

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 723 798**

51 Int. Cl.:

**H02P 9/12** (2006.01)

**H02P 21/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2012 E 12151110 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2019 EP 2477325**

54 Título: **Método y sistema para hacer funcionar un generador electromecánico**

30 Prioridad:

**18.01.2011 DK 201170023**

**18.01.2011 US 201161433646 P**

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

**02.09.2019**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 42**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**TRIPATHI, ANSHUMAN;**

**CAO, SHU YU;**

**DONESCU, VICTOR;**

**ANDERSEN, SØREN y**

**D-O MOHAMED ARIF, RASOOL BEEVI**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 723 798 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 y sistema para hacer funcionar un generador electromecánico

### Antecedentes

La presente invención se refiere a un método y a un sistema para hacer funcionar un generador electromecánico.

5 El rendimiento de potencia de los generadores de imanes permanentes interiores (IPM) depende de la geometría de rotor y estator y puede que las reglas habituales de par de torsión máximo por amperio (MTPA) no sean necesariamente óptimas para cada diseño de generador. La eficiencia de generador más baja resultante puede tener un impacto grave en la curva de potencia y puede repercutir de manera adversa en el coste de la energía (CoE). Unas pérdidas de generador más altas a menudo conducen a requisitos de corriente más altos para un nivel  
10 de potencia dado, afectando de manera adversa también a las pérdidas de convertidor. Para mantener la temperatura del sistema de convertidor de generador según las especificaciones, esto conduce a una potencia de enfriamiento más alta que se añade a la pérdida global.

El documento US 5.652.485 da a conocer un sistema de control que utiliza control adaptativo de lógica difusa para controlar el funcionamiento de un generador de potencia eléctrica accionado por turbina eólica para controlar la  
15 velocidad de generador de potencia y, por tanto, la frecuencia de potencia al tiempo que se maximiza la salida de potencia del generador de potencia. Se eliminan los efectos de turbulencia de viento y se controla el flujo magnético de entrehierro del generador de potencia. Sin embargo, el sistema de control basado en lógica difusa requiere numerosas iteraciones de ensayo y error para afinar el rendimiento del controlador y proporcionar una respuesta y una sensibilidad de control satisfactorias.

20 Por tanto, se desean métodos mejorados para reducir la pérdida de potencia en generadores electromecánicos.

### Sumario de la invención

Según la presente invención, se proporciona un método para hacer funcionar un generador electromecánico, en el que el generador electromecánico (11) es un generador de imanes permanentes interiores, comprendiendo el  
25 método, determinar un parámetro de referencia de campo magnético basándose en una referencia de potencia electromagnética que representa una salida deseada del generador electromecánico, determinar un factor de escala para ajustar un nivel de magnetización de entrehierro del generador electromecánico para reducir la pérdida al hacer funcionar el generador electromecánico, modificar el parámetro de referencia de campo magnético con el factor de escala; y hacer funcionar el generador electromecánico basándose al menos en el parámetro de referencia de campo magnético modificado.

30 Según una realización, el parámetro de referencia de campo magnético se ajusta a escala linealmente con el factor de escala.

Según una realización, el parámetro de referencia de campo magnético es uno cualquiera de una referencia de flujo de magnetización y una referencia de corriente de magnetización.

35 Según una realización, el factor de escala se determina para reducir la suma de una pérdida en el cobre de generador y una pérdida en el núcleo de generador.

Según una realización, el factor de escala se determina para minimizar la pérdida de generador.

Según una realización, el método comprende además determinar el parámetro de referencia de campo magnético basándose en un criterio de optimización de pérdida de potencia por defecto que da la razón de una corriente de  
desmagnetización y una corriente de potencia de campo del generador electromecánico.

40 Según una realización, el valor inicial del parámetro de referencia de campo magnético (o un valor inicial para el parámetro de referencia de campo magnético) se determina según un criterio de minimización de pérdida en el cobre de generador.

Según una realización, el factor de escala se determina como el factor de escala a partir de una pluralidad de factores de escala para el que la pérdida de potencia determinada es mínima entre los factores de escala de la  
45 pluralidad de factores de escala.

Según una realización, el factor de escala se determina de modo que el generador se hace funcionar a un nivel de desmagnetización dado por el parámetro de referencia de campo magnético ajustado a escala con el factor de  
escala.

50 Según una realización, el ajuste a escala del parámetro de referencia de campo magnético se determina modificando una razón por defecto de una corriente de magnetización y una corriente de potencia de campo dada por el criterio de minimización de pérdida en el cobre que determina una condición de funcionamiento del generador (por ejemplo una condición de funcionamiento inicial del generador).

5 Según la presente invención, determinar el factor de escala y/o afinar con precisión el factor de escala para mejorar la eficiencia de sistema de control de generador incluye determinar el factor de escala a partir de una pluralidad de factores de escala como el factor de escala para el que la pérdida de potencia determinada es mínima entre los factores de escala de la pluralidad de factores de escala y comprende medir la temperatura de rotor y estator de generador para los factores de escala en el orden desde el factor de escala más bajo hasta el factor de escala más alto en el que cuando se mide que la temperatura de generador de un factor de escala es más alta que la pérdida de potencia medida para el factor de escala anterior, se detiene el procedimiento de determinación y se determina el factor de escala anterior como el factor de escala para el que la pérdida de potencia de generador determinada es mínima entre los factores de escala.

10 Según una realización, la pluralidad de factores de escala están dentro de un intervalo de factores de escala predeterminado.

Según una realización, el factor de escala más bajo de la pluralidad de factores de escala se establece por debajo de la unidad (por ejemplo ligeramente por debajo de la unidad) con el fin de tener en cuenta una variación de parámetro de generador.

15 Según una realización, el parámetro de referencia de campo magnético especifica un nivel de desmagnetización inicial predeterminado.

Según una realización, el parámetro de referencia de campo magnético especifica un flujo de estator de desmagnetización inicial predeterminado o una corriente de desmagnetización inicial predeterminada.

Según la presente invención, el generador es un generador de imanes permanentes interiores.

20 Según una realización de la presente invención, se proporcionan sistemas según el método para hacer funcionar un generador electromecánico y/o el método para determinar un nivel de desmagnetización para el funcionamiento de un generador electromecánico. En los que el generador electromecánico (11) es un generador de imanes permanentes interiores.

25 Realizaciones descritas en el contexto del método para hacer funcionar un generador electromecánico tal como se describió anteriormente son válidas de manera análoga para el sistema para hacer funcionar un generador electromecánico y el método para determinar un nivel de desmagnetización para el funcionamiento de un generador electromecánico y viceversa.

### Breve descripción de los dibujos

30 En los dibujos, caracteres de referencia similares se refieren generalmente a las mismas partes a lo largo de las diferentes vistas. Los dibujos no están necesariamente a escala, haciéndose énfasis en cambio generalmente en ilustrar 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 configuración habitual de una turbina eólica;

la figura 2 ilustra un ejemplo de un sistema de generación de potencia según una realización;

35 la figura 3 muestra un modelo de circuito equivalente para un generador electromecánico según una realización;

la figura 4 muestra un diagrama de flujo según una realización;

la figura 5 muestra un sistema de generación de potencia que comprende un sistema de control de realimentación de flujo de estator según una realización;

40 la figura 6 muestra un sistema de generación de potencia que comprende un sistema de control de realimentación de corriente de estator según una realización;

la figura 7 muestra un diagrama de flujo según una realización;

la figura 8 muestra un diagrama de trayectoria de corriente.

### Descripción

45 La siguiente descripción detallada se refiere a los dibujos adjuntos que muestran, a modo de ilustración, detalles específicos y realizaciones en las que puede ponerse en práctica la invención. Estas realizaciones se describen en detalle suficiente como para permitir que los expertos en la técnica pongan en práctica la invención.

Las diversas realizaciones no son necesariamente excluyentes mutuamente, ya que algunas realizaciones pueden combinarse con una o más realizaciones adicionales para formar nuevas realizaciones.

La solicitud PCT PCT/SG2010/000338 describe un método de control de un generador de turbina eólica en el que se

determina una referencia de potencia electromagnética que representa la potencia electromagnética generada por el generador de turbina eólica, en el que la referencia de potencia electromagnética se determina basándose en una salida deseada del generador de turbina eólica. El contenido completo de esta solicitud se incorpora como referencia en el presente documento.

- 5 La figura 1 ilustra una configuración habitual de una turbina eólica 100 que puede usar el método de la invención tal como se describe a continuación. La turbina eólica 100 está montada en una base 1002. La turbina eólica 100 incluye una torre 1004 que tiene varias secciones de torre. Una góndola de turbina eólica 1006 está colocada encima de la torre 1004. El rotor de turbina eólica incluye un buje 1008 y al menos una pala de rotor 1010, por ejemplo tres palas de rotor 1010. Las palas de rotor 1010 se conectan al buje 1008 que a su vez se conecta a la góndola 1006 a través de un árbol de baja velocidad que se extiende fuera de la parte delantera de la góndola 1006.

La figura 2 ilustra un ejemplo de un sistema de generación de potencia 200 según una realización.

