



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 289 662**

51 Int. Cl.:
B62D 5/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **05250191 .3**

86 Fecha de presentación : **14.01.2005**

87 Número de publicación de la solicitud: **1559633**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **03.08.2005**

54 Título: **Método y aparato para el control de un motor eléctrico usando un filtro modificado de mezcla.**

30 Prioridad: **30.01.2004 GB 0401965**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.02.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.02.2008

73 Titular/es: **TRW LUCAS VARITY ELECTRIC
STEERING LIMITED
Stratford Road, Solihull
West Midlands B90 4LA, GB**

72 Inventor/es: **Burton, Anthony Walter;
De Pascal, Axel y
Andres Fernández, Angel Luis**

74 Agente: **Carpintero López, Francisco**

ES 2 289 662 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

Método y aparato para el control de un motor eléctrico usando un filtro modificado de mezcla.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método y aparato para el control de un motor eléctrico con dirección asistida. En particular, la presente invención se refiere a un método y aparato para el control de un motor eléctrico de un sistema de dirección asistida eléctrica mediante el uso de un filtro modificado de mezcla.

10 **Antecedentes de la invención**

Los sistemas de dirección asistida eléctrica son bien conocidos en el estado de la técnica. Se proporciona un ejemplo en la solicitud de patente internacional publicada WO 01/12492, TRW Lucas Varity Electric Steering Ltd. En los mencionados sistemas de dirección asistida eléctrica, un motor de asistencia eléctrico proporciona, al ser activado, un par motor de asistencia de dirección para ayudar al conductor a girar las ruedas orientables del vehículo. El motor de asistencia eléctrico normalmente se controla en respuesta al par de la dirección aplicado al volante del vehículo y a la velocidad medida del vehículo. Un controlador realiza un seguimiento del par de la dirección y controla un circuito de transmisión de potencia que, a su vez, suministra corriente eléctrica al motor de asistencia eléctrico. Dichos circuitos de control normalmente incluyen transistores de efecto de campo (FET, *field effect transistors*) u otras formas de conmutadores de estado sólido que se acoplan funcionalmente entre la batería del vehículo y el motor de asistencia eléctrico. La corriente del motor se controla mediante la modulación por ancho de pulso (PWM, *pulse width modulation*) de los FET.

La sensación de centrado se define como el grado de respuesta del sistema de dirección en un vehículo que se desplaza en una línea fundamentalmente recta. Se produce una buena sensación de centrado cuando el conductor nota la aceleración lateral del vehículo al realizar pequeñas maniobras en el ángulo del volante y cuando el vehículo se desplaza en línea recta con un mínimo de intervención del conductor. Se considera que un vehículo que tiene tendencia a desviarse de la línea recta deseada posee una sensación de centrado insuficiente.

La sensación de descentrado es el grado de respuesta del sistema de dirección en un giro estabilizado. Una buena sensación de descentrado se produce cuando el conductor, durante un giro estabilizado a una velocidad elevada, por ejemplo en una incorporación en curva a una autopista, puede realizar pequeñas modificaciones en el ángulo del volante que cambian claramente la trayectoria del vehículo. Si resulta difícil realizar correcciones del ángulo debido a una fricción elevada o histéresis, o si las correcciones no modifican de forma causal la trayectoria del vehículo, se afirma entonces que el vehículo posee una sensación de descentrado insuficiente.

A velocidades elevadas, es recomendable proporcionar tanto una buena respuesta de descentrado como una buena sensación de centrado. A tal efecto, se intenta alcanzar un buen equilibrio en la selección de la señal de par para obtener una sensación de centrado y un grado de respuesta de descentrado aceptables.

Los sistemas eléctricos de dirección asistida conocidos poseen una característica de rendimiento dinámico, es decir, un ancho de banda del sistema, que varía en función de la velocidad del vehículo. A medida que el conductor del vehículo aplica un par de dirección y gira el volante en ambos sentidos, el motor de asistencia eléctrico se activa para proporcionar una asistencia en la dirección como respuesta a las maniobras al volante detectadas. La respuesta del sistema de dirección en una frecuencia particular del movimiento del volante en ambos sentidos es indicativa del rendimiento dinámico del sistema. La gama de frecuencias con respecto a la cual el sistema de dirección responde de forma satisfactoria constituye el ancho de banda del sistema.

La cantidad de cambio local en el motor de asistencia eléctrico, dividida por la cantidad de cambio local en el par de dirección impuesto por el conductor, constituye la ganancia del sistema de dirección. Debido a la función de control del procesamiento del par detectado a fin de originar una instrucción que se desea para el motor, se produce un tiempo de retardo entre el momento en que se aplica el par de dirección al volante y el momento en que el motor de asistencia responde. Este tiempo de retardo es una función de la frecuencia a la que se aplica la instrucción de entrada. A este tiempo se le denomina el tiempo de respuesta del sistema. Se establece la ganancia del sistema en un valor predeterminado con el objeto de conseguir una respuesta rápida del sistema y a la vez mantener la estabilidad global del mismo. El tiempo de respuesta del sistema y la ganancia del sistema son factores en el ancho de banda del sistema de dirección.

El ancho de banda de un sistema de dirección varía en función de la velocidad del vehículo. Si la frecuencia de dirección dinámica o la frecuencia de una maniobra momentánea al volante en un sistema eléctrico de dirección asistida sobrepasa el ancho de banda del sistema a una velocidad específica del vehículo, la dirección será percibida como "lenta" (con una especie de "titubeo" o "vacilación" ante una maniobra al volante), ya que el motor de asistencia de la dirección no puede responder de forma suficientemente rápida. La ganancia del sistema de dirección y el ancho de banda del sistema disminuyen en un sistema eléctrico de dirección asistida a medida que la velocidad del vehículo aumenta, lo que hace que la vacilación o lentitud del sistema se note aún más al incrementarse la velocidad.

Resumen de la invención

La presente invención proporciona un método y un aparato para la mejora de la sensación de la dirección en un motor eléctrico en un sistema eléctrico de dirección asistida.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, existe un método para controlar un motor de asistencia eléctrico con el fin de proporcionar una asistencia a la dirección en respuesta a una señal de par detectada. Dicho método se caracteriza por los siguientes pasos:

filtrar la señal de par detectada (τ_s) para proporcionar una señal de par de baja frecuencia (τ_{SL}) y una señal de par de alta frecuencia (τ_{SH});

determinar una señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST\ LF}$) en función de la mencionada señal de par de baja frecuencia (τ_{SL});

determinar una señal de ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}) por medio de una función de mapa bidimensional interpolada linealmente y basada en la mencionada señal de par detectada y en una velocidad de vehículo detectada (v);

aplicar la mencionada señal de ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}) a la mencionada señal de par de alta frecuencia (τ_{SH}) para determinar una señal de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{ASSIST\ HF}$);

determinar una señal de instrucción de par (τ_{CMD}) en función de la mencionada señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST\ LF}$) y de la mencionada señal de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{ASSIST\ HF}$); y

ordenar al motor de asistencia eléctrico que proporcione una asistencia de dirección de acuerdo con una señal de salida de voltaje. Dicha señal de salida de voltaje está relacionada funcionalmente con la mencionada señal de instrucción de par.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, existe un aparato para controlar el motor eléctrico de dirección asistida de un vehículo. Dicho aparato comprende:

un sensor de velocidad del vehículo (104) que proporciona una señal de velocidad con un valor indicativo de la velocidad detectada del vehículo;

un sensor de par de dirección aplicado (30) que proporciona una señal de par detectada (τ_s) indicativa del par de dirección aplicado;

medios (200) para filtrar la señal de par detectada con el fin de proporcionar una señal de par de baja frecuencia (τ_{SL}) y una señal de par de alta frecuencia (τ_{SH});

medios (220) para determinar un valor de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST\ LF}$) en función de la mencionada señal de par de baja frecuencia (τ_{SL}) y para proporcionar una señal de par de asistencia de baja frecuencia indicativa del mismo;

medios (290) para implementar una función de búsqueda de mapa bidimensional e interpolada linealmente (350) con el fin de obtener un valor de ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}) en función de la mencionada señal de par detectada (τ_s) y una velocidad de vehículo detectada (v) y para proporcionar una señal de ganancia de asistencia de alta frecuencia indicativa de la misma;

medios (280) para determinar un valor de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{ASSIST\ HF}$) relacionado con el producto de la mencionada señal de par de alta frecuencia (τ_{SH}) y la mencionada señal de ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}) y para proporcionar una señal de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{ASSIST\ HF}$) indicativa del mismo;

medios (284) para determinar un valor de instrucción de par (τ_{CMD}) en función de la mencionada señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST\ LF}$) y la mencionada señal de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{ASSIST\ HF}$) y para proporcionar una señal de instrucción de par (τ_{CD}) indicativa del mismo; y

medios para ordenar al motor de asistencia eléctrica que proporcione una asistencia de dirección, de acuerdo con la mencionada señal de instrucción de par.

