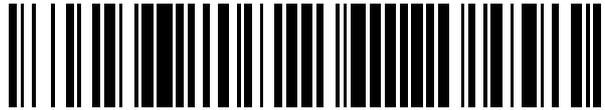


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 544 587**

51 Int. Cl.:

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 21/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2009 E 09152638 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2015 EP 2096750**

54 Título: **Procedimiento y aparato para montar máquinas eléctricas**

30 Prioridad:

26.02.2008 US 72536

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

01.09.2015

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**YANG, WENQIANG;
LU, ZHIGANG;
KLODOWSKI, ANTHONY MICHAEL;
TEICHMANN, RALPH;
WANG, CHANGYONG;
WENG, HAIQING y
YUAN, XIAOMING**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 544 587 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

Procedimiento y aparato para montar máquinas eléctricas

La presente invención se refiere en general a máquinas eléctricas y, más particularmente, a procedimientos y aparatos para montar máquinas eléctricas.

5 En general, un generador de turbina eólica incluye una turbina que tiene un rotor que incluye un conjunto de concentrador giratorio que tiene múltiples palas. Las palas transforman la energía eólica en un par de giro mecánico que acciona uno o más generadores a través del rotor. Los generadores están generalmente, pero no siempre, acoplados en giro al rotor a través de una caja de engranaje. La caja de engranajes intensifica la velocidad giratoria inherentemente baja del rotor para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica giratoria en potencia eléctrica, que se alimenta a una red de suministro eléctrico a través de al menos una conexión eléctrica. También existen generadores de turbina eólica de accionamiento directo sin engranajes. El rotor, el generador, la caja de engranajes y otros componentes se montan típicamente dentro de un alojamiento, o góndola, que se coloca en la parte superior de una base que puede ser una cercha o torre tubular.

10 Algunas configuraciones de generadores de turbina eólica incluyen generadores de inducción doblemente alimentados (DFIG). Tales configuraciones pueden incluir también convertidores de potencia que se utilizan para convertir una frecuencia de la potencia eléctrica generada en una frecuencia sustancialmente similar a una frecuencia de la red de suministro eléctrico. Además, tales convertidores, junto con los DFIG, transmiten también la potencia eléctrica entre la red de suministro eléctrico y el generador, y transmiten también la potencia de excitación del generador a un rotor del generador devanado desde una de las conexiones a la conexión de la red de servicios eléctrico. Como alternativa, algunas configuraciones del generador de turbina eólica incluyen, pero no limitarse a, tipos alternativos de generadores de inducción, generadores síncronos de imán permanente (PM) y generadores síncronos eléctricamente excitados y generadores de reluctancia conmutada. Estas configuraciones alternativas pueden incluir también convertidores de potencia que se utilizan para convertir las frecuencias como se ha descrito anteriormente y la potencia de transmisión eléctrica entre la red de suministro eléctrico y el generador. Estas configuraciones de generador de turbina eólica dependen de precisas indicaciones de posición/velocidad del rotor del generador para facilitar el control del generador.

15 Muchos generadores de turbina eólica conocidos utilizan codificadores de posición del rotor y/o transductores para medir la posición del rotor/velocidad. Sin embargo, tales configuraciones de codificadores y transductores incluyen hardware adicional, tales como acoplamientos de ejes, la electrónica de interfaz y cableado de conexión entre los mismos. Por otra parte, este tipo de configuraciones pueden incluir también hardware de montaje mecánico tales como bridas de montaje, placas adaptadoras y miembros de fijación. En algunas configuraciones de generadores de turbina eólica, el posicionamiento remoto de los sistemas de control del generador de turbina eólica puede facilitar longitudes de cableado de más de 91 metros (m) (300 pies). Algunos generadores de turbina eólica requieren sistemas redundantes paralelos que aumentan los costes de capital. Por otra parte, tal redundancia aumenta los costes de operación y de mantenimiento. Adicionalmente, excluir el uso de tales sistemas redundantes disminuye la fiabilidad operativa.

20 El documento US2006/052972 describe la estimación de la posición y velocidad angular sin sensores del eje de una máquina dinamoeléctrica en base al flujo del rotor extendido.

Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención se definen en las reivindicaciones adjuntas.

25 Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención se describirán a continuación en conexión con los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es una vista esquemática de un generador de turbina eólica ejemplar;

La Figura 2 es una vista esquemática de un sistema eléctrico y de control ejemplar que se puede utilizar con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 1;

30 La Figura 3 es una vista esquemática de un sistema de estimación de la posición del rotor ejemplar integrado en el sistema eléctrico y de control ejemplar que se muestra en la Figura 2;

La Figura 4 es una vista esquemática de un sistema de estimación de la posición del rotor alternativo integrado en un sistema eléctrico y de control alternativo que se puede utilizar con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 1;

35 La Figura 5 es una vista gráfica de los parámetros eléctricos asociados con un rotor y un estator que se pueden utilizar con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 1;

La Figura 6 es una vista esquemática de la lógica ejemplar para determinar una posición del rotor que se puede utilizar con el sistema de estimación de la posición del rotor que se muestra en la Figura 3;

La Figura 7 es una vista esquemática de la lógica alternativa para determinar una posición del rotor que se puede utilizar con el sistema de estimación de la posición del rotor que se muestra en la Figura 3;

La Figura 8 es una vista esquemática de un módulo de estimación del flujo del estator ejemplar que se puede utilizar con el sistema de estimación de la posición del rotor que se muestra en la Figura 3;

- 5 La Figura 9 es una vista esquemática de un módulo de estimación del flujo del estator alternativo que se puede utilizar con el sistema de estimación de la posición del rotor que se muestra en la Figura 3;

La Figura 10 es una vista esquemática de un esquema de corrección de desfase de corriente y tensión que se puede utilizar con el sistema de estimación de la posición del rotor que se muestra en la Figura 3;

- 10 La Figura 11 es una vista esquemática de otro módulo de estimación del flujo del estator alternativo que se puede utilizar con el sistema de estimación de la posición del rotor que se muestra en la Figura 3;

La Figura 12 es una vista gráfica de los parámetros eléctricos alternativos asociados con un rotor y un estator que se pueden utilizar con el generador de turbina eólica que se muestra en la Figura 1;

La Figura 13 es una vista esquemática de la lógica alternativa para determinar una posición del rotor para el sistema de estimación de la posición del rotor alternativo que se muestra en la Figura 4;

- 15 La Figura 14 es una vista esquemática de otra lógica alternativa para determinar una posición del rotor para el sistema de estimación de la posición del rotor alternativo que se muestra en la Figura 4;

La Figura 15 es una vista esquemática de un módulo de estimación del flujo del estator que se puede utilizar con la lógica alternativa que se muestra en las Figuras 13 y 14;

- 20 La Figura 16 es una vista esquemática de otro módulo de estimación del flujo del estator que se puede utilizar con la lógica alternativa en las Figuras 13 y 14;

La Figura 17 es una vista esquemática de un esquema de corrección de desfase de corriente y tensión que se puede utilizar con el sistema de estimación de la posición del rotor que se muestra en la Figura 4;

La Figura 18 es una vista esquemática de otro módulo de estimación del flujo del estator alternativo que se puede utilizar con el sistema de estimación de la posición del rotor que se muestra en la Figura 4;

- 25 La Figura 19 es una vista esquemática del sistema de seguimiento de posición del rotor ejemplar que se muestra en la Figura 3 integrado en un sistema eléctrico y de control alternativo; y

La Figura 20 es una vista esquemática del sistema de seguimiento de posición del rotor alternativo que se muestra en la Figura 4 integrado en un sistema eléctrico y de control alternativo.

- 30 La Figura 1 es una vista esquemática de un generador 100 de turbina eólica ejemplar. La turbina 100 eólica incluye una góndola 102 que aloja un generador (no mostrado en la Figura 1). La góndola 102 se monta sobre una torre 104 (una porción de la torre 104 se muestra en la Figura 1). La torre 104 puede tener cualquier altura lo que facilita la operación de la turbina 100 eólica como se describe en la presente memoria. La turbina 100 eólica incluye también un rotor 106 que incluye tres palas 108 del rotor conectadas a un concentrador 110 giratorio. Como alternativa, la turbina 100 eólica incluye cualquier número de palas 108 que facilita durante la operación de la turbina 100 eólica como se describe en la presente memoria. En la realización ejemplar, la turbina 100 eólica incluye una caja de engranajes (no mostrada en la Figura 1) acoplada giratoriamente al rotor 106 y un generador (no mostrado en la Figura 1).

- 35 La Figura 2 es una vista esquemática de un sistema 200 eléctrico y de control ejemplar que se puede utilizar con el generador 100 de turbina eólica. El rotor 106 incluye una pluralidad de palas 108 del rotor acopladas al concentrador 110. El giro del rotor 106 incluye también un eje 112 de baja velocidad acoplado giratoriamente al concentrador 110. El eje de baja velocidad se acopla a una caja 114 de engranajes multiplicadora. La caja 114 de engranajes se configura para aumentar la velocidad de giro del eje 112 de baja velocidad y transferir esa velocidad a un eje 116 de alta velocidad. En la realización ejemplar, la caja 114 de engranajes tiene una relación de multiplicación de aproximadamente 70:1. Por ejemplo, el eje 112 de baja velocidad que gira a aproximadamente 20 revoluciones por minuto (20) acoplado a la caja 114 de engranajes con una relación de multiplicación de aproximadamente 70:1 genera una alta velocidad del eje 116 de velocidad de aproximadamente 1.400 rpm. Como alternativa, la caja 114 de engranajes tiene cualquier relación de multiplicación lo que facilita la operación de la turbina 100 eólica como se describe en la presente memoria. También, como alternativa, la turbina 100 eólica incluye un generador de accionamiento directo en el que un rotor del generador (no mostrado en la Figura 1) se acopla en giro al rotor 106 sin ninguna caja de engranajes intermedia.
- 40
- 45
- 50

El eje 116 de alta velocidad se acopla de manera giratoria al generador 118. En la realización ejemplar, el generador 118 es un generador (asíncrono) de inducción doblemente alimentado, trifásico, de rotor devanado (DFIG) que incluye un estator 120 del generador acoplado magnéticamente a un rotor 122 del generador.

El sistema 200 eléctrico y de control incluye un controlador 202 de la turbina. El controlador 202 incluye al menos un procesador y una memoria, al menos un canal de entrada del procesador, al menos un canal de salida del procesador, y puede incluir al menos un ordenador (ninguno se muestra en la Figura 2). Como se utiliza en la presente memoria, el término ordenador no se limita solo a los circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como un ordenador, sino que en términos generales se refiere a un procesador, un microcontrolador, un microprocesador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado de aplicación específica, y otros circuitos programables (ninguno se muestra en la Figura 2), y estos términos se utilizan indistintamente en la presente memoria. En la realización ejemplar, la memoria puede incluir, pero no se limita a, un medio legible por ordenador, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM) (ninguna se muestra en la Figura 2). Como alternativa, un disquete, un disco compacto - memoria de sólo lectura (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD), y/o un disco versátil digital (DVD) (ninguno se muestra en la Figura 2) se pueden utilizar también. También, en la realización ejemplar, los canales de entrada adicionales (no mostrados en la Figura 2) pueden ser, pero no limitarse a, periféricos de ordenador asociados con una interfaz del operario, tales como un ratón y un teclado (no mostrado en la Figura 2). Como alternativa, otros periféricos de ordenador se pueden utilizar también, que pueden incluir, por ejemplo, pero no limitarse a, un escáner (no mostrado en la Figura 2). Además, en la realización ejemplar, los canales de salida adicionales pueden incluir, pero no limitarse a, un monitor de interfaz de operario (no mostrado en la Figura 2).

Los procesadores de controlador 202 procesan la información transmitida desde una pluralidad de aparatos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, pero no limitarse a, transductores de tensión y corriente. La memoria RAM y el dispositivo de almacenamiento almacenan y transfieren la información y las instrucciones a ser ejecutadas por el procesador. La memoria RAM y los dispositivos de almacenamiento se pueden utilizar también para almacenar y proporcionar variables temporales, (es decir, no cambiantes) de información estática e instrucciones, u otra información intermedia a los procesadores durante la ejecución de las instrucciones por los procesadores. Las instrucciones que se ejecutan incluyen, pero no se limitan a, algoritmos de conversión y/o comparación residente. La ejecución de secuencias de instrucciones no está limitada a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software.

El sistema 200 eléctrico y de control incluye también al menos un dispositivo 204 de medición de la posición del rotor del generador que se acopla mecánicamente a una porción del generador 118 y se acopla en comunicación electrónica de datos con el controlador 202. En la realización ejemplar, cada dispositivo 204 incluye cualquier número y cualquier tipo de dispositivos de medición de la posición del rotor en cualquier combinación incluyendo, pero sin limitarse a, codificadores de alta resolución, codificadores de baja resolución y transductores de efecto Hall (no mostrados en detalle). El estator 120 del generador se acopla eléctricamente a un conmutador 206 de sincronización del estator mediante un bus 208 del estator. En la realización ejemplar, para facilitar la configuración del DFIG, rotor 122 del generador se acopla eléctricamente a un conjunto 210 de conversión de potencia bidireccional a través de un bus 212 del rotor. Como alternativa, el sistema 200 se configura como un sistema de conversión de plena potencia (no mostrado) conocido en la técnica, en el que un conjunto de conversión de plena potencia (no mostrado en la Figura 1), que es similar en diseño y operación al conjunto 210, se acopla eléctricamente al estator 120 y dicho conjunto de conversión de plena potencia facilita la canalización de la potencia eléctrica entre el estator 120 y una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica (no mostrada). Típicamente, dichos conjuntos de conversión de plena potencia se utilizan junto con configuraciones PMG, EESG, IG y SRG (no mostradas en la Figura 2). El bus 208 del estator transmite la potencia trifásica del estator 120 al conmutador 206. El bus 212 del rotor transmite la potencia trifásica del rotor 122 al conjunto 210. El conmutador 206 de sincronización del estator se acopla eléctricamente a un disyuntor 214 del transformador principal a través de un bus 216 del sistema.

El conjunto 210 incluye un filtro 218 del rotor que se acopla eléctricamente al rotor 122 a través del bus 212 del rotor. El filtro 218 de rotor se acopla eléctricamente a un convertidor 220 de potencia bidireccional en el lado del rotor a través de un bus 219 de filtro del rotor. El convertidor 220 se acopla eléctricamente a un convertidor 222 de potencia bidireccional en el lado de la línea. Los convertidores 220 y 222 son puentes convertidores de potencia que incluyen semiconductores de potencia (no mostrados). En la realización ejemplar, los convertidores 220 y 222 se configuran en una configuración de modulación de ancho de impulso trifásica (PWM) que incluye dispositivos de conmutación de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) (no mostrados en la Figura 2) que "se disparan", como se conoce en la técnica. Como alternativa, los convertidores 220 y 222 tienen cualquier configuración utilizando cualquier dispositivo de conmutación que facilite la operación del sistema 200 tal como se describe en la presente memoria. El conjunto 210 se acopla en comunicación electrónica de datos con el controlador 202 para controlar la operación de los convertidores 220 y 222.

En la realización ejemplar, el convertidor 222 de potencia se acopla eléctricamente a un filtro 224 de línea a través de un bus 223 del convertidor de potencia en un lado de la línea. Además, el filtro 224 se acopla eléctricamente a un contactor 226 de línea a través de un bus 225 de línea. Por otra parte, el contactor 226 de línea se acopla eléctricamente a un disyuntor 228 de conversión a través de un bus 230 del disyuntor de conversión. Además, el disyuntor 228 se acopla también eléctricamente al disyuntor 214 del sistema a través del bus 216 del sistema y el bus 232 de conexión. Como alternativa, el filtro 224 se acopla eléctricamente al bus 216 directamente a través del bus 232 en el que cualquier esquema de protección (no mostrado) se configura para tener en cuenta la eliminación del contactor 226 y del disyuntor 228 del sistema 200. El disyuntor 214 del sistema se acopla eléctricamente a un

transformador 234 principal de potencia eléctrica a través de un bus 236 en el lado del generador. El transformador 234 principal se acopla eléctricamente a un disyuntor 238 de red a través de un bus 24 en el lado del disyuntor. El disyuntor 238 de red se conecta a una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica a través de un bus 242 de red.

5 En la realización ejemplar, los convertidores 220 y 222 se acoplan en comunicación eléctrica entre sí a través de un solo conexión 244 de corriente continua (de CC) actual. Como alternativa, los convertidores 220 y 222 se acoplan eléctricamente a través de conexiones de CC individuales y separados (no mostrados en Figura 2). La conexión 244 de CC incluye un carril 246 positivo, un carril 248 negativo, y al menos un condensador 250 acoplado entre los mismos. Como alternativa, el condensador 250 es uno o más condensadores configurados en serie o en paralelo entre los carriles 246 y 248.

10 El controlador 202 se configura para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión y corriente eléctrica a partir de un primer conjunto de sensores 252 de tensión y corriente eléctrica. Por otra parte, el controlador 202 se configura para supervisar y controlar al menos algunas de las variables operativas asociadas con el generador 100 de turbina eólica. En la realización ejemplar, cada uno de tres sensores 252 de tensión y corriente eléctrica se acoplan eléctricamente a cada una de las tres fases del bus 242. Como alternativa, los sensores 252 de tensión y corriente eléctrica se acoplan eléctricamente al bus 216 del sistema. Además, como alternativa, los sensores 252 de tensión y corriente eléctrica se acoplan eléctricamente a cualquier porción del sistema 200 lo que facilita la operación del sistema 200 como se describe en la presente memoria. Como alternativa, el controlador 202 se configura para recibir cualquier número de señales de medición de tensión y corriente eléctrica y cualquier número de sensores 252 de tensión y corriente eléctrica, incluyendo, pero sin limitarse a, una señal medición de tensión y corriente eléctrica procedente de un transductor.

15 En la realización ejemplar, el sistema 200 incluye también un controlador 262 del convertidor que se configura para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión y corriente eléctrica procedentes de un segundo conjunto de sensores 254 de tensión y corriente eléctrica (que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 208), un tercer grupo de señales de medición de corriente eléctrica procedentes de un tercer conjunto de sensores 256 de corriente eléctrica (que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 212) y un cuarto conjunto de señales de medición de corriente eléctrica procedentes de un cuarto conjunto de sensores 264 de corriente eléctrica (que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 230). El segundo conjunto de sensores 254 es sustancialmente similar al primer conjunto de sensores 252. El tercer conjunto de sensores 256 es sustancialmente similar al cuarto conjunto de sensores 264. El controlador 262 es sustancialmente similar al controlador 202 y se acopla en comunicación eléctrica de datos con el controlador 202. Por otra parte, en la realización ejemplar, el controlador 262 está integrado físicamente dentro del conjunto 210. Como alternativa, el controlador 262 tiene cualquier configuración que facilite la operación del sistema 200 tal como se describe en la presente memoria.

25 Durante la operación, el viento impacta en las palas 108 y las palas 108 transforman la energía eólica en un par de giro mecánico que acciona en giro el eje 112 de baja velocidad a través del concentrador 110. El eje 112 de baja velocidad acciona la caja 114 de engranajes que posteriormente intensifica la velocidad de giro baja del eje 112 para accionar el eje 116 de alta velocidad a una mayor velocidad de giro. El eje 116 de alta velocidad acciona en giro el rotor 122. Un campo magnético giratorio es inducido por el rotor 122 y se induce una tensión dentro del estator 120 que se acopla magnéticamente al rotor 122. El generador 118 convierte la energía mecánica de giro en una señal de energía eléctrica de corriente alterna (de CA) trifásica sinusoidal en el estator 120. La potencia eléctrica asociada se transmite al transformador 234 principal a través del bus 208, el conmutador 206, el bus 216, el disyuntor y el bus 236. El transformador 234 principal intensifica la amplitud de tensión de la potencia eléctrica y la potencia eléctrica transformada se transmite adicionalmente a una red a través del bus 240, del disyuntor 238 y del bus 242.

30 En la configuración de generador de inducción doblemente alimentado, se proporciona una segunda trayectoria de transmisión de potencia eléctrica. La potencia de CA, sinusoidal, trifásica, eléctrica se genera dentro del rotor 122 devanado y se transmite al conjunto 210 a través del bus 212. Dentro de conjunto 210, la potencia eléctrica se transmite al filtro 218 del rotor en el que la potencia eléctrica se modifica para la tasa de cambio de las señales PWM asociadas con el convertidor 220. El convertidor 220 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica sinusoidal en potencia de CC. La potencia de CC se transmite al circuito 244 intermedio. El condensador 250 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión de la conexión 244 de CC al facilitar la mitigación de una onda de CC asociada con la rectificación de CA.

35 La potencia de CC se transmite posteriormente desde el circuito 244 intermedio hasta el convertidor 222 de potencia en el que el convertidor 222 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC del circuito 244 intermedio en potencia eléctrica de CA sinusoidal, trifásica con tensiones, corrientes, y frecuencias predeterminadas. Esta conversión se supervisa y controla a través del controlador 262. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor 222 hasta el bus 216 a través de los buses 223 y 225, el contactor 226 de línea, el bus 230, el disyuntor 228, y el bus 232. El filtro 224 de línea compensa o se ajusta para corrientes armónicas en la potencia eléctrica transmitida desde el convertidor 222. El conmutador 206 de sincronización del estator se configura para cerrarse de tal manera que se ve facilitada la conexión de la potencia trifásica del estator 120 con la potencia trifásica del conjunto 210.

Los disyuntores 228, 214 y 238 se configuran para desconectar los buses correspondiente, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar los componentes del sistema 200. Se proporcionan también componentes de protección adicionales, que incluyen el contactor 226 de línea, que se pueden controlar para formar una desconexión mediante la abertura de un conmutador (no mostrado en la Figura 2) correspondiente a cada una de las líneas del bus 230 de línea.

El conjunto 210 compensa o ajusta la frecuencia de la potencia trifásica de rotor 122 para los cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el concentrador 110 y las palas 108. Por lo tanto, de esta manera, las frecuencias de rotor mecánicas y eléctricas están desconectadas de la frecuencia del estator.

En algunas condiciones, las características bi-direccionales del conjunto 210 y, específicamente, las características bi-direccionales de los convertidores 220 y 222, facilitar la retroalimentación de al menos algo de la potencia eléctrica generada en el rotor 122 del generador. Más específicamente, la potencia eléctrica se transmite del bus 216 al bus 232 y posteriormente a través del disyuntor 228 y el bus 230 en el conjunto 210. Dentro de conjunto 210, la potencia eléctrica se transmite a través del contactor 226 de línea y los buses 225 y 223 en el convertidor 222 de potencia. El convertidor 222 actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA sinusoidal, trifásica en potencia de CC. La potencia de CC se transmite al circuito 244 intermedio. El condensador 250 facilita la atenuación de las variaciones de amplitud de tensión de la conexión 244 de CC al facilitar la mitigación de una onda de CC asociada, a veces, con la rectificación de CA trifásica.

La potencia de CC se transmite posteriormente desde la conexión 244 de CC hasta el convertidor 220 de potencia en el que el convertidor 220 actúa como un inversor configurado para convertir la potencia eléctrica de CC transmitida desde la conexión 244 de CC en un potencia eléctrica de CA sinusoidal, trifásica con tensiones, corrientes y frecuencias pre-determinadas. Esta conversión se supervisa y controla a través del controlador 262. La potencia de CA convertida se transmite desde el convertidor 220 hasta el filtro 218 del rotor a través del bus 219, se transmite posteriormente al rotor 122 a través del bus 212, facilitando así la operación sub-sincrónica.

El conjunto 210 se configura para recibir señales de control desde el controlador 202 de la turbina. Las señales de control se basan en condiciones detectadas o características de operación de la turbina 100 eólica y el sistema 200, recibidas por el controlador del convertidor 202 y utilizadas para controlar la operación del conjunto 210 de conversión de potencia. Por ejemplo, la retroalimentación del dispositivo 204 de medición de la posición en la forma de una posición detectada del rotor 122 del generador se puede utilizar para controlar la conversión de la potencia de salida del bus 212 del rotor para mantener una condición de potencia trifásica correcta y compensada. Otra retroalimentación de otros sensores se puede utilizar también por el sistema 200 para controlar el conjunto 210 a través del controlador 262 incluyendo, por ejemplo, las retroalimentaciones tensión y corriente del bus 230 de conexión, del bus del estator y del bus del rotor a través de los sensores 264, 254 y 256, respectivamente. Utilizando esta información de retroalimentación, y, por ejemplo, las señales de control de conmutación, se pueden generar las señales de control del conmutador de sincronización del estator y las señales (de disparo) de control del disyuntor del sistema de cualquier manera conocida. Por ejemplo, para un transitorio de tensión de red con características predeterminadas, el controlador 262 suspenderá al menos temporalmente sustancialmente la activación de los IGBT dentro del convertidor 222. Dicha suspensión de la operación del convertidor de 222 mitigará considerablemente la potencia eléctrica que se canaliza a través del conjunto 210 de conversión a aproximadamente cero.

La Figura 3 es una vista esquemática de un sistema 300 de estimación de la posición del rotor ejemplar que puede estar integrado dentro del sistema 200 eléctrico y de control que se puede utilizar con el generador 100 de turbina eólica. En la realización ejemplar, el sistema 300 se configura dentro del conjunto 210 y utiliza, por tanto, el hardware electrónico, firmware y software (no mostrado) asociado con el conjunto 210. Más específicamente, al menos una porción del sistema 300 se configura dentro del controlador 262 (que se muestra en la Figura 2). Como alternativa, el sistema 300 se configura para asociarse con el sistema 200 de cualquier manera que facilite la operación de la turbina 100 eólica como se describe en la presente memoria.

En la realización ejemplar, el sistema 300 se acopla en comunicación electrónica de datos con los sensores 254 y 256. Además, el sistema 200 eléctrico y de control incluye un codificador 258 de la posición del rotor de alta resolución y un codificador 260 de la posición del rotor de baja resolución. Además, en la realización ejemplar, el codificador 258 se acopla en comunicación electrónica de datos con el conjunto 210 de conversión de potencia y el codificador 260 se acopla en comunicación electrónica de datos con el controlador 202 de la turbina. Como alternativa, los codificadores 258 y 260 se acoplan en comunicación electrónica de datos con cualquier parte del sistema 200 lo que facilita operación del sistema 200 como se describe en la presente memoria.

El controlador 202 se configura para recibir y procesar una pluralidad de primeras señales 302 de posición del rotor y de velocidad del rotor procedentes de codificador 260 de baja resolución. El conjunto 210 del convertidor se configura para recibir y procesar una pluralidad de segundas señales 304 de posición del rotor y de velocidad del rotor procedentes del codificador 258 de alta resolución. El sistema 300 de estimación de la posición del rotor se configura para recibir una pluralidad de señales 306 de tensión del estator y corriente del estator y señales 308 308 de corriente del rotor. Además, el sistema 300 se configura para producir una pluralidad de terceras señales 310 de posición del rotor y de velocidad del rotor (descritas más adelante) y transmitir las señales 310 al conjunto 210 del convertidor. Además, el conjunto 210 del convertidor se configura para transmitir una pluralidad de segundas y

terceras señales 312 de velocidad del rotor al controlador 202. La configuración del sistema 200 con tres procedimientos de supervisión de velocidad del rotor independientes facilita la redundancia modular triple (TMR).

La Figura 4 es una vista esquemática de sistema 400 de estimación de la posición del rotor alternativo que puede estar integrado dentro de un sistema 500 eléctrico y de control alternativo que se puede utilizar con el generador 100 de turbina eólica, pero que se encuentra fuera del alcance de la reivindicación 1. En este sistema 500 incluye un generador 518 síncrono de imán permanente (PMG) que incluye un rotor 522 configurado con una pluralidad de imanes permanentes (no mostrado) y un estator 520. Como alternativa, el sistema 500 incluye generadores síncronos eléctricamente excitados (EESG) que incluyen un rotor configurado con una pluralidad de devanados excitadores (no mostrados) y un estator.

El sistema 500 incluye también un controlador 502 de la turbina, un codificador 558 de la posición del rotor de alta resolución y un codificador 560 de la posición del rotor de baja resolución. El codificador 560 se acopla en comunicación electrónica de datos con el controlador 502, en el que el codificador 560 transmite las primeras señales 402 de posición del rotor y de velocidad del rotor al controlador 502. El codificador 558 se acopla en comunicación de datos con un convertidor 510 de plena potencia en el que el codificador 558 transmite las segundas señales 404 de posición del rotor y de velocidad del rotor al convertidor 510. El convertidor 510 de plena de potencia se acopla eléctricamente al estator 520 mediante un bus 508 del estator y se acopla eléctricamente a la red 242 a través de un transformador 534 y un bus 516 del sistema. El sistema 500 incluye también una pluralidad de sensores 554 acoplados en comunicación de datos con el bus 508 y el sistema 400 en el que una pluralidad de señales 406 de tensión y corriente del estator se transmite al sistema 400. El sistema 400 se configura para producir una pluralidad de terceras señales 410 de posición del rotor y de velocidad del rotor (descritas más adelante) y transmitir las señales 410 al conjunto 510 del convertidor. Además, el conjunto 510 del convertidor se configura para transmitir una pluralidad de segundas y terceras señales 412 de velocidad del rotor al controlador 502. La configuración del sistema 500 con tres procedimientos de supervisión de la velocidad del rotor independientes facilita la redundancia modular triple (TMR). En general, el sistema 400 es similar al sistema 300 con las excepciones que se describen más adelante.

