

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 811 916**

51 Int. Cl.:

G01K 7/42 (2006.01)

B62D 5/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.06.2016** **PCT/EP2016/062709**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.12.2017** **WO17207066**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.06.2016** **E 16728661 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020** **EP 3465117**

54 Título: **Estimación de la temperatura de una bobina**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.03.2021

73 Titular/es:
THYSSENKRUPP PRESTA AG (50.0%)
Essanestrasse 10
9492 Eschen, LI y
THYSSENKRUPP AG (50.0%)

72 Inventor/es:
SZALMÁS, ISTVÁN

74 Agente/Representante:
VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 811 916 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

Estimación de la temperatura de una bobina

- 5 La presente invención se refiere a un sistema de dirección asistida accionada eléctricamente de un vehículo a motor de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

10 El sistema de dirección asistida eléctrica de un vehículo a motor está provisto de un motor eléctrico que proporciona una potencia de asistencia para una operación de giro de una palanca de dirección. Se usa una unidad de dirección asistida eléctrica para prevenir que el motor o una unidad de control electrónico (ECU) realice un control de conducción de este motor que sobrecaliente el motor y/o cause daños permanentes al limitar una corriente que fluye a través del motor.

15 Generalmente para evitar que el motor se sobrecaliente, se estima la temperatura de la bobina del motor. En general, la temperatura estimada de la bobina se calcula de la siguiente manera: se mide una temperatura base, que es la temperatura del módulo o la placa de la ECU y que es detectada por un sensor térmico en la ECU, luego se añade un incremento de calor $T_{Incremento}$, que es causado por la potencia disipada del motor, a la temperatura base. En un reinicio del sistema el calor incrementado $T_{Incremento}$ se pierde. Para estimar la temperatura correcta de la bobina, el estimador debe comenzar desde la temperatura base nuevamente,

20

$$T_{Bobina\ Estimada} = T_{Incremento} + T_{ECU} \xrightarrow{\text{Sistema Reinicio}} T_{Bobina\ Estimada} = 0 + T_{ECU} = T_{ECU} \xrightarrow{\text{Problema}} T_{ECU} << T_{Bobina\ real}.$$

- 25 Durante la restauración del incremento de calor, el motor no está protegido contra el sobrecalentamiento. El incremento de calor perdido puede ser superior a 100 °C. Después de un tiempo, el estimador alcanzará la temperatura estimada correcta de la bobina, pero esto puede llevar desde varios minutos hasta una hora.

30 Hasta que la temperatura estimada esté cerca de la temperatura real del motor, el motor no está protegido contra el sobrecalentamiento, lo que puede causar daños permanentes y la desmagnetización del motor. Una señal de temperatura inexacta puede causar un fallo en los diagnósticos.

35 El documento US 2005/0269150 A1 divulga un método para reducir la carga de una batería y mejorar la característica de arranque de un motor cuando el interruptor de encendido se cambia a estado APAGADO. Si un interruptor de encendido cambia desde el estado APAGADO al estado ENCENDIDO, se debe establecer un valor inicial del valor límite actual y se garantiza una protección contra sobrecalentamiento. Por lo tanto, se almacena el último estado del controlador (antes de que el interruptor de encendido cambie de estado ENCENDIDO a APAGADO) y un estado de proceso durante el estado APAGADO. Sin embargo, la medición de la temperatura no es lo suficientemente precisa, ya que tiene en cuenta la temperatura del motor y no la temperatura de las bobinas.

40 El documento US 8.972.115 B1 divulga un método para una protección contra sobrecalentamiento de una fuente de alimentación que entra en un modo a prueba de fallos, en el que la corriente del motor puede limitarse. La temperatura del motor se estima utilizando la resistencia térmica y la corriente del motor. La resistencia térmica se calcula utilizando la velocidad del vehículo y la temperatura del paquete de alimentación. Este cálculo no es lo suficientemente preciso, ya que tiene en cuenta la temperatura completa del paquete de alimentación y no la temperatura de la bobina del motor. El documento JP 2001328551 A divulga un método para estimar la temperatura de la bobina en un aparato de dirección asistida eléctrica. La temperatura se estima de acuerdo con las temperaturas de la placa de circuito impreso detectadas al finalizar el control de corriente y al (re)iniciar el control de corriente.

50 Es un objetivo de la invención proporcionar un sistema de dirección asistida eléctrica de un vehículo a motor con una estimación mejorada de la temperatura del motor para evitar que el motor eléctrico se sobrecaliente y proporcionar diagnósticos más precisos y robustos.