- Un árbol 10 transfiere energía mecánica desde una fuente de energía, por ejemplo la al menos una pala de rotor 1010 mostrada en la figura 1, hasta un rotor de un generador de velocidad variable 11. El árbol 10 se conecta a la al menos una pala de rotor 11 y, por ejemplo, se conecta al rotor mediante una caja de engranajes con el fin de adaptar la velocidad de rotación del árbol 10 (es decir, la velocidad de las palas de turbina eólica) a un intervalo de velocidad adecuado para el generador 11. El generador 11 convierte la energía mecánica proporcionada mediante el árbol 10 en energía eléctrica y entrega la energía eléctrica a un conjunto de terminales de estator 12a, 12b, 12c. En este ejemplo el generador 11 es un generador de imanes permanentes interiores (IPM). La velocidad de rotación del árbol 10 varía en función de la velocidad del viento. Dado que la velocidad de rotación del rotor del generador 11 es proporcional a la velocidad de rotación del árbol 10, la amplitud y frecuencia de la señal de tensión proporcionada por el generador 11 en los terminales de estator 12a, 12b, 12c varía según la velocidad de rotación del árbol 10. Los terminales 12a, 12b, 12c del generador 11 se conectan a un convertidor de potencia de lado de generador 13. El convertidor 13 comprende, por ejemplo, un conjunto de interruptores en forma, por ejemplo, de MOSFET, GTO, IGBT o BJT.

- 25 El convertidor 13 funciona, en un funcionamiento normal, como rectificador activo que convierte la tensión de CA de frecuencia variable proporcionada por el generador 11 en una tensión de CC. La conversión puede controlarse usando un esquema de modulación por ancho de pulsos (PWM), en el que se aplican señales de control a los interruptores del convertidor 13 con el fin de proporcionar la funcionalidad de conversión deseada. En una realización, los interruptores se controlan empleando un esquema de modulación por ancho de pulsos de vector espacial.

- Para una velocidad de funcionamiento dada (es decir, una velocidad de rotación de rotor dada), la potencia electromagnética depende de la magnitud del vector de flujo de estator o vector de corriente de estator y su ubicación con respecto al vector de flujo de rotor. Si se conoce la posición del vector de flujo de rotor o vector de corriente de estator, es posible aplicar una tensión al estator que sitúa el vector de flujo de estator o vector de corriente de estator para dar la magnitud deseada de la potencia a una velocidad de rotación dada. Por tanto, controlando el vector de flujo de estator o vector de corriente de estator, puede obtenerse la potencia electromagnética, que corresponde a la potencia dada a la carga, según se desee.

- El vector de flujo de estator o vector de corriente de estator puede controlarse, por ejemplo, mediante un control adecuado del convertidor de potencia de lado de generador 13. Por consiguiente, en una realización, el sistema de generación de potencia 200 incluye un controlador de flujo de estator o controlador de corriente de estator 20 que controla el convertidor de potencia de lado de generador 13 de manera que la potencia suministrada por el generador eléctrico 11 a la red de distribución de potencia 18 tiene una magnitud deseada. El controlador de flujo de estator o controlador de corriente de estator 20 necesita, en una realización, información sobre la posición de rotor, por ejemplo un ángulo de fase  $\theta_m$  del rotor, y/o información sobre la velocidad angular  $\omega_m$  del rotor.

- 45 La salida del convertidor 13 se conecta a un enlace de CC 14 que comprende un condensador de enlace para reducir la ondulación de tensión en el enlace de CC.

- El enlace de CC 14 se conecta a un convertidor de potencia de lado de red de distribución 15. La topología del convertidor de potencia de lado de red de distribución 15 puede ser similar al convertidor de potencia de lado de generador 13. El convertidor de potencia de lado de red de distribución 15, por ejemplo, funciona normalmente como inversor para convertir la tensión de CC en el enlace de CC 14 en una tensión de CA regulada para alimentar potencia activa y reactiva a una red de distribución de potencia 18.

- La salida del convertidor de potencia de lado de red de distribución 15 puede filtrarse por medio de inductores 16a, 16b y 16c con el fin, por ejemplo, de retirar armónicos de orden superior de la señal de potencia de salida. La señal de potencia de salida, si es necesario, puede filtrarse mediante un filtro de armónicos 17 con el fin de mantener la interferencia o distorsión armónica en un valor bajo. La señal de potencia de salida se proporciona entonces a la red de distribución de potencia 18 mediante un transformador 19.

Para aplicaciones en turbinas eólicas al nivel de megavatios (MW), el generador de imanes permanentes interiores (IPM) 11 puede diseñarse para optimizarse para menos peso y menos volumen. Por tanto, la pérdida en el núcleo

del generador 11 resultante es normalmente del mismo orden que la pérdida en el cobre en el generador 11. La pérdida total de generador puede aumentarse en gran medida, lo que puede conducir a cuestiones de sobrecalentamiento de generador cuando se aplica la regla de pérdida en el cobre mínima (MCL) para lograr un funcionamiento con par de torsión máximo por amperio (MTPA). La pérdida en el núcleo del generador 11 depende del diseño de circuito magnético de generador, la velocidad de generador, el patrón de conmutación de PWM y la distribución de vector de flujo/corriente. Para un nivel de velocidad de rotación dado y un nivel de potencia de salida dado, normalmente es deseable que el generador 11 funcione con la trayectoria de distribución de flujo/corriente de estator optimizada de modo que se minimiza la pérdida total de pérdida en el núcleo y pérdida en el cobre.

La pérdida en el núcleo de un generador de IPM incluye la pérdida por histéresis, la pérdida por corrientes parásitas y la pérdida en exceso. Suponiendo una distribución de campo magnético sinusoidal y despreciando el efecto pelicular, las pérdidas en hierro por unidad de un generador de IPM pueden representarse como

$$P_{\text{hierro}} = P_{\text{histéresis}} + P_{\text{c.parás.}} + P_{\text{exceso}} \quad (1)$$

$$= K_{\text{histéresis}} * f * B_m^2 + K_{\text{c.parás.}} * f^2 * B_m^2 + K_{\text{exceso}} * f^{3/2} * B_m^{3/2}$$

A partir del modelo analítico de pérdida en el núcleo según la ecuación (1) puede observarse que es posible reducir la pérdida en el núcleo de generador aplicando un nivel apropiado de corriente de desmagnetización para reducir la magnitud de la componente fundamental de densidad de flujo de entrehierro.

También puede usarse la pérdida en el núcleo de generador basándose en el modelo de circuito equivalente que incluye una resistencia de pérdida en el núcleo  $R_c$  tal como se ilustra en la figura 3.

La figura 3 muestra un modelo de circuito equivalente 300 para un generador electromecánico según una realización.

El modelo de circuito equivalente 300 se representa en un sistema de referencia dq e incluye un circuito equivalente de eje d 301 y un circuito equivalente de eje q 302, con el eje d alineado con el eje de vector de flujo de rotor y el eje q 90° por delante del eje d.

La pérdida en el núcleo se modela mediante un primer resistor 303 en el circuito equivalente de eje d 301 y un segundo resistor 304 en el circuito equivalente de eje q 302 con la resistencia  $R_c$ .

Adicionalmente, se usan las siguientes denominaciones en el modelo de circuito equivalente 300:

$V_q, V_d$ : componente de eje q y eje d de tensión de estator, respectivamente;

$i_q, i_d$ : componente de eje q y eje d de corriente de estator después de la deducción de la pérdida en el núcleo y la pérdida en el cobre, respectivamente;

$R_s$ : resistencia de devanado de estator de generador;

$L_q, L_d$ : componente de eje q y eje d de inductancia de estator de generador, respectivamente;

$i_{cq}, i_{cd}$ : componente de eje q y eje d de corrientes que representan la pérdida en el núcleo de estator y rotor, respectivamente;

$V_{oq}, V_{od}$ : tensión de salida de generador antes de una caída de tensión por resistencia en la resistencia de devanado de estator  $R_s$ , respectivamente;

$i_{oq}, i_{od}$ : componente de eje q y eje d de corriente de estator de salida de generador antes de la deducción de la pérdida en el núcleo y la pérdida en el cobre, respectivamente;

$\omega$ : velocidad de rotación de rotor;

$\Psi_r$ : amplitud de flujo magnético de rotor.

