

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 730 925**

51 Int. Cl.:

H02P 23/14 (2006.01)

H02P 25/08 (2006.01)

H02P 21/32 (2006.01)

H02P 21/18 (2006.01)

H02P 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.12.2013 PCT/IB2013/060776**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.06.2014 WO14091405**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2013 E 13824374 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2019 EP 2929625**

54 Título: **Método para sincronizar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona**

30 Prioridad:

10.12.2012 IT VI20120331

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

13.11.2019

73 Titular/es:

KSB SE & CO. KGAA (100.0%)

Johann-Klein-Straße 9

67227 Frankenthal, DE

72 Inventor/es:

DI SANTO, FEDERICO y

MARODIN, ENRICO

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 730 925 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 sincronizar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona

5 Campo de la invención

La presente invención encuentra aplicación, en general, en el campo de los dispositivos de control de máquinas eléctricas, y específicamente se refiere a un método para controlar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona cuyas masas en rotación están sujetas a transitorios de velocidad.

10 La invención también se refiere a un producto de programa informático para implementar el método mencionado anteriormente, así como a un inversor con el producto de programa informático cargado en el mismo.

Antecedentes de la técnica

15 Se conocen dispositivos, que se usan para controlar la operación de las máquinas de rotación eléctricas, empleadas como generadores de energía eléctrica y/o motores eléctricos.

20 En particular, estos dispositivos de control, comúnmente conocidos como inversores, pueden controlar la operación de la máquina eléctrica mediante el ajuste de los parámetros eléctricos de señales de potencia, cuando estas últimas se suministran continuamente a la máquina eléctrica.

Sin embargo, se siente específicamente la necesidad en el campo de control de la operación de la máquina eléctrica cuando las masas en rotación de las mismas se someten a transitorios de velocidad.

25 Estos transitorios se producen después de una interrupción física en la red de distribución de energía, o después de una reducción de tensión temporal o, posiblemente, tras un corte no deseado o esperado de alimentación al inversor.

30 Debido a estos transitorios, el sincronismo entre el inversor y las masas en rotación es específicamente difícil de restaurar.

35 En particular, durante los transitorios, las variaciones de velocidad en la máquina pueden reducirse, ya sea debido a la fricción interior o a la resistencia de carga, o mantenerse o mejorarse aún más debido a la presencia de dispositivos externos capaces de transmitir un par de accionamiento al árbol de la máquina eléctrica.

El control de la máquina se restaura normalmente mediante una estabilización de máquina externa y/o una acción de apagado, lo que requiere un tiempo relativamente largo.

40 Por lo tanto, estos métodos tienen un efecto específicamente penalizador en los costes de restauración para las plantas y los dispositivos que usan las máquinas eléctricas afectadas por los transitorios.

45 En un intento de evitar este inconveniente, se han sugerido unos métodos de control optimizados para el tipo específico de la máquina eléctrica de rotación controlada por el inversor.

Si la máquina eléctrica es de tipo asíncrono, entonces la velocidad de rotación de las masas en rotación puede determinarse inyectando una tensión apropiada con una frecuencia que caiga dentro del intervalo de operación de la máquina eléctrica y detectando posteriormente la señal de la corriente inducida resultante.

50 Sin embargo, si la máquina eléctrica es de tipo síncrono, la velocidad de rotación de las masas en rotación puede determinarse mediante unas muy altas tensiones y corrientes superpuestas que generan un alto ruido acústico a bajas frecuencias. Este es un inconveniente específicamente grave si hay muchas máquinas eléctricas instaladas en el mismo entorno y pueden estar sujetas a transitorios de velocidad, provocando la emisión de un alto ruido acústico.

55 Además, en las máquinas eléctricas sin sensores, la sincronización de las masas en rotación requiere tiempos muy largos, en general, de unos pocos segundos.

60 Como alternativa, cuando la máquina eléctrica es del tipo imán permanente o de reluctancia síncrona, la posición angular o la velocidad de rotación de las masas en rotación se detectan usando unos sensores exteriores apropiados montados en el árbol de accionamiento de la máquina o integrados en el inversor.