A continuación se describe la invención de forma más detallada, únicamente a título de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 es una representación esquemática de un sistema eléctrico de dirección asistida, de acuerdo con una modalidad de la presente invención;

ES 2 289 662 T3

la Figura 2 es un diagrama de bloques funcionales de un bucle de control de par del sistema eléctrico de dirección asistida de la Figura 1;

la Figura 3 es un diagrama de bloques funcionales de una función de curva de asistencia de baja frecuencia de la Figura 2;

la Figura 4 es un gráfico en el que se ilustran curvas de asistencia de alta frecuencia de una función de computación de ganancia de asistencia de alta frecuencia de la Figura 2;

la Figura 5 muestra un ejemplo de un mapa bidimensional; y

la Figura 6 muestra el sistema global que se sirve del mapa mostrado en la Figura 5.

Descripción de una modalidad preferida

Por lo que respecta a la Figura 1, un sistema eléctrico de dirección asistida (10) incluye un volante (12) conectado a un eje de entrada (14). El eje de entrada (14) está conectado funcionalmente a un eje de salida (20) a través de una barra de torsión (16). La barra de torsión (16) gira en respuesta a un par de dirección aplicado, permitiendo así una rotación relativa entre el eje de entrada (14) y el eje de salida (20). Unos toques (no mostrados) limitan la cantidad de rotación relativa entre los ejes de entrada y salida (14 y 20) de una forma conocida en el estado de la técnica. La barra de torsión (16) posee una constante de elasticidad, denominada en el presente K_t . La cantidad de par de dirección aplicado en función del movimiento rotativo relativo entre el eje de entrada (14) y el eje de salida (20) en respuesta al par de dirección aplicado es una función de K_t . La constante de elasticidad K_t puede expresarse en unidades de Newton por metro (Nm) o en pulgadas por libra por grado de rotación entre el eje de entrada (14) y el eje de salida (20).

Un sensor de posición (22) está conectado funcionalmente al eje de entrada (14) y al eje de salida (20). El sensor de posición (22), en combinación con la barra de torsión (16), forma un sensor de par (30). El sensor de posición (22) determina la posición rotativa relativa entre el eje de entrada (14) y el eje de salida (20). El sensor de par (30) proporciona una señal de par aplicada (τ_{app}), indicada en 24, a un procesador de señal de par (32). La señal de par aplicada (τ_{app}) es indicativa de la posición rotativa relativa entre el eje de entrada (14) y el eje de salida (20).

Cuando se gira el volante (12), el ángulo relativo entre el eje de entrada (14) y el eje de salida (20) varía en función del par de entrada aplicado al volante. El procesador de señal de par (32) vigila el ángulo entre el eje de entrada (14) y el eje de salida (20) a través de la señal de par aplicada (τ_{app}) y, debido a la constante de elasticidad K_t de la barra de torsión (16), proporciona una señal, mostrada en 34, indicativa del par de dirección aplicado τ_s .

El eje de salida (20) está conectado a un engranaje de piñón (40). El engranaje de piñón (40), como es bien conocido en el estado de la técnica, posee un dentado helicoidal que se acopla o engrana con dientes rectos en una cremallera de dirección o dirección lineal (número 42). El engranaje de piñón (40), en combinación con los dientes en la cremallera de dirección (42), forman un conjunto de cremallera y engranaje de piñón (44). La cremallera de dirección (42) está acoplada funcionalmente a las ruedas orientables del vehículo (46) a través de un varillaje de dirección (no mostrado) de una forma conocida. Cuando se gira el volante (12), el conjunto de cremallera y engranaje de piñón (44) convierte el movimiento rotatorio del volante (12) en un movimiento lineal de la cremallera de dirección (42). Cuando la cremallera de dirección (42) se mueve en una dirección lineal, las ruedas orientables (46) pivotan sobre sus ejes de dirección asociados.

De acuerdo con la modalidad que se utiliza como ejemplo, un motor de asistencia eléctrico (50) está conectado funcionalmente a la cremallera de dirección (42) a través de un ensamblaje de tuerca de bola (no mostrado) de una manera conocida o a través de otro sistema de engranaje deseado (como, por ejemplo, de rueda o corona helicoidal, cónico o de transmisión por cinta). Con el fin de explicar un ejemplo de la presente invención, se asume que la conexión funcional del motor eléctrico a la tuerca de la dirección se realiza a través de un ensamblaje de tuerca de bola, aunque la presente invención puede aplicarse igualmente a otros sistemas que conectan funcionalmente el motor eléctrico con el engranaje de dirección. Los expertos en este campo reconocerán que el motor de asistencia eléctrico (50) puede tener una conexión alternativa con los miembros de dirección con el fin de proporcionar una asistencia de dirección. Por ejemplo, el motor de asistencia eléctrico (50) podría conectarse funcionalmente al eje de salida (20), a un sistema independiente de accionamiento por piñón, etc. Cuando se activa, el motor de asistencia eléctrico (50) proporciona asistencia para ayudar al conductor a girar el volante del vehículo (12).

El motor eléctrico (50) de la modalidad de ejemplo puede ser de cualquier tipo conocido que resulte apropiado para su uso en el sistema eléctrico de dirección asistida (10). Por ejemplo, el motor eléctrico (50) puede ser un motor de reluctancia variable (VR, *variable reluctance*), un motor de corriente alterna de imán permanente (PMAC, *permanent magnet alternating current*) o un motor de corriente continua sin escobillas (BLDC, *brushless direct current*). En la modalidad de ejemplo, se describe en el presente cómo el motor eléctrico (50) posee el objetivo específico de suministrar una asistencia en el sistema eléctrico de dirección asistida (10). La presente invención puede aplicarse igualmente a otras configuraciones de motor y a otras finalidades, como por ejemplo proporcionar una potencia mecánica a máquinas herramienta.

ES 2 289 662 T3

El funcionamiento básico de un motor de asistencia eléctrico en un sistema eléctrico de dirección asistida (10) es bien conocido en el estado de la técnica. Esencialmente, se activan los polos del estátor para conseguir la cantidad deseada de par de motor en la dirección de rotación deseada. Se controla la dirección de la rotación del motor en respuesta a la secuencia en la que las bobinas del estátor son activadas en determinados tipos de motores y a la dirección del flujo de corriente en otros tipos de motores. La cantidad de corriente que atraviesa las bobinas del estátor controla el par generado por el motor. A fin de explicar una modalidad de ejemplo de la presente invención, se asume que el motor de asistencia eléctrico (50) es un motor PMAC.

Cuando se activa el motor eléctrico (50), el rotor del motor gira, lo que a su vez hace girar la parte de tuerca del sistema de transmisión de tuerca de bola al que está conectado el rotor. Cuando la tuerca gira, las bolas transmiten una fuerza lineal a la cremallera de dirección (42). La dirección del movimiento de la cremallera de dirección (50) depende de la dirección de rotación del motor eléctrico (50).

Un sensor de posición de rotor (60) está conectado funcionalmente al motor (50) y detecta la posición del rotor en relación con el estátor. El sensor de posición (60) proporciona una señal de posición de rotor (θ), indicada en 62, que posee un valor que indica dicha posición relativa entre el rotor y el estátor. La estructura y el funcionamiento de un sensor de posición de rotor son conocidos en el estado de la técnica y, por consiguiente, no se describen en el presente en detalle. Es necesario conocer la posición del rotor en relación con el estátor para obtener la dirección rotativa y el par de salida deseados del motor eléctrico (50).

