seis transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). El convertidor de potencia
45 206 está conectado a la red 208. Durante el funcionamiento, la red 208 puede tener una gran impedancia, en comparación con una red eléctrica convencional. Por lo tanto, puede ser necesario regular el convertidor de potencia 206 para garantizar que se proporcione un nivel adecuado de potencia hacia o desde el accionamiento del motor 204. La regulación del convertidor de potencia 206 puede ser proporcionada por un ciclo de trabajo generado por el controlador 200 y se basa al menos en parte en la impedancia de la red 208. El controlador 200 puede controlar una corriente suministrada a los terminales del lado de la red del convertidor de potencia 206, que suministra corriente al accionamiento de motor 204 desde la red 208, o viceversa, como parte de una configuración de control de corriente, utilizándose la tensión de red como parte de un lazo de seguimiento de fase (PLL) y como parte de otras funciones incorporadas al controlador de corriente, tales como la compensación de avance o la amortiguación activa, y la tensión del bus de enlace de CC como parte de una configuración de control de voltaje del controlador de voltaje 226. El
50 sistema es bidireccional, por lo que el accionamiento de motor proporcionará energía a la red 208 durante el funcionamiento regenerativo. El controlador de corriente puede implementarse en un marco de referencia estacionario (un marco a-b-c o un marco alfa-beta) o un marco de referencia síncrono (un marco d-q), por ejemplo, y puede incorporar filtros y redes de desacoplamiento. El controlador 200 puede ordenar al convertidor de potencia 206 con un ciclo de trabajo deseado que funcione en condiciones dinámicamente estables y con un rendimiento dinámico determinado por el margen de fase y las especificaciones de frecuencia de cruce proporcionadas como entrada para el controlador, para cualquier nivel de potencia requerido para el accionamiento de motor 204 u otro sistema externo conectado a la red 208.

65 En algunas realizaciones, el controlador 200 puede incluir un módulo de perturbación 210. El módulo de perturbación inyecta una señal sinusoidal como parte de la regulación del ciclo de trabajo del convertidor de potencia 206. Como se describe con más detalle a continuación, la señal sinusoidal se inyecta a una sola frecuencia de cruce, por ejemplo

480 hertz. La sola frecuencia de cruce se puede especificar en el momento de la instalación del sistema. La necesidad de aplicar un espectro de frecuencias a la señal de perturbación se mitiga mediante la configuración descrita en la realización de la figura 2. Como una característica ventajosa de la presente descripción, el uso de una sola frecuencia en lugar de múltiples frecuencias conduce a una reducción dramática del tiempo requerido para identificar los parámetros de una planta del convertidor de potencia requerido para sintonizar el controlador de corriente y a una implementación más simple de la función de cálculo de parámetros.

En algunas realizaciones, el controlador 200 comprende además un controlador de corriente 212, un controlador de puesta en servicio 213 y un controlador de voltaje 226. El controlador de voltaje 226 puede ser un controlador de voltaje de enlace de CC. El controlador de corriente 212 controla una señal de referencia proporcionada por un controlador de voltaje de enlace de corriente continua del accionamiento de motor 204 y una corriente del lado de la red, por ejemplo. El controlador de corriente 212 emite una señal que se modula con la señal sinusoidal. La señal modulada se inyecta como una regulación del ciclo de trabajo del convertidor de potencia 206. El controlador de puesta en servicio 213 puede aplicarse de manera similar a otros tipos de controladores, tales como un controlador de voltaje de enlace de CC.

La modulación de la señal sinusoidal proporcionada por el módulo de perturbación 210 y el controlador de corriente determina un ciclo de trabajo del convertidor de potencia 206. Durante el funcionamiento, el convertidor de potencia 206 proporciona regulación bidireccional de la corriente en el terminal del lado de la red. Los inductores 218, 220 y el condensador 224 pueden estar presentes dentro del filtro del convertidor de potencia, aunque puede estar presente una topología de filtro que no incluya el inductor 220 y el condensador 224, así como otras variaciones de estas estructuras. La impedancia puede cambiar debido a variaciones de la red 208 y a cualquier otra carga conectada a la red 208.

