



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 305 959**

(51) Int. Cl.:

F01L 1/34 (2006.01)

F01L 1/344 (2006.01)

F02D 13/02 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **05016634 .7**

(86) Fecha de presentación : **30.07.2005**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1630363**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **01.03.2006**

(54) Título: **Procedimiento para determinar la posición angular de giro del árbol de levas de un motor de combustión de pistones alternativos con relación al cigüeñal.**

(30) Prioridad: **28.08.2004 DE 10 2004 041 712**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.11.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.11.2008

(73) Titular/es: **LuK Lamellen und Kupplungsbau
Beteiligungs KG.
Industriestrasse 3
77815 Bühl, DE**

(72) Inventor/es: **Stork, Holger;
Dell, Heiko y
Nguyen, Minh Nam**

(74) Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

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 determinar la posición angular de giro del árbol de levas de un motor de combustión de pistones alternativos con relación al cigüeñal.

5

La invención se refiere a un procedimiento para determinar la posición angular de giro del árbol de levas de un motor de combustión de pistones alternativos con relación al cigüeñal, en donde el cigüeñal está en unión de accionamiento con el árbol de levas a través de un engranaje de regulación que está construido como un engranaje de tres árboles con un árbol de accionamiento solidario del cigüeñal, un árbol accionado solidario del árbol de levas y un árbol de regulación que está en unión de accionamiento con un motor de regulación, en donde se capta para al menos un instante de medida del cigüeñal un valor de medida para el ángulo de giro del cigüeñal, en donde se captan digitalmente para al menos dos instantes de medida del árbol de regulación sendos valores de medida para el ángulo de giro del árbol de regulación y en donde se determina para al menos un instante de referencia que se presenta después de los instantes de medida del cigüeñal y del árbol de regulación, con ayuda de al menos un valor de medida del ángulo de giro del cigüeñal, al menos un valor de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y una magnitud característica del engranaje de tres árboles, un valor para la posición angular de giro del árbol de levas con relación al cigüeñal.

Se conoce por la práctica un procedimiento de esta clase (véase, por ejemplo, el documento DE 103 15 317 A1). Está previsto aquí como engranaje de regulación un engranaje planetario con cuyo árbol de accionamiento está unida solidariamente en rotación una rueda dentada del árbol de levas montada de forma giratoria con relación a dicho árbol de levas, la cual está en unión de accionamiento con una rueda dentada del cigüeñal a través de una cadena de accionamiento. Un árbol accionado del engranaje de regulación está en unión de accionamiento con el árbol de levas y un árbol de regulación está en unión de accionamiento con un motor de regulación. Estando parado el árbol de accionamiento, se presenta entre el árbol de regulación y el árbol accionado una multiplicación de engranaje prefijada por el engranaje de regulación, o sea, la llamada multiplicación de engranaje de estacionamiento. Cuando gira el árbol de regulación, aumenta o disminuye la multiplicación de engranaje entre el árbol de accionamiento y el árbol accionado en función de la dirección de giro del árbol de regulación con relación a la rueda dentada del árbol de levas, con lo que se modifica la posición de fase del árbol de levas con relación al cigüeñal. En comparación con un procedimiento en el que se hace funcionar el motor de combustión con una posición de fase constante, se puede conseguir un mejor llenado de los cilindros del motor de combustión por medio de la adaptación de la posición de fase, con lo que se puede ahorrar carburante, reducir la expulsión de contaminantes y/o aumentar la potencia de salida del motor de combustión. Para regular la posición de fase conforme a una señal de valor nominal, se miden primero los ángulos de giro del cigüeñal y del árbol de regulación con ayuda de sensores inductivos y se determina luego, con ayuda de la multiplicación de engranaje de estacionamiento conocida, una señal de valor real para la posición de fase del árbol de levas con relación al cigüeñal. En un instante de referencia se dispara en un aparato de control electrónico basado en un microprocesador una interrupción en la que se ingresa el valor de medida para el ángulo de giro del árbol de regulación en un dispositivo de regulación y se compara este valor con una señal de valor nominal habilitada. Cuando se presenta una desviación entre el valor de medida y la señal de valor nominal, el dispositivo de regulación activa el motor EC de tal manera que se reduzca la desviación. La medición del ángulo de giro del árbol de regulación se realiza con ayuda de sensores de campo magnético que detectan digitalmente la posición de segmentos magnéticos dispuestos en el perímetro del rotor del motor EC. Sin embargo, debido a la digitalización de los valores de medida y al instante de referencia que se desvía de los instantes de medida del árbol de regulación, se producen inexactitudes de medida que conducen a que la posición angular de giro relativa medida del árbol de levas realice una oscilación en forma de dientes de sierra alrededor de la posición angular de giro real. Esto repercute desventajosamente sobre la exactitud de la regulación y, además, tiene también como consecuencia una absorción incrementada de energía del motor EC.

Por tanto, existe el problema de crear un procedimiento de la clase citada al principio que haga posible una determinación exacta de la posición angular de giro del árbol de levas con relación al cigüeñal.

Este problema se resuelve por el hecho de que a partir de al menos dos valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación, la diferencia de tiempo entre los instantes de medida del árbol de regulación y la distancia en tiempo entre el último instante de medida del árbol de regulación y el instante de referencia se extrapola un valor estimativo para el ángulo de giro que presenta el árbol de regulación en el instante de referencia, y porque, con ayuda del valor estimativo, el al menos un valor de medida del ángulo de giro del cigüeñal y la magnitud característica del engranaje, se determina el valor para la posición angular de giro.

Por tanto, se incrementa de manera ventajosa la exactitud de los valores para la posición de fase estimando el ángulo en que ha seguido girando el árbol de regulación entre el último instante de medida de dicho árbol de regulación y el respectivo instante de referencia actual y teniendo en cuenta dicho ángulo al establecer los valores para la posición de fase. La amplitud de la oscilación en forma de dientes de sierra que realiza la evolución medida del ángulo de giro del árbol de regulación alrededor de la evolución real del ángulo de giro del árbol de regulación se reduce así de manera correspondiente. El procedimiento según la invención hace así posibles una alta precisión para la determinación de la posición de fase y una pequeña absorción de energía del motor de regulación.

En una forma de realización preferida de la invención se obtiene al menos para el respectivo último instante de medida del árbol de regulación un valor para la velocidad angular del árbol de regulación, determinándose el valor

estimativo para el ángulo de giro que presenta el árbol de regulación en el instante de referencia a partir del último valor de medida del ángulo de giro del árbol de regulación, la diferencia de tiempo entre el instante de referencia y el último instante de medida del árbol de regulación y el valor de la velocidad angular. Por tanto, el valor de medida del ángulo de giro del árbol de regulación en el instante de referencia se obtiene por interpolación lineal a partir del respectivo
 5 último valor de medida del ángulo de giro del árbol de regulación con ayuda del valor de la velocidad angular. El valor de la velocidad angular puede calcularse a partir de la diferencia angular de los dos valores de velocidad angular últimamente medidos y la diferencia de tiempo entre los instantes de medida asociados a estos valores de velocidad angular.

10 En una forma de realización ventajosa de la invención el motor de regulación es un motor EC que tiene un estator con un devanado y un rotor unido solidariamente en rotación con el árbol de regulación, en cuyo rotor están dispuestos unos segmentos magnéticos decalados uno respecto de otro en dirección periférica y magnetizados alternativamente en direcciones mutuamente opuestas, los cuales tienen tolerancias respecto de su posicionamiento y/o sus dimensiones, detectándose la posición de los segmentos magnéticos con relación al estator para captar los valores de medida
 15 del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los valores de la velocidad angular, captándose al menos un valor de corrección para compensar la influencia de al menos una tolerancia sobre los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y corrigiéndose los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los valores de la velocidad angular con ayuda del valor de corrección. Esta forma de realización se basa en el conocimiento de que cuando se efectúa un movimiento múltiple de un segmento magnético afectado de tolerancia del rotor por delante de
 20 un sensor magnético dispuesto en posición estacionaria con relación al rotor, la señal de medida de posición detectada con ayuda del sensor magnético para el segmento magnético correspondiente en cada pasada por el sensor magnético presenta siempre el mismo error condicionado por la tolerancia del sensor magnético. Este error se establece por medición o de otra manera para determinar después un valor de corrección con el cual se corrigen en un instante posterior los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación cuando el segmento magnético correspondiente pase
 25 de nuevo por el sensor de campo magnético. Por tanto, se puede corregir de manera sencilla en la señal de número de revoluciones una inexactitud de medida provocada por una tolerancia de un segmento magnético. Es así incluso posible realizar la corrección en línea en el respectivo valor de número de revoluciones actualmente medido, sin que se presente un retardo de tiempo entre el valor de número de revoluciones corregido y el valor de número de revoluciones no corregido.

30 Es ventajoso que se detecte la posición de los segmentos magnéticos con ayuda de un equipo de medida que presente en el estator varios sensores de campo magnético que estén decalados uno respecto de otro en la dirección periférica del estator de tal manera que por cada revolución del rotor con relación al estator se recorra una pluralidad de combinaciones de segmento magnético-sensor y que para cada una de estas combinaciones de segmento magnético-sensor se obtenga un respectivo valor de corrección, se almacene éste y se le emplee para corregir los valores de
 35 medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los valores de la velocidad angular. La posición de fase del árbol de levas con relación al cigüeñal puede ajustarse entonces con una precisión aún mayor. El número de combinaciones de segmento magnético-sensor corresponde preferiblemente al producto del número de sensores de campo magnético y el número de polos magnéticos del rotor.

40 En una ejecución preferida de la invención se hace que gire el rotor con relación al estator de tal manera que se recorra una pluralidad de combinaciones de segmento magnético-sensor, captándose con ayuda del equipo de medida, para estas combinaciones de segmento magnético-sensor, unos primeros valores de medida no corregidos del ángulo de giro del árbol de regulación y/o unos primeros valores no corregidos de la velocidad angular, captándose, además,
 45 valores de referencia para el ángulo de giro del árbol de regulación y/o la velocidad angular que presentan una mayor exactitud que los primeros valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los primeros valores de la velocidad angular, determinándose los valores de corrección como factores de corrección con ayuda de los primeros valores de medida no corregidos del ángulo de giro del árbol de regulación y/o de los primeros valores no corregidos de la velocidad angular, recorriéndose de nuevo las combinaciones de segmento magnético-sensor asociadas a los
 50 primeros valores de medida no corregidos del ángulo de giro del árbol de regulación y/o a los primeros valores no corregidos de la velocidad angular, y captándose entonces con ayuda del equipo de medida unos segundos valores de medida no corregidos del ángulo de giro del árbol de regulación y/o unos segundos valores no corregidos de la velocidad angular, y corrigiéndose estos valores con ayuda de los factores de corrección previamente obtenidos. Por tanto, los valores de corrección se obtienen en forma de factores de corrección, con lo que es posible una corrección de
 55 los errores de medida ocasionados por las tolerancias del segmento magnético a números de revoluciones diferentes. La señal de referencia puede ser una señal de medida que sea captada, por ejemplo, durante la fabricación del motor EC con ayuda de un equipo de medida de posición adicional. La señal de referencia puede ser también una señal de número de revoluciones y/o una señal de aceleración integrada encima de un árbol que está acoplado con el motor EC.

