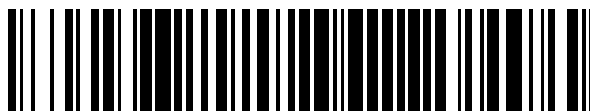


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 426 607**

51 Int. Cl.:

**H02P 6/00** (2006.01)

**H02P 6/18** (2006.01)

**H02P 27/02** (2006.01)

**H02P 1/46** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2010 E 10425250 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2013 EP 2410651**

54 Título: **Procedimiento para arrancar un motor eléctrico síncrono monofásico de imán permanente y dispositivo electrónico para poner en práctica dicho procedimiento**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**24.10.2013**

73 Titular/es:

**ASKOLL HOLDING S.R.L. (100.0%)**  
**Via Industria, 30**  
**36031 Povolara di Dueville (Vicenza), IT**

72 Inventor/es:

**MARIONI, ELIO**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 426 607 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para arrancar un motor eléctrico síncrono monofásico de imán permanente y dispositivo electrónico para poner en práctica dicho procedimiento

### Campo de la solicitud

5 La presente invención se refiere, en su aspecto más general, a un procedimiento para arrancar un motor eléctrico síncrono monofásico de imán permanente, así como a un dispositivo electrónico que se puede asociar con un motor eléctrico para poner en práctica dicho procedimiento de arranque.

10 En particular, el procedimiento se refiere al arranque de motores eléctricos síncronos monofásicos utilizados en aplicaciones caracterizadas por una gran necesidad de reducir el coste y el volumen. Por ejemplo, se refiere al arranque de motores eléctricos utilizados en aparatos domésticos como por ejemplo lavadoras y lavaplatos.

### Técnica anterior

Como es sabido, los motores síncronos, al tiempo que se benefician de una eficiencia energética elevada y de una excelente estabilidad de la velocidad operativa, presentan un inconveniente sustancial vinculado a la dificultad de su arranque.

15 En efecto, durante la etapa de arranque el rotor debe ser conducido de la velocidad cero a un estado de acoplamiento de frecuencia con la fuente de suministro de energía de la máquina. En la práctica, con el fin de hacer posible dicho acoplamiento de frecuencia se adoptan medidas técnicas, mecánicas y/o electrónicas, las cuales, por supuesto, implican un coste de fabricación y de instalación sustancial.

20 En particular, los sistemas electrónicos incluyen el uso de circuitos consistentes en un inversor y un interruptor, los cuales permiten que la frecuencia y la amplitud de onda del voltaje de la rejilla puedan ser fácilmente modificadas, cambiándolas durante la etapa de arranque.

25 Por otro lado, dichos circuitos, aunque resuelven de forma satisfactoria el problema del arranque del motor, presentan un elevado grado de complejidad y, por tanto, afectan sustancialmente al coste global del dispositivo. En efecto, han sido desarrollados y optimizados para máquinas trifásicas, y son excesivamente onerosos e inapropiados para controlar motores síncronos bifásicos y, sobre todo, motores síncronos monofásicos de baja potencia.

30 En el funcionamiento de los motores polifásicos, los diversos devanados relativos a las diferentes fases no son siempre alimentados de manera simultánea por la corriente. Por tanto, a menudo existe al menos una bobina no alimentada a través de la cual se lleva a cabo una medición de la fuerza contraelectromotriz generada por la máquina. Gracias a dicha medición es posible estimar la posición del rotor incluso sin la ayuda de sensores específicos, lo cual permite que el arranque sea controlado con sistemas electrónicos con un coste lo suficientemente bajo. Sin embargo, una solución de este tipo no puede ser puesta en práctica en motores monofásicos, dado que la fuerza contraelectromotriz sobre ellos no puede ser obtenida cuando la corriente del devanado de fase es distinta de cero.

35 Asimismo, precisamente los motores monofásicos, en particular en la forma de realización con imanes permanentes, son de uso particularmente extendido en el mercado gracias a su bajo coste de producción. En la actualidad, su arranque se facilita generalmente con medidas mecánicas, precisamente para mantener su coste dentro de límites aceptables. Las medidas mecánicas utilizadas con tal finalidad, sin embargo, acarrear problemas adicionales en cuanto a la eficiencia energética y al ruido.

40 El problema técnico que constituye la base de la presente invención es, por tanto, idear un procedimiento de arranque y un dispositivo electrónico respectivo para su puesta en práctica que hagan posible el arranque eficaz de los motores síncronos monofásicos que utilizan imanes permanentes, con unos costes de fabricación e instalación bajos.

### Sumario de la invención

45 El problema técnico anteriormente mencionado se resuelve mediante un procedimiento para el arranque de un motor eléctrico síncrono monofásico que comprende un rotor de imán permanente y un estator provisto de unos devanados conectados a una rejilla eléctrica por medio de un conmutador.

50 Dicho procedimiento comprende al menos una etapa de aplicación de una lógica de control de dicho conmutador, la cual emplea dos condiciones para la conmutación con el fin de asegurar que la corriente que circula por los devanados sea principalmente (esto es, la mayoría del tiempo) del mismo signo que la fuerza contraelectromotriz generada por el motor eléctrico.

A continuación, se explicará brevemente por qué dicho dispositivo asegura un arranque satisfactorio del motor eléctrico.

El par de accionamiento,  $C_M$  desarrollado instantáneamente por la corriente en los devanados viene dado por el producto:

$$C_M = -i(t) \cdot \Phi \cdot \text{sen}(\theta(t))$$

5 donde  $\Phi$  es el valor máximo del flujo inducido por el imán en los devanados y  $\theta$  es el desplazamiento angular del rotor.

Por otro lado, la fuerza contraelectromotriz es:

$$f_{cem} = -\Phi \omega_m \cdot \text{sen}(\theta(t))$$

por lo tanto:

$$C_M \cdot \omega_m = f_{cem} \cdot i(t)$$

10 Con el fin de obtener un valor de par de torsión  $C_M$  de acuerdo con la velocidad de rotación  $\omega_m$ , esto es, para asegurar un par de accionamiento y no un par de frenado durante el arranque, es por tanto necesario, de acuerdo con lo establecido anteriormente, que la corriente que circula por los devanados sea del mismo signo que la fuerza contraelectromotriz.

15 La primera condición para la conmutación sobre el conmutador se verifica cuando una señal detectada de una fuerza contraelectromotriz presenta el mismo signo que una señal eléctrica del voltaje de la rejilla, mientras que una segunda condición se verifica cuando dicha señal de la fuerza contraelectromotriz presenta el mismo signo que el valor de su primera derivada.

La lógica de control descrita con anterioridad, que también se puede accionar en un modo sin sensores con componentes de bajo coste, hace posible un arranque sencillo y eficaz de un motor eléctrico síncrono monofásico.

20 La señal de la fuerza contraelectromotriz puede, en efecto, ser fácilmente obtenida sin ayuda de sensores, por ejemplo, cuando la diferencia entre el voltaje de la rejilla eléctrica y el voltaje a través del conmutador en los periodos en los cuales la corriente alimentada hacia los devanados es cero. La condición de corriente cero puede ser evaluada asegurando que el voltaje a través del conmutador es suficientemente distinto de cero o, si no, por medio de una resistencia de derivación.

25 Asimismo, dado que la lógica de control descrita con anterioridad controla solo las condiciones de la conmutación sobre el conmutador, para su puesta en práctica, el conmutador utilizado puede ser un simple conmutador TRIAC, el cual interrumpe la conexión eléctrica en el momento en que la corriente pasa por cero.

30 Una lógica de control más elaborada, que comprende una condición para la desconexión del conmutador cuando hay una diferencia de signo entre la corriente y la fuerza contraelectromotriz, requeriría, por otro lado, un conmutador que permitiera la interrupción de la corriente, así como unos circuitos apropiados para absorber la energía disipada en la inductancia de los devanados del estator. Dicha lógica requeriría asimismo la adquisición de la señal de corriente y la estimación de la fuerza contraelectromotriz, mediante la implantación de circuitos complejos, también en los momentos en los que la corriente circula por los devanados.

35 De hecho, sin embargo, la segunda condición de la lógica de control de acuerdo con la presente invención, impide situaciones con la corriente del estator que diferente de la fuerza contraelectromotriz, convirtiendo en superflua la condición de desconexión del conmutador y simplificando de manera sustancial la arquitectura de control y su puesta en práctica.

