



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 431**

51 Int. Cl.:  
**H02K 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01996915 .3**

96 Fecha de presentación : **15.11.2001**

97 Número de publicación de la solicitud: **1334546**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.08.2003**

54

Título: **Dispositivo y procedimiento para la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque.**

30

Prioridad: **16.11.2000 DE 100 56 879**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**03.06.2011**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**03.06.2011**

73

Titular/es: **ROBERT BOSCH GmbH**  
**Postfach 30 02 20**  
**70442 Stuttgart, DE**

72

Inventor/es: **Kunz, Olaf;**  
**Froehlich, Gerhard y**  
**Barinberg, Viktor**

74

Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 360 431 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

Dispositivo y procedimiento para la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque

Estado de la técnica

5 La invención parte de un dispositivo y un procedimiento para la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque del tipo de las reivindicaciones independientes. A partir del Artículo "detection of the starting rotor angle of a pmsm at standstill", C. Brunotte, W. Schumacher, EPE/97, páginas 1250 a 1253, se describe un modo de proceder para la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque. A tal fin, se impulsa un motor síncrono excitado con imán permanente con una corriente de forma sinusoidal de 500 Hz. A partir de la corriente que se produce se determina el espectro para la determinación del ángulo eléctrico del rotor. En virtud de los efectos de saturación y de las asimetrías de la curva de la corriente que resultan de ello, se puede determinar la posición del estator del motor síncrono equipado con bobinas frente al rotor equipado con imanes permanentes. Por ejemplo, con la ayuda de una transformación Fast Fourier, a partir de la curva de la corriente medida se determina la coeficiencia de la segunda armónica del espectro. Esta coeficiencia de la segunda armónica es una medida para el ángulo eléctrico del rotor.

10 El cometido de la invención es mejorar el procedimiento descrito al principio para la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque con respecto a la exactitud. Este cometido se soluciona a través de las características de las reivindicaciones independientes 1 y 6.

Ventajas de la invención

20 El procedimiento de acuerdo con la invención y el dispositivo de acuerdo con la invención se caracterizan ahora porque a partir del espectro de la magnitud medida se determinan tanto la onda fundamental (primera armónica) como también la primera onda superior (segunda armónica) y se ponen en relación entre sí como medida para el ángulo del rotor de arranque del motor eléctrico, con preferencia motor síncrono. A este respecto, se ha revelado que es especialmente adecuado, para la determinación del ángulo del rotor de arranque, dividir la primera onda superior por la tercera potencia de la onda fundamental. De esta manera, se pueden tener en cuenta mejor especialmente asimetrías que son atribuibles al tipo de construcción del motor. Esto repercute de manera positiva sobre la exactitud de la determinación del ángulo del rotor de arranque, lo que se puede justificar con la ayuda de las curvas de medición mostradas a continuación.

25 En una configuración alternativa, está previsto impulsar el motor eléctrico con una tensión sinusoidal. El inversor que controla el motor eléctrico funciona de esta manera como generador de tensión. La amplitud y el ángulo de las fases de arranque de la tensión a alimentar se pueden adaptar fácilmente al motor respectivo. La tensión está seleccionada, por una parte, de tal forma que para la detección más fácil del valor de medición, fluye una corriente alta, pero el motor, por otra parte, no es desplazado todavía en movimiento para impedir procesos de arranque indefinidos. La amplitud de la tensión depende con preferencia de la corriente nominal del motor, de la inductividad del motor, o bien de la reactancia de la inductividad del motor. La tensión impresa proporciona señales útiles claramente mejoradas para la evaluación que una corriente impresa.

30 En un desarrollo conveniente está previsto impulsar el motor eléctrico durante un periodo de tiempo determinado con una tensión de forma sinusoidal, pero la magnitud de medición no se puede detectar al mismo tiempo al principio, sino hacia el final del proceso de alimentación para el procesamiento posterior. Si se alimenta el motor eléctrico, por ejemplo, con ocho oscilaciones sinusoidales a 500 Hz, entonces se evalúan solamente los tres últimos periodos de oscilación de la corriente resultante para el análisis espectral, pero no se evalúan, en cambio, las cinco oscilaciones iniciales. A través de la supresión selectiva de procesos de estabilización se puede mejorar todavía la calidad de la medición.