Según el modelo de circuito equivalente de sistema de referencia dq 300, la pérdida en el núcleo de generador puede estimarse como

$$P_{\text{núcleo}} = \frac{\omega^2}{R_c} \left\{ (\Psi_r + L_d * i_{od})^2 + (L_q * i_{oq})^2 \right\} \quad (2)$$

La resistencia de pérdida en el núcleo puede calcularse como:

$$R_c = \frac{V_d^2 + V_q^2 - \omega^2 (\psi_r + (L_d - L_q) * i_q^2)}{V_q * i_q - \omega * \psi_r * i_q - R_s * i_q^2} \quad (3)$$

- Debido a una variación de densidad de flujo local provocada por efecto de saturación, la función de transferencia exacta desde corriente de estator y tensión de estator hasta pérdida en el núcleo es mucho más complicada de lo que se deriva del modelo de circuito equivalente 300, especialmente en una condición de funcionamiento de alta velocidad y alta potencia. Sin embargo, a partir del modelo de circuito equivalente 300 puede observarse que puede lograrse un funcionamiento de generador de IPM con pérdida minimizada mediante una distribución apropiada del vector de flujo de estator (o, de manera equivalente, el vector de corriente de estator) a un nivel de velocidad dado y un nivel de potencia dado.
- Aunque no hay ninguna ecuación sencilla que pueda aplicarse en la práctica para un control de optimización de pérdida en línea de un generador de IPM, según una realización se usa un método para reducir la pérdida de potencia de generador que puede observarse que se basa en cambiar la distribución de flujo o corriente hacia el sentido de aumento o disminución del nivel de corriente o flujo de magnetización de modo que puede reducirse la pérdida en el núcleo de generador conforme al conocimiento adquirido mediante el análisis teórico anterior.
- Debe observarse que la distribución de vector de flujo/corriente de estator para la minimización de la pérdida total incluyendo la pérdida tanto en el núcleo como en el cobre, a un nivel de velocidad dado y un nivel de potencia dado puede obtenerse a partir de los diseñadores de generador calculados a partir de un análisis de elementos finitos (FEM) para un diseño de máquina específico. Una manera más práctica de obtener una distribución optimizada de vector de flujo/corriente de estator para una máquina de IPM comercial puede ser realizar una prueba de mapeo de potencia. Por ejemplo, un ajuste de curva polinómica de una trayectoria de distribución de vector de flujo/corriente de estator obtenida en la prueba de mapeo de potencia puede implementarse en el producto final para el control de generación de potencia. La prueba de mapeo de potencia normalmente se lleva a cabo para aplicar una combinación diferente de vectores de flujo/corriente de estator en el generador para unos pocos niveles de velocidad y niveles de potencia a lo largo de la curva de potencia de generador con las lecturas de temperatura de estator y rotor registradas. La distribución de vector de flujo/corriente de estator con pérdida minimizada se obtiene cuando se logra la temperatura de generador más baja para la velocidad dada y la potencia dada.
- Sin embargo, el procedimiento de prueba de mapeo de potencia puede ser bastante complicado y no ser fácil de poner en práctica. Normalmente requiere software de pruebas especial para desconectar el bucle de control de potencia de generador. En cada etapa de prueba de mapeo de potencia, se alimenta manualmente un conjunto de referencias de vectores de flujo/corriente de estator al sistema de control de generador cuando sólo está habilitado el bucle interno de flujo/corriente de estator. Para buscar un punto de funcionamiento con pérdida minimizada, normalmente se requiere la excitación de bastantes conjuntos de vectores de flujo/corriente de estator y los datos recopilados se procesan fuera de línea. Además, debe observarse que existe la posibilidad de que se introduzca un error humano en la prueba de mapeo de potencia.
- Según una realización, se hace funcionar un generador electromecánico según el método ilustrado en la figura 4. La figura 4 muestra un diagrama de flujo 400 según una realización.
- En 401, se determina un parámetro de referencia de campo magnético basándose en una referencia de potencia electromagnética que representa una salida deseada del generador electromecánico.
- En 402, se determina un factor de escala para ajustar el nivel de magnetización de entrehierro del generador electromecánico para reducir la pérdida al hacer funcionar el generador electromecánico.
- En 403, se modifica el parámetro de referencia de campo magnético con el factor de escala.
- En 404, se hace funcionar el generador electromecánico basándose al menos en el parámetro de referencia de campo magnético modificado.
- En una realización, dicho de otro modo, se hace funcionar un generador electromecánico según un parámetro de referencia de campo magnético que se modifica (por ejemplo, se ajusta a escala linealmente) para ajustar un nivel de magnetización de entrehierro del generador electromecánico, por ejemplo para reducir la pérdida de potencia del generador electromecánico. Puede observarse que el parámetro de referencia de campo magnético da un nivel de magnetización por defecto, por ejemplo determinado según un criterio concreto, por ejemplo la regla de pérdida en el cobre mínima.
- En una realización, el funcionamiento de un generador electromecánico se controla determinando un nivel de desmagnetización inicial (por ejemplo, el nivel de desmagnetización para el que se minimiza la pérdida en el cobre

- de generador) y usándolo como base para la determinación del nivel de desmagnetización al que se minimiza la pérdida de potencia (por ejemplo, la pérdida de potencia total incluyendo la pérdida en el cobre y la pérdida en el núcleo). Para ello, se determina (por ejemplo, se mide) la pérdida de potencia para diferentes ajustes a escala (dicho de otro modo, ponderaciones) de nivel de desmagnetización inicial del nivel de desmagnetización. Por ejemplo, un nivel de desmagnetización puede venir dado por un valor de desmagnetización o una trayectoria de valores de desmagnetización, por ejemplo dependiendo del flujo/corriente de estator de desmagnetización de eje d con respecto a la corriente de estator de eje q. Dicho de otro modo, el nivel de desmagnetización inicial puede corresponder, por ejemplo, a una señal de desmagnetización inicial (por ejemplo, que comprende valores de señal para todos los valores del flujo/corriente de estator de desmagnetización de eje d con respecto al flujo/corriente de estator de eje q) y el nivel de desmagnetización inicial ajustado a escala puede corresponder a la señal de desmagnetización inicial en la que la razón de la corriente de desmagnetización de eje d con respecto a la corriente de estator de eje q se ajusta a escala según el factor de escala, por ejemplo se multiplica por el factor de escala. Los valores de desmagnetización, o, de manera correspondiente, los valores de señal de la señal de desmagnetización, pueden especificar, por ejemplo, un flujo de estator o una corriente de estator.
- En una realización, un método para control de optimización de pérdida de generador de IPM en control de potencia de bucle cerrado usa un factor de escala ajustable aplicado para cambiar la trayectoria de distribución de vector de flujo/corriente de estator basándose en la regla de pérdida en el cobre mínima (MCL). Dicho de otro modo, el nivel de desmagnetización inicial en esta realización viene dado por la trayectoria de distribución de vector de flujo/corriente de estator determinada según la regla de pérdida en el cobre mínima (MCL). La trayectoria de distribución de flujo/corriente de estator basada en MCL puede considerarse como la regla de optimización por defecto integrada para el control de potencia de generador que se usa como punto de partida para afinar el funcionamiento de generador con minimización de pérdida.
- En una realización, se establece un factor de escala ajustable como parámetro de entrada que se cambia suavemente desde un valor inicial hasta un valor objetivo en el controlador de generador. El factor de escala puede estar limitado en un intervalo concreto de modo que tiene un efecto despreciable en la respuesta de dinámica de sistema. El cambio del factor de escala puede llevarse a cabo de manera que no afecte a la estabilidad de sistema de control.
- A continuación, se describe un control de generador para minimizar la pérdida de potencia en el contexto de un sistema de control de realimentación de flujo de estator según una realización.
- La figura 5 muestra un sistema de generación de potencia 500 que comprende un sistema de control de realimentación de flujo de estator según una realización de la invención.
- El sistema de generación de potencia 500 incluye, de manera similar al sistema de generación de potencia 200, un generador electromecánico 501, un convertidor de potencia de lado de generador 502 y un convertidor de potencia de lado de red de distribución (o lado de línea de potencia) 504 acoplado mediante un enlace de CC 503. El sistema de generación de potencia 500 se conecta mediante una línea de potencia 505 a una red de distribución de potencia. La línea de potencia 505 incluye, por ejemplo, un filtro de línea, correspondiente por ejemplo a los inductores 16a, 16b, 16c y el filtro de armónicos de lado de red de distribución 17 y un transformador de aislamiento de red de distribución 19 mostrados en la figura 2. El convertidor de potencia de lado de red de distribución 504 se controla mediante un controlador de convertidor de potencia de lado de red de distribución (o lado de línea de potencia) 506.
- El sistema de generación de potencia 500 incluye un sistema de control de realimentación de flujo de estator que incluye un primer sustractor 513, un controlador de potencia (por ejemplo un controlador de PI) 507, una unidad de compensación de ganancia no lineal 508, una unidad de determinación de distribución de vector de flujo con pérdida optimizada 509, una unidad de control de debilitamiento de campo 510, una unidad de selección 511 y una unidad de control de flujo de estator 512. Puede considerarse que el sistema de control de realimentación de flujo de estator corresponde al controlador de flujo de estator 20 del sistema de generación de potencia 200 descrito con referencia a la figura 2.
- El primer sustractor 513 sustrae una potencia de lado de generador medida P de una referencia de potencia de salida de lado de generador P\*. El resultado de la sustracción, que puede considerarse como una señal de error de potencia de generador, se suministra al controlador de potencia 507. El controlador de potencia genera una señal de referencia de flujo de generación de potencia de campo (sin compensar) que se alimenta a la unidad de compensación de ganancia no lineal 508 que compensa la no linealidad de IPM en la generación de par de torsión. La salida de la unidad de compensación de ganancia no lineal 508 es la señal de referencia de vector de flujo de potencia de campo  $\Psi_{FP}^*$ .
- La señal de referencia de vector de flujo de potencia de campo  $\Psi_{FP}^*$  se alimenta a una unidad de determinación de señal de referencia de vector de flujo de desmagnetización 514 de la unidad de determinación de distribución de vector de flujo con pérdida optimizada 509 que calcula la señal de referencia de vector de flujo de desmagnetización  $\Psi_{MAG\_MCL}^*$  (dicho de otro modo, un nivel de vector de flujo de desmagnetización inicial) basándose en la regla de pérdida en el cobre mínima según

$$\Psi_{MAG\_MCL}^* = \frac{2L_q - L_d}{2(L_q - L_d)} \Psi_r - L_d * \sqrt{\frac{\Psi_r^2}{4(L_q - L_d)^2} + \left(\frac{\Psi_{FP}^*}{L_q}\right)^2} \quad (4)$$

Un segundo sustractor 515 que forma parte de la unidad de determinación de distribución de vector de flujo con pérdida optimizada 509 sustrae la amplitud de flujo de rotor  $\Psi_r$  de la señal de referencia de vector de flujo de desmagnetización  $\Psi_{MAG\_MCL}^*$ .