40 La verificación de dicha primera condición puede fácilmente ser puesta en práctica mediante la aplicación de una operación de lógica XNOR a una señal cuadrada de la fuerza contraelectromotriz y a una señal de sincronización de la rejilla.

La segunda condición puede ser también fácilmente verificada mediante la aplicación de una operación de lógica XNOR a una señal cuadrada de la fuerza contraelectromotriz y a una señal cuadrada de la primera derivada de la fuerza contraelectromotriz.

45 Como alternativa, la primera y la segunda condiciones pueden ser verificadas de manera simultánea mediante la aplicación de una operación de lógica XNOR entre la señal de sincronización de la rejilla y una segunda señal cuadrada, obtenida a partir de la suma entre la señal de la fuerza contraelectromotriz y la señal de su primera derivada a la escala adecuada.

50 Dado que la primera derivada de la fuerza contraelectromotriz se produce con antelación, la suma cuadrada de las dos señales también se produce con antelación a la señal cuadrada de la fuerza contraelectromotriz sola; dicha antelación aumenta con el factor de escala atribuido a la primera derivada; el valor de cuadratura de umbral hace también posible retardar el borde ascendente y adelantar el borde descendente; solo con dos parámetros es por

tanto posible establecer el intervalo en el que se permite la condición de conexión, de acuerdo con los requisitos de la situación (momento de inercia, carga hidráulica mecánica, riesgo de desimantación...).

5 La conexión del conmutador puede ser adelantada con respecto a la aparición de la primera condición de la lógica de control, y es posible que el conmutador sea conectado con antelación al momento en que la fuerza contraelectromotriz cambia de signo para adoptar el mismo signo que el voltaje de la rejilla.

10 Dicha solución es posible teniendo en cuenta el vínculo del par de torsión con el seno de un ángulo de posición del rotor y el retardo de la señal de la corriente con respecto a la señal del voltaje del circuito óhmico-inductivo representado por los devanados del estator. Todo el tiempo en que el ángulo de la posición es opuesto, el par de frenado es despreciable. La conexión adelantada, sin embargo, proporciona al circuito más tiempo para permitir que la corriente crezca, para explotar dicha corriente cuando el seno del ángulo de la posición se haya convertido en términos generales en el mismo.

15 Con el fin de evitar que la segunda condición impida la conexión del conmutador en el caso de una ralentización local debida al par de retención o a la carga del motor, es posible relajar la segunda condición mencionada con anterioridad permitiendo que el conmutador sea conectado incluso cuando, aunque la señal de la fuerza contraelectromotriz haya adoptado un signo diferente del valor de su primera derivada, el valor máximo de la señal de la fuerza contraelectromotriz coincidente con la última variación del signo de su primera derivada presente unos valores por debajo de un valor de umbral.

20 La segunda condición de la lógica de control, en efecto, pretende impedir la conexión del conmutador cuando el polo del rotor se está aproximando al polo del estator, una situación que preludia un cambio de signo de la fuerza contraelectromotriz.

25 La ralentización local mencionada con anterioridad puede, sin embargo, provocar una primera derivada negativa de la señal sin que se produzca necesariamente dicha condición crítica. Dicha circunstancia puede, sin embargo, ser advertida por el hecho de que el valor absoluto del máximo de la fuerza contraelectromotriz antes de la aparición de la propia ralentización, adopta valores bajos, normalmente inferiores a un 20 % del máximo de la fuerza contraelectromotriz a velocidad nominal. Esta es la razón de que si dicho valor no alcanza un determinado umbral, la lógica de control puede, de manera ventajosa, proporcionar la conexión del conmutador TRIAC contraviniendo las indicaciones anteriores.

30 El procedimiento de acuerdo con la presente invención puede también comprender una etapa, antes de la de aplicación de la lógica de control, de alimentación de los devanados del estator, en corriente con una serie de impulsos de arranque del mismo signo destinados a arrancar el rotor superando el par de retención.

Por tanto, la etapa subsiguiente de aplicación de la lógica de control solo se inicia una vez que se ha sobrepasado un umbral predeterminado de la señal de la fuerza contraelectromotriz.

35 Debe destacarse que, dado que la etapa de arranque se establece para cuando se ha excedido el retroceso del par de retención, el umbral del parámetro de control se selecciona para iniciar la etapa de transición, dentro de un ángulo de rotación del rotor igual al ángulo subtendido entre dos ejes interpolares sucesivos del estator. En el caso específico de un motor monofásico de dos polos, la lógica de control se inicia de esta manera dentro del primer ángulo de 180° de rotación del rotor.

40 En particular, es posible, de manera ventajosa, establecer que la lógica sea aplicada cuando la fuerza contraelectromotriz sobrepase un valor de umbral de entre un 10 % y un 20 % del valor máximo de la fuerza contraelectromotriz a una velocidad operativa normal.

El procedimiento de acuerdo con la presente invención puede también comprender una etapa preliminar de alimentación de los devanados en corriente con una serie de impulsos de alineación de diferente signo hacia dichos impulsos de arranque destinados a situar el rotor en una posición de arranque predeterminada.

45 Dado que el rotor tiene dos posiciones de equilibrio diferentes, la operación de realineación descrita anteriormente permite que exista la seguridad de que los sucesivos impulsos de arranque promuevan una rotación del rotor, sin que sea necesario utilizar los sensores de la posición.

50 El procedimiento puede así comprender, de manera ventajosa, una etapa de espera, después de la alimentación de los impulsos de alineación y antes de la alimentación de los impulsos de arranque. Dicha etapa de espera dura el tiempo suficiente para asegurar la estabilización del rotor, el cual podría quedar sometido a vibraciones de base después de la realineación.

Los impulsos de arranque, lo mismo que los impulsos de alineación, pueden ser retardados mediante un ángulo de iniciación respecto a la variación del signo del voltaje de la rejilla eléctrica.

Dicho ángulo de iniciación puede ser adaptado, de manera ventajosa, al voltaje de la rejilla, al momento de inercia del rotor y a su posición para obtener la máxima aceleración y al mismo tiempo impedir la desimantación del rotor.

En particular, se ha podido apreciar hasta qué punto es ventajoso reducir el ángulo de iniciación durante la serie de impulsos de arranque, los cuales, de esta manera, presentan una intensidad progresivamente en aumento.

5 El problema técnico mencionado con anterioridad se resuelve también mediante un dispositivo electrónico para arrancar un motor síncrono que comprende una unidad de procesamiento, un conmutador para alimentar dicho motor síncrono controlado por dicha unidad de procesamiento, recibiendo dicha unidad de procesamiento una señal de voltaje de la rejilla, y una señal de voltaje a través del conmutador, estando dispuesto dicho dispositivo electrónico para poner en práctica el procedimiento descrito con anterioridad. Tal y como se manifestó con anterioridad, el conmutador puede ser un conmutador de tipo TRIAC.

10 Otras características y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto a partir de la siguiente descripción de una forma de realización preferente, ofrecida con fines indicativos y no limitativos con referencia a los dibujos adjuntos.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 representa de forma esquemática un motor eléctrico síncrono controlado con una lógica de arranque de acuerdo con la presente invención;

15 la figura 2 representa de forma esquemática un dispositivo electrónico de acuerdo con la presente invención aplicado al motor eléctrico síncrono de la fig. 1;

la figura 3 presenta un diagrama de bloques que ilustra las diversas etapas del procedimiento de arranque de acuerdo con la presente invención;

20 las figuras 4a a 4c muestran el perfil de tiempo de algunos parámetros con respecto al motor síncrono de la fig. 1 durante una primera etapa del procedimiento de arranque de acuerdo con la presente invención;

la figura 5 muestra el perfil de tiempo de algunos parámetros con respecto al motor síncrono de la fig. 1 durante una segunda etapa del procedimiento de arranque de acuerdo con la presente invención;

la figura 6 muestra el perfil de tiempo de algunos parámetros con respecto al motor síncrono de la fig. 1 durante una tercera etapa del procedimiento de arranque de acuerdo con la presente invención;

25 la figura 7 compara el perfil de tiempo del par de accionamiento desarrollado durante una tercera etapa de dos formas de realización alternativas del procedimiento de arranque de acuerdo con la presente invención;

la figura 8 compara el perfil de tiempo de algunos parámetros con respecto al motor síncrono de la fig. 1 durante una tercera etapa de dos formas de realización alternativas del procedimiento de arranque de acuerdo con la presente invención;

30 la figura 9 muestra el perfil de tiempo de algunas señales utilizadas en la lógica de arranque de acuerdo con la presente invención.

