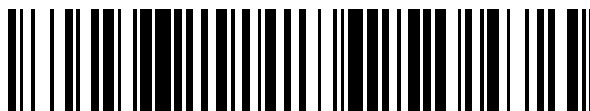


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 415 414**

51 Int. Cl.:

**B60G 17/015** (2006.01)

**B60G 17/018** (2006.01)

**B60G 13/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2009 E 09733400 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2013 EP 2262654**

54 Título: **Sistema de suspensión para un vehículo que incluye un actuador electromagnético**

30 Prioridad:

**18.04.2008 JP 2008108714**

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

**25.07.2013**

73 Titular/es:

**TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA (100.0%)  
1 Toyota-cho  
Toyota-shi, Aichi-ken, 471-8571 , JP**

72 Inventor/es:

**NAKAMURA, TOMOMICHI**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 415 414 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**

Sistema de suspensión para un vehículo que incluye un actuador electromagnético

5 **CAMPO TÉCNICO**

La presente invención está relacionada con un sistema de suspensión que incluye un actuador o accionador electromagnético.

10 **ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA**

En los últimos años se ha desarrollado, como sistema de suspensión de un vehículo, el denominado sistema de suspensión electromagnética que incluye un actuador electromagnético configurado para generar, con respecto a una parte con resorte y una parte sin resorte, una fuerza en un sentido en el que la parte con resorte y la parte sin resorte se mueven acercándose y alejándose entre sí, sobre la base de una fuerza de un motor electromagnético. Por ejemplo, el siguiente documento de patente 1 describe este tipo de sistema de suspensión electromagnética. Se espera que el sistema de suspensión descrito sea como un sistema de suspensión de alto rendimiento, en vista de la ventaja de que es posible realizar fácilmente una característica de amortiguación de vibraciones basada en la llamada teoría de *skyhook* (amortiguador enganchado en un punto fijo en el cielo) porque el sistema de suspensión puede generar una fuerza propulsora con respecto a un movimiento relativo de la parte con resorte y la parte sin resorte.

20 Documento de Patente 1 JP-A-2007-203933

**EXPOSICIÓN DE LA INVENCION**25 **(A) COMPENDIO DE LA INVENCION**

En el sistema de suspensión descrito en el documento de patente 1 indicado anteriormente, se dispone un resorte en serie con el actuador electromagnético con la finalidad de hacer frente a vibraciones de alta frecuencia, por ejemplo. En el sistema construido de este modo, sin embargo, cuando el actuador genera una fuerza de actuador, la fuerza generada por actuador se transmite a la parte con resorte y la parte sin resorte a través del resorte. Por consiguiente, el sistema de suspensión sufre el problema de que la fuerza de actuador tal como es generada no puede ser transmitida debido un lapso de tiempo que surge de la transmisión de la fuerza de actuador a través del resorte, y similares. La presente invención se ha hecho en vista de la situación descrita anteriormente. Por lo tanto, un objetivo de la invención es proporcionar un sistema de suspensión en el que se hace que sea apropiada una fuerza que actúa entre la parte con resorte y la parte sin resorte por parte del actuador y un mecanismo de conexión.

35 Para alcanzar el objetivo indicado anteriormente, se constituye un sistema de suspensión para un vehículo según la presente invención mediante la inclusión de un mecanismo de conexión para conectar elásticamente: una de entre una unidad de lado con resorte y una unidad de lado sin resorte, que son elementos constituyentes del actuador, y una de entre una parte con resorte y una parte sin resorte a la que se conectan la unidad de lado con resorte y una unidad de lado sin resorte, y el presente sistema de suspensión se caracteriza por determinar una fuerza de objetivo de actuador sobre la base de: (a) una fuerza requerida de actuación que se requiere que actúe entre la parte con resorte y la parte sin resorte por parte del actuador y el mecanismo de conexión; y (b) una fuerza inercial de una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte con respecto a un desplazamiento de una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte, utilizando al mismo tiempo: una primera función de transferencia que es una función de transferencia por la que se saca una determinada cantidad de desplazamiento de una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte con respecto a una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte cuando se aporta la fuerza de actuador; y una segunda función de transferencia que es una función de transferencia por la que se saca una fuerza real de actuación que es una fuerza que actúa realmente entre la parte con resorte y la parte sin resorte cuando se aporta la cantidad de desplazamiento.

50 En el sistema de suspensión según la invención, la fuerza que va a ser generada por el actuador se determina considerando una relación entre la fuerza de actuador y la fuerza que actúa realmente entre la parte con resorte y la parte sin resorte como resultado de la transmisión de la fuerza de actuador a través del mecanismo de conexión, y considerando además la influencia del desplazamiento de una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte a la que se conecta una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte por el mecanismo de conexión. Por consiguiente, se puede hacer que sea apropiada la fuerza que actúa entre la parte con resorte y la parte sin resorte.

60 **(B) FORMAS DE LA INVENCION**

Se explicarán diversas formas de una invención que se considera que se puede reivindicar (en lo sucesivo se denomina como "invención que se puede reivindicar" donde proceda). Cada una de las formas de la invención está numerada como las reivindicaciones adjuntas y depende de la otra forma o formas, donde proceda. Esto es para facilitar la comprensión de la invención que se puede reivindicar, y debe entenderse que las combinaciones de los elementos constitutivos que constituyen la invención no se limitan a las que se describen en las siguientes formas.

Es decir, se ha de entender que la invención que se puede reivindicar será interpretada a la luz de las siguientes descripciones de las diversas formas y realizaciones preferidas.