La Figura 5 es una vista gráfica de una pluralidad de parámetros 600 eléctricos asociados con el DFIG 118 que incluye el rotor 122 y el estator 120 (todo mostrado en las Figuras 2 y 3) con la turbina 100 eólica (mostrada en la Figura 1). En la realización ejemplar, los parámetros 600 están asociados exclusivamente con el DFIG 118 y no están asociados con los generadores alimentados por separado (donde dichos generadores se describen más adelante). Los parámetros 600 incluyen un eje α 602 del estator y un eje β 604 del estator. Los ejes 602 y 604 representan un marco de referencia estacionario asociado con el estator 120. Por lo general, la determinación de la mayoría de las variables asociadas con el estator 120 y el rotor 122 se realizan en o se trasladan al marco del estator de referencia. El eje α 602 es sustancialmente equivalente a una abscisa asociada con un sistema de coordenadas cartesianas. El eje β 604 es ortogonal al eje α 602, por lo tanto, el eje β 604 es sustancialmente equivalente a una ordenada asociada con un sistema de coordenadas cartesianas.

Los parámetros 600 incluyen también un eje a 606 del rotor y un eje b 608 del rotor. El eje b 608 es ortogonal al eje a 606 y los ejes 606 y 608 representan un marco de giro de referencia asociado con el rotor 122. Los ejes 606 y 608 tienen una velocidad de giro ω_r 610 (como se ilustra por una flecha alrededor del eje 606) que es sustancialmente equivalente a una velocidad de giro real del rotor 122. Los parámetros 600 incluyen además un vector i_r 612 de corriente del rotor. El vector i_r 612 de corriente del rotor tiene una magnitud i_r^s 614 de corriente del rotor en el marco de referencia estacionario. El Vector i_r 612 forma un ángulo ρ_1 616 con el eje 602 α . Por otra parte, el vector i_r 612 forma un ángulo ρ_2 618 con el eje a 606. El ángulo ρ_1 616 y el ángulo ρ_2 618 forma la posición ϵ 620 del rotor en el marco de referencia estacionario mediante la determinación de la diferencia angular entre el ángulo ρ_1 616 y el ángulo ρ_2 618.

La Figura 6 es una vista esquemática de la lógica 700 ejemplar que se puede utilizar con el sistema 300 de estimación de la posición del rotor para determinar la posición ϵ 620 del rotor (mostrada en la Figura 5). En la realización ejemplar, la lógica 700 es ejecutada a través de una pluralidad de algoritmos (no mostrados) configurados dentro del sistema 300. La lógica 700 se configura para recibir la pluralidad de señales 308 de corriente del rotor como entradas de señales desde una pluralidad de sensores 702 de corriente del rotor, donde, en la realización ejemplar, los sensores 702 de corriente son al menos una porción del tercer conjunto de sensores 256 de tensión y corriente eléctrica que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 212 (ambos mostrados en la Figura 3). Como alternativa, las señales 308 se originan a partir de cualquier fuente que facilite la operación de sistema 300 como se describe en la presente memoria. También, en la realización ejemplar, las señales 308 incluyen una señal (i_{rA}) 704 de corriente del rotor de fase A, una señal (i_{rB}) 706 de corriente del rotor de fase B, y una señal (i_{rC}) 708 de corriente del rotor de fase C. Como alternativa, las señales 308 tienen cualquier número y combinación de las señales de corriente del rotor que facilita durante la operación del sistema 300 tal como se describe en la presente memoria.

La lógica 700 incluye un bloque 710 de función de transformación de coordenadas. El bloque 710 de función se acopla en comunicación electrónica de datos con los sensores 702 y se configura para recibir señales 308. Por otra parte, el bloque 710 de función se configura para utilizar al menos un algoritmo (no mostrado) para transformar las

señales 308 (como se conoce en la técnica) procedentes del sistema de coordenadas de rotor trifásico al sistema de coordenadas bifásico (giratorio) del rotor definido por el eje a 606 del rotor y el eje b 608 del rotor (ambos mostrados en la Figura 5). Como se ha descrito anteriormente, el eje b 608 es ortogonal al eje a 606 y los ejes 606 y 608 representan un marco de referencia giratorio asociado con el rotor 122 (que se muestra en la Figura 3). Por lo tanto, el bloque 710 de función se configura para generar una señal 712 de la componente a del vector i_{ra} de la corriente del rotor y una señal 714 de la componente b del vector i_{rb} de la corriente del rotor.

La lógica 700 incluye también un primer bloque 716 de función de magnitud inversa de la corriente del rotor, que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 710 de función y se configura para recibir las señales 712 y 714. Por otra parte, el bloque 716 de función se configura para generar una señal $\text{sen}\rho_2$ 718 y una señal $\text{cos}\rho_2$ 720 con los siguientes algoritmos:

$$\text{sen}\rho_2 718 = i_{rb} 714/|i_r 612| \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{cos}\rho_2 720 = i_{ra} 712/|i_r 612| \dots \dots \dots (2)$$

donde $|i_r 612|$ es la magnitud del vector asociado para $i_r 612$ en el marco de giro de referencia y ρ_2 es el ángulo 618 que vector $i_r 612$ forma con el eje a 606 (todos mostrados en la Figura 5). La lógica 700 incluye además un módulo ϵ' 722 que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 716 de función y se configura para recibir las señales 718 y 720. El módulo 722 se configura también para generar una pluralidad de señales como se describe en detalle a continuación.

La lógica 700 se configura también para recibir pluralidad de señales 306 de corriente del estator y de tensión del estator como entradas de señal del segundo conjunto de sensores 254 de tensión y corriente eléctrica, en el que, en la realización ejemplar, la pluralidad de sensores 724 de tensión y corriente están en al menos una porción del segundo conjunto de sensores 254 de tensión y corriente eléctrica que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 208 (ambos mostrados en la Figura 3). Como alternativa, las señales 306 se originan a partir de cualquier fuente que facilite la operación de sistema 300 como se describe en la presente memoria.

La lógica 700 incluye también un módulo 726 de estimación del flujo del estator que se acopla en comunicación electrónica de datos con los sensores 724 y se configura para recibir las señales 306. Específicamente, el módulo 726 se configura para recibir al menos una señal 728 del vector u_s de tensión del estator y al menos una señal 730 del vector i_s de la corriente del estator. Las señales 728 y 730 se calculan a través de procedimientos estándar de determinación eléctrica trifásicos en base a las señales de tensión y corriente asociadas, respectivamente, recibidas desde los dispositivos de detección respectivos que miden cada fase (no se muestra ninguno). Además, específicamente, el módulo 726 se configura para recibir una señal R_s 732 de resistencia del estator que se almacena en un registro R_s 733 de resistencia del estator, en el que el registro 733 se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 726 de función. En la realización ejemplar, la señal 732 se determina en línea dentro del sistema 300 utilizando mediciones y determinaciones en línea de parámetros eléctricos que incluyen, pero no se limitan a, la resistencia del estator y la inductancia del estator. Como alternativa, la señal 732 se basa en determinaciones fuera de línea de las características eléctricas del estator 120. El módulo 726 se configura también para generar una señal ψ_{sa} 734 del vector de flujo del estator y señal ψ_{sb} 736 del vector de flujo del estator utilizando procedimientos y cálculos descritos más adelante.

La lógica 700 incluye también un bloque 738 de función de la corriente del rotor que se acopla en comunicación electrónica de datos con el módulo 726 y se configura para recibir las señales 734 y 736. El bloque 738 de función se configura también para generar una señal i_{ra}^s 740 de estimación de la componente α de la corriente del rotor. El bloque 738 de función se configura además para generar una señal i_{rb}^s 742 de estimación de la componente β de la corriente del rotor. En la realización ejemplar, el bloque 738 de función aprovecha los principios conocidos de autoinducción, inductancia mutua y de vinculación de flujo que incluyen, pero no se limitan a, la relación directamente proporcional de un flujo magnético con respecto a las inductancias y corrientes asociadas. La señal 740 representa una primera estimación de la componente del vector i_r^s 614 de corriente eléctrica del rotor (mostrado en la Figura 5) en el marco de referencia estacionario. La señal 742 representa una segunda estimación de la componente del vector de corriente eléctrica del rotor en el marco de referencia estacionario. Los siguientes algoritmos se utilizan para determinar las señales 740 y 742:

$$i_{ra}^s 740 = [\psi_{sa} 734 - (L_{ls} + L_m) * \text{señal } i_{sa}^{fbk} 912]/L_m \dots \dots \dots (3)$$

$$i_{rb}^s 742 = [\psi_{sb} 736 - (L_{ls} + L_m) * \text{señal } i_{sb}^{fbk} 913]/L_m \dots \dots \dots (4)$$

donde L_{ls} , representa un valor de inductancia de fuga del estator y L_m representa una inductancia de magnetización principal. Por otra parte, la señal i_{sa}^{fbk} 912 representa una componente α de la retroalimentación (fbk) de la corriente del estator y la señal i_{sb}^{fbk} 913 representa una componente β de la retroalimentación (fbk) de la corriente del estator, ambas dentro del sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 602 del estator y el eje β 604 del estator, y ambas generadas y transmitidas por un bloque 911 de función (no mostrado en la Figura 6) (todo se describe más adelante).

La lógica 700 incluye también un segundo bloque 744 de función de magnitud inversa de la corriente del rotor, que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 738 de función y se configura para recibir las señales 740 y 742. Por otra parte, el bloque 744 de función se configura para generar una señal $\text{sen}\rho_1$ 746 y una señal cosp_1 748 con los siguientes algoritmos:

5
$$\text{sen}\rho_1 \text{ 746} = i_{\text{r}\beta}^s \text{ 742}/|i_{\text{r}}^s \text{ 614}| \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{cosp}_1 \text{ 748} = i_{\text{r}\alpha}^s \text{ 740}/|i_{\text{r}}^s \text{ 614}| \dots \dots \dots (6)$$

donde $|i_{\text{r}}^s \text{ 614}|$ es la magnitud del vector asociado para $i_{\text{r}}^s \text{ 614}$ en el marco de referencia estacionario

10 Como se ha descrito anteriormente, la lógica 700 incluye además un módulo ϵ' 722 que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 716 de función y se configura para recibir las señales 718 y 720. El módulo 722 se acopla también en comunicación electrónica de datos con el bloque 744 de función y se configura también para recibir las señales 746 y 748. El módulo 722 se configura además para generar una señal $\text{sen } \epsilon'$ 750 y una señal cose' 752 utilizando los siguientes algoritmos:

$$\text{sen } \epsilon' \text{ 750} = \text{sen}(\rho_1 - \rho_2) \dots \dots \dots (7)$$

15
$$\text{sen } \epsilon' \text{ 750} = \text{sen}(\rho_1 - \rho_2) \dots \dots \dots (8)$$

donde ϵ' es un operando provisional que es sustancialmente equivalente a $\rho_1 - \rho_2$ y facilita la determinación de ϵ 620. La lógica 700 incluye también un bucle 754 fase bloqueada (PLL) acoplado en comunicación electrónica de datos con el bloque 722 de función y configurado para recibir las señales 750 y 752 y generar y transmitir una señal 756 de posición ϵ del rotor. La señal 756 de posición ϵ del rotor es más estable, suave y precisa que lo que será la señal ϵ' generada para el control de generador y la determinación de la velocidad del rotor.

20 Durante la operación, las señales 704, 706, y 708 de la componente de corriente del rotor como las generadas por sensores 702 se transmiten al bloque 710 de función para generar una señales 712 y 714 del vector de la corriente del rotor. Las señales 712 y 714 se transmiten al bloque 716 de función, en el que el bloque 716 de función genera y transmite las señales $\text{sen}\rho_2$ 718 y cosp_2 720. Además, los sensores 724 generan y transmiten las señales 728 y 739 del vector de tensión y corriente del estator, respectivamente, al módulo 726. El módulo 726 recibe las señales 728 y 730, así como la señal 732 de resistencia del estator y genera las señales 734 y 736 del vector de flujo del estator. Las señales 734 y 736 se transmiten al bloque 738 de función, en el que se generan y transmiten las la señales 740 y 742 de estimación de la corriente del rotor al bloque 744 de función. El bloque 744 de función recibe las señales 740 y 742 y genera y transmite las señalases $\text{sen}\rho_1$ 746 y cosp_1 748. Por otra parte, el módulo 722 recibe las señales 718, 720, 746, y 748 y genera las señales $\text{sen}\epsilon'$ 750 y cose' 752 que se transmiten al PLL 754 en el que la señal 756 de posición ϵ del rotor se genera y se transmite para la posterior determinación de la velocidad del rotor. Por lo tanto, en concreto, el efecto técnico de la operación de la lógica 700 ejemplar, tal como se utiliza con el sistema 300 de estimación de la posición del rotor para determinar la posición ϵ 620 del rotor (mostrada en la Figura 5), es generar y transmitir señales 756 de posición ϵ del rotor. Además, específicamente, la señal 756 se procesa por al menos una función diferencial (no representada) en otro lugar dentro de la lógica 700 y/o el sistema 300 para generar una indicación estimada de la velocidad del rotor.

35 La Figura 7 es una vista esquemática de la lógica 800 alternativa que se puede utilizar con el sistema 300 de estimación de la posición del rotor para determinar la posición ϵ 620 del rotor (mostrada en la Figura 5). En la realización alternativa, la lógica 800 es ejecutada a través de una pluralidad de algoritmos (no mostrados) configurados dentro del sistema 300. Similar a la lógica 700 (que se muestra en la Figura 6), la lógica 800 se configura para recibir la señal $i_{\text{r}\alpha}$ 712 de la componente a del vector de la corriente del rotor y la señal $i_{\text{r}\beta}$ 714 de la componente b del vector de la corriente del rotor mediante pluralidad de sensores 702 de corriente del rotor y el bloque 710 de función de transformación de coordenadas.

40 La lógica 800 incluye un bloque 802 de función $\text{tan}\rho_2$ que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 710 de función y se configura para recibir las señales 712 y 714. El bloque de función 802 se configura también para dividir la señal $i_{\text{r}\beta}$ 714 entre una señal $i_{\text{r}\alpha}$ 712 para generar una señal $\text{tan}\rho_2$ 804. La lógica 800 incluye también un primer bloque 806 de función de tangente inversa (a veces referido como "arctan" y tan^{-1}). El bloque 806 de función se acopla en comunicación electrónica de datos con el módulo 802 y se configura para recibir la señal 804 y generar y transmitir una señal ρ_2 808 que es equivalente a un valor numérico de ρ_2 618 (mostrado en la Figura 5).

45 La lógica 800 incluye también el módulo 726 de estimación del flujo del estator que se acopla en comunicación electrónica de datos con los sensores 724 y se configura para recibir la señal u_s 728 del vector de tensión del estator y la señal i_s 730 del vector de corriente del estator. Además, el módulo 726 se configura para recibir la señal R_s 732 de resistencia del estator procedente del registro 733. El módulo 714 se configura también para generar la señal ψ_{st} 734 del vector de flujo del estator y señal ψ_{sb} 736 del vector de flujo del estator que se describen más adelante. La lógica 800 incluye también el bloque 738 de función de la corriente del rotor que se acopla en comunicación

electrónica de datos con el módulo 726 y se configura para recibir las señales 734 y 736. El bloque 738 de función se configura también para generar la señal i_{ra}^s 740 de estimación de la componente α de la corriente del rotor y la señal i_{rb}^s 740 de estimación de la componente β de la corriente del rotor como se ha descrito anteriormente.

5 La lógica 800 incluye también un bloque 810 funcional de $\tan p_1$ que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 738 de función y se configura para recibir las señales 740 y 742. El bloque 810 de función se configura también para dividir la señal i_{rb}^s 742 entre la señal i_{ra}^s 740 para generar una señal $\tan p_1$ 812. La lógica 800 incluye también un segundo bloque 814 de función de tangente inversa (a veces referido como "arctan" y \tan^{-1}). El bloque 814 de función se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 810 de función y se configura para recibir la señal 812 y generar y transmitir una señal p_1 816 que es equivalente a un valor numérico de p_1 616 (mostrado en la Figura 5).

10 La lógica 800 incluye además un bloque 818 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 806 y 814 de función. El bloque 818 se configura para recibir señal p_1 816 y la señal p_2 808, restar de la señal 808 la señal 816 y transmitir una señal ϵ' 820 en el que ϵ' es un operando provisional que es sustancialmente equivalente a $p_1 - p_2$ y facilita la determinación de ϵ 620. Similar a la lógica 700, la lógica 800 incluye también un bucle 822 de fase bloqueada (PLL) acoplado en comunicación electrónica de datos con el bloque 818 de función y configurado para recibir la señal 820 y generar y transmitir una señal 824 de posición ϵ del rotor. La señal 824 de posición ϵ del rotor es más estable, suave y precisa que lo que será la señal ϵ' generada para el control del generador y la determinación de la velocidad del rotor.

15 En una realización alternativa, los sistemas 700 y 800 se configuran para recibir y procesar otras señales eléctricas asociadas con el sistema 200 (mostrado en la Figura 3) para determinar la posición ϵ 620 del rotor. Tales señales alternativas incluyen señales generadas y transmitidas desde los sensores 264, 254 y/o 256 que no se limitan a diferenciales de tensión entre cada una de las tres fases y la corriente eléctrica en cada una de las tres fases.

20 Durante la operación, las señales 704, 706, y 708 de la componente de corriente del rotor como las generadas por sensores 702 se transmiten al bloque 710 de función para generar una señales 712 y 714 del vector de la corriente del rotor. Las señales 712 y 714 se transmiten al bloque 802 de función, en el que el bloque 802 de función genera y transmite la señal $\tan p_2$ 804. La señal 804 se transmite al bloque 806 de función tangente inversa en el que se genera la señal 808 del ángulo p_2 . Además, los sensores 724 generan y transmiten las señales 728 y 739 del vector de tensión y corriente del estator, respectivamente, al módulo 726. El módulo 726 recibe las señales 728 y 730, así como la señal 732 de resistencia del estator y genera las señales 734 y 736 del vector de flujo del estator. Las señales 734 y 736 se transmiten al bloque 738 de función, en el que se generan y transmiten las la señales 740 y 742 de estimación de la corriente del rotor al bloque 810 de función. El bloque 810 de función genera una señal 812 de la tangente del ángulo p_1 . La señal 812 se transmite al módulo de 814 tangente inversa, en el que se genera la señal 820 del ángulo p_1 señal 820. Una diferencia entre las señales 816 y 808 se determina por el bloque 818 de función y se genera una señal 820 de posición del rotor, en el que la señal 820 es un operando provisional que es sustancialmente equivalente a $p_1 - p_2$ y facilita la determinación de ϵ 620 (mostrada en la Figura 5). La señal 820 se transmite a PLL 822 que genera y transmite la señal 824 de posición ϵ del rotor. La señal 824 de posición ϵ del rotor es más estable, suave y preciso que lo que la señal ϵ' de operando provisional generada será para el control de generador y la determinación de la velocidad del rotor. Por lo tanto, en concreto, el efecto técnico de la operación de la lógica 800 alternativa, tal como se utiliza con el sistema 300 de estimación de la posición del rotor para determinar la posición ϵ 620 del rotor (mostrada en la Figura 5), es generar y transmitir la señal 824 de posición ϵ del rotor. Además, específicamente, la señal 824 se procesa por al menos una función diferencial (no representada) en otro lugar dentro de la lógica 800 y/o el sistema 300 para generar una indicación estimada de la velocidad del rotor.

25 La Figura 8 es una vista esquemática de un módulo 900 de estimación del flujo del estator ejemplar que se puede utilizar con el sistema 300 estimación de la posición del rotor para estimar flujo del estator para determinar la posición ϵ 620 del rotor (mostrado en la Figura 5). En la realización ejemplar, el módulo 900 está integrado dentro de la lógica 700. Como alternativa, el módulo 900 está integrado dentro de la lógica 800. El módulo 900 incluye una pluralidad de sensores 901 de tensión del estator, en el que, en la realización ejemplar, los sensores 901 de tensión son al menos una porción de segundo conjunto de sensores 254 de tensión y corriente eléctrica que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 208 (ambos mostrados en la Figura 3). Los sensores 901 se configuran para generar y transmitir una señal 902 del vector u_{sAB} de tensión del estator que se define como una señal sustancialmente representante de un diferencial de tensión entre las fases A y B del estator. Los sensores 901 se configuran también para generar y transmitir una señal 903 del vector u_{sBC} de tensión del estator que se define como una señal sustancialmente representante de un diferencial de tensión entre las fases B y C del estator. En la realización ejemplar, las señales 902 y 903 son al menos una porción de las señales 306 (que se muestran en la Figura 3). Como alternativa, las señales 902 y 903 se originan a partir de cualquier fuente que facilite la operación de sistema 300 como se describe en la presente memoria.

30 El módulo 900 incluye también un primer bloque 904 de función de transformación de coordenadas que se acopla en comunicación electrónica de datos con los sensores 901 y se configura para recibir las señales 902 y 903 transmitidas desde los sensores 901. Por otra parte, el bloque 904 de función se configura para utilizar al menos un algoritmo (no mostrado) para generar una señal u_{sq}^{fbk} 905 de la componente α de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator y una señal u_{sp}^{fbk} 906 de la componente β de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator

dentro del sistema estacionario de coordenadas definido por el eje α 602 del estator y el eje β 604 del estator (ambos mostrados en la Figura 5). Los ejes 602 y 604 representan el marco de referencia estacionario asociado con el estator 120 (que se muestra en las Figuras 2 y 3). Como se ha descrito anteriormente, el eje α 602 es ortogonal al eje β 604.

5 El módulo 900 incluye además una pluralidad de sensores 907 de corriente del estator, en el que, en la realización ejemplar, los sensores 907 de corriente son al menos una porción del segundo conjunto de sensores 254 de tensión y corriente eléctrica que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 208. Los sensores 907 se configuran para generar y transmitir una señal (i_{sa}) 908 de la corriente del estator de fase A, una señal (i_{sb}) 909 de la corriente del estator de fase B, y una señal (i_{sc}) 910 de la corriente del estator de fase C. En la realización ejemplar, las señales 908, 909 y 910 son al menos una porción de las señales 306. Como alternativa, las señales 908, 909 y 910 se originan a partir de cualquier fuente que facilite la operación de sistema 300 como se describe en la presente memoria.

15 El módulo 900 incluye también un segundo bloque 911 de función de transformación de coordenadas, que se acopla en comunicación electrónica de datos con los sensores 907 y se configura para recibir las señales 908, 909 y 910 de transmisión de los sensores 907. Por otra parte, el bloque 911 de función se configura para utilizar al menos un algoritmo (no mostrado) para generar una señal i_{sa}^{fbk} 912 de la componente α de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator y una señal i_{sb}^{fbk} 913 de la componente β de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator dentro del sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 602 del estator y el eje β 604 del estator. El bloque 911 de función se configura también para transmitir las señales 912 y 913. Las señales 912 y 913 se utilizan como veremos a continuación, como también dentro de bloque 738 de función de corriente del rotor (mostrado en las Figuras 6 y 7) para cada uno de los algoritmos (3) y (4) que se han descrito anteriormente.

25 El módulo 900 incluye además un bloque 914 de función multiplicadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 911 de función y se configura para recibir ambas señales 912 y 913 que se transmiten desde el bloque 911 de función. El bloque 914 de función se configura también para recibir la señal R_s 732 de resistencia del estator que se almacena dentro del registro R_s 733 de resistencia del estator. El bloque 914 de función se configura además para multiplicar las señales 912 y 913 por la señal 732 y uno negativo (-1) para generar y transmitir una señal 915 producto $-i_{sa}^{fbk} * R_s$ y una señal 916 producto $-i_{sb}^{fbk} * R_s$, respectivamente.

30 El módulo 900 incluye también un primer bloque 917 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 904 y 914 de función. El bloque 917 de función se configura también para recibir y sumar las señales 905 y 915, y generar y transmitir una señal $e_{s\alpha}$ 918 de la componente α de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator. El módulo 900 incluye también un segundo bloque 919 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 904 y 914 de función. El bloque 919 de función se configura para recibir y sumar las señales 906 y 916 y generar y transmitir una señal $e_{s\beta}$ 920 de la componente β de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

35 El módulo 900 se configura además para recibir una señal $|i_r|$ 921 de magnitud de la corriente del rotor a medida que se mide en el marco de referencia giratorio. La señal $|i_r|$ 921 es sustancialmente similar a la magnitud de un vector i_r 612 de la corriente del rotor. Por otra parte, la señal $|i_r|$ 921 se calcula dentro de un bloque función matemática (no mostrado) en otros lugares dentro del sistema 700 utilizando el algoritmo:

$$|i_r| \text{ 921} = \sqrt{[i_{ra} \text{ 712}]^2 + [i_{rb} \text{ 714}]^2} \dots\dots\dots(9)$$

40 donde i_{ra} 712 e i_{rb} 714 se han descrito anteriormente (mostrados en las Figuras 6 y 7).

El módulo 900 incluye además un bloque 922 de función de relación de vueltas que se configura para recibir la señal $|i_r|$ 921 de la magnitud de corriente del rotor. Específicamente, el bloque 922 de función se configura para recibir la señal 921, dividir la señal 921 entre una relación de vueltas del devanado a rotor, y generar y transmitir una señal $|i_r^s|$ 923 de estimación de la magnitud de corriente del rotor. La señal 923 representa una magnitud de corriente eléctrica del rotor en el marco de referencia estacionario.

50 El módulo 900 incluye también un par de bloques de función de la componente de corriente del rotor, es decir, el bloque 924 de función de la componente α de la corriente de rotor y el bloque 926 de función de la componente β de la corriente de rotor, ambos acoplados en comunicación electrónica de datos con el bloque 922 de función. El bloque 924 de función se configura para generar y transmitir una primera señal i_{ra}^s 928 de estimación de la componente α de corriente del rotor en el marco de referencia estacionario. Los valores de la señal 928 se representan por la ecuación:

$$i_{ra}^s \text{ 928} = |i_r^s| \text{ 922} * \cos p1 \dots\dots\dots(10)$$

55 El bloque 926 de función se configura para generar y transmitir una primera señal i_{rb}^s 930 de estimación de la componente β de corriente del rotor en el marco de referencia estacionario. Los valores de la señal 930 se representan por la ecuación:

$$i_{r\beta}^s 930 = |i_r^s| 922 * \text{sen}\rho 1 \dots \dots \dots (11)$$

5 El módulo 900 incluye además un tercer bloque 932 de función sumadora acoplado en comunicación electrónica de datos con el bloque 924 de función, en el que el bloque 932 de función se configura para recibir la señal 928 y una segunda señal $i_{r\alpha}^s$ 934 de estimación de la componente α de la corriente del rotor, en el que la señal 934 hace referencia al marco de referencia estacionario y es sustancialmente similar a la señal 740 (que se muestra en las Figuras 6 y 7). El bloque 932 de función se configura también para restar la señal 934 de la señal 928 para generar y transmitir un diferencial de señal $\Delta i_{r\alpha}^s$ 936 de la componente α de la corriente del rotor.

10 De manera similar, el módulo 900 incluye también un cuarto bloque 938 de función sumadora acoplado en comunicación electrónica de datos con el bloque 926 de función. El bloque 938 de función se configura para recibir la señal 930 y una segunda señal $i_{r\beta}^s$ 940 de estimación de la componente β de la corriente del rotor, en el que la señal 940 hace referencia al marco de referencia estacionario y es sustancialmente similar a la señal 742 (que se muestra en las Figuras 6 y 7). El bloque 938 de función se configura también para restar la señal 940 de la señal 930 para generar y transmitir un diferencial de señal $\Delta i_{r\beta}^s$ 942 de la componente β de la corriente del rotor.

15 El módulo 900 incluye además un filtro 943 de paso bajo (LPF) que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 932 y 938 de función. El LPF 943 se configura para facilitar la transmisión de porciones de baja frecuencia predeterminadas de las señales 936 y 942, atenuar las porciones de alta frecuencia predeterminadas de las señales 936 y 942, y generar un diferencial de señal $\Delta i_{r\alpha}^s$ 944 de la componente α de la corriente del rotor de baja frecuencia (LF) y un diferencial de señal $\Delta i_{r\beta}^s$ 945 de la componente β de la corriente del rotor de LF.

20 El módulo 900 incluye también un bloque 946 de función PI acoplado en comunicación electrónica de datos con el LPF 943. El módulo 946 se configura para recibir las señales 944 y 945 y utilizar algoritmos proporcionales e integrales (no mostrados) para generar y transmitir una señal $u_{s\alpha}^{\text{Corr}}$ 947 de corrección de la componente α de la tensión del estator integral y una señal $u_{s\beta}^{\text{Corr}}$ 948 de corrección de la componente β de la tensión del estator integral.

25 El módulo 900 incluye además un quinto bloque 950 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 917 y 946 de función. El bloque 950 de función se configura para recibir y sumar las señales 918 y 947 y generar y transmitir una señal $e_{s\alpha}$ 952 de la componente α de EMF posterior del estator corregida. Del mismo modo, el módulo 900 incluye un sexto bloque 954 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 919 y 946 de función. El bloque 954 de función se configura para recibir y sumar las señales 920 y 948 para generar y transmitir una señal $e_{s\beta}$ 956 de la componente β de EMF posterior del estator corregida.

30 El módulo 900 incluye también un bloque 958 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 950 y 954 de función, en el que el módulo 958 se configura para recibir las señales 952 y 956, respectivamente. El bloque 958 se configura también para integrar la señal 952 en un intervalo predeterminado, y generar y transmitir una señal $\psi_{s\alpha}^{\text{Int}}$ 960 de la componente α del flujo del estator integrada ejemplar. Del mismo modo, el bloque 958 se configura para integrar la señal 956 durante un intervalo predeterminado, y generar y transmitir una señal $\psi_{s\beta}^{\text{Int}}$ 962 de la componente β del flujo del estator integrada ejemplar. El bloque 958 de función integradora incluye una deriva, o desfase inherente, que se puede acumular progresivamente a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 900. Por lo tanto, las señales 947 y 948 corrigen tales desfases, facilitando de este modo la mitigación de la acumulación de errores.