El sistema eléctrico de dirección asistida (10) incluye una unidad de control electrónico (UCE) (70). Preferentemente, la UCE (70) debería ser un microordenador con la suficiente cantidad de memoria. Se apreciará que la UCE (70) puede tener otras configuraciones apropiadas. La UCE (70) se programa con algoritmos de control que tienen como objetivo controlar el motor eléctrico (50) de una forma predeterminada en respuesta a los parámetros detectados.

La UCE (70) está conectada funcionalmente a un circuito de transmisión de potencia (80). El circuito de transmisión de potencia (80) está conectado funcionalmente a un suministro de energía (84) a través de un relé (82). El suministro de energía (84) está conectado funcionalmente a la batería de un vehículo (86) y regula el suministro eléctrico proporcionado al circuito de transmisión de potencia (80). La UCE (70) proporciona una señal de salida de control de voltaje (v_{out}), indicada en 90, al circuito de transmisión de potencia (80). La señal de salida de control de voltaje (v_{out}) es indicativa del voltaje que se debe suministrar a cada fase del motor eléctrico (50), tal y como lo determinan los algoritmos de control programados en la UCE (70) y que se describen en detalle más adelante.

El circuito de transmisión de potencia (80) incluye FET u otras formas adecuadas de conmutadores de estado sólido controlables que son operativos para proporcionar una corriente de motor (i_m), indicada en 92, a las fases del motor eléctrico (50). La corriente de motor (i_m) para cada fase del motor eléctrico (50) está controlada por la PWM de los FET, de acuerdo con la señal de salida de control de voltaje (v_{out}).

Un dispositivo de seguimiento de voltaje/corriente (100) controla la corriente de motor (i_m) suministrada al motor eléctrico (50) y proporciona una señal de corriente de motor medida (i_{meas}) de cada fase a la UCE (70). Estas señales de corriente de motor medidas (i_{meas}) se indican en 102. El sensor de posición de rotor (60) y el procesador de señal de par (32) proporcionan, respectivamente, la señal de posición de rotor (θ) y la señal de par detectada (τ_s) a la UCE (70). Un sensor de velocidad de vehículo (104) proporciona una señal de velocidad de vehículo (v), indicada en 106, a la UCE (70). También se pueden proporcionar otras entradas, indicadas generalmente en 114, a la UCE (70) para fines de control, seguridad, o seguimiento del sistema.

Los algoritmos de control almacenados en la UCE (70) comprenden un bucle de control de par (120), un bucle de control de motor (130) y un bucle de control de corriente (140). El bucle de control de par (120) tiene como función determinar una señal de instrucción de par (i_{cmd}) solicitada, indicada en 126. La señal de instrucción de par (i_{cmd}) es indicativa de la cantidad de par de asistencia de dirección que requiere el motor eléctrico (50), basada al menos parcialmente en el par aplicado de dirección detectado (i_s) y en la velocidad del vehículo detectada (v). El bucle de control del par (120) proporciona la señal de instrucción de par (i_{cmd}) al bucle de control del motor (130).

El bucle de control del motor (130) tiene como función determinar una instrucción de corriente del motor (i_{cmd}), indicada en 132, y un ángulo de avance de corriente DQ (directa / cuadratura) (γ), indicado en 134. Se utiliza un bucle de control de corriente DQ para controlar la corriente en el motor eléctrico (50). La señal de instrucción de corriente (i_{cmd}) indica la cantidad de corriente que se suministrará al motor eléctrico (50). El ángulo de avance de corriente DQ (γ) indica el ángulo rotativo de la corriente de motor con respecto al eje-q al que se comanda el motor. El ángulo de avance de la corriente DQ (γ) viene determinado en función de la velocidad del motor y es distinto de cero únicamente para las velocidades de motor elevadas. Se determinan la señal de instrucción de corriente (i_{cmd}) y el ángulo de avance de corriente DQ (γ) basándose en la instrucción de par (i_{cmd}) y la velocidad de rotor detectada (ω). Se suministran la corriente de motor medida (i_{meas}) y la posición de rotor detectada (θ) al bucle de control del motor (130) con fines de respuesta y seguimiento. El bucle de control del motor (130) proporciona la instrucción de corriente de motor (i_{cmd}) y el ángulo de avance de corriente DQ (γ) al bucle de control de corriente (140).

El bucle de control de corriente (140) tiene como función determinar la señal de salida de voltaje (v_{out}). Como se ha mencionado anteriormente, la señal de salida de voltaje (v_{out}) es indicativa del voltaje que se suministrará a cada fase del motor de asistencia eléctrico PMAC (50). La señal de salida de voltaje (v_{out}) se determina basándose

ES 2 289 662 T3

al menos parcialmente en la instrucción de corriente (i_{cmd}), el ángulo de avance de corriente DQ (γ) y la posición de rotor detectada (θ). La señal de salida de voltaje (v_{out}) está formateada para controlar la PWM de los FET en el circuito de transmisión de potencia (80), de forma que se proporcionen las cantidades apropiadas de corriente de motor (i_m) a cada fase del motor eléctrico (50). Se proporciona la corriente de motor medida (i_{meas}) al bucle de control del motor (130) y al bucle de control de la corriente (140).

En la Figura 2 se ilustra el bucle de control del par (120). En esta explicación, algunas de las funciones realizadas por la UCE (70) se denominan, de manera intercambiable, funciones o circuitos. Se proporciona la señal de par detectada (τ_s) a un filtro de mezcla (200) del bucle de control del par (120). Se diseña el filtro de mezcla (200) mediante la medición de la función de transferencia de bucle abierto (G_p) en función de la velocidad del vehículo. El filtro de mezcla (200) está diseñado para satisfacer las especificaciones de estabilidad y rendimiento con respecto a todas las velocidades de un vehículo (v). El filtro de mezcla (200) también está diseñado para cumplir los objetivos de rendimiento deseados, obtener márgenes de estabilidad y márgenes de estabilidad de fase.

Específicamente, el filtro de mezcla (200) incluye un filtro de paso bajo (G_L) (202) y un filtro de paso alto (G_H) (204). Los filtros de paso bajo y alto (202 y 204) se han diseñado de forma que la suma de los dos filtros equivalga a uno para todas las frecuencias. El filtro de paso bajo (202) permite el paso de todas las señales de par detectadas (τ_s) con contenido de frecuencia por debajo de la frecuencia de mezcla (ω_b), a la vez que se rechaza todo el contenido de alta frecuencia de la señal. El filtro de paso alto (204) permite el paso de todas las señales de par detectadas (τ_s) con contenido de frecuencia por encima de la frecuencia de mezcla (ω_b), a la vez que se rechaza todo el contenido de baja frecuencia de la señal. Se determina la frecuencia de filtro de mezcla (ω_b), indicada en 212, en función de la velocidad del vehículo (v) mediante una función de determinación de filtro de mezcla (210). Se puede determinar ω_b gracias al uso de una tabla de búsqueda en la UCE (70) o realizando un cálculo de acuerdo con una ecuación predeterminada.

Se escogen los filtros de mezcla de forma que la suma del filtro de paso bajo $G_L(S)$ y del filtro de paso alto $G_H(S)$ siempre sea igual a uno:

$$G_L(S) + G_H(S) = 1 \quad (1)$$

De acuerdo con la modalidad de ejemplo, se escoge el filtro de paso bajo (202) para que sea un filtro de primer orden con un polo en la frecuencia de mezcla (ω_b). El filtro de paso alto (204) queda definido específicamente por la anterior limitación, según la cual la suma de los dos filtros debe ser igual a uno. Por consiguiente, los filtros de paso bajo y alto son:

$$G_L(S) = \frac{\omega_b}{S + \omega_b} \quad (2)$$

$$G_H(S) = \frac{S}{S + \omega_b} \quad (3)$$

Cuando se utiliza un conjunto de filtros de mezcla en un ordenador digital, los expertos en este campo se percatarán de que no es necesario crear fases independientes de filtrado alto y bajo, sino que la señal de par detectada (τ_s) enviada a los filtros de mezcla se pasa a través del filtro de paso bajo para obtener la señal de par de paso bajo (τ_{SL}). La señal de par de paso alto es el par detectado (τ_s) menos la señal de par de paso bajo (τ_{SL}). De esta forma, se resta la parte de baja frecuencia (τ_{SL}) de la señal de par detectada (τ_s):

$$\tau_{SH} = \tau_s - \tau_{SL} \quad (4)$$

El resultado es una señal con información de alta frecuencia únicamente. Se apreciará que es posible utilizar filtros de mezcla de orden más elevado.