En algunas realizaciones, el controlador de puesta en servicio 213 del controlador 200 incluye además un módulo de cálculo de parámetros 216 que calcula una pluralidad de valores de ganancia para el controlador de corriente 212. La pluralidad de valores de ganancia puede basarse, al menos en parte, en un margen de fase, una frecuencia de cruce, la corriente de CA del convertidor de potencia y el ciclo de trabajo. El módulo de cálculo de parámetros 216 calcula los valores de ganancia para el controlador de corriente 212 basándose en parte en un valor de magnitud y un valor de fase generado por un cálculo de magnitud y fase.

Los valores de ganancia para el controlador de corriente 212 pueden calcularse de varias maneras en función del margen de fase requerido y la frecuencia de cruce para la ganancia de bucle, y la magnitud y fase de la planta controlada. A continuación, se proporcionan algunos ejemplos basados en expresiones analíticas simples en el dominio de tiempo continuo. En dichas ecuaciones, $Plant_i$ representa la relación dinámica entre la corriente alterna " i_L " del convertidor de potencia y el ciclo de trabajo, " d ", ω_{cross} representa la frecuencia de cruce y PM representa el margen de fase.

Se puede utilizar un controlador PI en una realización. El ajuste de parámetros se realiza en función del sistema de ecuaciones (1).

$$\begin{cases} PI(s) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{\tau \cdot s}\right) \\ \tau = \frac{\tan\left[\left(PM - \arg(Plant_i(j\omega_{cross})) - \frac{\pi}{2} \right)\right]}{\omega_{cross}}, \quad K_p = \frac{\omega_{cross} \cdot \tau}{|Plant_i(j\omega_{cross})| \cdot \sqrt{1 + (\omega_{cross} \cdot \tau)^2}} \end{cases} \quad (1)$$

Un PID puede ser útil para aumentar la fase y mejorar el rendimiento dinámico cuando el retraso de fase es significativo debido a retrasos digitales. La implementación considerada en esta descripción incluye dos ceros coincidentes y dos polos coincidentes de alta frecuencia, donde los polos y los ceros están separados en frecuencia por un factor K_f . El ajuste de parámetros se realiza en función del sistema de ecuaciones (2).

$$\begin{cases} PID(s) = K_p \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{\left(1 + s \cdot \frac{K_f}{\omega_{cross}}\right)^2}{\left(1 + s \cdot \frac{1}{K_f \cdot \omega_{cross}}\right)^2} \\ K_f = \frac{\tan\left[\frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\pi}{2} + PM - \arg(Plant_i(j\omega_{cross}))\right)\right]}{\omega_{cross}}, \quad K_p = \frac{\omega_{cross}}{|Plant_i(j\omega_{cross})| \cdot K_f^2} \end{cases} \quad (2)$$

Otros controladores lineales, como el compensador PI, incluidos los compensadores resonantes, también se consideran en esta descripción y pueden ajustarse siguiendo un procedimiento similar. Además, la planta puede calcularse en función de otra magnitud de corriente CC, tal como i_{L2} .

5 Un módulo de magnitud y fase 215 calcula una magnitud y una fase de una planta del convertidor de potencia basándose en la relación entre una corriente en un lado alterno del convertidor de potencia y el ciclo de trabajo en la frecuencia de cruce. La magnitud y la fase se generan tomando transformadas discretas de Fourier tanto de la corriente como del ciclo de trabajo calculados en la frecuencia de cruce como una función de la corriente en el lado de corriente alterna del convertidor de potencia y el ciclo de trabajo de la señal de perturbación. Esas señales pueden
10 preprocesarse antes de aplicar la transformada discreta de Fourier utilizando, por ejemplo, filtros paso banda. En lugar de la transformada discreta de Fourier, se pueden aplicar medios alternativos para el cálculo de magnitud y fase en la frecuencia de cruce. Los valores de ganancia se calculan adicionalmente utilizando la frecuencia de cruce y un valor de margen de fase. Los valores de ganancia pueden incluir un valor de ganancia proporcional, un valor de ganancia integral y un valor de ganancia derivado. El módulo de cálculo de parámetros 216 transmite los valores de ganancia
15 al controlador de corriente 212.