35 En un desarrollo conveniente, está previsto detectar al menos dos veces las magnitudes de medición para la determinación de las amplitudes de la onda fundamental y de la primera onda superior. Durante el segundo proceso de detección se impulsa el motor eléctrico con un ángulo eléctrico diferente de la primera activación. Son necesarias al menos dos mediciones para determinar por cálculo de una manera unívoca el ángulo del rotor de arranque.

40 En un desarrollo conveniente está previsto obtener a partir de al menos tres magnitudes de medición las informaciones espectrales. Puesto que ahora al menos una magnitud de medición no es forzosamente necesaria para la determinación del ángulo del rotor de arranque, se pueden filtrar los valores de medición, por ejemplo, a través del método de los cuadrados mínimos. La calidad de la determinación del ángulo se puede mejorar adicionalmente.

45 En un desarrollo conveniente está previsto un transmisor incremental, que detecta el movimiento del motor. Las señales del transmisor incremental se detectan entre las al menos dos mediciones y se tienen en cuenta para la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque. El ángulo eléctrico del rotor de arranque se puede determinar de esta manera con alta exactitud en el caso de un motor eléctrico que se mueve durante las mediciones.

Otros desarrollos convenientes se deducen a partir de las otras reivindicaciones dependientes y a partir de la descripción.

Dibujo

Un ejemplo de realización se representa en el dibujo y se describe a continuación.

5 La figura 1 muestra un diagrama de bloques de una disposición para la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque, la figura 2 muestra la curva de la primera onda superior I2 de la corriente en función del ángulo eléctrico del rotor de acuerdo con el estado de la técnica, la figura 3 muestra la curva de la primera onda superior dividida por la tercera potencia de la oscilación básica en función del ángulo eléctrico del rotor de acuerdo con el ejemplo de realización –en cada caso frente a la curva sinusoidal de referencia-, la figura 4a muestra la curva en  
10 función del tiempo de la tensión impresa, la figura 4b muestra la curva de la corriente detectada representada en función del tiempo, la figura 5 muestra una representación más exacta de la relación entre la primera onda superior y la tercera potencia de la onda fundamental en función del ángulo eléctrico del rotor así como la figura 6 muestra un diagrama de flujo del procedimiento para la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque.

Descripción del ejemplo de realización

15 La rotación de un motor eléctrico 10 detecta un transmisor incremental 12, cuya señal de transmisión incremental 30 llega a una unidad de evaluación 18. Un inversor 20 genera a partir de una tensión continua de un circuito intermedio de tensión continua, que se prepara por un módulo de alimentación 22 unas tensiones o bien corrientes aproximadamente de forma sinusoidal, con las que se impulsan una primera, una segunda y una tercera fase 24, 26, 28 del motor eléctrico 10. La corriente que fluye a través de la primera fase 24 es detectada por un primer sensor de corriente 14, la corriente que fluye a través de la segunda fase 26 es detectada por un segundo sensor de corriente  
20 16, que son alimentados como primer valor de la corriente 32 y como segundo valor de la corriente 34 a la unidad de evaluación 18. En la unidad de evaluación 18 está dispuesta una memoria 19. La unidad de evaluación 18 controla el inversor 20.

25 Como motor eléctrico 10 se emplea especialmente un motor síncrono excitado con imán permanente. La determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque es necesaria para la activación selectiva del motor 10, para conseguir un movimiento en la dirección de arranque deseada. En el ejemplo de realización, se puede prescindir especialmente de un transmisor del valor absoluto.

30 El modo de proceder para la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque se explica en detalle en conexión con la figura 6. En la etapa 101, la unidad de evaluación 18 recibe una señal de activación correspondiente, para comenzar el procedimiento para la determinación de un ángulo eléctrico del rotor de arranque. En la etapa 103 se calculan la amplitud de la tensión U así como el ángulo de la fase de arranque  $\alpha$  como parámetros para la tensión de forma aproximadamente sinusoidal a imprimir. Los parámetros de la tensión a imprimir como la amplitud  $\hat{U}$  así como el ángulo de la fase de arranque  $\alpha$  se pueden determinar fácilmente en función del  
35 motor 10 activar en cada caso. A tal fin, se recurre a magnitudes características específicas del motor como la corriente máxima  $I_N$ , la inductividad del arrollamiento del motor L así como la resistencia del motor r. Estas magnitudes características específicas del motor L, r,  $I_N$  podrían depositarse, por ejemplo, en la memoria 19 o en una placa electrónica del tipo en el motor y se podrían transmitir en combinación con el proceso de arranque, etapa 101, hacia la unidad de evaluación 18. La unidad de evaluación 18 calcula a partir de las magnitudes características específicas del motor L, r,  $I_N$  la amplitud de la tensión  $\hat{U}$ , por ejemplo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$40 \quad \hat{U} = \sqrt{2} \ I_N \cdot \sqrt{r^2 + (L \cdot \omega)^2},$$

