

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 592 178**

51 Int. Cl.:

H02P 6/16 (2006.01)

H02P 6/18 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2010 E 10166359 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.07.2016 EP 2270974**

54 Título: **Método para determinar la posición del rotor de un generador eléctrico en una turbina eólica**

30 Prioridad:

19.06.2009 DK 200900754

19.06.2009 US 218442 P

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

28.11.2016

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 AARHUS N, DK

72 Inventor/es:

LI, BING;

CAO, SHU YU;

ANDERSEN, GERT KARMISHOLT;

TRIPATHI, ANSHUMAN;

SNG, ENG KIAN KENNETH y

GUPTA, AMIT KUMAR

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 592 178 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

Método para determinar la posición del rotor de un generador eléctrico en una turbina eólica

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere, en general, a un método para determinar la posición de un rotor de un generador eléctrico síncrono en una turbina eólica.

10 **Antecedentes**

En los últimos años, se ha vuelto muy común usar el viento para generar energía eléctrica. Para hacer esto, el viento se captura mediante un conjunto de palas de una planta de energía eólica. El viento capturado provoca que un árbol, conectado al conjunto de palas, rote. El árbol típicamente está conectado a un rotor de un generador eléctrico, que se hace rotar de acuerdo con la rotación del árbol, posiblemente a un múltiplo de la velocidad de rotación del árbol en el caso de que el rotor esté conectado al árbol a través de una caja de engranajes. El generador eléctrico convierte la energía mecánica proporcionada por el viento en forma de rotación, en energía eléctrica, que puede suministrarse a una red eléctrica.

20 Para diversas funciones de un generador de turbina eólica, se requiere una determinación de la velocidad de rotación y/o la posición del rotor del generador eléctrico, tal como para el control de flujo del estátor, que permite controlar la magnitud de la energía electromagnética proporcionada por el generador eléctrico.

25 La determinación de la velocidad de rotación y la posición del rotor del generador eléctrico típicamente se lleva a cabo mediante lo que se denomina un codificador, que puede tener una desviación, por ejemplo, determina la posición angular del rotor con una cierta desviación. Por lo tanto, antes de que pueda iniciarse cualquier función para la cual se requiera una determinación de la velocidad de rotación y/o la posición del rotor, lo que típicamente incluye el inicio del suministro de electricidad real del generador eléctrico a una red eléctrica, tiene que llevarse a cabo la calibración de la desviación del codificador, es decir, tiene que determinarse la desviación del codificador mediante la cual se ajusta el ángulo de fase de la salida del rotor por el codificador, de manera que el ángulo de fase ajustado se alinea con el ángulo de fase real del rotor (por ejemplo, un rotor de imán permanente).

30 Un método conocido para calibrar la desviación del codificador a partir de la tensión de una línea de estátor único está basado en una detección cruzada nula de las salidas de tensión de la línea por el generador eléctrico (es decir, una tensión de línea del estátor del generador eléctrico). En cada ciclo, cuando la tensión de la línea se encuentra que ha cambiado desde un valor negativo hasta un valor positivo, se detecta un punto de cruce nulo. En este instante temporal, se captura la salida correspondiente por el codificador y se calcula la desviación. Análogamente, puede calcularse un flujo del rotor basándose en la detección del valor pico de una señal de tensión de línea.

40 Puesto que la detección del cruzamiento nulo es susceptible al ruido, detectar con precisión los cruzamientos nulos para la calibración de la desviación del codificador puede resultar muy difícil de conseguir, incluso después de que se usen algunas medidas para mejorarla, como interpolación lineal, promediado, etc.

45 Otra cuestión es el tiempo de calibración. Puesto que solo se usa un punto de cruzamiento nulo en un ciclo (de la tensión de la línea) para la calibración, el tiempo de procesamiento es largo.

50 Por tanto, un objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un método determinar de la posición del rotor de un generador eléctrico, que puede usarse para calibrar la desviación del codificador, y que es más preciso y requiere menos tiempo de procesamiento.

Puesto que el codificador es susceptible de fallar en un WGT (por sus siglas en inglés de Wind Turbine Generator "generador de turbina eólica"), se requiere un seguimiento en tiempo real del estado del codificador para una operación fiable. Debe ser capaz de hacer el seguimiento del estado del codificador en tiempo real durante el funcionamiento normal, y enviar una alarma en caso de fallo y error de funcionamiento del codificador. Un objeto de la presente invención consiste también en proporcionar un método para este seguimiento del estado en tiempo real.

60 El documento US 7.002.318 describe un sistema de control para un motor que incluye un rotor que tiene un módulo detector sin sensores, que incluye un módulo estimador basado en saliencia, que genera una primera señal de posición del rotor basada en la saliencia y un módulo estimador de la fuerza retroelectromotriz (emf) que genera una segunda señal de posición del rotor basada en retro-emf. Un selector selecciona la primera señal de posición del rotor para velocidades del rotor por debajo de una primera velocidad de rotor y la segunda señal de posición del rotor para velocidades de rotor por encima de la primera velocidad del rotor. Un sensor de posición del rotor detecta una posición del rotor y genera una tercera señal de posición del rotor. Un módulo de detección de fallos detecta fallos en el sensor de posición del rotor y produce la tercera señal de posición del rotor cuando no se detecta un fallo, y una de la primera y segunda señales de posición del rotor cuando sí se detecta el fallo. Un sistema de control indirecto de campo orientado (IFOC) controla el motor basándose en una de la primera, segunda y tercera señales de

posición del rotor seleccionada.

El documento US 2004/0052217 describe un sistema emulador del sensor de posición y un método para su uso en el control de máquinas síncronas. El sistema emulador del sensor de posición incluye un primer filtro de paso de banda que filtra señales de tensión de fase desde un estátor de una máquina síncrona. El sistema emulador del sensor de posición incluye además un convertidor que convierte las tensiones de fase filtradas en señales de cuadratura bifásicas equilibradas. El sistema emulador del sensor de posición incluye además un rectificador que rectifica las señales de tensión del excitador de la máquina síncrona y un segundo filtro de paso de banda que filtra las señales de tensión del excitador rectificadas para generar una señal de referencia.

Sumario

De acuerdo con una realización, se proporciona un método para determinar la posición del rotor de un generador eléctrico en una turbina eólica, que comprende determinar una tensión del generador eléctrico; determinar un ángulo de posición del rotor estimado basándose en la tensión del generador eléctrico; y determinar una estimación del ángulo de posición posterior del rotor mediante un bucle de retroalimentación, basándose en una combinación de la tensión del generador eléctrico y la estimación del ángulo de posición del rotor.

De acuerdo con una realización, la combinación incluye una transformación de coordenadas de la tensión en un marco rotacional usando la estimación del ángulo de posición del rotor.

De acuerdo con una realización, la combinación incluye la determinación de la diferencia entre la fase de la tensión y la fase esperada de la tensión, en la que la fase esperada de la tensión es una fase que cabe esperar cuando el rotor del generador eléctrico tiene la posición del rotor de acuerdo con la estimación del ángulo de posición del rotor.

De acuerdo con una realización, la estimación del ángulo de posición del rotor se determina basándose en la fase de la tensión del generador eléctrico.

De acuerdo con una realización, se generan una tensión del generador eléctrico en un primer instante temporal y una tensión del generador eléctrico en un segundo instante temporal, en el que la estimación del ángulo de posición del rotor se determina basándose en la tensión del generador eléctrico en el primer instante temporal, en el que la estimación del ángulo de posición del rotor se combina con la tensión del generador eléctrico en el segundo instante temporal; y en el que la estimación del ángulo de posición posterior del rotor se determina basándose en la combinación.

De acuerdo con una realización, la estimación del ángulo de posición posterior del rotor se determina usando un bucle de control.

De acuerdo con una realización, la estimación del ángulo de posición posterior del rotor se determina usando un bucle de enganche de fase.

De acuerdo con una realización, la estimación del ángulo de posición posterior del rotor se determina usando un controlador PI.

De acuerdo con una realización, la combinación incluye la determinación de la diferencia entre la fase de la tensión y una fase esperada de la tensión, en la que la fase esperada de la tensión es una fase que cabe esperar cuando el rotor del generador eléctrico tiene la posición del rotor de acuerdo con la estimación del ángulo de posición del rotor, y la diferencia se usa como entrada para el controlador PI.

De acuerdo con una realización, se usa el controlador PI para determinar una velocidad angular de la tensión.

De acuerdo con una realización, se usa un integrador para integrar la velocidad angular de la tensión para estimar la posición del rotor.

De acuerdo con una realización, la estimación de la posición posterior del rotor se determina basándose en una función de ganancia ajustable que ajusta la velocidad de estimación de la posición del rotor.

De acuerdo con una realización, la tensión es una tensión de estátor del generador eléctrico.

De acuerdo con una realización, la tensión se determina a partir de una tensión línea a línea (tensión fase a fase) del generador eléctrico.

De acuerdo con una realización, las tensiones de fase del generador eléctrico se determinan a partir de una tensión línea a línea y la tensión se determina a partir de las tensiones de fase.

De acuerdo con una realización, el método se está llevando a cabo en un sistema de generación de energía.

De acuerdo con una realización, el sistema de generación de energía comprende un codificador para la determinación de la posición de un rotor de un generador eléctrico y el método comprende además determinar una desviación del codificador basándose en la estimación del ángulo de posición posterior del rotor.

5 De acuerdo con una realización, el codificado se calibra basándose en la desviación.

De acuerdo con una realización, el sistema de generación de energía comprende un codificador para la determinación de la posición de un rotor del generador eléctrico y el método comprende además detectar si se ha producido un fallo de funcionamiento del codificador basándose en la estimación del ángulo de posición posterior del rotor.