60 En una ejecución conveniente de la invención se forman los valores de referencia alisando por filtrado los primeros valores de medida no corregidos del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los primeros valores no corregidos de la velocidad angular. Se puede economizar así un sensor adicional para medir la señal de referencia.

65 Es ventajoso que se haga que gire el rotor con relación al estator de tal manera que se presenten al menos dos veces las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor, que se obtengan entonces para las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor sendos factores de corrección para los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o para los valores de la velocidad angular, que se formen sendos valores medios a partir de los factores de corrección obtenidos para las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor y que se almacenen los va-

ES 2 305 959 T3

lores medios así obtenidos como nuevos factores de corrección y se corrijan los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los valores de la velocidad angular, durante un nuevo recorrido de las combinaciones de segmento magnético-sensor, con ayuda de estos factores de corrección. Las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor se recorren aquí preferiblemente con la mayor frecuencia posible, lo que es factible sin problemas en un motor EC para una regulación electrónica del árbol de levas, ya que éste gira continuamente durante el funcionamiento del motor de combustión.

En una forma de realización de la invención se forma como valor medio el respectivo valor medio aritmético. En este caso, todos los factores de corrección empleados para la formación del valor medio intervienen con el mismo peso en el valor medio.

En una forma de realización preferida de la invención se forma como valor medio un respectivo valor medio flotante, preferiblemente de tal manera que el peso con el que intervienen los factores de corrección en el valor medio disminuya al aumentar la antigüedad de los factores de corrección. Por tanto, los factores de corrección nuevos se tienen más en cuenta en el valor medio que los factores de corrección que están asociados a un instante situado más atrás. Si se presenta alguna vez un error que conduzca a que no se reconozca una combinación de segmento magnético-sensor y se asignen así los factores de corrección ya obtenidos a los segmentos magnéticos falsos, la asignación falsa de factores de corrección repercute sólo por breve tiempo sobre la corrección de la señal de número de revoluciones, es decir que los factores de corrección falsos son "olvidados" con relativa rapidez.

Es ventajoso que los valores medios flotantes $F_{\text{Nuevo}}[i(t-T)]$ para las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor se determinen cíclicamente según la fórmula $F_{\text{Nuevo}}[i(t-T)] = \lambda F_{\text{Viejo}}[i(t-T)] + (1-\lambda)F[i(t-T)]$, en donde significan i un índice identificador de la respectiva combinación de segmento magnético-sensor, t el tiempo, T un tiempo de retardo entre la velocidad angular real y los valores de velocidad angular medidos, $F_{\text{Viejo}}[i(t-T)]$ el valor medio obtenido en la última formación de valor medio en el índice i , y λ un factor de olvido que es mayor que cero y menor que 1 y que preferiblemente está en el intervalo comprendido entre 0,7 y 0,9. Esta formación de valor medio es perfectamente adecuada para un cálculo en línea. El tiempo T depende del número de revoluciones y disminuye al aumentar el número de revoluciones (sistema controlado por evento).

En una forma de realización ventajosa de la invención se ha previsto que

- a) el rotor gire con relación al estator y se obtengan y almacenen los factores de corrección para las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor,
- b) se recorran de nuevo seguidamente las combinaciones de segmento magnético-sensor correspondientes, obteniéndose un juego de nuevos factores de corrección,
- c) se permuten cíclicamente los factores de corrección del juego viejo de factores de corrección con relación a los del juego nuevo de factores de corrección y se comparen seguidamente los juegos de factores de corrección uno con otro,
- d) se repita el paso c) hasta que todas las combinaciones de permutación del juego viejo de factores de corrección se hayan comparado con el juego nuevo de factores de corrección,
- e) se obtenga la combinación de permutación en la que aparece una coincidencia máxima con el nuevo juego de factores de corrección, y
- f) se corrijan los valores de la velocidad angular con la disposición de los valores de corrección del juego viejo de factores de corrección asignada a esta combinación de permutación.

Se puede restablecer de esta manera la asignación de los factores de corrección a los segmentos magnéticos en caso de que ésta haya sido modificada involuntariamente, por ejemplo a consecuencia de una perturbación de la señal de medida. Por tanto, los factores de corrección ya obtenidos pueden seguirse utilizando también después de la aparición de la perturbación. Se puede economizar así un indicativo en el rotor del motor EC que haga posible una medición absoluta de la posición del rotor con relación al estator. Sin embargo, el procedimiento puede emplearse también de manera ventajosa después de la reconexión del motor EC para asignar factores de corrección - que se hayan obtenido durante una fase de conexión anterior del motor EC y se hayan archivado en una memoria no volátil - a las combinaciones de segmento magnético-sensor para las cuales se obtuvieron aquéllos durante la fase de conexión anterior.

Eventualmente, los factores de corrección pueden obtenerse también en condiciones ideales durante la fabricación del motor EC, preferiblemente en un estadio final de la fabricación.

Es ventajoso que se formen sendos valores medios a partir de los respectivos factores de corrección del juego viejo de factores de corrección y del juego nuevo de factores de corrección que están asignados uno a otro en la combinación de permutación en la que aparece una coincidencia máxima entre los juegos de factores de corrección, y que se almacenen dichos valores medios como nuevos factores de corrección, y que se corrijan los valores de la velocidad angular con el juego de factores de corrección obtenido por esta formación de valor medio. Por tanto, se

ES 2 305 959 T3

tienen en cuenta tanto los factores de corrección del primer juego de datos como los del segundo juego de datos para la corrección de los valores de la velocidad angular.

En una forma de realización preferida de la invención se ha previsto que

- a) se haga que gire el rotor con relación al estator de tal manera que se recorran al menos una vez todas las combinaciones de segmento magnético-sensor,
- b) se genere entonces una señal de medida de posición de los sensores de campo magnético de tal manera que por cada revolución del motor EC se recorra para cada par de polos del rotor un respectivo número de estados de señal de medida,
- c) se obtenga y almacene un primer juego de datos con un número de combinaciones de valores correspondiente al número de combinaciones de segmento magnético-sensor, constando cada una de estas combinaciones de valores al menos de un factor de corrección para la combinación de segmento magnético-sensor correspondiente y un estado de señal de medida asignado a esta combinación,
- d) se recorran de nuevo seguidamente las combinaciones de segmento magnético-sensor correspondientes, obteniéndose y almacenándose un nuevo segundo juego de datos con combinaciones de valores,
- e) en caso de una desviación entre los estados de señal de medida del primer juego de datos y los del segundo juego de datos, se desplacen cíclicamente las combinaciones de valores del primer juego de datos con relación a las del segundo juego de datos de tal manera que coincidan los estados de señal de medida de los juegos de datos,
- f) se comparen seguidamente uno con otro los respectivos factores de corrección mutuamente asociados de los juegos de datos,
- g) se permuten cíclicamente los factores de corrección de un juego de datos alrededor de un número de pasos correspondiente al doble del número de sensores de campo magnético con relación a los factores de corrección del otro juego de datos y seguidamente se comparen uno con otro los respectivos factores de corrección mutuamente asociados de los juegos de datos,
- h) se repita eventualmente el paso g) hasta que se hayan procesado todas las combinaciones de permutación,
- i) se obtenga una combinación de permutación en la que aparece una coincidencia máxima entre los factores de corrección de los juegos de datos, y
- j) se corrijan los valores de la velocidad angular con la disposición de valores de corrección del primer juego de datos asignada a esta combinación de permutación.

Gracias a estas medidas se puede restablecer la asignación de los factores de corrección a las combinaciones de segmento magnético-sensor con relativamente pocas operaciones de permutación o desplazamiento y, por tanto, con un consumo de tiempo correspondientemente reducido.

Es así incluso posible que se formen sendos valores medios a partir de los respectivos factores de corrección de los juegos de datos primero y segundo que se han asociado mutuamente en la combinación de permutación en la que aparece una coincidencia máxima entre los factores de corrección de los juegos de datos, y que se almacenen estos valores medios como nuevos factores de corrección, y que se corrijan los valores de la velocidad angular con el juego de factores de corrección obtenido por esta formación de valor medio. Por tanto, se tienen en cuenta tanto los factores de corrección del primer juego de datos como los del segundo juego de datos para la corrección de la señal de número de revoluciones.

En una ejecución conveniente del procedimiento se obtienen y comparan entre sí en una respectiva ventana de tiempo las amplitudes de fluctuación de los valores de velocidad angular no corregidos y los valores de velocidad angular corregidos, obteniéndose de nuevo los factores de corrección para el caso en el que la amplitud de fluctuación de los valores de velocidad angular corregidos sea mayor que la de los valores de velocidad angular no corregidos y/o restableciéndose la asignación de los factores de corrección a las combinaciones de segmento magnético-sensor. Se parte aquí de la consideración de que para el caso en que la fluctuación de los valores de velocidad angular corregidos sea mayor que la de los valores de velocidad angular no corregidos, se ha presentado un error en la asignación de los factores de corrección a las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor, por ejemplo debido a interferencia por EMV (compatibilidad electromagnética). Para corregir este error se pueden reponer los factores de corrección al valor 1 y seguidamente se pueden adaptar éstos de nuevo o bien se restablece la asignación original, por ejemplo mediante una permutación cíclica de los factores de corrección.

Convenientemente, se limitan los factores de corrección a un intervalo de valores prefijado que está comprendido preferiblemente entre 0,8 y 1,2. Se pueden suprimir así excursiones en la señal de número de revoluciones corregida que sean originadas por factores de corrección no plausibles situados por fuera del intervalo de valores prefijado.