### Descripción detallada

Con referencia a la figura 1 adjunta, la referencia numérica 1 identifica un motor síncrono monofásico que utiliza imanes permanentes, que comprende un estator 10 y un rotor 15 cilíndrico capaz de rotar con respecto a él.

35 El estator 10 define un circuito magnético que se cierra sobre el rotor 15, dispuesto de forma que puede rotar entre una primera 12a y una segunda 12b expansiones polares del propio estator. El estator presenta dos devanados 11 alimentados por un dispositivo 20 electrónico.

40 El rotor 15 comprende un imán permanente dispuesto para definir dos polos magnéticos diametralmente opuestos sobre la periferia externa del elemento. Con el término eje AR del rotor se definirá un diámetro del rotor situado sobre el plano de separación ideal entre los polos así definidos.

Las expansiones 12a, 12b polares, dispuestas de acuerdo con un eje AP polar del estator 10, se distinguen por una asimetría morfológica, de manera que el rotor 15 en reposo está dispuesto con el eje AR del rotor inclinado en un ángulo de asimetría  $\theta_R$  con respecto a un eje AI interpolar del estator 10. Como se sabe, una asimetría de este tipo asegura el arranque unidireccional del motor síncrono. En el presente ejemplo, el eje AR del rotor se inclina en un ángulo aproximado de  $6^\circ$  con respecto al eje interpolar en la dirección contraria a las agujas del reloj, promoviendo así un arranque del rotor en la misma dirección.

El dispositivo 20 electrónico, el cual, de modo preferente, adopta la forma de un panel de control, presenta un conmutador 21 estático, en este caso específico un conmutador TRIAC, dispuesto para ajustar la fuente de alimentación a los devanados 11 del estator, alimentados mediante una rejilla 22 eléctrica en corriente alterna.

El conmutador 21 TRIAC está conectado a una salida 33 PWM de una unidad 30 de procesamiento, la cual, de modo preferente, adopta la forma de un microprocesador. Dicha unidad 30 de procesamiento implementa el procedimiento para arrancar el motor 1 síncrono descrito a continuación en la presente memoria.

5 La unidad 30 de procesamiento presenta una primera entrada 31, la cual recibe una señal 23 de voltaje de la rejilla, y una segunda entrada 32, la cual, por otro lado, recibe una señal 24 del voltaje sobre el conmutador.

10 Mediante el procesamiento de dichas señales, la unidad 30 de procesamiento, es capaz de llevar a cabo una medición indirecta de la fuerza contraelectromotriz generada por el motor 1 síncrono, obtenida como la diferencia entre la señal 23 de voltaje de la rejilla y la señal 24 de voltaje sobre el conmutador, en los momentos en que la corriente es cero. La unidad 30 de control detecta dicha condición de corriente cero evaluando todavía la señal 24 de voltaje sobre el conmutador, y en particular asegurando que dicha señal esté lo suficientemente alejada del valor cero.

15 A partir de la medición de la fuerza contraelectromotriz en los periodos de corriente cero, la unidad 30 de procesamiento puede estimar el perfil de tiempo de dicha fuerza. De esta manera genera una señal 26 de la fuerza contraelectromotriz cuadrada, la cual adopta el valor unitario cuando la fuerza contraelectromotriz es positiva, en otro caso es cero; y una señal de la primera derivada cuadrada de la fuerza 27 contraelectromotriz, unitaria cuando la función de la fuerza contraelectromotriz presenta una derivada positiva, en otro caso es cero.

20 El dispositivo 20 electrónico presenta también una porción 35 para la sincronización con la rejilla de la fuente de alimentación que obtiene una señal 25 de sincronización de la rejilla, esto es, una señal que presenta un valor unitario cuando el voltaje de la rejilla eléctrica presenta valores positivos, cero cuando adopta valores negativos, y la envía a la unidad 30 de procesamiento.

El perfil de tiempo de la señal 25 de sincronización de la rejilla de la señal 26 de la fuerza contraelectromotriz cuadrada y la señal de gradiente cuadrada de la fuerza 27 contraelectromotriz se representa de forma esquemática en comparación con el perfil de la fuerza contraelectromotriz y en la figura 9.

25 El dispositivo 20 electrónico presenta, aquí también, una porción 36 de alimentación de la unidad 30 de procesamiento, dispuesta también para alimentar dicha unidad con una señal de referencia de voltaje.

El arranque del motor 1 síncrono proporciona una primera etapa 100 de alineación destinada a llevar al rotor 15 a una posición de arranque predefinida.

30 En condiciones de reposo, el rotor 15 está, en efecto, dispuesto con las polaridades opuestas respectivamente orientadas hacia las primera 12a y la segunda 12b expansiones polares. Sin embargo, con el fin de facilitar el arranque de la máquina es preferente conocer la posición de arranque con certeza.

En el presente ejemplo dicha posición de arranque predeterminada, ilustrada en la figura 1, sitúa el polo norte del rotor 15 orientado hacia la segunda expansión 12b polar del estator 10.

35 Con el fin de obtener este resultado, el dispositivo 20 electrónico controla el conmutador 21 TRIAC para alimentar los devanados 11 con una serie de impulsos de corriente, aquí denominados impulsos 50 de alineación, generados solo durante un semiperiodo determinado, positivos o negativos de acuerdo con la posición de arranque seleccionada, de la señal de voltaje de la rejilla 22 eléctrica. En la aplicación, el conmutador TRIAC debe, por tanto, estar solo conectado cuando la señal 23 de sincronización de la rejilla adopte un valor positivo (o negativo de acuerdo con el semiperiodo seleccionado).

40 En el caso de que la posición no sea la preseleccionada para el arranque, los impulsos 50 de alineación así generados, gracias a la inclinación mencionada con anterioridad del eje AR del rotor con respecto al eje AI interpolar, promueven una rotación del rotor 15 hacia la posición de arranque.

Por otro lado, si el rotor está ya en la posición de arranque, los impulsos 50 de alineación no modifican su posición.

45 Los impulsos 50 de alineación pueden ser ventajosamente modulados por el dispositivo 20 electrónico por medio del ajuste del ángulo de iniciación  $\alpha$  del conmutador 21 TRIAC, esto es, del retardo de la conexión con respecto del paso por cero del voltaje de la rejilla 22 eléctrica.

En particular, dicho ángulo de iniciación  $\alpha$  puede ser ajustado con base en el valor real del voltaje de la rejilla, el momento de inercia del rotor y su posición, para impedir fenómenos de desimantación del imán permanente asegurando al mismo tiempo la máxima aceleración del rotor.

50 Con fines ilustrativos, las figuras 4a a 4c ilustran el perfil de tiempo de la fuerza contraelectromotriz  $e$ , del voltaje de T la rejilla, del ángulo de rotación del rotor  $\theta$  y de la corriente del estator  $i$  en el curso de la etapa 100 de alineación descrita. Los tres gráficos se refieren a las tres implantaciones con valores reales progresivamente crecientes del voltaje de la rejilla.

En el presente ejemplo, con el fin de situar el rotor 15 en la posición de arranque predeterminada, el dispositivo 20 electrónico genera dos impulsos 50 de alineación conectando el conmutador 21 TRIAC con el ángulo de iniciación  $\alpha$  con respecto al paso del voltaje de la rejilla del semiperiodo negativo al semiperiodo positivo (esto es, con respecto a la actualización con la unidad de la señal 25 de sincronización de la rejilla).

- 5 Se debe destacar que el retardo en la conexión del conmutador 21 TRIAC se incrementa de manera apropiada a medida que aumenta el valor efectivo del voltaje de la rejilla.

Una vez que han sido generados los impulsos 50 de alineación necesarios para situar el rotor en la posición de arranque, el presente procedimiento proporciona una etapa 200 de espera para permitir la amortiguación de las posibles oscilaciones del rotor 15.