35 40 Un procedimiento ejemplar del montaje de máquina eléctrica, o generador 118 (mostrado en las Figuras 2 y 3) se proporciona. El generador 118 incluye estator 120 que se extiende al menos parcialmente alrededor del rotor 122 (ambos mostrados en las Figuras 2 y 3). El generador 118 se acopla eléctricamente a un sistema de potencia eléctrica (no mostrado) a través del bus 242 de red (que se muestra en las Figuras 2, 3, y 4). El sistema de potencia eléctrica transmite al menos una fase de la potencia eléctrica hacia y desde el generador 118 con al menos una conversión de potencia parcial. El procedimiento incluye la programación de al menos un procesador, o del controlador 202 (que se muestra en las Figuras 2 y 3) con un esquema de estimación del vector de flujo del estator, o del módulo 726 (mostrado en las Figuras 6 y 7) para generar al menos una señal 918 y/o 920 de la fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator y para generar al menos una señal 960 y/o 962 del vector de flujo del estator utilizando al menos una señal 918 y/o 920 de la EMF posterior del estator. Al menos una señal 960 y/o 962 del vector de flujo del estator representa al menos parcialmente la posición 620 estimada del rotor (que se muestra en la Figura 5). El procedimiento incluye también acoplar al menos un dispositivo de salida, o el conjunto 210 de conversión de potencia (mostrado en las Figuras 2 y 3) en comunicación de datos con el controlador 202.

45 50 55 Durante la operación, el módulo 900 de estimación del flujo del estator ejemplar facilita estimaciones del flujo del estator que, a su vez, facilita la determinación de la posición ϵ 620 del rotor. La pluralidad de sensores 901 de tensión del estator generan y transmiten la señal u_{sAB} 902 del vector de tensión del estator que se define como una señal sustancialmente representativa de una diferencia de tensión entre las fases A y B del estator. Los sensores 901 generan y transmiten también la señal u_{sBC} 903 del vector de tensión del estator que se define como una señal sustancialmente representante de un diferencial de tensión entre las fases B y C del estator. Las señales 902 y 903 se transmiten al primer bloque 904 de función de transformación de coordenadas para generar la señal $u_{s\alpha}^{\text{fbk}}$ 905 de la componente α retroalimentación (fbk) de tensión del estator y la señal $u_{s\beta}^{\text{fbk}}$ 906 de la componente β de

retroalimentación (fbk) de tensión del estator en el sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 602 del estator y el eje β 604 del estator.

5 También, en operación, los sensores 907 de corriente generan y transmiten una señal (i_{rA}) 908 de corriente del estator de fase A, una señal (i_{sB}) 909 de corriente del estator de fase B, y una señal (i_{sC}) 910 de corriente del estator de fase C al segundo bloque 911 de función de transformación de coordenadas. El bloque 911 de función genera la señal $i_{s\alpha}^{fbk}$ 912 de la componente α de retroalimentación (fbk) de corriente del estator y la señal $i_{s\beta}^{fbk}$ 913 de la componente β de retroalimentación (fbk) de corriente del estator en el sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 602 del estator y el eje β 604 del estator. El bloque 911 de función las transmite señales 912 y 913 al bloque 914 de función multiplicadora que recibe también la señal R_s 732 de resistencia del estator procedente del registro R_s 733 de resistencia del estator, en el que el bloque 914 de función multiplica las señales 912 y 913 por la señal 732 y uno negativo (-1) y genera y transmite la señal 915 producto $-i_{s\alpha}^{fbk} * R_s$ y la señal 916 producto $-i_{s\beta}^{fbk} * R_s$.

15 Además, durante la operación, el primer bloque 917 de función sumadora recibe y suma las señales 905 y 915, y después genera y transmite la señal $e_{s\alpha}$ 918 de la componente α de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator. De forma similar el segundo bloque 919 de función sumadora recibe y suma las señales 906 y 916 y genera y transmite una señal $e_{s\beta}$ 920 de la componente β de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

20 Por otra parte, durante la operación, el módulo 900 recibe la recibe la señal $|i_r|$ 921 de la magnitud de corriente del rotor, según se ha medido en el marco de giro de referencia que se transmite al bloque 922 de función de la relación de vueltas, que es a su vez divide la señal 921 entre una relación de vueltas del devanado de devanado a rotor, y genera y transmite una señal $|i_r^s|$ 923 de estimación de la magnitud de corriente del rotor. La señal 923, que representa una magnitud de corriente eléctrica del rotor en el marco de referencia estacionario, se transmite al bloque 924 de función de la componente α de corriente del rotor y al bloque 926 de función de la componente β de corriente del rotor. El bloque 924 de función genera y transmite una primera señal $i_{r\alpha}^s$ 928 de estimación de la componente α de corriente del rotor en el marco de referencia estacionario y el bloque 926 de función genera y transmite una primera señal $i_{r\beta}^s$ 930 de estimación de la componente β de corriente del rotor, en el que ambas señales 928 y 930 están referenciadas al marco de referencia estacionario.

30 Además, durante la operación, el tercer bloque 932 de función sumadora recibe la señal 928 y la segunda señal $i_{r\alpha}^s$ 934 de estimación de la componente α de la corriente del rotor, en el que la señal 934 hace referencia al marco de referencia estacionario y es sustancialmente similar a la señal 740 (que se muestra en las Figuras 6 y 7). El bloque 932 de función resta la señal 934 de la señal 928 para generar y transmitir un diferencial de señal $\Delta i_{r\alpha}^s$ 936 de la componente α de la corriente del rotor. De forma similar, el cuarto bloque 938 de función sumadora recibe la señal 930 y la segunda señal $i_{r\beta}^s$ 940 de estimación de la componente β de la corriente del rotor, en el que la señal 940 hace referencia al marco de referencia estacionario y es sustancialmente similar a la señal 742 (que se muestra en las Figuras 6 y 7). El bloque 938 de función se configura también para restar la señal 940 de la señal 930 para generar y transmitir un diferencial de señal $\Delta i_{r\beta}^s$ 942 de la componente β de la corriente del rotor.

Además, durante la operación, filtro 943 de paso bajo (LPF) recibe las señales 936 y 942 y transmite las porciones de baja frecuencia predeterminadas de las señales 936 y 942, mientras atenúa las porciones de alta frecuencia predeterminadas de las señales 936 y 942.

40 En concreto, el LPF 943 genera una señal $\Delta i_{r\alpha}^s$ 944 de la componente α de la corriente del rotor de baja frecuencia (LF) y una señal $\Delta i_{r\beta}^s$ 945 de la componente β de la corriente del rotor de LF al bloque 946 de función PI. El módulo 946 recibe las señales 944 y 945 y utiliza algoritmos proporcionales e integrales para generar y transmitir la señal $u_{s\alpha}^{Corr}$ 947 de corrección de la componente α de la tensión del estator integral y la señal $u_{s\beta}^{Corr}$ 948 de corrección de la componente β de la tensión del estator integral.

45 Por otra parte, durante la operación, el quinto bloque 950 de función sumadora recibe y suma las señales 918 y 947 y genera y transmite una señal $e_{s\alpha}$ 952 de la componente α de EMFposterior del estator corregida. Del mismo modo, el sexto bloque 954 de función sumadora recibe y suma las señales 920 y 948 para generar y transmitir una señal $e_{s\beta}$ 956 de la componente β de EMFposterior del estator corregida. El bloque 958 de función integradora recibe las señales 952 y 956, e integra las señales 952 y 956 en un intervalo predeterminado, y genera y transmite la señal $\psi_{s\alpha}^{int}$ 960 de la componente α del flujo del estator integrada ejemplar y la señal $\psi_{s\beta}^{int}$ 962 de la componente β del flujo del estator integrada ejemplar. El bloque 958 de función integradora incluye una deriva, o desfase inherente, que se puede acumular progresivamente a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 900. Por lo tanto, las señales 947 y 948 corrigen tales desfases, facilitando de este modo la mitigación de la acumulación de errores. El efecto técnico de operación del módulo 900 de estimación del flujo del estator ejemplar, tal como se utiliza con sistema 300 de estimación de la posición del rotor, la lógica 700 ejemplar y la lógica 800 alternativa, es generar y transmitir señales 960 y 962 del flujo del estator integradas. Las señales 960 y 962 se procesan en otra porción dentro de la lógica 700 o la lógica 800, y/o el sistema 300 para generar en última instancia, una indicación de velocidad del rotor estimada.

La Figura 9 es una vista esquemática de un módulo 1000 de estimación del flujo del estator alternativo que se puede utilizar con el sistema 300 de estimación de la posición del rotor para estimar un flujo del estator para determinar una posición ϵ 620 del rotor (mostrado en la Figura 5). En la realización ejemplar, el módulo 1000 está integrado dentro de la lógica 700. Como alternativa, el módulo 1000 está integrado dentro de la lógica 800. El módulo 1000 incluye una porción ψ_{sAB} 1001 de la componente A-B del flujo. La porción 1001 incluye un primer bloque 1002 de función sumadora que se configura para recibir la señal ϵ'_{sAB} 1004 de la componente A-B de la fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator, que puede incluir un desfase inherente. La señal 1004 se calcula con las señales 902, 908, 909 y 732 (todas se muestran en la Figura 8) utilizando el siguiente algoritmo:

$$e'_{sAB} 1004 = u_{sAB} 902 - (i_{sA} 908 - i_{sB} 909) * R_s 732 \dots \dots \dots (12)$$

El bloque 1002 de función se configura para restar un valor de desfase (descrito más adelante) de la señal 1004 para generar la señal e_{sAB} 1006 de la componente A-B de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

La porción 1001 incluye también un primer bloque 1008 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1002 de función y se configura para recibir la señal 1006. El bloque de función 1008 se configura también para integrar la señal 1006 sobre un intervalo predeterminado utilizando algoritmos de integración puros y generar y transmitir una señal ψ_{sAB} 1010 de la componente A-B del flujo del estator integrada ejemplar. El bloque 1008 de función integradora puede acumular progresivamente la deriva, o desfase a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 1000 si la señal 1006 incluye una deriva, o desfase inherente. Por lo tanto, el módulo 1000 incluye en características de corrección de desfase, facilitando de este modo la mitigación de la acumulación de errores.

La porción 1001 incluye además un segundo bloque 1012 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1008 de función y se configura para recibir la señal 1010. El bloque 1012 de función se configura también para recibir una señal ψ_{sAB}^{Corr} 1020 de retroalimentación de corrección (o desfase) A-B del flujo del estator (descrita más adelante) a través de un canal ψ_{sAB}^{Corr} 1021 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator. El bloque 1012 de función se configura además para restar la señal 1020 de retroalimentación de la señal 1010 y generar y transmitir una señal 1014 de la componente A-B del flujo del estator corregida. Los bloques 1012 y 1018 de función (ambos descritos más adelante), y el canal 1021 de retroalimentación se configuran para formar un filtro 1023 de paso bajo de la componente A-B de flujo del estator para generar y transmitir la señal ψ_{sAB}^{Corr} 1020 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator incluida en la señal ψ_{sAB} 1010 de la componente A-B del flujo del estator integrada ejemplar.

La porción 1001 incluye también un primer conmutador 1016 virtual que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1012 de función. El conmutador 1016 se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1012 de función y, por lo general, la señal 1014 se transmite a través conmutador 1016 virtual. En la realización ejemplar, el conmutador 1016 virtual, que funciona como un conmutador de modos, está normalmente cerrado y se configura para abrirse durante los períodos donde los desequilibrios de tensión del estator trifásico exceden un parámetro predeterminado. Específicamente, el conmutador 1016 se configura para abrirse durante los eventos que incluyen, pero no se limitan a, transitorios de huecos de tensión cero (ZVRT) y de huecos de baja tensión (LVRT). Como alternativa, el conmutador 1016 virtual se configura para abrir y cerrarse bajo cualquier condición que facilite la operación del módulo 1000 como se describe en la presente memoria.

La porción 1001 incluye además un segundo bloque 1018 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el conmutador 1016 y se configura para recibir la señal 1014. El bloque 1018 de función es similar al bloque de función 1008 con la excepción de que el bloque 1018 de función se configura con al menos una constante de tiempo de integración (no mostrada). La constante del tiempo de integración facilita la discriminación del desfase incluido en la señal 1014 de la componente A-B del flujo del estator corregida.

La porción 1001 incluye también un segundo conmutador 1022 virtual que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1018 de función. El conmutador 1022 es sustancialmente similar al conmutador 1016 descrito anteriormente. Típicamente, la señal 1020 se transmite a través conmutador 1022 virtual. En la realización ejemplar, conmutador 1022 virtual, que funciona como un conmutador de modo, está normalmente cerrada y se configura para abrirse durante los períodos donde los desequilibrios de tensión del estator trifásico exceden un parámetro predeterminado. Específicamente, el conmutador 1022 se configura para abrirse durante los eventos que incluyen, pero no se limitan a, transitorios de huecos de tensión cero ZVRT y LVRT. Como alternativa, el conmutador 1022 virtual se configura para abrir y cerrarse bajo cualquier condición que facilite la operación del módulo 1000 como se describe en la presente memoria.

La porción 1001 incluye además un tercer bloque 1024 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el conmutador 1022 y se configura para recibir la señal 1020. El bloque 1024 de función es similar al bloque 1018 de función, incluyendo el bloque 1024 de función que se configura con al menos una constante de tiempo de integración (no mostrada). La constante de tiempo de integración facilita la integración de la señal 1020. El bloque 1024 de función se configura para generar y transmitir una señal ψ_{sAB}^{Corr} 1026 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator integrada a través de un canal ψ_{sAB}^{Corr} 1027 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator integrado.

Como se ha descrito anteriormente, además de los bloques 1018 y 1024 de función integradora unidos, el módulo 1000 de estimación del flujo del estator alternativo incluye características de desfase de retroalimentación para limitar aún más la deriva dentro del módulo 1000. Por otra parte, la porción 1001 incluye un tercer bloque 1028 de función sumadora que se acopla en comunicación de datos electrónica con los bloques 1018 y 1024 de función y se configura para recibir y sumar las señales 1020 y 1026, y, posteriormente, generar y transmitir una señal $u_{sAB}^{Desfase}$ 1030 A-B de la tensión del estator. Por lo tanto, los bloques 1024 y 1028 de función, y los canales 1021 y 1027 forman un regulador 1029 proporcional-integral (PI) que genera una salida de la señal 1030 de desfase de tensión con la señal 1020 de desfase de flujo como la entrada. Adicionalmente, el primer bloque 1002 de función sumadora se acopla en comunicación electrónica de datos con el tercer bloque 1028 de función sumadora y se configura para recibir la señal 1030 y restar la señal 1030 de la señal 1004 para generar y transmitir la señal 1006.

El módulo 1000 incluye también una porción ψ_{sBC} 1051 de la componente B-C del flujo del estator integrada. La porción 1051 incluye un cuarto bloque 1052 de función sumadora que se configura para recibir una señal e'_{sBC} 1054 de la componente B-C de la fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator, que puede incluir un desfase inherente. La señal 1054 se calcula con las señales 902, 908, 909 y 732 (todas se muestran en la Figura 8) utilizando el siguiente algoritmo:

$$e'_{sBC} 1054 = u_{sBC} 903 - (i_{sB} 909 - i_{sC} 910) * R_s 732 \dots \dots \dots (13)$$

El bloque 1052 de función se configura para restar un valor de desfase (descrito más adelante) de la señal 1054 para generar la señal e_{sBC} 1056 de la componente B-C de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

La porción 1051 incluye también un cuarto bloque 1058 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1052 de función y se configura para recibir la señal 1056. El bloque de función 1058 se configura también para integrar la señal 1056 sobre un intervalo predeterminado utilizando algoritmos de integración puros, y generar y transmitir una señal ψ_{sBC} 1010 de la componente B-C del flujo del estator integrada ejemplar. El bloque 1058 de función integradora puede acumular progresivamente la deriva, o desfase a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 1000 si la señal 1056 incluye una deriva, o desfase inherente. Por lo tanto, el módulo 1000 incluye en características de corrección de desfase, facilitando de este modo la mitigación de la acumulación de errores.

La porción 1051 incluye además un quinto bloque 1062 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1058 de función y se configura para recibir la señal 1060. El bloque 1062 de función se configura también para recibir una señal ψ_{sBC}^{Corr} 1070 de retroalimentación de corrección (o desfase) B-C del flujo del estator (descrita más adelante) a través de un canal ψ_{sBC}^{Corr} 1071 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator. El bloque 1062 de función se configura además para restar la señal 1070 de retroalimentación de la señal 1060 y generar y transmitir una señal 1064 de la componente B-C del flujo del estator corregida. Los bloques 1062 y 1068 de función (ambos descritos más adelante), y el canal 1071 de retroalimentación se configuran para formar un filtro 1073 de paso bajo de la componente B-C de flujo del estator para generar y transmitir la señal ψ_{sBC}^{Corr} 1070 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator incluida en la señal ψ_{sBC} 1060 de la componente B-C del flujo del estator integrada.

La porción 1051 incluye también un primer conmutador 1066 virtual que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1062 de función. El conmutador 1066 se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1062 de función y, por lo general, la señal 1064 se transmite a través conmutador 1066 virtual. En la realización ejemplar, el conmutador 1066 virtual, que funciona como un conmutador de modos, está normalmente cerrado y se configura para abrirse durante los periodos donde los desequilibrios de tensión del estator trifásico exceden un parámetro predeterminado. Específicamente, el conmutador 1066 se configura para abrirse durante los eventos que incluyen, pero no se limitan a, transitorios de ZVRT y LVRT. Como alternativa, el conmutador 1016 virtual se configura para abrir y cerrarse bajo cualquier condición que facilite la operación del módulo 1000 como se describe en la presente memoria.

La porción 1051 incluye además un quinto bloque 1068 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el conmutador 1066 y se configura para recibir la señal 1064. El bloque 1068 de función es similar al bloque de función 1058 con la excepción de que el bloque 1068 de función se configura con al menos una constante de tiempo de integración (no mostrada). La constante del tiempo de integración facilita la discriminación del desfase incluido en la señal 1064 de la componente B-C del flujo del estator corregida.

La porción 1051 incluye también un cuarto conmutador 1072 virtual que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1068 de función. El conmutador 1072 es sustancialmente similar al conmutador 1066 descrito anteriormente. Típicamente, la señal 1070 se transmite a través conmutador 1072 virtual. En la realización ejemplar, conmutador 1072 virtual, que funciona como un conmutador de modo, está normalmente cerrada y se configura para abrirse durante los periodos donde los desequilibrios de tensión del estator trifásico exceden un parámetro predeterminado. Específicamente, el conmutador 1072 se configura para abrirse durante los eventos que incluyen, pero no se limitan a, transitorios de huecos de tensión cero ZVRT y LVRT. Como alternativa, el conmutador 1072 virtual se configura para abrir y cerrarse bajo cualquier condición que facilite la operación del módulo 1000 como se describe en la presente memoria.

La porción 1051 incluye además un sexto bloque 1074 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el conmutador 1072 y se configura para recibir la señal 1070. El bloque 1074 de función es similar al bloque de función 1068, incluyendo el bloque 1074 de función que se configura con al menos una constante de tiempo de integración (no mostrada). La constante de tiempo de integración facilita la integración de la señal 1070. El bloque 1074 de función se configura para generar y transmitir una señal ψ_{sBC}^{Corr} 1076 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator integrada a través de un canal ψ_{sBC}^{Corr} 1077 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator integrado.

Como se ha descrito anteriormente, además de los bloques 1068 y 1074 de función integradora unidos, el módulo 1000 de estimación del flujo del estator alternativo incluye características de desfase de retroalimentación para limitar aún más la deriva dentro del módulo 1000. Por otra parte, la porción 1051 incluye un sexto bloque 1078 de función sumadora que se acopla en comunicación de datos electrónica con los bloques 1068 y 1074 de función y se configura para recibir y sumar las señales 1020 y 1026, y, posteriormente, generar y transmitir una señal $u_{sBC}^{Desfase}$ 1070 B-C de la tensión del estator. Por lo tanto, los bloques 1074 y 1078 de función, y los canales 1071 y 1077 forman un regulador 1079 proporcional-integral (PI) que genera una salida de la señal 1080 de desfase de tensión con la señal 1070 de desfase de flujo como la entrada. Adicionalmente, el cuarto bloque 1052 de función sumadora se acopla en comunicación electrónica de datos con el sexto bloque 1078 de función sumadora y se configura para recibir la señal 1080 y restar la señal 1080 de la señal 1054 para generar y transmitir la señal 1056.

El módulo 1000 incluye también un bloque 1082 de función de transformación de coordenadas que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 1008 y 1058 de función se configura para recibir las señales 1010 y 1082 transmitidas desde los bloques 1008 y 1058, respectivamente. Por otra parte, el bloque 1082 de función se configura para utilizar al menos un algoritmo (no mostrado) para generar una señal $\psi_{s\alpha}$ 1084 de la componente α del flujo del estator alternativa y una señal $\psi_{s\beta}$ 1086 de la componente β del flujo del estator alternativa. Los ejes 602 y 604 representan el marco de referencia estacionario asociado con el estator 120 (que se muestra en las Figuras 2 y 3). Como se ha descrito anteriormente, el eje α 602 es ortogonal al eje β 604.

Durante la operación, el primer bloque 1002 de función sumadora recibe la señal e'_{sAB} 1004 de la componente A-B de la fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator que puede incluir un desfase inherente. El bloque 1002 de función resta la señal $u_{sAB}^{Desfase}$ 1030 de desfase A-B de la tensión del estator de la señal 1004 para generar para generar la señal e_{sAB} 1006 de la componente A-B de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator. El primer bloque 1008 de función integradora recibe la señal 1006 e integra la señal 1006 en un intervalo predeterminado utilizando algoritmos de integración puros y genera y transmite una señal ψ_{sAB} 1010 de la componente A-B del flujo del estator integrada ejemplar. El bloque 1008 de función integradora puede acumular progresivamente la deriva, o desfase a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 1000 si la señal 1006 incluye una deriva, o desfase inherente. Las características de corrección de desfase descritas anteriormente facilitan adicionalmente la mitigación de la acumulación de errores.

También, durante la operación, el filtro 1023 de paso bajo de la componente A-B de flujo del estator (incluyendo los bloques 1012 y 1018 de función, y el canal 1021 de retroalimentación) recibe la señal 1010 y genera y transmite la señal ψ_{sAB}^{Corr} 1020 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator incluida en la señal 1010. El segundo bloque 1012 de función sumadora recibe la señal 1010, así como la señal 1020 y resta la señal 1020 de la señal 1010 para generar y transmitir una señal 1014 de la componente A-B del flujo del estator corregida. Típicamente, la señal 1014 se transmite a través del primer conmutador 1016 virtual que, en la realización ejemplar, funciona como un conmutador de modo y está normalmente cerrado. El conmutador 1016 se abre durante los períodos durante los períodos donde los desequilibrios de tensión del estator trifásico exceden un parámetro predeterminado. Específicamente, el conmutador 1016 se abre durante los transitorios de ZVRT y LVRT. Cuando el conmutador 1016 se abre, el bloque 1018 de función continúa transmitiendo una señal 1020 sustancialmente estática

Además, durante la operación, el segundo bloque 1018 de función integradora recibe la señal 1014 e integra la señal 1014 utilizando al menos una constante de tiempo de integración. La constante de tiempo de integración facilita la discriminación del desfase incluido en la señal 1014 de la componente A-B del flujo del estator corregida.

Por otra parte, durante la operación, el segundo conmutador 1022 virtual está normalmente cerrado y la señal 1020 se transmite a través conmutador 1022 virtual. En la realización ejemplar, el conmutador 1022 virtual, que funciona como un conmutador de modo, se abre durante los donde los desequilibrios de tensión trifásica del estator exceden un parámetro predeterminado. En concreto, el conmutador 1022 se abre durante los transitorios de ZVRT y LVRT. El tercer bloque 1024 de función integradora recibe la señal 1020 cuando el conmutador 1022 se cierra. El bloque 1024 de función integra la señal 1020 utilizando al menos una constante de tiempo de integración lo que facilita la integración de la señal 1020. Por lo tanto, tal constante de tiempo de integración facilita las características de corrección de desfase y facilita la mitigación de la acumulación de errores. El bloque 1024 de función genera y transmite una señal ψ_{sAB}^{Corr} 1026 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator integrada. Cuando el conmutador 1022 está abierto, el bloque 1024 de función sigue transmitiendo una señal 1026 sustancialmente estática.

Además, durante la operación, el regulador 1029 PI (que incluye el tercer bloque 1028 de función sumadora, el bloque 1024 de función, y los canales 1021 y 1027) recibe la señal 1020 y posteriormente genera y transmite una

señal $u_{sAB}^{Desfase}$ 1030 A-B de la tensión del estator al bloque 1002 de función.

Adicionalmente, durante la operación, el cuarto bloque 1052 de función sumadora recibe una señal e'_{sBC} 1054 de la componente B-C de la fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator que puede incluir un desfase inherente. El bloque 1052 de función resta la señal $u_{sBC}^{Desfase}$ 1080 de desfase B-C de la tensión del estator de la señal 1054 para generar para generar la señal e_{sAB} 1056 de la componente B-C de la fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator. El cuarto bloque 1058 de función integradora recibe la señal 1056 e integra la señal 1056 en un intervalo predeterminado utilizando algoritmos de integración puros y genera y transmite una señal ψ_{sBC} 1060 de la componente B-C del flujo del estator integrada. El bloque 1058 de función integradora puede acumular progresivamente la deriva, o desfase a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 1000 si la señal 1056 incluye una deriva, o desfase inherente. Las características de corrección de desfase descritas anteriormente facilitan adicionalmente la mitigación de la acumulación de errores.

Por otra parte, durante la operación, el filtro 1073 de paso bajo de la componente A-B de flujo del estator (incluyendo los bloques 1062 y 1068 de función, y el canal 1071 de retroalimentación) recibe la señal 1060 y genera y transmite la señal ψ_{sBC}^{Corr} 1070 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator incluida en la señal 1060. El segundo bloque 1062 de función sumadora recibe la señal 1060, así como la señal 1070 y resta la señal 1070 de la señal 1060 para generar y transmitir una señal 1064 de la componente B-C del flujo del estator corregida. Típicamente, la señal 1064 se transmite a través del primer conmutador 1066 virtual que, en la realización ejemplar, funciona como un conmutador de modo y está normalmente cerrado. El conmutador 1066 se abre durante los períodos durante los períodos donde los desequilibrios de tensión del estator trifásico exceden un parámetro predeterminado. Específicamente, el conmutador 1066 se abre durante los transitorios de ZVRT y LVRT. Cuando el conmutador 1066 se abre, el bloque 1068 de función continúa transmitiendo una señal 1070 sustancialmente estática

Adicionalmente, durante la operación, el quinto bloque 1068 de función integradora recibe la señal 1064 e integra la señal 1064 utilizando al menos una constante de tiempo de integración. La constante de tiempo de integración facilita la discriminación del desfase incluido en la señal 1064 de la componente B-C del flujo del estator corregida.

Por otra parte, durante la operación, el cuarto conmutador 1072 virtual está normalmente cerrado y la señal 1070 se transmite a través conmutador 1072 virtual. En la realización ejemplar, el conmutador 1072 virtual, que funciona como un conmutador de modo, se abre durante los donde los desequilibrios de tensión trifásica del estator exceden un parámetro predeterminado. En concreto, el conmutador 1072 se abre durante los transitorios de ZVRT y LVRT. El sexto bloque 1074 de función integradora recibe la señal 1070 cuando el conmutador 1072 se cierra. El bloque 1074 de función integra la señal 1070 utilizando al menos una constante de tiempo de integración lo que facilita la integración de la señal 1070. Por lo tanto, tal constante de tiempo de integración facilita las características de corrección de desfase y facilita la mitigación de la acumulación de errores. El bloque 1074 de función genera y transmite una señal ψ_{sBC}^{Corr} 1076 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator integrada. Cuando el conmutador 1072 está abierto, el bloque 1074 de función sigue transmitiendo una señal 1076 sustancialmente estática.

Además, durante la operación, el regulador 1079 PI (que incluye el sexto bloque 1078 de función sumadora, el bloque 1074 de función, y los canales 1071 y 1077) recibe la señal 1070 y posteriormente genera y transmite una señal $u_{sBC}^{Desfase}$ 1030 B-C de la tensión del estator al bloque 1052 de función.

Adicionalmente, el bloque 1082 de función de transformación de coordenadas recibe las señales 1010 y 1082 transmitidas desde los bloques 1008 y 1058, respectivamente. Por otra parte, el bloque 1082 de función genera una señal $\psi_{s\alpha}$ 1084 de la componente α del flujo del estator alternativa y una señal $\psi_{s\beta}$ 1086 de la componente β del flujo del estator alternativa. Las señales 1084 y 604 están referenciadas al sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 602 del estator y el eje β 604 del estator.