ES 2 305 959 T3

En una forma de realización ventajosa de la invención se determina un valor de momento de inercia para el momento de inercia de masa del rotor, captándose una señal de corriente I debido a que se determina para los distintos instantes de medida del árbol de regulación un respectivo valor de corriente $I(k)$ para la corriente eléctrica en el devanado, determinándose para los distintos valores de velocidad angular $\omega(k)$, a partir de un valor de velocidad angular $\omega_k(k-1)$ asociado a un instante de medida anterior del árbol de regulación, la señal de corriente I y el valor del momento de inercia, un valor estimativo $\omega_s(k)$ para el valor de velocidad angular $\omega(k)$, asignándose a este valor estimativo $\omega_s(k)$ una banda de tolerancia en la que está contenido el valor estimativo $\omega_s(k)$, y sustituyendo el valor de velocidad angular $\omega(k)$ por un valor de velocidad angular $\omega_k(k)$ situado dentro de la banda de tolerancia en caso de que el valor de velocidad angular $\omega(k)$ esté por fuera de la banda de tolerancia. Por tanto, se limitan a la banda de tolerancia los valores de velocidad angular $\omega(k)$ que están situados por fuera de la banda de tolerancia y que, por tanto, no son plausibles, obteniéndose dinámicamente los valores límite para la banda de tolerancia. Se pueden alisar así de manera sencilla las fluctuaciones existentes en los valores de velocidad angular, sin que se produzca un retardo de tiempo apreciable entre la señal de velocidad angular alisada o corregida y la señal de velocidad angular medida. La limitación se basa en la ecuación dinámica de la máquina eléctrica:

$$J \cdot d\omega/dt = K_t \cdot I$$

J es el momento de inercia de masa del rotor, ω es el número de revoluciones del rotor, K_t es una constante de la máquina eléctrica, I es la corriente del devanado y t es el tiempo. El valor estimativo de número de revoluciones $\omega_s(k)$ se puede determinar como sigue, en donde T significa una duración de exploración:

$$\omega_s(k) = \omega_k(k-1) + \frac{T \cdot K_t \cdot I(k-1)}{J}$$

Cuando la anchura de la banda de tolerancia se fija en $\pm \Delta\omega_{Grenz}$, se pueden obtener como sigue el valor marginal superior $\omega_{HighLim}(k)$ y el valor marginal inferior $\omega_{LowLim}(k)$ de la banda de tolerancia para el k -ésimo valor de medida de número de revoluciones $\omega(k)$ partiendo del valor estimativo ω_s :

$$\omega_{HighLim}(k) = \omega_s + \Delta\omega_{Grenz} = \omega(k-1) + \frac{T \cdot K_t \cdot I(k-1)}{J} + \Delta\omega_{Grenz}$$

$$\omega_{LowLim}(k) = \omega_s - \Delta\omega_{Grenz} = \omega(k-1) + \frac{T \cdot K_t \cdot I(k-1)}{J} - \Delta\omega_{Grenz}$$

En este caso, se elige preferiblemente la anchura $\pm\Delta\omega_{Grenz}$ de la banda de tolerancia de modo que sea netamente más pequeña que la amplitud de fluctuación de los valores de medida de número de revoluciones $\omega(k)$ para conseguir una perceptible reducción de la fluctuación de los valores de la velocidad angular.

En una forma de realización ventajosa de la invención se carga el rotor con un momento de carga, habilitándose para el momento de carga una señal de momento de carga M_L y determinándose el valor estimativo $\omega_s(k)$ a partir del valor de velocidad angular $\omega_k(k-1)$ asignado al instante de exploración anterior, la señal de corriente I , la señal de momento de carga M_L y el valor del momento de inercia. La ecuación dinámica del motor F es entonces:

$$J \cdot d\omega/dt = K_t \cdot I - M_L$$

A partir de esto se pueden determinar como sigue el valor estimativo de velocidad angular $\omega_s(k)$, así como el valor marginal superior $\omega_{HighLim}(k)$ y el valor marginal inferior $\omega_{LowLim}(k)$ de la banda de tolerancia:

$$\omega_s(k) = \omega_k(k-1) + \frac{T \cdot K_t \cdot I(k-1)}{J} - \frac{T \cdot M_L(k-1)}{J}$$

$$\omega_{HighLim}(k) = \omega_s + \Delta\omega_{Grenz} = \omega(k-1) + \frac{T}{J} [K_t \cdot I(k-1) - M_L(k-1)] + \Delta\omega_{Grenz}$$

$$\omega_{LowLim}(k) = \omega_s - \Delta\omega_{Grenz} = \omega(k-1) + \frac{T}{J} [K_t \cdot I(k-1) - M_L(k-1)] - \Delta\omega_{Grenz}$$

ES 2 305 959 T3

En una forma de realización conveniente de la invención se capta la tensión eléctrica aplicada al devanado, determinándose indirectamente los valores de corriente $I(k)$ a partir de la tensión, la impedancia del devanado, el valor de medida de número de revoluciones eventualmente corregido $\omega(k)$ y una constante K_e del motor. La ecuación correspondiente del sistema es:

$$U = R_A \cdot I + L_A \cdot dI/dt + K_e \cdot \omega_k$$

En esta ecuación R_A es la resistencia óhmica del devanado, L_A es la inductividad del devanado y K_e es la constante del motor EC. El procedimiento se utiliza preferiblemente en motores EC en los que la corriente del devanado se ajusta por modulación de anchura de impulsos de una tensión eléctrica aplicada al devanado.

Es ventajoso que la anchura y/o la posición de la banda de tolerancia se elijan en función del valor de velocidad angular $\omega_k(k-1)$ asignado al instante anterior de medida del árbol de regulación y que preferiblemente se reduzcan al aumentar la velocidad angular y/o se aumenten al disminuir la velocidad angular. Cuando se presenta para el momento de carga del árbol de levas un valor medio cuya exactitud dependa del número de revoluciones, se puede tener en cuenta la dependencia de la exactitud respecto del número de revoluciones para determinar la anchura de la banda de tolerancia.

En una ejecución conveniente de la invención se eligen la anchura y/o la posición de la banda de tolerancia en función de la señal de corriente I y preferiblemente se las aumenta al aumentar la corriente y/o se las reduce al disminuir la corriente. Se parte aquí de la consideración de que se acelera en general el rotor en caso de una corriente grande del devanado, con lo que aumenta el número de revoluciones de manera correspondiente. Por tanto, la anchura y/o la posición de la banda de tolerancia se adaptan a las variaciones del número de revoluciones del rotor que son de esperar a consecuencia de la alimentación de corriente al devanado.

Cuando la señal de número de revoluciones está afectada de perturbaciones, como, por ejemplo, una ondulación, la corriente del devanado fluctúa casi siempre de manera correspondiente. En este caso, puede ser ventajoso que se alise la señal de corriente I por filtrado, especialmente mediante una formación de valor medio flotante, y que se determinen los valores estimativos $\omega_s(k)$ para los valores de velocidad angular $\omega(k)$ con ayuda de la señal de corriente filtrada I .

En una forma de realización ventajosa de la invención se extrapola un respectivo valor estimativo para el ángulo de giro que presenta el cigüeñal en el instante de referencia a partir de al menos dos valores de medida del ángulo de giro del cigüeñal, la diferencia de tiempo entre los instantes de medida del ángulo de giro del cigüeñal asociados a estos valores de medida y la distancia en tiempo entre el último instante de medida del cigüeñal y el instante de referencia, obteniéndose la diferencia de tiempo entre el instante de referencia y el último instante de medida del cigüeñal y determinándose el valor estimativo a partir del valor de medida del ángulo de giro del cigüeñal en el último instante de medida del cigüeñal, la diferencia de tiempo y el valor de velocidad angular. Gracias a esta medida se puede conseguir, en combinación con la extrapolación de los instantes de medida del árbol de regulación, una precisión especialmente alta en el ajuste de la posición de fase.

A continuación, se explican ejemplos de la invención con más detalle ayudándose del dibujo. Muestran:

La figura 1, una representación esquemática de una disposición de cigüeñal-árbol de levas de un motor de combustión de pistones alternativos que presenta un dispositivo de regulación para variar la posición angular del árbol de levas con relación al cigüeñal,

La figura 2, una representación gráfica de la evolución real del par de giro y de valores de medida del ángulo de giro del rotor de un motor de regulación del dispositivo de regulación, estando registrado el tiempo en el eje de abscisas y el ángulo de giro en el eje de ordenadas,

La figura 3, una representación gráfica de la evolución real del ángulo de giro del motor de regulación, estando marcados en la evolución del ángulo de giro los sitios en los que se presentan impulsos de sensor de Hall, estando registrado el tiempo en el eje de abscisas y el ángulo de giro en el eje de ordenadas,

La figura 4, una vista esquemática por el lado frontal del rotor de un motor EC, estando dispuestos segmentos magnéticos en el perímetro del rotor y estando previsto un equipo de medida de posición para detectar la posición del rotor con relación al estator,

La figura 5, una representación gráfica de una señal de medida de posición captada con ayuda del equipo de medida de posición,

La figura 6, un diagrama de desarrollo que ilustra los distintos pasos para la corrección de una señal de velocidad angular generada a partir de la señal de medida de posición,

ES 2 305 959 T3

La figura 7, una representación gráfica de factores de corrección, estando representados los valores absolutos de los factores de corrección en forma de un diagrama de barras y estando ilustrados debajo de la barra un respectivo valor de una señal de medida de posición asignada al factor de corrección correspondiente y, debajo de este valor, un respectivo índice que asigna el factor de corrección correspondiente a una combinación de segmento magnético-sensor.

Un dispositivo de regulación para regular la posición angular de giro o la posición de fase del árbol de levas 11 de un motor de combustión de pistones alternativos con relación al cigüeñal 12 presenta un engranaje de regulación 13 que está construido como un engranaje de tres árboles con un árbol de accionamiento solidario del cigüeñal, un árbol accionado solidario del árbol de levas y un árbol de regulación que está en unión de accionamiento con el rotor de un motor de regulación. Para determinar valores de medida para la posición de fase se capta en instantes de medida del cigüeñal un respectivo valor de medida para el ángulo de giro del cigüeñal. Además, se mide en instantes de medida del árbol de regulación un respectivo valor de medida para el ángulo de giro del árbol de regulación. A partir del valor de medida para el ángulo de giro del cigüeñal y para el ángulo de giro del árbol de regulación se determina un valor para la posición de fase con ayuda de una multiplicación de engranaje de estacionamiento conocida del engranaje de tres árboles.

Se puede apreciar en la figura 1 que, para medir el ángulo de giro del cigüeñal, está previsto un sensor inductivo 15 que detecta los flancos de los dientes de una corona dentada 16 hecha de un material magnéticamente conductor y dispuesta sobre el cigüeñal 12. Uno de los huecos interdentales o de los dientes de la corona dentada 16 presenta una anchura mayor que la de los otros huecos interdentales o dientes y sirve de marca de referencia. Cuando la marca de referencia pasa por delante del sensor 15, se fija el valor de medida para el ángulo de giro del cigüeñal en un valor inicial. Seguidamente, en cada detección de un flanco de diente se reajusta el valor de medida hasta que la marca de referencia vuelve a pasar por delante del sensor 15. El reajuste del valor de medida para el ángulo del cigüeñal se efectúa con ayuda de un aparato de control en cuyo programa de funcionamiento se dispara una interrupción cada vez que se detecta un flanco de diente. Por tanto, se mide digitalmente el ángulo de giro del cigüeñal.

Como motor de regulación está previsto un motor EC 14 que presenta un rotor en cuyo perímetro está dispuesta una serie de segmentos magnéticos que están magnetizados alternativamente en direcciones mutuamente opuestas y que cooperan magnéticamente con dientes de un estator a través de un entrehierro. Los dientes están dotados de un devanado que es alimentado con corriente a través de un dispositivo de activación.

Se detectan la posición de los segmentos magnéticos con relación al estator y, por tanto, el ángulo de giro del árbol de regulación con ayuda de un equipo de medida 17 que presenta en el estator varios sensores de campo magnético A, B, C que están decalados uno respecto de otro en la dirección periférica del estator de tal manera que por cada revolución del rotor se recorra una pluralidad de combinaciones de segmento magnético-sensor. Como emisor de valores de referencia para el ángulo de giro del árbol de levas está previsto un sensor de Hall 18 que coopera con una rueda de disparo 19 dispuesta en el árbol de levas 11. Cuando el sensor de Hall 18 detecta un flanco de la rueda de disparo 19, se dispara en el programa de funcionamiento del aparato de control una interrupción en la que se almacenan transitoriamente el ángulo de giro del cigüeñal y el ángulo de giro del árbol de regulación. Esta interrupción se denomina seguidamente también interrupción del árbol de levas.