- 10 En efecto, en el caso de que los impulsos hayan de modificar realmente la posición del rotor 15, este último oscilará durante un cierto periodo alrededor de la nueva posición de reposo alcanzada, coincidiendo con la posición de arranque preseleccionada. Es preferente esperar a la amortiguación de dichas oscilaciones para no comprometer las etapas de arranque posteriores del rotor.

- 15 El lapso de espera, por supuesto, depende de diversos factores, en primer lugar de la fricción y del momento de inercia del rotor 15. Un tiempo probable para los motores síncronos que utilizan imanes permanentes de pequeño tamaño se sitúa en cualquier caso alrededor de los 700 ms.

Al final de la etapa de espera, ya se ha confirmado por tanto que el rotor 15 se detiene en la posición de arranque predefinida.

- 20 La siguiente etapa del presente procedimiento es la etapa 300 de arranque. Dicha etapa proporciona la generación de una segunda serie de impulsos de corriente, aquí denominados impulsos 60 de arranque, generados esta vez en el semiperiodo de la señal de voltaje de la rejilla 22 eléctrica opuestos al de los impulsos 50 de alineación. Los impulsos 60 de arranque generados presentan, de modo preferente, una intensidad creciente. La intensidad, según se describió para los impulsos 50 de alineación, se ajusta siempre mediante la variación del ángulo de iniciación  $\alpha$  del conmutador 21 TRIAC.

- 25 Dada la posición de arranque del rotor 15, es seguro que dichos impulsos de arranque provocan su rotación en un ángulo de  $180^\circ$ .

- 30 En primer lugar, y en particular en el primer ángulo  $(90 + \theta_R)^\circ$  de movimiento ( $96^\circ$  en la forma de realización aquí analizada), el rotor 15 es frenado por la fuerza de retención que tiende a retrocarlo a la posición de arranque. De esta manera, la fuerza contraelectromotriz, la cual aumenta durante los impulsos 60 de arranque, se retrotrae a cero al final de cada impulso de acuerdo con la fórmula conocida:

$$f_{cem} = d\varphi / dt = - \Phi \omega_m \text{sen} (\theta (t))$$

donde  $\varphi$  es el flujo instantáneo inducido por el imán en los devanados 11,  $\Phi$  es el valor máximo de dicho flujo,  $\omega_m$  es la velocidad de rotación del rotor y  $\theta$  es el desplazamiento angular del rotor.

- 35 La fuerza de retención llega a su valor máximo en un ángulo del rotor de  $(45 + \theta_R)^\circ$ , donde  $\theta_R$  es el ángulo que el rotor adopta en reposo (con una corriente cero), mientras que el par de torsión debido solo al efecto de la corriente aumenta con el perfil sinusoidal hasta  $90^\circ$  y, por tanto, más allá de un determinado ángulo el impulso de la corriente es tal que vence la retracción de la fuerza de retención y la fuerza contraelectromotriz sustancialmente aumenta llegando a sobrepasar un umbral 70 de control, igual, de manera indicativa, a un 10 – 20 % de su valor máximo en funcionamiento normal.

- 40 El dispositivo 20 electrónico, entre un impulso 60 de arranque y el siguiente, verifica así el perfil de la señal de la fuerza contraelectromotriz; cuando dicha señal sobrepasa el umbral 70 de control, el dispositivo 30 electrónico pasa a una nueva lógica de control del motor descrita a continuación.

La figura 5 ilustra el perfil de tiempo de la fuerza e contraelectromotriz del voltaje T de la rejilla, del ángulo de rotación del rotor  $\theta$  y de la corriente i del estator en el curso de la etapa 300 de arranque descrita.

- 45 El procedimiento de acuerdo con la presente invención comprende así una etapa de aplicación de una lógica 400 de control la cual determina una transición hacia el funcionamiento normal del motor 1 eléctrico.

En esta última etapa, el dispositivo 20 electrónico controla el conmutador 21 TRIAC permitiendo que sea activado solo cuando se produzcan las dos condiciones siguientes:

- 50 a) la señal de la fuerza contraelectromotriz estimada debe presentar el mismo signo que el voltaje de la rejilla (primera condición);  
 b) la señal de la fuerza contraelectromotriz estimada debe alejarse de cero (segunda condición).

La primera condición se pone en práctica mediante el dispositivo 20 electrónico por medio de una operación XNOR llevada a cabo sobre la señal 25 de sincronización de la rejilla y sobre la señal 26 de la fuerza contraelectromotriz cuadrada.

5 La segunda condición se pone en práctica de nuevo mediante una operación XNOR entre la señal 26 de la fuerza contraelectromotriz cuadrada y la señal de la primera derivada cuadrada de la fuerza 27 contraelectromotriz. La operación XNOR proporciona un resultado positivo si los dos operadores presentan el mismo valor, esto es, si el signo de la primera derivada es el mismo que el de la función; la condición analítica que define la función que se aleja de cero.

10 La figura 6 ilustra el perfil de tiempo de la fuerza e contraelectromotriz del voltaje T de la rejilla, del ángulo  $\theta$  de rotación y de la corriente i del estator en el curso de la etapa de aplicación de la lógica 400 de control descrita.

La conmutación mencionada con anterioridad sobre la lógica tiende a mantener el conmutador 21 TRIAC en conducción solo cuando el tránsito de la corriente de los devanados 11 determina un par de accionamiento en la dirección de rotación del rotor 15, como resultará más evidente a partir de las consideraciones formuladas a continuación.

15 El par de accionamiento desarrollado por la corriente del estator viene dado por el producto:

$$C_M = -i(t) \cdot \Phi \cdot \text{sen}(\theta(t))$$

mientras que la fuerza contraelectromotriz es:

$$f_{cem} = -\Phi \omega_m \cdot \text{sen}(\theta(t))$$

de donde:

20 
$$C_M \cdot \omega_m = f_{cem} \cdot i(t)$$

Con el fin de obtener un valor  $C_M$  de par de accionamiento que sea el mismo que el de  $\omega_m$  es por tanto necesario que la corriente que circula por los devanados sea también del mismo signo que la fuerza contraelectromotriz.

25 Con base en dicha consideración una lógica de control ventajosa del motor podría proporcionar la conexión del conmutador de alimentación cuando la fuerza contraelectromotriz y el voltaje de la rejilla adoptaran el mismo signo (primera condición de la conexión de la lógica efectivamente implementada), y su desconexión cuando la fuerza contraelectromotriz y la corriente adoptaran diferentes signos. Si el conmutador utilizado permite que la corriente sea desconectada casi de manera instantánea, dicha lógica de control desarrolla un par de accionamiento orientado en la dirección de rotación del rotor 15, esto es, nunca de frenado.

30 Por otro lado, sin embargo, dicha lógica de control que será denominada lógica de conexión/desconexión para distinguirla de la lógica de solo conexión implementada realmente, no puede ser duplicada por el dispositivo 30 electrónico de acuerdo con la forma de realización descrita en la presente memoria. En efecto, no proporciona una entrada para la señal de la corriente necesaria para detectar la condición de desconexión, y además utiliza un conmutador 21 TRIAC que no es capaz de llevar a cabo dicha desconexión de manera adecuada.

35 La lógica de solo conexión sustituye realmente el control de desconexión con la segunda condición de conexión. De esta manera, el conmutador 21 TRIAC no se conecta en el caso de que el perfil periódico de la fuerza electromotriz haya sobrepasado ya su máximo, dado que en dicho caso la variable está en el proceso de cambio de signo y sería pronto diferente del impulso de corriente generado por la conexión del conmutador. En otras palabras, la segunda condición *a priori* evita la aparición de las condiciones que conducirían a la desconexión de acuerdo con la lógica de conexión/desconexión.

40 De esta manera, gracias a la segunda condición, la lógica de solo conexión evita la generación de unos pares de frenado sobre el rotor 15 del motor 1 eléctrico síncrono.

45 Se debe destacar que la primera condición de la lógica de solo conexión puede ser modificada permitiendo la conexión temprana del conmutador 21 cuando la fuerza contraelectromotriz, diferente del voltaje de la rejilla esté en el proceso de cambio de signo. En este caso, la primera condición permite la conexión del conmutador 21 cuando la señal de la fuerza contraelectromotriz, incluso si es de diferente signo que el voltaje de la rejilla, se está aproximando al valor cero y presenta un valor absoluto por debajo de un umbral predeterminado.

