(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 899 669**

(51) Int. CI.:

B64C 9/32 (2006.01)
H02P 29/024 (2006.01)
F03D 7/02 (2006.01)
H02P 3/22 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.07.2011 PCT/US2011/045371**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **31.01.2013 WO13015791**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.07.2011 E 11743715 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.09.2021 EP 2737621**

(54) Título: **Sistema de retención de motor eléctrico**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.03.2022

(73) Titular/es:

MOOG INC. (100.0%)
Seneca & Jamison Road
East Aurora, NY 14052, US

(72) Inventor/es:

SHRIVER, MICHAEL, H. y
STEVENS, JOHN, W.

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

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

Sistema de retención de motor eléctrico

Campo técnico

El campo técnico se refiere a los sistemas de frenado dinámico y regenerativo de motores eléctricos, y más específicamente a un sistema mejorado de frenado de motores eléctricos.

Antecedentes

Se conocen varios sistemas de frenado electromecánico. Por ejemplo, la publicación de solicitud de patente n.° US-2006/0108867 se refiere a un freno electromecánico con respaldo de energía eléctrica y recuperación de energía regenerativa que puede ser utilizado en un sistema de frenado de aeronaves. Según esta publicación, se utiliza un condensador para almacenar energía para un controlador cuando el voltaje de una fuente de alimentación cae por debajo de un potencial de energía almacenada y se puede recuperar energía regenerativa de un accionador para el suministro de energía almacenada.

La patente n.° US-3.975.668 describe el uso del frenado dinámico en un motor trifásico en el que las bobinas del motor están conectadas en una configuración delta de seis devanados, y se aplica una corriente de frenado directa entre dos tomas centrales de la configuración.

La patente n.° US-4.831.469 tiene por objeto a un método de frenado para un cabezal de disco que tiene un condensador para almacenar energía para retraer y frenar el motor en caso de pérdida de energía.

EP-2080902 describe un sistema de cabeceo controlado por velocidad para una turbina eólica. US-5907192A describe un método y aparato para frenar una turbina eólica en respuesta a una pérdida de energía en una red de suministro eléctrico.

Breve resumen de la invención

La presente invención proporciona un sistema (110, 210, 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1.

El controlador puede estar configurado para frenar dinámicamente el motor. El sistema puede comprender además un interruptor (SW2) de disipación en serie con un resistor (R2) de disipación, en donde el controlador está configurado para operar el interruptor de disipación de tal manera que la energía del motor se disipa con el resistor de disipación.

El controlador puede estar configurado para frenar regenerativamente el motor. El sistema de motor eléctrico puede comprender además una red (219) de conmutación, en donde el controlador está configurado para operar la red de conmutación de manera que la energía del motor se utilice para cargar el almacenamiento de energía cuando este no esté completamente cargado. La red de conmutación puede comprender seis elementos de conmutación. Los elementos de conmutación en la red de conmutación pueden comprender IGBT o MOSFET. El almacenamiento de energía puede ser un condensador (C1) o una batería.

El controlador puede estar configurado para frenar activamente el motor. El controlador puede comprender además un accionador (229) de freno independiente. El sistema de motor eléctrico puede comprender además una red de conmutación. La red de conmutación puede comprender seis elementos de conmutación. Los elementos de conmutación de la red de conmutación pueden ser IGBT o MOSFET.

El controlador puede estar configurado para frenar selectivamente de forma activa, dinámica o regenerativa el motor. El sistema de motor eléctrico puede comprender además una red de conmutación y un resistor de disipación, en donde el controlador está configurado para operar la red de conmutación de manera que la energía del motor se disipa selectivamente con el resistor de disipación o se utiliza para cargar el almacenamiento de energía cuando el almacenamiento de energía no está completamente cargado. La red de conmutación puede comprender seis elementos de conmutación dispuestos en una configuración de puente en H. Los elementos de conmutación pueden comprender IGBT o MOSFET.

El sistema de motor eléctrico puede comprender además un rectificador (218) de potencia. El rectificador de potencia puede comprender un rectificador de diodos de onda completa.

El objeto impulsado puede comprender un panel (216) de alerón de aeronave en el ala (265) de una aeronave. La posición neutral (234) puede ser una posición en la que el panel (216) de alerón está a aproximadamente cuatro grados de la superficie (227) del ala. El objeto impulsado puede comprender una pala (316) de turbina accionada alrededor de un eje (396) de cabeceo en una turbina (310) generadora de energía. El motor puede comprender un motor de control de cabeceo de las palas de la turbina. La posición neutral puede ser una posición de bandera de las palas de la turbina.

El sensor de posición puede comprender un codificador, un resolutor o un LVDT. El sensor de potencia puede comprender un sensor de voltaje o un sensor de validez FPGA. La fuente de alimentación puede comprender una fuente de alimentación de CA trifásica.

El sistema de motor eléctrico puede comprender además un filtro (272) de salida. El filtro de salida puede comprender un filtro (273) de modo común o un filtro (274) de modo diferencial. El sistema de motor eléctrico puede comprender además un filtro (252) de entrada. El filtro de entrada puede comprender un filtro (253) de modo común o un filtro (254) de modo diferencial. El sistema de motor eléctrico puede comprender además un interruptor (SW1) de arranque suave.

En otro aspecto, se proporciona un método para accionar una interfaz de motor eléctrico según la reivindicación 17.

El sensor de posición puede comprender un codificador, un resolutor o un LVDT. El sensor de potencia puede comprender un sensor de voltaje o un sensor de validez FPGA. La fuente de alimentación puede comprender una fuente de alimentación de CA trifásica.

El sistema de motor eléctrico puede comprender además un filtro (272) de salida. El filtro de salida puede comprender un filtro (273) de modo común o un filtro (274) de modo diferencial. El sistema de motor eléctrico puede comprender además un filtro (252) de entrada. El filtro de entrada puede comprender un filtro (253) de modo común o un filtro (254) de modo diferencial. El sistema de motor eléctrico puede comprender además un interruptor (SW1) de arranque suave.

En otro aspecto, se proporciona un método para accionar una interfaz de motor eléctrico según la reivindicación 17.

El umbral de la fuente de alimentación puede comprender un umbral de voltaje y la entrada de la señal del sensor de posición está por debajo de dicho umbral de posición neutral.

El método puede comprender además la etapa de proporcionar una interfaz de resistor de disipación. El método puede comprender además la etapa de dirigir selectivamente la potencia absorbida a la interfaz de almacenamiento de energía o a la interfaz del resistor de disipación en función de si la interfaz de almacenamiento de energía está completamente cargada.

El método puede comprender además la etapa de utilizar la energía de la interfaz de almacenamiento de energía para frenar activamente el motor eléctrico cuando dicha entrada de fuente de alimentación externa es menor que dicho umbral de fuente de alimentación y dicha entrada de señal del sensor de posición está dentro de dicho umbral de posición neutral. La etapa de utilizar la energía de la interfaz de almacenamiento de energía para frenar activamente el motor eléctrico puede comprender el frenado activo del motor eléctrico cuando la tasa de cambio de la señal de entrada del sensor de posición está por debajo de un umbral de velocidad, la entrada de la fuente de alimentación cae por debajo de un umbral de voltaje y la entrada de la señal del sensor de posición está por debajo de un umbral de posición. La etapa de operar dichas puertas de conmutación puede comprender la operación de las puertas de conmutación para absorber energía de la interfaz del motor eléctrico cuando la tasa de cambio de la señal de entrada del sensor de posición está por encima de un umbral de velocidad, la entrada de la fuente de alimentación cae por debajo de un umbral de voltaje y la entrada de la señal del sensor de posición está por debajo de un umbral de posición. El método puede comprender además la etapa de proporcionar una interfaz de resistor de disipación. El método puede comprender además la etapa de dirigir selectivamente la potencia absorbida a la interfaz de almacenamiento de energía o a la interfaz del resistor de disipación en función de si la interfaz de almacenamiento de energía está completamente cargada.

La interfaz de almacenamiento de energía local puede estar configurada para conectarse a un condensador o a una batería. El método puede comprender además las etapas de proporcionar un rectificador de potencia y convertir un voltaje de CA en la entrada de la fuente de alimentación en un voltaje de CC. El rectificador de potencia puede ser un rectificador de diodos de onda completa. El método puede comprender además la etapa de proporcionar un interruptor de arranque suave. La entrada de la señal del sensor de posición puede estar configurada para conectarse a un codificador, un resolutor o un LVDT.

La interfaz del motor eléctrico puede estar configurada para conectarse a un accionador del alerón del ala de una aeronave. La interfaz del motor eléctrico puede estar configurada para conectarse a un motor de control de cabeceo de una turbina eólica.

La entrada de la fuente de alimentación externa puede estar configurada para una fuente de alimentación de CA trifásica. El método puede comprender además las etapas de filtrar la señal que entra en la entrada de la fuente de alimentación externa o filtrar una señal que sale en la interfaz del motor eléctrico. El método puede comprender además la etapa de proporcionar una interfaz de accionamiento del freno.

Un impulsor puede comprender una interfaz de resistor de disipación. El control puede estar configurado para dirigir la energía desde la interfaz del motor eléctrico a la interfaz del resistor de disipación. El control puede estar configurado para operar la red de conmutación de manera que la energía de la interfaz del motor se dirija selectivamente a la interfaz del resistor de disipación o a la interfaz de almacenamiento de energía local cuando un almacenamiento de energía local conectado a la interfaz de almacenamiento de energía local no esté completamente cargado.

El control puede estar configurado para dirigir la energía de la interfaz del motor eléctrico a la interfaz de almacenamiento de energía local. El impulsor puede comprender además una interfaz del accionador de freno. El control puede estar configurado para operar la red de conmutación de manera que la energía de la interfaz de almacenamiento de energía local se dirija a la interfaz del accionador de freno.

La red de conmutación puede comprender seis interruptor. Los elementos de conmutación pueden comprender IGBT o MOSFET.

El controlador puede estar configurado para frenar selectivamente de forma activa, dinámica o regenerativa un motor conectado a la interfaz del motor eléctrico. El control puede estar configurado para operar la red de conmutación de manera que la energía de la interfaz del motor se dirija selectivamente a la interfaz del resistor de disipación o a la interfaz de almacenamiento de energía local cuando un almacenamiento de energía local conectado a la interfaz de almacenamiento de energía local no esté completamente cargado.

El rectificador de potencia del impulsor puede contener un rectificador de diodos de onda completa. El impulsor puede comprender además un filtro de salida. El filtro de salida puede comprender un filtro de modo común o un filtro de modo diferencial. El impulsor puede comprender además un filtro de entrada. El filtro de entrada puede comprender un filtro de modo común o un filtro de modo diferencial. El impulsor puede comprender además un interruptor de arranque suave.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama de objetos de alto nivel de una primera realización general del sistema de motor.

La Fig. 2 es un diagrama de objetos de alto nivel de una segunda realización de control del alerón de ala de aeronave del sistema de motor.

La Fig. 3 es un diagrama esquemático del sistema de alerones de ala de aeronave mostrado en la Fig. 2.

La Fig. 4 es una vista lateral del sistema de alerones de ala mostrado en la Fig. 2.

La Fig. 5 es una vista lateral del sistema de alerones de ala mostrado en la Fig. 2 en una posición neutral.

La Fig. 6 es un diagrama de objetos de la disposición física interna del sistema de alerones de ala de aeronave mostrado en la Fig. 2.

La Fig. 7 es una vista en perspectiva de una tercera realización de control de cabeceo de turbina eólica del sistema de motor.

La Fig. 8 es una vista en perspectiva parcial de la disposición física interna del sistema de control de cabeceo de turbina eólica mostrado en la Fig. 7.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Ante todo, debe entenderse claramente que está previsto que los números de referencia iguales identifiquen a los mismos elementos, partes o superficies estructurales sistemáticamente en las diversas figuras del dibujo, ya que dichos elementos, partes o superficies también pueden describirse o explicarse con mayor detalle mediante toda la memoria descriptiva escrita, de la que esta descripción detallada forma parte integrante. . Según se utilizan en la siguiente descripción, los términos “horizontal”, “vertical”, “izquierdo”, “derecho”, “arriba” y “abajo”, así como sus derivados adjetivales y adverbiales *(p. ej.,* “horizontalmente”, “hacia la derecha”, “hacia arriba”, etc.), se refieren simplemente a la orientación de la estructura ilustrada en la manera en la que la figura del dibujo particular está orientada hacia el lector. De forma similar, los términos “hacia dentro” y “hacia fuera” se refieren, en general, a la orientación de una superficie con respecto a su eje de alargamiento, o eje de rotación, según sea oportuno.