Se calculan el ángulo absoluto ε_{Abs} disparado por el árbol de levas y el ángulo de regulación relativo $\Delta\varepsilon_{Rel}$ para obtener el ángulo de regulación actual ε_{actual} . Se aplica una señal representativa del ángulo de regulación actual ε_{actual} a una entrada de valor real de un circuito de regulación previsto para regular la posición de fase. El ángulo absoluto ε_{Abs} es el ángulo del cigüeñal en un instante t_{TrigNW} en el que se dispara la interrupción del árbol de levas:

$$\varepsilon_{Abs} = \varepsilon_{KW}(t_{TrigNW})$$

La posición angular de giro $\Delta\varepsilon_{Rel}$ del árbol de levas 11 con relación al cigüeñal 12 se calcula en este caso a partir de las variaciones sincrónicas en tiempo (exploración del regulador) de los contadores de ángulos de rotor $\Delta\varphi_{Em}$ y cigüeñal $\Delta\varphi_{KW}$, referido a los valores de referencia al dispararse el árbol de levas, a través de la ecuación básica del engranaje de tres árboles:

$$\varepsilon_{Aktuell} = \varepsilon_{Abs} + \varepsilon_{Rel} = \varepsilon_{Abs} + \frac{1}{i_g} \cdot (\Delta\varphi_{KW} - 2 \cdot \Delta\varphi_{Em})$$

(siendo Aktuell = actual)

$$\varepsilon_{Aktuell} = \varphi_{KW,TrigNW} + \frac{1}{i_g} \cdot ([\varphi_{KW} - \varphi_{KW,TrigNW}] - 2 \cdot [\varphi_{Em} - \varphi_{Em,TrigNW}]) \quad (1.1)$$

ES 2 305 959 T3

En este caso, i_g es la multiplicación de engranaje de estacionamiento entre el árbol de levas 11 y el árbol de regulación.

$$i_g = \frac{n_{Em}}{n_{NW}} \Big|_{n_{KW}=0}$$

Para poder calcular la posición angular de giro $\Delta\epsilon_{Rel}$ se almacenan los ángulos del cigüeñal $\varphi_{KW,TrigNW}$ y del rotor del motor EC o del árbol de regulación $\varphi_{Em,TrigNW}$ en el instante del disparo del árbol de levas. En un instante posterior se dispara entonces en el programa de funcionamiento del aparato de control una interrupción en la que se calcula la posición angular de giro $\Delta\epsilon_{Rel}$ con ayuda de los ángulos transitoriamente almacenados $\varphi_{KW,TrigNW}$ y $\varphi_{Em,TrigNW}$. Esta interrupción se denomina seguidamente también interrupción cíclica.

La resolución de la posición angular de giro relativa $\Delta\epsilon_{Rel}$ es el resultado de una consideración de inseguridad de los distintos componentes de la ecuación (1.1). El ángulo de giro del cigüeñal tiene, por ejemplo, una inseguridad de -0 a $+0,2^\circ$. La resolución δ_{Em} del equipo de medida 17 es el resultado del número de pares de polos P (por ejemplo, $P = 7$) y del número m (por ejemplo, $m = 3$) de sensores de campo magnético A, B, C:

$$\delta_{Em} = \frac{360^\circ}{2 \cdot m \cdot P} = \frac{360^\circ}{2 \cdot 3 \cdot 7} = 8,57^\circ$$

en donde la banda de inseguridad (para un número de revoluciones positivo) debe extenderse en un lado de -0 a $+8,57^\circ$, ya que el ángulo se supone como exacto en el respectivo instante de un cambio de las combinaciones de segmento magnético-sensor y después aumenta de valor. Si se calculara directamente la posición angular de giro relativa $\Delta\epsilon_{Rel}$ a partir del ángulo de giro del cigüeñal $\varphi_{KW,TrigNW}$ y el ángulo de giro del árbol de regulación $\varphi_{Em,TrigNW}$, resultaría una inseguridad de medida para la nueva posición angular de giro relativa $\Delta\epsilon_{Rel}$ de $-0,29^\circ$ a $+0,49^\circ$:

$$\epsilon_{-0,29}^{+0,49} = \varphi_{KW,TrigNW}^{+0,2}_{-0} + \frac{1}{i_g} \left([\varphi_{KW}^{+0,2}_{-0} - \varphi_{KW,TrigNW}^{+0,2}_{-0}] - 2 \cdot [\varphi_{Em}^{+8,57}_{-0} - \varphi_{Em,TrigNW}^{+8,57}_{-0}] \right)$$

Como puede apreciarse en la figura 2, la digitalización del ángulo de giro del árbol de regulación provoca una especie de flotación entre los instantes en los que se presenta la interrupción cíclica y los instantes en los que cambian las combinaciones de segmento magnético-sensor. En posición estacionaria, el motor EC 14 gira con exactamente el doble de rapidez que el cigüeñal 12. En general, los instantes en los que se presenta la interrupción cíclica se diferencian de los instantes en los que cambian las combinaciones de segmento magnético-sensor. En la figura 2 se presentan, por ejemplo, nueve cambios de las combinaciones de segmento magnético-sensor dentro de ocho ciclos de interrupción, es decir que, por cada ciclo de interrupción, el motor eléctrico barre un ángulo de $(9/8) \cdot 8,57^\circ$. Dado que solamente se ingresa un múltiplo entero de $8,57^\circ$ en el aparato de control, se hace cada vez mayor la diferencia entre el ángulo de giro verdadero del árbol de regulación y el ángulo de giro del árbol de regulación procesado en el aparato de control hasta que, al presentarse una interrupción cíclica, entra un impulso más del sensor de Hall que en caso contrario, y los ángulos de giro verdadero y medido del árbol de regulación vuelven a ser sincrónicos por breve tiempo.

Si se calculara la posición angular de giro relativa $\Delta\epsilon_{Rel}$ directamente a partir del ángulo de giro del cigüeñal $\varphi_{KW,TrigNW}$ y del ángulo de giro del árbol de regulación $\varphi_{Em,TrigNW}$, resultarían según la ecuación (1) saltos en la posición angular de giro medida $\Delta\epsilon_{Rel}$ que presentarían aproximadamente una magnitud de $\Delta\epsilon = 2 \cdot \delta_{Em} / i_g = 0,29^\circ$ y producirían una intervención del regulador. Esto es poco deseable especialmente en funcionamiento estacionario.

Para reducir la altura de estos saltos o incluso evitarlos por completo se obtiene por extrapolación de al menos dos respectivos valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación un valor estimativo para el ángulo de giro que presenta el árbol de regulación en un instante de referencia que está situado después de los instantes de medida del árbol de regulación. Como instantes de referencia se eligen, por un lado, los instantes en los que se presentan las interrupciones del árbol de levas y, por otro lado, los instantes en los que se disparan las interrupciones cíclicas.

A continuación, se explica la extrapolación con ayuda de la figura 3. En el instante t_{TrigNW} de la interrupción del árbol de levas están disponibles el valor de contador N_{TrigNW} del equipo de medida 17 que corresponde al valor del ángulo de giro del árbol de regulación, el tiempo Δt_{TrigNW} y el número de revoluciones $\omega_{Em,TrigNW}$ (afectado de signo) en el último cambio de la combinación de segmento magnético-sensor. Se puede acceder a datos correspondientes en cada interrupción cíclica t_i . Por ejemplo, en el instante t_{i8} están disponibles el valor de contador N_{t18} , el tiempo diferencia Δt_{i8} y el número de revoluciones $\omega_{Em,t18}$.

Con estos datos se pueden determinar más exactamente que hasta ahora el ángulo barrido desde la aparición del último cambio de la combinación de segmento magnético-sensor y, por tanto, el ángulo de giro del motor EC o del árbol de regulación al dispararse el árbol de levas y para la interrupción actual t_i del aparato de control:

$$\varphi_{Em,TrigNW} = N_{TrigNW} \cdot \delta_{Em} + \Delta t_{TrigNW} \cdot \omega_{Em,TrigNW} \quad (2.1)$$

$$\varphi_{Em,i} = N_{ii} \cdot \delta_{Em} + \Delta t_i \cdot \omega_{Em,i} \quad (2.2)$$

Por consiguiente, el ángulo diferencia necesario para el cálculo del ángulo de fase con respecto a la interrupción actual t_i del aparato de control es el siguiente:

$$\Delta \varphi_{Em,i} = \varphi_{Em,i} - \varphi_{Em,TrigNW} = (N_{ii} - N_{TrigNW}) \cdot \delta_{Em} + [\Delta t_i \cdot \omega_{Em,i} - \Delta t_{TrigNW} \cdot \omega_{Em,TrigNW}]$$

Para la extrapolación se necesita el número de revoluciones actual del motor EC. Éste puede obtenerse del modo más sencillo a partir de la duración en tiempo Δt_{Hall} entre el último y el penúltimo instantes de medida del árbol de regulación o de la duración en tiempo Δt_{Hall} entre el último y el penúltimo cambios de la combinación de segmento magnético-sensor (esta información está disponible directamente sin retardo de tiempo). Juntamente con el signo S de la dirección de cómputo se obtiene:

$$\omega_{Em} = S \cdot \delta_{Em} / \Delta t_{Hall}$$

Este método es muy sencillo, pero puede suministrar valores fuertemente fluctuantes, ya que los tiempos Δt_{Hall} entre los cambios de la combinación de segmento magnético-sensor, incluso a un número de revoluciones constante, pueden ser muy irregulares debido a tolerancias de fabricación. En principio, es posible un promediado de varios valores de ángulo de giro del árbol de regulación para mejorar el resultado. Sin embargo, hay que tener en cuenta a este respecto que el valor medio sólo puede calcularse con retardo de tiempo, de modo que, al producirse una aceleración del motor EC 14, este error entra en la extrapolación. En la interrupción del aparato de control se calcula también el número de revoluciones actual ω_{Em} del motor EC 14 para la regulación del ángulo de fase.

A continuación, se explica con referencia a las figuras 4 a 7 el modo en que se puede reducir sin un retardo de tiempo la influencia del error - que se presenta debido a las tolerancias de fabricación citadas - sobre la posición angular de giro del árbol de levas con relación al cigüeñal.

En el ejemplo de realización mostrado en la figura 4 el rotor tiene ocho segmentos magnéticos 1..8 que están decalados uno respecto de otro en una trama de 45° en la dirección periférica de una parte de soporte 9 en la que están inmovilizados los segmentos magnéticos 1..8. Los segmentos magnéticos 1..8 forman sendos polos magnéticos en el perímetro del rotor, con lo que resulta en total un número de p pares de polos distribuidos por el perímetro. En la figura 4 esto se representa a título de ejemplo para un rotor con $p = 4$ pares de polos. Por tanto, la magnetización cambia su dirección ocho veces por revolución sobre el anillo formado por los segmentos magnéticos 1..8. Como ya se ha mencionado, los segmentos magnéticos 1..8 presentan tolerancias en dirección periférica tanto respecto de su posición como respecto de sus dimensiones. Por tanto, el ángulo mecánico α entre sitios mutuamente correspondientes de segmentos magnéticos mutuamente contiguos 1..8 puede desviarse del valor nominal $180^\circ/p$ (aquí: 45°). La dirección de giro del rotor está insinuada en la figura 4 con la flecha Pf.