Un primer inconveniente de esta solución es que la disposición de sensores exteriores reduce la fiabilidad de las máquinas eléctricas de reluctancia síncrona.

65 Estos sensores llevan piezas mecánicas que provocan fallos frecuentes o requieren una sustitución periódica.

Otro inconveniente de esta solución es que el uso de sensores aumenta los costes de mantenimiento generales de la máquina eléctrica.

5 Además, la sustitución de los sensores requiere un apagado temporal de la máquina eléctrica, reduciendo de este modo considerablemente su eficacia general.

Además, el uso de sensores puede añadir complejidad a la construcción del inversor y aumentar las dimensiones generales de la máquina eléctrica.

10 El documento US 2006/097688 desvela un método para sincronizar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona que comprende varias funciones del método de la presente invención. La transacción de IEEE vol. 48, n.º 5, 1 ISSN 0093-9994 desvela un método para PWM conmutando una inyección de señal de frecuencia en IPMSM sin sensor que tiene funciones para reducir el ruido acústico.

15 Divulgación de la invención

El objeto de la presente invención es obviar los inconvenientes anteriores, proporcionando un método para controlar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona después de los transitorios de corte de alimentación, que sea altamente eficaz y relativamente rentable.

20 Un objeto específico de la presente invención es proporcionar un método para controlar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona después de los transitorios, que pueda aumentar la fiabilidad de la máquina, al tiempo que reduce la emisión de ruido en el intervalo audible.

25 Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un método para controlar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona después de los transitorios, que pueda reducir los costes de fabricación y mantenimiento de la máquina eléctrica.

30 Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar un método para controlar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona después de los transitorios, que pueda mejorar la eficacia general de la máquina eléctrica.

Otro objeto importante de la presente invención es proporcionar un método para controlar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona después de transitorios, que pueda proporcionar máquinas relativamente compactas y reducir la complejidad de los inversores.

35 Estos y otros objetos, como se explica mejor más adelante en el presente documento, se alcanzan mediante un método para controlar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona como se define en la reivindicación 1.

Este método particular permitirá el control sin sensores, es decir, sin el uso de sensores, de una máquina eléctrica de reluctancia síncrona, durante las condiciones normales de suministro de alimentación y durante los transitorios.

40 Las realizaciones ventajosas de la invención se definen de acuerdo con las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

45 Otras funciones y ventajas de la invención serán más evidentes tras la lectura de la descripción detallada de una realización preferida, no exclusiva del método de la invención, que se describe como un ejemplo no limitativo con la ayuda de los dibujos adjuntos, en los que:

50 la figura 1 es un diagrama de bloques del método para controlar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona sujeta a transitorios de velocidad;

la figura 2 muestra un diagrama de flujo del método de la figura 1;

la figura 3 muestra un diagrama de cableado de una máquina de reluctancia síncrona controlada por un inversor.

55 Descripción detallada de una realización preferida

60 La figura 1 adjunta muestra un diagrama de bloques para controlar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona, como se muestra esquemáticamente en la figura 3, y en general referenciada como E, que comprende unos terminales de alimentación T y unas masas en rotación M conectadas a una carga o a un accionador externo, no mostrado en los dibujos.

En particular, la máquina eléctrica de reluctancia síncrona puede ser un generador eléctrico para generar alimentación eléctrica para alimentarse de una red de distribución de alimentación a distancia y/o local, o puede ser un motor eléctrico adaptado para proporcionar un par a un árbol de accionamiento y/o a un punto de uso externo.

Normalmente, las masas en rotación M de la máquina eléctrica de reluctancia síncrona pueden estar sujetas a transitorios de velocidad provocados por un fallo de tensión de suministro temporal y generados, por ejemplo, por un corte de alimentación en la red de distribución de energía.

5 Por otra parte, las masas en rotación M también pueden estar sujetas a transitorios de velocidad provocados por esfuerzos dinámicos exteriores sobre la carga conectada al árbol de accionamiento, cuando la máquina eléctrica está apagada.