(1) Un sistema de suspensión para un vehículo, que comprende:

un actuador electromagnético que incluye: una unidad de lado con resorte conectada a una parte con resorte, una unidad de lado sin resorte que se conecta a una parte sin resorte y que es movable respecto a la unidad de lado con resorte en asociación con un movimiento de la parte con resorte y la parte sin resorte acercándose y alejándose entre sí; y un motor electromagnético, el actuador se configura para generar, sobre la base de una fuerza del motor electromagnético, una fuerza de actuador que es una fuerza con respecto a un movimiento relativo de la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte; un mecanismo de conexión que incluye un resorte de soporte para permitir que una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte sea soportada por una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte a la que se conecta dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte, el mecanismo de conexión se configura para conectarse a dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte; y un controlador que incluye una parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador configurada para determinar, según una regla de control prescrita, una fuerza de objetivo de actuador que es la fuerza de actuador que se requiere que sea generada por el actuador, el controlador se configura para controlar la fuerza de actuador que va a ser generada por el actuador, sobre la base de la fuerza de objetivo de actuador, en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para determinar la fuerza de objetivo de actuador sobre la base de: (a) una fuerza de actuación requerida que es una fuerza requerida para actuar entre la parte con resorte y la parte sin resorte por el actuador y el mecanismo de conexión; y (b) una fuerza inercial de dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte con respecto a un desplazamiento de dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte, utilizando al mismo tiempo: una primera función de transferencia que es una función de transferencia por la que se saca una determinada cantidad de desplazamiento de dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte con respecto a dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte cuando se aporta la fuerza de actuador; y una segunda función de transferencia que es una función de transferencia por la que se saca una fuerza real de actuación que es una fuerza que actúa realmente entre la parte con resorte y la parte sin resorte cuando se aporta la cantidad de desplazamiento.

Como el sistema de suspensión tiene el actuador electromagnético, se ha propuesto un sistema en el que se dispone un resorte en serie con el actuador con la finalidad de hacer frente a las vibraciones de alta frecuencia generadas cuando el vehículo marcha sobre una superficie de carretera en mal estado o una superficie de carretera con continua irregularidad, por ejemplo. El sistema según la forma anterior (1) está relacionado con un sistema de este tipo. Cuando el sistema de suspensión se construye de este modo, la fuerza de actuador generada por el actuador es transmitida a la parte con resorte y la parte sin resorte por el resorte de soporte. Por consiguiente, no se puede transmitir la fuerza de actuador que se genera, lo que provoca una diferencia entre la fuerza de actuador y la fuerza real de actuación que actúa realmente en la parte con resorte y la parte sin resorte. Más específicamente, se provoca una diferencia entre el valor de la fuerza de actuador y el valor de la fuerza real de actuación debido a un lapso de tiempo que surge de la transmisión de la fuerza de actuador a través del resorte de soporte, por ejemplo. Esa diferencia entre la fuerza de actuador y la fuerza real de actuación provoca el problema de que la vibración que se produce en el vehículo no puede ser amortiguada apropiadamente, por ejemplo.

Según la forma (1), la determinación de la fuerza de objetivo de actuador se basa en la fuerza requerida de actuación y utiliza la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia, por lo que la fuerza de objetivo de actuador puede determinarse teniendo en cuenta la característica de transmisión de la fuerza de actuador relativa a la transmisión de la fuerza de actuador a la parte con resorte y la parte sin resorte a través del mecanismo de conexión. Por consiguiente, se puede hacer que sea apropiada la fuerza que actúa entre la parte con resorte y la parte sin resorte. Es decir, se puede hacer apropiada la fuerza de actuador, tal como una fuerza de amortiguación.

Cuando se utiliza la "primera función de transferencia" y la "segunda función de transferencia" que se describen en la forma (1), puede obtenerse la relación entre la fuerza de actuador y la fuerza real de actuación. En resumen, cuando se tiene en cuenta la relación entre la fuerza de actuador y la fuerza real de actuación, puede determinarse la fuerza de actuador que va a ser generada por el actuador de tal manera que la fuerza real de actuación es igual a la fuerza de actuación requerida. Sin embargo, la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia se establecerán teniendo en cuenta sólo el movimiento de una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte con respecto a una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte. En realidad, la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte está siendo desplazada en todo momento. Por consiguiente, es deseable tener en cuenta la influencia del desplazamiento de la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte. En vista de esto, en la forma (1), la fuerza de objetivo de actuador se determina sobre la base de la fuerza requerida de actuación utilizando la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia indicadas anteriormente, y se basa además en la fuerza inercial de la una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de

lado sin resorte con respecto al desplazamiento de la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte. Según la forma (1), por lo tanto, la fuerza que actúa entre la parte con resorte y la parte sin resorte puede hacerse apropiada considerando la influencia del desplazamiento de la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte, asegurando una amortiguación efectiva de las vibraciones. Por consiguiente, es posible evitar el deterioro de la comodidad al conducir el vehículo, la capacidad de dirección y la estabilidad del vehículo, etc., que surge de la disposición en serie del mecanismo de conexión con respecto al actuador.

La primera función de transferencia y la segunda función de transferencia pueden ser definidas como una relación de la transformada de Laplace de una salida con la transformada de Laplace de un aporte o una relación de la transformación-z de una salida con la transformación-z de un aporte (La transformación-z puede explicarse como una transformada de Laplace en un grupo discreto). En cuanto a la "parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador" que se describe en la forma (1), una parte de la misma para la ejecución del cálculo de las dos funciones de transferencia no está particularmente limitada en su construcción, sino que se puede constituir incluyendo una unidad de computación tal como un circuito para calcular un valor de salida con respecto a un valor de entrada. Como alternativa, la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador puede constituirse incluyendo una parte para el procesamiento de ejecución según un programa que se almacena en un ordenador de uso general usado también para otros controles y que es para calcular un valor de salida con respecto a un valor de aporte.

Cuando se considera que la una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte ha sido desplazada en asociación con el desplazamiento de la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte, la "fuerza inercial", que se describe en la forma (1) puede ser considerada como una fuerza que tiene una magnitud acorde con la aceleración de la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte en sentido vertical. Hay que señalar que la fuerza inercial no significa sólo una fuerza inercial que tiene una magnitud acorde con una masa real de la una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte. La fuerza inercial se puede determinar de la siguiente manera. Si el mecanismo incluye un mecanismo de tornillo para la conversión, relativa entre sí, de un movimiento rotatorio de un motor rotatorio y el movimiento relativo de la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte, el momento inercial de una parte de los elementos constitutivos del actuador que rota junto con el movimiento relativo de las dos unidades se pueden convertir en masa inercial, y una fuerza que tiene una magnitud que corresponde a la masa inercial puede considerarse como una parte de la fuerza inercial. Es decir, en la forma (1), la masa inercial se puede determinar utilizando la llamada masa inercial equivalente.