La señal de salida del sensor A de campo magnético varía cada vez que se produce un giro del rotor conforme al ángulo α . Por tanto, con ayuda de solamente el sensor A de campo magnético se podría conseguir una resolución del ángulo de giro α del rotor. Como puede apreciarse en la figura 4, los sensores A, B, C están dispuestos en el perímetro del rotor de manera que quedan decalados uno respecto de otro. El decalaje se ha elegido de tal manera que la señal de medida de posición detectada con ayuda de los sensores A, B, C presente una resolución de $180^\circ/(p \cdot m)$. Esto se consigue haciendo que el sensor B de campo magnético esté decalado con respecto al sensor A de campo magnético en un ángulo mecánico de $180^\circ/(m \cdot p)$ más un múltiplo entero de $\beta = 180^\circ/m$ y que el sensor C de campo magnético esté decalado con respecto al sensor A de ángulo de giro en la dirección de avance Pf en una medida igual al doble de este ángulo mecánico.

En la figura 5 se representa gráficamente un segmento de la señal de ángulo de giro del árbol de regulación - compuesta de las señales de salida A', B', C' de los sensores A, B, C - para un giro a derechas en la dirección de la flecha Pf. En este caso, la señal de salida A' está asociada al sensor A de campo magnético, la señal de salida B' está asociada al sensor B de campo magnético, etc. Las señales de salida A', B', C' son señales digitales que pueden adoptar los valores lógicos 1 ó 0. Se presenta aquí el valor 1 cuando un segmento magnético 1..8 que forma un polo Norte está enfrente del sensor correspondiente A, B, C. De manera correspondiente, la señal de salida A', B', C' adopta

ES 2 305 959 T3

el valor lógico 0 cuando un segmento magnético 1..8 que forma un polo Sur está enfrente del sensor correspondiente A, B, C.

Para ilustrar la asociación de los distintos valores de una señal de salida al respectivo segmento 1..8 de campo magnético justamente movido por delante del sensor correspondiente A, B, C, se ha reproducido en los valores de la señal de salida el respectivo número de referencia del segmento correspondiente 1..8 del campo magnético. En la figura 5 se han registrado sobre el eje de abscisas por debajo de las señales de salida el respectivo ángulo de giro magnético $\varphi_{\text{magnético}}$ y el respectivo ángulo de giro mecánico $\varphi_{\text{mecánico}}$. Se puede apreciar claramente que, al producirse un giro mecánico de $360^\circ/p (= 90^\circ)$, la señal del ángulo de giro del árbol de regulación adopta sucesivamente 2·m (= 6) estados diferentes que se repiten después.

La señal de ángulo de giro del árbol de regulación compuesta por las señales de salida A', B' y C' es transmitida, para su evaluación, al aparato de control que está unido con los sensores A, B, C de campo magnético. Son conocidas del aparato de control solamente las señales de salida A', B' y C', pero no se conocen qué segmentos magnéticos 1..8 se mueven justamente por delante de los sensores A, B, C.

Se puede apreciar en la figura 5 que está justamente activa siempre una de las combinaciones de segmento magnético-sensor. En la figura 5 éstas son de izquierda a derecha las combinaciones de segmento magnético-sensor (1,6,3), (1,6,4), (1,7,4), (2,7,4), (2,7,5), (2,8,5), etc. Esta sucesión de combinaciones de segmento magnético-sensor se repite después de que 2·p segmentos magnéticos 1..8 hayan circulado por delante de un sensor A, B, C de campo magnético, es decir, después de un giro mecánico completo.

Contando los cambios en los que la señal de medida de posición varía su valor, se determina el ángulo de giro total del rotor. Partiendo de un valor inicial se incrementa el ángulo total en cada cambio.

La señal así obtenida del ángulo de giro del árbol de regulación se diferencia para formar una señal de número de revoluciones. Esto puede efectuarse, por ejemplo, de tal manera que se mida el tiempo Δt entre dos variaciones de la señal de ángulo de giro del árbol de regulación y se determine como sigue el número de revoluciones ω :

$$\omega = \pi / (m \cdot p \cdot \Delta t) \quad [\text{rad/s}].$$

Debido a las tolerancias de los segmentos magnéticos 1..8, la señal de número de revoluciones $\omega_{\text{Mess},i}$ así obtenida está afectada de errores que, por ejemplo a un número de revoluciones real constante del rotor, conducen a que la señal de número de revoluciones presente saltos.

En el aparato de control se numeran correlativamente de 1 a 2·m·p las combinaciones de segmento magnético-sensor, de modo que se incrementa el valor de cómputo que se denomina abreviadamente a continuación "índice i", y este valor salta después a 1 al llegar a 2·m·p. Al conectar el motor EC, el índice i se fija en un valor inicial, por ejemplo en el valor 1.

Para cada combinación de segmento magnético-sensor se obtiene ahora un factor de corrección $F_{\text{Adap}}[i]$ que se asigna, a través del índice i, al segmento magnético correspondiente 1..8. Este factor de corrección $F_{\text{Adap}}[i]$ corresponde a la relación entre el valor de número de revoluciones $\omega_{\text{Mess},i}$, que se ha obtenido con ayuda de la señal del ángulo de giro del árbol de regulación para la i-ésima combinación de segmento magnético-sensor, y un valor de número de revoluciones de referencia ω_{Ref} , del cual se supone que presenta una exactitud mayor que la del valor de número de revoluciones $\omega_{\text{Mess},i}$. Los factores de corrección $F_{\text{Adap}}[i]$ se archivan en una memoria de datos del aparato de control.

Con ayuda del factor de corrección $F_{\text{Adap}}[i]$ se obtienen como sigue para cada valor de número de revoluciones $\omega_{\text{Mess},i}$ un valor de número de revoluciones corregido $\omega_{\text{Korr},i}$:

$$\omega_{\text{Korr},i} = \omega_{\text{Mess},i} / F_{\text{Adap}}[i],$$

Los factores de corrección $F_{\text{Adap}}[i]$ se obtienen en un proceso de aprendizaje. Al comienzo del proceso de aprendizaje se fijan todos los factores de corrección $F_{\text{Adap}}[i]$ en el valor 1, es decir que el número de revoluciones corregido $\omega_{\text{Korr},i}$ corresponde inicialmente al número de revoluciones medido $\omega_{\text{Mess},i}$. Durante el proceso de aprendizaje se limitan los factores de corrección $F_{\text{Adap}}[i]$ a un intervalo de valores comprendido entre 0,8 y 1,2 para limitar la medida del error en el caso de una eventual adaptación errónea que no se puede excluir completamente en la práctica.

Como puede apreciarse en la figura 6, se recorrerá la secuencia siguiente siempre y cuando se reconozca una variación de la señal del ángulo de giro del árbol de regulación. El instante actual se designa con t.

A: Se almacena el tiempo diferencia Δt entre el último y el actual cambio de la combinación de segmento magnético-sensor. Éste indica el tiempo que ha durado el barrido de la combinación de segmento magnético-sensor previamente activa. El índice i señala el valor de medida de la señal de medida de posición - asociado a esta combinación

ES 2 305 959 T3

de segmento magnético-sensor - que se adapta cada vez al final de una secuencia para la recuperación de la siguiente secuencia.

B: Cálculo del número de revoluciones no corregido $\omega_{\text{Mess},i} = \pi/(m \cdot p \cdot \Delta t)$.

C: Filtrado del número de revoluciones no corregido: Dado que el número de revoluciones verdadero $\omega_{\text{Verdadero}}$ es desconocido, se forma la señal de referencia para el número de revoluciones por filtrado del número de revoluciones no corregido. El resultado ω_{Ref} del filtrado coincide relativamente bien con la velocidad real antes de T segundos, $\omega_{\text{Ref}}(t) \approx \omega_{\text{Verdadero}}(t-T)$. En este caso, T es el tiempo de retardo del filtro que se desvía de la clase y el orden del filtro.

D: Comprobación de premisas de adaptación. Por ejemplo, no se adapta el factor de corrección cuando ha variado la dirección de giro del rotor. Durante una fase de fuerte aceleración y/o deceleración del rotor se suspende también la adaptación del factor de corrección, ya que es probable que el número de revoluciones filtrado no coincida entonces exactamente con el número de revoluciones real.

E: El factor de corrección real para la última combinación de segmento magnético-sensor se obtiene como el cociente del número de revoluciones calculado $\omega_{\text{Mess},i}(t)$ y la señal de número de revoluciones verdadera $\omega_{\text{Verdadero}}(t)$:

$$F_{\text{True}}[i] = \omega_{\text{Mess},i}(t) / \omega_{\text{True}}(t) \quad (\text{siendo True=Verdadero})$$

Dado que el número de revoluciones verdadero $\omega_{\text{Verdadero}}$ está disponible solamente con un retardo T en forma del número de revoluciones de referencia ω_{Ref} , se tienen que retardar también todas las demás magnitudes implicadas. Por este motivo, el índice i y los valores de número de revoluciones no corregidos $\omega_{\text{Mess},i}$ están almacenados en un registro de desplazamiento para que estén ahora disponibles sus valores de retardo. Por tanto, el factor de corrección resulta ser:

$$F[i(t-T)] = \omega_{\text{Mess},i}(t-T) / \omega_{\text{Ref}}(t).$$

F: Formación del valor medio para el factor de corrección: El factor de corrección F presenta todavía cierta inexactitud, ya que el valor de referencia de número de revoluciones ω_{Ref} coincide sólo aproximadamente con el valor de número de revoluciones real $\omega_{\text{Verdadero}}$. Por este motivo, en las distintas revoluciones del rotor se obtienen respectivos factores de corrección nuevos, promediándose estos factores de corrección sucesivamente obtenidos para la respectiva combinación de segmento magnético-sensor por la formación de un valor medio flotante:

$$F_{\text{Neu}}[i(t-T)] = \lambda F_{\text{Alt}}[i(t-T)] + (1-\lambda) F[i(t-T)] \quad (\text{siendo Neu=Nuevo})$$

Significan aquí F_{Nuevo} el respectivo valor medio actual de factor de corrección, F_{Viejo} el valor medio obtenido en el respectivo ciclo de cadencia precedente y λ un factor de olvido que puede estar entre 0 y 1. Cuanto más grande sea λ tanto más tiempo se tienen en cuenta valores pasados $\omega_{\text{Mess},i}(t)$.

G: Se realiza la corrección con los valores actuales $i(t)$ y $\omega_{\text{Mess},i}(t)$. Con el factor de corrección $F[i]$ hasta aquí adaptado se corrige el valor de medida:

$$\omega_{\text{Korr},i} = \omega_{\text{Mess}}(t) / F[i].$$

La corrección de la señal de número de revoluciones se realiza con ayuda de la combinación de segmento magnético-sensor que justamente ha sido barrida antes, mientras que para la adaptación de los factores de corrección $F[i]$ se emplean valores más viejos.