10 Por ejemplo, estos transitorios pueden provocarse por el par generado por una ráfaga en las palas de una turbina de viento o por una corriente de aire en un ventilador de un conducto de ventilación.

Además, la máquina eléctrica E y/o el inversor C, en su caso, conectado a la misma, son del tipo sin sensores, como se usa normalmente para detectar la velocidad de rotación instantánea de las masas en rotación o para medir la tensión de magnetización residual en los devanados de la máquina.

15 De acuerdo con una característica peculiar de la invención, el método comprende básicamente una etapa de a) aplicar una tensión de control V_C con una amplitud predeterminada (v_C) y una duración (T_C) a los terminales, después de los transitorios, tensión que induce una corriente eléctrica I_i en la máquina E, teniendo dicha corriente un espectro armónico S que cambia de acuerdo con el diferencial de frecuencia entre la frecuencia f_C de la tensión de control V_C y la frecuencia de rotación mecánica f_M de las masas en rotación M.

Esta etapa va seguida de una etapa de b) detectar la corriente inducida I_i para restaurar la alimentación y el control de rotación síncrono de la máquina E.

25 Este método será capaz de restaurar el control de la operación de la máquina eléctrica E cuando, debido a los transitorios de velocidad, los parámetros de rotación instantáneos de las masas en rotación M sean desconocidos.

30 Convenientemente, la tensión de control V_C puede tener una duración particularmente corta T_C . Preferentemente, la duración T_C de la tensión de control V_C puede estar comprendida dentro de un intervalo inferior a 2 s, y también puede ser inferior a un segundo.

La tensión de control V_C puede ser de tipo CC o CA, con una frecuencia predeterminada f_C .

35 Además, la frecuencia f_C y la amplitud v_C de la tensión de control V_C pueden ser, o bien fijas o variables durante la aplicación de las mismas.

Ventajosamente, la amplitud v_C y la frecuencia f_C de la tensión de control V_C pueden ser variables a lo largo de la duración T_C de la aplicación.

40 La amplitud v_C y la frecuencia f_C de la tensión de control V_C pueden ajustarse automáticamente por el inversor de la máquina eléctrica E.

Como alternativa, la tensión de control V_C puede ajustarse manualmente por un operador.

45 En particular, la impedancia equivalente X_{eq} de la máquina eléctrica E cambiará de acuerdo con la frecuencia f_C de la tensión de control V_C .

50 De acuerdo con una realización preferida no limitativa de la invención, la tensión de control V_C puede ser una tensión sinusoidal con una amplitud v_C que varía de acuerdo con la impedancia equivalente X_{eq} de la máquina eléctrica E y el valor de la corriente inducida deseada I_i .

55 Convenientemente, la tensión de control V_C puede generar un par adicional predeterminado sobre las masas en rotación M para mantener sustancialmente sin cambios la velocidad de rotación de inercia de las masas en rotación M.

En particular, la tensión de control V_C puede tener una amplitud de este tipo como para generar un par adicional de menos del 5 % del par nominal de la máquina eléctrica E.

60 Además, el par adicional puede ser un freno o un par de aceleración de acuerdo con las características instantáneas del flujo generado en la máquina eléctrica E debido a la aplicación de la tensión de control V_C .

Ventajosamente, la tensión de control puede estar adaptada para generar una corriente inducida I_i cuyo espectro armónico tiene sustancialmente cero componentes armónicos en el intervalo audible humano.

65 En particular, la corriente inducida puede tener un espectro armónico S que tiene un valor promedio sustancialmente cero o muy bajo en el área de alta sensibilidad del intervalo audible.

Por ejemplo, el espectro armónico S puede tener un valor promedio sustancialmente nulo o muy bajo en el intervalo de frecuencia de 400 Hz a 2 kHz y será dependiente del valor diferencial ($f_C - f_M$).

5 Por lo tanto, durante la aplicación de la tensión de control V_C , la máquina eléctrica E emitirá muy poco ruido acústico o nulo.