En algunas realizaciones, el controlador de corriente 212 mide la corriente que fluye a través del convertidor de potencia 206. La referencia para el controlador de corriente 212 de la corriente que fluye a través del convertidor de potencia 206 puede ser proporcionada por un controlador de voltaje 226 que regula un voltaje a través de un condensador en un enlace de CC 222. El condensador regulador del enlace de CC 222 puede conectarse en paralelo
20 con el convertidor de potencia 206 y el accionamiento de motor 204, por ejemplo. Sin embargo, puede ser posible cualquier configuración adecuada para generar la corriente de referencia para el controlador de corriente 212 de la corriente del lado de corriente alterna del convertidor de potencia 206. En algunas realizaciones, el controlador de corriente 212 aplica el valor de ganancia proporcional, el valor de ganancia integral y el valor de ganancia derivado al error entre el valor de corriente de red medido y el valor de corriente de referencia. Sin embargo, en otras realizaciones,
25 solo se puede aplicar el valor de ganancia proporcional, o solo se puede aplicar el valor de ganancia proporcional y el valor de ganancia integral. Sin embargo, en otras realizaciones adicionales, se pueden aplicar el valor de ganancia proporcional y/o el valor de ganancia integral y/o valores de ganancia adicionales. Se entiende que el controlador de corriente 212 puede incluir otras configuraciones capaces de proporcionar valores de ganancia adicionales.

30 En consecuencia, el controlador de corriente 212 genera el valor de corriente de red ajustado, que a continuación se modula con la señal sinusoidal generada por el módulo de perturbación 210.

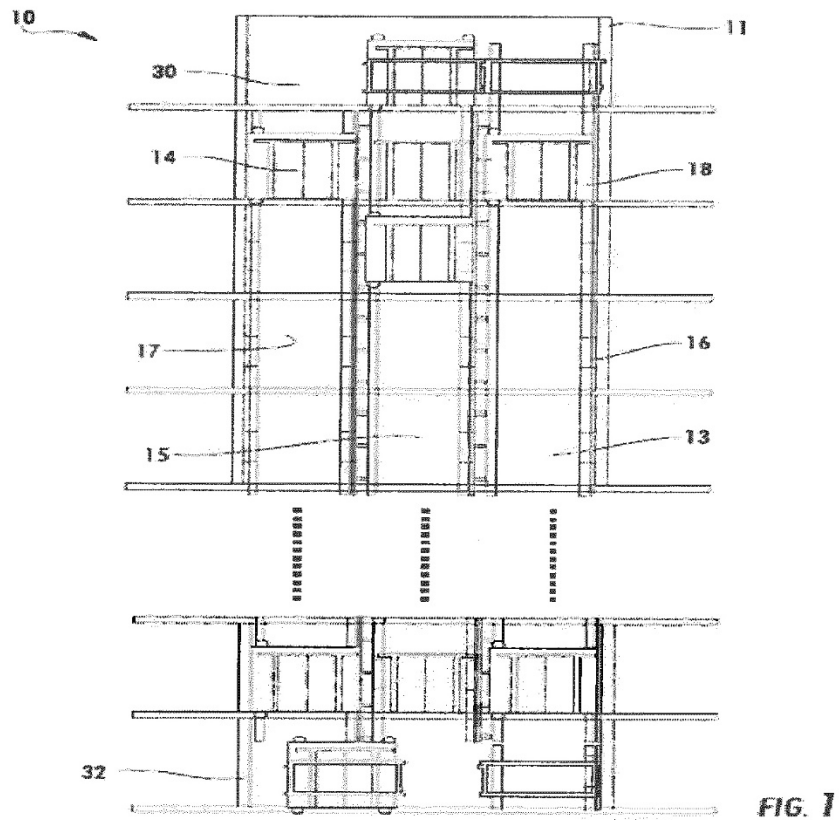
La figura 3 ilustra un procedimiento de regulación de corriente según una realización de la presente descripción. En el
35 bloque 302, se puede inyectar una señal sinusoidal a una sola frecuencia de cruce predeterminada. La señal sinusoidal puede proporcionar una perturbación del ciclo de trabajo a un convertidor de potencia conectado a una red eléctrica, por ejemplo. El ciclo de trabajo puede determinarse adicionalmente mediante una modulación de la inyección de perturbación y una salida del controlador de corriente.