- 5 El resultado se ajusta a escala mediante una unidad de ajuste a escala 516 con un factor de escala ajustable  $k\_LossMin$  para permitir un ajuste a escala lineal de la componente de flujo correspondiente a la corriente de desmagnetización. Un sumador 517 suma la amplitud de flujo de rotor  $\Psi_r$  a la salida de la unidad de ajuste a escala 516. La salida del sumador 517 es una señal de vector de flujo de desmagnetización modificada  $\Psi_{MAG\_LossMin}^*$  que viene dada por tanto por

$$\Psi_{MAG\_LossMin}^* = k\_LossMin * (\Psi_{MAG\_MCL}^* - \Psi_r) + \Psi_r \quad (5)$$

- 10 Basándose en las ecuaciones (4) y (5), la señal de vector de flujo de desmagnetización modificada  $\Psi_{MAG\_LossMin}^*$  puede escribirse como

$$\Psi_{MAG\_LossMin}^* = k\_LossMin * \left( \frac{2L_q - L_d}{2(L_q - L_d)} \Psi_r - L_d * \sqrt{\frac{\Psi_r^2}{4(L_q - L_d)^2} + \left(\frac{\Psi_{FP}^*}{L_q}\right)^2} - \Psi_r \right) + \Psi_r \quad (6)$$

- 15 Debe observarse que cuando  $k\_LossMin = 1$ , la regla de distribución de vector de flujo según la ecuación (6) minimiza la pérdida en el cobre de generador cuando se usa como base para el control de flujo de estator. Al aumentar el valor de  $k\_LossMin$ , se aplican más corriente de desmagnetización y menos corriente de potencia de campo, lo que reduce la pérdida en el núcleo y densidad de flujo de entrehierro fundamental. Al aumentar adicionalmente  $k\_LossMin$ , la pérdida en el cobre se aumenta en gran medida y la pérdida en el núcleo también puede aumentar debido a la componente armónica aumentada del flujo de entrehierro debido a la interacción del campo de estator y campo de imán. La minimización de la pérdida total (pérdida "en el cobre + en el núcleo") se logra a un valor concreto de  $k\_LossMin$  cuando se logra la temperatura de generador más baja para un nivel de potencia concreto a un nivel de velocidad dado.

- 20 La señal de vector de flujo de desmagnetización modificada  $\Psi_{MAG\_LossMin}^*$  se suministra, junto con una señal de vector de flujo de desmagnetización de limitación de tensión  $\Psi_{MAG\_VL}^*$  generada por la unidad de control de debilitamiento de campo 510 a partir de la señal de referencia de vector de flujo de potencia de campo  $\Psi_{FP}^*$ , a la unidad de selección 511 que selecciona la que tiene una magnitud de flujo mínima entre la señal de vector de flujo de desmagnetización modificada  $\Psi_{MAG\_LossMin}^*$  y la señal de vector de flujo de desmagnetización  $\Psi_{MAG\_VL}^*$  como la señal de vector de flujo de magnetización  $\Psi_{MAG}^*$  que va a aplicarse como entrada al controlador de vector de flujo de estator.

- 30 La señal de vector de flujo de magnetización  $\Psi_{MAG}^*$  y la señal de referencia de vector de flujo de potencia de campo  $\Psi_{FP}^*$  se suministran a la unidad de control de flujo de estator 512 que controla el flujo de estator controlando el convertidor de potencia de lado de generador 502 basándose en estas señales de mando y aplicando el control de realimentación de vector de flujo. La salida de controlador de vector de flujo es una señal de referencia de tensión de estator que se alimenta a un modulador por ancho de pulsos de vector espacial (SVPWM) para generar las señales de regulación de IGBT de lado de generador.

Para ello, se suministra a la unidad de control de flujo de estator 512 información sobre la velocidad de rotación de rotor  $\omega$  y la posición de flujo de rotor  $\theta_r$ , desde una unidad de estimación de velocidad y posición 518, y la corriente de estator medida  $i_s$ , desde un sensor 519.

- 40 A continuación, se describe un control de generador para minimizar la pérdida de potencia en el contexto de un sistema de control de realimentación de corriente de estator según una realización.

La figura 6 muestra un sistema de generación de potencia 600 que comprende un sistema de control de realimentación de corriente de estator según una realización de la invención.

El sistema de generación de potencia 600 incluye, de manera similar al sistema de generación de potencia 200 y el sistema de generación de potencia 600, un generador electromecánico 601, un convertidor de potencia de lado de generador 602 y un convertidor de potencia de lado de red de distribución (o lado de línea de potencia) 604 acoplado mediante un enlace de CC 603. El sistema de generación de potencia 600 se conecta mediante una línea de potencia 605 a una red de distribución de potencia. La línea de potencia 605 incluye, por ejemplo, un filtro de línea, correspondiente por ejemplo a los inductores 16a, 16b, 16c, el filtro de armónicos de red de distribución 17 y el transformador de aislamiento de lado de red de distribución 19 tal como se muestra en la figura 2. El convertidor de potencia de lado de red de distribución 604 se controla mediante un controlador de convertidor de potencia de lado de red de distribución (o lado de línea de potencia) 606.

El sistema de generación de potencia 600 incluye un sistema de control de realimentación de corriente de estator que incluye un sustractor 613, un controlador de potencia (por ejemplo un controlador de PI) 607, una unidad de compensación de ganancia no lineal 608, una unidad de determinación de distribución de vector de corriente con pérdida optimizada 609, una unidad de control de debilitamiento de campo 610, una unidad de selección 611 y una unidad de control de corriente de estator 612.

El sustractor 613 sustrae una potencia de lado de generador medida P de una referencia de potencia de salida de lado de generador P\*. El resultado de la sustracción, que puede considerarse como una señal de error de potencia de red de distribución, se suministra al controlador de potencia 607. El controlador de potencia genera una señal de referencia de corriente de generación de potencia de campo (sin compensar) que se alimenta a una unidad de compensación de ganancia no lineal 608 que compensa la no linealidad de IPM en la generación de par de torsión. La salida de la unidad de compensación de ganancia no lineal 608 es la señal de referencia de vector de corriente de potencia de campo  $i_{FP}^*$ .

La señal de referencia de vector de corriente de potencia de campo  $i_{FP}^*$  se alimenta a una unidad de determinación de señal de referencia de vector de corriente de desmagnetización 614 de la unidad de determinación de distribución de vector de corriente con pérdida optimizada 609 que calcula la señal de referencia de vector de corriente de desmagnetización  $i_{MAG\_MCL}^*$  (dicho de otro modo, un nivel de vector de corriente de desmagnetización inicial) basándose en la regla de pérdida en el cobre mínima.

La señal de referencia de vector de corriente de desmagnetización  $i_{MAG\_MCL}^*$  se ajusta a escala mediante una unidad de ajuste a escala 616 con un factor de escala ajustable  $k_{LossMin}$  para minimizar la pérdida de potencia. El resultado de la unidad de ajuste a escala 616 es una señal de vector de corriente de desmagnetización modificada  $i_{MAG\_LossMin}^*$  que viene dada por

$$i_{MAG\_LossMin}^* = k_{LossMin} * \left( \frac{\Psi_r}{2(L_q - L_d)} - \sqrt{\frac{\Psi_r^2}{4(L_q - L_d)^2} + (i_{FP}^*)^2} \right) \quad (7)$$

La señal de vector de corriente de desmagnetización modificada  $i_{MAG\_LossMin}^*$  se suministra, junto con una señal de vector de corriente de desmagnetización de limitación de tensión  $i_{MAG\_VL}^*$  generada por la unidad de control de debilitamiento de campo 610 a partir de la señal de referencia de vector de corriente de potencia de campo  $i_{FP}^*$ , a la unidad de selección 611 que selecciona la que tiene una mayor amplitud de corriente de desmagnetización entre la señal de vector de corriente de desmagnetización modificada  $i_{MAG\_LossMin}^*$  y la señal de vector de corriente de desmagnetización  $i_{MAG\_VL}^*$  como la señal de vector de corriente de magnetización  $i_{MAG}^*$  que va a aplicarse.

La señal de vector de corriente de magnetización  $i_{MAG}^*$  y la señal de referencia de vector de corriente de potencia de campo  $i_{FP}^*$  se suministran a la unidad de control de corriente de estator 612 que controla la corriente de estator controlando el convertidor de potencia de lado de generador 602 basándose en el control de realimentación de corriente para realizar el seguimiento de estas señales de mando. La salida del control de realimentación de vector de corriente son señales de referencia de tensión de estator que se alimentan al modulador por ancho de pulsos de vector espacial (SVPWM) para generar las señales de regulación de IGBT aplicadas al convertidor de lado de generador.