55 Este problema se resuelve mediante un método para estimar el incremento de temperatura perdido después del reinicio del sistema para la estimación de la temperatura de la bobina del motor en un sistema de dirección asistida eléctrica de un vehículo de motor con las características enumeradas en la reivindicación 1. Se pueden tomar realizaciones ventajosas adicionales a partir de las reivindicaciones dependientes.

60 Por consiguiente, se proporciona un método para estimar el incremento de temperatura perdido en un aparato de dirección asistida eléctrica de un vehículo a motor con una unidad de potencia que comprende una ECU con un sensor de temperatura y un motor eléctrico, dicho método comprende las etapas de:

a) Almacenar una curva de resistencia dada de las bobinas del motor;

65 b) Almacenar una curva de resistencia medida de la ECU;

c) Medir un vector de tensión de demanda, un valor de retroalimentación de corriente $I_{d,fb}$ basado en un vector de corriente de demanda y una tensión de batería durante un pulso de medición especial;

d) Determinar la resistencia de una fuente de alimentación basada en los parámetros medidos en la etapa c);

e) Medir la temperatura de la ECU con el sensor de temperatura;

f) Determinar la resistencia de la ECU sobre la base de la temperatura medida en la etapa e) y la curva de resistencia almacenada de la ECU;

g) Restar la resistencia de la ECU de la resistencia determinada del paquete de alimentación;

h) Determinar la temperatura de las bobinas del motor en función del valor obtenido en la etapa g) y la curva de resistencia almacenada de las bobinas del motor; y

i) Obtener el incremento de temperatura perdido restando la temperatura medida de la ECU de la temperatura determinada de las bobinas del motor.

Preferiblemente, la curva de resistencia de la bobina del motor viene dada por $T_{bobinamotor} = \frac{(R_{bobinamotor}) - 1}{\alpha_{Cu}} + T_0$, en la que $T_{bobinamotor}$ es la temperatura de la bobina del motor, $R_{bobinamotor}$ la resistencia de la bobina, T_0 la temperatura ambiente, α_{Cu} el coeficiente térmico del cobre de las bobinas y R_0 la resistencia de la bobina a temperatura ambiente.

En una realización, la resistencia de la bobina del motor aumenta con aproximadamente un 39 %/100 °C.

Es ventajoso que el pulso de medición especial sea tan corto que el rotor del motor no se mueva. Preferiblemente, el pulso de medición especial es inferior a 25 ms. El movimiento del rotor y, por lo tanto, la generación del par de torsión del motor se evita aún más mediante el uso de la dirección de un vector de corriente de demanda $I_{d,d}$ y dirección de un vector de tensión de demanda $U_{d,d}$.

En una realización preferida, la curva de resistencia de la bobina del motor y la curva de resistencia de la ECU medida se almacenan mediante ecuaciones polinómicas en el software de la ECU. Las curvas de resistencia pueden almacenarse aún más en tablas de consulta. En una realización preferida, se puede seleccionar la ecuación polinómica adecuada. Favorablemente, la curva de resistencia de la bobina del motor y la curva de resistencia de la ECU se almacenan cada una mediante dos ecuaciones polinómicas, una para una primera parte y otra para una segunda parte, en la que la primera y la segunda partes están separadas por el mínimo de resistencia de la curva de resistencia de la ECU.

Una realización preferida de la presente invención se describirá con referencia a los dibujos. En todas las figuras, los mismos signos de referencia indican los mismos componentes o componentes funcionalmente similares.

La figura 1 muestra una ilustración esquemática de un aparato de dirección accionado eléctricamente;

La figura 2 es un diagrama de bloques que muestra una estructura eléctrica del aparato de dirección accionado eléctricamente; y

La figura 3 muestra las resistencias calculadas trazadas frente a la temperatura.

La figura 1 es un diagrama esquemático de un aparato de dirección accionado eléctricamente 1. Un volante de dirección 2 está fijado a un árbol de dirección 3, y el árbol de dirección 3 está acoplado a una cremallera 4 a través de un mecanismo de piñón y cremallera 5. La rotación del árbol de dirección 3 que acompaña a una operación de dirección se convierte en un movimiento lineal alternativo de la cremallera dentada 4 mediante el mecanismo de piñón y cremallera 5. El movimiento lineal de la cremallera 4 cambia el ángulo de dirección de las ruedas de dirección 6. Para proporcionar la asistencia a la dirección, un motor eléctrico 7 montado en el lateral del alojamiento de la cremallera acciona un mecanismo de rosca de bolas 8 a través de una correa dentada de caucho 9.