El "actuador" en la forma (1) no está particularmente limitado en su estructura. Se pueden emplear diversos actuadores electromagnéticos conocidos en la técnica. La fuerza generada por el actuador es una fuerza con respecto al movimiento relativo de la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte. La fuerza no sólo incluye una fuerza de resistencia contra el movimiento relativo, sino también una fuerza por la que la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte se mueven positivamente entre sí, es decir, una fuerza propulsora y una fuerza por la que se evita el movimiento relativo de las dos unidades contra una fuerza externa aportada a la misma, a saber, una fuerza de retención. El tipo del "motor electromagnético" del actuador no puede estar particularmente limitado, pero puede ser seleccionado adecuadamente de entre diversos tipos que incluyen un motor de CC sin escobillas. En cuanto a la manera del movimiento del motor, el motor puede ser un motor rotatorio o un motor lineal.

La "regla de control" para determinar la fuerza de objetivo de actuador incluye una regla relativa a un control para la amortiguación de vibraciones, por ejemplo. Para ser más específico, la regla de control incluye una regla para ejecutar un control basado en la denominada teoría de amortiguador *skyhook* para la generación de una fuerza amortiguadora con respecto a una vibración de la parte con resorte (es decir, vibración recibida por resorte). La norma puede ser para la ejecución simultánea, además del control de amortiguación de vibraciones, un control de restricción de ladeo para restringir el ladeo de la carrocería del vehículo que surge al girar el vehículo, un control de restricción de cabeceo para restringir el cabeceo de la carrocería del vehículo que surge de la aceleración y desaceleración del vehículo, y un control para ajustar la distancia entre la parte con resorte y la parte sin resorte, es decir, un control de ajuste de altura. Cuando la regla de control es para ejecutar de forma simultánea una pluralidad de controles, se hace una suma de los componentes de la fuerza de actuador en los controles respectivos cuando la fuerza requerida de actuación y la fuerza de objetivo de actuador pueden determinarse sobre la base de la fuerza requerida de actuación, las dos funciones de transferencia y la fuerza inercial.

El "mecanismo de conexión" en la forma (1) puede proporcionarse principalmente para hacer frente a una vibración cuya frecuencia sea relativamente alta, por ejemplo. Si bien el mecanismo de conexión puede construirse de manera que incluya un resorte de soporte como el elemento constitutivo principal, el mecanismo de conexión puede incluir un amortiguador hidráulico que se explicará con detalle, para amortiguar vibraciones generadas al proporcionar el resorte de soporte. El resorte de soporte puede tener cualquier estructura. Cuando el mecanismo de conexión incluye el amortiguador hidráulico como se explica más adelante, se puede emplear un resorte espiral. En este caso, se dispone el amortiguador como un dispositivo de cilindro para ser insertado a través del resorte espiral o disponerse en el resorte espiral, por lo que se puede realizar el sistema de suspensión que tiene un tamaño compacto.

El término "conectar" utilizado en la presente memoria descriptiva significa no sólo conexión directa sino también conexión indirecta en la que los elementos se conectan indirectamente entre sí, con un cierto componente, miembro, unidad o similares, interpuesto entremedio. Por ejemplo, cuando la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte se conectan a la parte con resorte y la parte sin resorte, respectivamente, esas unidades se pueden conectar directamente a la parte con resorte y la parte sin resorte o indirectamente a la parte con resorte y la parte sin resorte a través del resorte, el amortiguador hidráulico o similares, interpuesto entremedio.

(2) El sistema de suspensión según la forma (1), en donde se establece una función de transferencia compuesta como una función recíproca que es el producto de la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia, y en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para determinar la fuerza de objetivo de actuador sobre la base de: un valor de salida obtenido al aportar la fuerza requerida de actuación a la función de transferencia compuesta; y la fuerza inercial.

(3) El sistema de suspensión según la forma (2), en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para determinar la fuerza de objetivo de actuador según una relación entre el valor de salida obtenido al aportar la fuerza requerida de actuación a la función de transferencia compuesta y la fuerza inercial, la relación indica que la diferencia entre el valor de salida y la fuerza de objetivo de actuador corresponde a la fuerza inercial.

En las dos formas (2) y (3) anteriores, se plasma la técnica de cálculo de la fuerza de objetivo de actuador. La "función de transferencia compuesta" descrita en las dos formas anteriores es una función de transferencia en la que se saca el valor de la fuerza de actuador cuando la fuerza real de actuación se aporta a la misma. Es decir, al aportar la fuerza requerida de actuación a la función de transferencia compuesta, se saca la fuerza de actuador que va a ser generada por el actuador. Sin embargo, debido a que el valor de salida indicativo de la fuerza de actuador que sale de la función de transferencia compuesta no tiene en cuenta el desplazamiento de la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte como se describe más arriba, el valor de salida que sale de la función de transferencia compuesta puede ser corregido en función de la fuerza inercial. Más particularmente, como en la última forma (3), la fuerza inercial se puede añadir o restar del valor de salida de la función compuesta considerando el sentido en el que trabaja la fuerza inercial, por lo que se determina la fuerza de objetivo de actuador.

(4) El sistema de suspensión según cualquiera de las formas (1) - (3), en donde el mecanismo de conexión se configura para conectar: la unidad de lado sin resorte como dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte; y la parte sin resorte como dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte y se configura de tal manera que el resorte de soporte permite que la unidad de lado sin resorte sea soportada elásticamente por la parte sin resorte, y en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para determinar la fuerza de objetivo de actuador sobre la base de la fuerza requerida de actuación y la fuerza inercial de la unidad de lado sin resorte con respecto al desplazamiento de la parte sin resorte, mientras que se utiliza: la primera función de transferencia por la que se saca una cantidad de desplazamiento de la unidad de lado sin resorte con respecto a la parte sin resorte cuando se aporta la fuerza de actuador; y la segunda función de transferencia por la que se saca la fuerza real de actuación que es una fuerza que actúa realmente entre la parte con resorte y la parte sin resorte cuando se aporta la cantidad de desplazamiento.