50 Si la acción de avance permitida no es excesiva, la condición no afecta de manera significativa al signo de coincidencia entre la fuerza contraelectromotriz y la corriente, incluso teniendo en cuenta el hecho de que la corriente presenta todavía un retardo con respecto al voltaje de la rejilla. De esta manera el máximo de corriente se produce antes, facilitando el arranque.

La figura 8 compara el perfil de tiempo de la fuerza e contraelectromotriz, de la corriente i del estator y del par de torsión C durante la aplicación de la lógica de control con o sin arranque temprano. Los valores relacionados con el



arranque temprano se identifican por el subíndice 1, y los que se refieren al arranque no temprano adoptan el subíndice 2.

5 Se debe destacar también que la segunda posición de la lógica de solo conexión puede impedir la conexión del conmutador 21 también con la ralentización del rotor 15 que no se corresponde con un máximo absoluto de la fuerza contraelectromotriz, por ejemplo, una ralentización debida al par de retención o a la carga aplicada sobre el rotor. En este caso, la condición resulta excesivamente restrictiva dado que el impulso de corriente generado habría desarrollado un par de accionamiento sobre el rotor 15.

10 Aparte de la posibilidad de utilizar las medidas mencionadas en el sumario de la invención destinadas a limitar dicho inconveniente, se destaca cómo la segunda condición en cualquier caso, a pesar de las limitaciones no deseadas, sustancialmente mejora el rendimiento del motor en el arranque. En relación con ello consideremos la figura 7, la cual compara el par de torsión  $C_a$  desarrollado aplicando solo la primera condición de la lógica de conexión y el par de torsión  $C_{ab}$  desarrollado aplicando ambas condiciones de la lógica.

Una vez que se ha alcanzado la condición sincronizada del motor 1 síncrono, el arranque se completa y el motor está en una velocidad operativa normal.

15 El procedimiento y el dispositivo descritos hacen posible arrancar un motor eléctrico síncrono manteniendo unos voltajes de arranque bajos, una elevada eficiencia a una velocidad operativa normal y unos costes bajos de las piezas activas. Esto se traduce en una ventaja económica sustancial dado que hace posible que se reduzca la cantidad o la eficiencia del material activo utilizado para los devanados del estator. Asimismo, el paquete del estator puede presentar un grosor menor, lo que significa unos costes y un volumen reducidos.

20 Otra ventaja del procedimiento y del dispositivo descritos deriva del hecho de que permiten que los voltajes de arranque necesarios para arrancar el motor síncrono monofásico utilizando imanes permanentes se reduzcan. En este tipo de máquinas, en efecto, el voltaje de arranque es generalmente mayor que el voltaje normal de funcionamiento, lo que optimiza la eficiencia. Dicha restricción fuerza al diseñador a proporcionar un número de bobinas lo suficientemente bajo como para asegurar el arranque, penalizando la eficiencia. La reducción del par de arranque necesario hace así posible incrementar el número de bobinas de los devanados con gran beneficio de la eficiencia y la deriva térmica.

Una ventaja adicional de la lógica de arranque descrita anteriormente deriva del hecho de que impide los fenómenos de desimantación del imán permanente del rotor.

30 Dichos fenómenos pueden producirse cuando un campo magnético del estator elevado se opone al campo del imán permanente, esto es, cuando el rotor está alineado o casi alineado con el eje polar y la corriente que circula por los devanados del estator es alta.

En el procedimiento esbozado anteriormente, durante las etapas de alineación, se impide dicha condición por el hecho de que el ángulo de iniciación  $\alpha$  retarda la conexión de la corriente precisamente cerca de las configuraciones del rotor potencialmente peligrosas.

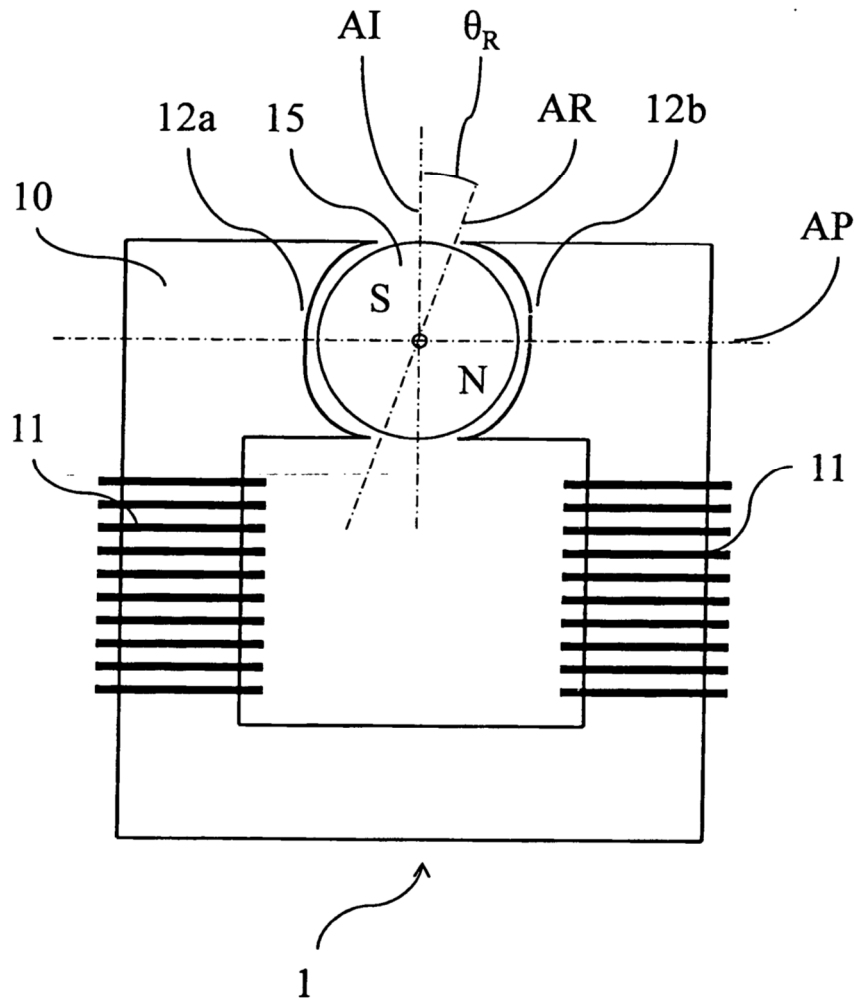
35 En la etapa de transición la lógica de control puede conectar el conmutador cerca de los cambios de signo de la fuerza contraelectromotriz, los cuales se corresponden con la posición de alineación crítica con el eje polar del rotor. Durante el tiempo necesario para que la corriente alcance niveles peligrosos, sin embargo, el rotor se desplaza lo suficientemente lejos de la posición de alineación. Tampoco en este caso existe por tanto ningún riesgo de desimantación del imán permanente.

40 Por supuesto, un experto en la técnica puede añadir numerosas modificaciones y variantes al procedimiento y a la lavadora descritos anteriormente con el fin de satisfacer exigencias contingentes y específicas, todas las cuales se engloban en el alcance de protección de la invención según se define por las siguientes reivindicaciones.