La asistencia de potencia eléctrica se proporciona a través de un controlador de dirección (ECU) 10 y un accionador de asistencia de potencia 11 que comprende el motor eléctrico 7 y un controlador de motor 12. El controlador de dirección 10 recibe señales representativas de la velocidad del vehículo v y el par de torsión T_{TS} aplicado al volante de dirección 2 por el operario del vehículo. En respuesta a la velocidad del vehículo v y al par del operador T_{TS} , el controlador 10 determina el par de torsión del motor objetivo T_d y proporciona la señal al controlador del motor 12, donde los ciclos de trabajo se calculan para producir las corrientes de fase a través de PWM (modulación de ancho de pulso). El controlador de dirección 10 que incluye un sensor de temperatura 16 y el motor eléctrico 7 forma una unidad denominada paquete de alimentación 100. El paquete de alimentación 100 puede comprender elementos adicionales tales como el controlador de motor 12 o circuitos de detección para detectar corrientes y/o tensiones. El paquete de alimentación 100 se alimenta con tensión de batería U_{bat} .

La figura 2 muestra un diagrama de bloques de la estructura eléctrica del aparato de dirección accionado eléctricamente 1. El controlador de dirección 10 recibe señales representativas de la velocidad del vehículo v , el par de torsión T_{TS} aplicado al volante de dirección 2 por el operario del vehículo y una temperatura base T_0 y deriva el par de torsión del motor objetivo T_d . Este par de torsión se alimenta al controlador del motor 12 que determina la entrada de tensión para el PWM y un accionador de motor 17 genera a través del PWM las corrientes del motor $I_{bobinas} = i_{tu}, i_v, i_w$. Por lo tanto, el motor 7 genera un par de torsión T que compensa el par de torsión T_{TS} del operador.

Un estimador estima la temperatura de las bobinas del motor para ajustar, si es necesario, la corriente que fluye a través del motor 7 para evitar daños en el motor 7. Un sensor de temperatura 16 mide la temperatura T_{ECU} de la ECU 10. El estimador suma a la temperatura medida de la ECU T_{ECU} un incremento de calor $T_{Incremento}$.

$$T_{Bobina\ Estimada} = T_{Incremento} + T_{ECU}.$$

El incremento de calor se deriva de la siguiente manera

$$T_{Incremento} = T_{IncrementoPrev} + \left\{ \left(\frac{T_s}{C_{Térmica}} \right) \cdot (P - (T_{IncrementoPrev} \cdot G_{Térmica})) \right\}$$

en donde $T_{Incremento}$ es el valor del incremento de temperatura a tierra térmica en el ciclo de control real, $T_{IncrementoPrev}$ es el valor del incremento de temperatura calculado en el ciclo de ejecución anterior, $T_s = 1/f_s$ con f_s la frecuencia de funcionamiento del estimador, P es el valor de la potencia disipada calculada del motor en el ciclo de control real, $G_{Térmica}$ es la conductancia térmica y $C_{Térmica}$ es la capacidad térmica.

Después de reiniciar el sistema, el incremento de calor perdido $T_{IncrementoPerdido}$ necesita ser recuperado. Esto se hace con el siguiente método. La figura 3 muestra esquemáticamente las curvas de resistencia de las bobinas del motor 14, la ECU 15 y el paquete de alimentación 13 y el cálculo de la temperatura $T_{bobinamotor}$ de la bobina del motor. Antes de la operación del estimador, se mide la resistencia del paquete de alimentación $R_{paquetealimentación}$ 13 a diferentes temperaturas sobre el rango relevante. La curva de resistencia de la fuente de alimentación 13 tiene un punto de giro, que separa la curva en una parte fría y una parte caliente, en la que el punto de giro puede estar en un rango entre 0 °C y 15 °C. Este punto de giro es el mínimo de la curva de resistencia del paquete de alimentación. La forma de la curva de resistencia representa las diferentes dependencias de temperatura de los materiales y las partes eléctricas de la ECU 10. Una fórmula polinómica para cada parte de la curva de resistencia del paquete de alimentación 13 se determina basándose en el vector de tensión de demanda $U_{d,d}$ y el vector de corriente de demanda $I_{d,d}$ expresado en un sistema de coordenadas fijado a la frecuencia angular eléctrica ϕ del rotor giratorio. La frecuencia angular eléctrica ϕ del rotor giratorio tiene la misma dirección o la dirección opuesta que el rotor, por lo que se puede evitar la generación del par de torsión del motor. Al usar el vector de corriente de demanda $I_{d,d}$ y el vector de tensión de demanda $U_{d,d}$ la dirección asistida puede evitarse. Además, la conexión entre la resistencia de la bobina del motor y la temperatura de las bobinas del motor, dada por