Según la forma anterior (4), el mecanismo de conexión se dispone entre la parte sin resorte y la parte de lado sin resorte del actuador, por lo que se mitiga el impacto aportado desde la rueda y transmitido al actuador y se trata la vibración de alta frecuencia tal como resonancia sin resorte. Según la forma (4), por lo tanto, el choque transmitido al motor electromagnético y la vibración de alta frecuencia pueden ser suprimidos de manera efectiva, de modo el sistema de suspensión que se realiza con gran fiabilidad.

En un caso en el que la rueda pase sobre proyecciones y depresiones de la superficie de la carretera, por ejemplo, la parte sin resorte se mueve vigorosamente, de manera que la unidad de parte sin resorte se mueve vigorosamente. Por consiguiente, se considera que se produce una situación en la que la fuerza inercial de la unidad de lado sin resorte se vuelve relativamente grande. En la forma (4), la fuerza de objetivo de actuador se determina teniendo en cuenta la fuerza inercial de la unidad de lado sin resorte con respecto al desplazamiento de la parte sin resorte, de modo que la fuerza de actuador puede hacerse más apropiada.

(5) El sistema de suspensión según cualquiera de las formas (1) - (4), en donde el mecanismo de conexión incluye un amortiguador dispuesto en paralelo con el resorte de soporte y configurado para generar una fuerza de amortiguación con respecto a un movimiento relativo de dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte.

(6) El sistema de suspensión según la forma (5), en donde la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia se establecen sobre la base de un coeficiente de amortiguación del amortiguador.

En las dos formas (5) y (6) anteriores se emplea un mecanismo de conexión en el que el amortiguador hidráulico se dispone en paralelo con el resorte de soporte. El "amortiguador" puede proporcionarse para ayudar al resorte de soporte, es decir, para amortiguar las vibraciones que tienen una frecuencia relativamente alta. Según las dos formas anteriores, por lo tanto, es posible amortiguar de manera efectiva las vibraciones de alta frecuencia, tal como la resonancia sin resorte. Si bien la estructura del amortiguador no está particularmente limitada, el amortiguador puede tener una estructura como un dispositivo de cilindro que tiene un alojamiento, un pistón, etc. Cuando el mecanismo de conexión incluye el amortiguador, la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia se establecen utilizando el coeficiente de amortiguación del amortiguador como se describe en el última forma (6).

(7) El sistema de suspensión según la forma (6), en donde el amortiguador se configura de tal manera que el coeficiente de amortiguación del mismo se hace diferente dependiendo del sentido del movimiento relativo de dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte, y en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para cambiar la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia que se van a utilizar, dependiendo del sentido del movimiento relativo.

En el "amortiguador" según la forma anterior (7), el coeficiente de amortiguación del mismo en una carrera en la que la una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte se acercan entre sí se hace diferente del coeficiente de amortiguación en una carrera en la que la una de entre la unidad de lado sin resorte y la unidad de lado con resorte y la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte se ha alejan entre sí. Por ejemplo, el coeficiente de amortiguación se debe hacer menor en la carrera del movimiento de aproximación entre sí que el coeficiente de amortiguación en la carrera del movimiento de alejamiento entre sí, con la finalidad de mitigar de manera efectiva un choque que se produce cuando la rueda pasa sobre proyecciones de la superficie de la carretera, por ejemplo. Cuando el mecanismo de conexión tiene el amortiguador, la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia se establecen utilizando el coeficiente de amortiguación del amortiguador. Por consiguiente, la forma (7) se puede disponer de tal manera que la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia se cambian entre las que se establecen utilizando el coeficiente de amortiguación en la carrera de acercamiento entre sí y las que se establecen utilizando el coeficiente de amortiguación en la carrera de alejamiento entre sí. Según la forma (7), se estima el sentido del movimiento relativo de la una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte, y la fuerza de objetivo de actuador se determina dependiendo del sentido, por lo que puede hacerse más apropiada la magnitud de la fuerza que actúa entre la parte con resorte y la parte sin resorte.

(8) El sistema de suspensión según la forma (7), que comprende además: un sensor de cantidad de movimiento para detectar la cantidad de movimiento de la parte con resorte y la parte sin resorte al acercarse y alejarse entre sí; y un sensor de cantidad de funcionamiento de motor para detectar una cantidad de funcionamiento del motor electromagnético, en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para estimar el sentido del movimiento relativo de dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado con resorte y dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte, sobre la base de un valor detectado por el sensor de cantidad de movimiento y un valor detectado por el sensor de funcionamiento de motor.

En la forma anterior (8), se plasma la técnica de estimación del sentido del movimiento relativo de la una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y la una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte. El actuador se construye de tal manera que el movimiento relativo de la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y el funcionamiento del motor están relacionados entre sí. Por consiguiente, la cantidad de movimiento relativo de la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte (en lo sucesivo se denomina como "cantidad de movimiento relativo de unidades" donde proceda) puede estimarse a partir del valor detectado del sensor de cantidad de funcionamiento de motor. Por lo tanto, el sentido de la extensión y la contracción del amortiguador se puede estimar a partir de un cambio en la diferencia entre la cantidad del movimiento de la parte con resorte y la parte sin resorte al acercarse y alejarse entre sí detectado por el sensor de cantidad de movimiento y la cantidad de movimiento relativo de unidades estimada a partir del valor detectado del sensor de cantidad de funcionamiento de motor. Debido a que el sensor de cantidad de movimiento y el sensor de cantidad de funcionamiento de motor son los que se exigen en el control ordinario del actuador y similares ejecutados por el sistema de suspensión, la forma (8) elimina tener que proporcionar sensores adicionales, evitando que el sistema se complique.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es una vista esquemática que ilustra una estructura general de un sistema de suspensión para un vehículo según una realización de la invención que se puede reivindicar.