en la que  $\omega$  es la frecuencia del circuito  $2 \pi f$  con una oscilación de, por ejemplo,  $f = 500$  Hz.

El ángulo de la fase de arranque  $\alpha$  se calcula de acuerdo con la fórmula:

$$\alpha = \arctan \left( \frac{\omega L}{r} \right).$$

45 Este ángulo de la fase de arranque  $\alpha$  indica en qué ángulo  $\alpha$  debe iniciarse la tensión de forma sinusoidal a imprimir para reducir al mínimo procesos de estabilización, como se indica a modo de ejemplo en la figura 4a. El dimensionado mencionado a modo de ejemplo de la tensión U a imprimir conduce, por una parte, a una corriente i relativamente alta, que no induce, sin embargo, por otra parte, todavía a un movimiento del motor 10. Una impresión de una amplitud de la tensión  $\hat{U}$  relativamente grande asegura, en efecto, que se alcance la zona de saturación del hierro, en la que aparecen las no linealidades a evaluar. No obstante, por otra parte, la tensión U está dimensionada  
50 de tal forma que no se excede, en general, la corriente máxima  $I_N$  del motor. La evaluación se puede realizar de

manera especialmente sencilla a través de la impresión de una tensión U, puesto que están presentes los sensores de corriente necesarios. Por otra parte, se podría realizar el principio de medición, como ya se ha descrito en el estado de la técnica, también con una corriente a imprimir.

5 La unidad de evaluación 18 controla ahora el inversor 20, de tal manera que éste emite una tensión sinusoidal U, por ejemplo, de la frecuencia 500 Hz con la amplitud  $\hat{U}$  y al ángulo de la fase de arranque  $\alpha$ . Durante la primera activación según la etapa 105 se impulsa, por ejemplo, la primera fase 24 con la tensión sinusoidal mostrada en la figura 4a, mientras que la segunda y la tercera fase 26, 28 son alimentadas en cada caso con valores de la tensión invertidos con respecto a ella. Esta activación según la etapa 105 se mantiene, por ejemplo, durante ocho oscilaciones sinusoidales. El periodo de tiempo de activación se puede seleccionar, en principio, de tal forma que los tiempos de medición para la medición de la corriente siguiente se encuentran fuera de los procesos de estabilización. De acuerdo con la figura 4, se parte de que los procesos de estabilización se han atenuado después de cinco duraciones periódicas de la tensión impresa U hasta el punto de que en las tres duraciones periódicas restantes dentro del tiempo de medición  $t_m$  se pueden recibir la curva de la corriente i que se ajusta.

15 La curva de la corriente i que se muestra en la figura 4b y que se deduce a partir de la tensión impresa U es explorada, dado el caso, por ejemplo, por el primer sensor de corriente 14, detectada y transmitida a la unidad de evaluación 18. Además, la unidad de evaluación 18 detecta la señal del transmisor incremental 30 con un valor inicial  $\beta_1$  correspondiente. Éste sirve especialmente para la consideración de un motor 10 que se mueve de manera posible entre las dos mediciones (etapa 107, etapa 111). La unidad de evaluación 18 determina a partir de la curva de la corriente i detectada, como se representa por ejemplo en la figura 4b, el espectro, en particular la amplitud de la oscilación básica I1 así como la amplitud de la onda superior I2 del espectro correspondiente de la corriente. Por oscilación básica se entiende la frecuencia de excitación de la tensión U a imprimir, por ejemplo 500 Hz; por primera onda superior se entiende el doble de la frecuencia de excitación ( $2 \cdot 500$  Hz). Esto se puede realizar, por ejemplo, con la ayuda de la transformación Fast-Fourier conocida o con los algoritmos descritos en el estado de la técnica. De ello resulta un primer valor P1, cuando se aplica la fórmula siguiente:

$$25 \quad I = I_2 : (I_1)^3,$$

en la que I1 es la onda fundamental, I2 es la primera onda superior de la curva de la corriente i.