Las siguientes definiciones se proporcionan para la interpretación de las realizaciones descritas en la presente memoria. El frenado dinámico es el proceso de conectar o “cortocircuitar”, como por ejemplo con un resistor de disipación, los terminales de entrada del motor eléctrico, provocando que la energía cinética del motor se convierta en calor y, por tanto, ralentizando el motor.

El frenado regenerativo es el proceso de transferencia de energía de un motor eléctrico (normalmente energía cinética del motor o del sistema) a un dispositivo de almacenamiento de energía permitiendo que la corriente sea impulsada por el motor de vuelta al dispositivo de almacenamiento de energía.

El frenado activo es el proceso de utilizar una fuente de alimentación para accionar un motor eléctrico en oposición a su dirección de rotación actual, o para accionar un accionador de freno independiente acoplado a un motor.

La inercia es el proceso de desconectar eléctricamente los terminales de entrada de un motor eléctrico, permitiendo que su voltaje flote y evitando que la energía eléctrica entre o salga del motor a través de los terminales de entrada.

Una red de conmutación es un conjunto de dispositivos eléctricos o mecánicos para controlar el flujo de corriente eléctrica entre al menos dos terminales, entre los que se incluyen por ejemplo un puente en H IGBT, un puente en H MOSFET, un puente de relés u otros dispositivos similares.

Un control o controlador es un dispositivo digital que tiene líneas de salida que son una función lógica de sus líneas de entrada, entre los que se incluyen por ejemplo un microprocesador, un microcontrolador, una matriz de puertas programable en campo, un dispositivo lógico programable, un circuito integrado de aplicación específica u otros dispositivos similares.

Un sensor de potencia es un dispositivo eléctrico o mecánico para medir la potencia de un sistema eléctrico, entre los que se incluyen por ejemplo un sensor de voltaje, un sensor de corriente, un dispositivo con tanto sensores de voltaje, como de corriente, u otros dispositivos similares.

Un interruptor de freno es un dispositivo que controla el flujo de electricidad a un mecanismo de frenado, entre los que se incluyen por ejemplo un transistor de propósito general, un IGBT, un MOSFET, un relé, u otros dispositivos mecánicos o semiconductores similares.

Una fuente de alimentación es una fuente de energía eléctrica de CA o CC.

Un sensor de posición es un dispositivo eléctrico para medir la posición, o una derivada de la posición, o la distancia respecto a un objeto, entre los cuales se incluyen por ejemplo un codificador, un resolutor, un transformador diferencial variable lineal, un resistor variable, un condensador variable, un telémetro láser, un detector de rango ultrasónico, un detector de rango infrarrojo, u otros dispositivos similares.

Un almacenamiento de energía es un dispositivo o sistema para almacenar energía, entre los cuales se incluyen por ejemplo un condensador, una batería, un inductor, un volante de inercia, u otros dispositivos similares.

Haciendo referencia ahora a los dibujos, y más especialmente a la Fig. 1, la presente invención proporciona un sistema de motor, del cual se indica una primera realización con la referencia 110. Tal como se muestra, el sistema 110 de motor generalmente incluye la fuente 112 de alimentación, el sensor 114 de potencia, el almacenamiento 123 de energía, el controlador 122, la red 119 de conmutación, el motor eléctrico 111, el objeto impulsado 116 y el límite físico 127.

La fuente 112 de alimentación proporciona energía eléctrica al sistema. En esta realización, la fuente 112 de alimentación es de CC. Sin embargo, se puede utilizar una fuente de alimentación de CA como alternativa. La fuente 112 de alimentación está conectada al almacenamiento 123 local de energía.

En esta realización, el almacenamiento 123 de energía es un condensador. Como alternativa, se puede utilizar una batería o un inductor. La potencia suministrada por la fuente 112 de alimentación es medida por el sensor 114 de potencia. En esta realización, el sensor 112 de potencia es un sensor de voltaje. Sin embargo, se puede utilizar un sensor de corriente como alternativa.

El almacenamiento 123 de energía se conecta a la red 119 de conmutación a través de la línea 133 de alimentación común. La red 119 de conmutación controla el flujo de energía hacia, desde y entre los terminales del motor eléctrico 111. El funcionamiento de la red 119 de conmutación se rige por una entrada de control conectada al controlador 122. La red 119 de conmutación está configurada para conectar los terminales del motor eléctrico 111 entre sí para frenar dinámicamente el motor eléctrico 111. En esta realización, la red 119 de conmutación está construida con IGBT. Sin embargo, se pueden utilizar relés o MOSFET para construir la red 119 de conmutación como alternativa.

El motor eléctrico 111 está acoplado mecánicamente al objeto impulsado 116 a través del accionador 113. El accionador 113 puede contener engranajes, una transmisión de tornillo u otros dispositivos similares. El objeto 116 tiene un rango de movimiento posible, potencialmente limitado por el límite físico 127. Además, dentro del rango de movimiento del objeto 116 hay un rango o posición 134 sustancialmente neutral. Cuando el objeto 116 está en reposo en el rango neutral 134, el objeto 116 no es tan propenso a moverse. El objeto 116 es más propenso a experimentar fuerzas externas que actúan sobre él cuando su posición está fuera del rango neutral 134.

El sensor 115 de posición mide la distancia 125 entre el objeto 116 y el límite físico 127. En esta realización, el sensor 115 de posición es un Linear Variable Differential Transformer (transformador diferencial de variación lineal - “LVDT”). Sin embargo, se puede utilizar como alternativa un codificador, un resolutor, un telémetro láser, un detector de alcance ultrasónico, un resistor variable, un detector de alcance infrarrojo u otro dispositivo similar.

El sensor 115 de posición está conectado al controlador 122. En esta realización, el controlador 122 es una Field Programmable Gate Array (matriz de puertas programable en campo - “FPGA”). Sin embargo, se puede utilizar como alternativa un programmable logic device (dispositivo lógico programable - “PLD”), un microprocesador, un microcontrolador u otro dispositivo similar. El controlador 122 tiene una entrada para recibir la señal de salida del sensor 115 de posición, y una entrada para recibir la señal de salida del sensor 114 de potencia. El controlador 122 también controla la línea de control conectada a la red 119 de conmutación. La línea de control a la red 119 de conmutación puede

ser un solo cable, una pluralidad de cables o inalámbrica. También está conectada al controlador 122 la interfaz 132 de comandos. La memoria 128 almacena los valores de varias variables de funcionamiento, incluidos el valor 124 superior del rango neutral, el umbral 135 de la fuente de alimentación, el umbral 136 de posición neutral y el umbral 137 de almacenamiento de energía. El controlador 122 está programado para operar como se describe a continuación.

En caso de fallo de la fuente de alimentación, el sistema 110 frena el objeto impulsado 116 cuando se encuentra en una posición más segura. Más específicamente, cuando se produce un fallo en la fuente 112 de alimentación, la red 119 de conmutación está configurada para frenar dinámicamente el motor eléctrico 111 cuando el objeto impulsado 116 está cerca o dentro del rango neutral 134. Dado que el almacenamiento 123 de energía puede tener solo suficiente energía para controlar temporalmente la red 119 de conmutación, el controlador 122 está configurado para controlar la red 119 de conmutación para frenar dinámicamente solo cuando tanto se produce un fallo de la fuente de alimentación, como cuando el objeto impulsado 116 está cerca o dentro del rango neutral 134.

Como se ha descrito anteriormente, el objeto 116 tiene un rango de movimiento que puede estar limitado por el límite físico 127. Si el objeto 116 entra en contacto con el límite físico 127 con demasiada fuerza, el límite físico 127 y el objeto impulsado 116 pueden resultar dañados. Una colisión de este tipo también puede dañar el motor 111 o el accionador 113. Si se corta la alimentación del motor eléctrico 111 mientras el objeto impulsado 116 está en movimiento, el objeto impulsado 116 puede desplazarse por inercia, colisionando potencialmente con el límite físico 127. Además, aunque el objeto impulsado 116 no se esté moviendo cuando se pierde la potencia del motor 111, si el objeto 116 no está en el rango neutral 134 puede acabar siendo acelerado por fuerzas externas y contactar con el límite 127 con una fuerza excesiva.

Como se muestra en la Fig. 1, el almacenamiento 123 de energía está conectado a la fuente 112 de alimentación a lo largo de la línea 133 de alimentación común. Mientras la fuente 112 de alimentación funciona correctamente, el almacenamiento 123 de energía se carga en el voltaje de la fuente 112 de alimentación. En caso de fallo de una fuente de alimentación, el almacenamiento 123 de energía mantendrá temporalmente el voltaje en la línea 133 de alimentación común mientras la energía es extraída por el controlador 122 y la red 119 de conmutación.

El controlador 122 recibe la energía que necesita para operar de la línea 133 de alimentación común. El controlador 122 tiene sensores internos para controlar el nivel de voltaje en la línea 133 de alimentación común. La línea 133 de alimentación común también proporciona energía eléctrica a la red 119 de conmutación. La energía para el motor eléctrico 111 es suministrada indirectamente por la línea 133 de alimentación común a través de la red 119 de conmutación.

El voltaje de la fuente 112 de alimentación es medido por el sensor 114 de potencia, y la salida del sensor 114 de potencia es leída por el controlador 122. El sensor 115 de posición mide la distancia 125 entre el objeto 116 y el límite 127, y la salida del sensor 115 de posición es leída por el controlador 122.

El controlador 122 envía señales de control a la red 119 de conmutación. Por ejemplo, una señal de control de avance hará que la red 119 de conmutación conecte el motor 111 a la línea 133 de alimentación de manera que el motor 111 se mueva hacia adelante. Del mismo modo, una señal de control inversa hará que la red 119 de conmutación conecte el motor 111 a la línea 133 de alimentación de tal manera que el motor 111 se mueva en sentido inverso. Una señal de regeneración hará que los terminales de accionamiento del motor 111 eléctrico se conecten de tal manera que la energía sea absorbida del motor eléctrico y almacenada en la fuente 123 de alimentación. Una señal de inercia hará que la red 119 de conmutación desconecte los terminales de accionamiento del motor 111 y permita que su voltaje flote. Una señal de frenado dinámico hará que los terminales de accionamiento del motor 111 eléctrico se conecten entre sí de manera que la energía cinética del motor se disipe en forma de calor. Al cambiar rápidamente entre la señal de inercia y la señal de avance, retroceso o regeneración, el controlador 122 puede ajustar el nivel de impulso o regeneración promedios del motor 111. Como alternativa, puede ser ventajoso combinar la inercia y la regeneración en un solo modo a través de la implementación del circuito específico de la red 119 de conmutación (por ejemplo, si se utiliza un puente IGBT con diodos de rueda libre). El motor 111 puede ser frenado de múltiples maneras, incluida la configuración del motor 111 para regenerar energía en el almacenamiento 123 de energía, impulsando el motor 111 en oposición a su dirección de rotación (hacia adelante o hacia atrás, según sea el caso), o a través del frenado dinámico.

Se crea un bucle de retroalimentación entre el sensor 115 de posición, el controlador 122, la red 119 de conmutación, el motor 111 y el objeto impulsado 116. En funcionamiento normal, el controlador 122 ajusta la señal de control a la red 119 de conmutación para que la salida del sensor 115 de posición coincida con un punto de ajuste deseado. Para el bucle de retroalimentación puede utilizarse alternativamente un sensor distinto del sensor 115 de posición, como, por ejemplo, un resolutor conectado al motor 111.