La Figura 2 es una vista de alzado frontal en sección transversal que ilustra un Conjunto de resorte-absorbedor mostrado en la Figura 1.

La FIGURA 3 es una vista modelada del Conjunto de resorte-absorbedor de la Figura 2.

La Figura 4 es una vista modelada del Conjunto de resorte-absorbedor de la Figura 2 en un caso en el que se tiene en cuenta un desplazamiento de una parte sin resorte.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que muestra un programa de control de actuador ejecutado por una unidad de control electrónico de suspensión que se muestra en la Figura 1.

La Figura 6 es un diagrama de bloques que muestra las funciones de un controlador del sistema de suspensión de la Figura 1.

La Figura 7 (a) es un diagrama de bloques de una parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador de la realización de la invención que se puede reivindicar y la Figura 7 (b) es un diagrama de bloques de una parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador en una realización modificada.

## REALIZACIONES

Se explicará con detalle una realización de la invención que se puede reivindicar y su realización modificada haciendo referencia a los dibujos. Hay que entender, sin embargo, que la invención que se puede reivindicar no se limita a las siguientes realizaciones sino que se puede plasmar con diversos cambios y modificaciones, tales como los que se describen en las FORMAS DE LA INVENCION, que se les pueden ocurrir a los expertos en la técnica. Se debe entender además que se proporciona una realización modificada de la siguiente realización mediante la utilización de los asuntos técnicos descritos en la explicación de cada una de las formas en las FORMAS DE LA INVENCION. Sin embargo, el alcance de la invención solo se define en las reivindicaciones anexas.

### 1. Estructura del sistema de suspensión

La Figura 1 muestra esquemáticamente un sistema de suspensión 10 para un vehículo según una realización de la invención que se puede reivindicar. El sistema de suspensión 10 incluye cuatro aparatos independientes de suspensión que corresponden respectivamente a las cuatro ruedas 12, es decir, una rueda delantera izquierda, una rueda delantera derecha, una rueda trasera izquierda y una rueda trasera derecha. Cada uno de los aparatos de suspensión incluye un Conjunto de resorte-absorbedor 20 en el que están unidos un resorte de suspensión y un absorbedor de impactos. Las cuatro ruedas 12 y los cuatro Conjuntos de resorte-absorbedor 20 se denominan en conjunto como la rueda 12 y el Conjunto de resorte-absorbedor 20, respectivamente. Cuando sea necesario distinguir las cuatro ruedas 12 entre sí y distinguir los cuatro Conjuntos de resorte-absorbedor 20 entre sí, se adjuntan los sufijos "FL", "FR", "RL", y "RR", que indican respectivamente la rueda delantera izquierda, la rueda delantera derecha, la rueda trasera izquierda y la rueda trasera derecha.

Como se muestra en la Figura 2, el Conjunto de resorte-absorbedor 20 se dispone entre un brazo inferior de suspensión 22 que sostiene la rueda 12, y que constituye parcialmente una parte sin resorte, y una parte de montaje 24 dispuesta en la carrocería de un vehículo y que constituyen parcialmente una parte con resorte, para conectar el brazo inferior de suspensión 22 y la parte de montaje 24. El conjunto de resorte-absorbedor 20 está segmentado generalmente en un actuador electromagnético 30, un mecanismo de conexión 32 para conectar el actuador 30 y el brazo inferior 22, y un resorte de aire 34 como un resorte de suspensión. El Conjunto de resorte-absorbedor 20 incluye, como sus elementos constitutivos, el actuador 30, el mecanismo de conexión 32 y el resorte de aire 34, que están unidos.

El actuador 30 incluye un mecanismo de husillo de bolas, un motor electromagnético 46 de tipo rotatorio (en lo sucesivo se denomina simplemente como "motor 46", donde proceda), y una carcasa 48 que aloja el motor 46. El mecanismo de husillo de bolas incluye una varilla roscada 42, como una parte de rosca externa, en la que hay formado un surco de rosca, y una tuerca 44, como parte de rosca interna, que contiene las bolas del rodamiento y que se atornilla con la varilla roscada 42. La carcasa 48 contiene de manera rotatoria la varilla roscada 42 y se conecta en su circunferencia exterior a la parte de montaje 24. El motor 46 tiene un árbol hueco 50 de motor. La varilla roscada 42 que pasa a través del árbol 50 de motor se fija a una parte extrema superior del árbol 50 de motor. Es decir, el motor 46 se configura para dar una fuerza rotatoria a la varilla roscada 42.

El actuador 30 incluye un tubo exterior 60 fijado en su extremo superior a la carcasa 48 con la varilla roscada 42 insertada a través del mismo y un tubo interior escalonado 62 instalado dentro del tubo exterior 60 y que sobresale hacia abajo desde una parte extrema inferior del tubo exterior 60. El tubo interior 62 tiene una parte extrema superior de diámetro en la que se mantiene la tuerca 44 de tal manera que la tuerca 44 se atornilla con la varilla roscada 42. El tubo exterior 60 se forma, en su superficie de pared interior, con un par de surcos de guía 64 que se extienden en una dirección en la que se extiende un eje del actuador 30 (en lo sucesivo se denomina como "dirección de eje" donde proceda). En el par de surcos de guía 64 encajan un par de chavetas 66 que se proporcionan en la parte extrema superior del tubo interior 62. Debido a los surcos de guía 64 y las chavetas 66 encajadas en los mismos, el tubo exterior 60 y el tubo interior 62 tienen posibilidad de moverse relativamente en la dirección del eje si bien no pueden rotar entre sí. El tubo interior 62 se conecta en su parte extrema inferior al mecanismo de conexión 32.