Esto permitirá controlar una pluralidad de máquinas eléctricas de reluctancia síncronas instaladas en el mismo entorno y sujetas a transitorios de velocidad sin emitir un ruido acústico alto.

10 Convenientemente, como se muestra mejor en la figura 2, el método puede incluir una etapa de c) descomponer la corriente eléctrica inducida I_i en un par de corrientes vectoriales I_d , I_q desplazadas sustancialmente en 90° .

15 En particular, esta descomposición de la corriente eléctrica inducida I_i puede iniciarse desde el ángulo φ_{VC} asociado con la tensión de control V_C proporcionada a los terminales de la máquina eléctrica E.

Además, con la descomposición de la corriente inducida I_i en un par de componentes vectoriales I_d , I_q , puede eliminarse el componente armónico de la corriente fundamental, generado debido a la aplicación de la tensión de control V_C a los terminales.

20 Convenientemente, el método puede comprender una etapa de d) filtrar el par de corrientes vectoriales I_d , I_q usando un filtro de paso alto (HPF) para eliminar la corriente continua y obtener los componentes de corriente vectoriales filtrados I'_d , I'_q con unos parámetros eléctricos P que cambian de acuerdo con la velocidad de rotación instantánea de las masas en rotación M.

25 El filtro de paso alto (HPF) puede tener un peso matemático predeterminado, adaptado para permitir la eliminación de cualquier corriente continua residual en las corrientes vectoriales I_d , I_q .

30 Las corrientes vectoriales filtradas obtenidas en el filtrado de la etapa d) pueden ser corrientes sustancialmente sinusoidales con igual amplitud, desplazadas en 90° .

Convenientemente, como se muestra mejor en la figura 2, el método puede incluir una etapa de e) establecer el ángulo de rotación instantánea de las masas en rotación de la máquina eléctrica en un valor inicial θ_{in} .

35 Además, la etapa de ajuste de ángulo e) puede seguirse por una etapa de f) ajustar el ángulo de rotación instantánea θ_{ist} para determinar un ángulo de rotación sincronizada θ_{sinc} , sustancialmente en fase con el ángulo de rotación mecánica θ_M de las masas en rotación M.

40 El método puede comprender además una etapa de g) suministrar a la máquina eléctrica E una corriente vectorial I_{al} que tenga un ángulo de rotación θ_{al} calculado como una función del ángulo sincronizado θ_{sinc} y un componente de par I_{al_par} que aumenta desde cero hasta el valor nominal en un intervalo de tiempo predeterminado.

45 El aumento gradual de la componente de par I_{al_par} de la tensión de suministro I_{al} desde cero hasta el valor nominal permitirá el control de la máquina eléctrica E para restaurarse sin provocar que las masas en rotación M de la misma estén sujetas a cambios de velocidad bruscos.

50 En un aspecto específicamente ventajoso de la invención, el ángulo de rotación sincronizada θ_{sinc} obtenido en la etapa de ajuste f) puede tener un error angular ε_θ que no supere un umbral predeterminado ε'_θ , en relación con el ángulo de rotación mecánica θ_M de las masas en rotación M.

En particular, el valor umbral para el error angular ε_θ puede ser cero.

55 Convenientemente, como se muestra mejor en la figura 2, la etapa de f) ajustar el ángulo de rotación instantánea θ_{ist} puede comprender una etapa adicional de h) minimizar iterativamente el error angular ε_θ a partir del ángulo de rotación establecido inicialmente θ_{in} .

En particular, la etapa iterativa puede configurarse de tal manera que se use un ángulo de rotación igual a cero θ_{in} solamente durante el primer ciclo.

60 La minimización iterativa del error angular ε_θ puede efectuarse comparando, en cada ciclo, el ángulo de rotación instantánea θ_{ist} generado en el ciclo anterior con un ángulo de rotación instantánea θ'_{ist} calculado durante el ciclo actual.