40 En el bloque 304, se puede controlar la corriente CA de un convertidor de potencia conectado a la red eléctrica. La corriente puede ser un valor medido a través de una inductancia del filtro de CA del convertidor. En el bloque 306, se controla un ciclo de trabajo de un convertidor de potencia. En el bloque 308, se calculan una pluralidad de valores de ganancia para el controlador de corriente. La pluralidad de valores de ganancia puede basarse, al menos en parte, en un margen de fase, una frecuencia de cruce, la corriente de CA del convertidor de potencia y el ciclo de trabajo
45 modulado por la señal sinusoidal inyectada. La pluralidad de valores de ganancia puede basarse adicionalmente en un cálculo de magnitud y fase proporcionado por transformadas discretas de Fourier tanto de la corriente como del ciclo de trabajo calculado en una sola frecuencia de cruce.

Aunque la presente descripción se ha descrito en detalle en relación con solo un número limitado de realizaciones,
50 debe entenderse fácilmente que el alcance de la presente invención es el definido por las reivindicaciones. En consecuencia, la presente descripción no debe verse como limitada por la descripción anterior, sino que solo está limitada por el alcance de las reivindicaciones adjuntas. Se pueden realizar modificaciones a las características de las reivindicaciones sin apartarse del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para modular un nivel de corriente de salida de un convertidor de potencia bidireccional conectado a una red para garantizar que se proporcione un nivel de potencia adecuado hacia o desde un accionamiento de motor, comprendiendo el sistema:
 - 5 el convertidor de potencia bidireccional (206) que interconecta el accionamiento de motor (204) y la red eléctrica (208), el accionamiento de motor conectado a un lado de corriente continua del convertidor de potencia, la red conectada a un lado de corriente alterna del convertidor de potencia,
 - 10 un controlador de corriente (212) dispuesto para recibir una entrada de corriente de referencia indicativa de una corriente que fluye a través del convertidor de potencia y dispuesto para emitir un valor de corriente de red ajustado, donde el controlador de corriente está configurado para controlar una señal de referencia proporcionada por un controlador de voltaje (226) del enlace de corriente continua del accionamiento de motor (204) y una corriente del lado de la red;
 - 15 un módulo de cálculo de parámetros (216) que está configurado para calcular una pluralidad de valores de ganancia basados al menos en parte en un margen de fase del controlador de corriente, una frecuencia de cruce del controlador de corriente y una corriente de un lado de corriente alterna del convertidor de potencia, donde el controlador de corriente genera el valor de corriente de red ajustado aplicando uno o más de los valores de ganancia al error entre la corriente del lado de la red y el valor de corriente de referencia;
 - 20 un módulo de perturbación (210) que está configurado para proporcionar una señal sinusoidal, a una sola frecuencia que es una frecuencia de cruce del controlador de corriente (212), donde el valor de corriente de red ajustado emitido por el controlador de corriente (212) se modula con la señal sinusoidal para proporcionar un ciclo de trabajo para regular el convertidor de potencia.
- 25 2. El sistema de la reivindicación 1, donde el controlador está configurado para controlar al menos una corriente del convertidor de potencia y al menos una corriente de referencia, donde la corriente del convertidor de potencia se mide en terminales de corriente alterna del convertidor de potencia.
3. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, que incluye además un módulo de magnitud y fase (215) que está configurado para calcular una magnitud y una fase de una planta del convertidor de potencia conectado a la red basándose en una relación dinámica entre una corriente en el lado alterno del convertidor de potencia y el ciclo de trabajo en la frecuencia de cruce.
- 30 4. El sistema de la reivindicación 3, donde la magnitud y la fase se calculan realizando una transformada discreta de Fourier de la corriente en el lado alterno y el ciclo de trabajo en la frecuencia de cruce.
- 35 5. El sistema de cualquier reivindicación anterior, donde la pluralidad de valores de ganancia incluye al menos un valor de ganancia proporcional.



