

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **3 029 634**

(51) Int. Cl.:

H02P 23/00 (2006.01)
G05D 17/02 (2006.01)
G01M 13/025 (2009.01)
B60L 15/20 (2006.01)
H02P 29/50 (2006.01)
H02P 6/10 (2006.01)
H02P 23/12 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.07.2018 PCT/EP2018/069703**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **24.01.2019 WO19016348**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2018 E 18743782 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.03.2025 EP 3656051**

(54) Título: **Procedimiento y dispositivo para estimar la ondulación del par de un motor eléctrico**

(30) Prioridad:

21.07.2017 AT 506132017

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.06.2025

(73) Titular/es:

**AVL LIST GMBH (100.00%)
Hans-List-Platz 1
8020 Graz, AT**

(72) Inventor/es:

**KOKAL, HELMUT;
GIORDANO, LUIGI y
PROPST, MARIO**

(74) Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 3 029 634 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para estimar la ondulación del par de un motor eléctrico

- 5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para estimar la ondulación del par de un motor eléctrico.

10 Los motores eléctricos, particularmente los motores síncronos de imanes permanentes (PMSM), se utilizan ampliamente en el sector automotriz. Estos motores eléctricos se utilizan normalmente junto con una caja de cambios y ejes de transmisión, para las ruedas motrices como tren de transmisión. Un tren de transmisión de este tipo representa un sistema mecánico complejo con modos propios estructurales y torsionales. La aparición de estimulaciones periódicas en frecuencias cercanas a las frecuencias de estos modos propios puede provocar ruidos desagradables para el conductor. Pero las consecuencias también pueden afectar la vida útil de los componentes e incluso provocar la destrucción de componentes individuales del tren de transmisión.

15 15 Un efecto secundario típico del uso de estos motores eléctricos es la aparición de una ondulación del par, también conocida como "Torque Ripple" o "Ripple-Moment". Esto significa una distribución de par, que depende ligeramente del ángulo de rotación sobre el ángulo de rotación del rotor del motor eléctrico. Las causas pueden ser una distribución desigual del devanado del motor, falta de homogeneidad de los imanes permanentes o 20 también asimetrías de los componentes electrónicos utilizados.

Normalmente, estas ondulaciones de par se producen en órdenes de frecuencia de rotación, donde el número de orden está determinado, por ejemplo, por el número de pares de polos y el número de ranuras.

25 25 Otro efecto secundario típico es la aparición de los llamados pares de retención en dichos motores. El par de retención es la ondulación del par del motor eléctrico desenergizado.

30 30 Para medir con precisión la ondulación del par que se produce, es ventajoso medir el par en el eje de salida del motor eléctrico. Sin embargo, la medición del par normalmente no está prevista en la combinación motor eléctrico-caja de cambios, o es técnicamente difícil de realizar.

35 35 Utilizando un banco de pruebas, en el que se mide el par de salida del motor eléctrico, por ejemplo, a través de una brida de medición, también se puede calcular la ondulación del par en un paso de posprocesamiento. Sin embargo, esto requiere medir y diferenciar la velocidad del motor eléctrico. Esto es problemático durante el funcionamiento y normalmente solo es posible mediante un filtrado de paso bajo de la señal de medición, que es complejo y bastante propenso a errores.

40 40 Desde el documento US 5,534,764 A se conoce un procedimiento para estimar las vibraciones del tren de transmisión o del eje de transmisión de un vehículo durante el funcionamiento, utilizando un modelo de sistema del vehículo, que, sin embargo, no tiene en cuenta la ondulación de par del motor eléctrico de accionamiento. El documento WO 2009/034024 A2 describe un banco de pruebas para un accionamiento eléctrico o mecánico. El documento EP 2 447 120 A2 describe un sistema de control del vehículo para un vehículo híbrido.

45 45 Un objetivo de la invención es, entre otros, proporcionar un procedimiento, así como un dispositivo, mediante los cuales se puedan estimar, con la mayor precisión posible, las ondulaciones de par de un motor eléctrico en el banco de pruebas y durante el funcionamiento.