65 El ángulo de rotación instantánea θ_{ist} puede determinarse de acuerdo con el desplazamiento instantáneo del par de corrientes vectoriales filtradas I'_d , I'_q a partir del ángulo de rotación instantánea θ_{ist} generado en el ciclo anterior.

La iteración finaliza cuando el diferencial entre los dos ángulos ($\theta'_{ist} - \theta_{ist}$) da como resultado un error angular igual al umbral ε'_θ o menos.

5 El cumplimiento de esta condición permite que el ángulo de rotación sincronizada θ_{sinc} se establezca en el valor del ángulo de rotación instantánea θ'_{ist} calculado en el último ciclo de iteración.

Convenientemente, la etapa de minimización de iteración h) puede obtenerse por medio de un primer algoritmo de bucle de bloqueo de fase PLL₁ para generar el ángulo de rotación sincronizada θ_{sinc} como su salida.

10 El algoritmo PLL₁ puede diseñarse para recibir como entrada el par de corrientes vectoriales filtradas i'_d , i'_q obtenidas a partir de la etapa de filtrado d).

15 Además, la etapa g) de suministrar alimentación a la máquina eléctrica E puede comprender una etapa de i) preparar el ángulo de rotación sincronizada θ_{sinc} generado por el primer algoritmo de bucle de bloqueo de fase PLL₁ en función del número de polos de la máquina eléctrica E.

20 Por ejemplo, si la máquina eléctrica síncrona E tiene cuatro o seis polos, respectivamente, la etapa de preparación i) dividirá el ángulo de rotación sincronizada θ_{sinc} por dos o tres.

Convenientemente, la etapa de suministro de alimentación g) puede comprender una etapa adicional de k) ajuste fino del ángulo de rotación sincronizada θ_{sinc} mediante el ángulo de rotación de las masas en rotación M obtenido usando un segundo algoritmo de bucle de bloqueo de fase PLL₂.

25 Este algoritmo PLL₂ genera como su salida un ángulo de rotación sincronizada fino, cuyo valor inicial se expresa por la siguiente fórmula:

$$PLL_principal.integ = PLL_principal.salida = (\Delta\theta_{sinc} / n) - \Delta\theta_{Vc}$$

30 en la que $\Delta\theta_{sinc}$ es el incremento del ángulo de rotación sincronizada θ_{sinc} obtenido como una salida del primer algoritmo PLL₁, n es el número de pares de polos de la máquina eléctrica E y $\Delta\theta_{sinc}$ es el incremento del ángulo de la tensión de control V_C en la unidad de tiempo.

35 En particular, esta etapa de ajuste k) comprende un transitorio inicial en el que la corriente de alimentación vectorial I_{ai} tiene un componente de par sustancialmente cero I_{ai_par} y un componente de flujo I_{ai_flujo} que tiene un valor predeterminado, para generar un flujo menor que el flujo nominal en la máquina eléctrica E.

40 Por lo tanto, la etapa k) de ajuste fino del ángulo de sincronización θ_{sinc} para la sincronización con el ángulo de rotación mecánica θ_M de las masas en rotación M puede realizarse con la máquina eléctrica que opera en condiciones de flujo reducido.

45 En estas condiciones, el valor de flujo puede estar convenientemente ajustado de tal manera que nunca supere los límites de final de escala impuestos por la técnica de control específica durante la operación para la máquina eléctrica de reluctancia síncrona E, lo que permitirá un ajuste muy preciso del ángulo de sincronización θ_{sinc} para la sincronización con el ángulo de rotación mecánica θ_M de las masas en rotación M.

Debería observarse además, que las etapas c) a k) pueden realizarse durante el tiempo T_C de aplicación de la tensión de control V_C .

50 Por lo tanto, al final del tiempo de aplicación de la tensión de control V_C , puede suministrarse a la máquina eléctrica E la corriente de alimentación vectorial I_{ai} para restaurar las masas en rotación de la misma a velocidades nominales.

55 Por lo tanto, el inversor V conectado a la máquina E puede controlar la operación de las masas en rotación usando técnicas de control conocidas.