Para ello, se suministra a la unidad de control de corriente de estator 612 información sobre la velocidad de rotación de rotor  $\omega$  y el ángulo de posición de flujo de rotor  $\theta$ , desde una unidad de estimación de velocidad y posición 618, y la corriente de estator medida  $i_s$ , desde un sensor 619.

A continuación, se describe un método para determinar  $k_{LossMin}$  según una realización.

La figura 7 muestra un diagrama de flujo 700 según una realización de la invención.

- 5 El flujo ilustra un procedimiento basado en una prueba de calentamiento en banco para obtener el valor de  $k_{LossMin}$  para el que se minimiza la pérdida total (incluyendo tanto la pérdida en el núcleo como la pérdida en el cobre) del generador de IPM 501, 601. El procedimiento se lleva a cabo según un algoritmo de control y puede llevarse a cabo, por ejemplo, usando el sistema de generación de potencia 500 o el sistema de generación de potencia 600.
- Para garantizar la estabilidad de sistema de control de generador, se establecen tanto un límite máximo como un límite mínimo para  $k_{LossMin}$  según el algoritmo de control, que se denominan  $k_{LossMin\_Min}$  y  $k_{LossMin\_Max}$ .
- 10 La prueba comienza en 701 con  $k_{LossMin}$  igual a su valor (por defecto) mínimo  $k_{Loss\_Default\_Min}$ . El valor mínimo de  $k_{LossMin}$  puede establecerse ligeramente por debajo de la unidad de modo que puede tenerse en cuenta la derivación de parámetro de generador a partir de los valores nominales usados para el cálculo de la regla de MCL.
- 15 Además, para garantizar la estabilidad de sistema de control de generador, se fuerza un cambio suave de  $k_{LossMin}$  en el algoritmo de control con una característica de limitación de pendiente en rampa. El valor objetivo inicial de  $k_{LossMin}$  denominado  $k_{LossMin\_Target}$  es un parámetro de entrada modificable y en este ejemplo se establece en 702 en un valor  $k_{LossMin\_Min}$ .
- En 703 se aumenta  $k_{LossMin}$  de manera incremental hasta el valor  $k_{LossMin\_Target}$  con una tasa de rampa constante  $K_{LossMin\_SlopeRate\_PerSample}$ .
- En 704, el sistema de generación de potencia se hace funcionar para el valor actual de  $k_{LossMin}$  (es decir, hasta el valor de  $k_{LossMin\_Target}$ ) hasta que se ha estabilizado la temperatura del generador.
- 20 En 705, se registra la temperatura del generador para el valor actual de  $k_{LossMin}$  como la temperatura actual (o temperatura para el valor actual de  $k_{LossMin}$ )  $T_n$ . Por ejemplo, se detecta automáticamente que la temperatura se ha estabilizado y entonces se almacena la temperatura en una memoria en asociación con el valor actual de  $k_{LossMin}$ . De manera alternativa, un ingeniero de pruebas puede registrar la temperatura estabilizada.
- 25 En 706, se aumenta  $k_{LossMin\_target}$  en un valor incremental  $\Delta k_{LossMin}$ . Esto se realiza, por ejemplo, automáticamente después de almacenar la temperatura estabilizada.  $\Delta k_{LossMin}$  es, por ejemplo, un tamaño de etapa predefinido para aumentar el valor  $K_{LossMin\_Target}$  en una prueba de calentamiento de generador por etapas.
- 30 En una realización en la que la lectura de temperatura de generador no está disponible para el algoritmo de control de generador, por ejemplo no se suministra automáticamente al algoritmo, un ingeniero de pruebas puede introducir el valor  $k_{LossMin\_Target}$  en el sistema de control de generador mediante una interfaz de usuario y registrar las lecturas de temperatura de rotor y estator de generador.
- En 707, de manera similar a 703, se aumenta  $k_{LossMin}$  de manera incremental hasta el valor de  $k_{LossMin\_Target}$  con la tasa de rampa constante  $k_{LossMin\_SlopeRate\_PerSample}$ .
- 35 En 708, de manera similar a 704, se hace funcionar el sistema de generación de potencia para el valor actual de  $k_{LossMin}$  (es decir, hasta el valor actual de  $k_{LossMin\_Target}$ ) hasta que se ha estabilizado la temperatura del generador.
- En 709 se asigna la temperatura registrada anteriormente (es decir, para el valor de  $k_{LossMin\_Target}$  antes de su último aumento) como la temperatura anterior  $T_{n1}$ .
- 40 En 710, de manera similar a 705, se registra la temperatura del generador para el valor actual de  $k_{LossMin}$  como la temperatura actual  $T_n$ .
- En 711, se compara la temperatura actual  $T_n$  con la temperatura anterior  $T_{n1}$ .
- Si la temperatura actual  $T_n$  no es menor que la temperatura anterior  $T_{n1}$ , el procedimiento continúa con 712.
- 45 En 712, se inmoviliza  $k_{LossMin}$  en su valor actual, es decir, se establece al valor actual de  $k_{LossMin\_Target}$ . Este valor de  $k_{LossMin}$  puede usarse entonces para el funcionamiento del sistema de generación de potencia para ajustar a escala el nivel de desmagnetización inicial (por ejemplo, dado por la señal de referencia de vector de flujo de desmagnetización  $\Psi^*_{MAG\_MCL}$  o la señal de referencia de vector de corriente de desmagnetización  $i^*_{MAG\_MCL}$ ). Dicho de otro modo, el valor de  $K_{LossMin\_Target}$  que da la lectura de temperatura más baja se interpreta como el valor que puede lograr un funcionamiento con minimización de pérdida de generador.
- Si la temperatura actual  $T_n$  no es menor que la temperatura anterior  $T_{n1}$ , el procedimiento continúa con 713.
- 50 En 713, se comprueba si  $k_{LossMin}$  es menor que o igual a  $k_{LossMin\_Max}$ .
- Si  $k_{LossMin}$  no es menor que o igual a  $k_{LossMin\_Max}$  el procedimiento continúa con 712.

Si  $k_{LossMin}$  es menor que o igual a  $k_{LossMin\_Max}$ , el procedimiento continúa con 714.

En 714, para garantizar que el generador no se desmagnetiza accidentalmente con una corriente de desmagnetización muy grande, se comprueba si la amplitud de la corriente de desmagnetización  $ISD$  es más alta que su límite máximo  $|ISD\_max|$ .

- 5 Si el valor absoluto de  $ISD$  es más alto que el valor absoluto de  $ISD\_max$  el procedimiento continúa con 712.

Si el valor absoluto de  $ISD$  es menor que el valor absoluto de  $ISD\_max$ , el procedimiento continúa con 706, es decir, con la siguiente iteración.

- 10 Debe observarse que en una realización, en la que la temperatura de generador se suministra al algoritmo de control de generador, por ejemplo a un circuito de control de generador (por ejemplo ejecutando un software de control de generador), el procedimiento según la figura 7 puede llevarse a cabo automáticamente sin la intervención de un ingeniero de pruebas. Por ejemplo, puede usarse un circuito de prueba y control automático según el procedimiento para el funcionamiento con pérdida minimizada de generador.

En la figura 8, se ilustra un conjunto de trayectorias simuladas de vector de corriente en un sistema de referencia DQ de flujo de rotor para diferentes valores de  $k_{LossMin}$  para un generador de IPM de 3 MW.

- 15 La figura 8 muestra un diagrama de trayectorias de corriente 800.

En la figura 8, se dan corrientes en un sistema de referencia DQ. La magnitud de la componente de corriente de eje D aumenta a lo largo de un primer eje 807 y la magnitud de la componente de corriente de eje Q aumenta a lo largo de un segundo eje 808.

- 20 Una primera trayectoria 801 corresponde al valor de  $k_{LossMin}=1,0$ , una segunda trayectoria 802 corresponde al valor de  $k_{LossMin}=1,4$ , una tercera trayectoria 803 corresponde al valor de  $k_{LossMin}=1,8$  y una cuarta trayectoria 804 corresponde al valor de  $k_{LossMin}=2,5$ .

Una quinta trayectoria 805 es la trayectoria teórica para  $k_{LossMin}=1,8$ .

Una sexta trayectoria 806 es la trayectoria optimizada obtenida a partir de un análisis de FEM.

- 25 Puede observarse que para  $k_{LossMin}=1,8$ , la trayectoria de distribución de vector de corriente (tercera trayectoria 803) coincide bien con la trayectoria de corriente obtenida a partir del análisis de FEM.

- 30 En la práctica, para un generador comercial, puede aplicarse una prueba de calentamiento en banco de generador (por ejemplo según la figura 7) para obtener el mejor valor de  $k_{LossMin}$ . Incluso para un generador de IPM incorporado interno con una trayectoria de distribución de flujo/corriente optimizada conocida obtenida a partir del análisis de FEM, todavía puede ser deseable encontrar el mejor valor de  $k_{LossMin}$  para el funcionamiento con pérdida mínima a partir de los resultados de prueba en banco de modo que puede tenerse en cuenta la variación de diseño de máquina debido a una propiedad de material de generador imperfecta y un procedimiento de fabricación imperfecto.