El mecanismo de conexión 32 tiene un amortiguador hidráulico 70. Si bien no se describe con detalle la estructura del amortiguador 70, el amortiguador 70 tiene una estructura similar a la de un absorbedor hidráulico de impactos de tipo de doble tubo. El amortiguador 70 incluye un alojamiento 72 en el que se aloja un fluido de trabajo, un pistón 74 encajado de manera deslizante y hermético a fluidos en un interior del alojamiento 72, y un vástago 76 de pistón

conectado en su extremo inferior al pistón 74 y que se extiende hacia arriba desde la parte extrema superior del alojamiento 72. El alojamiento 72 se conecta al brazo inferior 22 a través de un casquillo 78 que se proporciona en un extremo inferior del alojamiento 72. El vástago 76 de pistón se conecta, en su parte extrema superior que se extiende hacia arriba desde la parte extrema superior del alojamiento 72, a la parte extrema inferior del tubo interior 62. Según la estructura, el tubo interior 62 se conecta al brazo inferior 22 a través del amortiguador 70.

Un retenedor inferior anular 90 se fija a una parte exterior circunferencial del alojamiento 72 del amortiguador 70. El tubo de cubierta 92 que da cabida al tubo interior 62, la parte extrema inferior del tubo exterior 60, y la parte superior del amortiguador 70 se fijan, en su parte extrema inferior, al retenedor inferior 90. Un miembro flotante 94 se fija en una parte de unión del tubo interior 62 y el vástago 76 de pistón. El miembro flotante 94 está sostenido por y entre: un resorte espiral de compresión 96 dispuesto entre el miembro flotante 94 y el retenedor inferior 90; y un resorte espiral de compresión 100 dispuesto entre el miembro flotante 94 y una parte anular proyectada 98 que funciona como un retenedor superior y formada en el interior de un tubo de cubierta 92.

El resorte de aire 34 incluye una envuelta 120 de cámara fijada a la parte de montaje 24, el tubo de cubierta 92 que funciona como un cilindro de pistón de aire y un diafragma 124 que conecta la envuelta 120 de cámara y el tubo de cubierta 92. La envuelta 120 de cámara se conecta, en su parte de tapa 126, a la carcasa 48 del actuador 30 a través de un soporte 128 de resorte que tiene un caucho de amortiguación de vibraciones. La parte de tapa 126 de la envuelta 120 de cámara se conecta a la parte de montaje 24 a través de un soporte superior 130 que tiene un caucho de amortiguación de vibraciones. El diafragma 124 se fija, en un extremo del mismo, a una parte extrema inferior de la envuelta 120 de cámara y, en otro extremo del mismo, a una parte extrema superior del tubo de cubierta 92. La envuelta 120 de cámara, el tubo de cubierta 92 y el diafragma 124 cooperan entre sí para definir una cámara de presión 132 en la que se rellena aire comprimido como fluido. Debido a la estructura, el brazo inferior 22 y la parte de montaje 24, es decir, la rueda y la carrocería del vehículo, son soportados elásticamente entre sí por la presión del aire comprimido del resorte de aire 34. Cabe señalar que una constante de resorte en un caso en el que los mencionados resortes espirales de compresión 96, 100 se supone que constituyen un único resorte se hace más grande que una constante de resorte del resorte de aire 34.

En la estructura descrita anteriormente, el actuador 30 incluye: una unidad de lado con resorte que incluye la varilla roscada 42, el motor 46, la carcasa 48, el tubo exterior 60, etc., y se conecta a la parte de montaje 24; y una unidad de lado sin resorte que incluye la tuerca 44, el tubo interior 62, el miembro flotante 94, etc., y conectada al brazo inferior 22. El actuador 30 se configura de tal manera que la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte no puedan rotar entre sí y puedan moverse entre sí en la dirección del eje en asociación con el movimiento de la parte con resorte y la parte sin resorte acercándose y alejándose entre sí. El mecanismo de conexión 32 indicado anteriormente se dispone entre (a) la unidad de lado sin resorte como una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y (b) la parte sin resorte como una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte que se conecta a la unidad de lado sin resorte. El mecanismo de conexión 32 se configura para conectar la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte. Los dos resortes espirales de compresión 96, 100 funcionan como un resorte de soporte. (En lo sucesivo, los resortes espirales de compresión 96, 100 se denominan como "resorte de soporte 96, 100".)

El actuador 30 se configura de tal manera que, cuando la parte con resorte y la parte sin resorte se acercan y se alejan entre sí, la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte son movibles entre sí en la dirección del eje, a saber, la varilla roscada 42 y la tuerca 44 son movibles entre sí en la dirección del eje y la varilla roscada 42 rota con respecto a la tuerca 44 en asociación con el movimiento relativo. Por consiguiente, el árbol 50 de motor rota. El motor 46 puede dar un par de rotación a la varilla roscada 42. Debido al par de rotación, es posible generar una fuerza de resistencia contra la rotación relativa de la varilla roscada 42 y la tuerca 44, en un sentido para evitar la rotación relativa. La fuerza de resistencia se aplica como una fuerza de amortiguación con respecto al movimiento relativo de la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y, por consiguiente, como una fuerza de amortiguación con respecto al movimiento de la parte con resorte y la parte sin resorte al acercarse y alejarse entre sí, por lo que el actuador 30 funciona como lo que se denomina absorbedor de impactos. Además, el actuador 30 es capaz de generar una fuerza propulsora con respecto al movimiento relativo de la parte con resorte y la parte sin resorte. Por consiguiente, el sistema 10 es capaz de ejecutar un control sobre la base de la denominada teoría de amortiguador *skyhook*, teoría de amortiguador cuasi *groundhook* (amortiguador enganchado en un punto fijo en el suelo), y similares. Además, es posible mantener, debido al par de rotación del motor 46, la distancia entre la parte con resorte y la parte sin resorte a una distancia arbitraria, por lo que el ladeo de la carrocería del vehículo al girar y el cabeceo de la carrocería del vehículo al acelerar y desacelerar el vehículo pueden suprimirse o restringirse de manera efectiva y se puede ajustar la altura del vehículo. La distancia entre la parte con resorte y la parte sin resorte en lo sucesivo se denomina como "una distancia con resorte-sin resorte" donde proceda.