Durante la operación normal, los conmutadores 1016, 1022, 1066 y 1072 están normalmente cerrados como se ha descrito anteriormente. Estos conmutadores facilitan la generación de las señales 1020, 1026, 1030, 1070, 1076 y 1080 de corrección de desfase dinámicas. Durante los transitorios ZVRT y LVRT, los conmutadores 1016, 1022, 1066 y 1072 están típicamente abiertos y las señales 1020, 1026, 1030, 1070, 1076 y 1080 de corrección de desfase dinámicas no se generan. En cambio, se generan las señales 1020, 1026, 1030, 1070, 1076 y 1080 de corrección de desfase estáticas. Por lo tanto, durante tales transitorios, las señales 1010 y 1060 se generan y se transmiten desde los bloques 1008 y 1058 de función, respectivamente, con correcciones y desfases sustancialmente constantes. Estas acciones mitigan sustancialmente los valores dinámicos de las señales 1010 y 1060, lo que facilita la posterior estabilización de la velocidad del rotor y las determinaciones de posición y sus características de control de la turbina de viento asociada. El efecto técnico de la operación del módulo 1000 de estimación del flujo del estator alternativo, tal como se utiliza con el sistema 300 de estimación de la posición del rotor, la lógica 700 ejemplar y la lógica 800 alternativa, es generar y transmitir señales 1084 y 1086 de flujo del estator integradas. Las señales 1084 y 1086 se procesan en otra porción dentro de la lógica 700 o la lógica 800, y/o el sistema 300 para generar en última instancia, una indicación de velocidad del rotor estimada.

La Figura 10 es una vista esquemática de un esquema 1100 de corrección de desfase de corriente y tensión que se puede utilizar con el sistema 300 estimación de la posición del rotor. En la realización ejemplar, el esquema 1100 está integrado dentro de la lógica 700. Como alternativa, el esquema 1100 está integrado dentro de la lógica 800. El esquema 1100 se configura para generar y transmitir la señal $u_{s\alpha}^{fbk}$ 905 de la componente α de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator, la señal $u_{s\beta}^{fbk}$ 906 de la componente β de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator, la señal $i_{s\alpha}^{fbk}$ 912 de la componente α de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator y la señal $i_{s\beta}^{fbk}$ 913 de la componente β de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator, en el que las cuatro señales están referenciadas al sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 602 del estator y el eje β 604 del estator (ambos mostrados en la Figura 5). Las señales 905, 906, 912 y 913 se generan con los sensores 901 y 907 de corriente y de tensión del estator, respectivamente, y los bloques 904 y 911 de función de transformación de coordenadas, respectivamente, como se ha descrito anteriormente.

En particular, el esquema 1100 se configura para recibir la señal $u_{s\alpha}^{fbk}$ 905 de la componente α de retroalimentación de la tensión del estator. El esquema 1100 incluye un primer contactor 1102 virtual que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 904 de función. El esquema 1100 incluye también un primer filtro 1104 de paso bajo (LPF) que se acopla en comunicación electrónica de datos con el primer contactor 1102 virtual y, por lo general, la señal 905 se transmite a través contactor 1102 virtual. En la realización ejemplar, contactor 1102 virtual, que funciona como un conmutador de modo, está normalmente cerrado y se configura para abrirse durante los períodos donde los desequilibrios de tensión del estator trifásico exceden un parámetro predeterminado. Específicamente, el contactor 1102 se configura para abrirse durante los eventos que incluyen, pero no se limitan a, transitorios de huecos de tensión cero (ZVRT) y de huecos de baja tensión (LVRT). Como alternativa, el contactor 1102 se configura para abrir y cerrarse bajo cualquier condición que facilite la operación del esquema 1100 como se describe en la presente memoria.

El LPF 1104 se configura para facilitar la transmisión de porciones de baja frecuencia predeterminadas de la señal 905, atenuar las porciones de alta frecuencia predeterminadas de la señal 905, y generar una señal $u_{s\alpha}^{desfase}$ 1106 de la componente α de desfase del sensor de tensión del estator. La señal 1106 representa un valor de desfase del sensor de tensión conocido que se utiliza para corregir la salida del sensor, facilitando así una mayor exactitud y precisión del sistema 300 de estimación de la posición del rotor. Esquema 1100 incluye además un primer bloque 1008 de función sumadora que se configura para recibir la señal 905 y la señal 1106, restar la señal 1106 de la señal 905 y generar y transmitir una señal $u_{s\alpha}$ 1110 de la componente α de tensión del estator. El contactor 1102 virtual se configura de tal manera que, en el caso de condiciones de desequilibrio de tensión del estator trifásico, el contactor 1102 virtual se abre y la señal 1106 se mantiene a un valor sustancialmente similar a un valor de la señal 1106 al momento en que contactor 1102 virtual se abre.

El esquema 1100 incluye una configuración similar para recibir la señal $u_{s\beta}^{fbk}$ 906 de la componente β de retroalimentación de la tensión del estator. Específicamente, el esquema 1100 incluye también un segundo contactor 1112 virtual que es sustancialmente similar al primer contactor 1102 virtual. El esquema 1100 incluye además un segundo LPF 1114 que es sustancialmente similar al LPF 1104 y se configura para generar una señal $u_{s\beta}^{desfase}$ 1116 de la componente β de desfase del sensor de tensión del estator. El esquema 1100 incluye también un segundo bloque 1118 de función sumadora configurado para recibir la señal 906 y la señal 1116, restar la señal 1116 de la señal 906 y generar y transmitir una señal $u_{s\beta}$ 1120 de la componente β de tensión del estator. De manera similar al contactor 1102, en la realización ejemplar, contactor 1112 virtual, que funciona como un conmutador de modo, está normalmente cerrado y se configura para abrirse durante los períodos donde desequilibrios de tensión del estator trifásico exceden un parámetro predeterminado. Específicamente, el contactor 1112 se configura para abrir durante los eventos que incluyen, pero no se limitan a, transitorios de huecos de tensión cero (ZVRT) y de huecos de baja tensión (LVRT). Como alternativa, el contactor 1112 se configura para abrir y cerrarse bajo cualquier condición que facilite la operación del esquema 1100 como se describe en la presente memoria. Por lo tanto, el contactor 1112 virtual se configura de tal manera que, en el caso de condiciones de desequilibrio de tensión del estator trifásicas, el contactor 1112 virtual se abre y la señal 1116 se mantiene a un valor sustancialmente similar a un valor de la señal 1116 al momento en que contactor 1112 virtual se abre.

Además, específicamente, el esquema 1100 se configura para recibir la señal $i_{s\alpha}^{fbk}$ 912 de la componente α de retroalimentación (fbk) de la corriente del estator. El esquema 1100 incluye un tercer contactor 1122 virtual que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 911 de función. El esquema 1100 incluye también un tercer LPF 1124 que se acopla en comunicación electrónica de datos con tercer contactor 1122 virtual y, por lo general, la señal 912 se transmite a través contactor 1122 virtual. En la realización ejemplar, contactor 1122 virtual, que funciona como un conmutador de modo, está normalmente cerrado y se configura para abrirse durante los períodos donde desequilibrios de tensión del estator trifásico exceden un parámetro predeterminado. Específicamente, el contactor 1122 se configura para abrir durante los eventos que incluyen, pero no se limitan a, transitorios de huecos de tensión cero (ZVRT) y de huecos de baja tensión (LVRT). Como alternativa, el contactor 1122 se configura para abrir y cerrarse bajo cualquier condición que facilite la operación del esquema 1100 como se describe en la presente memoria.

El LPF 1124 se configura para facilitar la transmisión de porciones de baja frecuencia predeterminadas de la señal 912, atenuar las porciones de alta frecuencia predeterminadas de la señal 912, y generar una señal $i_{s\alpha}^{desfase}$ 1116 de

la componente α de desfase del sensor de corriente del estator. La señal 1116 representa un valor de desfase del sensor de tensión conocido que se utiliza para corregir la salida del sensor, facilitando así una mayor exactitud y precisión del sistema 300 de estimación de la posición del rotor. Esquema 1100 incluye además un tercer bloque 1128 de función sumadora que se configura para recibir la señal 912 y la señal 1126, restar la señal 1126 de la señal 912 y generar y transmitir una señal $i_{s\alpha}$ 1130 de la componente α de corriente del estator. El contactor 1122 virtual se configura de tal manera que, en el caso de condiciones de desequilibrio de tensión del estator trifásico, el contactor 1122 virtual se abre y la señal 1126 se mantiene a un valor sustancialmente similar a un valor de la señal 1126 al momento en que contactor 1122 virtual se abre.

El esquema 1100 incluye una configuración similar para recibir la señal $i_{s\beta}^{fbk}$ 913 de la componente β de retroalimentación de la corriente del estator. Específicamente, el esquema 1100 incluye también un cuarto contactor 1132 virtual que es sustancialmente similar al tercer contactor 1122 virtual. El esquema 1100 incluye además un cuarto LPF 1134 que es sustancialmente similar al LPF 1124 y se configura para generar una señal $i_{s\beta}^{desfase}$ 1136 de la componente β de desfase del sensor de corriente del estator. El esquema 1100 incluye también un cuarto bloque 1138 de función sumadora configurado para recibir la señal 913 y la señal 1136, restar la señal 1136 de la señal 913 y generar y transmitir una señal $i_{s\beta}$ 1140 de la componente β de corriente del estator. De manera similar al contactor 1122, en la realización ejemplar, el contactor 1132 virtual, que funciona como un conmutador de modo, está normalmente cerrado y se configura para abrirse durante los periodos donde desequilibrios de tensión del estator trifásico exceden un parámetro predeterminado. Específicamente, el contactor 1132 se configura para abrir durante los eventos que incluyen, pero no se limitan a, transitorios de huecos de tensión cero (ZVRT) y de huecos de baja tensión (LVRT). Como alternativa, el contactor 1132 se configura para abrir y cerrarse bajo cualquier condición que facilite la operación del esquema 1100 como se describe en la presente memoria. Por lo tanto, el contactor 1132 virtual se configura de tal manera que, en el caso de condiciones de desequilibrio de tensión del estator trifásicas, el contactor 1132 virtual se abre y la señal 1136 se mantiene a un valor sustancialmente similar a un valor de la señal 1136 al momento en que contactor 1132 virtual se abre.

Durante la operación, sin desequilibrios de tensión, las señales 905 y 906 de tensión del estator y las señales 912 y 913 de corriente de estator se transmiten a través de los contactores 1102, 1112, 1122, y 1132, respectivamente, a los LPF 1104, 1114, 1124, y 1134, en la que se generan las señales 1106 y 1116 de desfase del sensor de tensión y las señales 1126 y 1136 de desfase del sensor de corriente. Las señales 1106 y 1116 se restan de las señales 905 y 906, respectivamente, para generar la señal 1110 y 1120 de tensión del estator, respectivamente. Del mismo modo, las señales 1126 y 1136 se restan de las señales 912 y 913, respectivamente, para generar la señal 1130 y 1140 de corriente del estator, respectivamente. En el caso de que exista un desequilibrio de tensión, los contactores 1102, 1112, 1122, 1132 virtuales se abren y las señales 1106, 1116, 1126, y 1136 de desfase, respectivamente, se transmiten a sus valores más recientes antes de que se abran nuevamente los contactores 1102, 1112, 1122 y 1132, virtuales, respectivamente. Por otra parte, independientemente del estado de los contactores 1102, 1112, 1122, y 1132, las señales 905, 906, 912, y 913 se hacen pasar a través del esquema 1100, se suman con las señales 1106, 1116, 1126, y 1136, respectivamente, y las señales 1110, 1120, 1130 y 1140, respectivamente, se transmiten para su uso en el sistema 300, como se describe más adelante. El efecto técnico de la operación del esquema 1100 de corrección de desfase de tensión y corriente, tal como se utiliza con el sistema 300 de estimación de la posición del rotor, la lógica 700 ejemplar y la lógica 800 alternativa, es generar y transmitir señales 1110 y 1120 de la componente de tensión del estator, así como señales 1130 y 1140 de la componente de corriente del estator. Las señales 1110, 1120, 1130, y 1140 se procesan en otro lugar dentro de la lógica 700 o de la lógica 800, y/o del sistema 300, tal como se describe más adelante, para generar en última instancia, una indicación de velocidad del rotor estimada.

La Figura 11 es una vista esquemática de otro módulo 1200 de estimación del flujo del estator alternativa que se puede utilizar con el sistema 300 de estimación de la posición del rotor para estimar un flujo del estator para determinar una posición ϵ 620 del rotor (mostrada en la Figura 5). En la realización ejemplar, el módulo 1200 está integrado dentro de la lógica 700. Como alternativa, el módulo 1200 está integrado dentro de la lógica 800. El módulo 1200 incluye un bloque 1202 de función multiplicadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el esquema 1100 de corrección de desfase y se configura para recibir ambas señales 1130 y 1140 que se transmiten desde el esquema 1100. El bloque 1202 de función se configura también para recibir una señal R_s 732 de resistencia del estator que se almacena en un registro R_s 733 de resistencia del estator. El bloque 1202 de función se configura además para multiplicar las señales 1130 y 1140 por la señal 732 y uno negativo (-1) para generar y transmitir una señal 1204 producto $-i_{s\alpha} * R_s$ y una señal 1026 producto $-i_{s\beta}^{fbk} * R_s$.

El módulo 1200 incluye también un primer bloque 12085 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1202 de función y el esquema 1100. El bloque 1208 de función se configura también para recibir y sumar las señales 1110 y 1204, y generar y transmitir una señal $e_{s\alpha}$ 1210 de la componente α de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator. El módulo 1200 incluye también un segundo bloque 1212 de función sumadora que se configura para recibir y sumar las señales 1120 y 1206 y generar y transmitir una señal $e_{s\beta}$ 1214 de la componente β de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

El módulo 1200 incluye además un conjunto 1216 de contactores virtuales acoplado en comunicación electrónica de datos con los bloques 1208 y 1212 de función. Donde el conjunto 1216 incluye un primer contactor 1218 virtual, un

segundo contactor 1220 virtual, un tercer contactor 1222 virtual, y un cuarto contactor 1224 virtual. Por lo general, los contactores 1218 y 1220 virtuales están cerrados y los contactores 1222 y 1224 virtuales están abiertos. En el caso de desequilibrios tensión del estator trifásico (como se ha descrito anteriormente), los contactores 1218 y 1220 virtuales se abren y los contactores 1222 y 1224 virtuales se cierran.

5 El módulo 1200 incluye también un primer esquema de estimación del flujo magnético, o un bloque 1226 de función LPF. El bloque 1226 de función incluye un LPF 1228 que se acopla en comunicación electrónica de datos con conjunto 1216 de contactores virtuales, específicamente los contactores 1218 y 1220 virtuales. El LPF 1228 se configura para recibir las señales 1210 y 1214. En la realización ejemplar, el LPF 1228 se configura también para facilitar la aproximación de integración de señal pura de las señales 1210 y 1214 con algunos errores de magnitud y de fase como se conoce en la técnica. Como alternativa, el LPF 1228 se configura para efectuar las correcciones internas de errores de magnitud y fase para mitigar la deriva del integrador y los errores de inicializaciones puros. El LPF 1228 se configura además para generar y transmitir una señal $e_{s\alpha}$ 1230 de la componente α de aproximación del flujo del estator. Del mismo modo, el LPF 1228 se configura también para facilitar la generación y transmisión de una señal $e_{s\beta}$ 1232 de la componente β de aproximación del flujo del estator.

15 El bloque 1226 de función incluye también un bloque 1234 de función de compensación de error de magnitud/fase que se acopla en comunicación electrónica de datos con el LPF 1228 y se configura para recibir las señales 1230 y 1232. El bloque 1234 de función se configura para generar y transmitir una estimación sustancialmente exacta del flujo del estator. En concreto, bloque 1234 de función se configura para generar y transmitir una señal $\psi_{s\alpha}^{LPF}$ 1236 de la componente α de estimación del flujo del estator de LPF y una señal $\psi_{s\beta}^{LPF}$ 1238 de la componente β de estimación del flujo del estator de LPF. Las señales 1236 y 1238 representan las componentes de estimación del flujo del estator referenciadas al marco de referencia estacionario.

El bloque 1226 de función incluye también un segundo esquema de estimación del flujo magnético, es decir, un bloque 1240 de función integradora, que se acopla en comunicación electrónica de datos con el conjunto 1216 de contactores virtuales. Específicamente, el bloque 1240 de función se acopla en comunicación electrónica de datos con los contactores 1222 y 1224 virtuales, en el que el bloque 1240 de función se configura para recibir las señales 1210 y 1214, respectivamente. El bloque 1240 de función se configura también para integrar la señal 1210 en un intervalo predeterminado, y generar y transmitir una señal $\psi_{s\alpha}^{int}$ 1242 de la componente α del flujo del estator integrada. Del mismo modo, el bloque 1240 de función se configura para integrar la señal 1214 durante un intervalo predeterminado, y generar y transmitir una señal $\psi_{s\beta}^{int}$ 1244 de la componente β del flujo del estator integrada. El bloque 1240 de función integradora incluye una deriva, o desfase inherente, si el valor inicial no es preciso. Por lo tanto, los valores de la señal 1236 y de la señal 1238 presentes al momento en que se abren los contactores 1218 y 1220 virtuales y en que se cierran los contactores 1222 y 1224 virtuales se utilizan como el valor inicial del bloque 1240 de función integradora para facilitar la consecución de estimaciones precisas del flujo del estator.

35 Durante la operación, la señal 1110 de tensión del estator se recibe por el bloque 1208 de función. Además, la señal 1130 de corriente del estator se multiplica por la señal R_s 732 de resistencia del estator y uno negativo para generar la señal 1204. Una diferencia entre las señales 1110 y 1204 se genera por bloque 1208 de función como la señal de 1210 en que la señal 1210 es sustancialmente equivalente a una componente de la EMF posterior formada típicamente durante la generación de potencia eléctrica. Del mismo modo, la señal 1120 de tensión del estator se recibe por el bloque 1212 de función. Además, la señal 1140 de corriente del estator se multiplica por la señal R_s 732 de resistencia del estator y uno negativo para generar la señal 1206. Una diferencia entre las señales 1120 y 1206 se genera por bloque 1212 de función como la señal 1214, en la que la señal de 1214 es también sustancialmente equivalente a una componente de la EMF posterior.

Además, durante la operación, el módulo 1200 de flujo del sistema 300 incluye dos procedimientos de generación de señales de flujo del estator. En concreto, el módulo 1200 incluye el LPF 1228 y el bloque 1240 de función integradora con el conjunto 1216 de contactores virtuales que facilita su determinación está en servicio. Durante los periodos en los que no existen desequilibrios de tensión, los contactores 1218 y 1220 virtuales están cerrados de manera que las señales 1210 y 1214 se transmiten al LPF 1228 dentro del bloque 1226 de función de LPF. Por lo general, esta es la configuración por defecto. El LPF 1228 genera la señal $e_{s\alpha}$ 1230 de la componente α de aproximación del flujo del estator y la señal $e_{s\beta}$ 1232 de la componente β de aproximación del flujo del estator y las transmite al bloque 1234 de función en el que se generan y transmiten las señales 1236 y 1238 del vector de flujo del estator dentro del sistema 300. Durante periodos de desequilibrio de tensión en el estator, los contactores 1218 y 1220 virtuales se abren y los contactores 1222 y 1224 virtuales se cierran. Las señales 1210 y 1214 se transmiten al bloque 1240 de función integradora. El bloque 1240 integra las señales 1210 y 1214 para generar y transmitir las señales 1242 y 1244 de flujo del estator dentro del sistema 300. El efecto técnico de la operación del módulo 1200 de estimación del flujo del estator alternativo, tal como se utiliza con el sistema 300 de estimación de la posición del rotor, la lógica 700 ejemplar y la lógica 800 alternativa, es generar y transmitir, cualquier señal 1236 y 1238 del vector de flujo del estator o señales 1242 y 1244 de flujo del estator integradas. Las señales 1236, 1238, 1242 y 1244 se procesan en otro lugar dentro de la lógica 700 o de la lógica 800, y/o del sistema 300 para generar en última instancia, una indicación de velocidad del rotor estimada.

60 Además, durante la operación, cuando la tensión de red disminuye a cero, es probable que existan fallos que impidan que el generador 100 de turbina eólica (mostrado en la Figura 1) transmita potencia eléctrica a la red. Por

otra parte, en general, el conjunto 210 de convertidor de potencia y el generador 118 (ambos mostrados en la Figura 2) son susceptibles a fluctuaciones de tensión de red. El generador 118 puede almacenar la energía electromagnética que se puede convertir en las altas corrientes cuando una tensión en los bornes del generador disminuye rápidamente. Esas corrientes pueden mitigar las expectativas de vida de los componentes del conjunto 210 que pueden incluir, pero no limitarse a, dispositivos semiconductores tales como los IGBT dentro convertidores 220 y 222 (ambos mostrados en la Figura 2).

El sistema 300 estimación de la posición del rotor se configura para proporcionar una indicación de la posición del rotor sin codificadores incluso durante huecos de baja tensión (LVRT) o huecos de tensión cero (ZVRT). Por lo tanto, el sistema 300 facilita la capacidad de huecos de tensión cero (ZVRT) para el generador 100 de turbina eólica de tal manera que un potencial para el disparo del generador de turbina eólica y las consecuencias asociadas a los dispositivos semiconductores se mitigan durante los transitorios de tensión cero. Los ZVRT se contrastan con las características de huecos de baja tensión (LVRT) conocidas en la técnica que facilitan la mitigación de los disparos del generador 100 de turbina eólica durante los transitorios en los que la amplitud de la tensión disminuye rápidamente, sin embargo, no disminuye a cero voltios. Por lo tanto, los eventos de baja tensión se pueden considerar como menos grave que los eventos de tensión cero y las características ZVRT facilitarán también los LVRT.

El sistema 300 facilita la supervisión y control rápido del generador 118 sin codificadores en reacción con los transitorios de tensión de red mediante el aislamiento de al menos parcialmente el control del generador 118 de las condiciones de red. Por otra parte, la supervisión en línea de las tensiones, corrientes, flujos del estator y la velocidad del rotor sustancialmente instantánea y el poder compartir esa información a través de todo el esquema de control del generador 100 de turbina eólica facilita respuestas a los transitorios de tensión de red, de tal manera que se ve facilitado el aumento de los márgenes para las condiciones de disparo.

La Figura 12 es una vista gráfica de una pluralidad de parámetros 1250 eléctricos alternativos asociados con el generador 518 que incluye el rotor 522 y el estator 520 (todo se muestra en la Figura 4) con la turbina 100 eólica (mostrada en la Figura 1). En esta, el generador 518 es una máquina síncrona, específicamente, un PMG y se refiere en adelante como el PMG 518. Como alternativa, el generador 518 es un EESG en el que se utiliza una representación gráfica de una configuración EESG similar a la que se muestra en la Figura 12. Los parámetros 1250 no están asociados con grupos autónomos. Los Parámetros 1250 incluyen un eje α 1252 del estator y un eje β 1254 del estator. Los ejes 1252 y 1254 representan un marco de referencia estacionario asociado con el estator 520. Por lo general, la determinación de la mayoría de las variables asociadas con el estator 520 y el rotor 522 se realizan en o se trasladan al marco de referencia del estator. El eje α 1252 es sustancialmente equivalente a una abscisa asociada con un sistema de coordenadas cartesiano. El eje β 1254 es ortogonal al eje α 1252, por lo tanto, el eje β 1254 es sustancialmente equivalente a una ordenada asociada con un sistema de coordenadas cartesiano.

Los parámetros 1250 incluyen también un eje 1256 de cuadratura d del rotor y un eje 1258 de cuadratura q del rotor. El eje d 1256 es ortogonal al eje q 1258 y los ejes 1256 y 1258 representan un marco de giro de referencia asociado con el rotor 522. En general, eje d del rotor y el eje q rotor se definen como los ejes de cuadratura del campo magnético (no mostrado) del rotor 522 que son sustancialmente ortogonales a la superficie de los imanes (o devanados de campo) (no se muestra ninguno) acoplados al rotor 522 y giran en sincronismo con rotor 522. Una inductancia L_d del eje d del estator y una inductancia L_q del eje q estator, respectivamente, son referidas a tales ejes de cuadratura.

Los ejes 1256 y 1258 tienen una velocidad ω_r 1260 de giro (como se ilustra por una flecha alrededor del eje 1256) que es sustancialmente equivalente a una velocidad de giro real del rotor 522. Los parámetros 1250 incluyen además un vector i_s 1262 de corriente del estator. El vector i_s 1262 de corriente del estator tiene una magnitud de corriente $|i_s|$ 1264 del estator en el marco de referencia estacionario. El vector i_s 1262 forma un ángulo $\Delta\theta_i$ 1266 de desplazamiento con eje d 1256. El ángulo $\Delta\theta_i$ 1266 de desplazamiento representa un ángulo entre el vector i_s 1262 de corriente del estator y el eje d 1256. Por otra parte, una posición θ_r 1268 del rotor en el marco de referencia estacionario se determina mediante la determinación de una diferencia angular entre el eje d 1256 y eje α 1252 del estator.

Los parámetros 1250 incluyen también un vector ψ_f 1270 de conexión del flujo de excitación que representa la conexión de flujo de excitación inducido por los imanes permanentes o devanados de excitación acoplados al rotor 522. Vector ψ_f 1270 es coincidente con al menos una porción del eje d 1256 y se extiende desde el origen. El vector 1270 incluye una magnitud $|\psi_f|$ 1271 de conexión del flujo de excitación asociada. Por otra parte, los parámetros 1250 incluyen además un vector ψ'_r 1272 de flujo del rotor estimado que se determina como se describe más adelante. El vector 1272 incluye una magnitud $|\psi'_r|$ 1273 del flujo del rotor estimada asociada. El vector ψ'_r 1272 es también coincidente con al menos una porción del eje d 1256 y se extiende desde el origen. Además, los parámetros 1250 incluyen un vector ψ_s 1274 de flujo del estator que se determina como se describe más adelante. Además, los parámetros de 1250 incluyen un producto 1276 vectorial $L_q * i_s$ que también se determina como se explica a continuación.

La Figura 13 es una vista esquemática de la lógica 1300 alternativa que se puede utilizar con el sistema 400 de estimación de la posición del rotor alternativo para determinar la posición θ_r 1268 del rotor (que se muestra en la Figura 12). Como se ha descrito anteriormente, el sistema 400 puede estar integrado dentro del sistema 500 eléctrico y de control alternativo que se puede utilizar con el generador 100 de turbina eólica (mostrado en la Figura 1). Este sistema 500 alternativo incluye el PMG 518 que incluye el rotor 522 (ambos mostrados en la Figura 4) configurado con una pluralidad de imanes permanentes (no mostrados) y un estator 520 (que se muestra en la Figura 4).

Estos imanes pueden incluir, pero no limitarse a, imanes montados en superficie (no mostrados). Como alternativa, el sistema 500 incluye cualquier generador que facilite la operación de la lógica 1300 como se describe en la presente memoria, incluyendo, pero sin limitarse a, los generadores síncronos eléctricamente excitados (EESG).

La lógica 1300 se configura para recibir pluralidad de señales de corriente y tensión del estator del estator 406 como entradas de señales desde una pluralidad de sensores 1302 de tensión y corriente eléctrica, en la que la pluralidad de sensores 1302 de tensión y corriente es al menos una porción de los sensores 554 de tensión y corriente eléctrica que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 508 (mostrado en la Figura 4). Como alternativa, las señales 406 se originan a partir de cualquier fuente que facilite la operación de la lógica 1300 como se describe en la presente memoria.

La lógica 1300 incluye también un módulo 1304 de estimación del flujo del estator que se acopla en comunicación electrónica de datos con los sensores 1302 y se configura para recibir las señales 406. Específicamente, el módulo 1304 se configura para recibir al menos una señal 1306 del vector u_s de tensión del estator y al menos una señal 1308 del vector i_s de corriente del estator. Las señales 1306 y 1308 se calculan a través de procedimientos estándar de determinación eléctrica trifásicos en base a las señales de tensión y corriente asociadas, respectivamente, recibidas desde los dispositivos de detección respectivos que miden cada fase (no se muestra ninguno). Además, específicamente, el módulo 1306 se configura para recibir una señal R_s 1310 de resistencia del estator que se almacena en un registro R_s 1312 de resistencia del estator, en el que el registro 1312 se acopla en comunicación electrónica de datos con el módulo 1304. En la realización ejemplar, la señal 1310 se determina en línea dentro del sistema 400 utilizando mediciones y determinaciones en línea de parámetros eléctricos que incluyen, pero no se limitan a, la resistencia del estator y la inductancia del estator. Como alternativa, la señal 1310 se basa en determinaciones fuera de línea de las características eléctricas del estator 520. El módulo 1304 se configura también para generar una señal $\psi_{s\alpha}$ 1314 del vector de flujo del estator y una señal $\psi_{s\beta}$ 1316 del vector de flujo del estator como se describe a continuación.

La lógica 1300 incluye también un bloque 1318 de función de flujo rotor/estator que se acopla en comunicación electrónica de datos con al menos una porción de los sensores 1302 y el módulo 1304. Específicamente, el bloque 1318 de función se configura para recibir la señal 1308 de corriente. El bloque 1318 de función se configura también para recibir la señal $\psi_{s\alpha}$ 1314 del vector de flujo del estator y la señal $\psi_{s\beta}$ 1316 del vector de flujo del estator. Por otra parte, el bloque 1318 de función se configura para recibir una señal L_d 1320 de inductancia del eje d del estator desde un registro L_d 1322 de inductancia del eje d del estator, en el que la señal 1320 se determina en base a las propiedades que incluyen, pero no se limitan a, propiedades físicas y eléctricas del generador 518. Además, el bloque 1318 de función se configura para recibir una señal L_q 1318 de inductancia del eje q del estator desde un registro L_q 1324 de inductancia del eje q del estator, en el que la señal 1324 se determina también en base a las propiedades que incluyen, pero no se limitan a, propiedades físicas y eléctricas del generador 518. Por lo tanto, las señales L_d 1320 y L_q 1324 de inductancia de los ejes d y q del estator se refieren, respectivamente, a los ejes de cuadratura 1256 y 1258 (que se muestran en la Figura 12).