De acuerdo con una realización, el sistema de generación de energía comprende un codificador para la determinación de la posición de un rotor del generador eléctrico, y el método comprende además la determinación de una amplitud del flujo del rotor del generador eléctrico basándose en la tensión y una salida del codificador.

De acuerdo con otra realización, la salida del codificador es una medición de la velocidad angular del generador eléctrico.

20 De acuerdo con una realización, la estimación de la posición posterior del rotor se usa en el control del generador eléctrico.

De acuerdo con otra realización, la estimación de la posición posterior del rotor y la amplitud del flujo del rotor se usan en el control del generador eléctrico.

De acuerdo con una realización, se proporciona un método para determinar de la posición del rotor de un generador eléctrico, comprendiendo el método determinar una tensión del generador, determinar una estimación del ángulo de posición del rotor basándose en la tensión del generador eléctrico y determinar una estimación del ángulo de posición posterior del rotor a través de un bucle de retroalimentación, basándose en una combinación de la tensión del generador eléctrico y la estimación del ángulo de posición del rotor.

De acuerdo con una realización, se proporciona un medio legible por ordenador que tiene un programa informático grabado en el mismo, incluyendo el programa informático instrucciones que, cuando son ejecutadas por un procesador, hacen que el procesador aplique un método para determinar de la posición del rotor de un generador eléctrico, como se ha descrito anteriormente.

De acuerdo con otra realización, se proporciona un aparato para la determinación de la posición del rotor de un generador eléctrico en una turbina eólica de acuerdo con el método descrito anteriormente.

De acuerdo con una realización, se proporciona un método para el seguimiento fiable en tiempo real del estado del codificador en un generador de turbina eólica, que comprende introducir una referencia de tensión desde un controlador del generador a un bucle de enganche de fase para obtener el ángulo de la referencia de tensión; calcular la diferenciación de la diferencia de ángulo entre el ángulo de referencia de tensión y el ángulo del rotor calibrado; enviar, si la diferencia de ángulo es mayor que un umbral, una señal de fallo del codificador a una supervisión del sistema configurada para tomar las acciones necesarias y comenzar el descenso gradual de la potencia de la turbina.

Breve descripción de los dibujos

50 En los dibujos, los caracteres de referencia similares se refieren en general a las mismas piezas a lo largo de las diferentes vistas.

Los dibujos no están necesariamente a escala, dando énfasis en general a la ilustración de los principios de la invención. En la siguiente descripción, se describen diversas realizaciones de la invención con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

La Figura 1 ilustra una disposición común de una turbina eólica convencional.

60 La Figura 2 ilustra un ejemplo de un sistema de generación de energía de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 3 ilustra un diagrama vectorial para un generador eléctrico síncrono representado en un marco de referencia estacionario.

65 La Figura 4 muestra un diagrama de bloques para la determinación de la posición de un rotor de un generador eléctrico de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 5 muestra un diagrama de flujo de acuerdo con una realización de la presente invención.

5 La Figura 6 muestra un diagrama de bloques para la calibración de la desviación de un codificador de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 7 muestra un gráfico que muestra la salida de una función $F(d,q)$ frente al error de fase (es decir, el gráfico de la función $F(d,q)$) de acuerdo con una realización.

10 La Figura 8 muestra un diagrama de bloques para el seguimiento en tiempo real del estado del codificador de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Figura 9 muestra un diagrama de bloques de acuerdo con una realización.

15 Descripción detallada

Los ejemplos de realización del método para controlar un generador eléctrico de acuerdo con la presente invención se describirán en detalle a continuación con referencia a las figuras adjuntas. Se apreciará que los ejemplos de realización descritos a continuación pueden modificarse en diversos aspectos sin cambiar la esencia de la invención.

20 Además, las realizaciones descritas en el contexto del método para determinar de la posición de un rotor de un generador eléctrico en una turbina eólica son análogamente válidas para el aparato y el medio legible por ordenador.

La Figura 1 ilustra una disposición común de una turbina eólica convencional 100. La turbina eólica 100 está montada en una base 102. La turbina eólica 100 incluye una torre 104 que tiene un número de secciones de torre, tales como anillos de torre. Una góndola 106 de la turbina eólica se ubica en la parte superior de la torre 104. El rotor de la turbina eólica incluye un buje 18 y al menos una pala de rotor 110, por ejemplo, 3 palas de rotor 110. Las palas de rotor 110 están conectadas al buje 108, que a su vez está conectado a la góndola 106 a través de un árbol de baja velocidad que se extiende hacia fuera de la parte delantera de la góndola 106.

30 La Figura 2 ilustra un ejemplo del sistema de generación de energía 200 de acuerdo con una realización.

Un árbol 10 transfiere energía mecánica desde una fuente de energía, por ejemplo, la al menos una pala de rotor 110 mostrada en la Figura 1, a un rotor del generador de velocidad variable 11. El árbol 10 está conectado a la al menos una pala de rotor 11 y está conectado, por ejemplo, al rotor a través de una caja de engranajes para adaptar la velocidad rotacional del árbol 10 (es decir, la velocidad de las palas de la turbina eólica) a un intervalo de velocidad adecuado para el generador 11. El generador 11 convierte la energía mecánica proporcionada por el árbol 10 en energía eléctrica y suministra la energía eléctrica a un conjunto de terminales de estátor 12a, 12b y 12c. La velocidad rotacional del árbol 10 varía en función de la velocidad del viento. Puesto que la velocidad rotacional del rotor del generador 11 es proporcional a la velocidad del árbol 10, la amplitud y la frecuencia de la señal de tensión proporcionada por el generador 11 en los terminales de estátor 12a, 12b y 12c varían de acuerdo con la velocidad rotacional del árbol 10. El generador puede ser un generador síncrono, es decir, un generador de imán permanente (PM) o cualquier otro tipo de generador que comprenda un devanado estatórico. Los terminales 12a, 12b y 12c del generador 11 están conectados a un convertidor de alimentación 13 del lado del generador. El convertidor, por ejemplo, comprende un conjunto de conmutadores en forma de, por ejemplo, MOSFET, GTO, IGBT o BJT.

45 El convertidor 13 funciona, durante el funcionamiento normal, como un rectificador activo que convierte la tensión CA de frecuencia variable proporcionada por el generador 11 en una tensión CC. La conversión puede controlarse usando un esquema de modulación de anchura de pulso (PWM) en el que las señales de control se aplican a los conmutadores del convertidor 13 para proporcionar la funcionalidad de conversión deseada. En una realización, los conmutadores se controlan empleando un esquema de modulación de vectores espaciales.

50 La salida del convertidor 13 se proporciona a un enlace CC 14 que comprende un condensador de enlace para reducir el rizado de la tensión en el enlace CC.

55 El enlace CC 14 está conectado a un convertidor de alimentación 15 del lado de la red. La topología del convertidor de alimentación 15 del lado de la red puede ser similar a la del convertidor de alimentación 13 del lado del generador. El convertidor de alimentación 15 del lado de la red, por ejemplo, funciona normalmente como un inverteedor para convertir la tensión CC del enlace CC 14 en una tensión CA regulada para alimentar la potencia activa y reactiva de una red eléctrica 18.

60 La salida del convertidor de alimentación 15 del lado de la red puede filtrarse mediante los inductores 16a, 16b, y 16c para, por ejemplo, retirar los armónicos de alto orden de la señal de potencia de salida. La señal de potencia de salida se proporciona después a la red eléctrica 18 a través de un transformador 19. La señal de potencia de salida, si fuera necesario, puede filtrarse mediante un filtro 17 para mantener la interferencia o distorsión armónica a un valor bajo.

65

La Figura 3 ilustra un diagrama vectorial 300 para un generador eléctrico síncrono representado en un marco de referencia estacionario.

5 El diagrama comprende dos ejes estacionarios denominados α y β . El marco de referencia estacionario también se denomina, por tanto, marco $\alpha\beta$ (referencia).

Puede realizarse una transformación de una tensión a partir del sistema de coordenadas estacionario trifásico, que puede denominarse marco de referencia abc trifásico estacionario, al marco $\alpha\beta$, de acuerdo con

$$\begin{bmatrix} U_{\alpha} \\ U_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2/3 & -1/3 & -1/3 \\ 0 & \sqrt{3}/3 & -\sqrt{3}/3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}$$

10 donde U_a , U_b , U_c se refieren a las tensiones trifásicas y U_{α} , U_{β} se refieren a los componentes de la tensión en el marco $\alpha\beta$.

A partir del sistema de coordenadas estacionario $\alpha\beta$, es decir, el marco $\alpha\beta$, puede realizarse una transformación en un sistema de coordenadas rotatorio dq de acuerdo con

$$15 \begin{bmatrix} U_q \\ U_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta & \cos\theta \\ \cos\theta & \sin\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{\alpha} \\ U_{\beta} \end{bmatrix}$$

donde $\theta = \omega t$ es el ángulo entre el eje estacionario α y el eje síncrono d, es decir, el eje síncrono con el rotor.

Las tensiones U_{α} , U_{β} pueden normalizarse a U_{α_nom} , U_{β_nom} de acuerdo con

$$20 \begin{bmatrix} U_{\alpha_nom} \\ U_{\beta_nom} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{U_{\alpha}^2 + U_{\beta}^2}} \cdot \begin{bmatrix} U_{\alpha} \\ U_{\beta} \end{bmatrix}.$$

En la Figura 3, un primer vector, denotado mediante ψ_{mag} , representa el flujo de magnetización.