50 50 Estos y otros objetivos se resuelven de acuerdo con la invención mediante un procedimiento según la reivindicación 1. El procedimiento de acuerdo con la invención estima la ondulación del par T_{TR} de un motor eléctrico conectado con una carga a partir de un par de ajuste T_{set_UUT} para el motor eléctrico, un par de salida T_{shaft} medido en la carga, y el momento de inercia de masa J conocido del motor eléctrico, formando un circuito de control para rastrear la velocidad del motor eléctrico. En el sistema de control del circuito de control se determina la velocidad ideal ω_{ideal} del motor eléctrico, y el controlador del circuito de control rastrea esta velocidad ideal ω_{ideal} de la velocidad real ω_{UUT} medida en el motor eléctrico de tal manera, que la ondulación del par actual T_{TR} aparece como una variable de salida en la salida del controlador. La variable de salida puede entonces ser alimentada al exterior y ser aprovechada.

60 60 El controlador puede ser diseñado en particular como controlador PI. El procedimiento de acuerdo con la invención se puede utilizar para estimar la ondulación del par de una máquina síncrona de imanes permanentes. El procedimiento se puede utilizar ventajosamente tanto en un banco de pruebas, como directamente en un vehículo. La carga puede ser una carga controlable. El procedimiento también se puede utilizar durante el funcionamiento de un vehículo accionado por un motor eléctrico, siempre que se conozcan las variables medidas de velocidad y par en el eje. Esto es ventajoso porque permite realizar la estimación de la ondulación del par en tiempo real, y no es necesario ningún paso complejo de posprocesamiento. Además, no es necesaria ninguna diferenciación de la velocidad medida del motor.

La invención también comprende un dispositivo para estimar la ondulación del par T_{TR} de un motor eléctrico conectado con una carga a través de un eje. El dispositivo de acuerdo con la invención comprende un sensor para medir la velocidad real ω_{UUT} del motor eléctrico, y un sensor para medir el par de salida T_{shaft} de la carga.

- 5 El dispositivo comprende además un circuito de control, para rastrear la velocidad del motor eléctrico con un sistema de control y un controlador. En el sistema de control, un par de ajuste T_{set_UUT} del motor eléctrico, el par de salida T_{shaft} y un momento de inercia de la masa J del motor eléctrico, una velocidad ideal ω_{ideal} del motor eléctrico. El controlador está diseñado de tal manera, que rastrea la velocidad ideal ω_{ideal} de la velocidad real ω_{UUT} de tal manera, que la ondulación del par T_{TR} se genera como una variable de salida del controlador. Esta
10 variable de salida puede entonces ser alimentada al exterior y ser aprovechada.

De acuerdo con la invención puede estar previsto, que el dispositivo forme parte de un banco de pruebas para un motor eléctrico. De acuerdo con la invención puede estar previsto, que el motor eléctrico sea una máquina síncrona de imanes permanentes, una máquina asincrónica o un motor de reluctancia. La carga puede ser una
15 carga controlable. Sin embargo, el dispositivo también puede ser parte del sistema de transmisión de un vehículo.

Otras características de la invención se desprenden de las reivindicaciones de la patente, de la descripción de los ejemplos de realización y de los dibujos.
20

La invención se explica a continuación con más detalle mediante un ejemplo de realización. Se muestran en las:
25

Fig. 1: una configuración convencional de un banco de pruebas para un motor eléctrico;

25 Fig. 2a - 2c: detalles de una forma de realización del sistema y procedimiento de acuerdo con la invención.

La Fig. 1 muestra la configuración convencional de un banco de pruebas para un motor eléctrico 1. El motor eléctrico 1 a probar (objeto de prueba o "Unit-Under-Test UUT" unidad bajo prueba) está conectado con una carga controlable 3 a través de un eje 2. Con una unidad de control 4 de la carga 3 (no representada en esta figura), se especifican diferentes condiciones de carga para el motor eléctrico 1 a probar, por ejemplo, una especificación de la velocidad que se debe alcanzar o el par que se debe alcanzar. Estos bancos de pruebas se utilizan normalmente sin caja de cambios, sin tren de transmisión ni otros componentes de transmisión.
30

35 En esta figura, T_{set_UUT} indica el par de ajuste, y ν_{UUT} indica la velocidad medida del motor eléctrico 1 que se va a probar. El símbolo T_{shaft} indica el par de salida medido en el eje 2. El par especificado en la carga 3 se indica con el símbolo T_{set_Dyno} , y la velocidad medida en la carga 3 se indica con el símbolo n_{Dyno} .