Convenientemente, el método descrito anteriormente puede convertirse en un producto de programa informático, que comprende unas instrucciones de operación para controlar la máquina eléctrica E a través de las etapas del método anterior.

60 Este producto de programa informático puede almacenarse en un medio de almacenamiento de una unidad de control programable U de un inversor V asociado a la máquina eléctrica E para controlar uno o más dispositivos electrónicos de procesamiento digital, no mostrados, que están adaptados para ejecutar el programa y controlar el aparato eléctrico para generar y tratar las señales eléctricas.

65

Por lo tanto, la máquina eléctrica de reluctancia síncrona E puede controlarse por el inversor V tanto a velocidad normal, como después de unos eventos inesperados susceptibles de provocar transitorios de velocidad de las masas en rotación M de la máquina.

- 5 La descripción anterior muestra claramente que el método de la invención satisface los objetos pretendidos y en particular cumple el requisito de permitir el control de una máquina eléctrica de reluctancia síncrona cuando las masas en rotación están sujetas a los transitorios de velocidad, sin medios de sensor montados en la máquina o en su inversor.
- 10 El método de la invención es susceptible de una serie de cambios y variantes, dentro del concepto de la invención desvelado en las reivindicaciones adjuntas. Todos sus detalles pueden reemplazarse por otras partes técnicamente equivalentes, y los materiales pueden variar en función de las diferentes necesidades, sin alejarse del alcance de la invención.
- 15 Mientras que el método se ha descrito haciendo una referencia específica a las figuras adjuntas, los números a los que se hace referencia en la descripción y en las reivindicaciones solo se usan en aras de una mejor inteligibilidad de la invención y no se pretende limitar el alcance reivindicado de ninguna manera.

REIVINDICACIONES

1. Un método para sincronizar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona en el que dicha máquina (E) no tiene sensores de tensión de magnetización residual y/o de velocidad, y comprende unos terminales de alimentación (T) y unas masas en rotación (M) cuya frecuencia de rotación mecánica (f_M) está sujeta a transitorios de velocidad provocados por las condiciones de corte de alimentación, comprendiendo el método al menos las siguientes etapas:

- a) aplicar una tensión de control (V_C) con una amplitud (v_C) y una duración (T_C) predeterminadas a los terminales después de los transitorios, para inducir una corriente eléctrica (I_i), teniendo dicha corriente eléctrica un espectro armónico (S) que es una función del diferencial de frecuencia entre la frecuencia (f_C) de dicha tensión de control (V_C) y la frecuencia de rotación mecánica (f_M) de las masas en rotación;
- b) detectar dicha corriente eléctrica inducida (I_i) para restablecer el control de alimentación y de rotación síncrona de la máquina (E), en el que dicho espectro armónico (S) de dicha corriente inducida (I_i) tiene componentes armónicos sustancialmente nulos o insignificantes en el intervalo audible, en respuesta a la aplicación de dicha tensión de control (V_C) a los terminales (T);
- c) descomponer dicha corriente eléctrica inducida (I_i) en un par de corrientes vectoriales (I_d , I_q) desplazadas sustancialmente en 90° ;
- d) usar un filtro de paso alto (HPF) para filtrar el componente de corriente continua y obtener los respectivos componentes vectoriales filtrados (I'_d , I'_q) que dependen de la velocidad de rotación instantánea de las masas en rotación (M);
- e) establecer un valor inicial para el ángulo de rotación instantánea de las masas en rotación (M) de la máquina eléctrica (E);
- f) ajustar dicho ángulo de rotación instantánea (θ_{ist}) para determinar un ángulo de rotación sincronizada (θ_{sinc}), sustancialmente en fase con el ángulo de rotación mecánica (θ_M) de las masas en rotación (M);
- g) suministrar a la máquina eléctrica (E) una corriente vectorial (I_{ai}) que tenga un ángulo de rotación eléctrica (θ_{ai}) que es una función de dicho ángulo sincronizado (θ_{sinc}) y un componente de par (I_{ai_par}) que aumenta desde cero hasta el valor nominal en un intervalo de tiempo predeterminado;