25 En el ejemplo mostrado en la Figura 3, que se refiere a un generador síncrono, el flujo de magnetización corresponde al flujo del rotor ψ_r . El flujo del rotor puede generarse mediante un imán permanente, como en un generador PM, por excitación de una bobina de campo en el rotor (es decir, un generador de devanado). El arco en la punta del vector del flujo del rotor ilustra que el vector gira alrededor del origen de coordenadas en la Figura 3. El desplazamiento angular del vector de flujo del rotor desde el eje α se denota mediante θ_r en la Figura 3.

30 De una manera correspondiente, el vector de flujo del estátor, denotado mediante ψ_s en la Figura 3, es un vector que rota alrededor del origen de coordenadas.

35 En una operación en estado estacionario, el vector de flujo del estátor gira en el marco de referencia estacionario con una velocidad angular igual a la del vector de flujo del rotor. El desplazamiento angular del vector de flujo del estátor desde el vector de flujo del rotor se denota mediante δ en la Figura 3.

La potencia electromagnética P_{EM} de un generador síncrono es proporcional a $\omega \psi_s \times \psi_r$, donde ω es la velocidad rotacional del rotor. Esto significa que

$$40 P_{EM} = f(|\Psi_s|, |\Psi_r|, \delta)$$

A partir de esto, puede verse que para una velocidad de operación dada (es decir, una velocidad de rotación del rotor dada), la potencia electromagnética depende de la magnitud del vector de flujo del estátor y su localización con respecto al vector de flujo del rotor. Si se conoce la posición del vector de flujo del rotor, es posible aplicar una tensión al estátor que sitúe al vector de flujo del estátor para dar la magnitud deseada de la potencia a una velocidad rotacional dada. De esta manera, controlando el vector de flujo del estátor, puede obtenerse la potencia electromagnética, que corresponde a la potencia dada para la carga, según se desee.

50 El vector de flujo del estátor, por ejemplo, puede controlarse mediante un control adecuado del convertidor de alimentación 13 del lado del generador. Por consiguiente, en una realización, el sistema de generación de energía 200 incluye un controlador del flujo del estátor 20 que controla el convertidor de alimentación 13 del lado del generador, de manera que la potencia suministrada por el generador eléctrico 11 a la red eléctrica 18 tiene una magnitud deseada. El controlador de flujo del estátor 20 necesita, en una realización, información sobre la posición del rotor, es decir, un ángulo de fase del rotor y/o información sobre la velocidad angular del rotor. Esta información se suministra, por ejemplo, mediante un codificador 21 que, por ejemplo, genera la información sobre la posición del

rotor y/o la velocidad angular basándose en mediciones.

La salida de información por el codificador 21 puede usarse también para otras funciones además de controlar el flujo del estátor.

5 El codificador 21 puede tener una desviación, por ejemplo, la posición angular determinada por el codificador puede diferir de la posición angular real del rotor en una cierta desviación. Por lo tanto, en una realización, antes de que pueda iniciarse cualquier función para la cual se requiere una determinación de la velocidad de rotación y/o la posición del rotor, que puede incluir el inicio de generación de energía, es decir, suministro de electricidad real del
10 generador eléctrico 11 a la red eléctrica 18, se lleva a cabo una calibración de la desviación del codificador, es decir, se determina una desviación del codificador mediante la cual se ajusta el ángulo de fase de la salida del rotor por el codificador, de manera que el ángulo de fase ajustado se alinea con el ángulo de fase real del rotor (por ejemplo, un rotor de imán permanente).

15 De acuerdo con una realización, se proporciona un diagrama de bloques para la determinación de la posición del rotor de un generador eléctrico, como se ilustra en la Figura 4 que, por ejemplo, puede usarse para la calibración de la desviación del codificador.

20 La Figura 4 muestra un diagrama de bloques 400 para la determinación de la posición de un rotor de un generador eléctrico de acuerdo con una realización.

25 El diagrama de bloques 400 puede incluir un bloque de determinación de tensión 401 configurado para determinar una tensión 402 del generador eléctrico. Además, el diagrama de bloques 400 incluye un bloque de estimación de ángulo 403 configurado para determinar una estimación del ángulo de posición del rotor 404 basándose en la tensión 402 del generador eléctrico.

30 El diagrama de bloques 400 incluye además un bloque de retroalimentación 405 configurado para combinar la estimación del ángulo de posición del rotor 404 con la tensión del generador eléctrico. El bloque de estimación de ángulo 403 está configurado para determinar una estimación del ángulo de posición posterior del rotor 404 basándose en la combinación.

35 El diagrama de bloques 400 puede implementarse, por ejemplo, mediante un procesador que está programado de acuerdo con la funcionalidad del diagrama de bloques 400 usando un software. El software puede ejecutarse, por ejemplo, mediante un procesador en un controlador de potencia de la turbina eólica. El diagrama de bloques 400 puede implementarse también usando un circuito. En una realización, un "circuito" puede entenderse como cualquier clase de entidad de implementación lógica, que puede ser circuitería de fines especiales o un procesador que ejecuta el software almacenado en una memoria, firmware o cualquier combinación de los mismos. De esta manera, en una realización, un "circuito" puede ser un circuito lógico cableado o un circuito lógico programable, tal como un procesador programable, por ejemplo, un microprocesador (por ejemplo, un procesador de ordenador con conjunto
40 de instrucciones complejas (CISC) o un procesador de ordenador con conjunto de instrucciones reducidas (RISC). Un "circuito" puede ser también un procesador que ejecuta un software, por ejemplo, cualquier clase de programa informático, por ejemplo, un programa informático que usa un código de máquina virtual, tal como por ejemplo Java. Cualquier otra clase de implementación de las funciones respectivas que se describirá con mayor detalle a continuación puede entenderse también como un "circuito", de acuerdo con una realización alternativa.

45 En otras palabras, en una realización, se usa un bucle de control para determinar el ángulo de posición del rotor basándose en el vector de tensión (o el ángulo del vector de tensión). La estimación del ángulo de posición del rotor puede verse como la variable controlada en una realización, y puede verse que está controlada de manera que corresponde al ángulo de fase del vector de tensión actual, es decir, que tiene el valor que debería tener
50 teóricamente basándose en el ángulo de fase de vector de tensión actual, por ejemplo, $\pi/2$ menor que el ángulo de fase del vector de tensión actual. En una realización, al ángulo de tensión se le resta $\pi/2$ para obtener la posición del ángulo del rotor porque el ángulo de tensión conduce al ángulo de rotor por $\pi/2$.

55 En una realización, la combinación incluye una transformación de coordenadas de la tensión de acuerdo con la estimación del ángulo de posición del rotor, por ejemplo, una transformación de coordenadas de la tensión para un sistema de coordenadas fijo con la posición del rotor como se especifica mediante la estimación del ángulo de posición del rotor.

60 De acuerdo con una realización, la combinación incluye la determinación de la diferencia entre la fase de la tensión y una fase de la tensión que cabe esperar cuando el rotor del generador eléctrico tiene la posición del rotor de acuerdo con la estimación del ángulo de la posición del rotor.

65 El bloque de estimación del ángulo 403 puede configurarse para determinar la estimación del ángulo de posición del rotor basándose en la fase de la tensión del generador eléctrico.

En una realización, el bloque de determinación de tensión 401 está configurado para determinar una tensión del

- generador eléctrico en un primer instante temporal y una tensión del generador eléctrico en un segundo instante temporal, en el que el bloque de estimación de ángulo 403 está configurado para determinar la estimación del ángulo de posición del rotor basándose en la tensión del generador eléctrico en el primer instante temporal, en el que el bloque de retroalimentación 405 está configurado para combinar la estimación del ángulo de posición del rotor con la tensión del generador eléctrico en el segundo instante temporal; y en el que el bloque de estimación de ángulo 403 está configurado para determinar la estimación del ángulo de posición posterior del rotor basándose en la combinación.
- De acuerdo con una realización, el bloque de estimación de ángulo 403 y el bloque de retroalimentación 405 están configurados de acuerdo con un bucle de enganche de fase para la determinación del ángulo de posición del rotor.
- En una realización, el bloque de estimación de ángulo 403 y el bloque de retroalimentación 405 forman un bucle de control.
- La unidad de estimación de ángulo puede incluir, por ejemplo, un controlador PI.
- En una realización, la combinación incluye la determinación de la diferencia entre la fase de la tensión y una fase de la tensión que cabe esperar cuando el rotor del generador eléctrico tiene una posición del rotor de acuerdo con la estimación del ángulo de posición del rotor, y el controlador PI recibe la diferencia como entrada.
- Por ejemplo, el controlador PI está configurado para determinar una velocidad angular de la tensión determinada por el bloque de determinación de tensión 401.
- El bloque estimador de ángulo 403 puede incluir un integrador configurado para integrar la velocidad angular de la tensión para la estimación de la posición del rotor.
- En una realización, el bloque de retroalimentación 405 está configurado para determinar una función de mapeo que ajusta la velocidad de estimación de la posición del rotor y el bloque de estimación de ángulo 403 está configurado para determinar la estimación de la posición posterior del rotor basándose en la salida de la función de mapeo.
- En una realización, la tensión es una tensión del estátor del generador eléctrico.
- En una realización, el bloque de determinación de tensión 401 está configurado para determinar la tensión a partir de una tensión línea a línea del generador eléctrico.
- Por ejemplo, el bloque de determinación de tensión 401 está configurado para determinar las tensiones de fase del generador eléctrico (por ejemplo, las tensiones trifásicas cuando el generador eléctrico es un generador con tres fases) a partir de la tensión línea a línea, y determinar la tensión a partir de las tensiones de fase.
- De acuerdo con una realización, se proporciona un sistema de generación de energía que comprende un bloque como se ha descrito anteriormente. El sistema de generación de energía puede comprender además un codificador para la determinación de la posición de un rotor del generador eléctrico y puede comprender además un bloque de calibración de la desviación del codificador, que determina una desviación del codificador basándose en la estimación del segundo ángulo de posición del rotor. Por ejemplo, el bloque de calibración de la desviación del codificador está configurado para calibrar la desviación del codificador.
- El sistema de generación de energía puede comprender también un codificador para una determinación de la posición del rotor del generador eléctrico y comprender además un bloque de detección, configurado para detectar un error de funcionamiento del codificador basándose en la estimación de ángulo de posición del rotor. Por ejemplo, la estimación de posición del rotor puede usarse para realizar un seguimiento en tiempo real de la funcionalidad del codificador.
- El generador eléctrico, por ejemplo, es un generador de turbina eólica.
- El diagrama de bloques 400 descrito anteriormente con referencia a la Figura 4 puede incluir además un cálculo de la desviación del codificador y puede realizarse un PLL. Esto se describe a continuación con referencia a la Figura 9.
- La Figura 9 muestra un diagrama de bloques 900 de acuerdo con una realización.
- El diagrama de bloques 900 incluye un bloque OTT 901 que recibe una tensión fase a fase U_{ab} como entrada y genera tensiones trifásicas U_{abc} . Las tensiones de fase U_{abc} se alimentan a un PLL 902 que genera un ángulo de fase de tensión estimada γ_{est} . El PLL 902 produce además una amplitud de un vector de tensión $|U_S|$ que se alimenta a un bloque de cálculo de flujo del rotor 903 que también recibe una velocidad angular ω_e como entrada y genera una amplitud del flujo del rotor ψ_r .
- El ángulo de fase de tensión estimada γ_{est} y una posición del rotor angular como salida del codificador γ_e se