El filtro de paso bajo (202) proporciona una señal de par de paso bajo (τ_{SL}), indicada en 206, a un circuito de curva de asistencia dual de baja frecuencia (220). El circuito de curva de asistencia dual de baja frecuencia (220) proporciona una señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST LF}$) con un valor relacionado funcionalmente con la señal de par de paso bajo (τ_{SL}) y la velocidad del vehículo detectada (v). En la Figura 3 se ilustra la función de curva de asistencia dual (220). El circuito de curva de asistencia dual (220) es ilustrativo de un método para determinar el par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST LF}$) basado en la señal de par de paso bajo (τ_{SL}). Los expertos en este campo se darán cuenta de que existen otros métodos para determinar el par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST LF}$) basados en la señal de par de paso bajo (τ_{SL}). Se apreciará que los otros métodos podrían sustituir al circuito de curva de asistencia dual (220) del bucle de control del par (120) sin abandonar el espíritu de la presente invención. Por ejemplo, en la patente estadounidense n° 5.568.389, otorgada a McLaughlin *et al.*, se describe una curva de asistencia dual que puede utilizarse de acuerdo con la presente invención y a la que se remite por el presente.

ES 2 289 662 T3

Se proporciona la señal de par de paso bajo (τ_{SL}) a una función de curva de asistencia de baja velocidad (230), la cual proporciona una señal de par de asistencia de baja velocidad ($\tau_{assist\ LS}$), indicada en 234. La señal de par de asistencia de baja velocidad ($\tau_{assist\ LS}$) representa un valor de par de asistencia deseado para situaciones de velocidad baja o cero, como por ejemplo el aparcamiento de un vehículo. Se determina la señal de par de asistencia de baja velocidad ($\tau_{assist\ LS}$) en función de la señal de par de paso bajo (τ_{SL}), lo que se puede conseguir mediante el uso de una tabla de búsqueda almacenada en la UCE (70) o realizando un cálculo de acuerdo con una ecuación predeterminada. La curva de asistencia de baja velocidad normalmente posee una “banda muerta” en la que no se proporciona ninguna asistencia hasta que el par del volante sobrepasa un nivel predeterminado. Se requiere esta banda muerta para que el volante pueda volver al centro cuando el conductor lo suelta.

También se proporciona la señal de par de paso bajo (τ_{SL}) a una función de curva de asistencia de alta velocidad (232), la cual proporciona una señal de par de asistencia de alta velocidad ($\tau_{assist\ HS}$), indicada en 236. La señal de par de asistencia de alta velocidad ($\tau_{assist\ HS}$) representa el valor de par de asistencia que se desea para el funcionamiento del vehículo a alta velocidad, como por ejemplo durante la conducción por autopistas. Se determina la señal de par de asistencia de alta velocidad ($\tau_{assist\ HS}$) en función de la señal de par de paso bajo (τ_{SL}), que puede obtenerse mediante una tabla de búsqueda almacenada en la UCE (70) o realizando un cálculo de acuerdo con una ecuación predeterminada.

Se proporciona la señal de velocidad del vehículo (v) a un circuito de curva de ganancia de mezcla (240), el cual proporciona un término o valor de mezcla proporcional de velocidad (S_p), indicado en 242. El término de mezcla proporcional de velocidad (S_p) varía entre cero y uno en función de la velocidad del vehículo. En la modalidad de ejemplo, el término de mezcla proporcional de velocidad (S_p) varía entre cero a velocidades altas o máximas del vehículo y uno a una velocidad baja o cero del vehículo. Se utiliza el término de mezcla proporcional de velocidad (S_p) para mezclar el par de asistencia de baja velocidad ($\tau_{assist\ LS}$) con el par de asistencia de alta velocidad ($\tau_{assist\ HS}$).

Se proporcionan el término de mezcla proporcional de velocidad (S_p) y el par de asistencia de baja velocidad ($\tau_{assist\ LS}$) a un circuito de ganancia de mezcla de baja velocidad (250), el cual suministra una señal de par de asistencia de baja velocidad mezclada ($\tau_{assist\ LS}$), indicada en 252. El circuito de ganancia de mezcla de baja velocidad (250) multiplica el par de asistencia de baja velocidad ($\tau_{assist\ LS}$) mediante un valor de ganancia de mezcla de baja velocidad que es igual al término de mezcla proporcional de velocidad (S_p).

Se resta el término de mezcla proporcional de velocidad (S_p) de uno en un circuito de suma (254) para determinar un valor de ganancia de mezcla de alta velocidad $1-S_p$, indicado en 256. Se proporcionan el valor de ganancia de mezcla de alta velocidad $1-S_p$ y el par de asistencia de alta velocidad ($\tau_{assist\ HS}$) a un circuito de ganancia de mezcla de alta velocidad (260), el cual proporciona una señal de par de asistencia de alta velocidad mezclada ($\tau_{assist\ HS}$), indicada en 262. El circuito de ganancia de mezcla de alta velocidad (260) multiplica el par de asistencia de alta velocidad ($\tau_{assist\ HS}$) por el valor de ganancia de mezcla de alta velocidad $1-S_p$. La suma de los valores de ganancia de mezcla de alta y baja velocidad son, por consiguiente, siempre iguales a uno.

La señal de par de asistencia de baja velocidad mezclada ($\tau_{assist\ LS}$) y la señal de par de asistencia de alta velocidad mezclada ($\tau_{assist\ HS}$) se suman en un circuito de suma (264) para proporcionar una señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{assist\ LF}$), indicada en 266. La señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{assist\ LF}$) se determina, por consiguiente, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\tau_{assist\ LF} = (S_p \times \tau_{assist\ LS}) + ((1 - S_p) \times \tau_{assist\ HS}) \quad (5)$$

y proporciona así una interpolación sin problemas de los valores de par de asistencia de alta y baja velocidad ($\tau_{assist\ LS}$ y $\tau_{assist\ HS}$) a medida que cambia la velocidad del vehículo (v).

Por lo que respecta a la Figura 2, se suministra la señal de par de paso alto (τ_{SH}) a un circuito de ganancia de asistencia de alta frecuencia (280), el cual determina una señal de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{assist\ HF}$), indicada en 282. Se añade la señal de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{assist\ HF}$) a la señal de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{assist\ LF}$) en un circuito de suma (284) para determinar una señal de asistencia de par τ_{assist} , indicada en 122.

Puede filtrarse la señal de asistencia de par (τ_{assist}) a través de un filtro de par adaptativo (G_f), indicado en 124, para determinar la señal de instrucción de motor (τ_{cmd}). Se describe un ejemplo de este tipo de filtro de par adaptativo (G_f) en la patente estadounidense n° 5.473.231, concedida a McLaughlin *et al.*, a la que se remite por el presente.

La señal de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{assist\ HF}$) se determina como el producto de la señal de par de paso alto (τ_{SH}) y una ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}). La ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}) ayuda a determinar el ancho de banda del sistema eléctrico de dirección asistida (10). A altas velocidades del vehículo, es recomendable incorporar un valor relativamente alto para la ganancia de alta frecuencia (κ_{max}) con el fin de proporcionar un buen seguimiento de descentrado. Sin embargo, también es recomendable, a altas velocidades del vehículo, incorporar un valor relativamente bajo para la ganancia de alta frecuencia (κ_{max}) con el fin de proporcionar una buena sensación de centrado. De acuerdo con la presente invención, se determina la ganancia de alta frecuencia (κ_{max}) de acuerdo con un algoritmo que proporciona un buen seguimiento de descentrado y una buena sensación de centrado a altas velocidades del vehículo.

La ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}), indicada en 292, se determina en una función de computación de κ_{\max} (290). De acuerdo con la presente invención, se determina la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) en función de la velocidad del vehículo (v) y la señal de par detectada (τ_s). En la modalidad de ejemplo de la Figura 2, la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) se determina en función de la velocidad del vehículo (v) y la señal de par de paso bajo (τ_{SL}). No obstante, se podría determinar la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) en función de la velocidad del vehículo (v) y la señal de par detectada (τ_s), como se ilustra en la línea discontinua (294) de la Figura 2. Por supuesto, en este ejemplo no sería necesario proporcionar la señal de par de paso bajo (τ_{SL}) al circuito de computación de κ_{\max} (290).

El gráfico de la Figura 4 ilustra un ejemplo en el que se determina la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) en función de la velocidad del vehículo (v) y del par de entrada. Se deberá tener en cuenta que este gráfico puede admitir modificaciones, dependiendo de la plataforma de vehículo específica y/o de las características deseadas de respuesta de la dirección. Como se ha mencionado anteriormente, el par de entrada puede ser la señal de par detectada (τ_s) o la señal de par de paso bajo (τ_{SL}).

Por lo que respecta a la Figura 4, la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) para una velocidad baja o cero se define por la curva indicada en 300. La ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) para una velocidad alta o máxima se define por la curva indicada en 302. Las curvas espaciadas entre las curvas de asistencia de alta frecuencia y baja velocidad y alta velocidad (300 y 302) indican la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) en variaciones incrementales predeterminadas en la velocidad del vehículo.

Como indica la curva κ_{\max} de baja velocidad (300), a velocidades bajas la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) es constante, es decir, es la misma con independencia de la cantidad de par de entrada. No obstante, la curva κ_{\max} de baja velocidad (300) podría ser adaptada para proporcionar una ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) que varía según la cantidad de par de entrada. A medida que se incrementa la velocidad del vehículo (v), la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) varía dependiendo de la velocidad del vehículo y del par de entrada, es decir, del par de paso bajo (τ_{SL}). En general, la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) se incrementa a partir de un valor mínimo, dependiendo de la velocidad del vehículo, a medida que el par de entrada se incrementa desde 0 Nm. La ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) se incrementa a una velocidad o gradiente generalmente bajos, desde 0 Nm hasta aproximadamente 0,3 Nm. A aproximadamente 0,3 Nm, la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) se incrementa a una velocidad o gradiente más altos, desde 0,3 Nm hasta un poco más de 1,0 Nm. A aproximadamente un poco más de 1,0 Nm, la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) permanece constante con independencia de la cantidad de par de entrada.

El circuito de computación κ_{\max} (290) determina la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) de acuerdo con las curvas ilustradas en la Figura 4. Se puede realizar esta computación mediante el uso de una tabla de búsqueda almacenada en la UCE (70). Se pueden utilizar técnicas de interpolación para determinar la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) cuando la velocidad del vehículo (v) se encuentra entre las velocidades predeterminadas definidas por las dos curvas de velocidad más cercanas. Otra posibilidad es que el circuito de computación de κ_{\max} (290) determine la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) mediante la realización de un cálculo, según una ecuación predeterminada seleccionada de conformidad con las curvas (κ_{\max}) de la Figura 4.

Se determina la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) basándose en la velocidad del vehículo (v) y en el par de entrada (τ_{SL}). Como ilustran las curvas de κ_{\max} de las Figuras 4 y 5, en general la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) se incrementa a medida que disminuye la velocidad del vehículo (v). Asimismo, a cualquier velocidad, la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) varía en función del par de entrada (τ_{SL}). En general, para las curvas específicas de κ_{\max} que se ilustran en la Figura 4, a cualquier velocidad (excepto a velocidad cero, cuando κ_{\max} es constante), en ganancia de asistencia de alta frecuencia, κ_{\max} es inferior para valores bajos de par de entrada y superior para valores altos de par de entrada. Por consiguiente, a velocidades elevadas de vehículo (v), se adapta la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) para proporcionar un buen seguimiento de descentrado y una buena sensación de centrado.

Para las frecuencias de entrada que se encuentran por encima de la frecuencia de mezcla (ω_b), el bucle de control de par (120) está dominado por la parte de ganancia de asistencia de alta frecuencia (280) del bucle. Se puede analizar y someter a prueba la estabilidad fácilmente, ya que el sistema actúa como un sistema lineal cerca de la frecuencia de cruce cero. Puesto que la frecuencia de mezcla (ω_b) y la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) son ambas funciones de la velocidad del vehículo (v), puede controlarse el ancho de banda del sistema eléctrico de dirección asistida (10) en función de la velocidad del vehículo. Ello es posible gracias a la modificación de la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) a través del término de mezcla proporcional de velocidad (S_{p1}). El ancho de banda disminuye a medida que la ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{\max}) disminuye. Por consiguiente, la parte de alta frecuencia del bucle de control de par (120) define las características de respuesta transitoria y estabilidad del sistema eléctrico de dirección asistida (10).

Para las frecuencias por debajo de la frecuencia de mezcla (ω_b), el bucle de control de par (120) está dominado por la parte de curva de asistencia dual de baja frecuencia (220) del bucle. Esta parte de baja frecuencia del bucle de control de par (120) determina la sensación que el conductor tiene del sistema eléctrico de dirección asistida (10) cuando lleva a cabo maniobras lentas y continuas. Las curvas de asistencia dual pueden ajustarse de forma que el sistema eléctrico de dirección asistida (10) proporcione la sensación de dirección deseada.

ES 2 289 662 T3

La cantidad de par de asistencia proporcionada por el sistema eléctrico de dirección asistida (10) se incrementa paulatinamente a medida que el par de entrada (τ_{meas}) aumenta y se aleja de la banda muerta del par del volante. Cuando abandona la banda muerta, la ganancia local del sistema eléctrico de dirección asistida (10) es generalmente muy baja, es decir, se necesita un gran cambio en el par de entrada para producir una pequeña modificación en el par de asistencia de dirección. Sin la parte de ganancia de asistencia de alta frecuencia (280) del bucle de control de par (120), el ancho de banda del sistema global se reduciría a un par de entrada bajo y se tendría la sensación de que el sistema eléctrico de dirección asistida (10) responde con demasiada lentitud. Sin embargo, la inclusión de la parte de ganancia de asistencia de alta frecuencia (280) del bucle de control de par (120) permite la selección del ancho de banda del sistema y hace que el sistema responda con suavidad cuando se abandona la banda muerta.

Si se escoge la frecuencia de mezcla (ω_b) una década por debajo de la frecuencia de cruce de banda muerta de cero, la parte de curva de asistencia dual de baja frecuencia no lineal (220) del bucle de control de par (120) constituye un fenómeno que varía con lentitud si se compara con la dinámica del sistema de dirección. Esencialmente, la parte de baja frecuencia no lineal se desacopla de forma dinámica de la parte de ganancia de asistencia de alta frecuencia lineal (280) del bucle de control de par (120). El sistema eléctrico de dirección asistida (10) se comporta, por consiguiente, de forma no lineal para entradas de baja frecuencia y de forma lineal para entradas de alta frecuencia.

La Figura 5 ilustra una tabla de búsqueda bidimensional (350) que posee dos entradas, a saber la velocidad del vehículo y el par de baja frecuencia, y una salida (κ_{max}).