El bloque 1318 de función se configura para aprovechar los principios conocidos de auto-inductancia, inductancia mutua, y de conexión de flujo que incluyen, pero no se limitan a, la relación directamente proporcional de un flujo magnético de las inductancias y las corrientes asociadas. Por lo tanto, el bloque 1318 de función se configura para generar una señal $\psi'_{r\alpha}$ 1328 de estimación de la componente α de flujo del rotor, en el que, la señal 1328 representa una primera estimación de la componente de flujo del rotor en el marco de referencia estacionario. El bloque 1318 de función se configura además para generar una señal $\psi'_{r\beta}$ 1330 de estimación de la componente β de flujo del rotor, en el que la señal 1330 representa una segunda estimación de la componente de flujo del rotor en el marco de referencia estacionario. Los siguientes algoritmos se utilizan dentro de bloque 1318 de función para determinar las señales 1328 y 1330:

$$\psi'_r 1272 = \psi_s 1274 - L_q * i_s 1276 \dots \dots \dots (14)$$

$$\Delta L = (L_q - L_d)/2 \dots \dots \dots (15)$$

$$\psi'_{r\alpha} 1328 = [2\Delta L * |i_s| 1264 * \cos(\Delta\theta 1266) + |\psi_{r\beta}| 1271] * \cos(\theta_r 1268) =$$

$$|\psi'_{r\beta}| 1273 * \cos(\theta_r 1268) \dots \dots \dots (16)$$

$$\psi'_{r\beta} 1330 = [2\Delta L * |i_s| 1264 * \cos(\Delta\theta_i 1266) + |\psi'_{r\alpha}| 1271] * \sin(\theta_r 1268) = |\psi'_{r\alpha}| 1273 * \sin(\theta_r 1268) \dots \dots \dots (17)$$

donde la ecuación (16) representa la relación vectorial ilustrada en la Figura 12.

5 La lógica 1300 incluye también un bloque 1332 de función multiplicadora acoplado en comunicación electrónica de datos con el bloque 1318 de función. El bloque 1332 de función se configura para recibir las señales 1328 y 1330 y generar y transmitir una señal $\cos(\theta_r 1268)$ 1334 y una señal $\sin(\theta_r 1268)$ 1336 utilizando los siguientes algoritmos:

$$\cos(\theta_r 1268) 1334 = \psi'_{r\alpha} 1328 / |\psi'_{r\alpha}| 1273 \dots \dots \dots (18)$$

$$\sin(\theta_r 1268) 1336 = \psi'_{r\beta} 1330 / |\psi'_{r\alpha}| 1273 \dots \dots \dots (19)$$

10 La lógica 1300 incluye, además, un bucle 1138 de fase bloqueada que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1332 de función y se configura para recibir las señales 1334 y 1336 y determinar y transmitir una señal θ_r 1340 de posición del rotor.

Durante la operación, las señales 1306, 1308 y 1310 de tensión, corriente y resistencia, respectivamente, se reciben por el módulo 1304 de estimación del flujo del estator que genera y transmite la señal $\psi_{s\alpha}$ 1314 del vector de flujo del estator y la señal $\psi_{s\beta}$ 1316 del vector de flujo del estator al bloque 1318 de función de flujo de rotor/estator. Las señales 1314 y 1316 se reciben por el bloque 1318 de función de flujo de rotor/estator, así como las señales L_d 1320 y L_q 1324 de inductancia de los ejes d y q del estator, respectivamente. Posteriormente, la señal $\psi'_{r\alpha}$ 1328 de estimación de la componente α de flujo del rotor y la señal $\psi'_{r\beta}$ 1330 de estimación de la componente β de flujo del rotor se generan y se transmiten al bloque 1332 de función multiplicadora. El bloque 1332 de función genera y transmite la señal $\cos(\theta_r 1268)$ 1334 y la señal $\sin(\theta_r 1268)$ 1336 al PLL 1338 para generar la señal θ_r 1340 de posición del rotor. Por lo tanto, en concreto, el efecto técnico de la operación de la lógica 1300 alternativa, tal como se utiliza con el sistema 400 de estimación de la posición del rotor para determinar la posición θ_r 1268 del rotor (que se muestra en la Figura 12), es generar y transmitir la señal θ_r 1340 de posición del rotor. Además, específicamente, la señal 1340 es procesada por al menos una función diferencial (no representada) en otro lugar dentro de la lógica 1300 y/o del sistema 400 para generar una indicación de la velocidad del rotor estimada.

25 La Figura 14 es una vista esquemática de otra lógica 1350 alternativa que se puede utilizar con el sistema 400 de estimación de la posición del rotor alternativo para determinar la posición θ_r 1268 del rotor (que se muestra en la Figura 12). La lógica 1350 es similar a la lógica 1300 (mostrada en la Figura 13), sin embargo, la lógica 1350 se configura específicamente para utilizarse con el PMG o EESG donde los valores de L_d son sustancialmente equivalentes a los valores de L_q , incluyendo, pero no limitado a, generadores de imanes permanentes montados sobre superficies (SMPMG). Además, específicamente, la lógica 1350 incluye sensores los 1302 y el registro 1312 acoplados en comunicación electrónica de datos con el módulo 1304, en el que el módulo 1304 se configura para recibir las señales 1306, 1308 y 1310 y generar y transmitir la señal $\psi_{s\alpha}$ 1314 del vector de flujo del estator y la señal $\psi_{s\beta}$ 1316 del vector de flujo del estator.

35 La lógica 1350 incluye también un bloque 1352 de función de flujo rotor/estator que se acopla en comunicación electrónica de datos con al menos una porción de los sensores 1302 y el módulo 1304. Específicamente, el bloque 1350 de función se configura para recibir la señal 1308 de corriente. El bloque 1350 de función se configura también para recibir la señal $\psi_{s\alpha}$ 1314 del vector de flujo del estator y la señal $\psi_{s\beta}$ 1316 del vector de flujo del estator. Por otra parte, el bloque 1350 de función se configura para recibir una señal L_s 1354 de inductancia del eje d del estator desde un registro L_s 1356 de inductancia del eje d del estator, en el que la señal 1354 se determina en base a las propiedades que incluyen, pero no se limitan a, propiedades físicas y eléctricas del generador 518. Específicamente, los valores de L_d son sustancialmente equivalentes a los valores de L_q , por lo tanto, una inductancia L_s del estator común se determina y se utiliza dentro de la lógica 1350.

45 El bloque 1352 de función se configura también para calcular una señal $\psi'_{r\alpha}$ 1358 de estimación de la componente α de flujo del rotor y una señal $\psi'_{r\beta}$ 1360 de estimación de la componente β de flujo del rotor a través de los siguientes algoritmos:

$$\psi'_{r\alpha} 1272 = \psi_s 1274 - L_s * i_s 1276 \dots \dots \dots (20)$$

$$\psi'_{r\alpha} 1358 = |\psi'_{r\alpha}| 1273 * \cos(\theta_r 1268) \dots \dots \dots (21)$$

$$\psi'_{r\beta} 1360 = |\psi'_{r\alpha}| 1273 * \sin(\theta_r 1268) \dots \dots \dots (22)$$

en el que la ecuación (16) representa la relación vectorial ilustrada en la Figura 12.

50 La lógica 1300 incluye también un bloque 1362 de función multiplicadora acoplado en comunicación electrónica de datos con el bloque 1352 de función. El bloque 1362 de función se configura para recibir las señales 1358 y 1360 y generar y transmitir una señal $\cos(\theta_r 1268)$ 1364 y una señal $\sin(\theta_r 1268)$ 1366 utilizando los

siguientes algoritmos:

$$\cos(\theta_r \text{ 1268}) \text{ 1334} = \psi'_{r\alpha} \text{ 1358}/|\psi'_{r}| \text{ 1273} \dots\dots\dots(23)$$

$$\text{sen}(\theta_r \text{ 1268}) \text{ 1336} = \psi'_{r\beta} \text{ 1360}/|\psi'_{r}| \text{ 1273} \dots\dots\dots(24)$$

5 La lógica 1350 incluye, además, un bucle 1168 de fase bloqueada (PLL) que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1362 de función y se configura para recibir las señales 1364 y 1366 y determinar y transmitir una señal θ_r 1740 de posición del rotor.

10 Durante la operación, las señales 1306, 1308 y 1310 de tensión, corriente y resistencia, respectivamente, se reciben por el módulo 1304 de estimación del flujo del estator que genera y transmite la señal ψ_{sq} 1314 del vector de flujo del estator y la señal ψ_{sb} 1316 del vector de flujo del estator al bloque 1352 de función de flujo de rotor/estator. Las señales 1314 y 1316, así como la señal L_s 1354 de inductancia del estator, se reciben por el bloque 1352 de función de flujo de rotor/estator. Posteriormente, la señal $\psi'_{r\alpha}$ 1358 de estimación de la componente α de flujo del rotor y la señal $\psi'_{r\beta}$ 1360 de estimación de la componente β de flujo del rotor se generan y se transmiten al bloque 1362 de función multiplicadora. El bloque 1362 de función genera y transmite la señal $\cos\theta_r$ 1364 y la señal $\text{sen}\theta_r$ 1366 al PLL 1338 para generar la señal θ_r 1370 de posición del rotor. Por lo tanto, en concreto, el efecto técnico de la operación de la lógica 1350 alternativa, tal como se utiliza con el sistema 400 de estimación de la posición del rotor para determinar la posición θ_r 1268 del rotor (que se muestra en la Figura 12), es generar y transmitir la señal θ_r 1370 de posición del rotor. Además, específicamente, la señal 1370 se procesa por al menos una función diferencial (no representada) en otro lugar dentro de la lógica 1350 y/o del sistema 400 para generar una indicación de la velocidad del rotor estimada.

20 La Figura 15 es una vista esquemática de un módulo 1400 de estimación del flujo del estator que se puede utilizar con las lógicas 1300 y 1350 alternativas para estimar flujo del estator para determinar la posición θ_r 1268 del rotor (que se muestra en la Figura 12). El módulo 1400 incluye una pluralidad de sensores 1402 de tensión del estator, en la que, en esta realización alternativa, los sensores 1402 de tensión y los sensores 554 de corriente eléctrica se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 508 (mostrado en la Figura 4). Los sensores 1402 se configuran para generar y transmitir una señal u_{sAB} 1404 del vector de tensión del estator que se define como una señal sustancialmente representante de un diferencial de tensión entre las fases A y B del estator. Los sensores 1402 se configuran también para generar y transmitir una señal u_{sBC} 1406 del vector de tensión del estator que se define como una señal sustancialmente representante de un diferencial de tensión entre las fases B y C del estator. Las señales 1404 y 1406 son al menos una porción de las señales 406. Como alternativa, las señales 1404 y 1406 se originan a partir de cualquier fuente que facilite la operación de sistema 400 como se describe en la presente memoria.

35 El módulo 1400 incluye también una pluralidad de sensores 1408 de corriente de estator, en el que los sensores de corriente 1408 son al menos una porción de sensores 554 de tensión y corriente eléctrica que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 508. Los sensores 1408 se configuran para generar y transmitir una señal (i_{sA}) 1410 de la corriente del estator de fase A, una señal (i_{sB}) 1412 de la corriente del estator de fase B, y una señal (i_{sC}) 1414 de la corriente del estator de fase C. Como alternativa, las señales 1410, 1412, y 1414 se originan a partir de cualquier fuente que facilite la operación de sistema 400 como se describe en la presente memoria.

40 El módulo 1400 incluye además un primer bloque 1416 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con al menos algunos de los sensores 1408 y se configura para restar la señal 1412 de la señal 1410 y generar y transmitir una señal ($i_{sA} - i_{sB}$) 1418.

45 El módulo 1400 incluye también un primer bloque 1420 de función multiplicadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1416 de función y se configura para recibir la señal 1418 que se transmite desde el bloque 1416 de función. El bloque 1420 de función se configura también para recibir la señal R_s 1422 de resistencia del estator que se almacena dentro del registro R_s 1424 de resistencia del estator. El bloque 1420 de función se configura además para multiplicar la señal 1418 por la señal 1422 y uno negativo (-1) para generar y transmitir una señal 1426 producto $-(i_{sA} - i_{sB}) * R_s$.

50 El módulo 1400 incluye además un segundo bloque 1428 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1420 de función y a al menos un sensor 1402 de tensión. El bloque 1428 de función se configura para recibir y sumar las señales 1426 y 1404 y generar y transmitir una señal e'_{sAB} 1430 de la componente A-B de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator, que puede incluir un desfase inherente, utilizando el siguiente algoritmo:

$$e'_{sAB} \text{ 1430} = u_{sAB} \text{ 1404} - [(i_{sA} - i_{sB}) * R_s] \text{ [1426]} \dots\dots\dots(25)$$

55 El módulo 1400 incluye también un tercer bloque 1432 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con al menos algunos de los sensores 1408 y se configura para restar la señal 1414 de la señal 1412 y generar y transmitir una señal ($i_{sB} - i_{sC}$) 1434.

El módulo 1400 incluye además un segundo bloque 1436 de función multiplicadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1432 de función y se configura para recibir la señal 1434 que se transmite desde el bloque 1432 de función. El bloque de función 1436 se configura también para recibir la señal R_s 1422 de resistencia del estator que se almacena dentro del registro R_s 1424 de resistencia del estator. El bloque 1436 de función se configura además para multiplicar la señal 1434 por la señal 1422 y uno negativo (-1) para generar y transmitir una señal 1438 producto $-(i_{sB} - i_{sC}) * R_s$.

El módulo 1400 incluye además un cuarto bloque 1440 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1436 de función y a al menos un sensor 1402 de tensión. El bloque 1440 de función se configura para recibir y sumar las señales 1438 y 1406 y generar y transmitir una señal e'_{sBC} 1442 de la componente B-C de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator, que puede incluir un desfase inherente, utilizando el siguiente algoritmo:

$$e'_{sBC} \text{ 1442} = u_{sBC} \text{ 1406} - [(i_{sB} - i_{sC}) * R_s] \text{ [1438]} \dots \dots \dots (26)$$

El módulo 1400 incluye además una porción ψ_{sAB} 1444 de la componente A-B del flujo del estator integrada. La porción 1444 incluye un quinto bloque 1446 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1428 de función y se configura para recibir la señal e'_{sAB} 1430 de la componente A-B de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator, que puede incluir un desfase inherente. El bloque 1446 de función se configura para restar un valor de desfase (descrito más adelante) de la señal 1430 para generar una señal e_{sAB} 1448 de la componente A-B de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

La porción 1444 incluye también un primer bloque 1450 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1446 de función y se configura para recibir la señal 1448. El bloque de función 1450 se configura también para integrar la señal 1448 sobre un intervalo predeterminado utilizando algoritmos de integración puros y generar y transmitir una señal ψ_{sAB} 1452 de la componente A-B del flujo del estator integrada ejemplar. El bloque 1450 de función integradora puede acumular progresivamente la deriva, o desfase a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 1400 si la señal 1448 incluye una deriva, o desfase inherente. Por lo tanto, el módulo 1400 incluye en características de corrección de desfase descritas a continuación, facilitando de este modo la mitigación de la acumulación de errores.

La porción 1444 incluye además un sexto bloque 1454 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1450 de función y se configura para recibir la señal 1452. El bloque 1452 de función se configura también para recibir una señal ψ_{sAB}^{Corr} 1460 de retroalimentación de corrección (o desfase) A-B del flujo del estator (descrita más adelante) a través de un canal ψ_{sAB}^{Corr} 1021 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator. El bloque 1454 de función se configura además para restar la señal 1460 de retroalimentación de la señal 1452 y generar y transmitir una señal 1456 de la componente A-B del flujo del estator corregida. Los bloques 1454 y 1458 de función (ambos descritos más adelante), y el canal 1461 de retroalimentación se configuran para formar un filtro 1423 de paso bajo de la componente A-B de flujo del estator para generar y transmitir la señal ψ_{sAB}^{Corr} 1460 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator incluida en la señal ψ_{sAB} 1452 de la componente A-B del flujo del estator integrada.

La porción 1444 incluye también un segundo bloque 1458 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el conmutador 1454 y se configura para recibir la señal 1456. El bloque 1458 de función es similar al bloque de función 1454 con la excepción de que el bloque 1458 de función se configura con al menos una constante de tiempo de integración (no mostrada). La constante del tiempo de integración facilita la discriminación del desfase incluido en la señal 1452 de la componente A-B del flujo del estator corregida.

La porción 1444 incluye también un tercer bloque 1462 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1458 de función y se configura para recibir la señal 1460. El bloque 1462 de función es sustancialmente similar al bloque 1458 de función, incluyendo el bloque 1458 de función que se configura con al menos una constante de tiempo de integración (no mostrada). La constante de tiempo de integración facilita la integración de la señal 1460. El bloque 1462 de función se configura para generar y transmitir una señal ψ_{sAB}^{Corr} 1464 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator integrada a través de un canal ψ_{sAB}^{Corr} 1465 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator integrado.

Como se ha descrito anteriormente, además de los bloques 1458 y 1462 de función integradora unidos, el módulo 1400 de estimación del flujo del estator alternativo incluye características de desfase de retroalimentación para limitar aún más la deriva dentro del módulo 1400. Por otra parte, la porción 1444 incluye un séptimo bloque 1466 de función sumadora que se acopla en comunicación de datos electrónica con los bloques 1458 y 1462 de función y se configura para recibir y sumar las señales 1460 y 1464, y, posteriormente, generar y transmitir una señal $u_{sAB}^{Desfase}$ 1468 de desfase A-B de la tensión del estator. Por lo tanto, los bloques 1462 y 1466 de función, y los canales 1461 y 1465 forman un regulador 1467 proporcional-integral (PI) que genera una salida de la señal 1468 de desfase de tensión con la señal 1460 de desfase de flujo como la entrada. Adicionalmente, el quinto bloque 1446 de función sumadora se acopla en comunicación electrónica de datos con el séptimo bloque 1466 de función sumadora y se configura para recibir la señal 1468 y restar la señal 1468 de la señal 1430 para generar y transmitir la señal 1448.

5 El módulo 1400 incluye además una porción ψ_{sBC} 1470 de la componente B-C del flujo del estator integrada. La porción 1470 incluye un octavo bloque 1472 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque de función 1440 y se configura para recibir un diferencial de señal Δu_{sBC} 1442 de tensión de fase B a fase C del estator. El bloque 1472 de función se configura para restar un valor de desfase (descrito más adelante) de la señal 1442 para generar una señal e_{sBC} 1474 de la componente B-C de la fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

10 La porción 1470 incluye también un cuarto bloque 1476 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1472 de función y se configura para recibir la señal 1474. El bloque 1476 de función se configura también para integrar la señal 1474 con respecto a un intervalo predeterminado utilizando algoritmos de integración puros y generar y transmitir una señal ψ_{sBC} 1478 de la componente B-C de flujo del estator integrada ejemplar. El bloque 1476 de función integradora puede acumular progresivamente la deriva, o desfase a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 1400 si la señal 1478 incluye una deriva, o desfase inherente. Por lo tanto, el módulo 1400 incluye características de corrección de desfase que describen más adelante, facilitando de este modo la mitigación de la acumulación de errores.

15 La porción 1470 incluye además un noveno bloque 1480 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque de función 1476 y se configura para recibir la señal 1478. El bloque 1480 de función se configura también para recibir una señal ψ_{sBC}^{Corr} 1486 de retroalimentación de corrección (o desfase) B-C del flujo del estator (descrita más adelante) a través de un canal ψ_{sBC}^{Corr} 1487 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator. El bloque 1480 de función se configura además para restar la señal 1487 de retroalimentación de la señal 1478 y generar y transmitir una señal 1482 de la componente B-C del flujo del estator corregida. Los bloques 1480 y 1484 de función (ambos descritos más adelante), y el canal 1487 de retroalimentación se configuran para formar un filtro 1486 de paso bajo de la componente B-C de flujo del estator para generar y transmitir la señal ψ_{sBC}^{Corr} 1486 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator incluida en la señal ψ_{sBC} 1478 de la componente B-C del flujo del estator integrada ejemplar.

20 La porción 1470 incluye también un quinto bloque 1484 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1480 de función y se configura para recibir la señal 1482. El bloque 1484 de función es similar al bloque 1476 de función, con la excepción de que el bloque 1484 de función se configura con al menos una constante de tiempo de integración (no se muestra). La constante de tiempo de integración facilita la discriminación del desfase incluido en la señal 1482 de la componente A-B de flujo del estator corregida.

30 La porción 1470 incluye además un sexto bloque 1488 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1484 de función y se configura para recibir la señal 1486. El bloque 1488 de función es sustancialmente similar al bloque 1484 de función incluyendo el bloque 1484 de función que se configura con al menos una constante de tiempo de integración (no se muestra). La constante de tiempo de integración facilita la integración de la señal de 1486. El bloque 1488 de función se configura para generar y transmitir una señal ψ_{sBC}^{Corr} 1490 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator integrada a través de un canal ψ_{sBC}^{Corr} 1491 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator integrado.

40 Como se ha descrito anteriormente, además de los bloques 1484 y 1488 de función integradora unidos, el módulo 1400 de estimación del flujo del estator alternativo incluye características de desfase de retroalimentación para limitar aún más la deriva dentro del módulo 1400. Por otra parte, la porción 1470 incluye un décimo bloque 1492 de función sumadora que se acopla en comunicación de datos electrónica con los bloques 1484 y 1488 de función y se configura para recibir y sumar las señales 1486 y 1490, y, posteriormente, generar y transmitir una señal $u_{sBC}^{Desfase}$ 1494 de desfase B-C de la tensión del estator. Por lo tanto, los bloques 1488 y 1492 de función, y los canales 1487 y 1491 forman un regulador 1493 proporcional-integral (PI) que genera una salida de la señal 1494 de desfase de tensión con la señal 1486 de desfase de flujo como la entrada. Adicionalmente, el octavo bloque 1472 de función sumadora se acopla en comunicación electrónica de datos con el décimo bloque 1492 de función sumadora y se configura para recibir la señal 1494 y restar la señal 1494 de la señal 1442 para generar y transmitir la señal 1474.

50 El módulo 1400 incluye también un bloque 1496 de función de transformación de coordenadas que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 1450 y 1476 de función y se configura para recibir las señales 1452 y 1478 transmitidas desde los boques 1450 y 1476, respectivamente. Por otra parte, el bloque 1496 de función se configura para utilizar al menos un algoritmo (no mostrado) para generar una señal $\psi_{s\alpha}$ 1498 de la componente α de flujo del estator alternativa. Similarmente, el bloque 1496 de función se configura para utilizar al menos un algoritmo (no mostrado) para generar una señal $\psi_{s\beta}$ 1499 de la componente β de flujo del estator alternativa. Las señales 1498 y 1499 se refieren al sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 1252 del estator y el eje β 1254 del estator (ambos mostrados en la Figura 12). Los ejes 1252 y 1254 representan el marco de referencia estacionario asociado con el estator 520 (que se muestra en la Figura4). Como se ha descrito anteriormente, el eje α 1252 es ortogonal al eje β 1254.

Durante la operación, los sensores 1402 de tensión generan y transmiten una señal u_{sAB} 1404 del vector de tensión del estator y una señal u_{sBC} 1406 del vector de tensión del estator que se definen como una señal sustancialmente representante de un diferencial de tensión entre las fases A. y B del estator y una señal sustancialmente

representante de un diferencial de tensión entre las fases B y C del estator, respectivamente

Además, durante la operación, sensores 1408 de corriente del estator generan y transmiten una señal (i_{sA}) 1410 de la corriente del estator de fase A, una señal (i_{sB}) 1412 de la corriente del estator de fase B, y una señal (i_{sC}) 1414 de la corriente del estator de fase C. El primer bloque 1416 de función sumadora recibe y resta la señal 1412 de la señal 1410 y genera y transmite una señal ($i_{sA} - i_{sB}$) 1418. El primer bloque 1420 de función multiplicadora recibe la señal 1418 y la señal R_s 1422 de resistencia del estator que se almacena dentro del registro R_s 1424 de resistencia del estator y multiplica la señal 1418 por la señal 1422 y uno negativo (-1) para generar y transmitir una señal 1426 producto $-(i_{sA} - i_{sB}) * R_s$. El segundo bloque 1428 de función sumadora recibe y suma las señales 1426 y 1404, y genera y transmite una señal e'_{sAB} 1430 de la componente A-B de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

Similarmente, durante la operación, el tercer bloque 1432 de función sumadora recibe y resta la señal 1414 de la señal 1412 y genera y transmite una señal ($i_{sB} - i_{sC}$) 1434. El segundo bloque 1436 de función multiplicadora recibe la señal 1434 y la señal R_s 1422 de resistencia desde el registro R_s 1424 de resistencia del estator y multiplica la señal 1434 por la señal 1422 y uno negativo (-1) para generar y transmitir una señal 1428 producto $-(i_{sB} - i_{sC}) * R_s$. El cuarto bloque 1440 de función sumadora recibe y suma las señales 1438 y 1406, y genera y transmite una señal e'_{sBC} 1442 de la componente B-C de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

Por otra parte, durante la operación, el quinto bloque 1446 de función sumadora recibe la señal e'_{sAB} 1430 de la componente A-B de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator. El bloque 1446 de función resta la señal $u_{sAB}^{Desfase}$ 1468 de tensión A-B del estator de la señal 1430 para generar una señal e_{sAB} 1448 de la componente A-B de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator. El primer bloque 1450 de función integradora recibe la señal 1448 e integra la señal 1448 en un intervalo predeterminado utilizando algoritmos de integración puros, y genera y transmite una señal ψ_{sAB} 1452 de la componente A-B del flujo del estator integrada alternativa. El bloque 1450 de función integradora incluye una deriva, o desfase inherente, que se puede acumular progresivamente a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 1400. Las características de corrección de desfase descritas más adelante facilitan la mitigación de tal acumulación de errores.

Además, durante la operación, el filtro 1463 de paso bajo de la componente A-B de flujo del estator (incluyendo los bloques 1454 y 1458 de función, y el canal 1461 de retroalimentación) recibe la señal 1452 y genera y transmite la señal ψ_{sAB}^{Corr} 1460 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator incluida en la señal 1452. El sexto bloque 1452 de función sumadora recibe la señal 1452, así como la señal 1460 y resta la señal 1460 de la señal 1452 para generar y transmitir una señal 1456 de la componente A-B del flujo del estator corregida. El segundo bloque 1458 de función integradora recibe la señal 1456 e integra la señal 1456 utilizando al menos una constante de tiempo de integración. La constante de tiempo de integración facilita la discriminación del desfase incluido en la señal 1456 de la componente A-B del flujo del estator corregida.

Por otra parte, durante la operación, el tercer bloque 1462 de función integradora recibe la señal 1460 e integra la señal 1460 utilizando al menos una constante de tiempo de integración que facilita la integración de la señal 1460. Por lo tanto, tal constante de tiempo de integración facilita las características de corrección de desfase y facilita la mitigación de la acumulación de errores. El bloque 1462 de función genera y transmite la señal ψ_{sAB}^{Corr} 1464 de retroalimentación de corrección A-B del flujo del estator integrada.

Además, durante la operación, el regulador 1467 PI (que incluye el séptimo bloque 1466 de función sumadora, el bloque 1462 de función, y los canales 1461 y 1465) recibe la señal 1460 y posteriormente genera y transmite una señal $u_{sAB}^{Desfase}$ 1468 A-B de la tensión del estator al bloque 1446 de función.

Adicionalmente, durante la operación, el octavo bloque 1472 de función sumadora recibe una señal e'_{sBC} 1442 de la componente B-C de la fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator que puede incluir un desfase inherente. El bloque 1472 de función resta la señal $u_{sBC}^{Desfase}$ 1494 de desfase B-C de la tensión del estator de la señal 1442 para generar para generar la señal e_{sAB} 1474 de la componente B-C de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator. El cuarto bloque 1476 de función integradora recibe la señal 1474 e integra la señal 1474 en un intervalo predeterminado utilizando algoritmos de integración puros y genera y transmite una señal ψ_{sBC} 1478 de la componente B-C del flujo del estator integrada. El bloque 1476 de función integradora puede acumular progresivamente la deriva, o desfase a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 1400 si la señal 1474 incluye una deriva, o desfase inherente. Las características de corrección de desfase descritas más adelante facilitan adicionalmente la mitigación de tal acumulación de errores.

Por otra parte, durante la operación, el filtro 1489 de paso bajo de la componente B-C de flujo del estator (incluyendo los bloques 1480 y 1484 de función, y el canal 1487 de retroalimentación) recibe la señal 1478 y genera y transmite la señal ψ_{sAB}^{Corr} 1486 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator incluida en la señal 1478. El noveno bloque 1480 de función sumadora recibe la señal 1478, así como la señal 1486 y resta la señal 1480 de la señal 1476 para generar y transmitir una señal 1482 de la componente A-B del flujo del estator corregida. El quinto bloque 1484 de función integradora recibe la señal 1482 e integra la señal 1482 utilizando al menos una constante de tiempo de integración. La constante de tiempo de integración facilita la discriminación del desfase incluido en la señal 1482 de la componente B-C del flujo del estator corregida.

También, durante la operación, el sexto bloque 1488 de función integradora recibe la señal 1486 e integra la señal 1486 utilizando al menos una constante de tiempo de integración que facilita la integración de la señal 1486. Por lo tanto, tal constante de tiempo de integración facilita las características de corrección de desfase y facilita la mitigación de la acumulación de errores. El bloque 1488 de función genera y transmite la señal ψ_{sBC}^{Corr} 1490 de retroalimentación de corrección B-C del flujo del estator integrada.