alimentan a un bloque de cálculo de desviación 904 que determina la desviación del codificador.

El diagrama de bloques 900 descrito anteriormente con referencia a la Figura 9 se describirá posteriormente con mayor detalle con referencia a la Figura 6.

5 El diagrama de bloques 400, por ejemplo, lleva a cabo un método para determinar de la posición del rotor de un generador eléctrico como se ilustra en la Figura 5.

La Figura 5 muestra un diagrama de flujo de acuerdo con una realización.

10 En 501, se determina una tensión del generador eléctrico.

En 502, se determina una estimación del ángulo de posición del rotor basándose en la tensión del generador eléctrico.

15 En 503, se determina una estimación del ángulo de posición posterior del rotor basándose en una combinación de la estimación del ángulo de posición del rotor con la tensión del generador eléctrico.

20 El método puede llevarse a cabo, por ejemplo, mediante un aparato que está configurado adecuadamente. En una realización, el método se lleva a cabo mediante un procesador que está programado para llevar a cabo el método.

De acuerdo con una realización, el método puede comprender

- 25
1. Determinar las tensiones trifásicas del estátor del generador;
 2. Determinar el ángulo de tensión;
 3. Determinar la posición del rotor basándose en el ángulo de tensión;
 4. Calibrar el codificador basándose en la posición del rotor estimada a partir de la etapa 3 y la salida de posición del codificador.

30 De acuerdo con una realización, se proporciona una solución sólida y precisa para la calibración de la desviación de la posición del codificador y el cálculo de la magnitud del flujo del rotor. De acuerdo con otra realización, se proporciona un seguimiento en tiempo real del estado del codificador para un funcionamiento fiable.

35 Las realizaciones pueden aplicarse, por ejemplo, a un generador de imán permanente (PM) de un generador de turbina eólica. Como se ha explicado anteriormente, la calibración del codificador puede ser, típicamente, una etapa pre-requerida antes de que pueda transcurrir cualquier tarea de control del generador para una máquina PM. En una máquina PM, la calibración del codificador puede incluir, por ejemplo, el proceso para alinear la lectura de posición desde el codificador con la localización del polo norte del imán permanente del generador eléctrico. Además, puesto que un codificador de un generador de turbina eólica es susceptible de fallar, puede requerirse un seguimiento en tiempo real del estado del codificador para una operación fiable. En una realización, el estado del codificador (por ejemplo, si el codificador funciona correctamente o funciona dentro de un intervalo de precisión predefinido) se sigue en tiempo real durante el funcionamiento normal y se envía una alarma en caso de fallo o error de funcionamiento del codificador.

45 A continuación se explica un ejemplo para un bloque para la calibración de la desviación del codificador de acuerdo con una realización que incluye un bloque para la determinación de la posición del rotor de un generador eléctrico, con referencia a la Figura 6.

50 La Figura 6 muestra un diagrama de bloques 600 para la calibración de la desviación del codificador de acuerdo con una realización.

El método llevado a cabo por el aparato 600 sirve para la calibración de la desviación del codificador y el cálculo del flujo del rotor. Por este método se determina la desviación del codificador, de manera que, ajustando la salida del codificador con esta desviación, se obtiene la posición del rotor.

55 Como una entrada, el diagrama de bloques 600 recibe una tensión fase a fase del estátor U_{ab} del generador eléctrico. La tensión fase a fase se alimenta a un bloque OTT (tecnología de uno a tres) 601 que contrae las tensiones trifásicas U_a , U_b , U_c de la tensión de línea única U_{ab} usando tecnología de uno a tres (OTT). En otra realización, las tensiones trifásicas del estátor U_a , U_b , U_c puedan determinarse también por medición de las tensiones trifásicas del estátor.

60

Las tensiones trifásicas U_a , U_b , U_c se alimentan a un bloque de control del bucle de enganche de fase. Mediante este bucle de enganche de fase, se obtiene el ángulo de fase de la tensión trifásica.

65 Para esto, las tensiones trifásicas U_a , U_b , U_c se transforman al marco $\alpha\beta$, es decir, el componente del eje α del estátor U_α y el componente del eje β del estátor U_β en el marco $\alpha\beta$ mediante un bloque de transformación $abc/\alpha\beta$

602.

Un bloque de normalización 603 normaliza el componente del eje α del estátor U_α y el componente del eje β del estátor U_β , es decir, de acuerdo con

$$\begin{bmatrix} U_{\alpha_nom} \\ U_{\beta_nom} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{U_\alpha^2 + U_\beta^2}} \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix},$$

5 es decir, calculando la amplitud del vector de tensión como

$$|U_s| = \sqrt{(U_\alpha)^2 + (U_\beta)^2}.$$

10 El proceso de normalización puede usarse para determinar el efecto de la amplitud de la tensión en el control del bucle de enganche de fase.

Para determinar la amplitud del flujo del rotor, la amplitud del vector de tensión $|U_s|$ se alimenta a un divisor que divide la amplitud del vector de tensión $|U_s|$ por la velocidad angular ω_e de salida del codificador. El resultado de la división se produce, posiblemente después de filtrar mediante un primer filtro de paso bajo (LPF) 605, como la amplitud del flujo del rotor ψ_r . En otras palabras, la amplitud del flujo del rotor ψ_r se calcula como $\psi_r = |U_s|/\omega_e$. El flujo del rotor determinado, por ejemplo, puede usarse para la calibración del flujo del rotor. Como se ha indicado anteriormente, la posición del rotor y la amplitud del flujo del rotor pueden usarse en el control del generador eléctrico.

20 Un bloque de transformación $\alpha\beta/qd$ 606 transforma el componente del eje α del estátor normalizado U_α y el componente del eje β del estátor normalizado U_β al marco dq usando la estimación actual para el ángulo de fase del vector de tensión γ_{est} , por ejemplo, de acuerdo con

$$\begin{bmatrix} U_q \\ U_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta & \cos\theta \\ \cos\theta & \sin\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix}$$

25 donde U_{sd} es el componente del eje d de la tensión del estátor en el marco d/q y U_{sq} es el componente del eje q de la tensión del estátor en el marco dq.

La transformación $\alpha\beta/qd$ puede verse como la transformación de la tensión en el marco α/β al marco dq usando la señal de retroalimentación, es decir, el ángulo de tensión estimado actualmente.

30 El componente del eje d de la tensión del estátor en el marco d/q, U_{sd} , y el componente del eje q de la tensión del estátor en el marco d/q, U_{sq} , se alimentan a un bloque de mapeo 607 que mapea estos componentes a un valor de función de una función F que puede verse como una función del error de fase $\Delta\theta$ entre el ángulo de fase de tensión real (es decir, el ángulo de fase de la tensión del estátor real representada por U_{sd} y U_{sq}) y el ángulo de fase de vector de tensión estimado (es decir, la estimación de retroalimentación para el ángulo de fase de tensión del estátor γ_{est}) de acuerdo con

$$F(\Delta\theta) = \tan(\Delta\theta) = U_{sd} / U_{sq}, \quad |\Delta\theta| < \Delta\theta_m$$

$$F(\Delta\theta) = -F_{Lim}, \quad -\pi < \Delta\theta < -\Delta\theta_m$$

$$40 \quad F(\Delta\theta) = F_{Lim}, \quad \Delta\theta_m < \Delta\theta < \pi$$

donde $\Delta\theta_m$ es un valor umbral predeterminado.

45 El error de fase $\Delta\theta$ se determina, por ejemplo, de acuerdo con $\tan(\Delta\theta) = U_{sd} / U_{sq}$.

El bloque de mapeo 607 puede describirse como una función de ganancia ajustable $F(d,q)$, que se usa para ajustar la velocidad de seguimiento de acuerdo con el error de fase del ajuste. La función F se ilustra en la Figura 7.

50 La Figura 7 muestra un gráfico que muestra la salida de una función $F(d,q)$ frente al error de fase (es decir, el gráfico de la función $F(d,q)$) de acuerdo con una realización.