$$T_{bobinamotor} = \frac{\left(\frac{R_{bobinamotor}}{R_0} \right) - 1}{\alpha_{Cu}} + T_0,$$

se almacena, en el que T_0 es la temperatura de las bobinas del motor a temperatura ambiente.

La resistencia de la bobina $R_{bobinamotor}$ depende de la temperatura. La fórmula depende del coeficiente térmico del cobre de las bobinas α_{Cu} . Su valor es de un 39 %/100 °C. Luego, la diferencia entre las dos curvas 13, 14 se calcula dando como resultado la curva de resistencia de la ECU 15. Esta curva se almacena en el archivo de parámetros con la ayuda de dos ecuaciones polinómicas, una para la parte caliente y otra para la parte fría, en la que se puede seleccionar la ecuación polinómica adecuada.

Durante el funcionamiento del estimador y después del reinicio del sistema, el incremento perdido $T_{IncrementoPerdido}$ se estima con el siguiente método;

En primer lugar, se mide la resistencia del paquete de alimentación $R_{paqueteenergía}$. Para eso se usa un pulso de medición especial. La duración de este pulso de medición especial es inferior a 25 ms. Durante este corto periodo de tiempo, el rotor no se mueve, no se proporciona asistencia de dirección y el conductor no detectará ningún fenómeno inusual, como la dirección asistida automática del sistema. Cuando se inicia el paquete de alimentación 100, la resistencia de la unidad de alimentación $R_{paquetealimentación}$ se calcula midiendo el valor de tensión de demanda $U_{d,d}$ y un valor de retroalimentación de corriente $I_{d,fb} = I_{paquetealimentación}$ se determina que fluye hacia el paquete de alimentación en función del valor de demanda de corriente $I_{d,d}$ y la tensión de la batería U_{bat} y del cálculo de la caída de tensión $U_{paquetealimentación}$ mediante

$$U_{paquetealimentación} = U_D \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot U_{bat} \right)$$

y mediante

$$R_{paquetealimentación} = \frac{U_{paquetealimentación}}{I_{paquetealimentación}}$$

- 5 Un sensor térmico 16, en el que el sensor térmico y el sensor de temperatura describen el mismo elemento, integrado en la ECU 10 mide la temperatura de la ECU T_{ECU} . El valor de resistencia adecuado de la ECU R_{ECU} entonces puede determinarse por la temperatura medida T_{ECU} y la parte respectiva (fría o caliente) de la curva de resistencia de la ECU almacenada previamente. En la siguiente etapa, la resistencia de la bobina del motor $R_{bobinamotor}$ se determina restando el valor de resistencia de la ECU R_{ECU} de la resistencia del paquete de alimentación $R_{paquetealimentación}$. Con el uso de la
- 10 curva de resistencia de la bobina del motor almacenada 14 y la resistencia calculada de la bobina del motor $R_{bobinamotor}$, la temperatura de la bobina del motor $T_{bobinamotor}$ se puede calcular. Después de eso, el incremento de calor perdido $T_{IncrementoPerdido}$ se determina, que es la diferencia entre la temperatura calculada de la bobina del motor $T_{bobinamotor}$ y la temperatura medida de la ECU T_{ECU} ,

$$15 \quad T_{IncrementoPerdido} = T_{bobinamotor} - T_{ECU}.$$

De esta manera, el estimador puede reiniciarse no desde la temperatura base (T_{ECU}), sino con un valor incrementado estimado $T_{IncrementoPerdido}$.