Además, durante la operación, el regulador 1493 PI (que incluye el séptimo bloque 1492 de función sumadora, el bloque 1488 de función, y los canales 1487 y 1491) recibe la señal 1486 y posteriormente genera y transmite una señal $u_{sBC}^{Desfase}$ 1494 B-C de la tensión del estator al bloque 1472 de función.

Adicionalmente, durante la operación, el bloque 1496 de función de transformación de coordenadas recibe las señales 1452 y 1478 transmitidas desde los bloques 1450 y 1476, respectivamente. Por otra parte, el bloque 1496 de función genera una señal $\psi_{s\alpha}$ 1498 de la componente α del flujo del estator alternativa y una señal $\psi_{s\beta}$ 1499 de la componente β del flujo del estator alternativa. Las señales 1498 y 1499 se refieren al sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 1252 del estator y el eje β 1254 estator (ambos mostrados en la Figura 12). El efecto técnico de operación del módulo 400 de estimación del flujo del estator alternativo, tal como se utiliza con el sistema 400 de estimación de la posición del rotor, la lógica 1300 alternativa y la lógica 1350 alternativa, es generar y transmitir señales 1498 y 1499 de flujo del estator integradas. Las señales 1498 y 1499 se procesan en otro lugar dentro de la lógica 1300 o de la lógica 1350, y/o el sistema 400 para generar en última instancia, una indicación de velocidad del rotor estimada.

La Figura 16 es una vista esquemática de otro módulo 1500 de estimación del flujo del estator que se puede utilizar con las lógicas 1300 y 1350 alternativas para estimar flujo del estator para determinar la posición θ_r 1268 del rotor (que se muestra en la Figura 12). El módulo 1500 incluye una pluralidad de sensores 1402 de tensión del estator, en el que los sensores 1402 de tensión son al menos una porción de sensores 554 de tensión y corriente eléctrica que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 508 (mostrado en la Figura 4). Los sensores 1402 se configuran para generar y transmitir para generar y transmitir una señal u_{sAB} 1404 del vector de tensión del estator que se define como una señal sustancialmente representante de un diferencial de tensión entre las fases A y B del estator. Los sensores 1402 se configuran también para generar y transmitir una señal u_{sBC} 1406 del vector de tensión del estator que se define como una señal sustancialmente representante de un diferencial de tensión entre las fases B y C del estator. Las señales 1404 y 1406 son al menos una porción de las señales 406. Como alternativa, las señales 1404 y 1406 se originan a partir de cualquier fuente que incluya, pero sin limitarse a, la referencia de tensión del estator o estimación de tensión del estator mediante el patrón de tensión CC y de conmutación PWM, que facilite la operación de sistema 400 como se describe en la presente memoria.

El módulo 1500 incluye también un primer bloque 1502 de función de transformación de coordenadas que se acopla en comunicación electrónica de datos con los sensores 1402 y se configura para recibir las señales 1404 y 1406 transmitidas desde los sensores 1402. Por otra parte, el bloque 1502 de función se configura para utilizar al menos un algoritmo (no mostrado) para generar una señal $u_{s\alpha}^{fbk}$ 1504 de la componente α de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator y una señal $u_{s\beta}^{fbk}$ 1506 de la componente β de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator dentro del sistema estacionario de coordenadas definido por el eje α 1252 del estator y el eje β 1254 del estator (ambos mostrados en la Figura 12). Los ejes 1252 y 1254 representan el marco de referencia estacionario asociado con el estator 520 (que se muestra en la Figura 4). Como se ha descrito anteriormente, el eje α 1252 es ortogonal al eje β 1254.

El módulo 1500 incluye además una pluralidad de sensores 1408 de corriente del estator, en el que los sensores 1408 de corriente son al menos una porción del segundo conjunto de sensores 554 de tensión y corriente eléctrica que se acoplan en comunicación electrónica de datos con el bus 508. Los sensores 1408 se configuran para generar y transmitir una señal (i_{sA}) 1410 de la corriente del estator de fase A, una señal (i_{sB}) 1412 de la corriente del estator de fase B, y una señal (i_{sC}) 1414 de la corriente del estator de fase C. Las señales 1410, 1412 y 1414 son al menos una porción de las señales 406. Como alternativa, las señales 1410, 1412 y 1414 se originan a partir de cualquier fuente que facilite la operación de sistema 400 como se describe en la presente memoria.

El módulo 1500 incluye también un segundo bloque 1508 de función de transformación de coordenadas, que se acopla en comunicación electrónica de datos con los sensores 1408 y se configura para recibir las señales 1410, 1412 y 1414 de transmisión desde los sensores 1408. Por otra parte, el bloque 1508 de función se configura para utilizar al menos un algoritmo (no mostrado) para generar una señal $i_{s\alpha}^{fbk}$ 1510 de la componente α de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator y una señal $i_{s\beta}^{fbk}$ 1511 de la componente β de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator dentro del sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 602 del estator y el eje β 604 del estator. El bloque 1508 de función se configura también para transmitir las señales 1510 y 1511.

El módulo 1500 incluye además un bloque 1512 de función multiplicadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1508 de función y se configura para recibir ambas señales 1510 y 1511 que se transmiten desde el bloque 1508 de función. El bloque 1512 de función se configura también para recibir la señal R_s 1422 de resistencia del estator que se almacena dentro del registro R_s 1424 de resistencia del estator. El bloque 1512 de función se configura además para multiplicar las señales 1510 y 1511 por la señal 1422 y uno negativo (-1) para generar y transmitir una señal 1514 producto $-i_{s\alpha}^{fbk} * R_s$ y una señal 1516 producto $-i_{s\beta}^{fbk} * R_s$, respectivamente.

El módulo 1500 incluye también un primer bloque 1518 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 1502 y 1504 de función. El bloque 1518 de función se configura también para recibir y sumar las señales 1504 y 1514, y generar y transmitir una señal $e_{s\alpha}$ 1520 de la componente α de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator. El módulo 1500 incluye también un segundo bloque 1522 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 1502 y 1512 de función. El bloque 1522 de función se configura para recibir y sumar las señales 1506 y 1516 y generar y transmitir una señal $e_{s\beta}$ 1524 de la componente β de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

El módulo 1500 se configura para almacenar una señal $|\psi_s^{ref}|$ 1526 de magnitud de referencia de flujo del estator dentro de un registro $|\psi_s^{ref}|$ 1528 de magnitud de referencia de flujo del estator. La señal $|\psi_s^{ref}|$ 1526 se determina en línea dentro del sistema 400 utilizando mediciones y determinaciones en línea de parámetros eléctricos que incluyen, pero no se limitan a, las corrientes del estator y la inductancia del estator. Como alternativa, la señal 1526 se basa en determinaciones fuera de línea de las características eléctricas del estator 520 utilizando procedimientos y cálculos conocidos en la técnica. El registro 1528 se configura para transmitir la señal 1526.

El módulo 1500 incluye además un par de bloques de función de la componente de flujo del estator, es decir, un bloque 1530 de función $\psi_{s\alpha}^{ref}$ de la componente α de flujo del estator y un bloque 1532 de función $\psi_{s\beta}^{ref}$ de la componente β de flujo del estator, ambos acoplados en comunicación electrónica de datos con el registro 1528. El bloque 1530 de función se configura para generar y transmitir una señal $\psi_{s\alpha}^{ref}$ 1534 de referencia de la componente α de flujo del estator en el marco de referencia estacionario. Los valores de la señal 1534 están representados por la ecuación:

$$\psi_{s\alpha}^{ref} \text{ 1534} = |\psi_s^{ref}| \text{ 1526} * \cos\theta \dots \dots \dots (27)$$

donde θ es una variable que representa la fase de un vector de flujo del estator estimado en el marco de referencia estacionario como se describe más adelante. Del mismo modo, el bloque 1532 de función se configura para generar y transmitir una señal $\psi_{s\beta}^{ref}$ 1536 de referencia de la componente β de flujo del estator en el marco de referencia estacionario. Los valores de la señal 1536 están representados por la ecuación:

$$\psi_{s\beta}^{ref} \text{ 1536} = |\psi_s^{ref}| \text{ 1526} * \sin\theta \dots \dots \dots (28)$$

El módulo 1500 incluye también un tercer bloque 1538 de función sumadora acoplado en comunicación electrónica de datos con el bloque de función 1530, en el que el bloque 1538 de función se configura para recibir la señal 1534 y una señal $\psi_{s\alpha}^{est}$ 1540 de estimación de la componente α de flujo del estator (descrita más adelante), en el que la señal 1540 hace referencia a la marco de referencia estacionario. El bloque 1538 de función se configura también para restar la señal 1540 de la señal 1534 para generar y un diferencial de señal $\Delta\psi_{s\alpha}$ 1542 de la componente α de flujo del estator.

El módulo 1500 incluye además un cuarto bloque 1544 de función sumadora acoplado en comunicación electrónica de datos con el bloque de función 1532, en el que el bloque 1544 de función se configura para recibir la señal 1536 y una señal $\psi_{s\beta}^{est}$ 1546 de estimación de la componente β de flujo del estator (descrita más adelante), en el que la señal 1546 hace referencia a la marco de referencia estacionario. El bloque 1544 de función se configura también para restar la señal 1546 de la señal 1536 para generar y un diferencial de señal $\Delta\psi_{s\beta}$ 1548 de la componente β de flujo del estator.

El módulo 1500 incluye también un filtro 1550 de paso bajo (LPF) que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 1538 y 1544 de función. El LPF 1550 se configura para facilitar la transmisión de porciones de baja frecuencia predeterminadas de las señales 1542 y 1548, atenuar las porciones de alta frecuencia predeterminadas de las señales 1542 y 1548, y generar un diferencial de señal $\Delta\psi_{s\alpha}$ 1552 de la componente α de flujo del estator de baja frecuencia (LF) y un diferencial de señal $\Delta\psi_{s\beta}$ 1554 de la componente β de flujo del estator de baja frecuencia (LF).

El módulo 1500 incluye también un bloque 1555 de función PI acoplado en comunicación electrónica de datos con el LPF 1550. El bloque 1555 de función se configura para recibir las señales 1552 y 1554 y utiliza algoritmos proporcionales e integrales (no mostrados) para generar y transmitir una señal $u_{s\alpha}^{Corr}$ 1556 de corrección de la componente α de la tensión del estator integral y una señal $u_{s\beta}^{Corr}$ 1558 de corrección de la componente β de la tensión del estator integral.

El módulo 1500 incluye además un quinto bloque 1560 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 1518 y 1555 de función. El bloque 1560 de función se configura para recibir y sumar las señales 1520 y 1556 y generar y transmitir una señal $e_{s\alpha}$ 1562 de la componente α de EMF posterior del estator corregida. Del mismo modo, el módulo 1500 incluye un sexto bloque 1564 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 1522 y 1555 de función. El bloque 1564 de función se configura para recibir y sumar las señales 1524 y 1558 para generar y transmitir una señal $e_{s\beta}$ 1566 de la componente β de EMF posterior del estator corregida.

- El módulo 1500 incluye también un bloque 1568 de función integradora que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 1560 y 1564 de función, en el que el módulo 1568 se configura para recibir las señales 1562 y 1566, respectivamente. El bloque 1568 se configura también para integrar la señal 1562 en un intervalo predeterminado, y generar y transmitir una señal $\psi_{s\alpha}^{est}$ 1540 de estimación de la componente α del flujo del estator.
- 5 Del mismo modo, el bloque 1568 se configura para integrar la señal 1566 durante un intervalo predeterminado, y generar y transmitir una señal $\psi_{s\beta}^{est}$ 1546 de estimación de la componente β del flujo del estator. El bloque 1568 de función integradora puede acumular progresivamente una deriva, o desfase inherente a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 1500 si las señales 1562 y 1566 incluyen la deriva, o desfase inherente. Por lo tanto, las señales 1556 y 1558 corrigen tales desfases, facilitando de este modo la mitigación de la acumulación de errores.
- 10 Durante la operación, el módulo 1500 de estimación del flujo del estator ejemplar facilita estimaciones del flujo del estator que, a su vez, facilita la determinación de la posición ϵ 620 del rotor. La pluralidad de sensores 1402 de tensión del estator generan y transmiten la señal u_{sAB} 1404 del vector de tensión del estator que se define como una señal sustancialmente representativa de una diferencia de tensión entre las fases A y B del estator. Los sensores 1402 generan y transmiten también la señal u_{sBC} 1406 del vector de tensión del estator que se define como una
- 15 señal sustancialmente representativa de un diferencial de tensión entre las fases B y C del estator. Las señales 1404 y 1406 se transmiten al primer bloque 1502 de función de transformación de coordenadas para generar la señal $u_{s\alpha}^{fbk}$ 1504 de la componente α retroalimentación (fbk) de tensión del estator y la señal $u_{s\beta}^{fbk}$ 1506 de la componente β de retroalimentación (fbk) de tensión del estator dentro del sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 1252 del estator y el eje β 1254 del estator (ambos mostrados en la Figura 12).
- 20 Además, durante la operación, los sensores 1408 de corriente generan y transmiten una señal (i_{rA}) 1410 de corriente del estator de fase A, una señal (i_{sB}) 1412 de corriente del estator de fase B, y una señal (i_{sC}) 1414 de corriente del estator de fase C al segundo bloque 1508 de función de transformación de coordenadas. El bloque 1508 de función genera la señal $i_{s\alpha}^{fbk}$ 1510 de la componente α de retroalimentación (fbk) de corriente del estator y la señal $i_{s\beta}^{fbk}$ 1511 de la componente β de retroalimentación (fbk) de corriente del estator en el sistema de coordenadas estacionario
- 25 definido por el eje α 1252 del estator y el eje β 1254 del estator. El bloque 1508 de función las transmite señales 1510 y 1511 al bloque 1512 de función multiplicadora que recibe también la señal R_s 1422 de resistencia del estator procedente del registro R_s 1424 de resistencia del estator, en el que el bloque 1512 de función multiplica las señales 1510 y 1511 por la señal 1422 y uno negativo (-1) y genera y transmite la señal 1514 producto $-i_{s\alpha}^{fbk} * R_s$ y la señal 1516 producto $-i_{s\beta}^{fbk} * R_s$.
- 30 Adicionalmente, durante la operación, el primer bloque 1518 de función sumadora recibe y suma las señales 1504 y 1514 y genera y transmite, después, una señal $e_{s\alpha}$ 1520 de la componente α de fuerza electromagnética EMF posterior del estator. Del mismo modo, el segundo bloque 1522 de función sumadora recibe y suma las señales 1506 y 1516 y genera y transmite, después, una señal $e_{s\beta}$ 1524 de la componente β de fuerza electromagnética EMF posterior del estator.
- 35 Por otra parte, durante la operación registro $|\psi_s^{ref}|$ 1528 de magnitud de referencia de flujo del estator almacena y transmite la señal $|\psi_s^{ref}|$ 1526 de magnitud de referencia de flujo del estator. En esta realización ilustrativa, la señal $|\psi_s^{ref}|$ 1526 se determina en línea dentro del sistema 400 utilizando mediciones y determinaciones en línea de parámetros eléctricos que incluyen, pero no se limitan a, las corrientes del estator y la inductancia del estator. Como alternativa, la señal 1526 se basa en determinaciones fuera de línea de las características eléctricas del generador
- 40 518 utilizando procedimientos y cálculos conocidos en la técnica.
- Además, durante la operación, el bloque 1530 de función $\psi_{s\alpha}^{ref}$ de la componente α de flujo del estator y el bloque 1532 de función $\psi_{s\beta}^{ref}$ de la componente β de flujo del estator generan y transmiten una señal $\psi_{s\alpha}^{ref}$ 1534 de referencia de la componente α de flujo del estator y una señal $\psi_{s\beta}^{ref}$ 1536 de referencia de la componente β de flujo del estator, ambas en el marco de referencia estacionario.
- 45 Además, durante la operación, el tercer bloque 1538 de función sumadora recibe la señal 1534 y una señal $\psi_{s\alpha}^{est}$ 1540 de estimación de la componente α de flujo del estator, y el cuarto bloque 1544 de función sumadora recibe la señal 1536 y una señal $\psi_{s\beta}^{est}$ 1546 de estimación de la componente β de flujo del estator, en los que las señales 1540 y 1546 están referenciadas al marco de referencia estacionario. El bloque 1538 de función resta la señal 1540 de la señal 1534 y genera y transmite un diferencial de señal $\Delta\psi_{s\alpha}$ 1542 de la componente α de flujo del estator. De
- 50 forma similar, el bloque 1544 de función resta la señal 1546 de la señal 1536 y genera y transmite un diferencial de señal $\Delta\psi_{s\beta}$ 1548 de la componente β de flujo del estator
- Por otra parte, durante la operación, el filtro 1550 de paso bajo (LPF) recibe las señales 1542 y 1548 y transmite las porciones de baja frecuencia predeterminadas de las señales 1542 y 1548, mientras que atenúa las porciones de alta frecuencia predeterminadas de las señales 1542 y 1548. Específicamente, el LPF 1550 genera un diferencial de
- 55 señal $i_{s\alpha}^s$ 1552 de la componente α de la corriente del rotor de baja frecuencia (LF) y un diferencial de señal $i_{s\beta}^s$ 1554 de la componente β de la corriente del rotor de baja frecuencia (LF) al bloque 1555 de función PI. El bloque 1555 de función recibe señales 1552 y 1554 y utiliza algoritmos proporcional e integrales para generar y transmitir una señal $u_{s\alpha}^{Corr}$ 1556 de corrección de la componente α de la tensión del estator integral y una señal $u_{s\beta}^{Corr}$ 1558 de corrección de la componente β de la tensión del estator integral.

Además, durante la operación, el quinto bloque 1560 de función sumadora recibe y suma las señales 1520 y 1556 y genera y transmite una señal $e_{s\alpha}$ 1562 de la componente α de EMF posterior del estator corregida. Del mismo modo, el sexto bloque 1564 de función sumadora recibe y suma las señales 1524 y 1558 para generar y transmitir una señal $e_{s\beta}$ 1566 de la componente β de EMF posterior del estator corregida. El bloque 1568 de función integradora recibe las señales 1562 y 1566, e integra las señales 952 y 956 en un intervalo predeterminado, y genera y transmite la señal $\psi_{s\alpha}^{est}$ 1540 de estimación de la componente α del flujo del estator integrada ejemplar y la señal $\psi_{s\beta}^{est}$ 1546 de estimación de la componente β del flujo del estator integrada ejemplar. El bloque 1568 de función integradora puede acumular progresivamente una deriva, o desfase inherente a lo largo del tiempo y facilitar la saturación del módulo 1500 si las señales 1562 y 1566 incluyen la deriva, o desfase inherente. Por lo tanto, las señales 1556 y 1558 corrigen tales desfases, facilitando de este modo la mitigación de la acumulación de errores. El efecto técnico de operación del módulo 1500 de estimación del flujo del estator ejemplar, tal como se utiliza con sistema 400 de estimación de la posición del rotor, la lógica 1300 alternativa y la lógica 1350 alternativa, es generar y transmitir señales 1540 y 1570 del flujo del estator integradas. Las señales 1540 y 1570 se procesan en otra porción dentro de la lógica 1300 o la lógica 1350, y/o el sistema 400 para generar en última instancia, una indicación de velocidad del rotor estimada.

La Figura 17 es una vista esquemática de un esquema 1600 de corrección de desfase de corriente y tensión que se puede utilizar con el sistema 400 de estimación de la posición del rotor. El esquema 1600 está integrado dentro la 'lógica 1300. Como esta alternativa el esquema 1600 se integra dentro de la lógica 1350. El esquema 1600 se configura para generar y transmitir la señal $u_{s\alpha}^{fbk}$ 1504 de la componente α de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator, la señal $u_{s\beta}^{fbk}$ 1506 de la componente β de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator, la señal $i_{s\alpha}^{fbk}$ 1510 de la componente α de retroalimentación (fbk) de la corriente del estator y la señal $i_{s\beta}^{fbk}$ 1512 de la componente β de retroalimentación (fbk) de la corriente del estator, en el que todas las cuatro señales están referenciadas al sistema de coordenadas estacionario definido por el eje α 1252 del estator y el eje β 1254 del estator (ambos mostrados en la Figura 12). Las señales 1504, 1506, 1510, y 1512 se generan con los sensores 1402 y 1408 de corriente y tensión del estator, respectivamente, y los bloques 1502 y 1508 de función de transformación de coordenadas, respectivamente, como se ha descrito anteriormente.

En concreto, el esquema 1600 se configura para recibir la señal $u_{s\alpha}^{fbk}$ 1504 de la componente α de retroalimentación (fbk) de la tensión del estator. El esquema 1600 incluye un primer filtro 1604 de paso bajo (LPF) que se configura para recibir la señal 1504.

El LPF 1604 se configura para facilitar la transmisión de porciones de baja frecuencia predeterminadas de la señal 1504, atenuar las porciones de alta frecuencia predeterminadas de la señal 1504, y generar una señal $u_{s\alpha}^{desfase}$ 1606 de la componente α de desfase del sensor de tensión del estator. La señal 1606 representa un valor de desfase del sensor de tensión conocido que se utiliza para corregir la salida del sensor, facilitando así una mayor exactitud y precisión del sistema 400 de estimación de la posición del rotor. El esquema 1600 incluye además un primer bloque 1608 de función sumadora que se configura para recibir la señal 1504 y la señal 1606, restar la señal 1606 de la señal 1504 y generar y transmitir una señal $u_{s\alpha}$ 1610 de la componente α de tensión del estator.

El esquema 1600 incluye una configuración similar para recibir la señal $u_{s\beta}^{fbk}$ 1506 de la componente β de retroalimentación de la tensión del estator desde el bloque 1502 de función. Específicamente, el esquema 1600 incluye también un segundo LPF 1614 que es sustancialmente similar al LPF 1604 y se configura para generar una señal $u_{s\beta}^{desfase}$ 1616 de la componente β de desfase del sensor de tensión del estator. El esquema 1600 incluye también un segundo bloque 1618 de función sumadora configurado para recibir la señal 1506 y la señal 1616, restar la señal 1616 de la señal 1506 y generar y transmitir una señal $u_{s\beta}$ 1620 de la componente β de tensión del estator.

También, específicamente, el esquema 1600 se configura para recibir la señal $i_{s\alpha}^{fbk}$ 1510 de la componente α de retroalimentación de la corriente del estator. El esquema 1600 incluye un tercer LPF 1624 que se configura para recibir la señal 1622.

El LPF 1624 se configura para facilitar la transmisión de porciones de baja frecuencia predeterminadas de la señal 1510, atenuar las porciones de alta frecuencia predeterminadas de la señal 1510, y generar una señal $i_{s\alpha}^{desfase}$ 1626 de la componente α de desfase del sensor de corriente del estator. La señal 1626 representa un valor de desfase del sensor de corriente conocido que se utiliza para corregir la salida del sensor, facilitando así una mayor exactitud y precisión del sistema 400 de estimación de la posición del rotor. El esquema 1600 incluye además un tercer bloque 1628 de función sumadora que se configura para recibir la señal 1510 y la señal 1626, restar la señal 1626 de la señal 1510 y generar y transmitir una señal $i_{s\alpha}$ 1630 de la componente α de corriente del estator.

El esquema 1600 incluye una configuración similar para recibir la señal $i_{s\beta}^{fbk}$ 1512 de la componente β de retroalimentación de la corriente del estator desde el bloque 1508 de función. Específicamente, el esquema 1600 incluye también un cuarto LPF 1634 que es sustancialmente similar al LPF 1624 y se configura para generar una señal $i_{s\beta}^{desfase}$ 1636 de la componente β de desfase del sensor de corriente del estator. El esquema 1600 incluye también un cuarto bloque 1638 de función sumadora configurado para recibir la señal 1512 y la señal 1636, restar la señal 1636 de la señal 1512 y generar y transmitir una señal $i_{s\beta}$ 1640 de la componente β de corriente del estator.

5 Durante la operación, las señales 1504 y 1506 de tensión del estator y las señales 1510 y 1512 de corriente del estator se transmiten, respectivamente, a los LPF 1604, 1614, 1624, y 1634, donde se generan las señales 1606 y 1616 de desfase de los sensores de tensión y las señales 1626 y 1636 de desfase de los sensores de corriente. Las señales 1606 y 1616 se restan de las señales 1504 y 1506, respectivamente, para generar la señal 1610 y 1620 de tensión del estator, respectivamente. Del mismo modo, las señales 1628 y 1638 se restan de las señales 1510 y 1512, respectivamente, para generar la señal 1630 y 1640 de corriente del estator, respectivamente.

10 Un efecto técnico de la operación del esquema 1600 de corrección de desfase de tensión y corriente, tal como se utiliza con el sistema 400 de estimación de la posición del rotor, la lógica 1300 alternativa y la lógica 1350 alternativa, es generar y transmitir señales 1610 y 1620 de la componente de tensión del estator, así como señales 1630 y 1640 de la componente de corriente del estator. Las señales 1610, 1620, 1630, y 1640 se procesan en otro lugar dentro de la lógica 1300 o de la lógica 1350, y/o el sistema 400, tal como se describe más adelante, para generar, en última instancia, una indicación de velocidad del rotor estimada.

15 La Figura 18 es una vista esquemática de otro módulo 1700 de estimación del flujo del estator alternativo que se puede utilizar con el sistema 400 de estimación de la posición del rotor para estimar un flujo del estator para determinar una θ_r 1268 posición del rotor (que se muestra en la Figura 12). El módulo 1700 está integrado dentro de la lógica 1300. Como alternativa, el módulo 1700 está integrado dentro de la lógica 1350. El módulo 1700 incluye un bloque 1702 de función multiplicadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el esquema 1600 de corrección de desfase y se configura para recibir ambas señales 1630 y 1640 que son transmitidas desde el esquema 1600. El bloque 1702 de función se configura también para recibir la señal R_s 1422 de resistencia del estator que se almacena dentro del registro R_s 1424 de resistencia del estator. El bloque 1702 de función se configura además para multiplicar las señales 1630 y 1640 por la señal 1422 y uno negativo (-1) para generar y transmitir una señal 1704 producto $-i_{s\alpha} * R_s$ y una señal 1706 producto $-i_{s\beta} * R_s$, respectivamente.

20 El módulo 1700 incluye también un primer bloque 1708 de función sumadora que se acopla en comunicación electrónica de datos con el bloque 1702 de función y el esquema 1600. El bloque 1708 de función se configura también para recibir y sumar las señales 1610 y 1704, y generar y transmitir una señal $e_{s\alpha}$ 1710 de la componente α de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator. El módulo 1700 incluye también un segundo bloque 1712 de función sumadora que se configura para recibir y sumar las señales 1620 y 1706 y generar y transmitir una señal $e_{s\beta}$ 1714 de la componente β de fuerza electromagnética posterior (EMF) del estator.

25 El módulo 1700 incluye también un filtro 1716 de paso bajo (LPF) que se acopla en comunicación electrónica de datos con los bloques 1708 y 1712 de función. El LPF 1716 se configura para recibir las señales 1710 y 1714. El LPF 1716 se configura también para facilitar la aproximación de integración de señal pura de las señales 1710 y 1714 con algunos errores de magnitud y de fase como se conoce en la técnica. Como alternativa, el LPF 1716 se configura para efectuar las correcciones internas de errores de magnitud y fase para mitigar la deriva del integrador y los errores de inicializaciones puros. El LPF 1716 se configura además para generar y transmitir una señal 1718 de la componente α de aproximación del flujo del estator. Del mismo modo, el LPF 1716 se configura también para facilitar la generación y transmisión de una señal 1720 de la componente β de aproximación del flujo del estator.

30 El módulo 1700 incluye también un bloque 1722 de función de compensación de error de magnitud/fase que se acopla en comunicación electrónica de datos con el LPF 1716 y se configura para recibir las señales 1718 y 1720. El bloque 1722 de función se configura para generar y transmitir una estimación sustancialmente exacta del flujo del estator. En concreto, bloque 1722 de función se configura para generar y transmitir una señal $\psi_{s\alpha}^{LPF}$ 1724 de la componente α de estimación del flujo del estator de LPF y una señal $\psi_{s\beta}^{LPF}$ 1726 de la componente β de estimación del flujo del estator de LPF. Las señales 1724 y 1726 representan las componentes de estimación del flujo del estator referenciadas al marco de referencia estacionario.

35 Durante la operación, la señal 1610 de tensión del estator se recibe por el bloque 1708 de función. Además, la señal 1630 de corriente del estator se multiplica por la señal R_s 1422 de resistencia del estator y uno negativo para generar la señal 1704. Una diferencia entre las señales 1610 y 1704 se genera por bloque 1708 de función como la señal 1710, en la que la señal 1710 es sustancialmente equivalente a un componente de la EMF posterior formada típicamente durante la generación de potencia eléctrica. Del mismo modo, la señal 1620 de tensión del estator se recibe por el bloque 1712 de función. Además, la señal 1640 de corriente del estator se multiplica por la señal R_s 1422 de resistencia del estator y uno negativo para generar la señal 1706. Una diferencia entre las señales 1620 y 1706 se genera por bloque 1712 de función como la señal 1714, en la que la señal 1714 es también sustancialmente equivalente a un componente de la EMF posterior.

40 Además, durante la operación, las señales 1710 y 1714 se transmiten al LPF 1716, en el que el LPF 1716 genera una señal 1718 de la componente α de aproximación del flujo del estator y una señal 1720 de la componente β de aproximación del flujo del estator y las transmite al bloque 1722 de función, en el que las señales 1724 y 1726 de flujo del estator se generan y transmiten dentro del sistema 400. El efecto técnico de operación del módulo 1700 de estimación del flujo del estator alternativo, tal como se utiliza con el sistema 400 de estimación de la posición del rotor, la lógica 1300 alternativa y la lógica 1350 alternativa, es generar y transmitir señales 1724 y 1726 del vector de flujo del estator. Las señales 1724 y 1726 se procesan en otro lugar dentro de la lógica 1300 o de la lógica 1350, y/o del sistema 400 para generar en última instancia, una indicación de velocidad del rotor estimada.