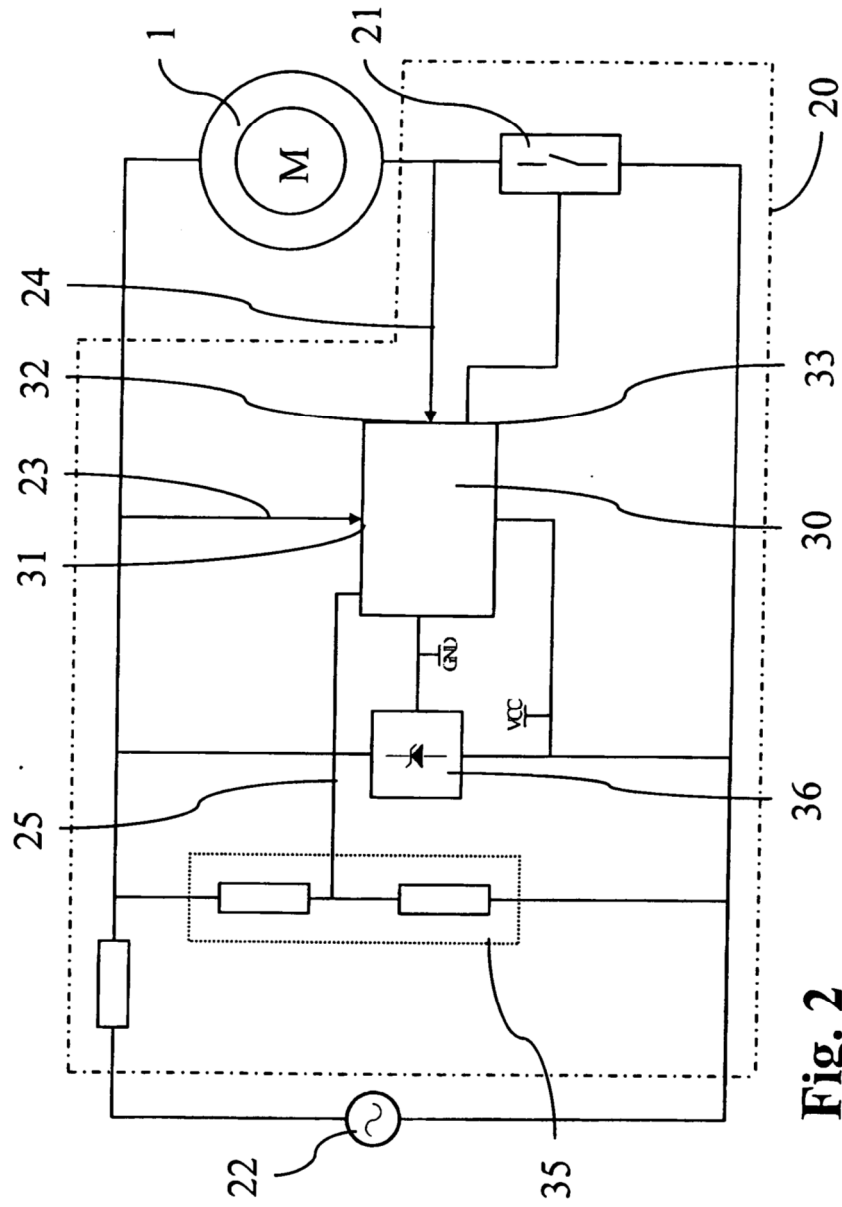
**REIVINDICACIONES**

- 1 Procedimiento para arrancar un motor eléctrico síncrono monofásico (1) que comprende un rotor de imán permanente (15) y un estator (10) provisto de devanados (11) conectados a una rejilla eléctrica (22) por medio de un conmutador (21);
- 5 comprendiendo dicho procedimiento al menos una etapa de aplicación de una lógica de control de dicho conmutador (21),
- proporcionando dicha lógica de control unas primera y segunda condiciones para conectar dicho conmutador, teniendo como finalidad dichas primera y segunda condiciones la de asegurar que, durante la aplicación de dicha lógica de control, la corriente que circula por los devanados (11) es principalmente del mismo signo que la fuerza contraelectromotriz generada por el motor eléctrico(1);
- 10 siendo dicha primera condición verificada cuando una señal de la fuerza contraelectromotriz detectada presenta el mismo signo que una señal de voltaje de la rejilla eléctrica;
- siendo dicha segunda condición verificada cuando dicha señal de la fuerza contraelectromotriz presenta el mismo signo que su valor de primera derivada.
- 15 2 Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la primera condición para la conexión del conmutador (21) se verifica mediante la aplicación de una operación lógica XNOR a una señal cuadrada de la fuerza contraelectromotriz (26) y a una señal de sincronización de la rejilla(25).
- 3 Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la segunda condición se verifica mediante la aplicación de una operación lógica XNOR a una señal cuadrada de la fuerza contraelectromotriz (26) y a una señal cuadrada de la primera derivada de la fuerza contraelectromotriz (27).
- 20 4 Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las primera y segunda condiciones son verificadas de manera simultánea mediante la aplicación de una operación lógica XNOR a una señal de sincronización de la rejilla (25) y a una segunda señal cuadrada, obtenida de la suma entre la señal de la fuerza contraelectromotriz y la señal de su primera derivada a la escala adecuada.
- 25 5 Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que, durante la aplicación de dicha lógica de control, la conexión del conmutador (21) se produce con antelación al cumplimiento de dicha primera condición.
- 6 Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha segunda condición se verifica también cuando, aunque la señal de la fuerza contraelectromotriz haya adoptado un signo diferente al valor de su primera derivada, el valor máximo de la señal de la fuerza contraelectromotriz coincidente con la última variación del signo de su primera derivada presenta un valor absoluto por debajo de un valor de umbral.
- 30 7 Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende también una etapa, previa a la de la aplicación de la lógica de control, de alimentación de los devanados del estator (11) en corriente con una serie de impulsos de arranque (60) del mismo signo destinados a arrancar el rotor superando el par de retención.
- 35 8 Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que dichos impulsos de arranque (60) presentan una intensidad progresivamente creciente.
- 9 Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 u 8, en el que la etapa de aplicación de la lógica de control se inicia una vez que se ha sobrepasado un umbral de control predeterminado (70) de la señal de la fuerza contraelectromotriz.
- 40 10 Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 9, que comprende también una etapa preliminar de alimentación de los devanados (11) en corriente con una serie de impulsos de alineación (50) de diferente signo con respecto a dichos impulsos de arranque (60) destinados a situar el rotor (15) en una posición de arranque predeterminada.
- 45 11 Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende una etapa de espera después de la alimentación de los impulsos de alineación (60) y antes de la alimentación de los impulsos de arranque(60), durando dicha etapa de espera el tiempo suficiente para asegurar la estabilización del rotor (15).
- 12 Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal de la fuerza contraelectromotriz se obtiene como la diferencia entre el voltaje de la rejilla eléctrica (22) y el voltaje a través del conmutador (21) en un periodo en el que la corriente alimentada a los devanados (11) es cero.
- 50 13 Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el conmutador (21) es un conmutador TRIAC.

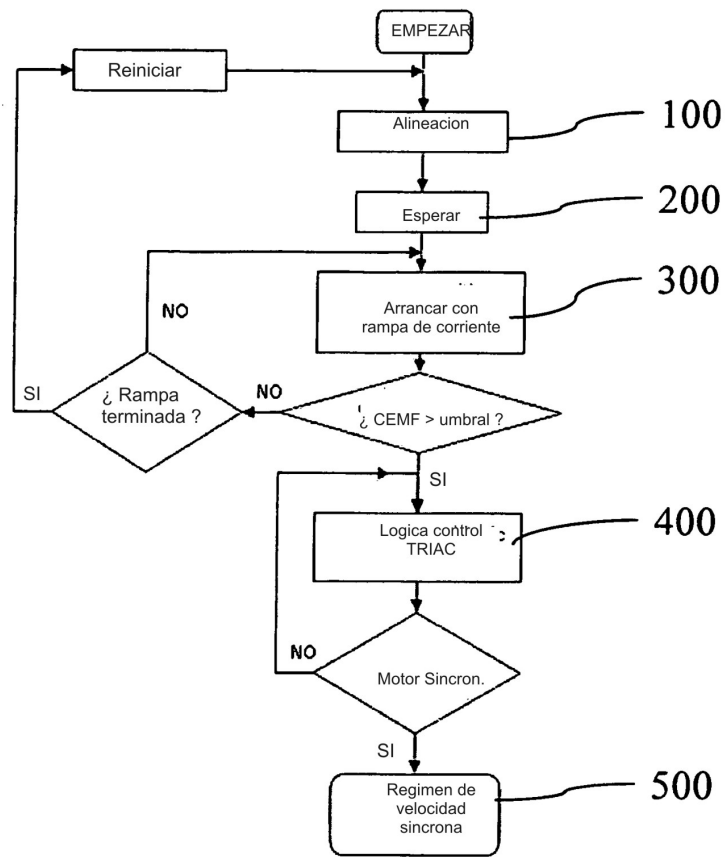
- 14 Dispositivo electrónico (20) para arrancar un motor síncrono (1) que comprende una unidad de procesamiento (30), un conmutador (21) para alimentar dicho motor síncrono (1) controlado por dicha unidad de procesamiento (30), recibiendo dicha unidad de procesamiento una señal de voltaje de la rejilla (23) y una señal de voltaje a través del conmutador (24), estando dicho dispositivo electrónico (20) dispuesto para implementar el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.
- 5
- 15 Dispositivo electrónico (20) de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el conmutador (21) es un conmutador de tipo TRIAC.