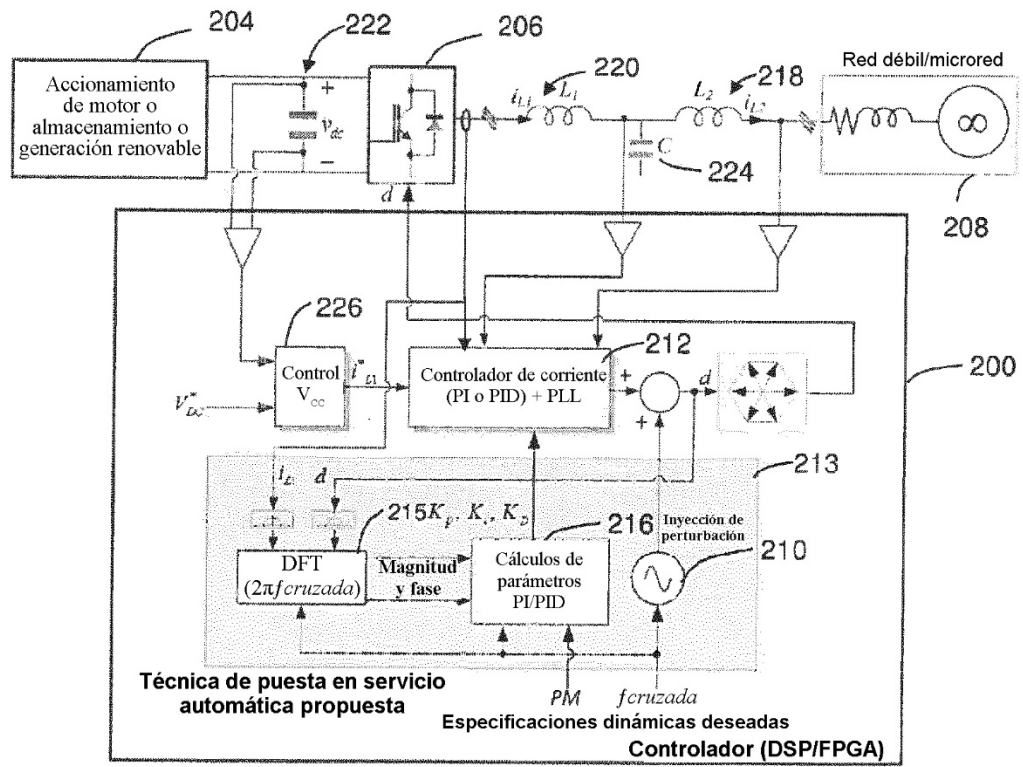


FIG. 2

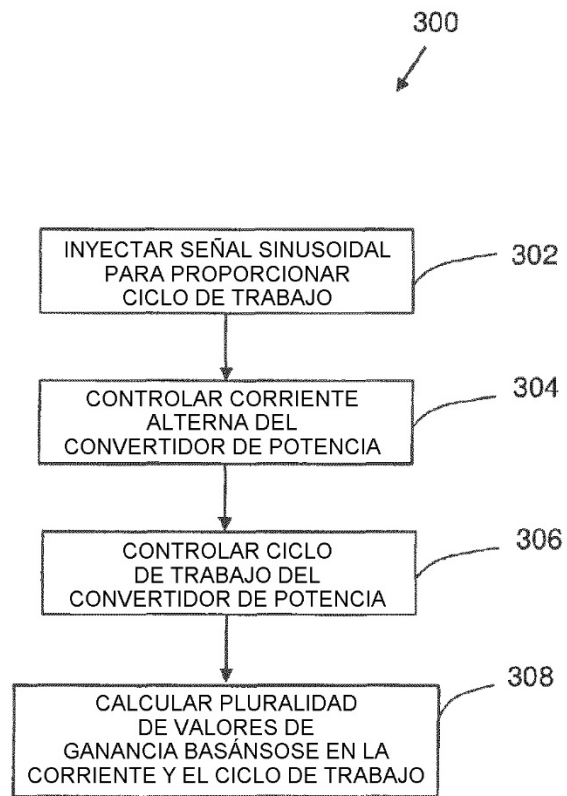


FIG. 3