La interfaz 132 de mando proporciona al controlador 122 órdenes de posición o movimiento de alto nivel. Por ejemplo, la interfaz de mando puede ordenar al controlador 122 que mueva el objeto impulsado 116 a una posición específica. A medida que la orden cambia en la interfaz 132, el controlador 122 establecerá el punto de ajuste deseado y, a su vez, cambiará la señal de control enviada a la red 119 de conmutación.

El controlador 122 determina cuándo se produce un fallo de alimentación comparando la lectura del sensor 114 de potencia con el umbral 135 de potencia. Si la salida del sensor 114 de potencia es inferior al umbral 135 de potencia, se determina un fallo de potencia. En caso de que se produzca un fallo de alimentación, solo se dispone de un suministro limitado de

energía en el almacenamiento 123 de energía, que puede utilizarse para alimentar el controlador 122, operar la red 119 de conmutación o activar el motor 111. Cuando la energía del almacenamiento 123 de energía se agota, el voltaje en la línea 133 de alimentación común caerá, y el motor 111, la red 119 de conmutación y el controlador 122 no podrán funcionar.

Cuando la lectura del sensor 114 de potencia cae por debajo del umbral 135 de potencia, el controlador 122 dejará de responder a las órdenes de la interfaz 132 y enviará la señal de inercia a la red 119 de conmutación, de tal manera que el motor 111 no consumirá ninguna energía, y la red 119 de conmutación consumirá un mínimo de energía.

A continuación, el controlador determinará de forma inteligente cuándo frenar el motor 111 para minimizar la posibilidad de que el objeto 116 choque con el límite 127. Más específicamente, el frenado se activará solo cuando la fuente 112 de alimentación tenga un voltaje inferior al umbral, y el sensor 115 de posición indique que el objeto 116 está dentro de un umbral 136 del rango neutral 134. El controlador 122 compara la salida del sensor 115 de posición con el valor 124 superior del rango neutral y determina si la posición del objeto 116 está dentro del umbral 136 del rango neutral 134. Esto se logra determinando si el valor absoluto ("ABS") de la diferencia de la salida del sensor 115 de posición y el valor 124 superior del rango neutral es mayor que el umbral 136 de posición. El controlador 122 también mide el voltaje de la línea 133 de alimentación común e impide la activación del frenado dinámico si el voltaje de la línea 133 de alimentación común es inferior al umbral 137 de almacenamiento de energía. En resumen, el controlador 122 evalúa la función lógica:

SI (salida del sensor 114 de potencia < umbral 135 de la fuente de alimentación)

Y (voltaje de la línea 133 de alimentación común > umbral 137 de almacenamiento de energía)

Y (ABS (salida del sensor 115 de posición - valor 124 superior del rango neutral) < umbral 136 de posición))

ENTONCES enviar la señal de frenado a la red 119 de conmutación.

La señal de frenado utilizada en esta realización es la señal de frenado dinámico. Como primer ejemplo de funcionamiento del sistema 110, consideremos un fallo de la fuente 112 de alimentación cuando el objeto 116 está lejos del rango neutral 134. En este caso, el controlador 122 detectará que la salida del sensor 114 de potencia ha caído por debajo del umbral 135 de la fuente de alimentación. Sin embargo, dado que la salida del sensor 115 de posición indica que la distancia 125 entre el objeto 116 y el valor 124 superior del rango neutral es mayor que el umbral 136 de posición neutral, el controlador 122 no enviará la señal de frenado dinámico a la red 119 de conmutación. Por lo tanto, la energía dentro del almacenamiento 123 de energía no se agotará por la red 119 de conmutación en este momento. El objeto 116 puede ahora comenzar a acelerar hacia el límite 127 debido a fuerzas externas. El interruptor 131 de freno no se activará hasta que el objeto 116 se encuentre dentro del umbral 136 de posición de la posición neutral 134. Después de que se active el interruptor 131 de freno, el almacenamiento 123 de energía proporcionará energía al freno activo 129, que detendrá rápidamente tanto el movimiento del objeto 116, como comenzará a agotar rápidamente la energía en el almacenamiento 123 de energía.

Al configurar el controlador 122 para que espere hasta que el objeto 116 esté cerca del rango neutral 134 antes de activar el freno, el almacenamiento de energía no se agota cuando el objeto 116 está en una posición peligrosa (no neutral). Dado que el freno se activa cuando el objeto 116 está cerca del rango neutral 134, el objeto 116 debería permanecer sustancialmente en reposo cuando se detiene, y no se necesitará más potencia para frenar el objeto 116.

Al contrario de lo que ocurre con el sistema 110, si el frenado se activara inmediatamente tras la pérdida de potencia mientras el objeto 116 estuviera lejos del rango neutral 134, el objeto 116 se detendría fuera del rango 134. Pero una vez que el almacenamiento 123 de energía se agotara, el controlador 122 y la red 119 de conmutación dejarían de funcionar, ya no se aplicaría el frenado, y como el objeto 116 no estaba en el rango neutral 134, el objeto 116 comenzaría a ser acelerado por fuerzas externas, entrando potencialmente en contacto con el límite 127 con fuerza excesiva.

Como un ejemplo más específico, el sistema 110 puede ser utilizado para controlar el frenado en un tranvía eléctrico. En este ejemplo, el vehículo eléctrico es el objeto impulsado 116 y el sensor 115 de posición es un giroscopio que indica la pendiente o inclinación del tranvía respecto a la horizontal. El rango neutral 134 se da cuando el tranvía se encuentra en una vía con una inclinación casi nula (-3 grados a +3 grados de pendiente angular). La fuente 112 de alimentación es los cables del tranvía eléctrico que pasan por encima de la vía del tranvía. El tranvía eléctrico tiene una pequeña batería de emergencia como almacenamiento 123 de energía.

Consideremos el caso en el que los cables del tranvía que pasan por encima de la vía se cortan repentinamente mientras el tranvía está en movimiento. La batería de emergencia solo tiene energía suficiente para frenar el tranvía una vez. En este caso, el sistema vigila la pendiente de la vía y solo frena cuando la pendiente se acerca a cero. Cuando el tranvía llega a una sección plana de la vía, los frenos se activan utilizando la energía de la batería, y el tranvía se detiene. Como el tranvía está parado en un tramo de vía plano, permanecerá en reposo aunque se agote la batería.

Si se accionasen los frenos mientras el tranvía está en una colina, el coche se detendría en la colina. Una vez agotada la batería, los frenos dejarán de funcionar. Como el coche está todavía en una colina, empezaría a acelerar, con lo que podría circular por una sección plana de la vía y chocar con una barrera física.

El sistema 110 puede modificarse para utilizar otros patrones de frenado además del dinámico. Por ejemplo, el frenado regenerativo puede utilizarse a altas velocidades de rotación para transferir la energía cinética del sistema al almacenamiento 123 de energía. Sin embargo, el frenado regenerativo puede no funcionar bien a bajas velocidades del motor. A bajas velocidades, el motor 111 puede ser frenado activamente impulsando el motor 111 en la dirección opuesta a la rotación con una señal de avance o retroceso proporcionada según sea apropiado a la red 119 de conmutación. Este tipo de accionamiento del motor 111 es apropiado para velocidades de rotación bajas donde el frenado dinámico y regenerativo no funciona de forma eficaz. Además, un sistema de frenado independiente podría ser acoplado al motor 111 y podría ser activado de forma activa cuando se desee frenar.

Además, en el frenado dinámico, en lugar de limitarse a cortocircuitar los terminales del motor 111 para provocar la disipación del calor en la resistencia interna del motor 111, se puede utilizar un resistor de disipación. En dicha configuración, cuando se desea un frenado dinámico, los terminales del motor 111 se conectan a través de un resistor de disipación, que está configurado para transformar la energía cinética del sistema en calor. Un resistor de disipación puede estar configurado para disipar la energía más rápidamente que las bobinas del motor 111.

La Fig. 2 es un diagrama de objetos de alto nivel que muestra la segunda realización 210 de un sistema de motor eléctrico, particularmente configurado para su uso con un sistema de alerones de ala de aeronave. Como se muestra en la Fig. 2, el sistema 210 tiene varias características que no se muestran en el sistema 110. La fuente 212 de alimentación de CA se conecta al filtro 252 de entrada. Los sensores 214 de corriente están dispuestos para medir la corriente que pasa desde la fuente 212 de alimentación de CA. El filtro 252 de entrada se conecta al rectificador 218 de diodos, que se conecta al almacenamiento 223 de energía. Acoplado a la red 219 de conmutación está el disipador 259 de potencia. Las líneas de CC procedentes del almacenamiento 223 de energía se muestrean mediante las líneas 257a y 257b, que se conectan al controlador 222. El disipador 259 de potencia está dispuesto a través de las líneas de CC entre el almacenamiento 223 de energía y la red 219 de conmutación. La red 219 de conmutación proporciona tres fases 221a, 221b y 221c, que pasan por el filtro 272 de salida antes de ir al motor eléctrico 211. La red 219 de conmutación recibe sus señales de activación del controlador 222, como se muestra. La corriente que pasa por las líneas 221a, 221b y 221c de fase es medida por los sensores 264 de corriente. El resolutor 275 está acoplado al motor 211. El motor 211 se conecta al alerón 216 de ala a través del accionador 228 (mostrado en la Fig. 4). El sensor 215 de posición está montado en el alerón 216 de ala. El resolutor 275 y el sensor 215 de posición proporcionan sus señales de salida al controlador 222. La memoria 217 almacena varios parámetros para el controlador 222. Los parámetros almacenados incluyen el umbral 291 de CC, la velocidad 292 mínima de regeneración, el umbral 293 de corriente de frenado dinámico, el valor 224 de posición neutral, el umbral 235 de potencia y el umbral 236 de posición neutral.

La Fig. 4 muestra la disposición física del sistema 210 en el ala 265 de aeronave. El motor eléctrico 211 está acoplado mecánicamente a través del accionador 228 al alerón 216 de ala para controlar la posición 225. Como se explica más adelante, el sistema 210 está configurado para evitar que el alerón 216 entre en contacto con la superficie 227 del ala, o con los límites físicos del accionador 228, con una fuerza excesiva. La Fig. 5 muestra el sistema 210 cuando el alerón 216 de ala está en posición neutral 234.

La Fig. 3 es un diagrama eléctrico de bloques del sistema 210 que muestra más detalles de implementación del diagrama de bloques de la Fig. 2. La fuente 212 de alimentación de CA es una fuente de CA trifásica que se conecta a una línea de alimentación de tres hilos. El interruptor de la fuente 251 de alimentación está dispuesto en serie con las líneas de alimentación, y conecta o desconecta cada fase (cable) de la fuente 212 al resto del sistema. Los sensores 214 de corriente, dispuestos en las líneas de alimentación, se implementan como sensores de corriente de efecto Hall. Los sensores 214 de corriente tienen cada uno una señal de salida conectada al controlador 222 que proporciona la magnitud de la corriente en su respectiva fase de la línea de alimentación. Como se muestra en la Fig. 3, la línea de alimentación se conecta al filtro 252 de entrada. El filtro 252 tiene una etapa 253 de filtro de modo común y una etapa 254 de filtro de modo diferencial. La línea de alimentación se conecta a continuación al rectificador 218.

Como se muestra en la Fig. 3, el rectificador 218 se implementa como un rectificador de diodos de onda completa con seis diodos. Sin embargo, se pueden utilizar implementaciones de rectificación de voltaje activas o pasivas, como reconocerán los expertos en la técnica. El rectificador 218 convierte la energía trifásica de CA en una señal de CC que tiene dos carriles de CC, incluidos el carril positivo 255a y el carril negativo 255b. Los carriles 255a y 255b de CC se conectan al almacenamiento 223 de energía. El almacenamiento 223 de energía se implementa con el condensador C1 conectado en serie con el interruptor SW1 de arranque suave a través de los carriles 255a y 255b de CC, tal como se muestra. La línea 257a de bus de CC positiva está conectada al carril 255a positivo de CC. La línea 257b de bus negativa se conecta al terminal entre el condensador C1 y el interruptor SW1. El voltaje de las líneas 257a y 257b de bus de CC es supervisado por el controlador 222 a través de las líneas 258a y 258b de detección de voltaje, tal como se muestra.