Un primer eje 701 (eje x) del gráfico 700 corresponde a los posibles valores del error de fase $\Delta\theta$ y un segundo eje 702 (eje y) del gráfico 700 corresponde a los valores de la función de F.

La salida del bloque de mapeo 607 se compara con cero (que puede verse como el valor que debería ser del error de fase $\Delta\theta$) mediante un primer bloque de comparación 608. La diferencia entre el error de fase $\Delta\theta$ y el cero se introduce en un controlador PI 609 con limitación de salida. La salida del controlador PI es la velocidad angular del vector de tensión (según se representa por U_{sd} y U_{sq}) en el marco dq.

Desde un punto de vista del procesamiento de señal, puede verse que el controlador PI 609 funciona como un filtro de paso bajo que filtra el ruido de tensión, de manera que puede conseguirse una alta precisión en la estimación del ángulo.

Un primer sumador 610 suma la velocidad angular ω_e desde la salida del codificador y la salida desde el controlador PI para generar la velocidad angular estimada ω_{est} del vector de tensión en el marco $\alpha\beta$.

Un integrador 611 genera el ángulo de fase estimado del vector de tensión γ_{est} por integración de la velocidad angular en el marco $\alpha\beta$.

En una realización, puesto que el error de fase de la tensión del estátor (seguimiento) puede estar en el intervalo de $-\pi$ a π , la función F proporciona un mecanismo de seguimiento más rápido en este intervalo. Cuando la diferencia de ángulo está dentro de $-\Delta\theta_m$ y $\Delta\theta_m$, puede usarse una función tangente (tan) y cuando el valor absoluto del error del ángulo de fase es mayor que $\Delta\theta_m$, la salida de bloque de mapeo 607 se considera como límite máximo. Por lo tanto, la salida del controlador PI (la velocidad angular) se ajustará de acuerdo con la diferencia de ángulo para eliminar el error del seguimiento de fase.

Un primer restador 612 resta $\pi/2$ de γ_{est} para generar el ángulo de fase de rotor PM correspondiente al ángulo de fase de tensión estimada γ_{est} . Un segundo bloque de comparación 613 compara la salida del ángulo de fase del rotor PM del primer restador 612 con la posición del rotor angular como salida del codificador γ_e . La salida del segundo bloque de comparación 613, se filtra posiblemente mediante un segundo filtro de paso bajo 614, saliendo como la desviación del codificador. La desviación del codificador puede obtenerse y puede usarse para calibrar el codificador. La calibración puede realizarse añadiendo la desviación determinada a la posición del rotor angular como salida del codificador γ_e mediante un segundo sumador 615 y transformando el resultado a un ángulo dentro de $-\pi$ y π mediante un bloque de transformación 616 para generar una posición angular calibrada γ_{cal} .

Como se ha explicado anteriormente, puede ser necesario que la calibración del codificador se lleve a cabo antes del modo de operación normal, es decir, antes de que la potencia realmente se suministre desde el generador eléctrico 11 a la red eléctrica 18.

En un modo de operación normal (en otras palabras, durante la generación de energía, es decir, el suministro de electricidad a la red eléctrica), puede usarse un método similar al descrito en 600 para el seguimiento en tiempo real del codificador.

La Figura 8 muestra un diagrama de bloques 800 para el seguimiento en tiempo real del estado del codificador de acuerdo con una realización.

El diagrama de bloques 800 puede verse como idéntico al diagrama de bloques 600 mostrado en la Figura 6, excepto por una modificación mínima. El diagrama de bloques 800 incluye un controlador del generador 801 que produce una tensión de referencia en el marco α/β - U_α y U_β . El diagrama de bloques 800 incluye, además, análogamente al diagrama de bloque 600, un bloque de normalización 803, un bloque de transformación $\alpha\beta/qd$ 806, un bloque de mapeo 807, un primer bloque de comparación 808, un controlador PI 809, un primer sumador 810 y un integrador 811 que sirven para calcular una estimación del ángulo de fase γ_{est} de la tensión introducida por el controlador del generador 801, como se ha explicado anteriormente en el contexto de la Figura 6.

Un segundo sumador 804 del diagrama de bloques 800 suma la desviación codificada determinada anteriormente, por ejemplo, mediante el diagrama de bloque 600 antes de que se haya puesto en marcha el modo de generación de energía, a la posición de retorno angular como salida por el codificador para generar la posición angular calibrada γ_{cal} .

Durante la generación de energía, en una realización, un sistema de control del sistema de generación de energía asegura que U_α y U_β cambian suavemente.

Por lo tanto, la diferencia entre la posición angular calibrada del codificador γ_{cal} y la posición angular estimada de la tensión de referencia γ_{est} cambia también suavemente. Esta diferencia se calcula mediante un restador 805 y el resultado se diferencia mediante un diferenciador 812. Cabe esperar que el resultado de la señal γ_{dif} de ($\gamma_{cal} - \gamma_{est}$) esté próximo a una constante en la generación de una dinámica de operación y próximo a cero en estado estacionario. Sin embargo, puede esperarse que un fallo o error de funcionamiento del codificador provoque que γ_{dif} sea muy grande. De esta manera, de acuerdo con una realización, supervisando continuamente la señal γ_{dif} , puede detectarse un fallo o error de funcionamiento del codificador.

De acuerdo con una realización, se proporciona un método y un sistema para la calibración del codificador, que es menos sensible al ruido de medición y a la variación de la velocidad del motor, y que permite calibrar un codificador con alta precisión. De acuerdo con una realización, solo se requiere un sensor de tensión para la calibración, por ejemplo, un sensor de tensión para medir una tensión de estátor línea a línea.

Además, puede conseguirse una convergencia de calibración rápida y un tiempo de calibración corto en todos los niveles de velocidad de operación. Adicionalmente, las realizaciones permiten un seguimiento en tiempo real del estado del codificador para una operación fiable.

De acuerdo con una realización, se proporciona un método para determinar de la posición del rotor de un generador eléctrico. Este método incluye el siguiente sub-método:

- 1) Determinar la tensión trifásica basándose en una tensión fase a fase (OTT)
- 2) En un método para seguir el ángulo de fase de la tensión trifásica (PLL)
 - a. Se usa un controlador PI
 - b. Se usa una integración para obtener el ángulo a partir de la velocidad angular
 - c. Se usa una función de ganancia ajustable $F(d,q)$ para ajustar la velocidad de seguimiento de acuerdo con el error de fase de ajuste
 - d. El ángulo de tensión estimada es la señal de retroalimentación en el control PLL
 - e. Se usa una transformación dq
 - f. Se usa una transformación α/β
- 3) Calcular la desviación del codificador basándose en la salida de 2) y la salida de la posición del codificador
- 4) La posición del rotor se obtiene usando la salida de la posición del codificador y la desviación obtenida anteriormente.
- 5) Calcular el flujo del rotor basándose en la salida de 2) y la salida de la velocidad angular del codificador.

De acuerdo con una realización, se proporciona un método para el seguimiento en tiempo real del estado del codificador. Este método incluye la siguiente subfunción;

- 1) Determinar el ángulo de fase de la tensión de referencia a partir del controlador del generador usando PLL.
- 2) Comparar esto con el ángulo de fase del rotor calibrado.
- 3) Mediante un proceso de diferenciación, se supervisa el estado del codificador en tiempo real.

De acuerdo con una realización, se proporciona un método para determinar de la posición del rotor de un generador eléctrico síncrono en una turbina eólica que comprende determinar la tensión del generador eléctrico; determinar una estimación del ángulo de posición del rotor basándose en la tensión de retro-emf (fuerza electromotriz) del generador eléctrico; obtener una determinación del ángulo de posición del rotor a partir de un codificador dispuesto en el generador eléctrico; combinar la estimación del ángulo de posición del rotor y el ángulo de posición del rotor a partir de la salida del codificador para obtener un valor de desviación del codificador, usándose el valor de desviación para determinar una posición del rotor calibrado; en el que la estimación del ángulo de posición del rotor se determina haciendo pasar la tensión del generador eléctrico a través del método de control de bucle de enganche de fase.

En una realización, la tensión es una tensión fase a fase y el método comprende además convertir la tensión fase a fase en tensiones trifásicas del generador eléctrico.

En una realización, se usa un bucle de enganche de fase (PLL) para obtener el ángulo de fase de la tensión a partir de las tensiones trifásicas. En una realización, cuando se usa el bucle de enganche de fase, se obtiene la amplitud del vector de tensión. Dividendo la amplitud del vector por la velocidad del rotor, se obtiene el flujo del rotor.

En una realización, la desviación se obtiene restando $\pi/2$ al ángulo de fase de la tensión. La desviación del codificador se obtiene, por ejemplo, combinando este ángulo del rotor con el ángulo del rotor a partir del codificador.