- 35 Realizaciones tales como la anterior ofrecen un enfoque genérico para optimizar la carga de generador para una minimización de pérdida conduciendo a altos rendimientos de máquina en un punto de funcionamiento dado para un generador de IPM comercial.

La trayectoria de distribución de flujo/corriente en el cobre mínima puede usarse como regla de optimización por defecto incorporada aplicada en el control de generador antes del comienzo del funcionamiento con minimización de pérdida. Tal como se describió anteriormente, puede usarse como punto de partida para afinar el funcionamiento de generador con minimización de pérdida.

- 40 La trayectoria de distribución de vector de flujo/corriente de estator por defecto puede modificarse de manera eficaz mediante un factor de escala ajustable para lograr más corriente de desmagnetización aumentando  $k_{lossMin}$  o menos corriente de desmagnetización reduciendo  $k_{LossMin}$ . Por tanto, puede observarse que el valor de  $k_{LossMin}$  cambia la regla de optimización aplicada en la distribución de par de torsión de generador.

- 45 La estabilidad de sistema de control de generador puede garantizarse limitando el valor de  $k_{LossMin}$  en un intervalo concreto y forzando un cambio suave en el valor de  $k_{LossMin}$  aplicado en el control de potencia de generador tal como se describió anteriormente por ejemplo en el contexto de la figura 7.

Puede tenerse en cuenta una variación de parámetro de generador de IPM con respecto a los valores nominales aplicados en la ecuación de pérdida en el cobre mínima estableciendo el valor de  $k_{LossMin}$  inicial como menor que la unidad antes de buscar un valor de  $k_{LossMin}$  con pérdida minimizada.

- 50 Puede obtenerse un valor de  $k_{LossMin}$  apropiado para el funcionamiento con pérdida minimizada a partir de una prueba de calentamiento en banco de generador de IPM con un sensor de temperatura instalado en el segmento

tanto de estator de generador como de rotor de generador.

Realizaciones, por ejemplo la realización descrita con referencia a la figura 7, proporcionan un procedimiento de prueba sencillo con pocas posibilidades de que se introduzca un error humano por un técnico de pruebas o ingeniero de pruebas con una formación básica.

- 5 El mismo software de control de potencia de generador que se usa en el producto final puede aplicarse en la prueba de calentamiento de generador para obtener un valor de  $k_{LossMin}$  con pérdida minimizada de generador.

Debe observarse además que la unidad de compensación de ganancia no lineal 508, 608 puede modificarse fácilmente para el control de potencia basándose en la ecuación analítica modificada para la distribución de flujo/corriente de estator para el valor de  $k_{LossMin}$  con pérdida minimizada en la aplicación de producto final.

- 10 Debe observarse además que en una realización, puede entenderse un "circuito" o una "unidad" como cualquier clase de una entidad de implementación lógica, que puede ser un conjunto de circuitos de uso especial o un procesador que ejecuta software almacenado en una memoria, firmware o cualquier combinación de los mismos. Por tanto, en una realización, un "circuito" o una "unidad" 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 de conjunto de instrucciones complejas (CISC) o un procesador de ordenador de conjunto reducido de instrucciones (RISC)).
- 15 Un "circuito" o una "unidad" también puede ser un procesador que ejecuta software, por ejemplo cualquier clase de programa informático, por ejemplo un programa informático que usa un código de máquina virtual tal como por ejemplo código C o código ensamblador.

- 20 Aunque la invención se ha mostrado y descrito particularmente con referencia a realizaciones específicas, los expertos en la técnica deben entender que pueden realizarse diversos cambios en forma y detalle en la misma sin apartarse del alcance de la invención tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas. Por tanto, el alcance de la invención se indica mediante las reivindicaciones adjuntas y, por tanto, se pretende abarcar todos los cambios que se enmarcan dentro del significado y el intervalo de equivalencia de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para hacer funcionar un generador electromecánico (11), en el que el generador electromecánico (11) es un generador de imanes permanentes interiores, comprendiendo el método:
  - 5 determinar un parámetro de referencia de campo magnético basándose en una referencia de potencia electromagnética que representa una salida de energía eléctrica deseada del generador electromecánico (11),
  - determinar un factor de escala para ajustar un nivel de magnetización de entrehierro del generador electromecánico (11) para reducir la pérdida al hacer funcionar el generador electromecánico (11),
  - 10 modificar el parámetro de referencia de campo magnético con el factor de escala; y
  - hacer funcionar el generador electromecánico (11) basándose al menos en el parámetro de referencia de campo magnético modificado,
  - 15 caracterizado porque
  - determinar el factor de escala para mejorar la eficiencia de sistema de control de generador incluye determinar el factor de escala a partir de una pluralidad de factores de escala como el factor de escala para el que una pérdida de potencia determinada es mínima entre los factores de escala de la pluralidad de factores de escala y comprende medir la temperatura de generador para los factores de escala en el orden desde el factor de escala más bajo hasta el factor de escala más alto en el que cuando se mide que la temperatura de generador de un factor de escala es más alta que la temperatura de generador medida para el factor de escala anterior, se detiene el procedimiento de determinación y se determina el factor de escala anterior como el factor de escala para el que la pérdida de potencia determinada es mínima entre los factores de escala.
2. Método según la reivindicación 1, en el que el parámetro de referencia de campo magnético se ajusta a escala linealmente con el factor de escala.
- 25 3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el parámetro de referencia de campo magnético es uno cualquiera de una referencia de flujo de magnetización y una referencia de corriente de magnetización.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que determinar el factor de escala comprende determinar el factor de escala para ajustar el nivel de magnetización de entrehierro del generador electromecánico para reducir la suma de una pérdida en el cobre de generador y una pérdida en el núcleo de generador.
- 30 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que determinar el factor de escala comprende determinar el factor de escala para ajustar el nivel de magnetización de entrehierro del generador electromecánico para minimizar la pérdida de generador.
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además determinar el parámetro de referencia de campo magnético basándose en un criterio de optimización de pérdida de potencia por defecto, en el que el criterio de optimización de pérdida de potencia por defecto da la razón de una corriente de desmagnetización y una corriente de potencia de campo del generador electromecánico.
- 35 7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el parámetro de referencia de campo magnético se determina según un criterio de minimización de pérdida en el cobre de generador.
8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ajuste a escala del parámetro de referencia de campo magnético se determina modificando una razón por defecto de una corriente de magnetización y una corriente de potencia de campo dada por el criterio de minimización de pérdida en el cobre que determina una condición de funcionamiento inicial del generador.
- 40 9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la pluralidad de factores de escala están dentro de un intervalo de factores de escala predeterminado.
- 45 10. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el factor de escala más bajo de la pluralidad de factores de escala se establece por debajo de la unidad con el fin de tener en cuenta una variación de parámetro de generador.
11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el parámetro de referencia de campo magnético especifica un nivel de desmagnetización inicial predeterminado.
- 50 12. Método según la reivindicación 11, en el que el parámetro de referencia de campo magnético especifica un flujo de estator de desmagnetización inicial predeterminado o una corriente de desmagnetización inicial

predeterminada.