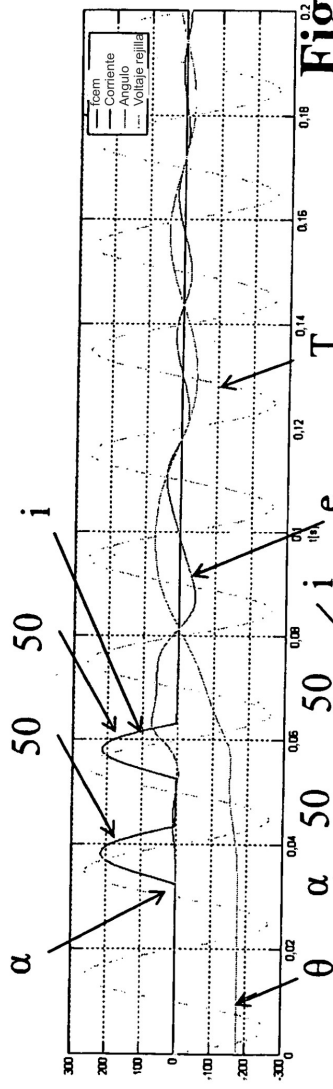
**Fig. 1**



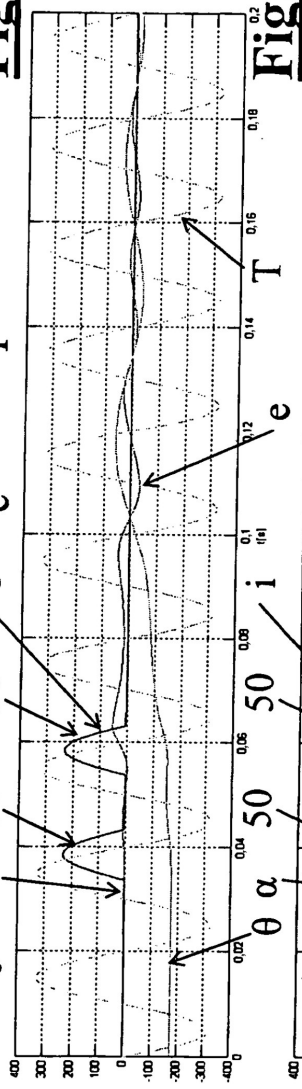
**Fig. 2**



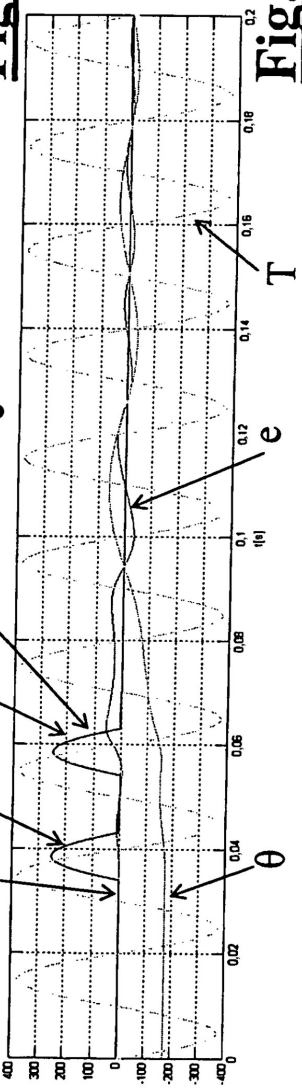
**Fig. 3**



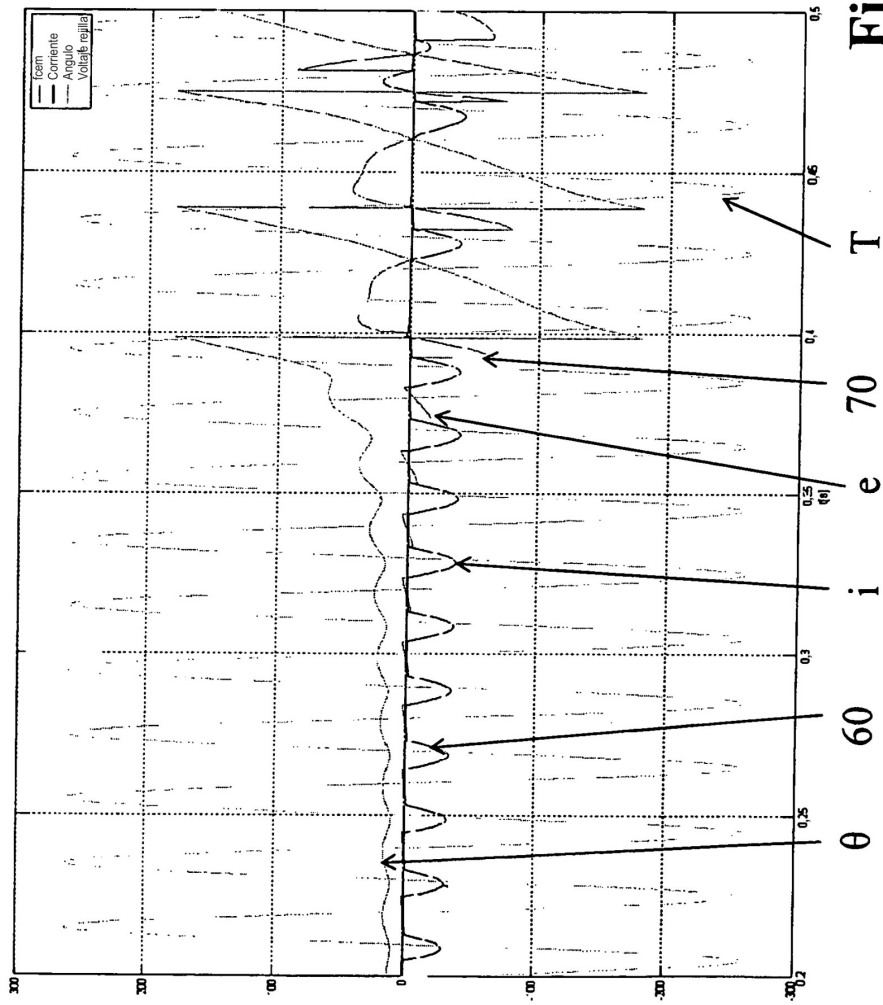
**Fig. 4a**



**Fig. 4b**

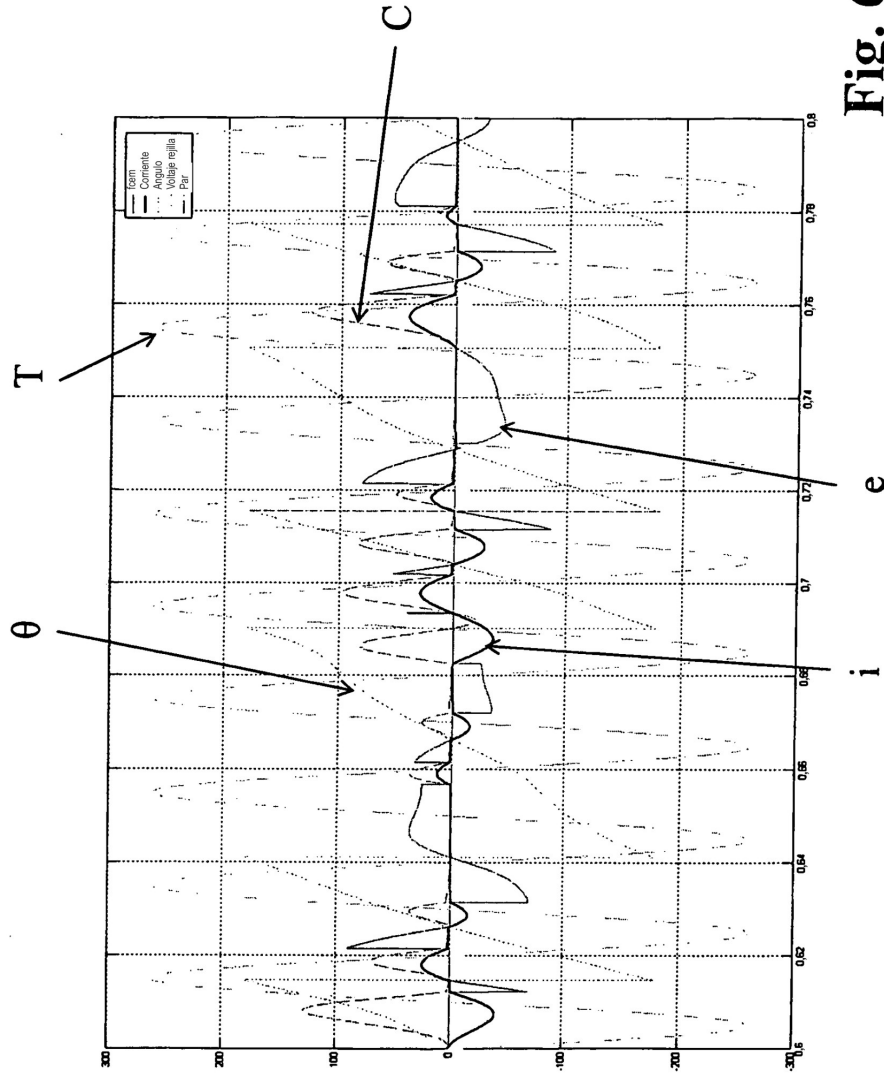