En una realización, la amplitud del flujo del rotor ψ_r se obtiene mediante un subproceso.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar la posición de un rotor de un generador eléctrico (11) en una turbina eólica (100) que comprende
- 5 determinar una tensión (402) del generador eléctrico (11);
determinar una estimación del ángulo de posición del rotor (404) basándose en la tensión (402) del generador eléctrico (11);
determinar una estimación del ángulo de posición posterior del rotor mediante un bucle de retroalimentación (405), basándose en una combinación de la tensión (402) del generador eléctrico (11) y la estimación del ángulo de
- 10 posición del rotor (404),
en el que la estimación del ángulo de posición posterior del rotor se determina basándose en una función de ganancia ajustable que ajusta la velocidad de estimación de la posición del rotor.
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la tensión (402) es una tensión de estátor del generador
- 15 eléctrico (11).
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la tensión (402) se determina a partir de una tensión línea a línea del generador eléctrico (11).
- 20 4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que las tensiones de fase del generador eléctrico (11) se determinan a partir de la tensión línea a línea y la tensión (402) se determina a partir de las tensiones de fase.
5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que se lleva a cabo en un sistema de generación de energía (200).
- 25 6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el sistema de generación de energía (200) comprende un codificador (21) para la determinación de la posición de un rotor del generador eléctrico (11) y el método comprende además determinar una desviación del codificador (21) basándose en la estimación del ángulo de posición posterior del rotor.
- 30 7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el codificador (21) se calibra basándose en la desviación.
8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que el sistema de generación de energía (200) comprende un codificador (21) para la determinación de la posición de un rotor del generador eléctrico (11) y el método comprende además detectar si se ha producido o no un error de funcionamiento del codificador (21), basándose en la estimación del ángulo de posición posterior del rotor.
- 35 9. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el sistema de generación de energía (200) comprende un codificador (21) para la determinación de la posición de un rotor del generador eléctrico (11), y el método comprende además la determinación de una amplitud del flujo del rotor (ψ_r) del generador eléctrico (11), basándose en la tensión (402) y una salida del codificador (21).
- 40 10. El método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la salida del codificador es una medición de velocidad angular del generador eléctrico (11).
- 45 11. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estimación de la posición posterior del rotor se usa en el control del generador eléctrico (11).
- 50 12. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que la estimación de la posición posterior del rotor y la amplitud del flujo del rotor (ψ_r) se usan en el control del generador eléctrico (11).
13. Un medio legible por ordenador que tiene un programa informático registrado en el mismo, comprendiendo el programa informático instrucciones que, cuando son ejecutadas por un procesador, hacen que el procesador aplique un método para determinar la posición del rotor de un generador eléctrico (11) en una turbina eólica (100), que
- 55 comprende
determinar una tensión (402) del generador eléctrico (11);
determinar una estimación del ángulo de posición del rotor (404) basándose en la tensión (402) del generador eléctrico (11);
determinar una estimación del ángulo de posición posterior del rotor mediante un bucle de retroalimentación (405), basándose en una combinación de la tensión (402) del generador eléctrico (11) y la estimación del ángulo de
- 60 posición del rotor (404),
en el que la estimación del ángulo de posición posterior del rotor se determina basándose en una función de ganancia ajustable que ajusta la velocidad de estimación de la posición del rotor.
- 65 14. Un aparato para la determinación de la posición de un rotor de un generador eléctrico (11) en una turbina eólica (100), estando configurado el aparato para

- determinar una tensión (402) del generador eléctrico (11);
- determinar una estimación del ángulo de posición del rotor (404) basándose en la tensión (402) del generador eléctrico (11);
- determinar una estimación del ángulo de posición posterior del rotor mediante un bucle de retroalimentación (405), basándose en una combinación de la tensión (402) del generador eléctrico (11) y la estimación del ángulo de posición del rotor (404),
- 5 en el que la estimación del ángulo de posición posterior del rotor se determina basándose en una función de ganancia ajustable que ajusta la velocidad de estimación de la posición del rotor.