FIG 1

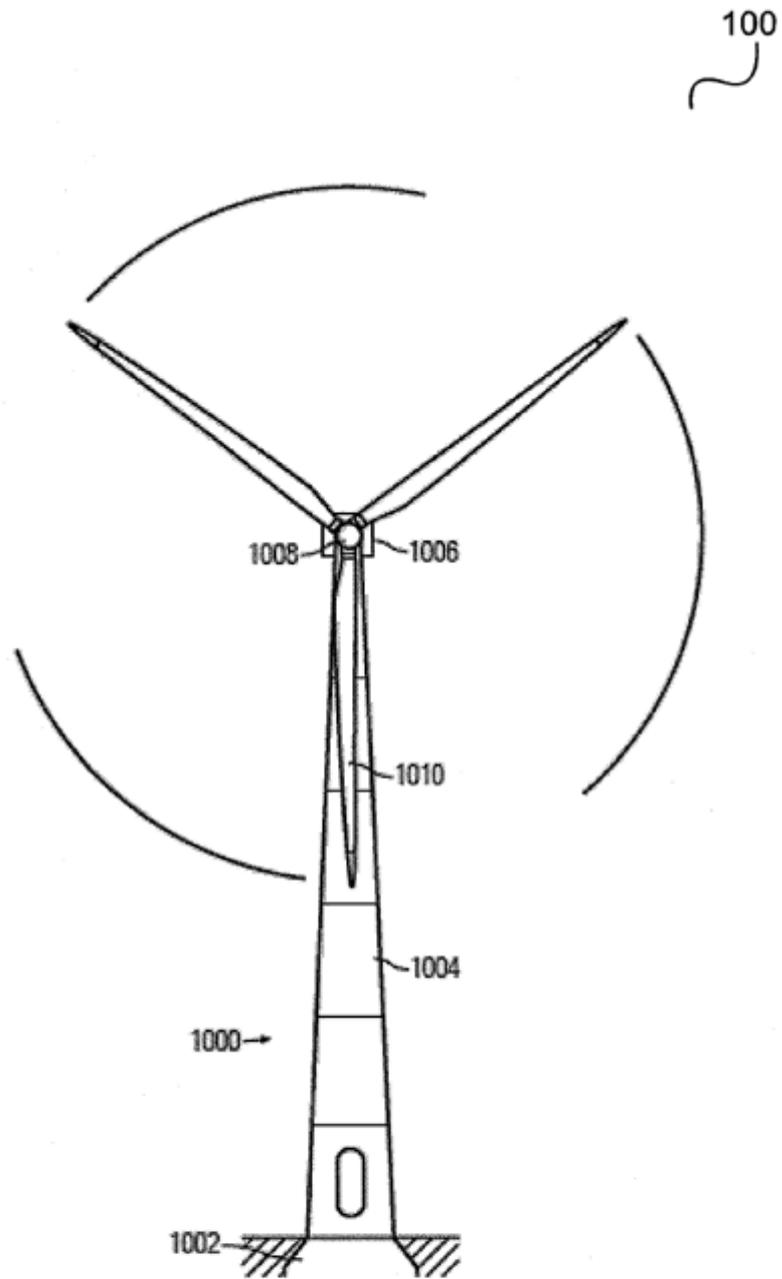


FIG 2

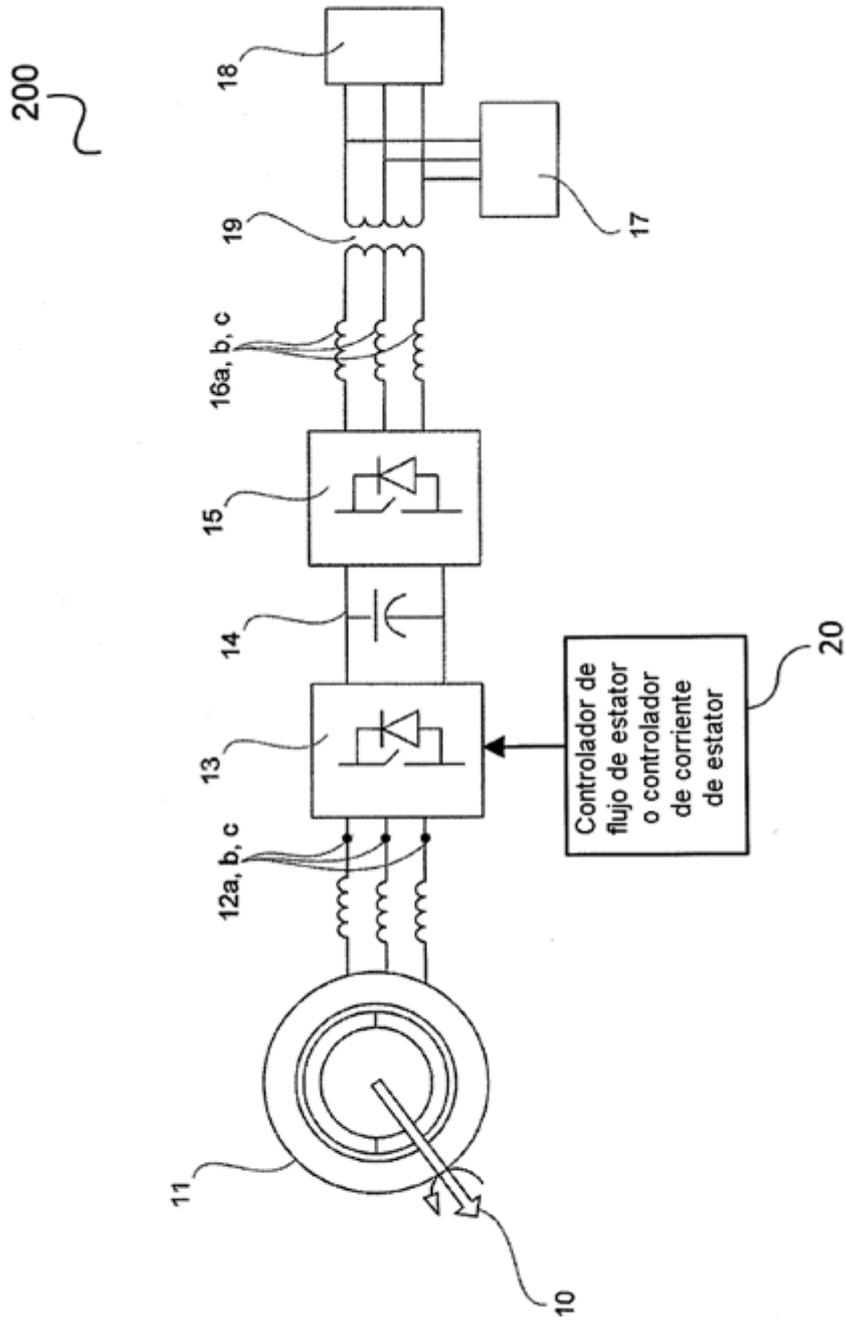
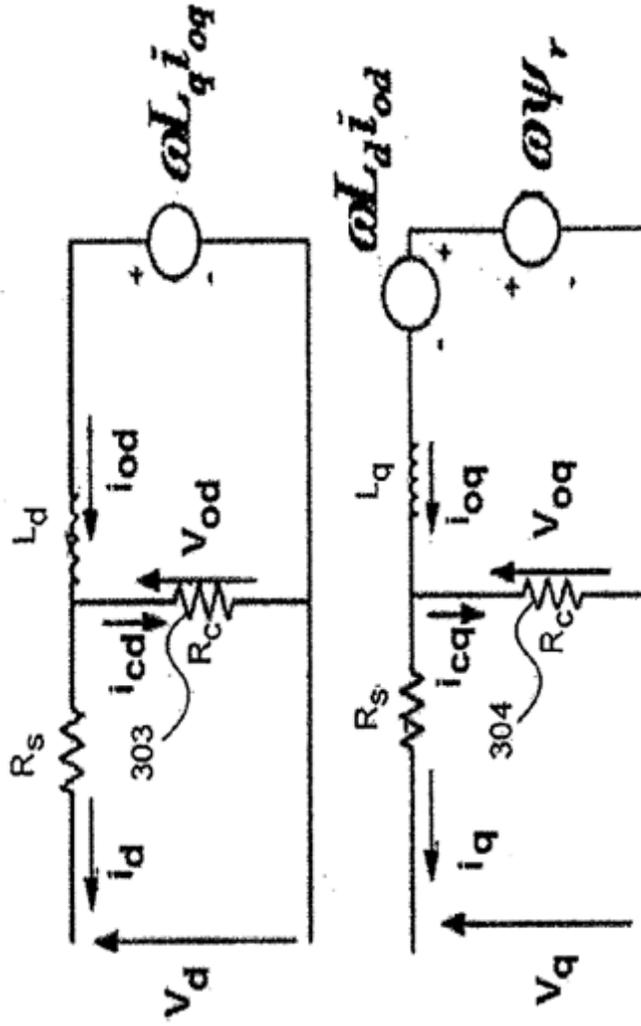