La determinación unívoca de una curva sinusoidal según la figura 5 requiere todavía una segunda medición, a partir de cuya evaluación se obtiene el segundo punto P2.

30 Esta segunda activación de acuerdo con la etapa 109 se realiza ahora, por ejemplo, con un ángulo de campo diferente con respecto a la primera medición, por ejemplo de  $120^\circ$ . La tensión sinusoidal a imprimir contiene los parámetros  $\hat{U}$ ,  $\alpha$  calculados en la etapa 103. No obstante, ahora se impulsa la segunda fase 26 con la tensión sinusoidal mostrada en la figura 4a, mientras que la primera y la tercera fases 26, 28 son activadas con la tensión invertida con respecto a ella, para obtener un ángulo de campo conocido modificado con respecto a la primera activación (etapa 105) (por ejemplo con la activación descrita de  $120^\circ$ ). De nuevo, se detecta la curva de la corriente i resultante de los tres últimos periodos  $t_m$ . De acuerdo con el análisis espectral, se divide de nuevo la segunda onda superior I2 por la tercera potencia de la onda fundamental I1, de manera que resulta el segundo punto P2. Con la ayuda de la señal del transmisor incremental 30 está disponible ahora también el ángulo del transmisor incremental  $\beta_2$  en el instante de la segunda medición (etapa 111).

40 En la evaluación siguiente de acuerdo con la etapa 113 debe calcularse ahora el ángulo eléctrico del rotor de arranque  $\delta$ . Solamente a partir de la primera medición (etapa 107) se conoce el primer punto P1 así como el primer ángulo del transmisor incremental  $\beta_1$  así como a partir de la segunda medición (etapa 111) se conoce el segundo punto P2 así como el segundo ángulo del transmisor incremental  $\beta_2$ . Además, se conoce de forma aproximada que el ángulo eléctrico del rotor 9 adopta una curva de forma sinusoidal. Esto se muestra a modo de ejemplo en la figura 3. Aquí se han representado diferentes relaciones de la primera oscilación superior I2 divididas por la tercera potencia de la oscilación básica I1, en función del ángulo eléctrico del rotor  $\varphi$ . Se puede reconocer una curva de forma sinusoidal claramente mejorada frente al método de cálculo de acuerdo con el estado de la técnica (figura 2), en el que solamente se ha utilizado la segunda onda superior I2 como medida para el ángulo eléctrico  $\varphi$ . El ángulo eléctrico del rotor de arranque  $\delta$  se puede calcular ahora numéricamente con la ayuda de los siguientes sistemas de ecuaciones:

$$50 \quad \delta = \arctan \frac{b}{a}$$

$$P1 = a \cdot \sin \beta_1 + b \cdot \cos \beta_1$$

$$P2 = a \cdot \sin(\beta 2 - 120^\circ) + b \cdot \cos(\beta 2 - 120^\circ),$$

en las que  $P1 = (I21) : (I11)^3$ ,  $P2 = (I22) : (I12)^3$ ,

5 en las que I11 es la onda fundamental de la curva de la corriente i a partir de la primera medición (etapa 107), I21 es la segunda onda superior a partir de la curva de la corriente i de la primera medición (etapa 107), I12 es la onda fundamental de la curva de la corriente i a partir de la segunda medición (etapa 111), I22 es la segunda onda superior de la curva de la corriente i de la segunda medición (etapa 111).

El sistema de ecuaciones anterior con tres incógnitas y tres ecuaciones se puede resolver de manera unívoca. Con el ángulo eléctrico del rotor de arranque  $\delta$  conocida ahora es posible una activación selectiva del motor 10 con vistas al sentido de arranque deseado.