- 20 La temperatura estimada de la bobina del motor $T_{bobinaestimada}$ luego se calcula durante la inicialización del sistema mediante

$$T_{BobinaEstimada} = T_{IncrementoPerdido} + T_{ECU}.$$

- 25 Después de eso, el estimador continúa con $T_{Incremento}$, mientras que en el primer ciclo de cálculo $T_{IncrementoPerdido}$ se usa como $T_{IncrementoPrev}$,

$$30 \quad T_{BobinaEstimada} = T_{Incremento} + T_{ECU} \xrightarrow{\text{Sistema Reinicio}} T_{Incremento} = T_{IncrementoPerdido} \Rightarrow T_{BobinaEstimada} = T_{IncrementoPerdido} + T_{ECU} \cong T_{BobinaReal}$$

Finalmente, desde el principio, el motor eléctrico 7 funciona con la temperatura de la bobina del motor estimada correctamente.

- 35 El método de acuerdo con la presente invención permite recuperar fácilmente el valor de incremento de calor perdido después de reiniciar el sistema. En consecuencia, la estimación de la temperatura de las bobinas del motor comenzará desde el valor de temperatura correcto. Se puede evitar el daño del motor debido al sobrecalentamiento. Además, se puede proporcionar un diagnóstico de sistema más robusto y una estimación de señal de par de torsión más precisa.

REIVINDICACIONES

1. Método para la estimación del incremento de temperatura perdido ($T_{\text{IncrementoPerdido}}$) después de reiniciar un sistema para la estimación de la temperatura de una bobina de motor en un aparato de dirección de accionamiento eléctrico (1) de un vehículo a motor con un paquete de alimentación (100) que comprende una ECU (10) con un sensor de temperatura (16) y un motor eléctrico (7), **caracterizado por que** dicho método comprende las etapas de:
 - a) Almacenar una curva de resistencia respecto a una curva de temperatura dada de las bobinas del motor (14);
 - b) Almacenar una curva medida de resistencia respecto a la temperatura de la ECU (15);
 - c) Medir un vector de tensión de demanda ($U_{d,d}$), un valor de retroalimentación de corriente $I_{d,fb}$ basado en un vector de corriente de demanda ($I_{d,d}$) y una tensión de batería (U_{bat}) durante un pulso de medición especial;
 - d) Determinar la resistencia del paquete de alimentación ($R_{\text{paquetealimentación}}$) basado en los parámetros medidos en la etapa c);
 - e) Medir la temperatura de la ECU (T_{ECU}) con el sensor de temperatura (16);
 - f) Determinar la resistencia de la ECU (R_{ECU}) sobre la base de la temperatura medida en la etapa e) y la curva almacenada de resistencia respecto a la temperatura de la ECU (15);
 - g) Restar la resistencia de la ECU (R_{ECU}) de la resistencia determinada del paquete de alimentación ($R_{\text{paquetealimentación}}$);
 - h) Determinar la temperatura de las bobinas del motor ($T_{\text{bobinamotor}}$) basándose en el valor obtenido en la etapa g) y la curva almacenada de resistencia respecto a la temperatura de las bobinas del motor (14); y
 - i) Obtener el incremento de temperatura perdido ($T_{\text{IncrementoPerdido}}$) restando la temperatura medida de la ECU (T_{ECU}) de la temperatura determinada de las bobinas del motor ($T_{\text{bobinamotor}}$).
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la curva de la resistencia respecto a la temperatura de la bobina del motor (14) viene dada por $T_{\text{bobinamotor}} = \frac{\left(\frac{R_{\text{bobinamotor}}}{R_0}\right)^{-1}}{\alpha_{Cu}} + T_0$, en la que $T_{\text{bobinamotor}}$ es la temperatura de la bobina del motor, $R_{\text{bobinamotor}}$ la resistencia de la bobina, T_0 la temperatura ambiente, α_{Cu} el coeficiente térmico del cobre de las bobinas y R_0 la resistencia de la bobina a temperatura ambiente.
3. Método de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** la resistencia de la bobina del motor ($R_{\text{bobinamotor}}$) aumenta con un gradiente de aproximadamente un 39 %/100 °C.
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el pulso de medición especial es tan corto que el rotor del motor (7) no se mueve.
5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el pulso de medición especial es inferior a 25 ms.
6. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la curva de la resistencia respecto a la temperatura de las bobinas del motor (14) y la curva de la resistencia respecto a la temperatura del ECU (15) se almacenan mediante ecuaciones polinómicas.
7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la curva de la resistencia respecto a la temperatura de las bobinas del motor (14) y la curva de la resistencia respecto a la temperatura de la ECU (15) se almacenan cada una mediante dos ecuaciones polinómicas, una para una primera parte y otra para una segunda parte, en donde la primera y la segunda partes están separadas por el mínimo de resistencia de la curva de resistencia respecto a la temperatura de la ECU (15).