40 A partir de la velocidad medida en el objeto de prueba, se realiza un cálculo de la ondulación del par T_{TR} ("Ripple-Moment") en un paso de posprocesamiento, en el que el momento de inercia de masa J_{UUT} previamente determinado del motor eléctrico 1 se utiliza:

$$T_{TR} = J_{UUT} \left(\dot{\nu}_{UUT} \frac{\pi}{30} \right) - T_{set_{UUT}} + T_{shaft}$$

45 Una diferenciación de la velocidad medida ν_{UUT} durante el funcionamiento, resulta, sin embargo, problemática, y normalmente solo es posible con un filtrado de la señal de paso bajo.

La Fig. 2a muestra un generador de par ideal 4, que se puede utilizar como parte del procedimiento de acuerdo con la invención. En este generador de par ideal 4, T_{set} indica el par de ajuste, T_{shaft} indica el par de salida medido, y ω_{ideal} indica la velocidad del motor eléctrico ideal. El símbolo J indica el momento de inercia del motor eléctrico. La relación matemática es:
50

$$\omega_{ideal} = \frac{1}{J} \int (T_{set} - T_{shaft})$$

55 Para el cálculo de la velocidad real ω_{real} la ondulación de par ("Ripple-Moment") desconocida T_{TR} se suma al par de ajuste y al par de salida:

$$\omega_{real} = \frac{1}{J} \int (T_{set} - T_{shaft} + T_{TR})$$

60 Por lo tanto, la velocidad ideal ω_{ideal} igual a la velocidad real ω_{real} , si se tiene en cuenta el par de ondulación T_{TR} a la entrada del motor eléctrico ideal, además del par de ajuste y del par de salida.

La Fig. 2b muestra un circuito de control 5 diseñado correspondientemente, en el que la velocidad ideal ω_{ideal} como variable controlada de la velocidad real medida ω_{real} se rastrea como una variable de referencia. Para este fin está previsto un controlador 6, que en el presente ejemplo de realización está diseñado como un controlador PI. La diferencia entre la velocidad ideal ω_{ideal} y velocidad real ω_{real} se transmite al controlador 6 como una desviación de control.

El controlador 6 proporciona una desviación de par como variable de salida. A la variable de salida en el sistema de control se le resta el par de ajuste actual T_{set} y el par de salida medido T_{shaft} , y el resultado se divide por el momento de inercia de masa J , así como la integración se forma a lo largo del tiempo, de modo que la velocidad actual se forma como una variable controlada.

La variable de salida del controlador 6 corresponde así a la ondulación del par actual, es decir, el par de ondulación T_{TR} . Por lo tanto, la ondulación del par actual en este circuito de control 5 se genera automáticamente como un subproducto del control de velocidad controlado.

La Fig. 2c muestra una forma de realización de la invención, utilizando el ejemplo de un banco de pruebas específico. Nuevamente, el motor eléctrico 1 que se va a probar, está conectado con una carga controlable 3 a través de un eje 2. En esta figura, T_{set_UUT} indica de nuevo el par de ajuste del motor eléctrico 1 a probar, y ω_{UUT} indica la velocidad medida del motor eléctrico 1 a probar.

El controlador 6' calcula a partir de la diferencia entre la velocidad de la carga 3 y la velocidad especificada ω_{dem_Load} el par objetivo T_{set_Load} de la carga 3. Tanto la carga 3 como el motor eléctrico 1 a probar, están controlados por una unidad de control 7, que proporciona el par deseado T_{set_Load} y T_{set_UUT} en señales de control correspondientes para la carga 3 o el motor eléctrico 1. El símbolo T_{shaft} nuevamente indica el par de salida medido en el eje 2.

A partir de T_{set_UUT} , T_{shaft} y la velocidad medida ω_{UUT} se determina, como se explicó en relación con la Fig. 2b, el par de ondulación actual T_{TR} en el circuito de control 5, sin necesidad de diferenciar la velocidad actual del motor eléctrico.