Además, durante la operación, cuando la tensión de red disminuye a cero, es probable que existan fallos que impidan que el generador 100 de turbina eólica (mostrado en la Figura 1) transmita potencia eléctrica a la red. Por otra parte, en general, el conjunto 510 de convertidor de potencia (mostrado en la Figura 4) es susceptible a fluctuaciones de tensión de red. El generador 518 puede almacenar la energía electromagnética que se puede convertir en las altas corrientes y alta tensión de conexión CC cuando la tensión de red disminuye rápidamente. Esas altas corrientes y tensiones pueden mitigar las expectativas de vida de los componentes del conjunto 510 que pueden incluir, pero no limitarse a, dispositivos semiconductores tales como los IGBT dentro del conjunto 510.

Por otra parte, durante la operación, el sistema 400 estimación de la posición del rotor se configura con, pero no se limita a, el módulo 1400 de estimación del flujo del estator, u otro módulo 1500 de estimación del flujo del estator, o esquema 1600 de corrección de desfase de tensión y corriente y el módulo 1700 de estimación del flujo del estator alternativo. Tal configuración proporciona una indicación de la posición del rotor sin codificadores incluso durante huecos de baja tensión (LVRT) o huecos de tensión cero (ZVRT). Por lo tanto, el sistema 400 facilita la capacidad de huecos de tensión cero (ZVRT) para el generador 100 de turbina eólica de tal manera que un potencial para el disparo del generador de turbina eólica y las consecuencias asociadas a los dispositivos semiconductores se mitigan durante los transitorios de tensión cero. Los ZVRT se contrastan con las características de huecos de baja tensión (LVRT) conocidas en la técnica que facilitan la mitigación de los disparos del generador 100 de turbina eólica durante los transitorios en los que la amplitud de la tensión disminuye rápidamente, sin embargo, no disminuye a cero voltios. Por lo tanto, los eventos de baja tensión se pueden considerar como menos grave que los eventos de tensión cero y las características ZVRT facilitarán también los LVRT.

Por lo tanto, el rotor sistema de estimación de la posición 400, configurado con, pero no limitado a, el módulo 1400 de estimación de flujo del estator 1400, u otro módulo 1500 o módulo 1600 de estimación del flujo del estator, facilita las capacidades de ZVRT y LVRT para el generador 100 de turbina eólica como se ha descrito anteriormente. Por otra parte, el sistema 400, configurado con el módulo 1400, 1500, o 1600, facilita la supervisión y control rápido del generador 518 sin codificadores en reacción con los transitorios de tensión de red mediante el aislamiento de al menos parcialmente el control del generador 518 de las condiciones de red. Por otra parte, la supervisión en línea de las tensiones, corrientes, flujos del estator y la velocidad del rotor sustancialmente instantánea y el poder compartir esa información a través de todo el esquema de control del generador 100 de turbina eólica facilita respuestas a los transitorios de tensión de red, de tal manera que se ve facilitado el aumento de los márgenes para las condiciones de disparo.

La Figura 19 es una vista esquemática de sistema 300 de seguimiento de posición del rotor ejemplar integrado en un sistema 1800 eléctrico y de control alternativo. El sistema 1800 es sustancialmente similar al sistema 200 (mostrado en las Figuras 2 y 3) con la excepción de que el sistema 1800 no incluye el codificador 258 de la posición alta resolución (que se muestra en la Figura 3). El sistema 1800 se configura para generar y transmitir una pluralidad de señales 1812 que son similares a la señal 312 (que se muestra en la Figura 3) con la excepción de que las señales 1812 no incluyen la señal de velocidad de alta resolución asociada con el codificador 258. El sistema 1800 facilita la disminución de los costes de capital y de mantenimiento operativo mediante la eliminación del codificador 258 de la posición de alta resolución.

La Figura 20 es una vista esquemática de sistema 400 de seguimiento de posición del rotor alternativo integrado en un sistema 1900 eléctrico y de control alternativo. El sistema 1900 es sustancialmente similar al sistema 500 (mostrado en la Figura 4) con la excepción de que el sistema 1800 no incluye el codificador 558 de la posición de alta resolución. El sistema 1900 se configura para generar y transmitir una pluralidad de señales 1912 que son similares a las señales 412 (que se muestran en la Figura 4) con la excepción de que las señales 1912 no incluyen la señal de velocidad alta resolución asociada con el codificador 558. El sistema 1900 facilita la disminución los costes de capital y de mantenimiento operativo mediante la eliminación del codificador 558 de la posición de alta resolución.

El procedimiento y aparato para un sistema de estimación de la posición del rotor del generador de turbina eólica que se describe en la presente memoria facilita la operación de un generador de turbina eólica. En concreto, el sistema de estimación de la posición del rotor como se ha descrito anteriormente facilita una generación eléctrica eficiente y eficaz y un esquema de gestión de la carga mecánica. Más específicamente, la fiabilidad en la generación se incrementa con pequeños costes de capital y operativos adicionales ya que el sistema de estimación de la posición del rotor se configura con el hardware existente con el software existente utilizando entradas procedentes de los sensores de campo existentes. Tal sistema de estimación de la posición del rotor facilita también la fiabilidad del generador de turbina eólica y de los apagones de generadores de turbina eólica, reduciendo el número de disparos debido a fallos del codificador.

Las realizaciones ejemplares del sistema de estimación de la posición del rotor de turbina eólica como asociadas con generadores de turbina eólica se han descrito anteriormente en detalle. Los procedimientos, aparatos y sistemas no se limitan a las realizaciones específicas descritas en la presente memoria ni a los generadores de turbina eólica ilustrados específicos.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (300) de estimación de la posición del rotor para un generador (100) de turbina eólica que comprende un generador (118) de inducción doblemente alimentado (DFIG) que tienen sensores (702) acoplados al mismo, estando dicho sistema (300) de estimación de la posición del rotor configurado para recibir una pluralidad de señales (728, 730) de tensión del estator y de corriente del estator procedentes de los sensores (724) y señales (704, 706, 708) de corriente del rotor procedentes de los sensores (702), incluyendo dicho sistema (300) de estimación de la posición del rotor la lógica (700) para determinar una posición ϵ (620) del rotor y comprendiendo:
- 5 un bloque (710) de función para generar un vector (612) de corriente del rotor a partir de las señales (704, 706, 708) de corriente de rotor que comprende una señal i_{ra} (712) de la componente a del vector de corriente del rotor y una señal i_{rb} (714) de la componente b del vector de corriente del rotor ortogonal, estando dicha señal i_{ra} (712) de la componente a del vector de corriente del rotor y dicha señal i_{rb} (714) de la componente b del vector de corriente del rotor ortogonal relacionadas con un sistema de coordenadas bifásico de rotor definido por el eje a (606) del rotor y el eje b (608) del rotor;
- 10 un bloque (716) de función para generar una señal $\text{sen}\rho_2$ (718) y una señal cosp_2 (720), en el que ρ_2 es el ángulo formado entre el vector (612) de corriente del rotor y el eje de la señal i_{ra} (712) de la componente a del vector de corriente del rotor;
- 15 un módulo (726) para recibir una señal (728) del vector de tensión del estator y una señal (730) del vector de corriente de estator procedente de los sensores (724) y una señal (732) de resistencia del estator, y generar señales (734, 736) del vector de flujo del estator a partir del mismo;
- 20 un bloque (738) de función configurado para recibir las señales del vector (734, 736) de flujo del estator y generar señales i_{ra}^s (740) e i_{rb}^s (742) de estimación de la corriente del rotor relacionadas con un sistema de coordenadas α - β del estator y dependientes de la inductancia L_s de fuga del estator, de las señales i_{sa}^{fbk} (912) e i_{sb}^{fbk} (913) de retroalimentación de la corriente del estator respectivas, y una inductancia (L_m) de magnetización principal;
- 25 un bloque (744) de función configurado para recibir las señales i_{ra}^s (740) e i_{rb}^s (742) de estimación de la corriente del rotor y generar una señal $\text{sen}\rho_1$ (746) = $i_{rb}^s / |i_r^s|$ y una señal cosp_1 (748) = $i_{ra}^s / |i_r^s|$, donde $|i_r^s|$ es la magnitud del vector asociado para i_r^s (614) en un marco de referencia estacionario;
- un módulo (722) configurado para recibir la señal $\text{sen}\rho_2$ (718), la señal cosp_2 (720), la señal $\text{sen}\rho_1$ y la señal cosp_1 (748), y para generar una señal $\text{sen}\epsilon'$ (750) y una señal $\text{cos}\epsilon'$ (752) a partir de las señales recibidas de tal manera que $\text{sen}\epsilon' = \text{sen}(\rho_1 - \rho_2)$ y $\text{cos}\epsilon' = \text{cos}(\rho_1 - \rho_2)$; y
- 30 un bucle (754) fase bloqueada (PLL) configurado para recibir la $\text{sen}\epsilon'$ (750) y la señal $\text{cos}\epsilon'$ (752) y para generar una señal (756) de posición del rotor indicativa de la posición ϵ (620) del rotor.
2. El sistema (300) de estimación de la posición del rotor de la reivindicación 1, en el que las señales (704, 706, 708) de corriente del rotor son señales de corriente del rotor trifásico.
- 35 3. El sistema (300) de estimación de la posición del rotor de cualquier reivindicación anterior, que comprende adicionalmente un registro R_s (733) de resistencia del estator acoplado en comunicación electrónica de datos con el módulo (726).