H: Almacenamiento de i y $\omega_{\text{Mess},i}$ en el registro de desplazamiento para poder acceder más tarde nuevamente a estos valores como valores del pasado.

J: Para la preparación de la siguiente secuencia se incrementa el índice i con ayuda de la combinación de segmento magnético-sensor antigua. Si el índice i sobrepasa entonces el intervalo $[1..2 \cdot p \cdot m]$, se fija este índice entonces en 1. El índice i nombra ahora la combinación de segmento magnético-sensor actual.

Un punto decisivo en la adaptación es la exactitud con la que se aproxima el número de revoluciones real. En el ejemplo de realización anteriormente descrito se consigue esta aproximación por filtrado del número de revoluciones medido. Sin embargo, es posible también filtrar los números de revoluciones ya corregidos. Si está disponible otra señal de medida de la cual pueda deducirse el número de revoluciones real, se puede emplear también esta señal.

Al desconectar el dispositivo constituido por el motor EC y el aparato de control se escriben los 2-p-m factores de corrección aprendidos en una memoria de datos no volátil del aparato de control. Dado que al comienzo de la adaptación, en el caso de una combinación de segmento magnético-sensor que estaba casualmente activa en ese preciso momento, el índice i está ajustado a un valor inicial arbitrariamente elegido y esta combinación de segmento magnético-sensor no es de momento conocida después de la reconexión del aparato de control, se tiene que comprobar la asociación de los factores de corrección a las combinaciones de segmento magnético-sensor y se tiene que corregir ésta en caso de que se detecte una asociación errónea para que se puedan seguir utilizando los factores de corrección después de la reconexión del aparato de control.

La misma problemática existe ya durante la adaptación cuando ésta se realiza en falso o no se realiza, por ejemplo debido a perturbaciones de señal, de modo que se continúa escribiendo en falso el índice i y, por tanto, se asignan los factores de corrección a combinaciones de segmento magnético-sensor que están desplazadas con respecto a las combinaciones de segmento magnético-sensor para las cuales se han obtenido los factores de corrección. En tal caso, el número de revoluciones corregido ω_{Korr} se puede desviar más fuertemente del número de revoluciones real que el número de revoluciones no corregido.

En la memoria de datos del aparato de control está almacenada la secuencia correcta de los 2 m (= 6) estados consecutivos de la señal de medida de posición. Esta secuencia se compara con la secuencia de estados de la señal de medida de posición. Si se detecta entonces una desviación, se elimina este error en la siguiente recuperación de la secuencia. En efecto, la variación de las combinaciones de segmento magnético-sensor es unívoca dentro de $\pm m$ variaciones. Si es seguro que durante la perturbación se ha conservado la dirección de giro del rotor, se pueden corregir incluso (2 m-1) inscripciones adicionales.

Se vigila la calidad de la adaptación comparando una y otra vez una con otra las amplitudes de fluctuación del número de revoluciones no corregido y del número de revoluciones corregido a lo largo de una ventana de tiempo determinada. Si el número de revoluciones corregido fluctúa más fuertemente que el número de revoluciones no corregido, se deduce de ello una asociación errónea. Se restablece entonces la asociación o bien se ajustan los valores de corrección a 1.

En el restablecimiento de la asociación se parte de la consideración de que la secuencia numérica de los 2-p-m factores de corrección representan una especie de signature característica. Si se adapta un nuevo juego de factores de corrección, estos han de tener entonces una secuencia numérica muy semejante, si bien la nueva secuencia numérica puede estar desplazada con respecto a la secuencia numérica anterior. Por este motivo, para restablecer la asociación se desplaza cíclicamente 2-p-m veces la secuencia numérica y, después de cada paso de desplazamiento, se compara ésta con la secuencia numérica anterior. En el caso de la combinación de permutación o de desplazamiento en la que se presenta la máxima coincidencia entre la secuencia numérica antigua y la secuencia numérica actual, se supone que los valores numéricos de la secuencia numérica antigua están correctamente asociados a las combinaciones de segmento magnético-sensor. Con esta asociación se realizan entonces la corrección de la señal de número de revoluciones y/o la adaptación adicional.

En otro ejemplo de realización de la invención se procede de la manera siguiente:

- En primer lugar, se obtiene y almacena un primer juego de datos con un número de combinaciones de valores correspondiente al número de combinaciones de segmento magnético-sensor, cada una constituida al menos por un factor de corrección para la combinación de segmento magnético-sensor correspondiente y un estado de señal de medida asociado a ésta. En la mitad superior de la figura 7 se representa gráficamente un ejemplo de realización de un juego de datos de esta clase para un motor EC 4 con tres sensores de campo magnético y tres pares de polos.
- Seguidamente, se recorren de nuevo las combinaciones de segmento magnético-sensor para las cuales se han obtenido los factores de corrección, obteniéndose y almacenándose un segundo juego de datos nuevo con combinaciones de valores. Este segundo juego de datos está representado abajo en la figura 7.
- Se comparan después uno con otro los estados de la señal de medida de los juegos de datos primero y segundo. Si se detecta entonces una desviación, se desplazan cíclicamente las combinaciones de valores de los juegos de datos una con relación a otra de tal manera que coincidan los estados de señal de medida de los juegos de datos. En el ejemplo de realización según la figura 7 esto puede conseguirse haciendo que las combinaciones de valores de la adaptación antigua sean desplazadas cíclicamente tres posiciones hacia la derecha.
- A continuación, se comparan uno con otro los respectivos factores de corrección mutuamente asociados de los juegos de datos, es decir que el factor de corrección con el índice $i = 1$ del primer juego de datos en la figura 7 se compara con el factor de corrección con el índice $i = 4$ del segundo juego de datos, el factor de corrección con el índice $i = 2$ del primer juego de datos se compara con el factor de corrección con el índice $i = 5$ del segundo juego de datos, etc.
- En otro paso se permutan cíclicamente los factores de corrección del primer juego de datos en un número de pasos correspondiente al doble del número de sensores de campo magnético (es decir, 2-p = 6 pasos) con

ES 2 305 959 T3

relación a los factores de corrección del otro juego de datos y seguidamente se comparan uno con otro los respectivos factores de corrección mutuamente asociados de los juegos de datos. Esto se repite hasta que se procesen todas las combinaciones de permutación.

- A continuación, se obtiene la combinación de permutación en la que se consigue una máxima coincidencia entre los juegos de factores de corrección. Con esta combinación de permutación se forma un valor medio a partir de los respectivos factores de corrección mutuamente asociados de los juegos de factores de corrección y se almacena este valor medio como nuevo factor de corrección. Con los nuevos factores de corrección así obtenidos se corrige después la señal de medida de número de revoluciones.

Por tanto, no se tienen que realizar $2 \cdot p \cdot m$ desplazamientos. Se tiene que encontrar únicamente cuál de los p períodos magnéticos es el que mejor se acomoda. Durante el tiempo en el que se adaptan los nuevos factores de corrección, se calcula el número de revoluciones corregido con el factor 1 o con los factores de corrección nuevamente adaptados hasta entonces.

Lista de símbolos de referencia

1..8 Segmento magnético

9 Parte de soporte

11 Árbol de levas

12 Cigüeñal

13 Dispositivo de regulación

14 Motor EC

15 Sensor inductivo

16 Corona dentada

17 Equipo de medida

18 Sensor de Hall

19 Rueda de disparo

α Ángulo entre dos segmentos magnéticos

β Ángulo

A Sensor de campo magnético

B Sensor de campo magnético

C Sensor de campo magnético

A' Señal de salida del sensor A de campo magnético

B' Señal de salida del sensor B de campo magnético

C' Señal de salida del sensor C de campo magnético

Pf Dirección de giro.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar la posición angular de giro del árbol de levas (11) de un motor de combustión de pistones alternativos con relación al cigüeñal (12), en donde el cigüeñal (12) está en unión de accionamiento con el árbol de levas (11) a través de un engranaje de regulación que está concebido como un engranaje de tres árboles con un árbol de accionamiento solidario del cigüeñal, un árbol accionado solidario del árbol de levas y un árbol de regulación que está en unión de accionamiento con un motor de regulación, en donde se capta para al menos un instante de medida del cigüeñal un valor de medida para el ángulo de giro del cigüeñal, en donde se captan digitalmente para al menos dos instantes de medida del árbol de regulación sendos valores de medida para el ángulo de giro del árbol de regulación, en donde se determina para al menos un instante de referencia que está después de los instantes de medida del cigüeñal y del árbol de regulación, con ayuda de al menos un valor de medida del ángulo de giro del cigüeñal, al menos un valor de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y una magnitud característica del engranaje de tres árboles, un valor para la posición angular de giro del árbol de levas (11) con relación al cigüeñal (12), **caracterizado** porque a partir de al menos dos valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación, la diferencia de tiempo entre los instantes de medida del árbol de regulación y la distancia en tiempo entre el último instante de medida del árbol de regulación y el instante de referencia se extrapola un valor estimativo para el ángulo de giro que presenta el árbol de regulación en el instante de referencia, y porque se determina el valor para la posición angular de giro sobre la base del valor estimativo, el al menos un valor de medida del ángulo de giro del cigüeñal y la magnitud característica del engranaje.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se obtiene al menos para el respectivo último instante de medida del árbol de regulación un valor para la velocidad angular del árbol de regulación, y porque se determina el valor estimativo para el ángulo de giro que presenta el árbol de regulación en el instante de referencia a partir del último valor de medida del ángulo de giro del árbol de regulación, la diferencia de tiempo entre el instante de referencia y el último instante de medida del árbol de regulación y el valor de la velocidad angular.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque el motor de regulación es un motor EC (14) que tiene un estator con un devanado y un rotor unido solidariamente en rotación con el árbol de regulación, en cuyo rotor están dispuestos unos segmentos magnéticos (1..8) decalados uno respecto de otro en dirección periférica y magnetizados alternativamente en direcciones mutuamente opuestas, los cuales tienen tolerancias respecto de su posicionamiento y/o sus dimensiones, porque, para captar los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los valores de la velocidad angular, se detecta la posición de los segmentos magnéticos (1..8) con relación al estator, porque se capta al menos un valor de corrección para compensar la influencia de al menos una tolerancia sobre los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y porque se corrigen los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los valores de la velocidad angular con ayuda del factor de corrección.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque se detecta la posición de los segmentos magnéticos (1..8) con ayuda de un equipo de medida (17) que presenta en el estator varios sensores de campo magnético que están decalados uno respecto de otro en la dirección periférica del estator de tal manera que por cada revolución del rotor con relación al estator se recorre una pluralidad de combinaciones de segmento magnético-sensor, y porque se obtiene para cada una de estas combinaciones de segmento magnético-sensor un respectivo valor de corrección, se almacena éste y se le emplea para corregir los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los valores de la velocidad angular.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque el rotor es hecho girar con relación al estator de tal manera que se recorra una pluralidad de combinaciones de segmento magnético-sensor, porque se captan con ayuda del equipo de medida (17) para estas combinaciones de segmento magnético-sensor unos primeros valores de medida no corregidos del ángulo de giro del árbol de regulación y/o unos primeros valores no corregidos de la velocidad angular, porque se captan, además, valores de referencia para el ángulo de giro del árbol de regulación y/o para la velocidad angular, que presentan una mayor exactitud que la de los primeros valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los primeros valores de la velocidad angular, porque con ayuda de los primeros valores de medida no corregidos del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los primeros valores no corregidos de la velocidad angular se determinan los valores de corrección que sirven de factores de corrección, porque se recorren de nuevo las combinaciones de segmento magnético-sensor asociadas a los primeros valores de medida no corregidos del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los primeros valores no corregidos de la velocidad angular y se captan entonces con ayuda del equipo de medida (17) unos segundos valores de medida no corregidos del ángulo de giro del árbol de regulación y/o unos segundos valores no corregidos de la velocidad angular, y porque se corrigen estos valores con ayuda de los factores de corrección previamente obtenidos.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque se forman los valores de referencia alisando por filtrado los primeros valores de medida no corregidos del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los primeros valores no corregidos de la velocidad angular.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque se hace que gire el rotor con relación al estator de tal manera que las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor se presenten al menos dos veces, porque se determinan entonces para las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor sendos