El disipador 259 de potencia se conecta a través de las líneas 257a y 257b de bus de CC. El disipador 259 de potencia comprende un resistor R1 de disipación de potencia conectado en serie al interruptor SW2 a través de las líneas 257a y 257b de bus de CC. Conectada en paralelo con el disipador 259 de potencia está la red 219 de conmutación.

En esta realización, la red 219 de conmutación se implementa con seis IGBT con tres condensadores, tal como se muestra. Sin embargo, los expertos en la técnica reconocerán que diferentes implementaciones de redes de conmutación pueden ser fácilmente sustituidas por la implementación mostrada. Cada puerta de conmutación está conectada y controlada por el

controlador 222. La red 219 de conmutación proporciona una salida trifásica que se conecta al filtro 272 de salida. El filtro 272 de salida tiene una etapa 274 de filtro de modo diferencial seguida de una etapa 273 de filtro de modo común.

Como se muestra en la Fig. 3, los sensores 264 de corriente están conectados a las líneas de alimentación de salida procedentes del filtro 272 de salida. Los sensores 264 de corriente se implementan como sensores de corriente de efecto Hall y proporcionan sus señales al controlador 222. Las líneas de alimentación de salida se conectan a los tres terminales del motor eléctrico 211. El motor eléctrico 211 es un motor trifásico de CC. El motor eléctrico 211 está acoplado mecánicamente al alerón 216 de ala a través de un accionador que tiene enlaces mecánicos y engranajes.

La Fig. 6 muestra otra vista de la manera en que el motor 211 se acopla a la superficie del panel del alerón 216. El resolutor 275, dispuesto en el eje de salida del motor 211, mide el ángulo de rotación del rotor del motor 211. El LVDT 215, dispuesto en los enlaces mecánicos entre el motor 211 y el alerón 216, mide efectivamente la posición del alerón 216 con respecto al ala 265 de aeronave. Como se muestra en la Fig. 4, el LVDT 215 mide la distancia 225 entre el alerón 216 y la superficie 227 del ala. Volviendo a la Fig. 3, el controlador 222 recibe señales de entrada del LVDT 215 y del resolutor 275. El controlador 222 está programado para operar como se describe a continuación.

En general, el sistema 210 frenará dinámicamente el motor eléctrico 211 de forma inteligente en caso de fallo de alimentación para minimizar la posibilidad de que el alerón 216 entre en contacto con la superficie 227 del ala o con los topes mecánicos del sistema con una fuerza excesiva. Más concretamente, dado que el almacenamiento 223 de energía solo puede tener suficiente energía para frenar temporalmente de forma dinámica el sistema, el controlador 222 está configurado para frenar dinámicamente el sistema solo en caso de fallo de la fuente de alimentación y cuando el alerón 216 está cerca de la superficie 227 del ala. Cuando el alerón 216 se detiene cerca de la superficie 227 del ala, está en una posición generalmente neutral y es menos probable que sea acelerado por las fuerzas del viento a través del ala 265 cuando está en vuelo. Una vez que el almacenamiento 223 de energía se agota, el controlador 222 y la red 219 de conmutación ya no pueden ser alimentados y, por lo tanto, el motor 211 no puede ser frenado dinámicamente. Al esperar hasta que el alerón 216 esté cerca de la superficie 227 del ala antes de frenar dinámicamente, se reduce la posibilidad de que el alerón 216 quede en una posición no neutral peligrosa cuando se agote la fuente de alimentación local.

Como se muestra en la Fig. 3, la fuente 212 de alimentación externa es una fuente de CA trifásica. La conexión de la fuente 212 de alimentación al resto del sistema se controla mediante el interruptor 251 de la fuente de alimentación. Una vez que el interruptor 251 está encendido, los sensores 214 de corriente, que anteriormente estaban detectando corriente cero, comienzan a detectar la corriente que fluye hacia el resto del sistema. El filtro 252 elimina el ruido en modo común y en modo diferencial que llega a las líneas de alimentación desde las interferencias electromagnéticas u otras fuentes de ruido.

El rectificador 218 convierte la alimentación de CA que sale del filtro 252 en una fuente de alimentación de CC. El interruptor SW1 en paralelo con R1 actúa como mecanismo de arranque suave. El interruptor SW1 está apagado por defecto (no conductor) cuando el sistema está apagado. Como SW1 está apagado, la corriente fluye a través de R1 para cargar lentamente C1. Tras un retardo, después de que C1 se haya cargado sustancialmente, SW1 se enciende haciendo que la corriente evite R1, que ya no estará disipando energía. El interruptor SW1 permanece encendido durante una operación normal. Gracias al retraso en la activación del interruptor SW1, en el momento del encendido se minimizan los picos de corriente.

La red 219 de interruptores toma energía eléctrica de las líneas 257a y 257b de bus de CC. La red 219 de interruptores es controlada por el controlador 222 para operar en al menos tres modos diferentes: regeneración, conducción activa y retención dinámica. Durante la conducción activa, el controlador 222 utiliza la modulación de ancho de pulso, es decir, el controlador 222 activa y desactiva los interruptores en la red 219 de conmutación para producir una señal de corriente de conducción deseada para cada uno de los tres terminales del motor 211. De este modo, el motor 211 puede ser accionado hacia delante o hacia atrás con un par o velocidad controlados.

Durante la regeneración, el controlador 222 hace que cada uno de los interruptores en la red 219 de conmutación esté apagado. Debido a la orientación de los diodos en la red 219 de conmutación, mientras está en este modo, la corriente solo puede fluir desde las bobinas del motor para cargarse regenerativamente en la línea 257a de bus de CC, regresando desde la línea 257b de bus de CC negativa. Si la velocidad del motor 211 es lo suficientemente lenta como para que la FEM de retorno sea menor que el voltaje del bus de CC, la corriente regenerativa no fluirá en grado significativo entre las bobinas del motor 211 y la red 219 de conmutación. Sin embargo, si la velocidad del motor se incrementa a un ritmo tal que la FEM de retorno excede el voltaje del bus de CC, la corriente fluirá entre el motor 211, la red 219 de conmutación y el bus de CC. Mientras la FEM de retorno sea mayor que el voltaje del bus de CC, el sistema estará frenando regenerativamente, transfiriendo la energía cinética del motor 211 al bus de CC, donde será capturada como energía eléctrica por el almacenamiento 223 de energía. Este frenado regenerativo automático continuará hasta que la FEM de retorno no supere el voltaje del bus de CC.

El controlador 222 supervisa activamente el voltaje del bus de CC a través de las líneas 258a y 258b de detección de voltaje. Si el voltaje del bus de CC supera un umbral establecido, el interruptor SW2, que normalmente está apagado, se enciende, haciendo que la corriente fluya desde la línea 257a positiva del bus de CC a través del resistor R2 de disipación, a través del interruptor SW2 y hacia la línea 257b negativa del bus de CC reduciendo el potencial de voltaje del bus de CC. Este umbral se establece para evitar que el voltaje del bus de CC supere un límite de seguridad, que de otro modo

podría causar daños en el almacenamiento 223 de energía o en otros componentes del sistema. El encendido del interruptor SW2 hace que la energía se disipe del bus de CC en forma de calor en el resistor R2. La energía disipada en R2 puede proceder del almacenamiento 223 de energía, del motor 211 o de una combinación de ambos.

Durante el modo de retención dinámica, el controlador 222 enciende todos los interruptores superiores (o alternativamente todos los interruptores inferiores) en la red 219 de conmutación, haciendo que las tres bobinas 211 del motor se cortocircuiten unas a otras de forma efectiva. Si el motor 222 está girando cuando la red de conmutación se lleva al modo de retención dinámica, la FEM de retorno produce un rápido flujo de corriente a través de las bobinas en cortocircuito. Este flujo de corriente crea un par motor en la dirección opuesta a la rotación, lo que desacelera rápidamente el motor. La energía se disipa principalmente en forma de calor en la resistencia interna de las bobinas del motor 211 y en la resistencia del recorrido de la corriente. Durante la retención dinámica, aunque el motor 211 no esté extrayendo energía del bus de CC, el controlador 222 sí lo hace. La energía para conmutar los interruptores en la red 219 de conmutación y para mantener los interruptores abiertos también es proporcionada por el bus de CC. Durante la retención dinámica, si hay una pérdida de potencia de la fuente 212 de CA, el almacenamiento 223 de energía se agota a medida que el controlador 222 y la red 219 de conmutación obtienen energía del bus de CC. Por lo tanto, dado el tamaño del almacenamiento 223 de energía, la retención dinámica solo puede mantenerse hasta que esta energía almacenada se agote tras la pérdida de la alimentación 212 de CA externa.

En caso de fallo de la fuente 212 de alimentación, el fallo se detecta en las señales de salida de los sensores 214 de corriente leídos por el controlador 222. Al detectar el fallo de la fuente 212 de alimentación de CA, el controlador 222 ordena a la red 219 de conmutación que entre en el modo regenerativo apagando todos los interruptores de la red 219 de conmutación. Esto minimiza el consumo de energía del bus de CC y permite que la energía regenerativa del motor alimente el almacenamiento 223 de energía. El controlador 222 monitoriza ahora el sensor 215 de posición para determinar si el motor 211 debe ser frenado dinámicamente. Más concretamente, el controlador 222 sigue una función lógica:

SI (salida del sensor 214 de corriente < umbral 235 de la fuente de alimentación)

Y (ABS(salida del sensor 215 de posición - valor 224 de posición neutral) < umbral 236 de posición))

ENTONCES llevar la red 219 de conmutación al modo de frenado dinámico.

De este modo, el frenado dinámico, que aumenta el consumo en el almacenamiento 223 de energía, se retrasa hasta que el sensor 215 de posición indica que el alerón 216 de ala está en una posición neutral (p. ej., cuando el alerón está extendido menos de 4 grados). La función lógica anterior se evalúa con una frecuencia de muestreo de aproximadamente 2 kHz.

Como ejemplo, consideremos un fallo de alimentación de CA externa que se produce cuando el alerón 216 está extendido 40 grados. Se utiliza un umbral 236 de posición neutral de 4 grados, ya que esto proporciona suficiente proximidad al valor 224 de posición neutral (cero grados) para permitir que el alerón 216 se detenga cuando se frena, y también está lo suficientemente cerca de la posición neutral 224 como para que el alerón 216 no sea acelerado por las fuerzas del viento cuando está en este rango. El controlador 222 detecta la pérdida de alimentación de CA externa y lleva inmediatamente la red 219 de conmutación al modo regenerativo, apagando todos los interruptores de la red 219 de conmutación. El controlador 222 comienza a monitorizar iterativamente el sensor 215 de posición del alerón. Dado que el sensor 215 de posición indicará primero al controlador 222 que el alerón 216 está extendido 40 grados, el controlador calculará que la salida 215 del sensor de posición (40 grados) es mayor que el umbral 224 del sensor de posición (cuatro grados) más que el valor 224 de posición neutral (cero grados). El controlador 222 continuará esta comparación, dejando a la red 219 de conmutación en el modo de inercia mientras la salida del sensor 215 de posición sea mayor de cuatro grados. Mientras tanto, como la red 219 de conmutación está en modo regenerativo, permitiendo que el motor 211 se mueva por inercia, el alerón 216 es acelerado hacia la superficie 227 del ala por las fuerzas del viento. Durante este tiempo, el almacenamiento 223 de energía se incrementa debido al flujo de corriente regenerativa. En este modo, ni la red 219 de conmutación ni el motor 211 consumen energía del almacenamiento 223 de energía.