La unidad de lado sin resorte del actuador 30 y el brazo inferior 22 se conectan mediante el mecanismo de conexión 32 que incluye el amortiguador 70 y los resortes espirales de compresión 96, 100. El amortiguador 70 se configura para generar una fuerza de amortiguación con respecto a un movimiento relativo de la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte, por lo que se puede amortiguar de manera efectiva la vibración relativa de la unidad de lado sin resorte y de la parte sin resorte. Si bien no se explica con detalle, el amortiguador 70 se configura de tal manera que



el coeficiente de amortiguación del mismo en su carrera de contracción y el coeficiente de amortiguación en su carrera de extensión son mutuamente diferentes entre sí. Más específicamente, un coeficiente de amortiguación  $C_c$  en la carrera de contracción, es decir, en un caso en el que la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte se acercan entre sí se hace más pequeño que el coeficiente de amortiguación  $C_t$  en la carrera de extensión, es decir, en un caso en el que la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte se alejan entre sí, con la finalidad de mitigar de manera efectiva un impacto que empuja hacia arriba la rueda cuando la rueda pasa sobre las proyecciones de la superficie de la carretera.

Al centrarse en la función de amortiguación de vibraciones del actuador 30, el movimiento del actuador 30 sigue suavemente con respecto a una vibración de baja frecuencia de 5 Hz o inferior, por lo que tal vibración de baja frecuencia puede ser amortiguada de manera efectiva. Sin embargo, es difícil amortiguar de manera efectiva una vibración de alta frecuencia superior a 10 Hz debido a que el movimiento del actuador 30 es difícil de seguir. En el presente Conjunto de resorte-absorbedor 20, el actuador 30 y el brazo inferior 22 se conectan mediante el mecanismo de conexión 32 indicado anteriormente, de modo que la transmisión de esa vibración de alta frecuencia superior a 10 Hz desde la parte sin resorte a la parte con resorte puede ser suprimida de manera efectiva por el mecanismo de conexión 32.

Como se muestra en la Figura 1, el sistema de suspensión 10 tiene un dispositivo de flujo de entrada y de salida de fluido para permitir que el aire como fluido fluya dentro y fuera del resorte de aire 34 de cada Conjunto de resorte-absorbedor 20, más particularmente, un dispositivo 160 de suministro y de descarga de aire que se conecta a la cámara de presión 132 de cada resorte de aire 34 para suministrar el aire a la cámara de presión 132 y descargar el aire desde la misma 132. Aunque no se explica con detalle, la cantidad de aire en la cámara de presión 132 de cada resorte de aire 34 puede ser ajustada por el dispositivo 160 de suministro y descarga de aire en el sistema de suspensión 10 construido de este modo. Mediante el ajuste de la cantidad de aire, puede cambiarse la longitud de resorte de cada resorte de aire 34 y de ese modo se cambia la distancia con resorte-sin resorte para cada rueda 12. Más específicamente, se aumenta la cantidad de aire en la cámara de presión 132 para aumentar de ese modo la distancia con resorte-sin resorte mientras se disminuye la cantidad de aire en la cámara de presión 132 para disminuir de ese modo la distancia con resorte-sin resorte. En otras palabras, el sistema actual 10 es capaz de ajustar la altura del vehículo.

En el sistema de suspensión 10, el Conjunto de resorte-absorbedor 20 se hace funcionar mediante una unidad 200 de control electrónico de suspensión como un controlador (en lo sucesivo se denomina como "ECU 200", donde proceda), a saber, el actuador 30 y el resorte de aire 34 son controlados por la ECU 200. La ECU de suspensión 200 está constituida principalmente por un ordenador equipado con una CPU, una ROM, una RAM, etc. A la ECU de suspensión 200, se conecta: un impulsor 202 como circuito impulsor para el dispositivo 160 de suministro y descarga de aire; y unos inversores 204, que se proporcionan para corresponder a los respectivos motores 46 de los actuadores 30. Cada uno de los inversores 204 funciona como un circuito impulsor para controlar el motor correspondiente 46. La ECU de suspensión 200 controla los resortes de aire 34 mediante el control del impulsor 202 y controla la fuerza de actuador generada por cada uno de los actuadores 30 mediante el control de los cuatro inversores 204. El impulsor 202 y los inversores 204 se conectan a una batería [BAT] 208 a través de un convertidor [CONV] 206. La energía eléctrica es suministrada por una fuente de energía eléctrica constituida por la inclusión del convertidor 206 y la batería 208 para controlar una válvulas, un motor de bomba y similares, del dispositivo 160 de suministro y descarga de aire, y los motores 46 de los respectivos actuadores 30. El inversor 204 se configura de tal manera que la energía eléctrica generada por el motor 46 debido a la fuerza electromotriz se puede regenerar en la fuente de energía eléctrica. El motor 46 se configura para generar no sólo la fuerza motriz que depende de una corriente de alimentación que es una corriente eléctrica suministrada por la fuente de energía eléctrica al motor 46, sino también la fuerza motriz que depende de la fuerza electromotriz. El inversor 204 se configura para ajustar una corriente eléctrica que fluye en el motor 46, es decir, mediante el control de una corriente eléctrica del motor 46, independientemente de si la corriente eléctrica es suministrada por la fuente de energía eléctrica o es generada por la fuerza electromotriz, para el control de la fuerza motriz. En este sentido, cada inversor 204 cambia su relación de trabajo, es decir, una relación del tiempo de impulso activo con el tiempo de impulso inactivo, según una modulación de ancho de pulso (PWM), para ajustar de ese modo la corriente eléctrica de cada motor 46.