**Fig. 4c**

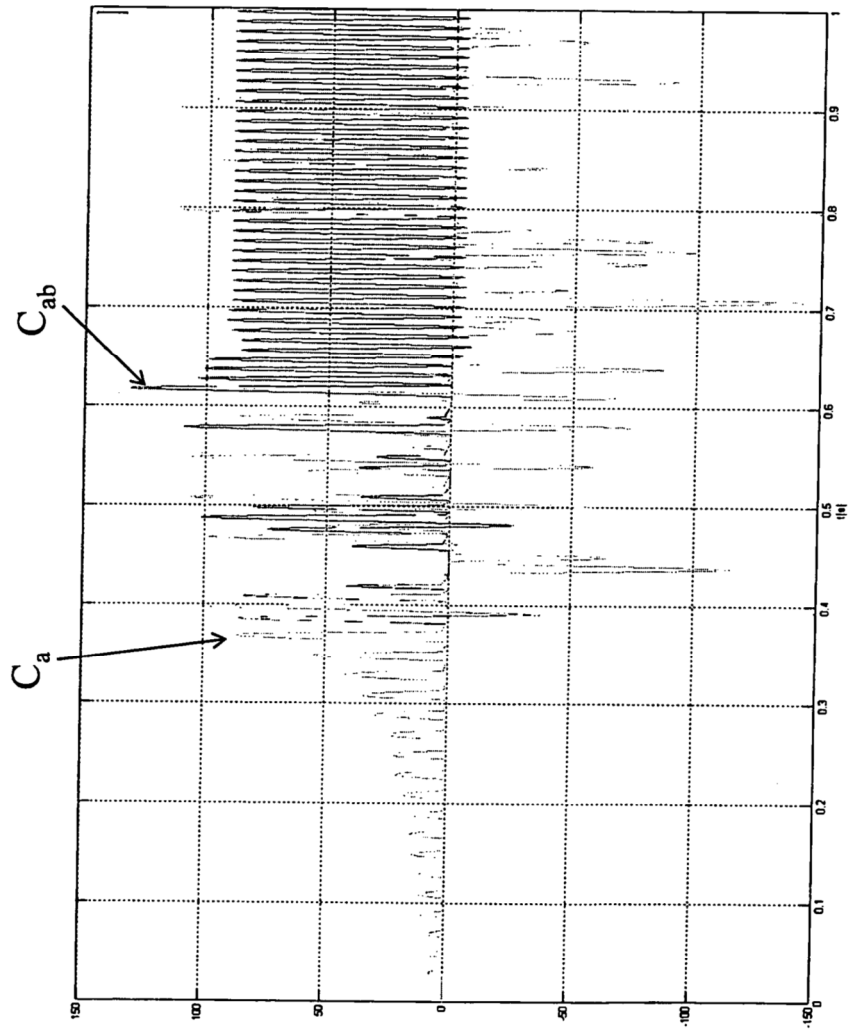


**Fig. 5**

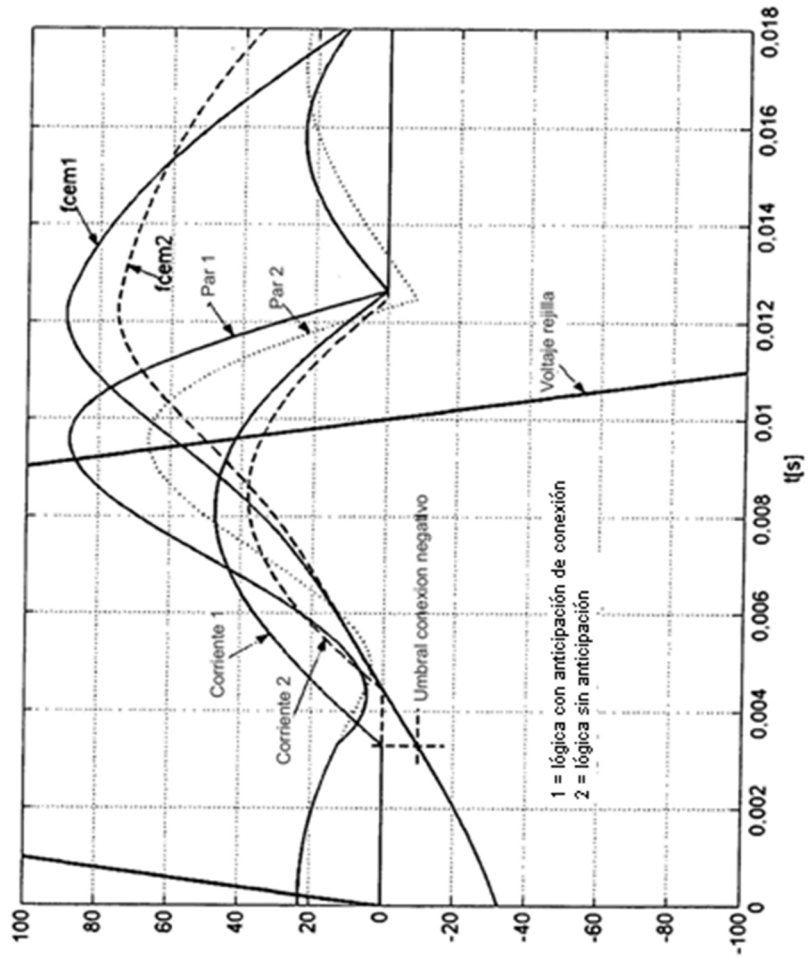




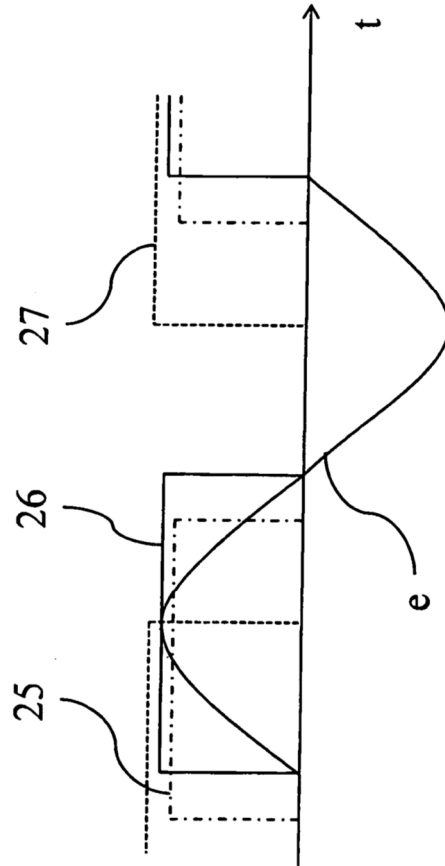
**Fig. 6**



**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**