Una vez que el alerón 216 se acerca a cuatro grados de la superficie 227 del ala, el controlador 222 lo detecta a partir de la salida del sensor 215 de posición, y lleva la red 219 de conmutación al modo de freno dinámico. Los interruptores superiores de la red 219 de conmutación están todos cerrados, cortocircuitando las bobinas del motor 211, lo que hace que el motor 211 se desacelere rápidamente a una velocidad baja mientras la energía cinética se disipa en forma de calor dentro de las bobinas. Dado que la red 219 de conmutación tiene sus interruptores superiores encendidos en el modo de retención dinámica, extrae energía del bus de CC y aumenta la tasa de agotamiento del almacenamiento 223 de energía. Cuando el almacenamiento 223 de energía se agota más allá de la capacidad de proporcionar la potencia interna mínimamente necesaria, el alerón 216 está en una posición más segura (es decir, el alerón 216 no está en contacto con la superficie 227 del ala y el accionador no ha superado los límites de parada mecánica). El sistema ha pasado de una condición menos segura (pérdida de alimentación externa de CA cuando el alerón está en una posición no neutral) a una condición más segura (alerón en un estado sustancialmente neutral).

Al no frenar inmediatamente el sistema de forma dinámica en caso de pérdida de potencia, aumentan considerablemente las posibilidades de que el sistema se detenga en condiciones de seguridad. En el escenario anterior, la alimentación de CA se perdió cuando el alerón 216 se extendió 40 grados. Si el frenado dinámico se iniciara cuando se pierde energía por primera vez, el almacenamiento 223 de energía se agotaría a un ritmo mayor y no se

produciría un aumento del almacenamiento 223 de energía por la regeneración del motor. Mientras que el alerón 216 se frenaría inmediatamente, el alerón 216 todavía estaría extendido aproximadamente 40 grados una posición no neutral cuando se llevara a reposo. El alerón 216 permanecería cerca de esta posición de 40 grados mientras fuera frenado dinámicamente, hasta que el almacenamiento 223 de energía se agotara. Con el almacenamiento 223 de energía agotado, el controlador 222 y la red 219 de conmutación dejarán de funcionar. Así, el motor 211 dejará de estar retenido dinámicamente. El alerón 216 se vería ahora forzado por la carga aerodinámica a acelerar hacia abajo desde su posición de aproximadamente 40 grados. Con una distancia relativamente grande para acelerar, el alerón 216 podría entrar en contacto con la superficie 227 del ala con fuerza excesiva, causando daños en la superficie 227 del ala, el alerón 216, el motor 211 y/o los topes mecánicos y los enlaces entre estos componentes.

Además, al no frenar inmediatamente al perder la potencia, cualquier impulso que tenga el sistema al perder la potencia puede utilizarse para acercar el sistema a una posición neutral. Por ejemplo, si el alerón 216 se está retrayendo activamente durante la pérdida de potencia, continuará retrayéndose, acercándose a la posición neutral hasta que la lógica del freno dinámico del controlador 222 esté satisfecha.

Además del frenado dinámico descrito, como se muestra en la Fig. 6, el sistema 210 puede modificarse para activar el freno 229 al mismo tiempo que se activa el frenado dinámico. Sin embargo, como el freno 229 puede requerir mucha más energía que el frenado dinámico, la capacidad del almacenamiento 223 de energía debe ajustarse en consecuencia si se utiliza este modo de funcionamiento.

La Fig.7 muestra la tercera realización 310, particularmente configurada para su uso en el control del cabeceo de las palas de las turbinas eólicas. Como se muestra en la Fig. 7, la turbina eólica 310 generalmente incluye la torre 350, el cuerpo 351 o góndola soportado rotativamente en la parte superior de la torre 351, y el rotor 352 acoplado rotativamente a la góndola 351. La torre 350 se fija al suelo y tiene una altura y un tamaño que varían en función de las condiciones y el rendimiento deseado. Alternativamente, en lugar de una turbina generadora de energía eólica montada en una torre, el generador de energía puede colocarse junto al suelo o puede ser una turbina generadora de energía configurada para aprovechar la energía del flujo de agua o de las mareas. Por lo tanto, el término turbina generadora de energía pretende incluir cualquier turbina que genere energía eléctrica a partir de la energía de rotación, ya sea que dicha energía sea generada por el flujo del viento, el flujo del agua u otro movimiento. La góndola 351 está montada en la porción final marginal superior de la torre 350 y está configurada para girar generalmente alrededor del eje vertical *y-y*. La góndola 351 gira alrededor del eje *y-y* en la torre 350 mediante un control de guiñada que está configurado para girar la góndola 351 en la parte superior de la torre 350 para orientarse en relación con la dirección del viento o el flujo de aire. Así, el control de guiñada puede girar la góndola 351 para ajustar el ángulo entre la dirección que enfrenta el buje 352 y la dirección del viento. La góndola 351 alberga un generador eléctrico junto con un sistema de control de la turbina y puede incluir otros componentes, sensores y sistemas de control conocidos en la técnica. La turbina eólica 310 está acoplada a una red eléctrica (no mostrada) para transmitir la energía eléctrica generada por la turbina 310 y su generador eléctrico. La góndola 351 soporta rotativamente el buje 352, que está montado en la góndola 351 para girar generalmente alrededor del eje horizontal 395. Como se describe a continuación, una pluralidad de palas 316 o perfiles aerodinámicos se extienden radialmente hacia fuera desde el buje 352 para convertir la energía eólica en energía rotacional. Aunque el rotor 352 suele tener tres palas, se puede utilizar cualquier número de palas o perfiles aerodinámicos. Las palas 316 pueden tener varias longitudes, formas y configuraciones dependiendo de las condiciones. Cada una de las palas 316 tiene un control de cabeceo y gira respecto al buje 352 sobre su eje longitudinal en un cojinete de rodillos para variar el cabeceo o el ángulo de la pala en relación con el viento en el que está posicionada. El buje 352 está acoplado rotacionalmente a un generador eléctrico mediante un eje de rotor y una caja de engranajes para generar energía eléctrica a partir de la energía rotacional generada por las palas 316 y la rotación del buje 352. El funcionamiento de los generadores eléctricos para generar energía eléctrica a partir de la energía de rotación del buje 352 es conocido en la técnica.

El buje 352 incluye el accionador 353 de control de cabeceo. El accionador 353 de control de cabeceo está configurado para controlar selectivamente el ángulo de cabeceo de la pala 316 y está acoplado a un sistema de control. En esta realización, el ángulo de cabeceo de cada una de las palas 316 se controla individualmente mediante accionadores 353 individuales de control de cabeceo. El accionador 353 de control de cabeceo hace girar la pala 316 alrededor de su eje longitudinal 396 con respecto al buje 352. Se proporciona un cojinete para permitir la rotación de la pala 316 sobre su eje longitudinal en relación con el buje 352 y el accionador 353 de control de cabeceo opera a través de ese cojinete. El accionador 353 de control de cabeceo incluye generalmente el motor 311 y una interfaz de engranaje.

Así, el sistema 310 de turbina eólica tiene un eje principal de rotación 395 y tres palas. Cada pala 316 tiene un eje 396 de rotación de cabeceo. Además, cada pala tiene un sensor de ángulo y un motor 311 de cabeceo. Cada pala 316 también tiene su propia caja de control de cabeceo. Dentro de cada caja de control de cabeceo hay una conexión de fuente de alimentación, un almacenamiento de energía, una red de conmutación, un sensor de potencia y un controlador, similares a los componentes del sistema 210. La conexión de la fuente de alimentación está conectada a una fuente de alimentación de red de CA externa.

La Fig. 7 muestra la pala 316 con un ángulo de cabeceo neutral. La suma de todas las fuerzas provocadas por el viento sobre la pala 316 está representada por un centro de fuerza del viento. Cuando la pala 316 está en posición

neutral, el centro de fuerza del viento está alineado para pasar por el eje 396 de rotación de cabeceo. Por lo tanto, el centro de fuerza del viento generalmente no creará una torsión en la pala 316 sobre el eje 396 de rotación de cabeceo.

El sistema 310 de control de cabeceo de la turbina eólica funciona de la misma manera general que el sistema 210 de alerón de aeronave, con algunas variaciones menores. Mientras que el sistema 210 de alerón de aeronave intenta evitar que el alerón 216 se estrelle contra el ala 265 en caso de un fallo de alimentación, el sistema 310 de control de cabeceo de la turbina eólica intenta permitir que las palas 316 de la turbina se muevan y se detengan en una posición en bandera en caso de un fallo de alimentación. De forma similar a la manera en que el sistema 210 de alerón de aeronave activa un modo de frenado basado en la proximidad del alerón 216 al ala 265, el sistema 310 de control de cabeceo activa un modo de frenado basado en el ángulo de cabeceo de cada pala en relación con su posición de bandera.

Los sistemas de control de motores eléctricos descritos han dado lugar a varias ventajas sorprendentes con respecto a la técnica anterior. Al esperar hasta que un objeto esté cerca de una posición sustancialmente neutral antes de aplicar el frenado, la energía almacenada se utiliza eficazmente para frenar solo cuando es probable que el objeto se detenga en una posición más segura, es decir, una posición en la que es menos probable que las fuerzas externas hagan que el objeto se acelere cuando se pierda o se agote la energía de frenado. Más concretamente, al activar el frenado para que se inicie únicamente cuando el objeto impulsado está cerca de la posición neutral, la posibilidad de que el sistema detenga el objeto en la posición neutral aumenta considerablemente. A diferencia de un sistema alternativo, que activa automáticamente el frenado en caso de fallo de la fuente de alimentación (lo que puede hacer que se agote la energía local cuando el objeto impulsado está en una posición no neutral, haciendo que se ponga en marcha de nuevo), las presentes realizaciones solo agotan la energía almacenada cuando el objeto impulsado está cerca de la posición neutral, donde puede permanecer en reposo sin potencia de frenado.

Además, las presentes realizaciones tienen la ventaja de que no se desperdicia el impulso beneficioso del movimiento del objeto impulsado hacia la posición neutral. Por ejemplo, si se pierde la energía externa mientras el objeto impulsado se mueve hacia la posición neutral, como el sistema no se frena automáticamente, el impulso que lleva al objeto a la posición neutral no se pierde por un frenado prematuro.

Además, al utilizar múltiples modos de frenado regenerativo, frenado dinámico y frenado activo, se combinan las ventajas de cada patrón de frenado. Por ejemplo, al frenar de forma regenerativa, se utiliza la energía cinética para prolongar el suministro de energía almacenada. Al contar con una opción de frenado dinámico, el sistema está protegido de las condiciones de exceso de velocidad que pueden limitar un sistema puramente regenerativo. Además, al contar con un frenado activo, el sistema es capaz de detenerse cuando las velocidades del motor están por debajo del límite mínimo para frenar de forma dinámica o regenerativa de una manera efectiva. Además, como se emplean múltiples sistemas de frenado, el factor de seguridad del sistema aumenta. Si uno de los sistemas de frenado falla, hay otro disponible para detener el objeto impulsado.

Además, dado que la energía solo se agota en momentos críticos, y dado que la energía se captura de forma regenerativa, las presentes realizaciones pueden ahorrar costes, ya que se pueden utilizar dispositivos de almacenamiento de energía más pequeños de lo que sería posible de otro modo.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico que comprende: una fuente (112; 212) de alimentación; un motor eléctrico (111; 211; 311) conectado a dicha fuente (112; 212) de alimentación; un objeto (116; 216; 316) accionado por dicho motor (111; 211; 311) que tiene un rango de movimiento y un rango o posición (134, 234) sustancialmente neutral dentro de dicho rango de movimiento, en donde dicho objeto no es tan propenso a moverse cuando está en reposo en dicho rango o posición neutral;

un sensor (114, 214) de potencia configurado para detectar la potencia de dicha fuente (112; 212) de alimentación;

un sensor (115, 215) de posición configurado para detectar la posición de dicho objeto (116; 216; 316) en al menos una parte de dicho rango de movimiento;

un almacenamiento (123; 223) de energía;

un controlador (122; 222) conectado a dicho sensor (115, 215) de posición, sensor (114, 214) de potencia, fuente (112; 212) de alimentación y almacenamiento (123; 223) de energía;

caracterizado por que dicho controlador (122; 222) está configurado y dispuesto para frenar dicho motor (111; 211; 311) en respuesta tanto a que tanto dicha potencia detectada por dicho sensor (114, 214) de potencia sea inferior a un umbral (135, 235) de la fuente de alimentación, como a que dicho sensor (115, 215) de posición que indica dicho objeto (116; 216; 316) esté dentro de un umbral (136, 236) de posición neutral de dicho rango o posición (134, 234) neutral.

2. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, en donde dicho controlador (122; 212) está configurado para frenar dinámicamente dicho motor (111; 211; 311), comprendiendo el sistema un interruptor de disipación en serie con un resistor de disipación, y en donde dicho controlador (122; 212) está configurado para operar dicho interruptor de disipación de manera que la energía de dicho motor (111; 211; 311) se disipa con dicho resistor de disipación.

3. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, en donde dicho controlador (122; 212) está configurado para frenar regenerativamente dicho motor (111; 211; 311), comprendiendo el sistema además una red (119; 219) de conmutación, y en donde dicho controlador está configurado para operar dicha red (119; 219) de conmutación de manera que la energía de dicho motor se utiliza para cargar dicho almacenamiento (123; 223) de energía cuando dicho almacenamiento (123; 223) de energía no está totalmente cargado, y en donde dicho almacenamiento (123; 223) de energía comprende un condensador o una batería.

4. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, en donde dicho controlador (122; 222) está configurado para frenar activamente dicho motor (111; 211; 311), comprendiendo el sistema además un accionador de freno y una red (119; 219) de conmutación, en donde dicho controlador (122; 222) está configurado para operar dicha red (119; 219) de conmutación de manera que la energía procedente del almacenamiento (123; 223) de energía es utilizada por dicho accionador (229) de freno para frenar dicho motor (111; 211; 311).

5. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 3 o 4, en donde dicha red (119; 219) de conmutación comprende seis elementos de conmutación, en donde dichos elementos de conmutación comprenden IGBT o MOSFET.

6. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, en donde dicho controlador (122; 222) está configurado para frenar selectivamente de forma activa, dinámica o regenerativa dicho motor (111; 211; 311).

7. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 6, y que comprende además una red (119; 219) de conmutación y un resistor de disipación, en donde dicho controlador (122; 222) está configurado para operar dicha red (119; 219) de conmutación de manera que la energía de dicho motor (111; 211; 311) se disipa selectivamente con dicho resistor de disipación o se utiliza para cargar dicho almacenamiento (123; 223) de energía cuando dicho almacenamiento (123; 223) de energía no está completamente cargado.

8. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, y que comprende además un rectificador (218) de potencia de diodos de onda completa.

9. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, en donde dicho objeto (116; 216; 316) comprende un panel de alerón de aeronave en un ala de aeronave, en donde dicho umbral de posición neutral está aproximadamente a cuatro grados de dicha ala de aeronave.

10. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, en donde dicho objeto (116; 216; 316) comprende una pala de turbina en una turbina generadora de energía, en donde dicha posición neutral es una posición en bandera.

11. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, en donde dicho sensor (115) de posición comprende un codificador, un resolutor o un LVDT.

12. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, en donde dicho sensor (114) de potencia comprende un sensor de voltaje o un sensor de validez FPGA.

13. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, en donde dicha fuente (112; 212) de alimentación comprende una fuente de alimentación de CA trifásica.

14. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, y que comprende además un filtro (272) de salida o un filtro (252) de entrada.

15. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 14, en donde dicho filtro (272) de salida o filtro (252) de entrada comprende un filtro de modo común o un filtro de modo diferencial.

16. El sistema (110; 210; 310) de motor eléctrico según la reivindicación 1, y que comprende además un interruptor (SW1) de arranque suave.

17. Un método para accionar una interfaz de motor eléctrico que comprende las etapas de: proporcionar una entrada externa de fuente (112; 212) de alimentación; proporcionar una entrada de señal del sensor (115) de posición; proporcionar una red (119; 219) de conmutación con puertas de conmutación; proporcionar una interfaz de motor eléctrico para conectarse a un motor eléctrico (111; 211; 311); proporcionar un controlador (122; 222); proporcionar una interfaz de almacenamiento de energía;

caracterizado por conectar dicha interfaz de motor eléctrico a un sensor (115) de posición, dicho motor eléctrico (111; 211; 311) y una fuente (112; 212) de alimentación externa para dicho motor eléctrico; monitorizar con dicho controlador (122; 222) dicha entrada de señal del sensor (115) de posición; monitorizar con dicho controlador (122; 222) dicha entrada de fuente de alimentación externa;

y

operar con dicho controlador (122; 222) dichas puertas de conmutación para absorber energía de dicha interfaz de motor eléctrico en respuesta tanto a que dicha entrada de fuente de alimentación externa sea menor que un umbral (135, 235) de fuente de alimentación, como que dicha entrada de señal del sensor de posición esté dentro de un umbral (136, 236) de posición neutral de un rango o posición (134, 234) neutral, en donde dicho objeto no es tan propenso a moverse cuando está en reposo en dicho rango o posición neutral.

18. El método según la reivindicación 17, en donde dicho umbral de la fuente de alimentación comprende un umbral de voltaje y dicha entrada de señal del sensor (115) de posición está por debajo de dicho umbral de posición neutral.

19. El método según la reivindicación 17, y que comprende además las etapas de:

proporcionar una interfaz de resistor de disipación; y

dirigir selectivamente dicha potencia absorbida a dicha interfaz de almacenamiento de energía o a dicha interfaz de resistor de disipación en función de si dicha interfaz de almacenamiento de energía está completamente cargada.

20. El método según la reivindicación 17, y que comprende además la etapa de utilizar la energía de dicha interfaz de almacenamiento de energía para frenar activamente dicho motor eléctrico (111; 211; 311) cuando dicha entrada de fuente de alimentación externa es menor que dicho umbral (135, 235) de fuente de alimentación y dicha entrada de señal del sensor de posición está dentro de dicho umbral (136, 236) de posición neutral.

21. El método según la reivindicación 20, en donde dicha etapa de utilizar la energía de dicha interfaz de almacenamiento de energía para frenar activamente dicho motor eléctrico comprende frenar activamente dicho motor eléctrico cuando una tasa de cambio de dicha señal de entrada del sensor de posición está por debajo de dicho umbral de velocidad, dicha entrada de fuente de alimentación cae por debajo de dicho umbral de voltaje, y dicha entrada de señal del sensor de posición está por debajo de dicho umbral de posición neutral.

22. El método según la reivindicación 21, en donde dicha etapa de operar dichas puertas de conmutación comprende operar dichas puertas de conmutación para absorber energía de dicha interfaz de motor eléctrico cuando una tasa de cambio de dicha señal de entrada del sensor de posición está por encima de un umbral de velocidad, dicha entrada de fuente de alimentación cae por debajo de dicho umbral de voltaje, y dicha entrada de señal del sensor de posición está por debajo de dicho umbral de posición neutral.

23. El sistema de motor eléctrico según la reivindicación 1 que comprende un impulsor, comprendiendo el impulsor:

una entrada de fuente de alimentación externa de la fuente (112, 212) de alimentación;

el sensor (114, 214) de potencia, en donde el sensor de potencia tiene una salida y está configurado para monitorizar dicha entrada de fuente de alimentación externa;

el sensor (115) de posición, en donde el sensor de posición tiene una salida;

un rectificador (218) de potencia de CA a CC;

una red (219) de conmutación con puertas de conmutación;

una interfaz de motor eléctrico para conectarse al motor eléctrico (111; 211; 311);

el controlador (122; 222), en donde el controlador está conectado a dichas puertas de conmutación y configurado para monitorizar dicha salida de sensor de potencia y dicha salida de sensor de posición y configurado para operar dichas puertas de conmutación;

el almacenamiento (123, 223) de energía, en donde el almacenamiento de energía es un almacenamiento (223) de energía local para suministrar temporalmente energía a dicha red de conmutación;

en donde dicho controlador está configurado para operar dichas puertas de conmutación de tal manera que una potencia recuperada es extraída de dicha interfaz del motor eléctrico si tanto dicha salida del sensor de potencia está por debajo del umbral (135, 235) de la fuente de alimentación, como dicha salida del sensor de posición está dentro del umbral (136, 236) de posición neutral del rango o posición (134, 234) neutral.

24. El sistema de motor eléctrico según la reivindicación 23, y que comprende además una interfaz de resistor de disipación, en donde dicho controlador está configurado para operar dicha red de conmutación de tal manera que la energía de dicha interfaz de motor se dirige selectivamente a dicha interfaz de resistor de disipación o a dicha interfaz de almacenamiento de energía local cuando un almacenamiento de energía local conectado a dicha interfaz de almacenamiento de energía local no está completamente cargado.

25. El sistema de motor eléctrico según la reivindicación 23, en donde dicho controlador está configurado para dirigir la energía de dicha interfaz de motor eléctrico a dicha interfaz de almacenamiento de energía local.

26. El sistema de motor eléctrico según la reivindicación 23, y que comprende además una interfaz de accionador de freno, en donde dicho controlador está configurado para operar dicha red de conmutación de manera que la energía de dicha interfaz de almacenamiento de energía local se dirige hacia fuera de dicha interfaz de accionador de freno.

27. El sistema de motor eléctrico según la reivindicación 23, en donde dicha red de conmutación comprende seis elementos de conmutación, en donde dichos elementos de conmutación comprenden IGBT o MOSFET.

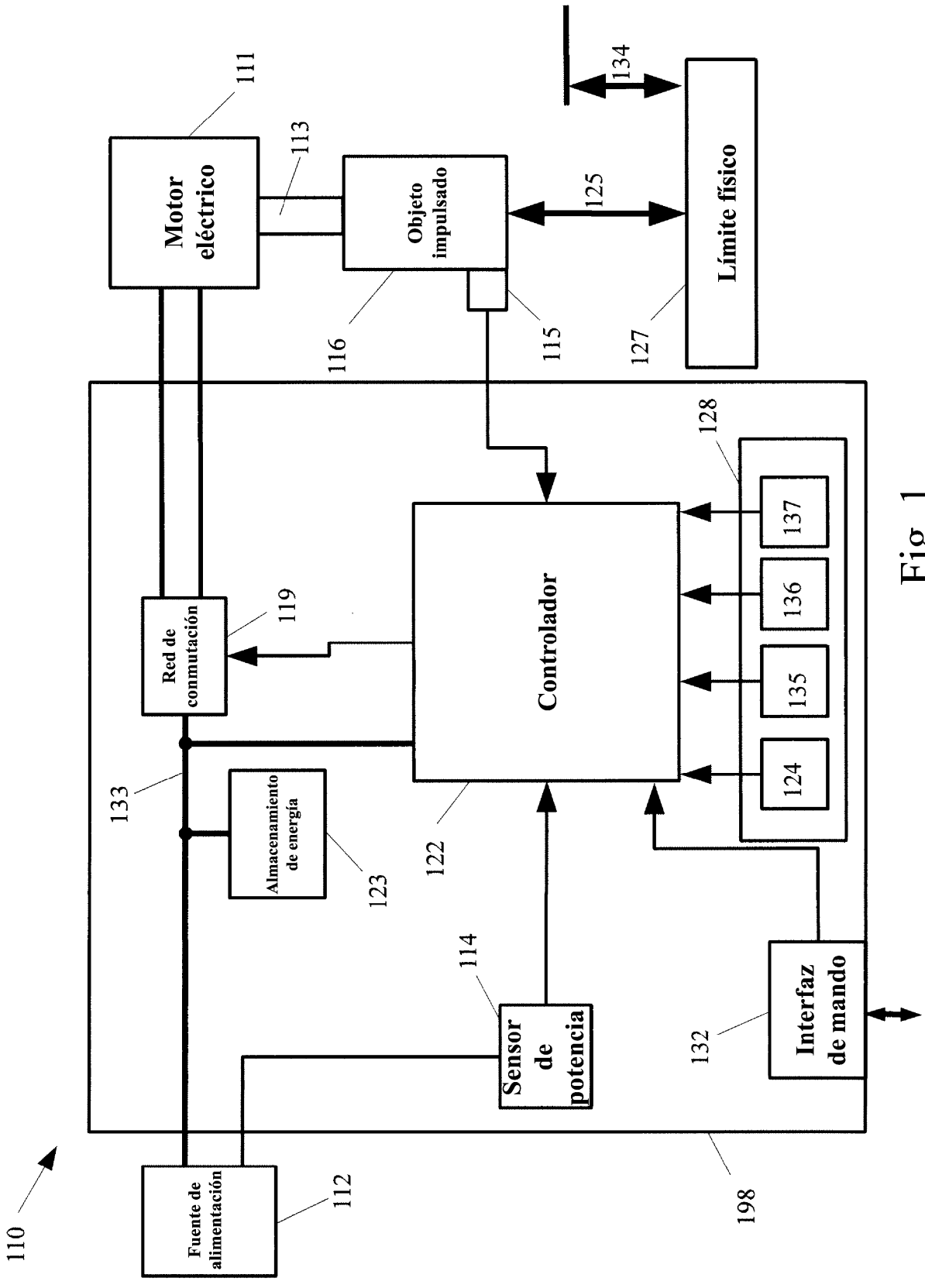

110
Fuente de alimentación
112
Sensor de potencia
114
Almacenamiento de energía
123
Red de conmutación
119
133
Motor eléctrico
111
113
Objeto impulsado
116
115
125
Límite físico
127
134
Controlador
122
128
137
136
135
124
Interfaz de mando
132
198