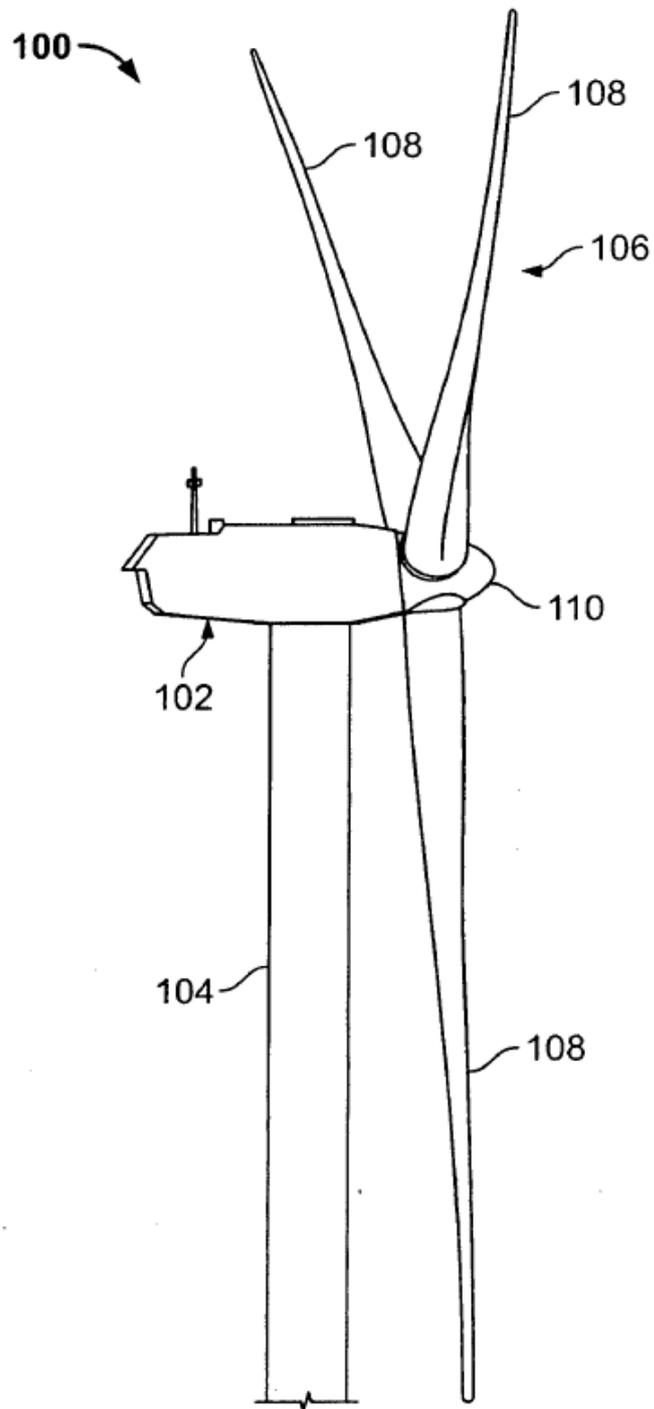


FIG. 1

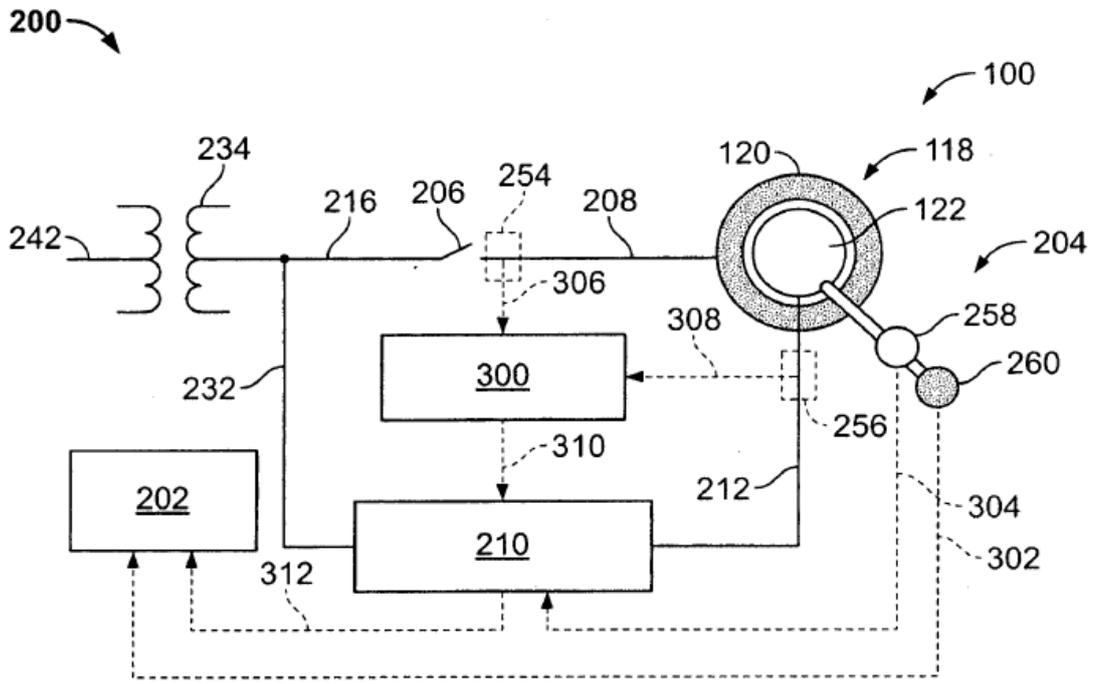


FIG. 3

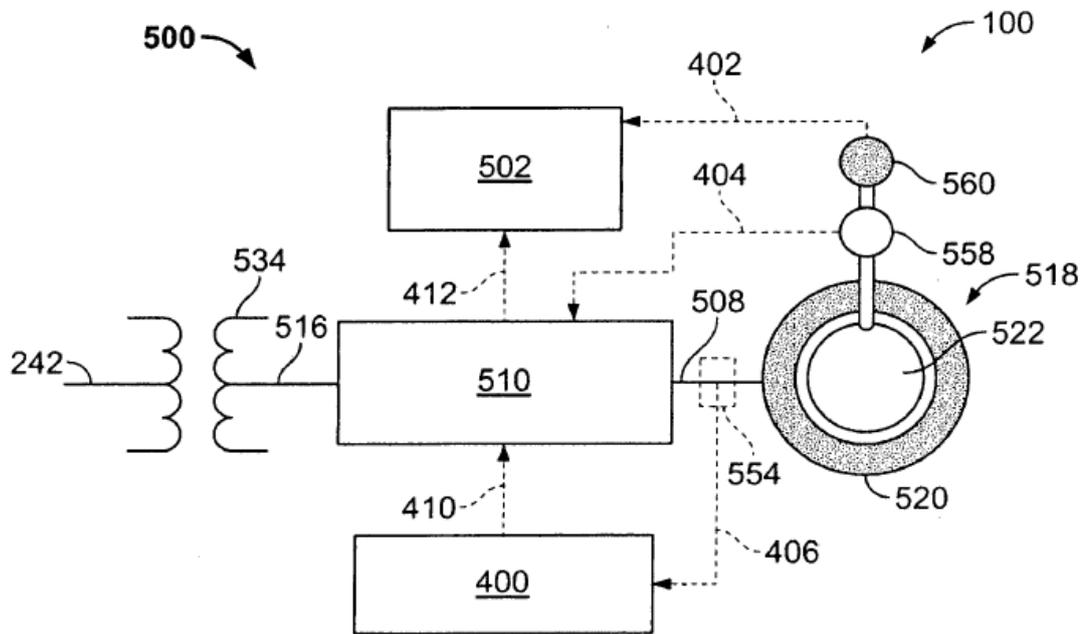


FIG. 4

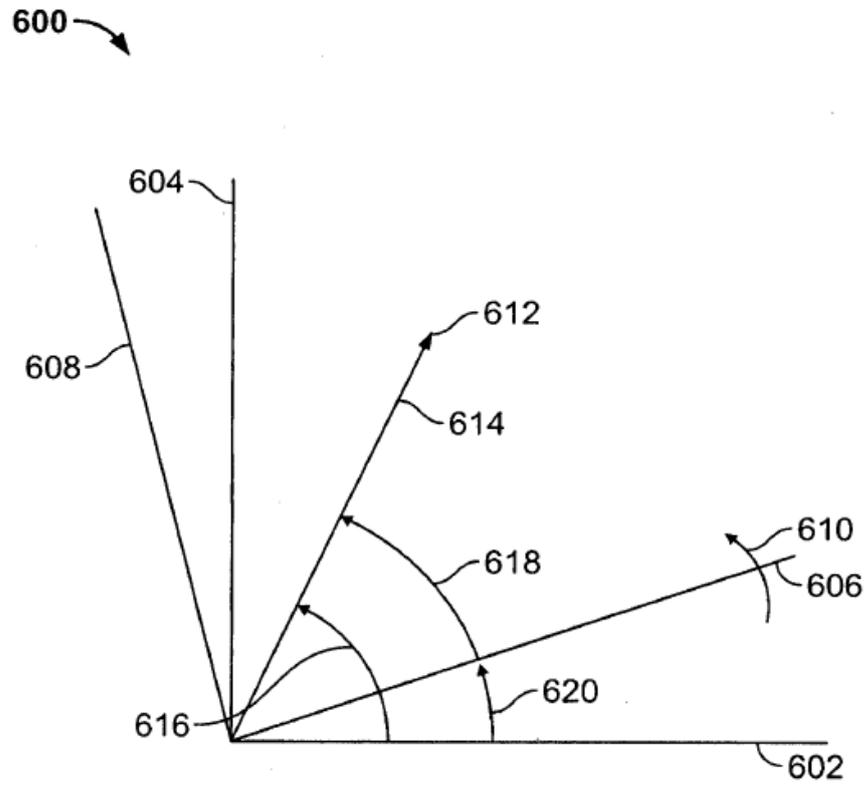


FIG. 5

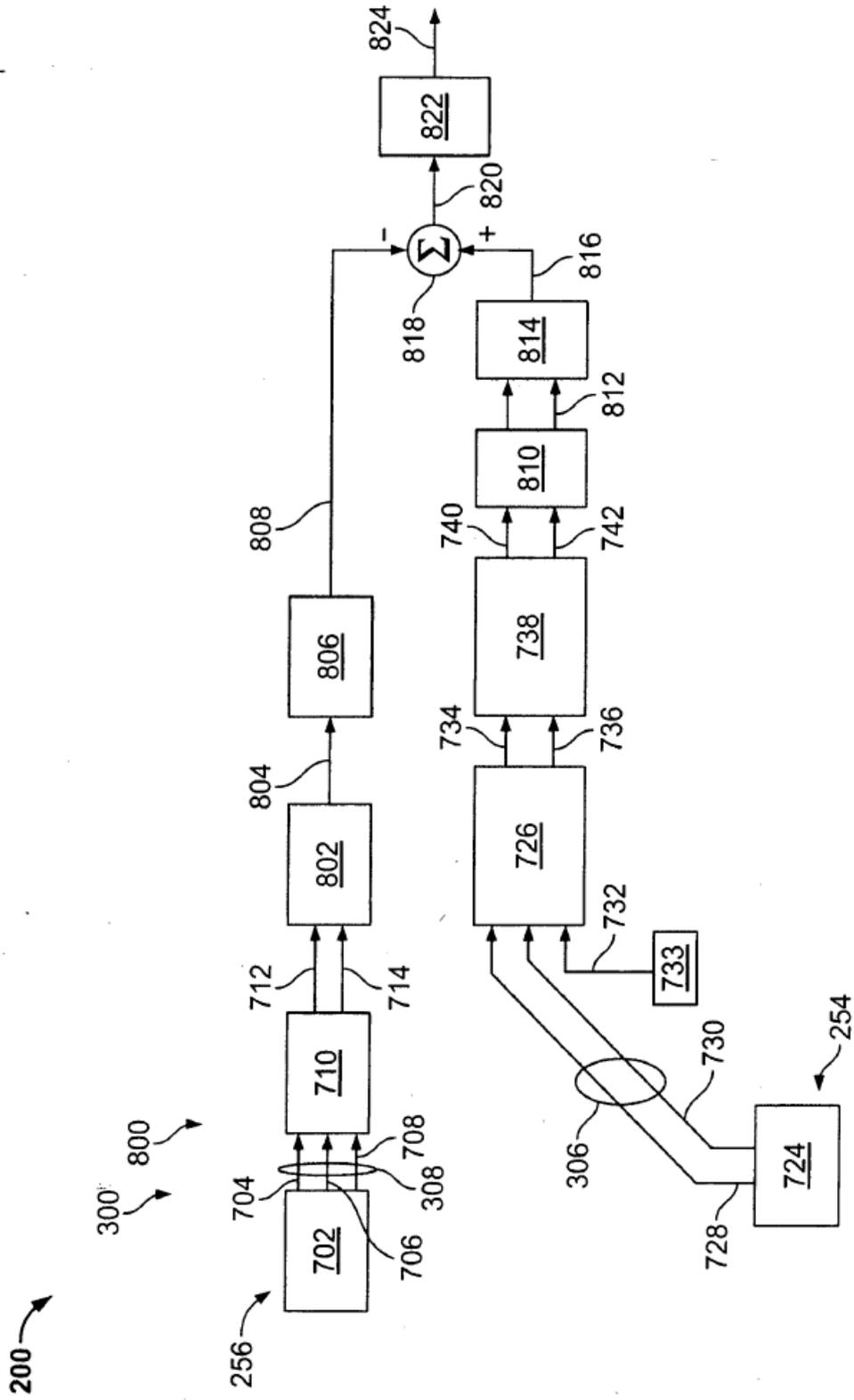


FIG. 7

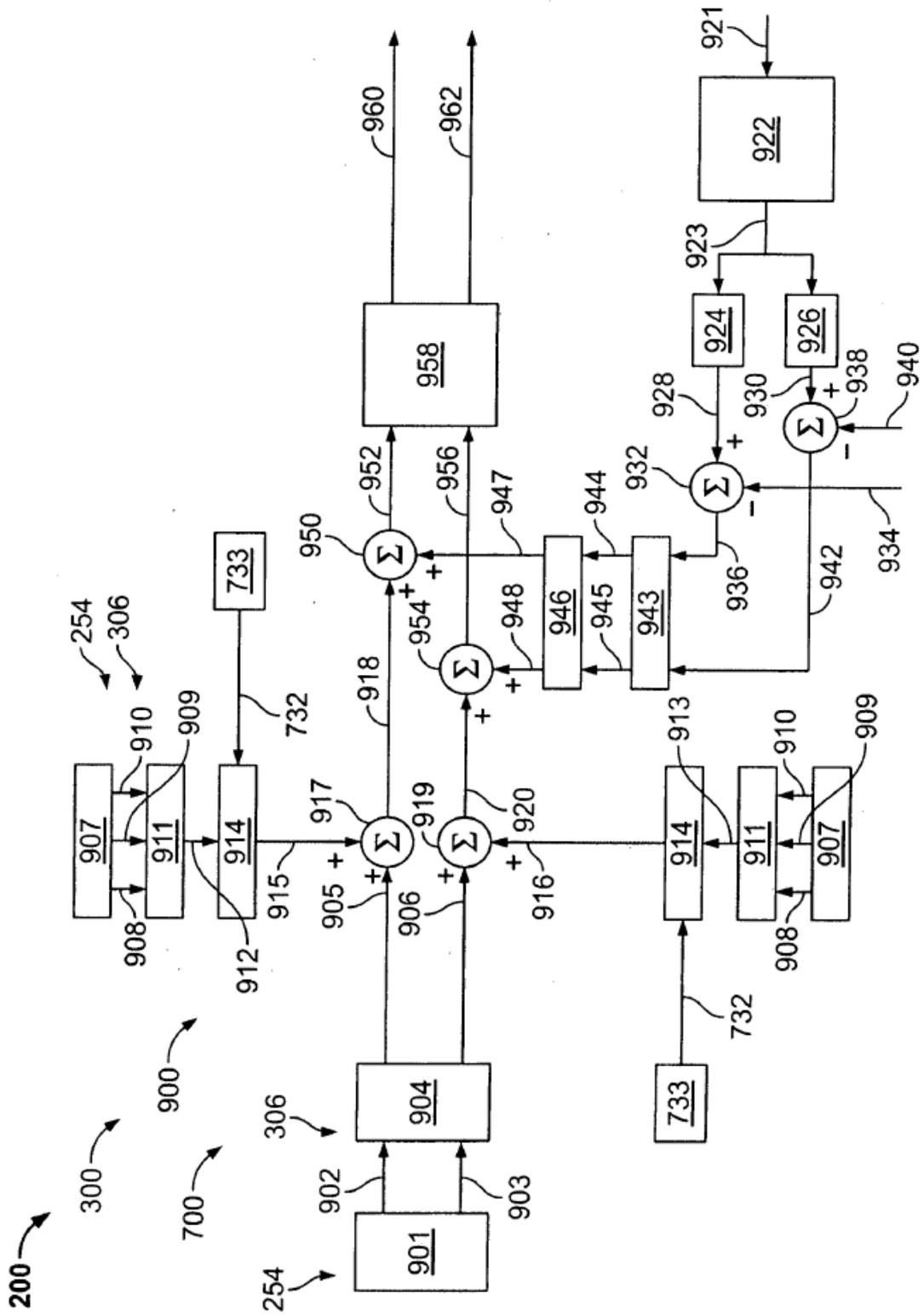


FIG. 8

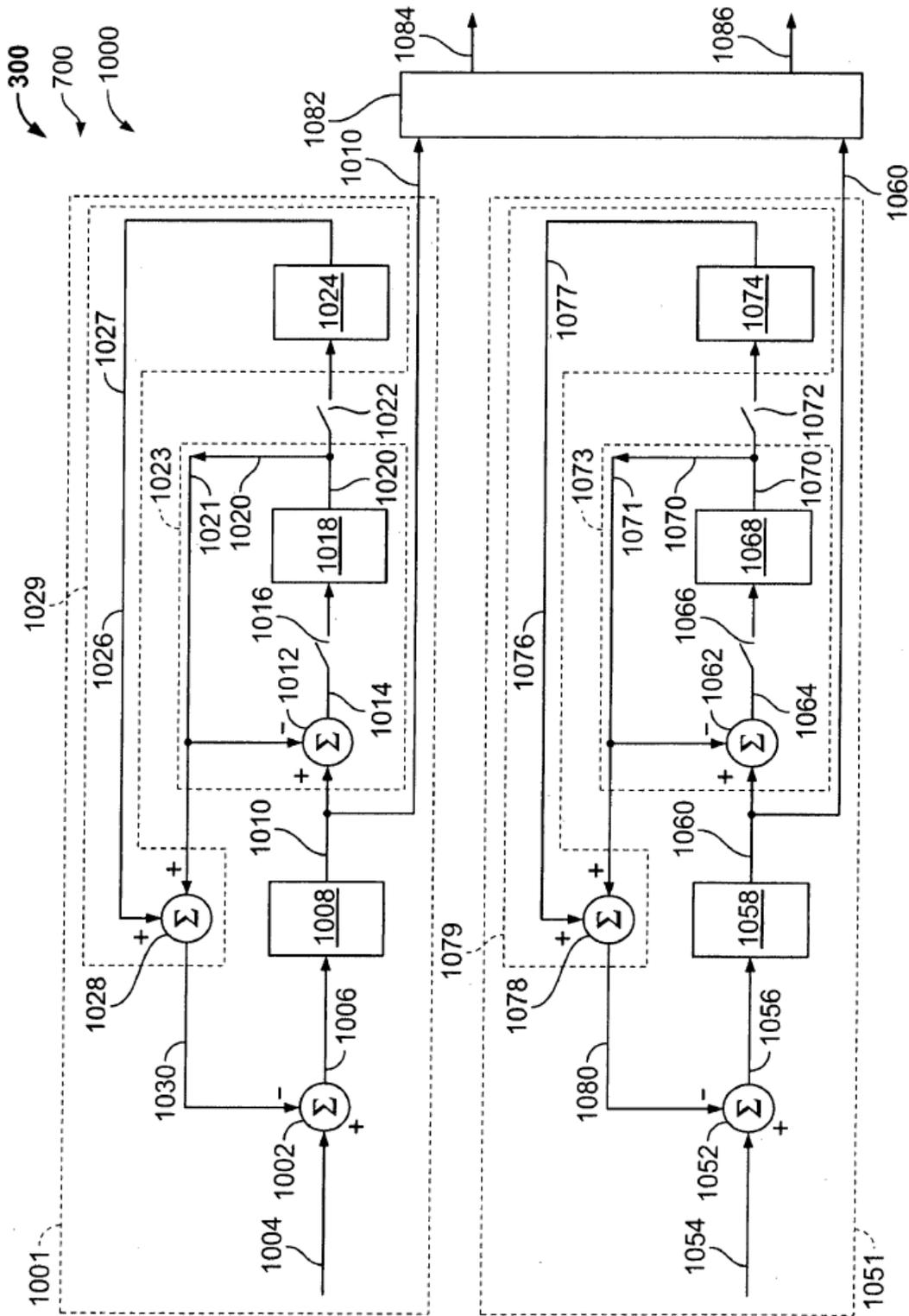


FIG. 9

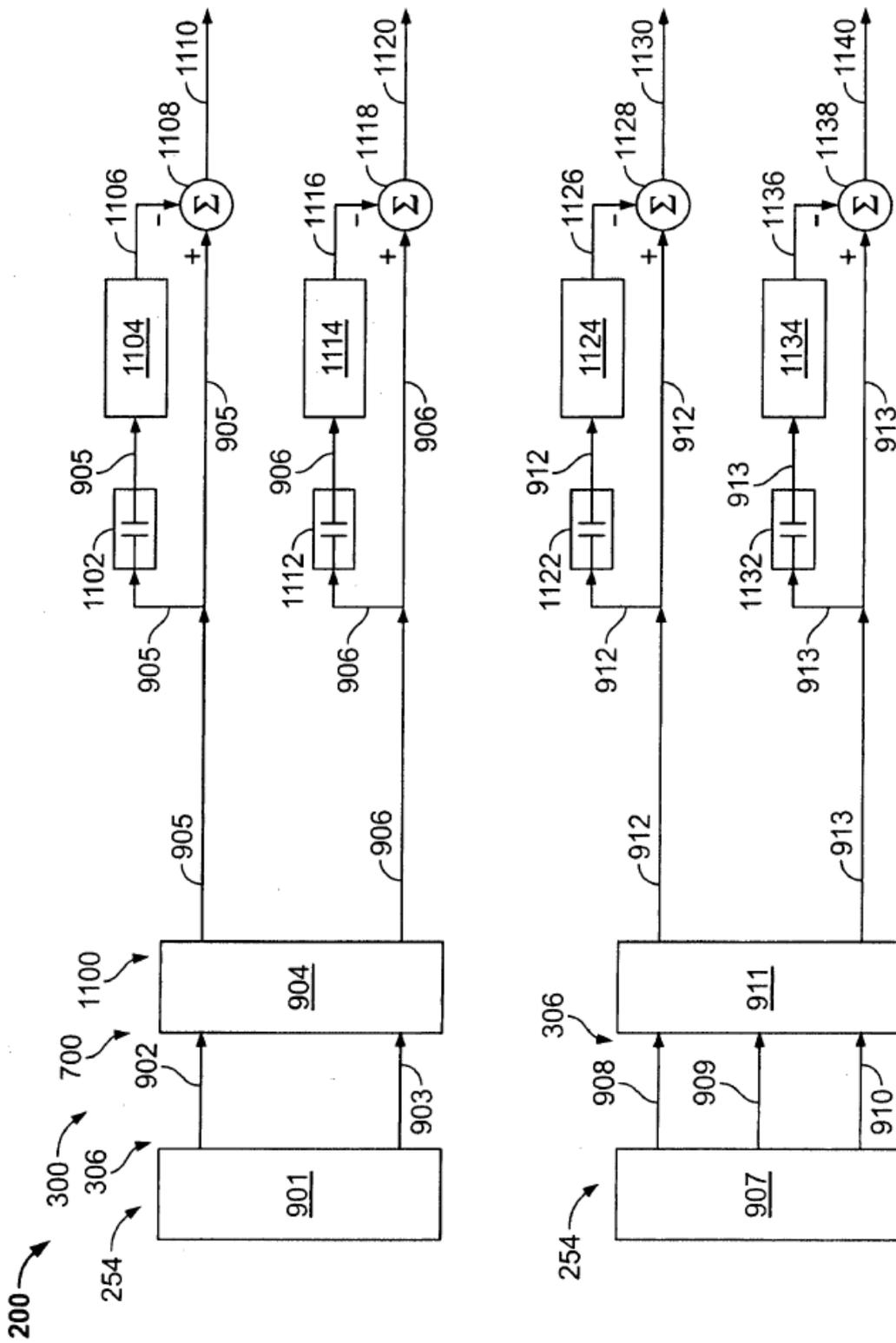


FIG. 10

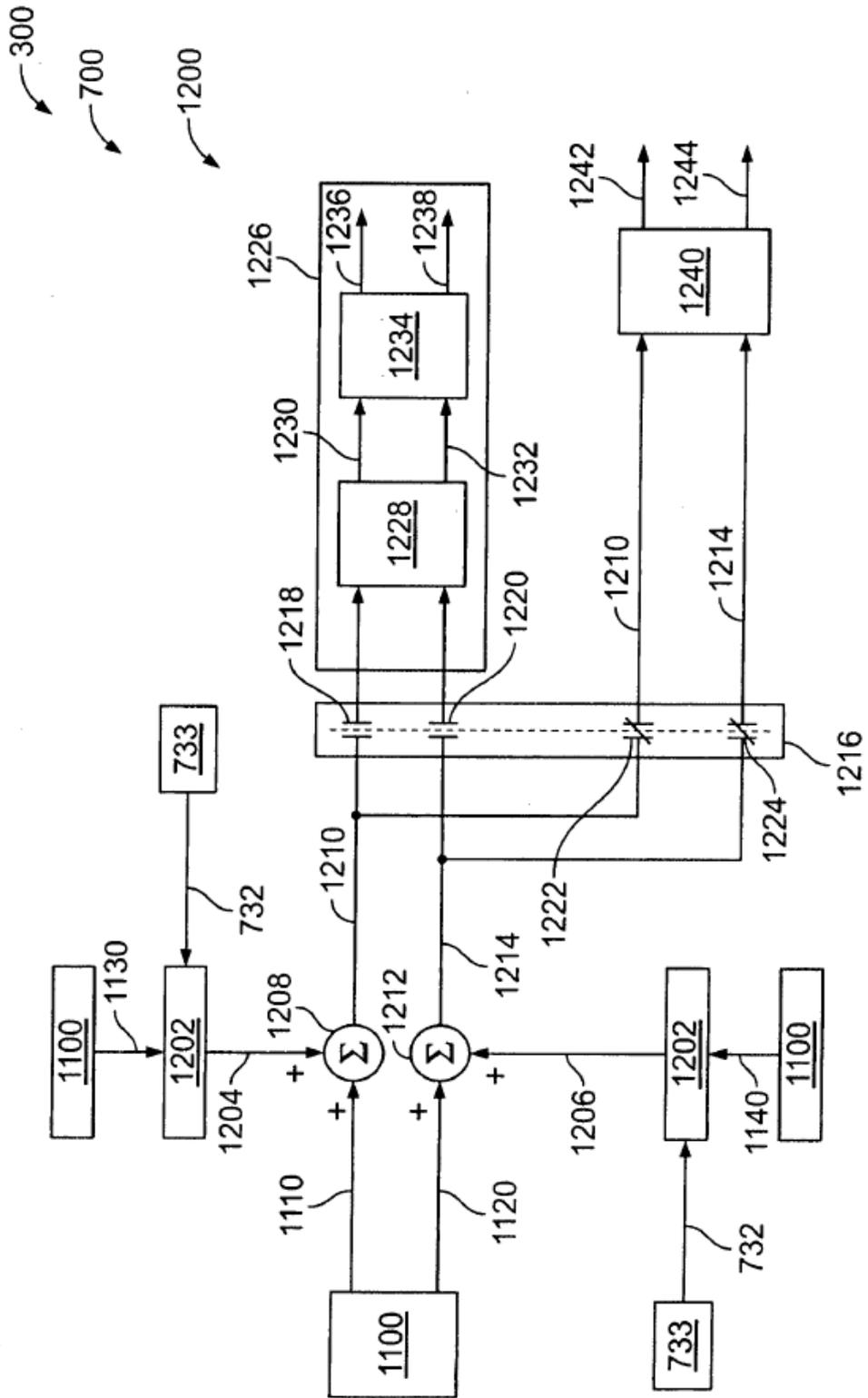


FIG. 11

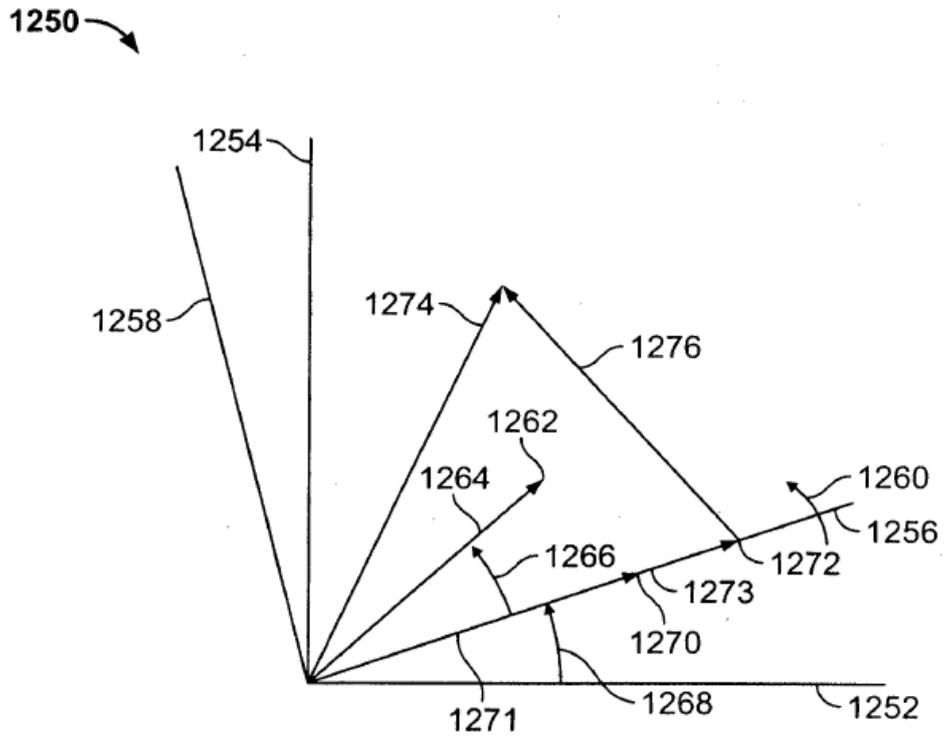


FIG. 12

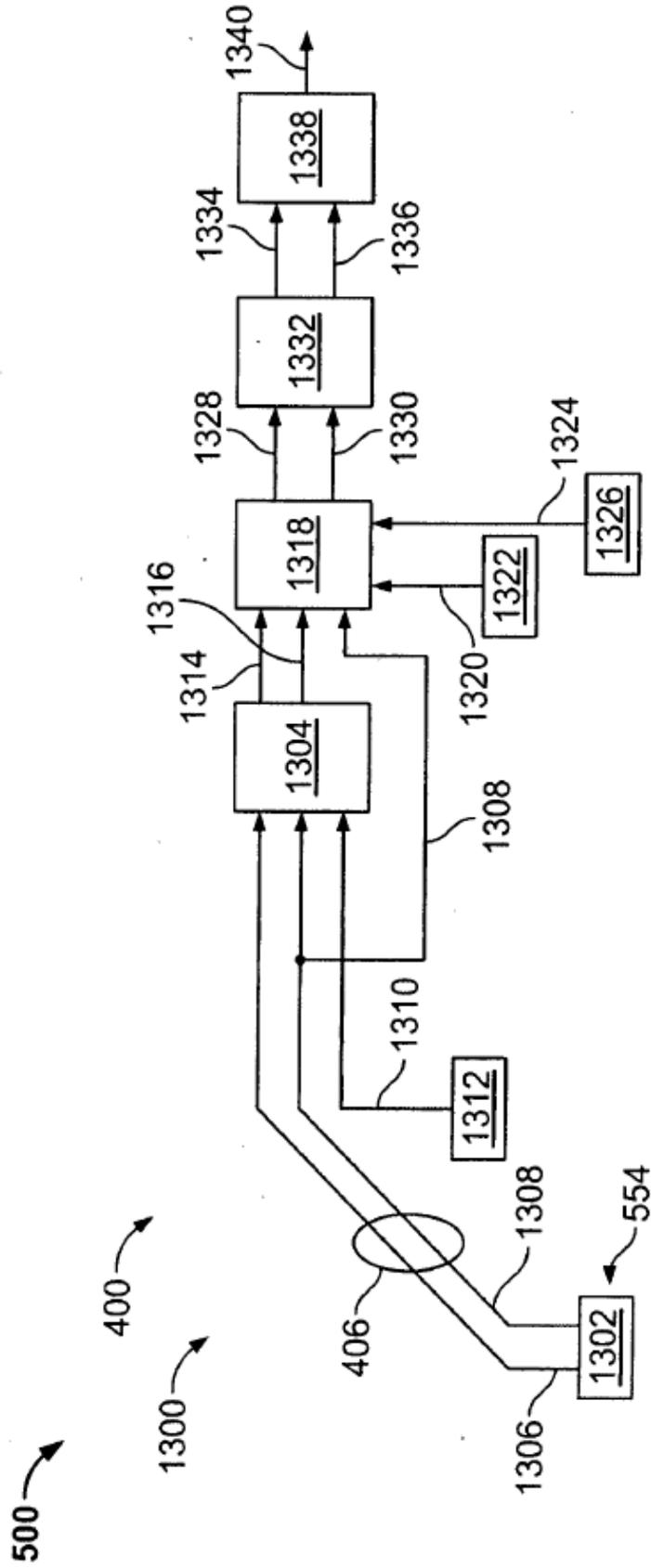


FIG. 13

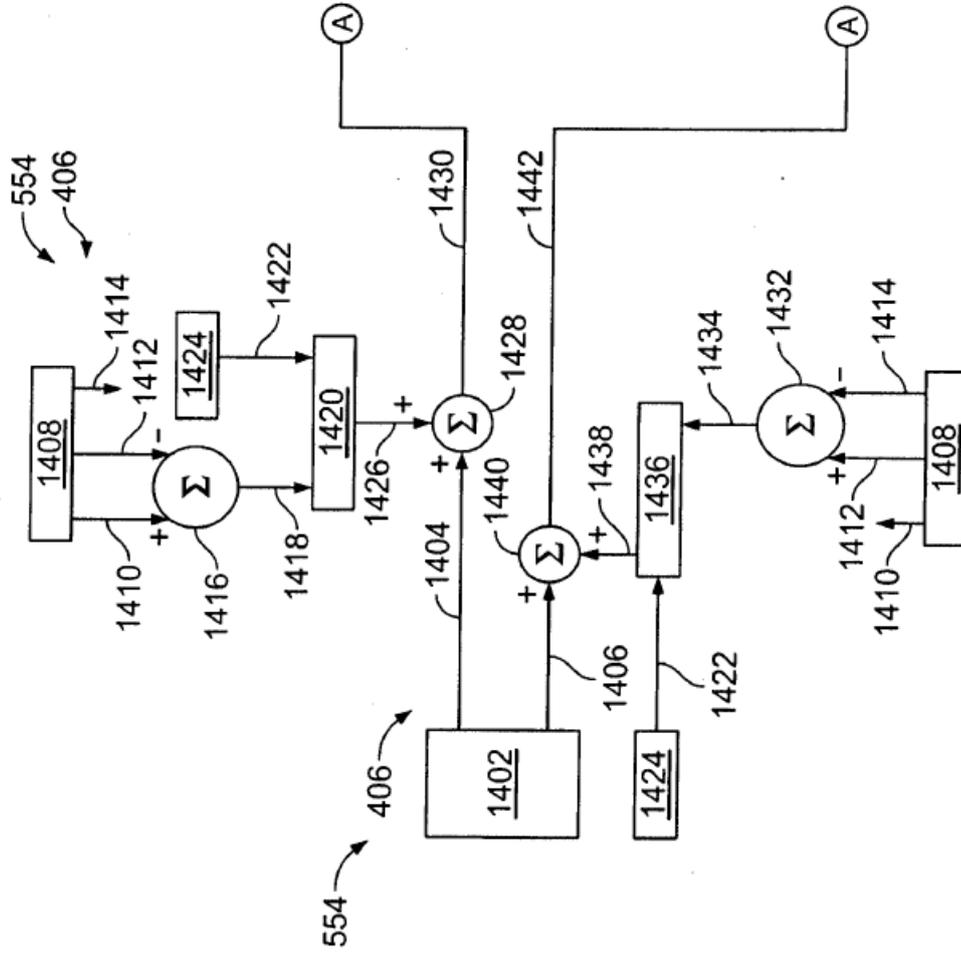


FIG. 15A

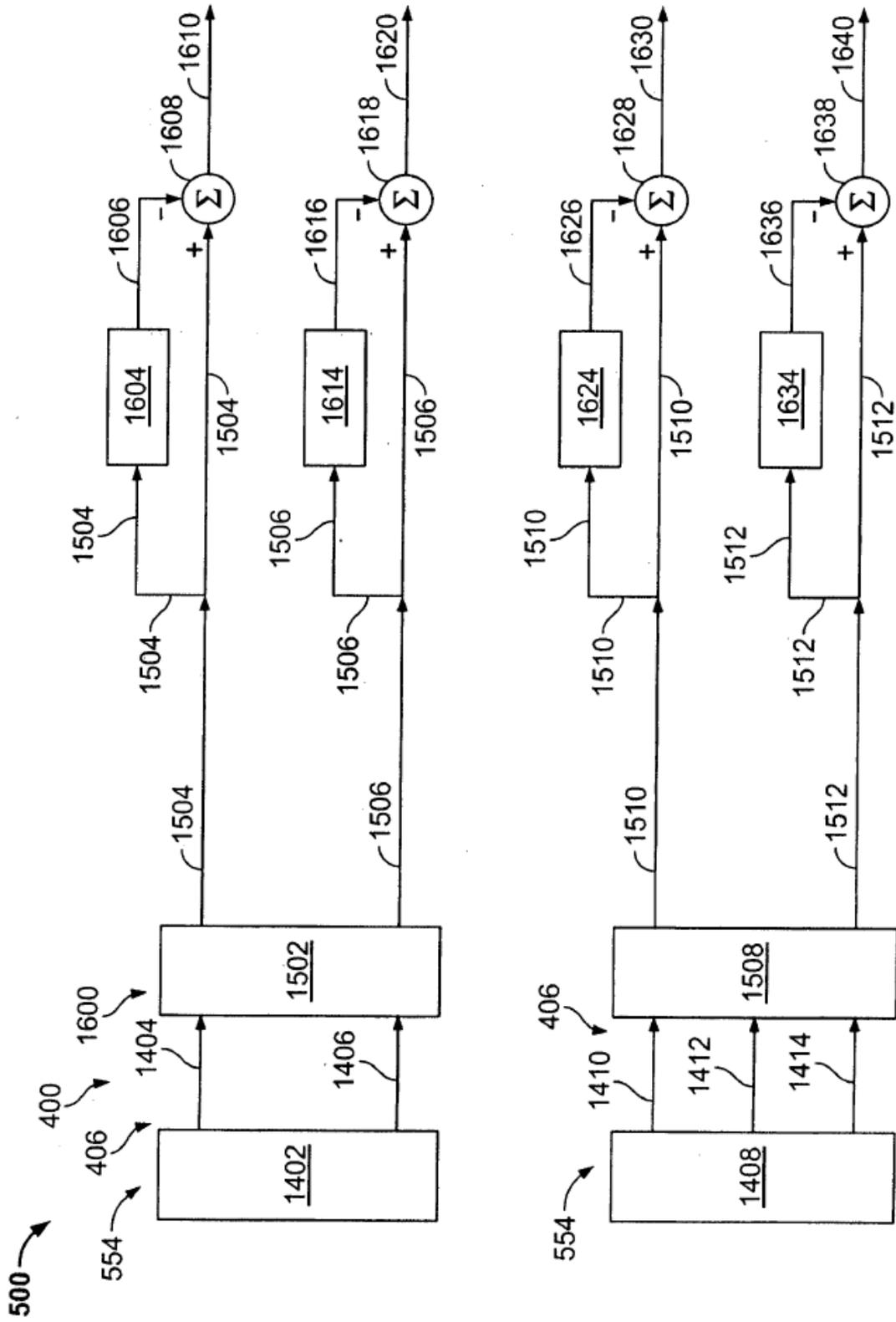


FIG. 17

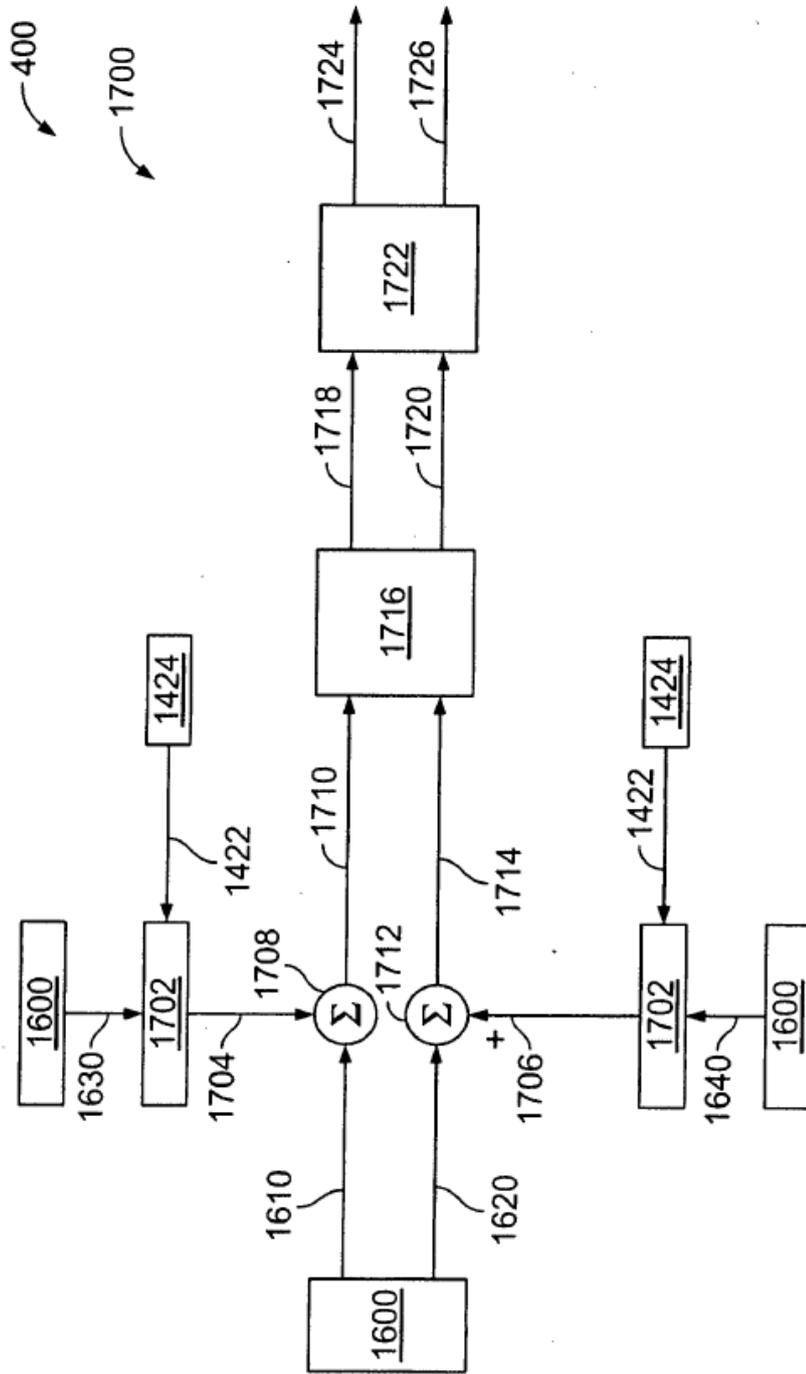


FIG. 18

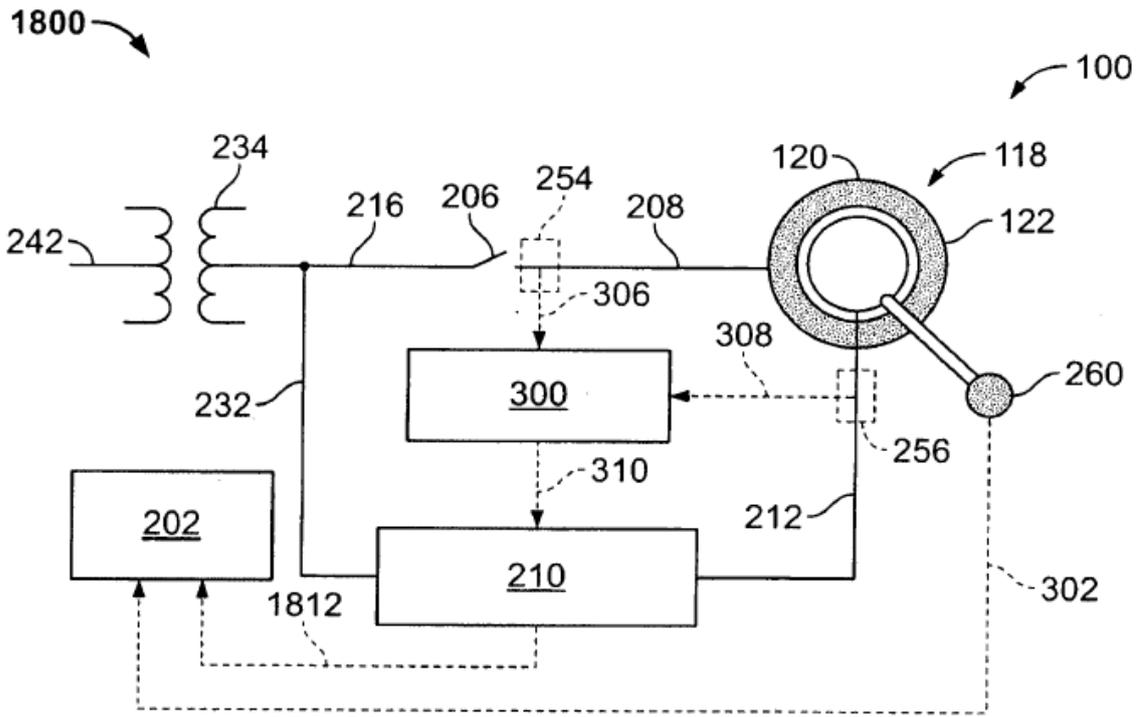


FIG. 19

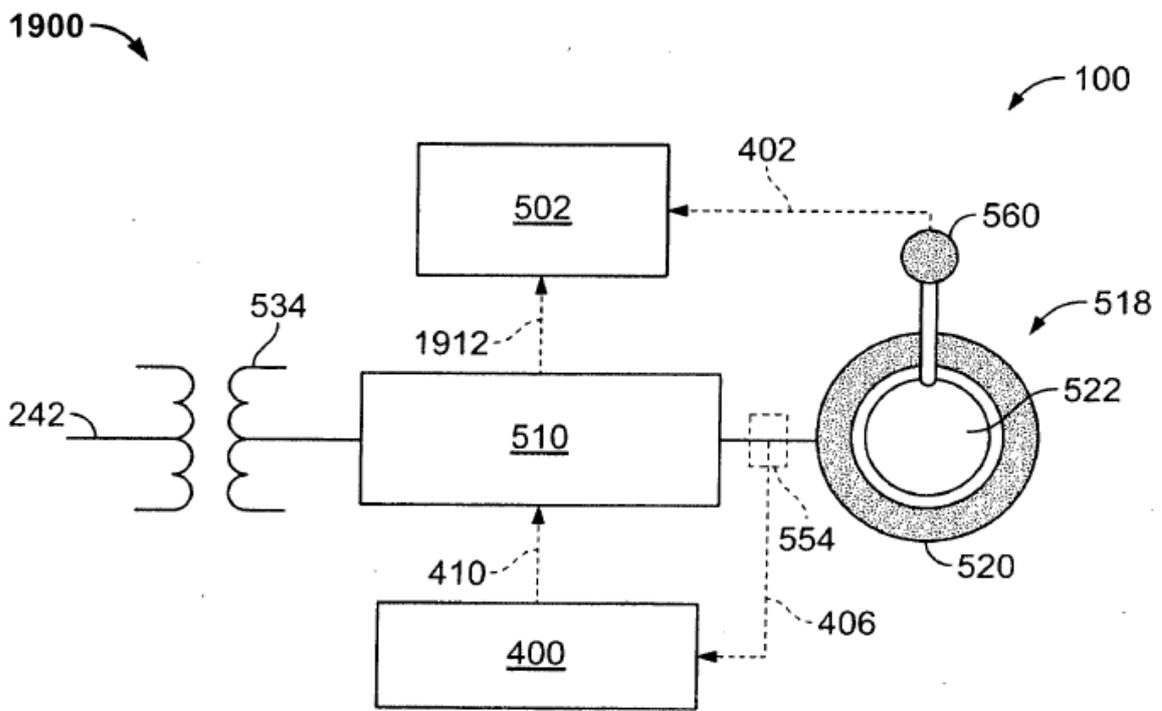


FIG. 20