10 En una configuración alternativa está previsto realizar, adicionalmente a las activaciones y mediciones de las etapas 105, 107; 109, 111, todavía una tercera activación con detección correspondiente. En la tercera activación se activa el motor 10 desplazados otros  $120^\circ$ , es decir, que la tercera fase 28 es impulsada con una tensión de forma sinusoidal mostrada a modo de ejemplo en la figura 4a, en cambio la primera y la segunda fases 24, 26 son impulsadas con una tensión invertida con respecto a ella. A continuación se detecta la curva de la corriente  
15 resultante en la tercera fase 28 así como la señal de salida del transmisor incremental 12,  $\beta 3$ . De manera coincidente, el tercer punto P3 se forma a partir de la relación de la primera onda superior I1 dividida por la tercera potencia de la onda fundamental I1. Por lo tanto, ahora están disponibles tres puntos P1, P2, P3, que deben estar presentes aproximadamente sobre una curva sinusoidal. Esta curva sinusoidal se determina utilizando los tres  
20 puntos así como las tres señales de transmisores incrementales  $\beta 1$ ,  $\beta 2$ ,  $\beta 3$ , por ejemplo de acuerdo con el método de los cuadrados mínimos. A partir de ello se determina el ángulo de rotor de arranque  $\delta$ .

El desarrollo de las curvas de la tensión de excitación no tiene que ser necesariamente de forma sinusoidal, es suficiente una oscilación periódica para calcular la onda fundamental y la primera onda superior de la magnitud de medición detectada.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación de un ángulo eléctrico del rotor de arranque de un motor eléctrico con las siguientes etapas:

5 impulsión del motor eléctrico (10) con una magnitud eléctrica periódica (U),  
 detección de una primera curva correspondiente de una magnitud de medición,  
 cálculo de una primera relación (P1) de una medida de una onda fundamental (I1) y de una medida de una  
 primera onda superior (I2) a partir del espectro de la primera curva de la magnitud de medición (i), de  
 manera que la primera onda superior (I2) está dividida por la tercera potencia de la onda fundamental (I1),  
 nueva impulsión del motor eléctrico (10) con una magnitud eléctrica periódica (U),  
 10 detección de una segunda curva correspondiente de la magnitud de medición (i),  
 determinación de una segunda relación (P2) de una medida de una onda fundamental (I1) y de una medida  
 de una primera onda superior (I2) a partir del espectro de la segunda curva de la magnitud de medición (i),  
 en el que la primera onda superior (I2) se divide por la tercera potencia de la onda fundamental (I1),  
 15 determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque ( $\delta$ ) sobre la base de la primera relación (P1) y de la  
 segunda relación (P2).

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el motor eléctrico (10) es impulsado con una tensión  
 periódica (U) como magnitud eléctrica periódica (U) y se calcula una curva de la corriente (i) como curva de la  
 magnitud de medición.

20 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque la amplitud ( $\hat{U}$ ) así como el ángulo de la  
 fase de arranque ( $\alpha$ ) a una tensión (U) aproximadamente sinusoidal se determinan en función de al menos una  
 magnitud característica específica del motor (IN, L, r).

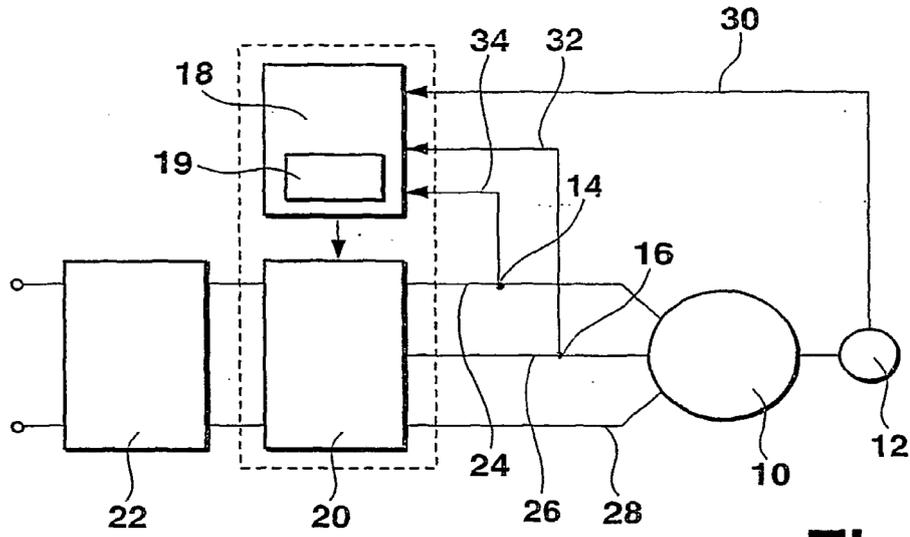
25 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la magnitud eléctrica  
 (U), que impulsa el motor eléctrico (10), se forma en función de al menos una magnitud característica específica del  
 motor (IN, L, r).