En la Figura 6 se muestra un diagrama de bloques del sistema global en el que se incorpora la función de búsqueda bidimensional de la Figura 5.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para controlar un motor de asistencia eléctrico con el fin de proporcionar una asistencia de dirección en respuesta a una señal de par detectada. Dicho método comprende los siguientes pasos:
- filtrar la señal de par detectada (τ_s) para proporcionar una señal de par de baja frecuencia (τ_{SL}) y una señal de par de alta frecuencia (τ_{SH});
- 10 determinar una señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST\ LF}$) en función de la mencionada señal de par de baja frecuencia (τ_{SL});
- determinar una señal de ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}) por medio de una función de mapa bidimensional interpolada linealmente, basándose en la mencionada señal de par detectada y en una velocidad de vehículo detectada (v);
- 15 aplicar la mencionada señal de ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}) a la mencionada señal de par de alta frecuencia (τ_{SH}) para determinar una señal de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{ASSIST\ HF}$);
- 20 determinar una señal de instrucción de par (τ_{cmd}) en función de la mencionada señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST\ LF}$) y de la mencionada señal de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{ASSIST\ HF}$); y
- ordenar al motor de asistencia eléctrico que proporcione una asistencia de dirección de acuerdo con una señal de salida de voltaje. Dicha señal de salida de voltaje está relacionada funcionalmente con la mencionada señal de instrucción de par.
- 25
2. Un método, tal y como se reivindica en la reivindicación 1, en el que la mencionada función de mapa bidimensional interpolada linealmente recibe como entradas la mencionada señal de par de baja frecuencia (τ_{SL}) y la mencionada velocidad de vehículo detectada (v).
- 30 3. Un método, de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el mencionado paso de filtrado proporciona la mencionada señal de par de baja frecuencia (τ_{SL}) que posee frecuencias por debajo de una frecuencia de mezcla y proporciona la señal de par de alta frecuencia (τ_{SH}) mencionada que posee frecuencias por encima de la mencionada frecuencia de mezcla.
- 35 4. Un método, de acuerdo con la reivindicación 3, que además comprende el paso de determinar la mencionada frecuencia de mezcla en función de la mencionada velocidad de vehículo detectada (v).
5. Un método, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el mencionado paso de determinar una señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST\ LF}$) comprende los pasos de proporcionar curvas de asistencia dual y llevar a cabo un algoritmo de mezcla para combinar las mencionadas curvas de asistencia dual con el fin de proporcionar la mencionada señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST\ LF}$).
- 40 6. Un método, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el mencionado paso de aplicar la mencionada señal de ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}) comprende el paso de determinar un producto de la mencionada señal de par de alta frecuencia (τ_{SH}) y de la mencionada señal de ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}).
- 45 7. Un método, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el mencionado paso de determinar una señal de instrucción de par (τ_{CMD}) comprende los pasos de:
- 50 determinar una suma de la mencionada señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{ASSIST\ LF}$) y de la mencionada señal de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{ASSIST\ HF}$); y
- filtrar la mencionada suma de la mencionada señal de par de asistencia de baja frecuencia y la mencionada señal de par de asistencia de alta frecuencia a través de un filtro de par adaptativo (124).
- 55 8. Un aparato para controlar un motor eléctrico de dirección asistida para un vehículo. Dicho aparato comprende:
- 60 un sensor de velocidad del vehículo (104) que proporciona una señal de velocidad que posee un valor indicativo de la velocidad detectada del vehículo;
- un sensor de par de dirección aplicado (30) que proporciona una señal de par detectada (τ_s) indicativa del par de dirección aplicado;
- 65 medios (200) para filtrar la señal de par detectada con el fin de proporcionar una señal de par de baja frecuencia (τ_{SL}) y una señal de par de alta frecuencia (τ_{SH});

ES 2 289 662 T3

medios (220) para determinar un valor de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{\text{ASSIST LF}}$) en función de la mencionada señal de par de baja frecuencia (τ_{SL}) y para proporcionar una señal de par de asistencia de baja frecuencia indicativa de la misma;

5 medios (290) para implementar una función de búsqueda de mapa bidimensional interpolada linealmente (350) con el fin de obtener un valor de ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}) en función de la mencionada señal de par detectada (τ_{S}) y una velocidad de vehículo detectada (v) y para proporcionar una señal de ganancia de asistencia de alta frecuencia indicativa de la misma;

10 medios (280) para determinar un valor de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{\text{ASSIST HF}}$) relacionado con el producto de la mencionada señal de par de alta frecuencia (τ_{SH}) y la mencionada señal de ganancia de asistencia de alta frecuencia (κ_{max}) y para proporcionar una señal de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{\text{ASSIST HF}}$) indicativa de la misma;

15 medios (284) para determinar un valor de instrucción de par (τ_{CMD}) en función de la mencionada señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{\text{ASSIST LF}}$) y de la mencionada señal de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{\text{ASSIST HF}}$) y para proporcionar una señal de instrucción de par (τ_{CD}) indicativa de la misma; y

20 medios para ordenar al motor de asistencia eléctrica que proporcione una asistencia de dirección, de acuerdo con la mencionada señal de instrucción de par.

9. Un aparato, de acuerdo con la reivindicación 8, en el que los mencionados medios de filtrado incluyen medios para filtrar la señal de par detectada con un filtro de paso bajo con el fin de pasar frecuencias por debajo de una frecuencia de mezcla, y medios para filtrar con un filtro de paso alto con el fin de pasar frecuencias por encima de la mencionada frecuencia de mezcla.

10. Un aparato, de acuerdo con la reivindicación 9, en el que se selecciona la mencionada frecuencia de mezcla en función de la mencionada velocidad del vehículo detectada.

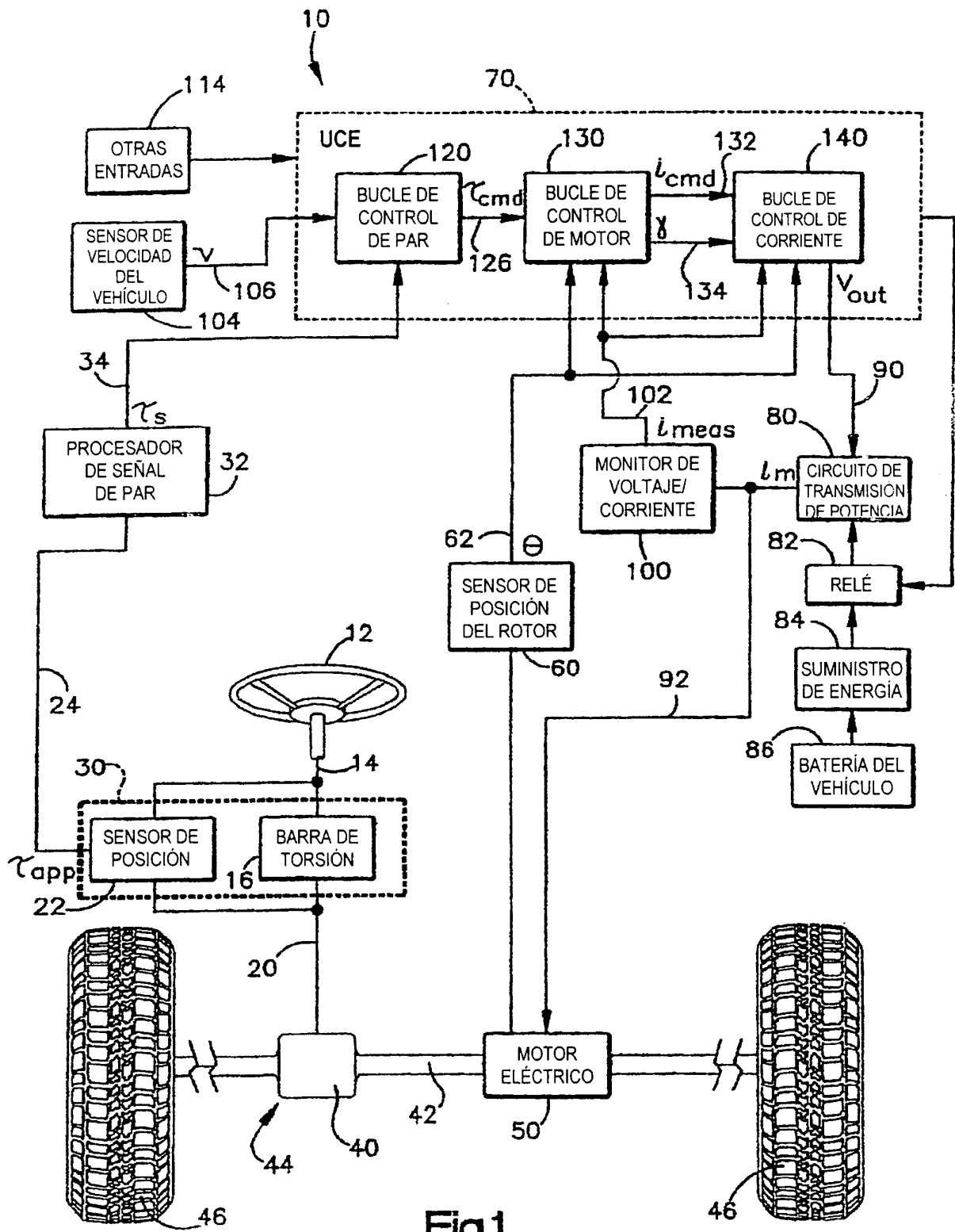
11. Un aparato, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que los mencionados medios para determinar un valor de instrucción de par comprenden:

medios (284) para determinar una suma de la mencionada señal de par de asistencia de baja frecuencia ($\tau_{\text{ASSIST LF}}$) y de la mencionada señal de par de asistencia de alta frecuencia ($\tau_{\text{ASSIST HF}}$); y

medios de filtrado de par adaptativos (124) para filtrar la mencionada suma de la mencionada señal de par de asistencia de baja frecuencia y de la mencionada señal de par de asistencia de alta frecuencia.