FIG 1

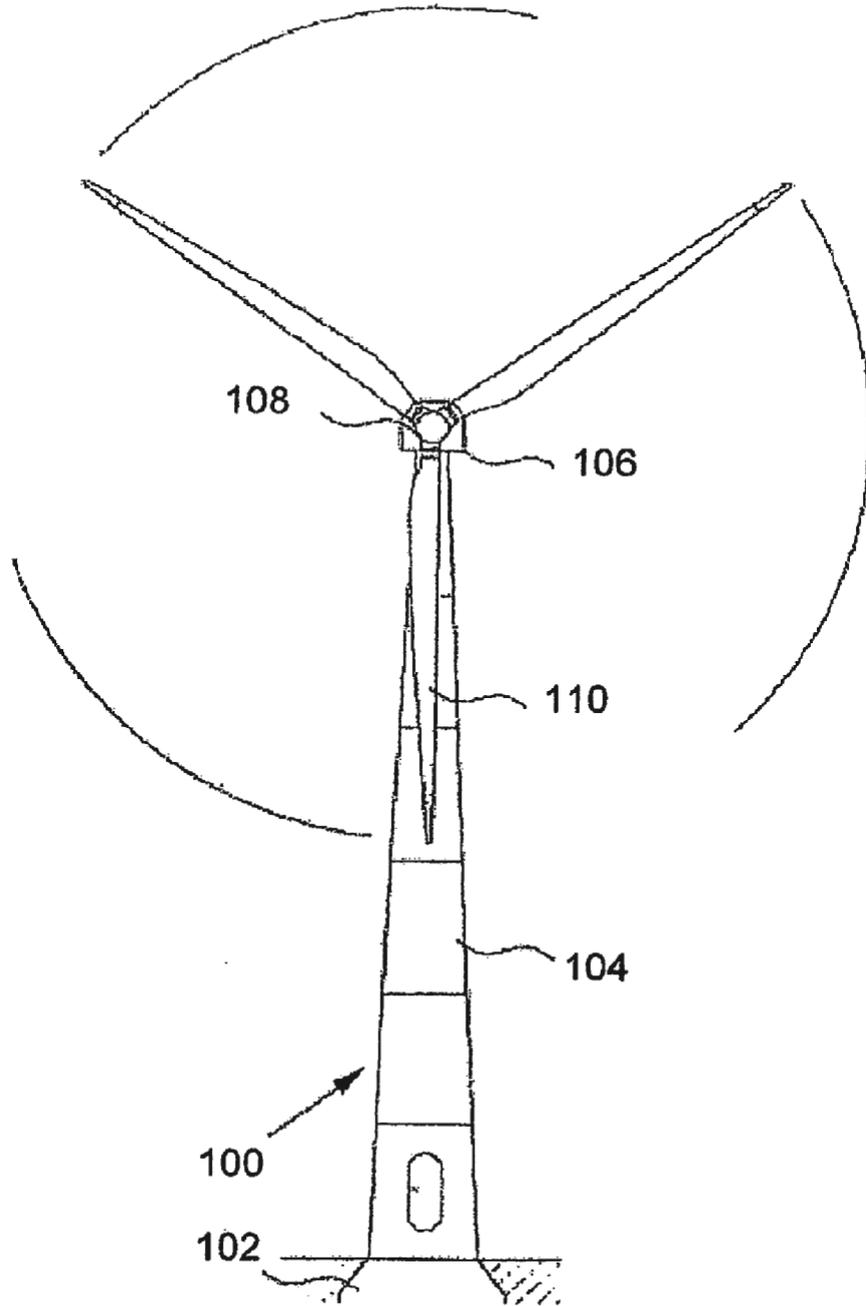


FIG 2

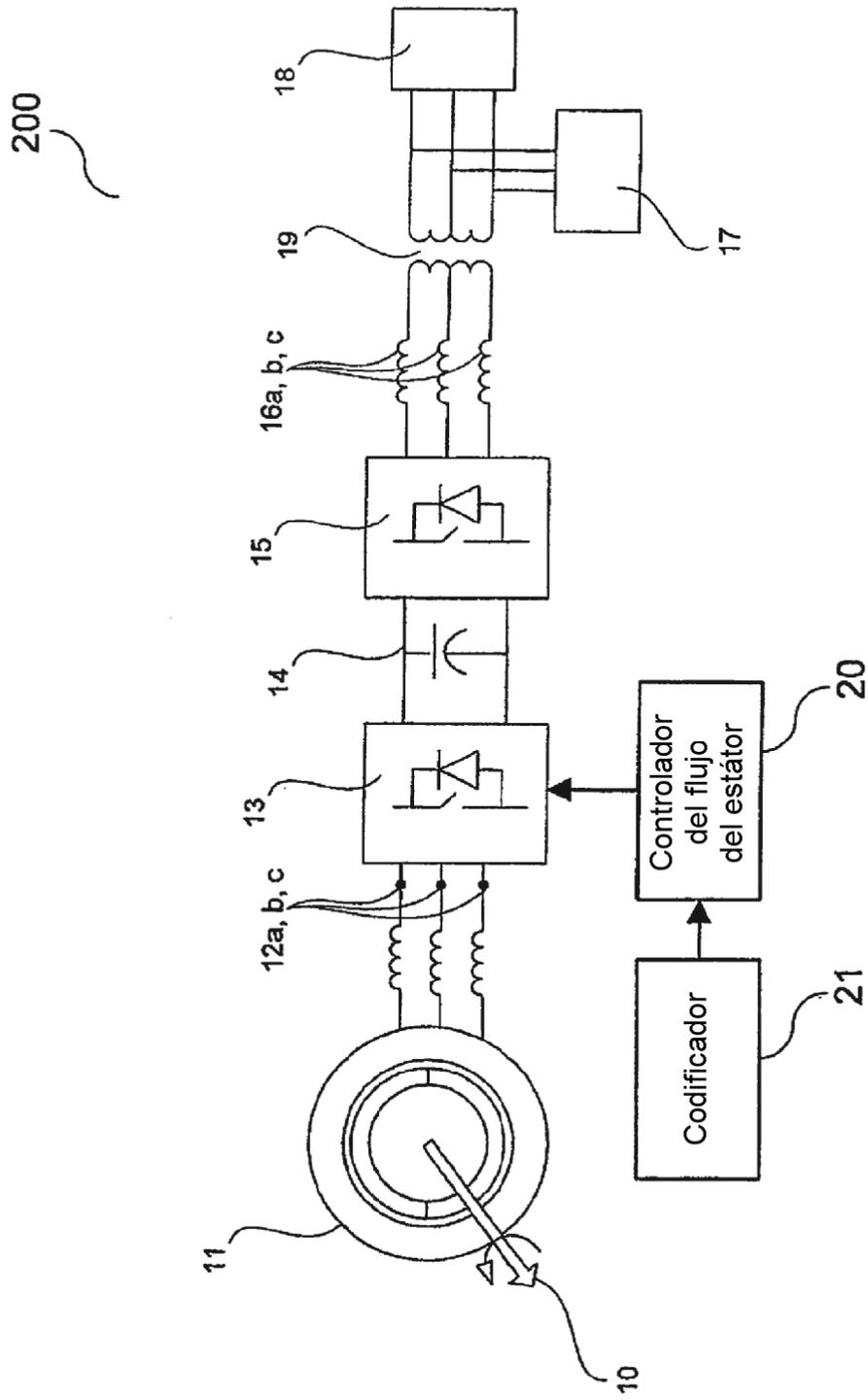


FIG 3

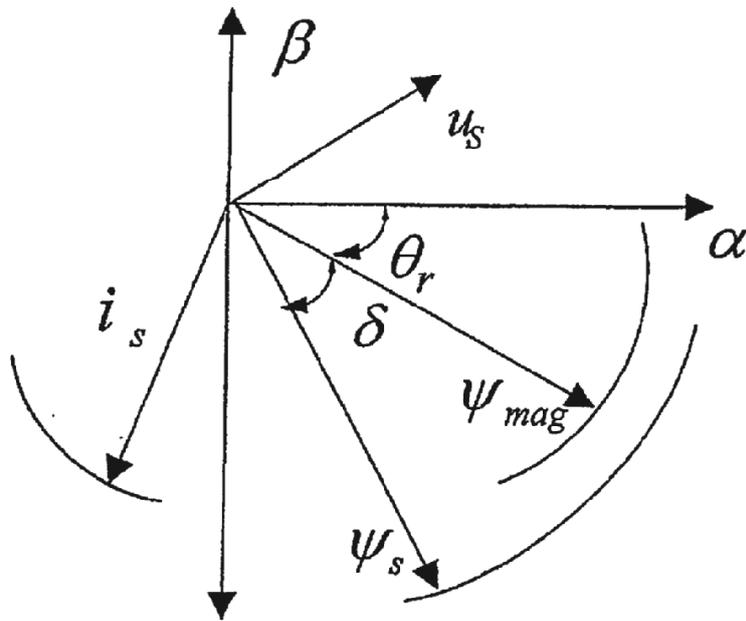


FIG 4

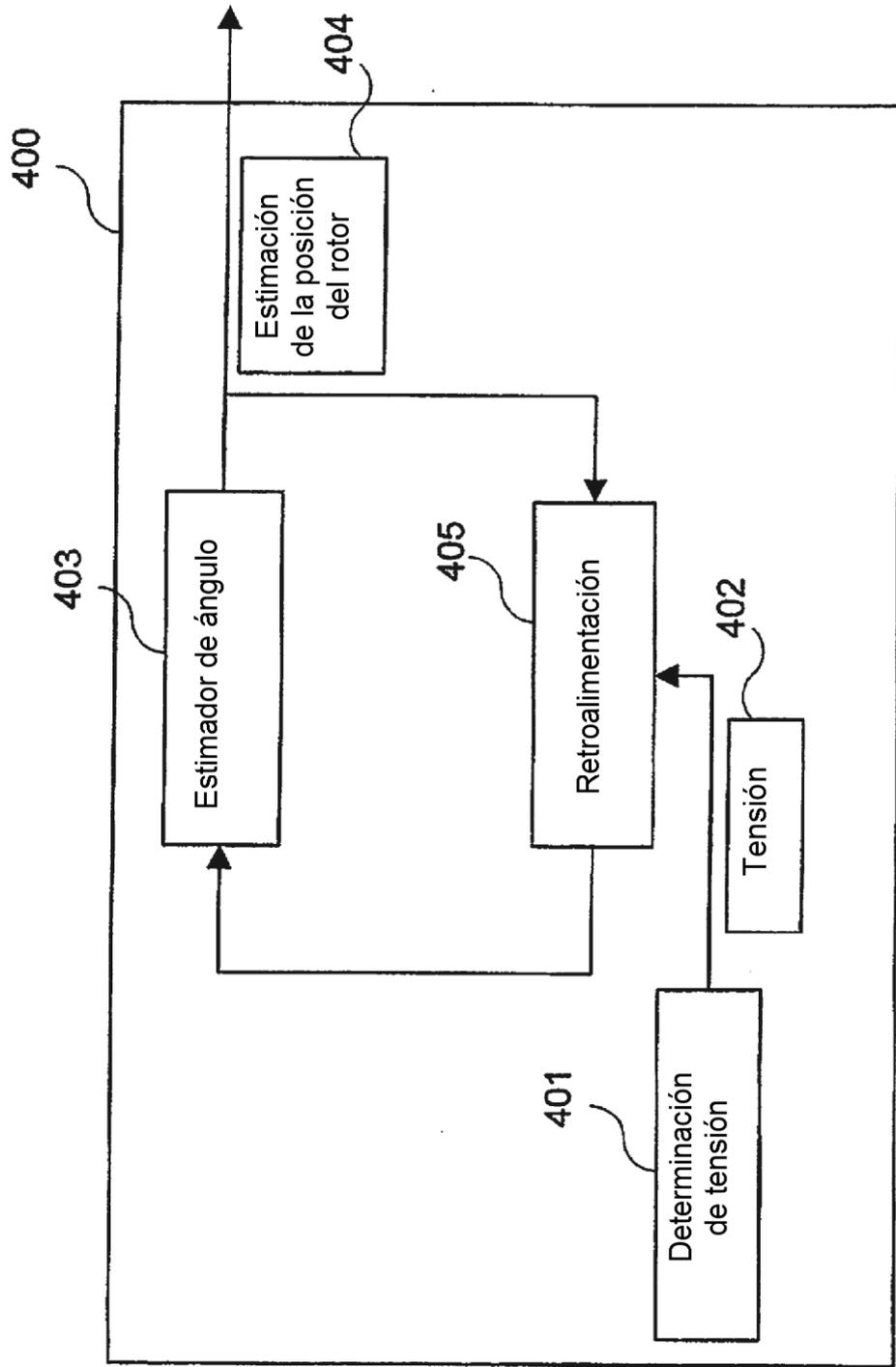