La invención no se limita a una realización específico del motor eléctrico, de la carga o del circuito de control, sino que comprende todos los procedimientos y dispositivos dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones de patente.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para estimar la ondulación del par T_{TR} de un motor eléctrico (1) conectado con una carga (3), en el que la velocidad ideal ω_{ideal} del motor eléctrico (1) se determina a partir de un par de ajuste T_{set_UUT} para el motor eléctrico (1), un par de salida T_{shaft} medido en la carga (3) y un momento de inercia de masa J del motor eléctrico (1) en el sistema de control de un circuito de control (5), por lo que la velocidad ideal ω_{ideal} de la velocidad real ω_{UUT} medida en el motor eléctrico (1) es rastreada mediante el controlador (6) del circuito de control (5) de tal manera, que la ondulación del par actual T_{TR} se genera como una variable de salida del controlador (6), por lo que la ondulación del par actual T_{TR} se alimenta al exterior y se aprovecha,

10 caracterizado por que

- el procedimiento se utiliza en un banco de pruebas para el motor eléctrico (1), y

15 - la velocidad ideal ω_{ideal} del motor eléctrico (1) se determina restando el par de ajuste actual T_{set} y el par de salida medido T_{shaft} del par de ajuste T_{set_UUT} , y dividiendo el resultado por el momento de inercia de la masa J , así como la integración se forma a lo largo del tiempo.

2. El procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el procedimiento se utiliza para estimar la ondulación del par de una máquina síncrona de imanes permanentes.

20 3. El procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la carga (3) es una carga controlable (3).

25 4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el procedimiento se utiliza para compensar la ondulación del par.

5. Un dispositivo para estimar la ondulación del par T_{TR} de un motor eléctrico (1) conectado con una carga (3), que comprende un sensor para medir la velocidad real ω_{UUT} del motor eléctrico (1), y un sensor para medir el par de salida T_{shaft} de la carga (3),

en el que el dispositivo comprende un circuito de control (5), en el que el circuito de control (5)

35 a. comprende un sistema de control, en el que se determina una velocidad ideal ω_{ideal} del motor eléctrico (1) a partir de un par de ajuste T_{set_UUT} del motor eléctrico (1), del par de salida T_{shaft} y de un momento de inercia de masa J del motor eléctrico (1),

b. y comprende un controlador (6), que rastrea la velocidad ideal ω_{ideal} de la velocidad real ω_{UUT} de tal manera, que la ondulación del par T_{TR} se genera como una variable de salida del controlador (6),

40 en el que la ondulación del par actual T_{TR} se alimenta al exterior y se aprovecha,

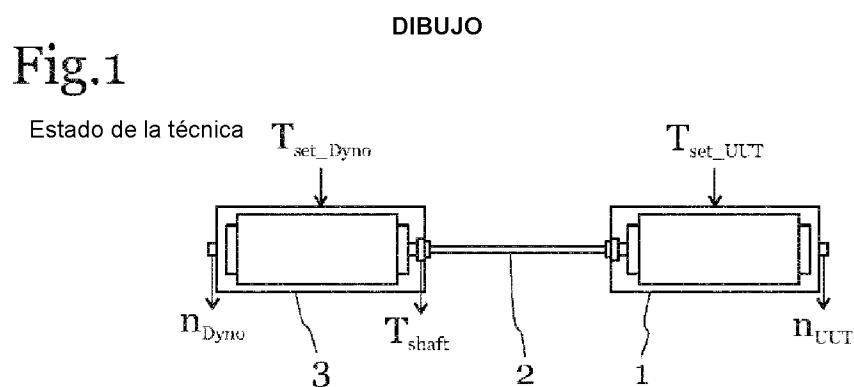
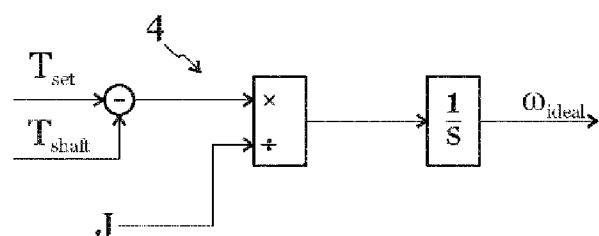
caracterizado por que

45 - el dispositivo forma parte de un banco de pruebas para el motor eléctrico (1), y

- el circuito de control (5) está diseñado para determinar la velocidad ideal ω_{ideal} del motor eléctrico, restando el par de ajuste actual T_{set} y el par de salida medido T_{shaft} del par de ajuste T_{set_UUT} , y dividiendo el resultado por el momento de inercia de la masa J , así como la integración se forma a lo largo del tiempo.

50 6. El dispositivo según la reivindicación 5, caracterizado por que la carga (3) es una carga controlable (3).

7. El dispositivo según la reivindicación 5 o 6, caracterizado por que el motor eléctrico (1) es una máquina síncrona de imanes permanentes.

**Fig.2a****Fig.2b**