12. Un aparato, tal y como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, que comprende una unidad de control electrónico en la que se almacena el mapa bidimensional (350).

13. Un aparato, tal y como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que la función de mapa bidimensional interpolada linealmente recibe como entradas la mencionada señal de par de baja frecuencia (τ_{SL}) y la mencionada velocidad de vehículo detectada (v).



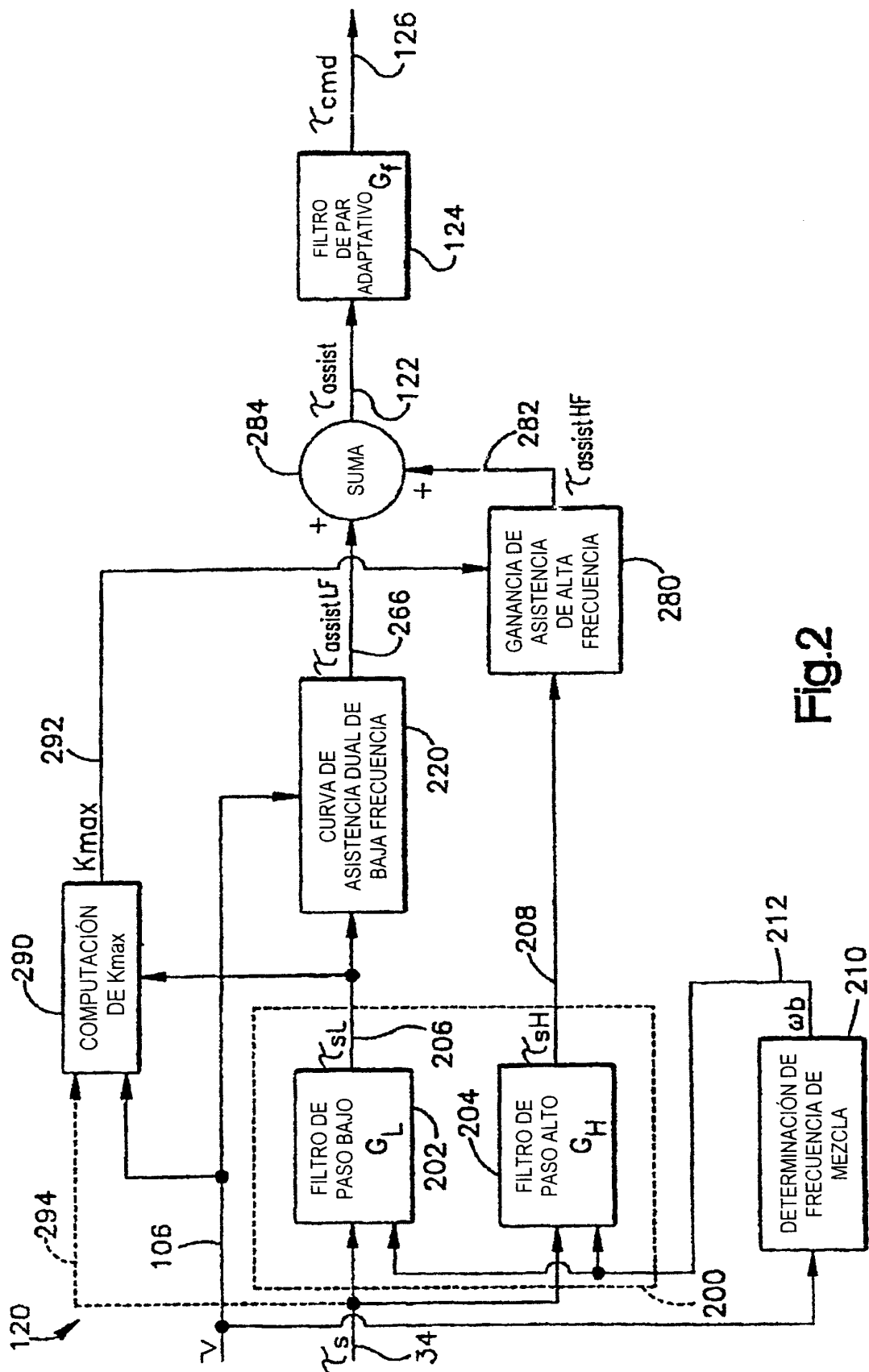


Fig.2

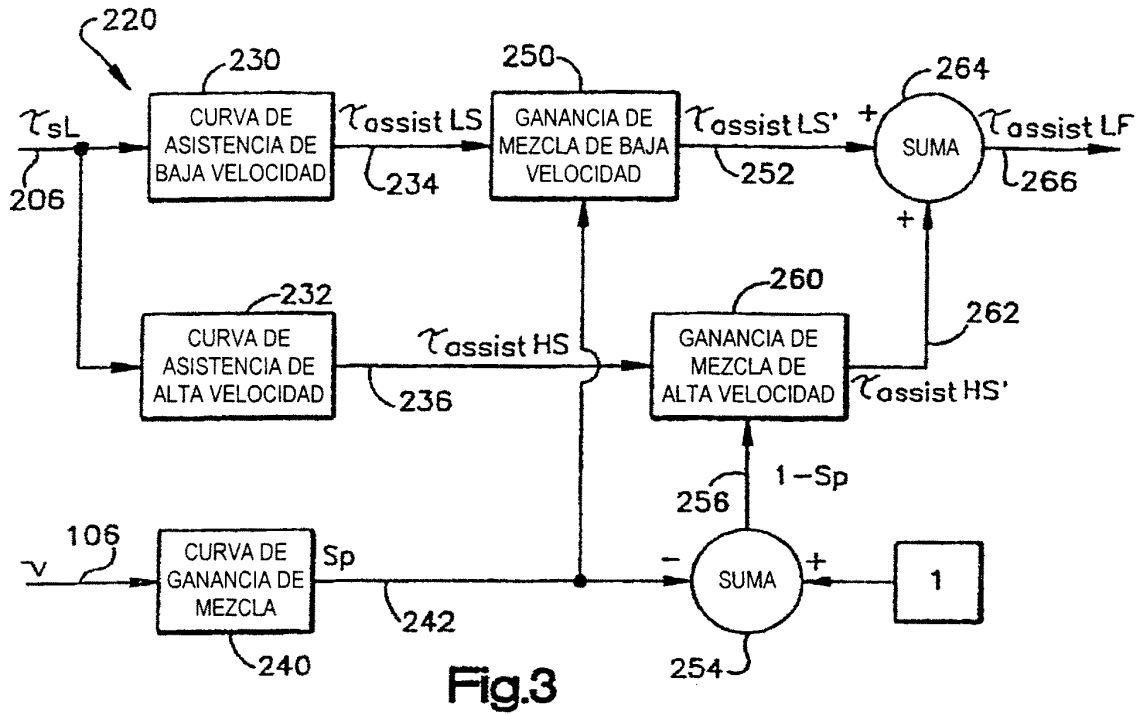


Fig.3

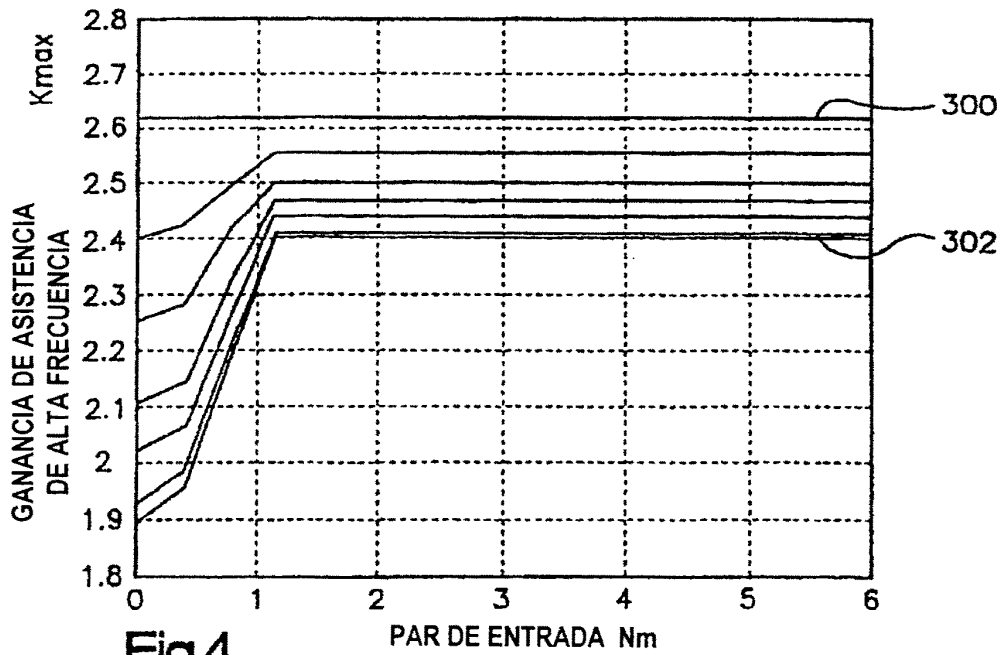


Fig.4

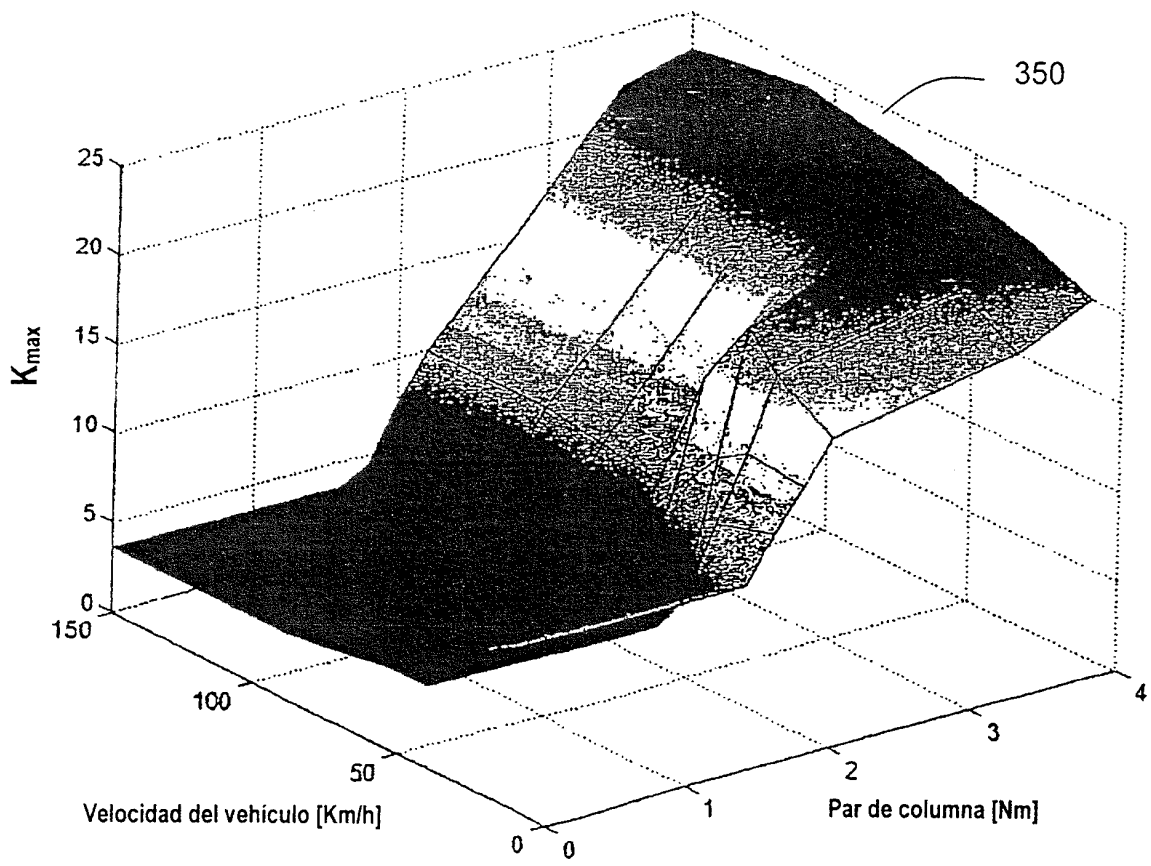


Fig.5

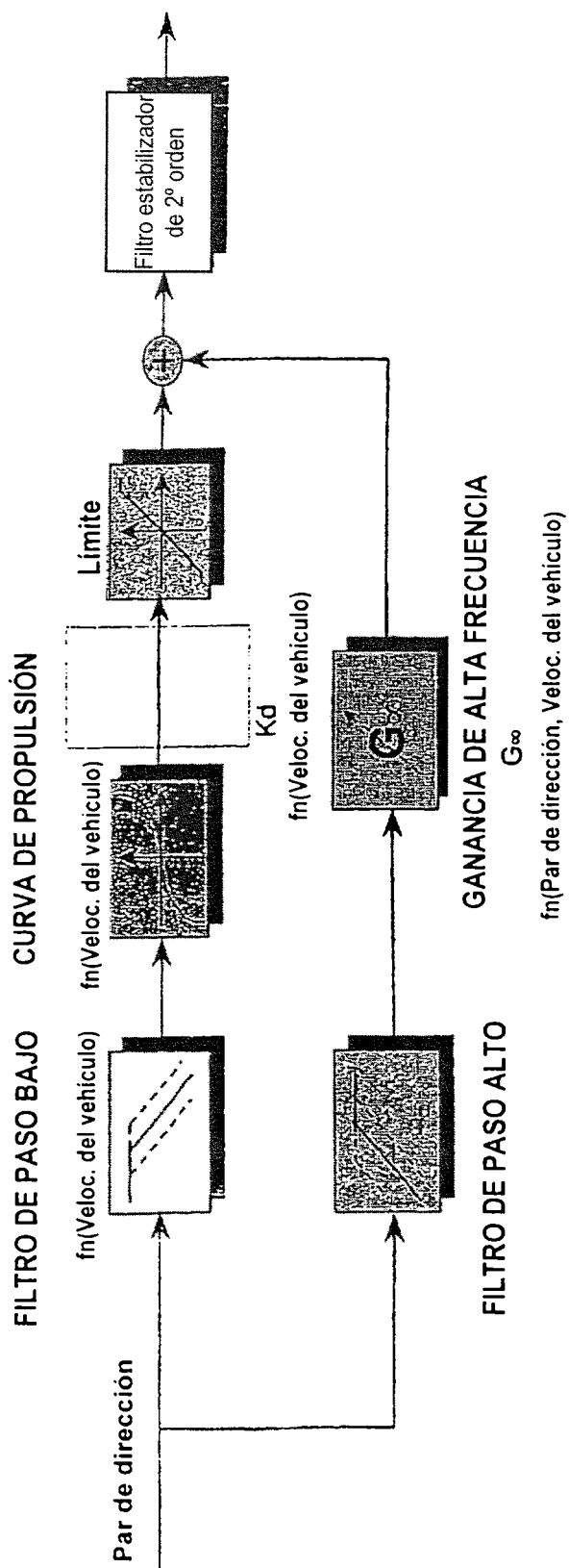


Fig.6