ES 2 305 959 T3

factores de corrección para los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los valores de la velocidad angular, porque se forman sendos valores medios a partir de los factores de corrección obtenidos para las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor y porque se almacenan los valores de medida así obtenidos como nuevos factores de corrección y se corrigen los valores de medida del ángulo de giro del árbol de regulación y/o los valores de la velocidad angular con ayuda de estos factores de corrección al producirse un nuevo recorrido de las combinaciones de segmento magnético-sensor.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque como valor medio se forma cada vez el respectivo valor medio aritmético.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque como valor medio se forma cada vez un valor medio flotante, preferiblemente de tal manera que, al aumentar la antigüedad de los factores de corrección, disminuya el peso con el que dichos factores de corrección intervienen en el valor medio.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque los valores medios flotantes $F_{\text{Nuevo}}[i(t-T)]$ para las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor se determinan cíclicamente según la fórmula $F_{\text{Nuevo}}[i(t-T)] = \lambda F_{\text{Viejo}}[i(t-T)] + (1-\lambda)F[i(t-T)]$, en donde significan i un índice que identifica la respectiva combinación de segmento magnético-sensor, t el tiempo, T un tiempo de retardo entre la velocidad angular real y los valores de velocidad angular medidos, $F_{\text{Viejo}}[i(t-T)]$ el valor medio obtenido en la última formación de valor medio en el índice i , y λ un factor de olvido que es mayor que cero y menor que 1 y que preferiblemente está dentro del intervalo comprendido entre 0,7 y 0,9.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque

- a) se hace que gire el rotor con relación al estator y se obtienen y almacenan los factores de corrección para las distintas combinaciones de segmento magnético-sensor,
- b) seguidamente, se recorren de nuevo las combinaciones de segmento magnético-sensor correspondientes, obteniéndose un juego de nuevos factores de corrección,
- c) se permutan cíclicamente los factores de corrección del juego viejo de factores de corrección con relación a los del juego nuevo de factores de corrección y se comparan después uno con otro los juegos de factores de corrección,
- d) se repite el paso c) hasta que se hayan comparado todas las combinaciones de permutación del juego viejo de factores de corrección con el juego nuevo de factores de corrección,
- e) se obtiene la combinación de permutación en la que se presenta la máxima coincidencia con el juego nuevo de factores de corrección, y
- f) se corrigen los valores de velocidad angular con la disposición de los valores de corrección del juego viejo de factores de corrección asociada a esta combinación de permutación.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado** porque se forman sendos valores medios a partir de los respectivos factores de corrección del juego viejo de factores de corrección que están asociados uno a otro en la combinación de permutación en la que se presenta una máxima coincidencia entre los juegos de factores de corrección, y se almacenan estos valores medios como nuevos factores de corrección, y porque se corrigen los valores de la velocidad angular con el juego de factores de corrección obtenido por esta formación de valor medio.

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque

- a) se hace que gire el rotor con relación al estator de tal manera que se recorran al menos una vez todas las combinaciones de segmento magnético-sensor,
- b) se genera entonces una señal de medida de posición de los sensores de campo magnético de tal manera que por cada revolución del motor EC (14) se recorra para cada par de polos del rotor un respectivo número de estados de señal de medida,
- c) se obtiene y se almacena un primer juego de datos con un número de combinaciones de valores correspondiente al número de combinaciones de segmento magnético-sensor, estando constituida cada una de dichas combinaciones de valores al menos por un factor de corrección para la combinación de segmento magnético-sensor correspondiente y un estado de señal de medida asociado a ésta,
- d) seguidamente, se recorren de nuevo las combinaciones de segmento magnético-sensor correspondientes, obteniéndose y almacenándose un segundo juego de datos nuevo con combinaciones de valores,
- e) en caso de una desviación entre los estados de señal de medida del primer juego de datos y los del segundo juego de datos, se desplazan cíclicamente las combinaciones de valores del primer juego de datos con

relación a las del segundo juego de datos de tal manera que coincidan los estados de señal de medida de los juegos de datos,

f) a continuación, se comparan uno con otro los respectivos factores de corrección mutuamente asociados de los juegos de datos,

g) se permutan cíclicamente los factores de corrección de uno de los juegos de datos con relación a los factores de corrección del otro juego de datos en un número de pasos correspondiente al doble del número de sensores de campo magnético y seguidamente se comparan uno con otro los respectivos factores de corrección mutuamente asociados de los juegos de datos,

h) se repite eventualmente el paso g) hasta que se hayan procesado todas las combinaciones de permutación,

i) se obtiene una combinación de permutación en la que se presenta una coincidencia máxima entre los factores de corrección de los juegos de datos, y

j) se corrigen los valores de la velocidad angular con la disposición de los valores de corrección del primer juego de datos asociada a esta combinación de permutación.

14. Procedimiento según la reivindicación 13, **caracterizado** porque se forman sendos valores medios a partir de los respectivos factores de corrección de los juegos de datos primero y segundo que están asociados uno a otro en la combinación de permutación en la que se presenta una máxima coincidencia entre los factores de corrección de los juegos de datos, y se almacenan estos valores medios como nuevos factores de corrección, y porque se corrigen los valores de la velocidad angular con el juego de factores de corrección obtenido por esta formación de valor medio.

15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado** porque se obtienen y comparan una con otra dentro de una ventana de tiempo las amplitudes de fluctuación de los valores de velocidad angular no corregidos y de los valores de velocidad angular corregidos, y porque en caso de que la amplitud de fluctuación de los valores de velocidad angular corregidos sea mayor que la de los valores de velocidad angular no corregidos, se obtienen de nuevo los factores de corrección y/o se restablece la asociación de los factores de corrección a las combinaciones de segmento magnético-sensor.

16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 15, **caracterizado** porque se limitan los factores de corrección a un intervalo de valores prefijado que está comprendido preferiblemente entre 0,8 y 1,2.

17. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado** porque se determina un valor de momento de inercia para el momento de inercia de masa del rotor, porque se capta una señal de corriente I determinando para los distintos instantes de medida del árbol de regulación sendos valores de corriente I(k) para la corriente eléctrica en el devanado, porque se determina para los distintos valores de velocidad angular $\omega(k)$ un valor estimativo $\omega_s(k)$ para el valor de velocidad angular $\omega(k)$ a partir de un valor de velocidad angular $\omega_k(k-1)$ asociado a un instante de medida anterior del árbol de regulación, la señal de corriente I y el valor del momento de inercia, porque se asigna a este valor estimativo $\omega_s(k)$ una banda de tolerancia en la que está contenido el valor estimativo $\omega_s(k)$, y porque en caso de que el valor de velocidad angular $\omega(k)$ esté fuera de la banda de tolerancia, se sustituye el valor de velocidad angular $\omega(k)$ por un valor de velocidad angular $\omega_k(k)$ situado dentro de la banda de tolerancia.

18. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 17, **caracterizado** porque se carga el rotor con un momento de carga, porque se habilita una señal de momento de carga M_L para el momento de carga y porque se determina el valor estimativo $\omega_s(k)$ a partir del valor de velocidad angular $\omega_k(k-1)$ asociado al instante de exploración anterior, la señal de corriente I, la señal de momento de carga M_L y el valor del momento de inercia.

19. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 18, **caracterizado** porque se capta la tensión eléctrica aplicada al devanado y porque se determinan indirectamente los valores de corriente I(k) a partir de la tensión, la impedancia del devanado, los valores de velocidad angular eventualmente corregidos $\omega_k(k)$ y una constante del motor.

20. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 19, **caracterizado** porque la banda de tolerancia está limitada por valores marginales y porque se corrigen valores de velocidad angular $\omega(k)$ - que están fuera de la banda de tolerancia - llevándolos al valor marginal de la banda de tolerancia más próximo a ellos.

21. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 20, **caracterizado** porque se eligen la anchura y/o la posición de la banda de tolerancia en función del valor de velocidad angular $\omega_k(k-1)$ asociado al instante de medida anterior del árbol de regulación y preferiblemente se las reduce al aumentar la velocidad angular y/o se las incrementa al disminuir la velocidad angular.

22. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 21, **caracterizado** porque se eligen la anchura y/o la posición de la banda de tolerancia en función de la señal de corriente I y preferiblemente se las incrementa al aumentar la corriente y/o se las reduce al disminuir la corriente.

ES 2 305 959 T3

23. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 22, **caracterizado** porque se alisa la señal de corriente I por filtrado, especialmente por medio de una formación de valor medio flotante, y porque se determinan los valores estimativos $\omega_s(k)$ para los valores de velocidad angular $\omega(k)$ con ayuda de la señal de corriente filtrada I.