en el que dicha etapa f) de ajustar dicho ángulo de rotación instantánea (θ_{ist}) comprende una etapa h) que minimiza de manera iterativa el error angular (ϵ_θ) del ángulo de rotación sincronizada en relación con el ángulo de rotación mecánica de las masas en rotación (M) a partir de dicho valor de ángulo de rotación inicial (θ_{in}), obteniéndose dicha etapa de minimización iterativa h) por medio de un primer algoritmo de bucle de bloqueo de fase (PLL₁) para generar dicho ángulo de rotación sincronizada (θ_{sinc}) como su salida;

en el que dicha etapa de suministro de energía g) comprende una etapa i) para preparar dicho ángulo de rotación sincronizada (θ_{sinc}) generado por el primer algoritmo de bucle de bloqueo de fase (PLL₁) en función del número de polos de la máquina eléctrica (E) y una etapa k) de ajuste fino de dicho ángulo de rotación sincronizada (θ_{sinc}) obtenido usando un segundo algoritmo de bucle de bloqueo de fase (PLL₂), y tiene un transitorio inicial en el que dicha corriente de suministro vectorial (I_{ai}) tiene un componente de par sustancialmente cero (I_{ai_par}) y un componente de flujo (I_{ai_flujo}) que tiene un valor predeterminado, para generar un flujo más bajo que el flujo nominal en la máquina eléctrica (E).

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho espectro armónico (S) tiene un valor promedio sustancialmente nulo en el intervalo de frecuencia de 400 Hz a 2 KHz, de tal manera que se genera un ruido acústico sustancialmente cero en la máquina eléctrica (E).

3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha tensión de control (V_C) es de tipo CC o CA, y tiene una amplitud fija o variable (v_C) durante dicha duración (T_C).

4. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha tensión de control (V_C) se calibra para generar un par mínimo de este tipo en dichas masas en rotación, con el fin de mantener sustancialmente sin cambios la velocidad de rotación instantánea de dichas masas en rotación (M).

5. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho ángulo de rotación sincronizada (θ_{sinc}) tiene un error angular (ϵ_θ) en relación con dicho ángulo de rotación mecánica (θ_M) que es inferior o igual a un valor umbral predeterminado (ϵ'_θ).

6. Un producto de programa informático para sincronizar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona (E), que está adaptado para instalarse en un medio de almacenamiento incorporado en una unidad de control programable (U) de un inversor (V), caracterizado por que comprende unas instrucciones de control de operación para implementar el método de acuerdo con una o más de las reivindicaciones anteriores.

7. Un inversor (V) para controlar una máquina eléctrica de reluctancia síncrona (E), caracterizado por que comprende una unidad de control programable (U) con un medio de almacenamiento que tiene un producto de programa informático instalado en el mismo para sincronizar la máquina eléctrica (E) de acuerdo con la reivindicación 6.