Fig. 1

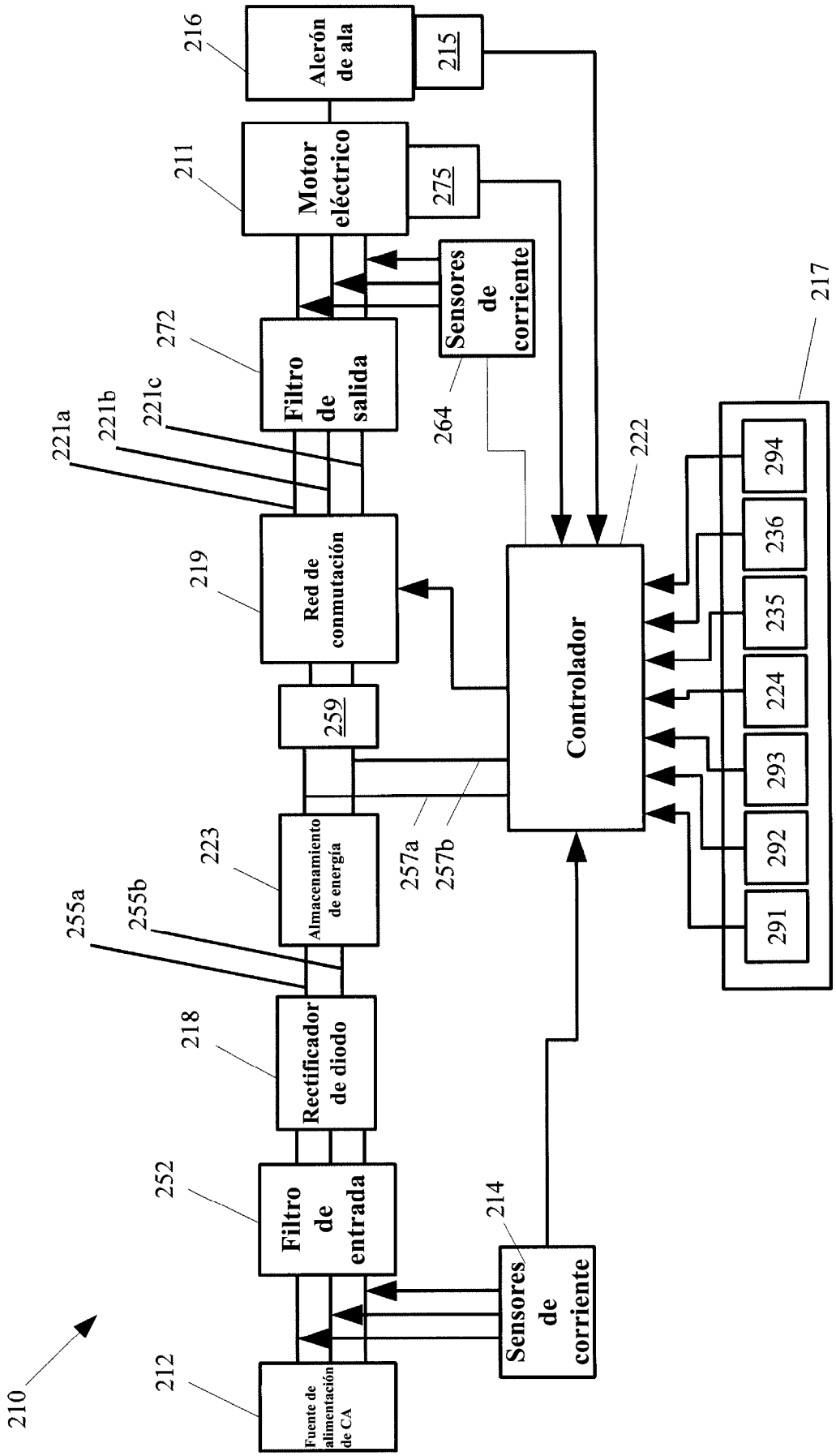

210
212
Fuente de alimentación de CA
252
Filtro de entrada
214
Sensores de corriente
218
Rectificador de diodo
223
Almacenamiento de energía
255a
255b
259
257a
257b
219
Red de conmutación
221a
221b
221c
272
Filtro de salida
264
Sensores de corriente
211
Motor eléctrico
275
216
Alerón de ala
215
Controlador
222
217
291
292
293
224
235
236
294

Fig. 2

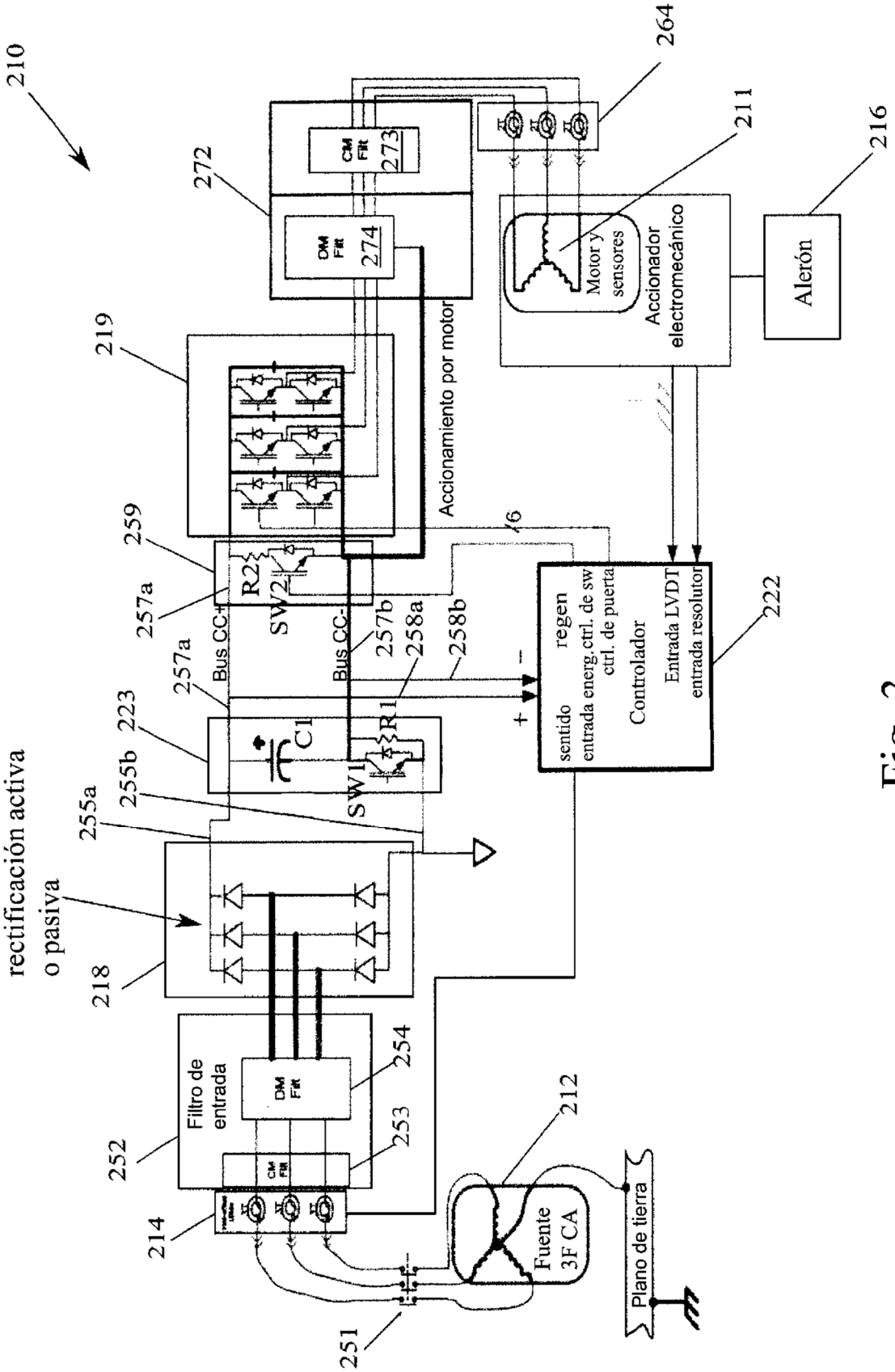

210
rectificación activa
o pasiva
218
255a
255b
223
C1
SW1
R1
257a
Bus CC+
257b
Bus CC-
258a
258b
259
R2
SW2
257a
219
272
CM Filt
273
DM Filt
274
264
211
Motor y sensores
Accionador electromecánico
216
Alerón
Accionamiento por motor
16
sentido
entrada energ. ctrl. de sw
ctrl. de puerta
regen
Controlador
Entrada LVDT
entrada resolutor
222
252
Filtro de entrada
DM Filt
254
253
CM Filt
214
212
Fuente 3F CA
Plano de tierra
251