- 5 24. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 23, **caracterizado** porque se extrapola cada vez un valor estimativo para el ángulo de giro que presenta el cigüeñal (12) en el instante de referencia a partir de al menos dos valores de medida del ángulo de giro del cigüeñal, la diferencia de tiempo entre los instantes de medida del ángulo de giro del cigüeñal asociados a estos valores de medida y la distancia en tiempo entre el último instante de medida del cigüeñal y el instante de referencia, porque se obtiene la diferencia de tiempo entre el instante de referencia y el último
10 instante de medida del cigüeñal y porque se determina el valor estimativo a partir del valor de medida del ángulo de giro del cigüeñal en el último instante de medida del cigüeñal, la diferencia de tiempo y el valor de la velocidad angular.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig. 1

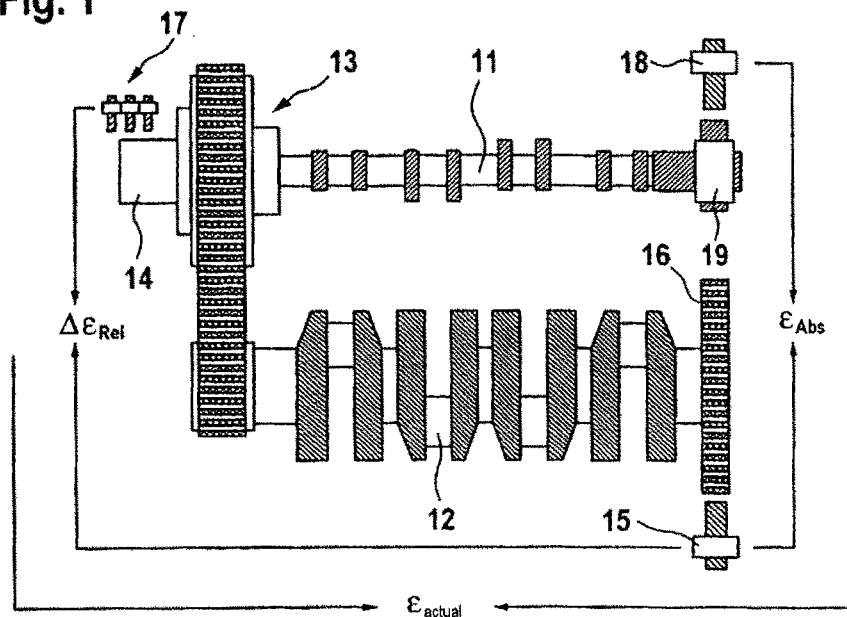
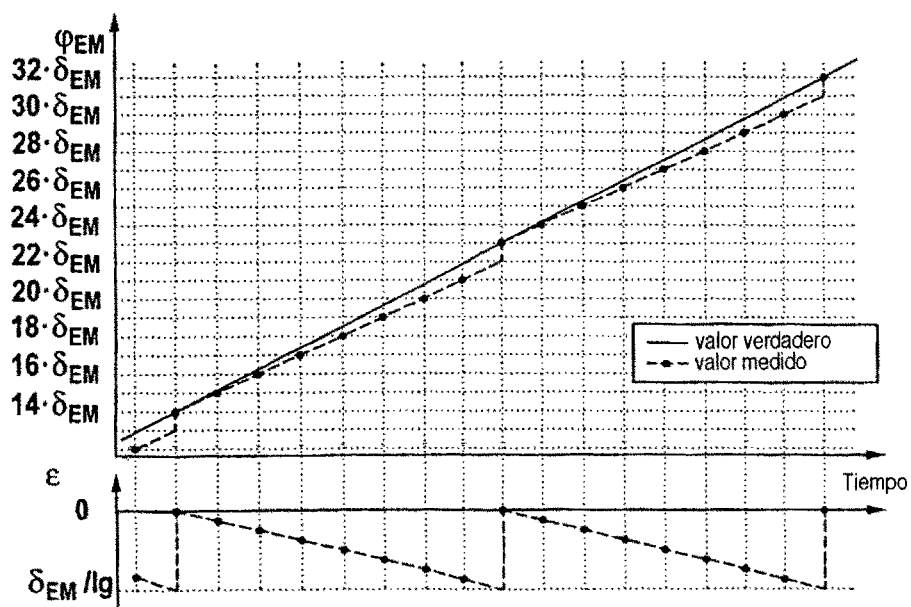


Fig. 2



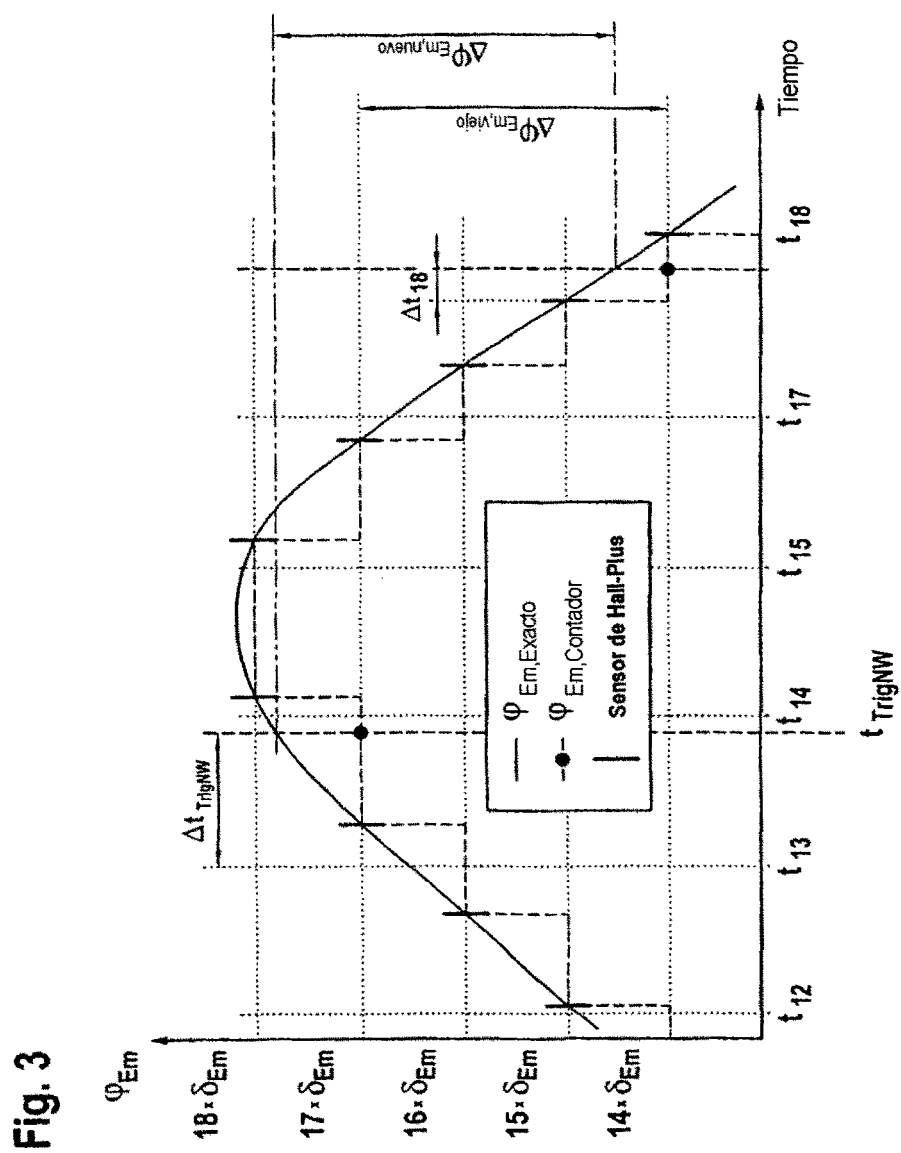


Fig. 4

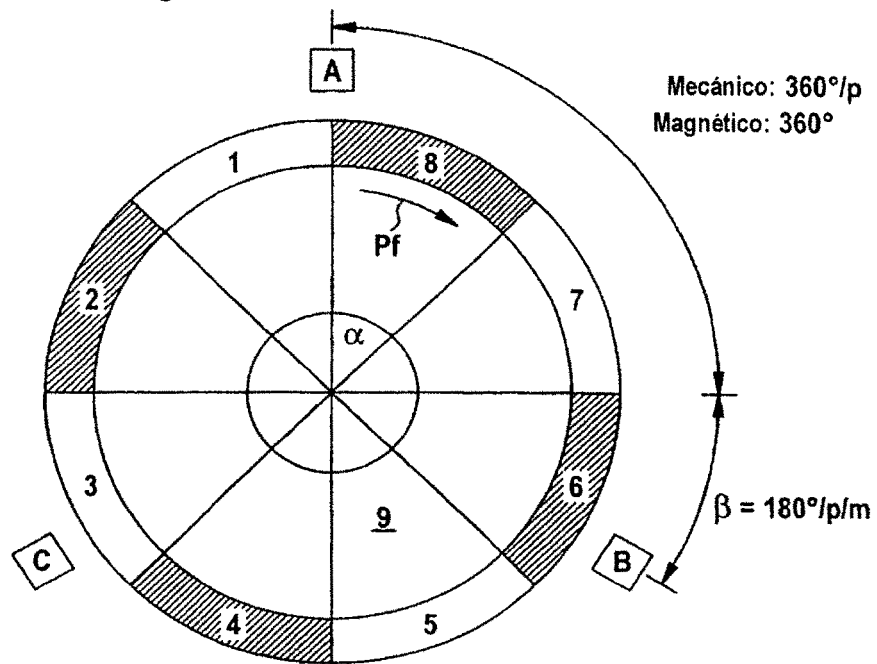


Fig. 5

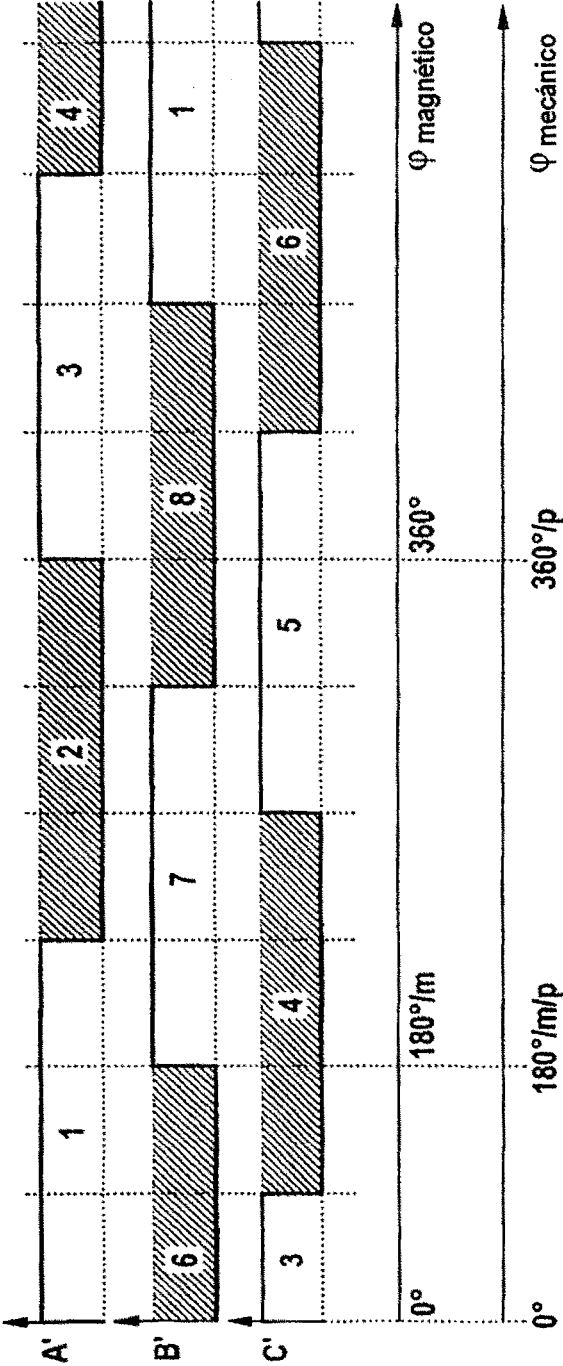


Fig. 6