FIG 3

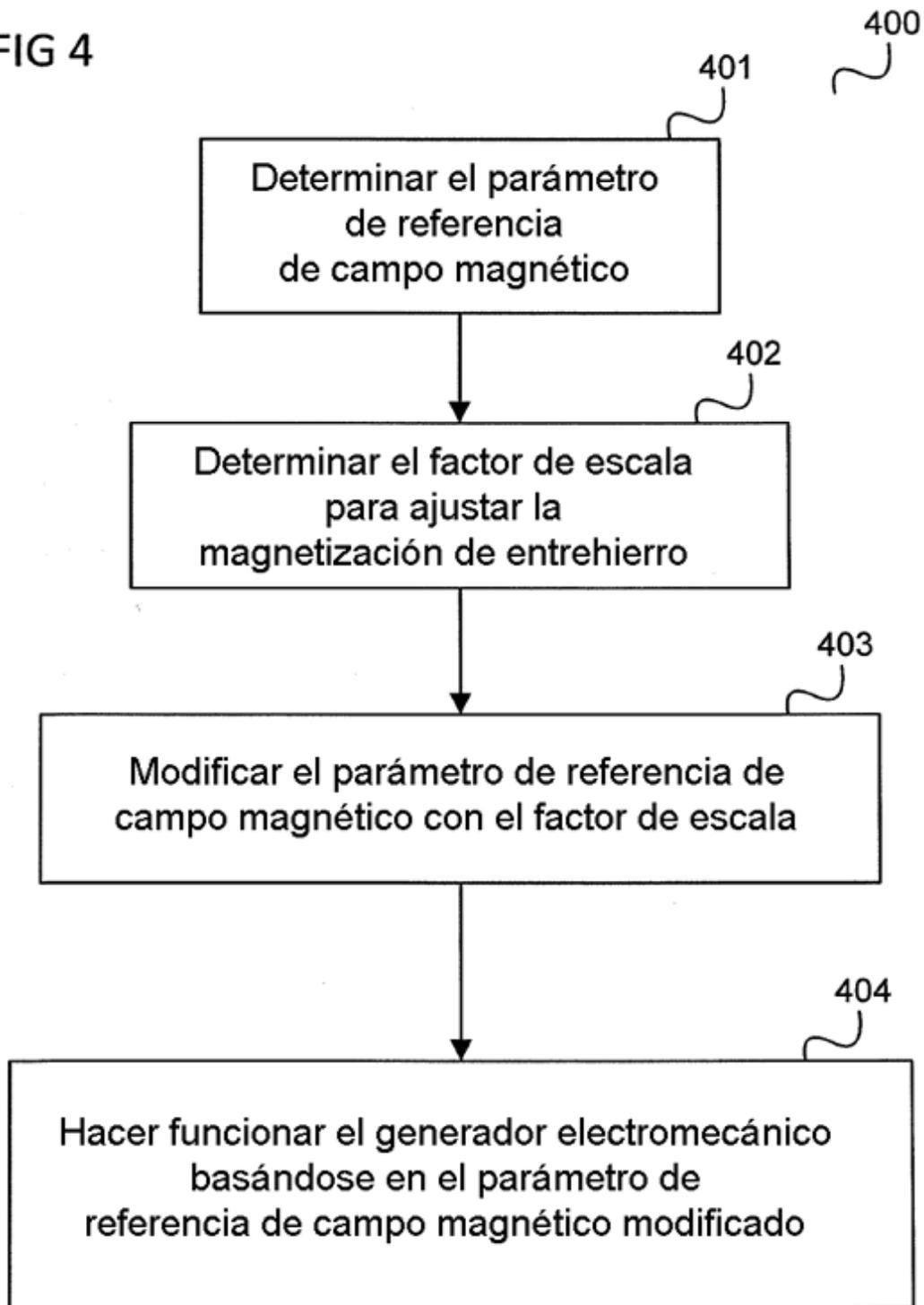
300



301

302

FIG 4



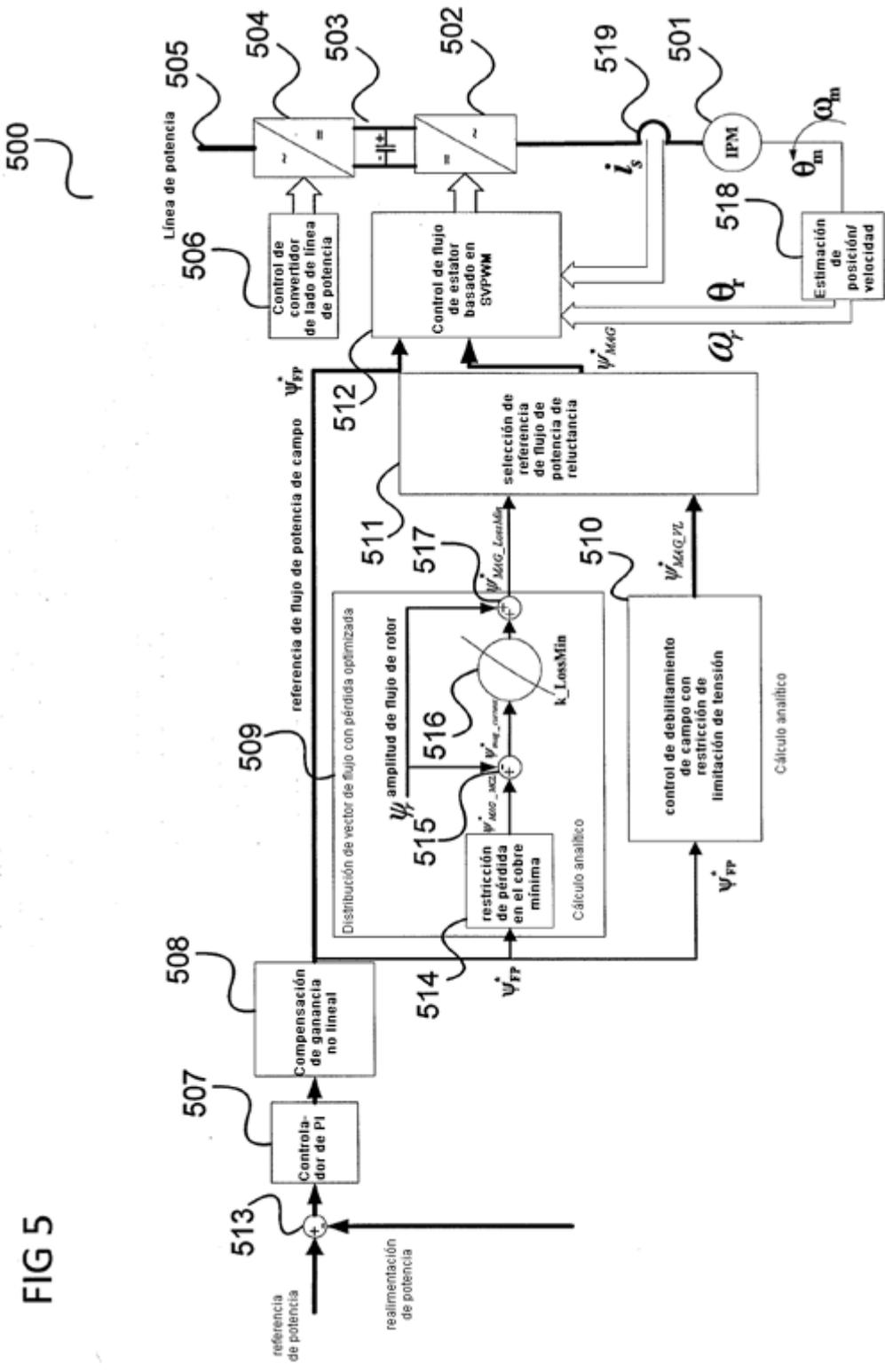


FIG 5

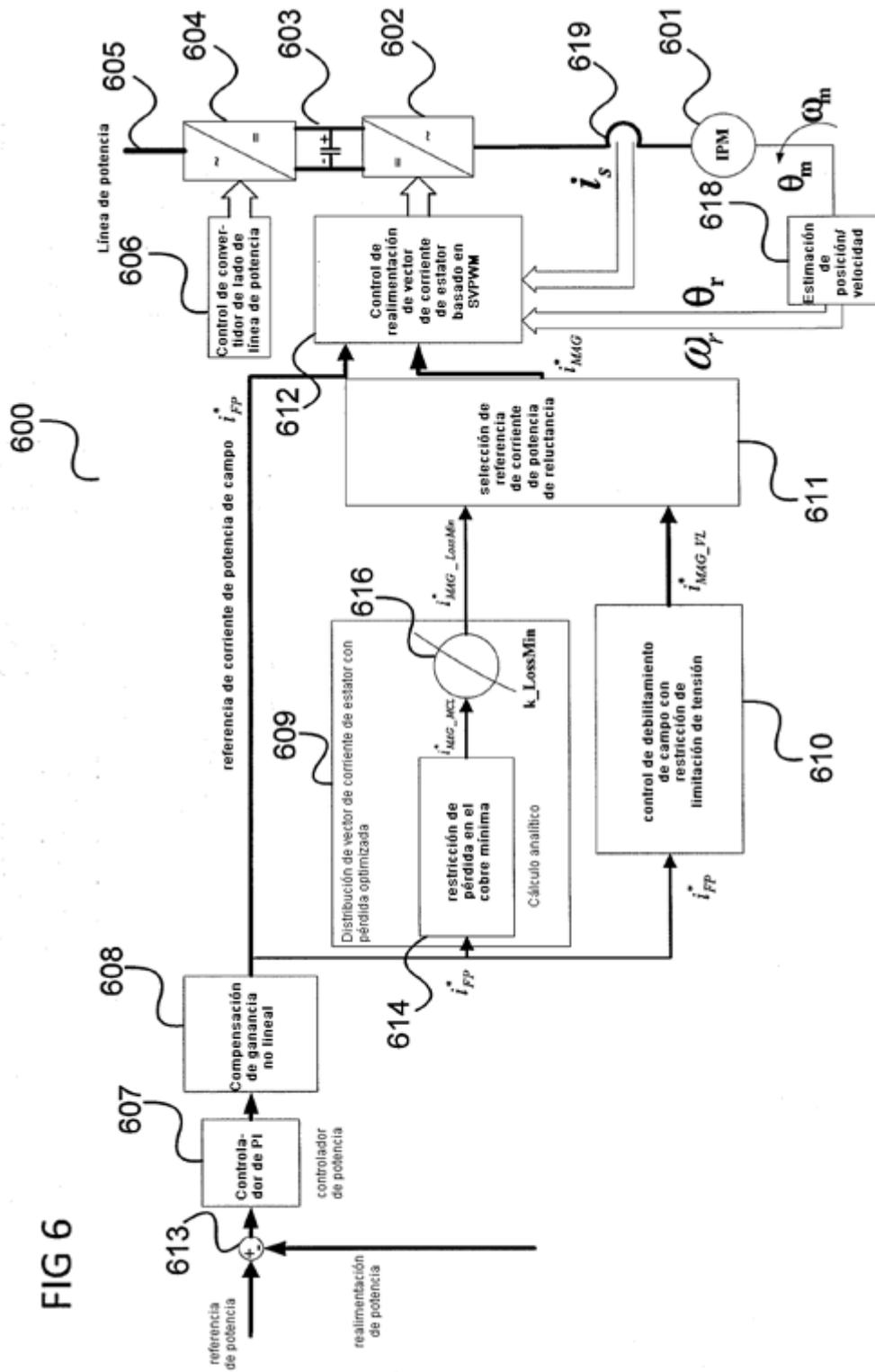


FIG 7