Fig. 3

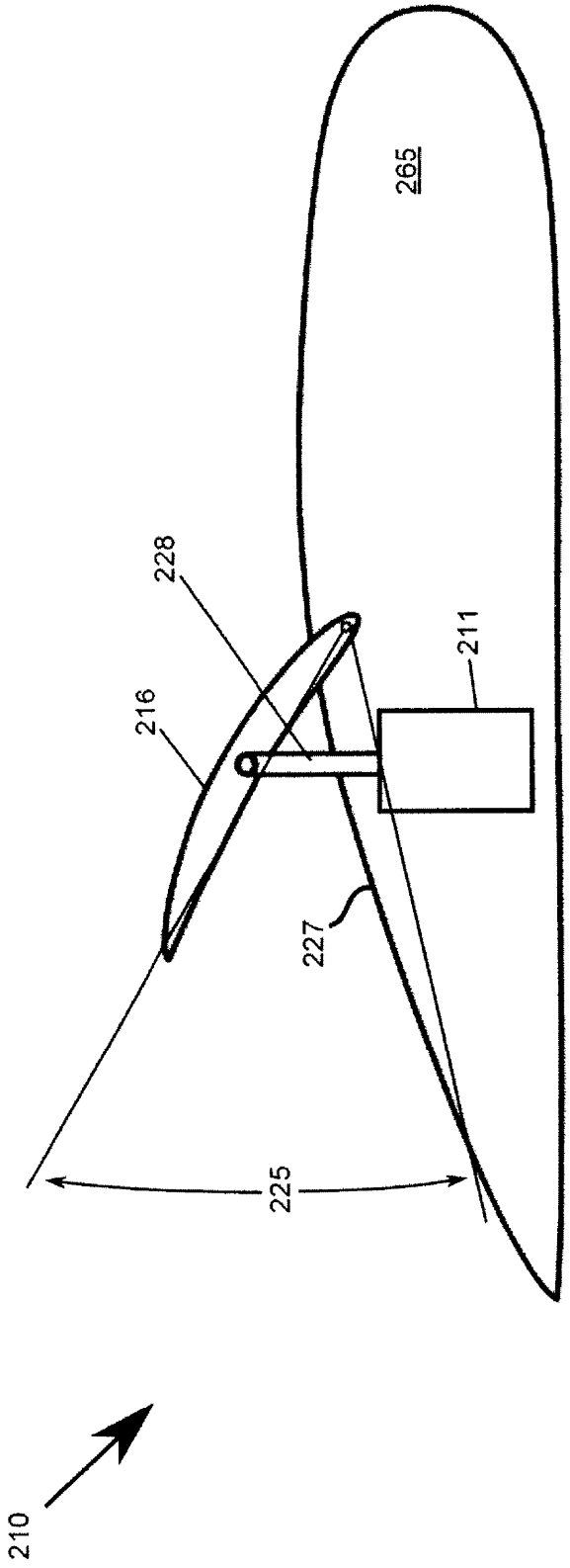


Fig. 4

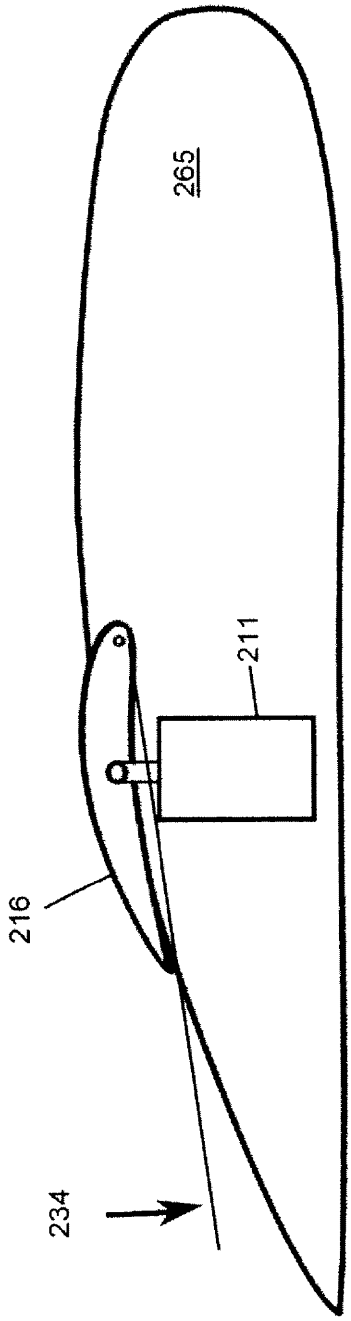


Fig. 5

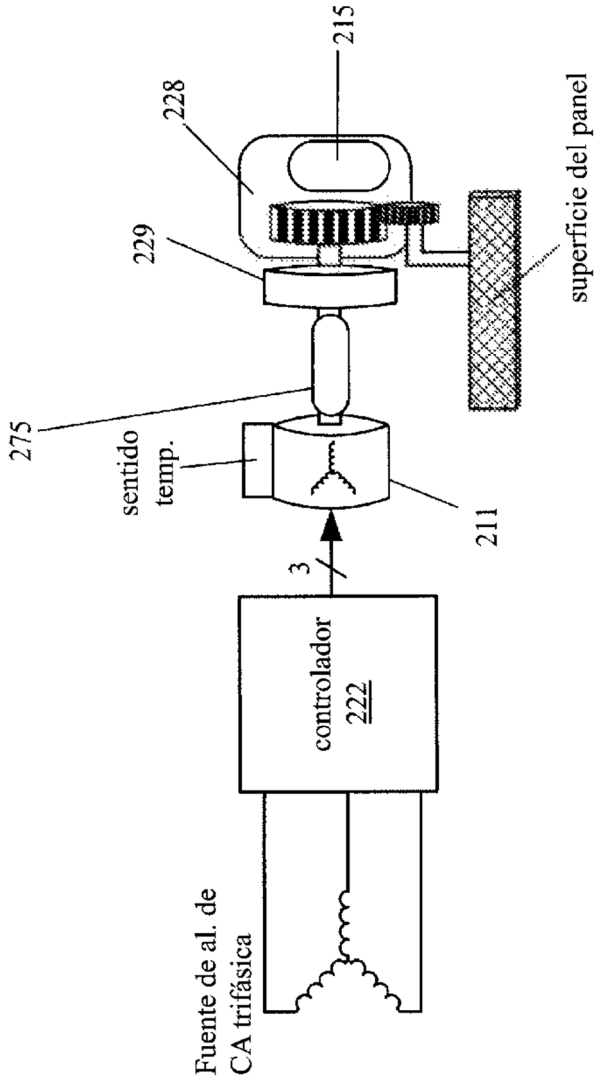

215
228
229
superficie del panel
275
sentido
temp.
211
3
controlador
222
Fuente de al. de
CA trifásica

Fig. 6

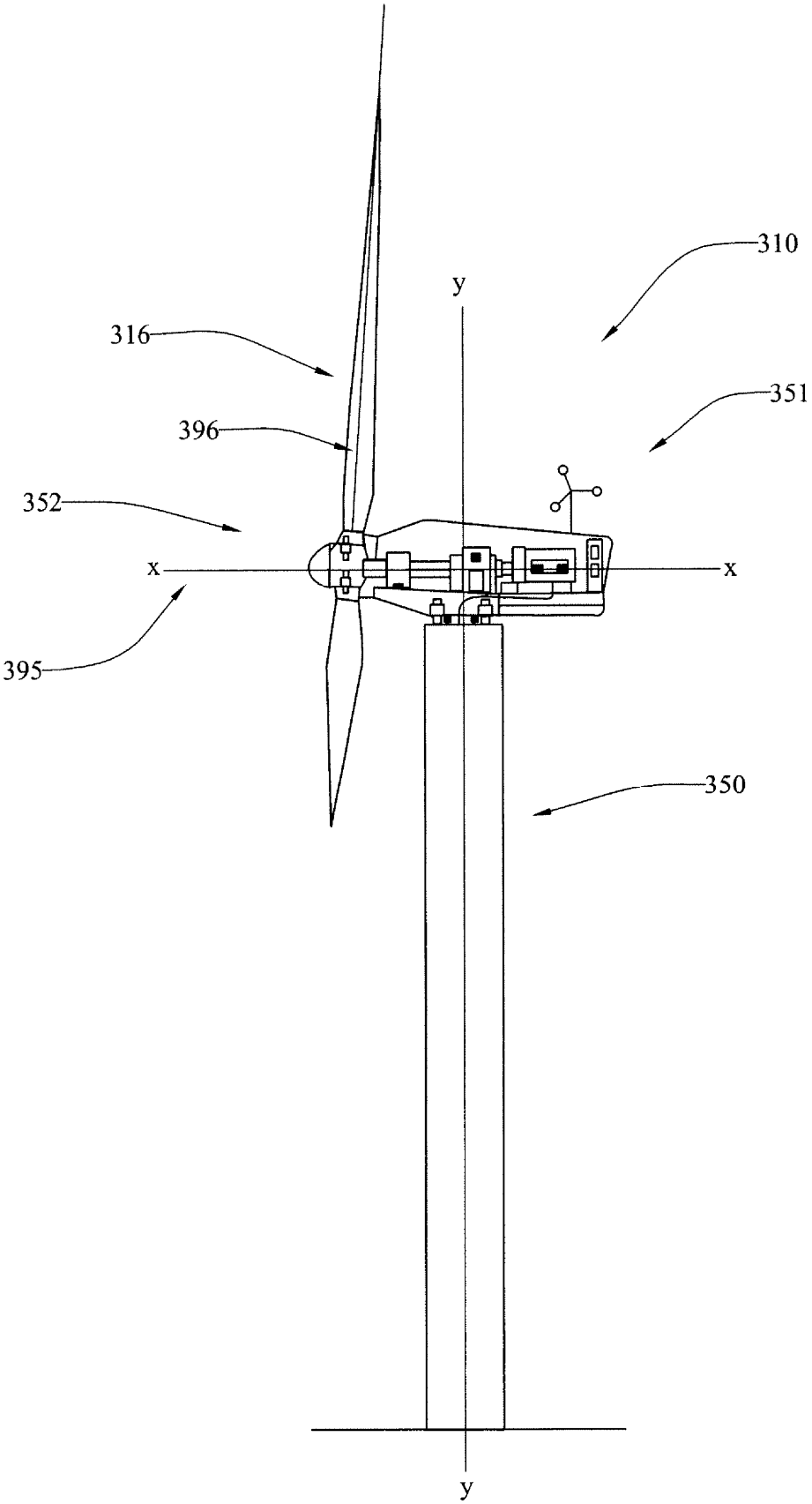


Fig. 7

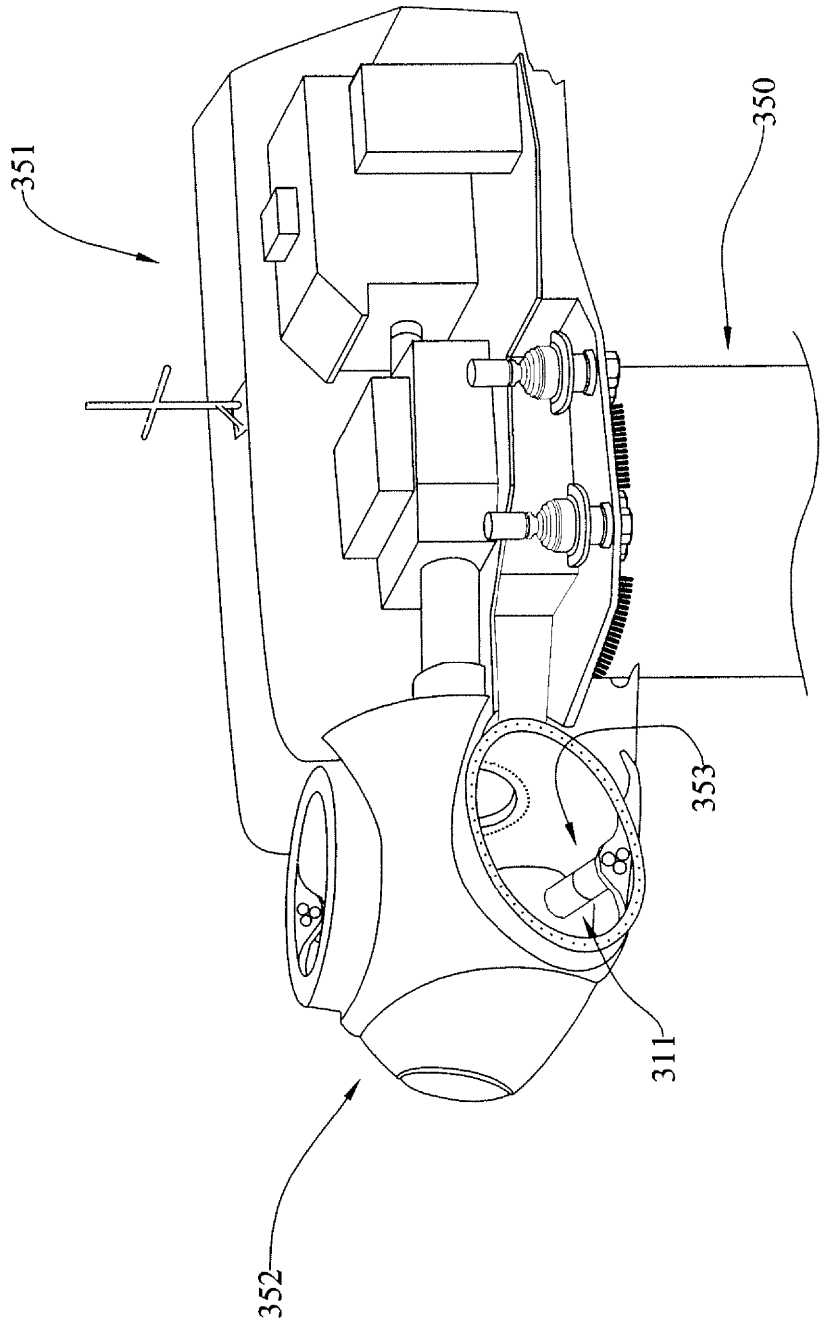


Fig. 8