FIG 5

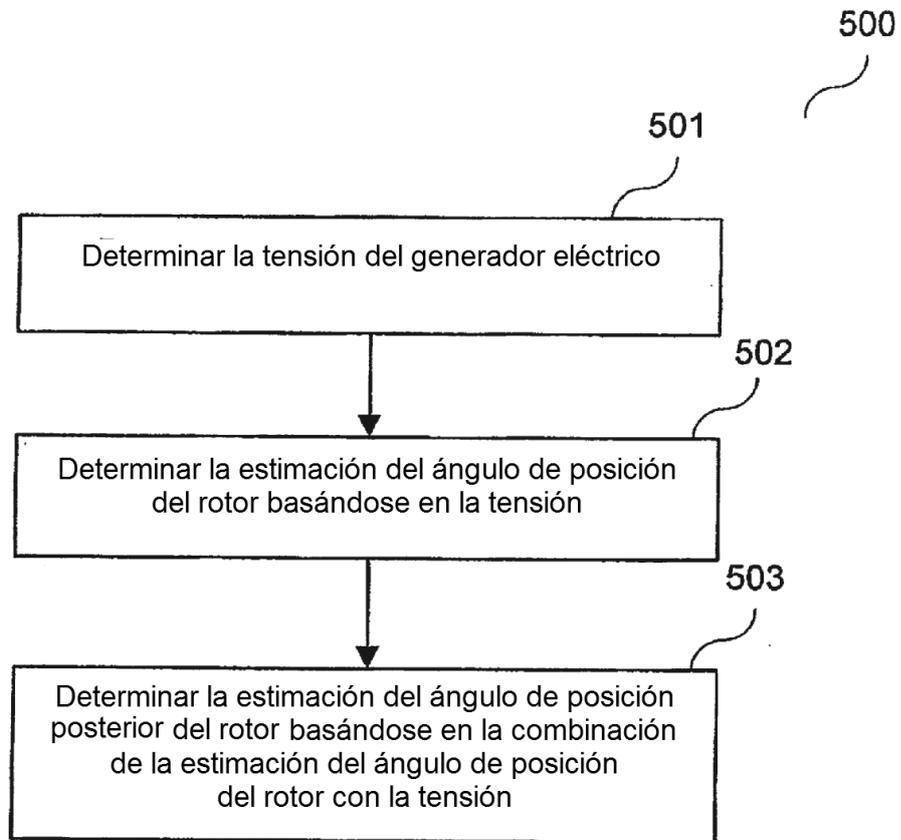


FIG 6

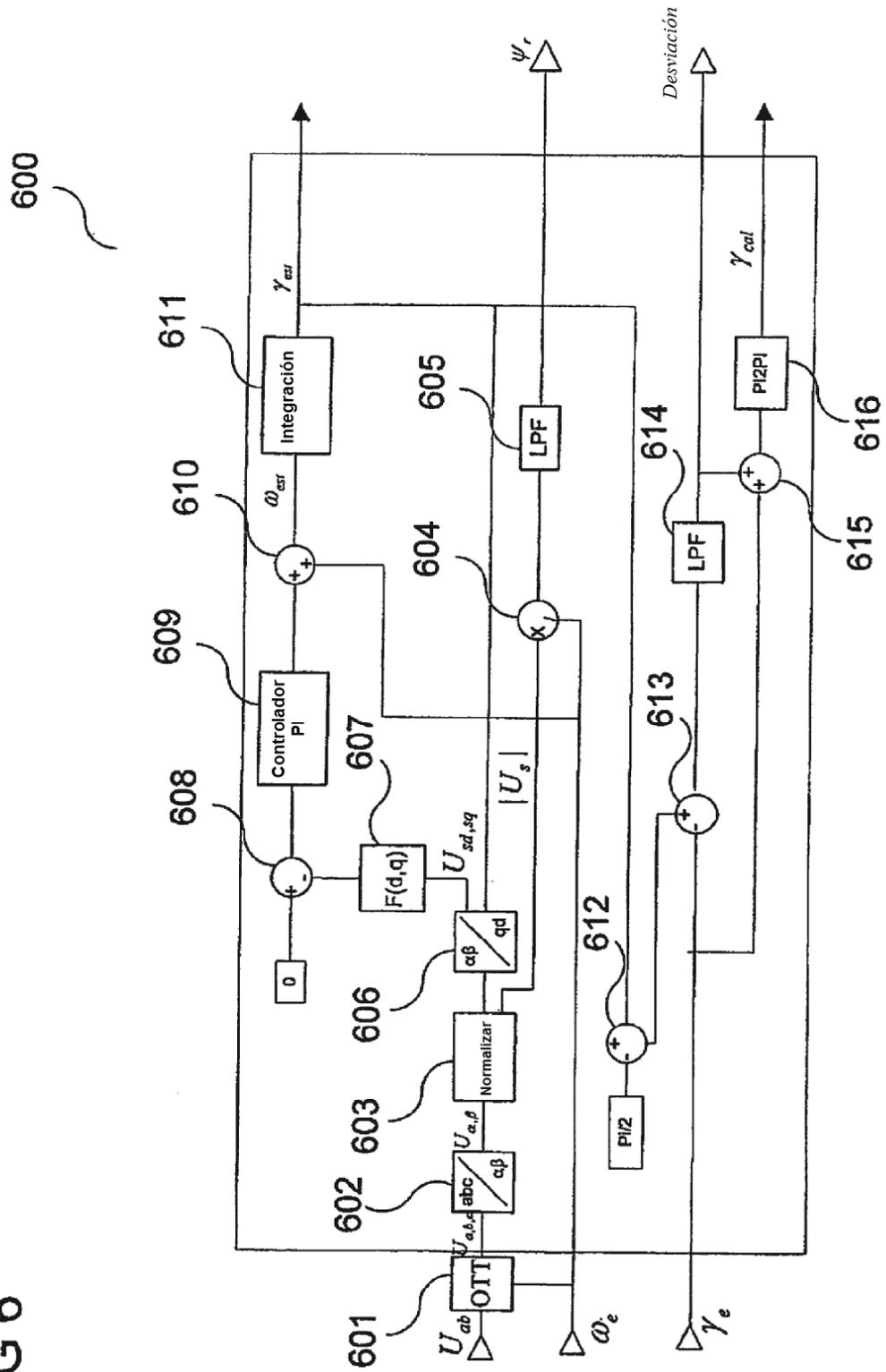


FIG 7

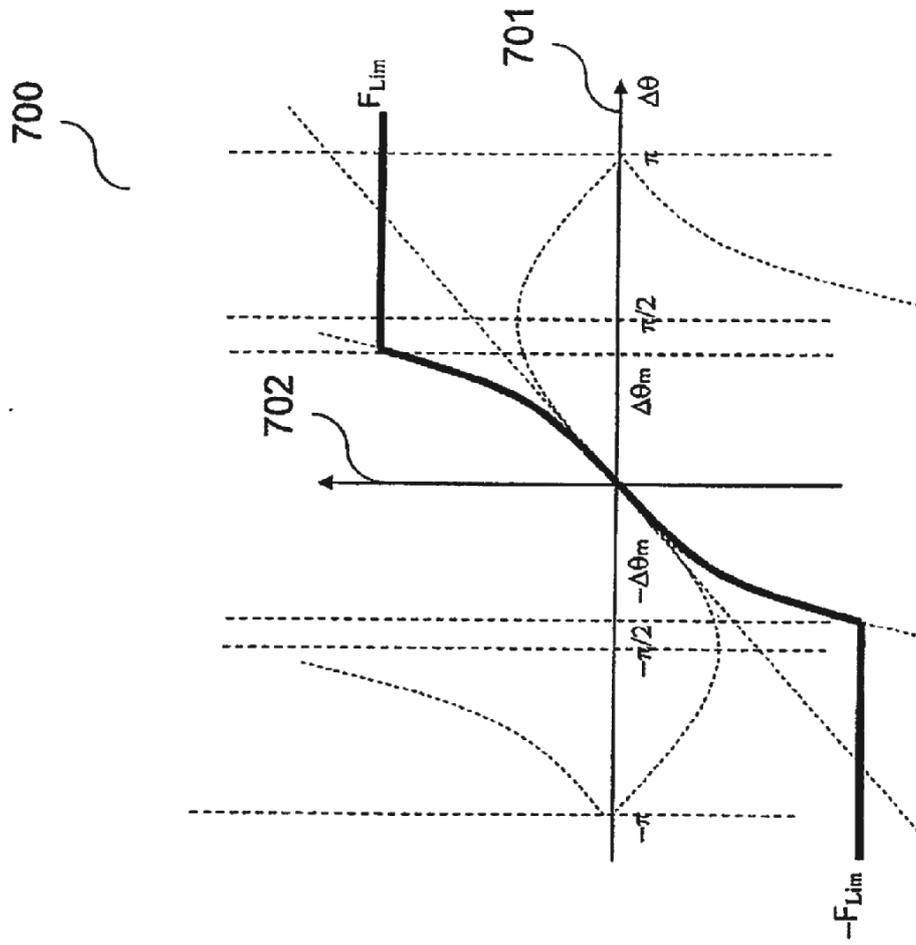


FIG 8

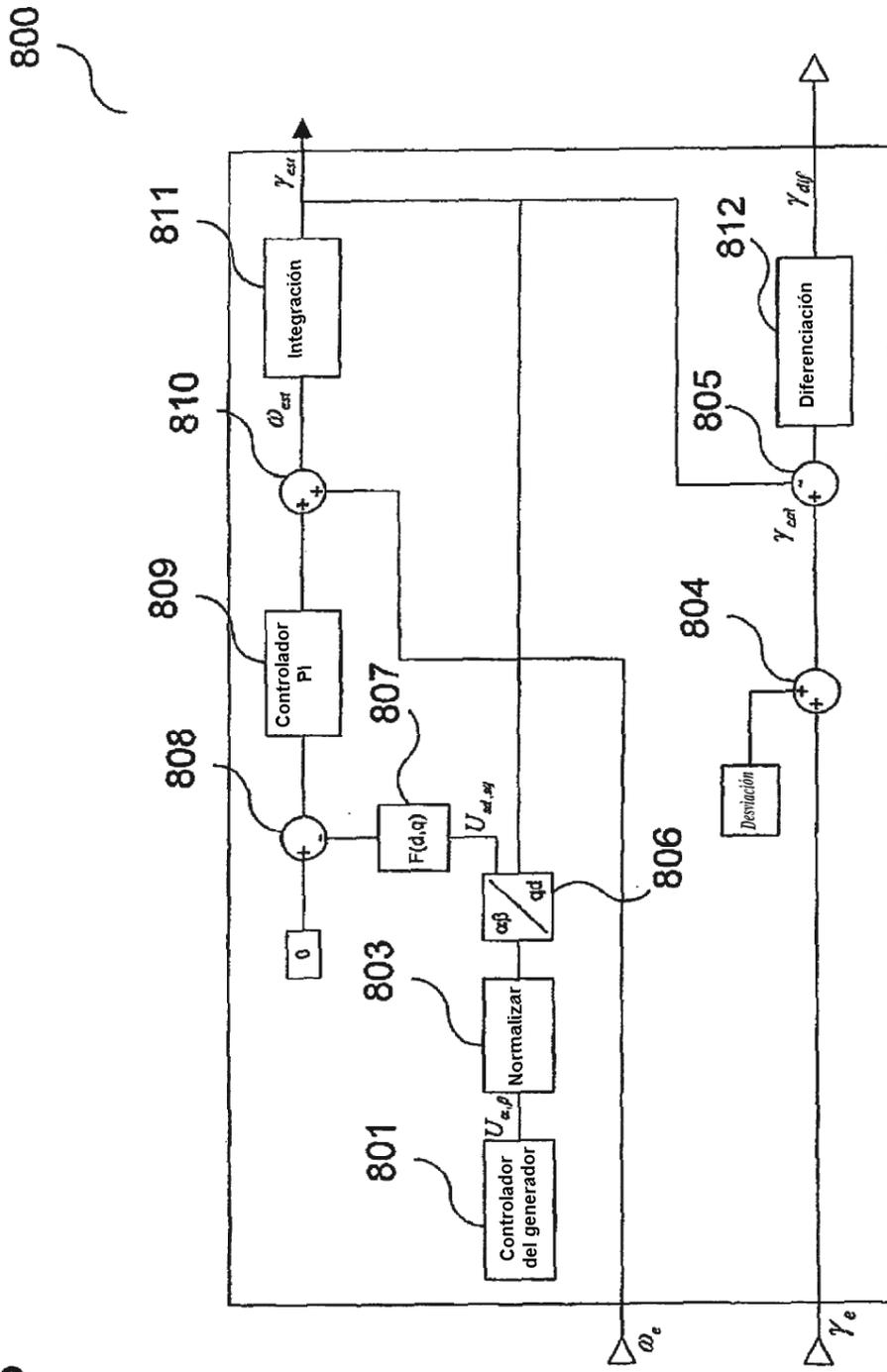


FIG 9