30 5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el motor eléctrico (10)  
 es impulsado durante un periodo de tiempo predeterminado con una magnitud eléctrica periódica (U), de manera  
 que la magnitud de medición (i) es detectada en un intervalo de medición ( $t_m$ ) reducido con respecto al tiempo de  
 activación.

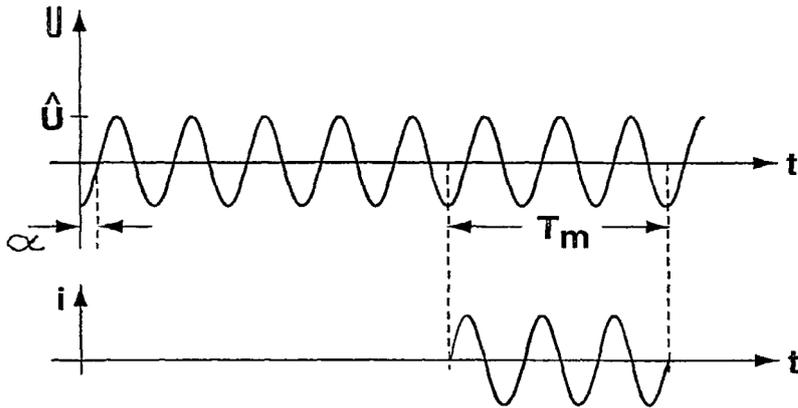
35 6. Dispositivo para la determinación de un ángulo eléctrico del rotor de arranque de un motor eléctrico, con una  
 detección de señales (18), que genera una señal de activación para un inversor (20), al que se alimenta al menos  
 una señal de salida (32, 34) de al menos un sensor (14, 16), que calcula a partir de una magnitud de medición (i)  
 detectada para la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque ( $\delta$ ) al menos la primera onda superior (I2),  
 caracterizado porque para la determinación del ángulo del rotor de arranque ( $\delta$ ), la unidad de evaluación (18)  
 determina también la onda fundamental (I1) de la magnitud de medición (i) y una primera (P1) y una segunda (P2)  
 40 relación de una medida de la onda fundamental (I1) y de una medida de la primera onda superior (I2), en el que la  
 unidad de evaluación (18) divide la primera onda superior (I2) por la tercera potencia de la onda fundamental (I1) y  
 determina el ángulo del rotor de arranque ( $\delta$ ) sobre la base de la primera relación (P1) y de la segunda relación (P2).

45 7. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación anterior, caracterizado porque están previstos medios de evaluación  
 (18), que determinan a partir de al menos una magnitud característica del motor (IN, L, r) al menos una amplitud ( $\hat{U}$ )  
 y/o un ángulo de la fase de arranque ( $\alpha$ ) de una magnitud eléctrica (U), con la que se activa el motor eléctrico.

50 8. Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 6 ó 7, caracterizado porque la unidad de evaluación (18)  
 evalúa una señal del transmisor incremental (30), para tener en cuenta un movimiento intermedio del motor (10)  
 durante la determinación del ángulo eléctrico del rotor de arranque ( $\delta$ ).