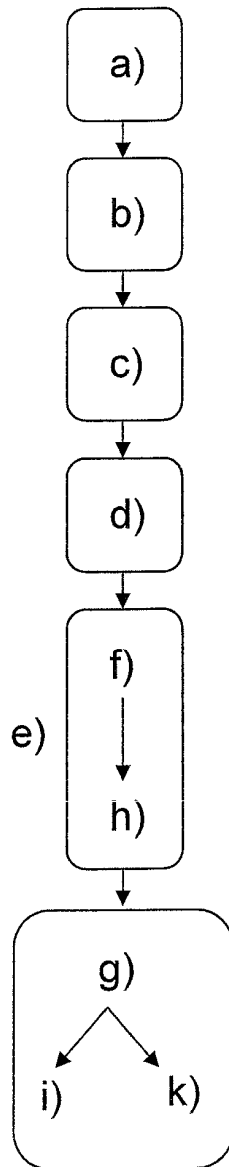


FIG. 1

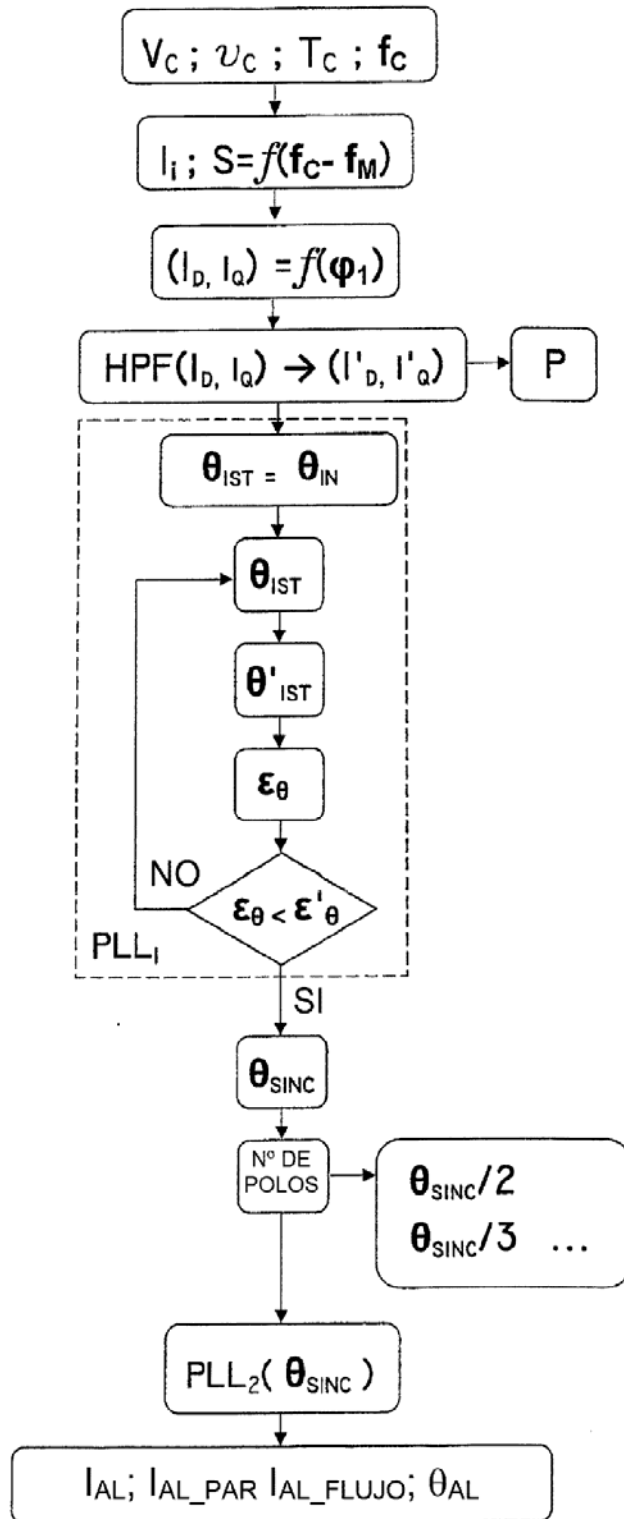


FIG. 2

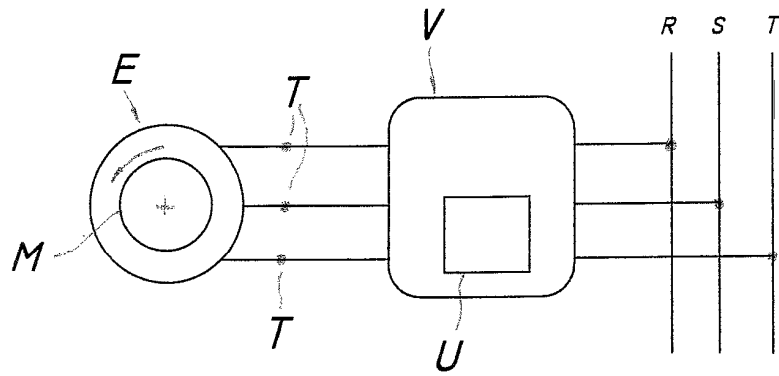


FIG. 3