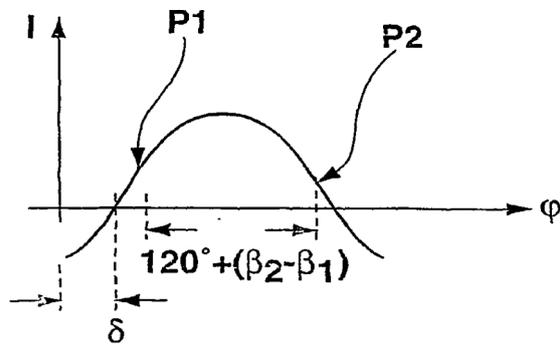


**Fig.1**

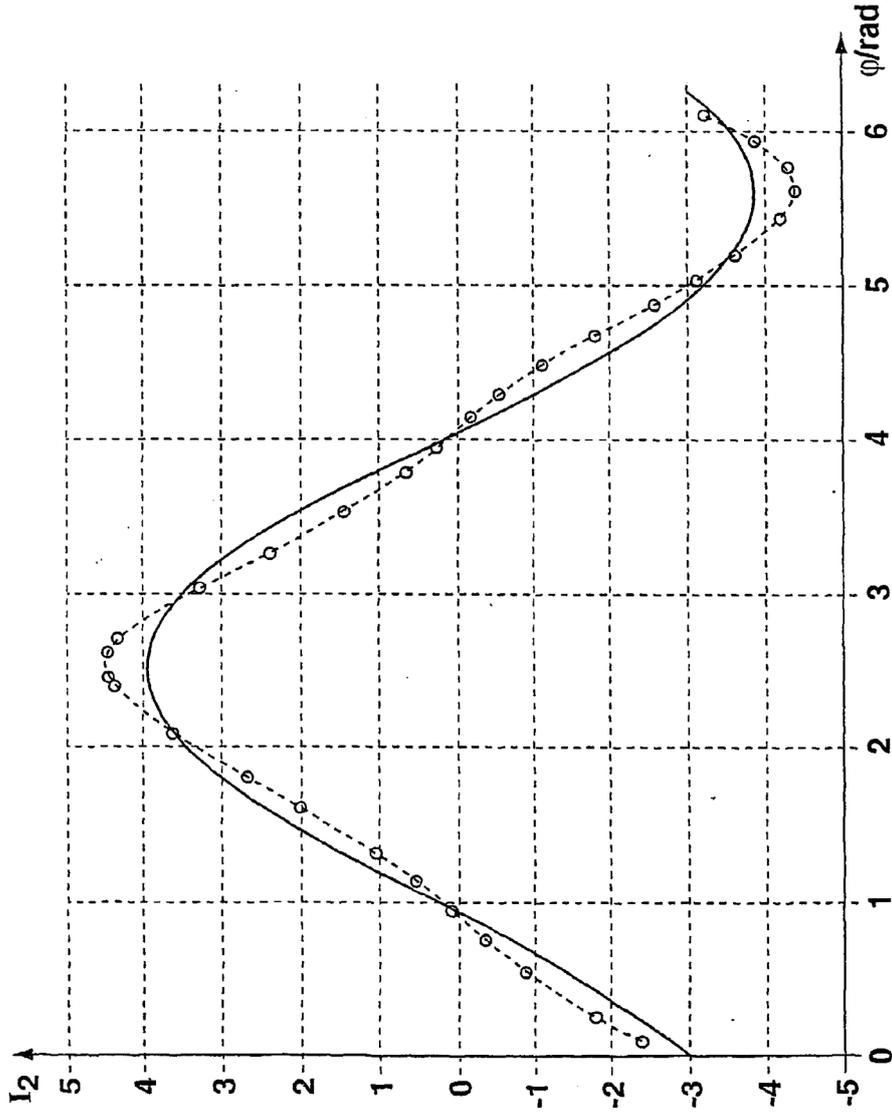


**Fig.4a**

**Fig.4b**



**Fig.5**



**Fig. 2**

(ESTADO DE LA TÉCNICA)

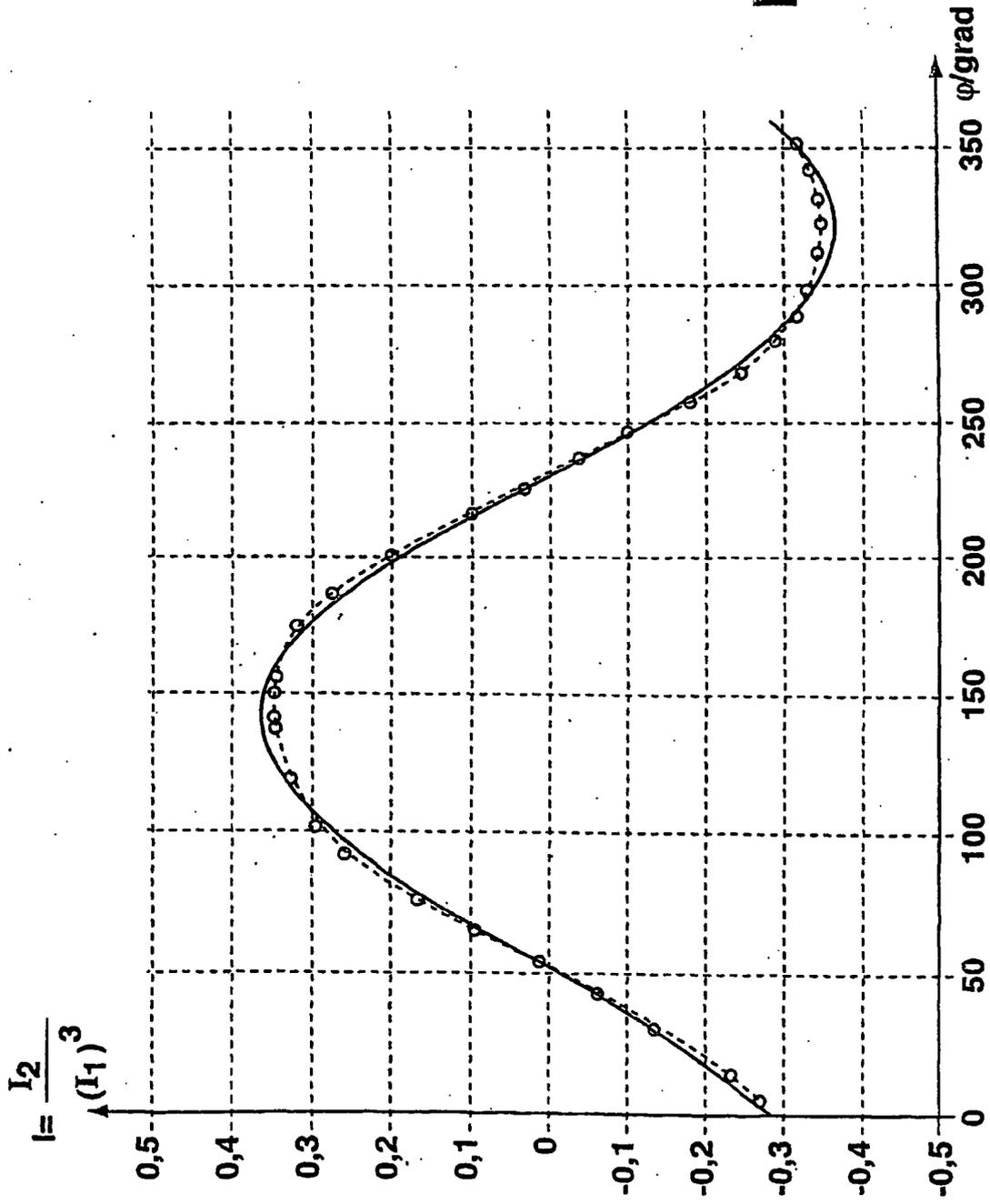
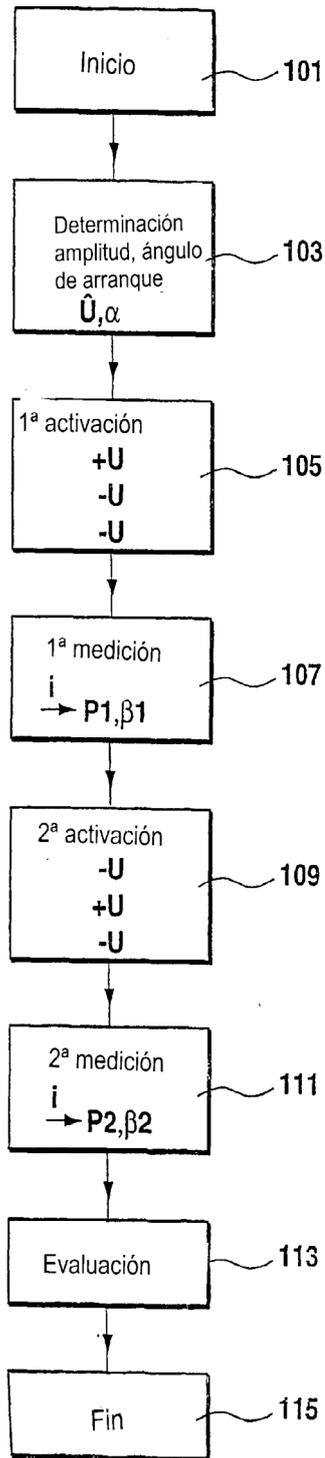


Fig. 3



**Fig.6**