El vehículo está provisto de: un conmutador de encendido [I/G] 220; un sensor [v] 222 de velocidad de vehículo para detectar una velocidad de marcha del vehículo (en lo sucesivo, "velocidad de vehículo" donde proceda); cuatro sensores de altura [h] 224 cada uno como un sensor de cantidad de movimiento para detectar la distancia con resorte-sin resorte de la rueda correspondiente 12; un conmutador [HSw] 226 de cambio de altura de vehículo manejado por un conductor del vehículo para enviar instrucciones para cambiar la altura del vehículo; un sensor de ángulo de funcionamiento [8] 228 para detectar un ángulo de funcionamiento de un volante de dirección, un sensor de aceleración longitudinal [Gx] 230 para detectar la aceleración longitudinal generada realmente en la carrocería del vehículo; un sensor de aceleración lateral [Gy] 232 para detectar la aceleración lateral real generada en la carrocería del vehículo; cuatro sensores de aceleración vertical con resorte [Gzs] 234 respectivamente para detectar la aceleración vertical de la partes de montaje 24 de la carrocería del vehículo correspondiente a las respectivas ruedas 12; cuatro sensores de aceleración vertical sin resorte [Gzg] 236 respectivamente para detectar la aceleración vertical de las respectivas ruedas 12; un sensor de estrangulador [Sr] 238 para detectar el grado de

abertura de un estrangulador de acelerador; un sensor de presión de freno [Br] 240 para detectar una presión del cilindro maestro de un sistema de frenos; y cuatro solucionadores [9] 242 cada uno como un sensor de cantidad de funcionamiento de motor para detectar el ángulo rotatorio de cada motor 46. Estos sensores y conmutadores se conectan al ordenador de la ECU 200. La ECU 200 se configura para controlar el funcionamiento de cada Conjunto de resorte-absorbedor 20 basándose en las señales enviadas desde estos sensores e conmutadores. En los dibujos se utiliza el símbolo en cada corchete para indicar el sensor o el conmutador correspondiente. En la ROM del ordenador de la ECU 200, hay programas almacenados relacionados con el control de los actuadores 30, diversos datos, etc.

## 2. Control en el sistema de suspensión

En el presente sistema de suspensión 10, los cuatro Conjuntos de resorte-absorbedor 20 se pueden controlar de forma independiente entre sí. En los cuatro Conjuntos de resorte-absorbedor 20, la fuerza de actuador del actuador 30 se controla de forma independiente, por lo que se ejecuta un control para amortiguar las vibraciones de la carrocería del vehículo y la rueda 12, es decir, una vibración de la parte con resorte (es decir, vibraciones con resorte) y una vibración de la parte sin resorte (es decir, vibraciones sin resorte). El control en lo sucesivo se denomina como "control de amortiguación de vibraciones" donde proceda. Además, se ejecuta: un control para restringir el ladeo de la carrocería del vehículo que surge al girar el vehículo (en lo sucesivo se denomina como "control de restricción de ladeo") y (b) un control para restringir el cabeceo de la carrocería del vehículo que surge de la aceleración y desaceleración del vehículo (en lo sucesivo se denomina como "control de restricción de cabeceo"). Inicialmente, la fuerza requerida de actuación que se requiere que actúe entre la parte con resorte y la parte sin resorte se obtiene sumando una componente de amortiguación de vibraciones en el control de amortiguación de vibraciones, una componente de restricción de ladeo en el control de restricción de ladeo, y una componente de restricción de cabeceo en el control de restricción de cabeceo, cada una de las cuales es una componente de la fuerza de actuador en el control correspondiente. Entonces se determina una fuerza de actuador de tal manera que una fuerza que actúa realmente entre la parte con resorte y la parte sin resorte se vuelve igual a la fuerza requerida de actuación, y el actuador 30 es controlado para generar la fuerza de objetivo de actuador. De este modo, el mencionado control de amortiguación de vibraciones, control de restricción de ladeo y control de restricción de cabeceo se ejecutan sintéticamente. En la siguiente explicación, la fuerza de actuador y sus componentes son valores positivos cuando corresponden a una fuerza en un sentido (es decir, un sentido de rebote) en el que la parte con resorte y la parte sin resorte se alejan entre sí y valores negativos cuando corresponde a una fuerza en un sentido (es decir, un sentido de bote) en el que la parte con resorte y la parte sin resorte se acercan entre sí.

### i) Control de amortiguación de vibraciones

En el control de amortiguación de vibraciones, se determina la componente  $f_v$  de amortiguación de vibraciones de la fuerza de actuador para generar una fuerza de actuador que tenga una magnitud que corresponda a la velocidad de la vibración de la carrocería del vehículo y la rueda 12 que se van a amortiguar. Es decir, el control de amortiguación de vibraciones es un control en el que se ejecuta sintéticamente un control basado en la denominada teoría de *skyhook* y un control basado en la teoría de amortiguador cuasi *groundhook*. Más específicamente, la componente  $f_v$  de amortiguación de vibraciones se calcula según la siguiente fórmula sobre la base de: (1) una velocidad de movimiento de la parte de montaje 24 en la dirección vertical obtenida de la aceleración vertical con resorte que es detectada por el sensor 234 de aceleración vertical con resorte dispuesto sobre la parte de montaje 24, es decir, la denominada velocidad absoluta con resorte  $V_s$ ; y (2) una velocidad de movimiento de la rueda 12 en la dirección vertical obtenida a partir de la aceleración vertical sin resorte que es detectada por el sensor 236 de aceleración vertical sin resorte dispuesto en el brazo inferior 22, es decir, la denominada velocidad absoluta sin resorte  $V_g$ :

$$f_v = C_s \cdot V_s - C_g \cdot V_g$$

En la fórmula anterior,  $C_s$  es una ganancia para generar una fuerza de amortiguación acorde con la velocidad de movimiento de la parte de montaje 24 en dirección vertical y  $C_g$  es una ganancia para generar una fuerza de amortiguación acorde con la velocidad de movimiento de la rueda 12 en la dirección vertical. Es decir, las ganancias  $C_s$ ,  $C_g$  se pueden considerar coeficientes de amortiguación con respecto a la denominada vibración absoluta con resorte y vibración absoluta sin resorte, respectivamente.

### ii) Control de restricción de ladeo

Al girar el vehículo, la parte con resorte y la parte sin resorte situadas en el lado interior con respecto al giro se alejan entre sí, mientras la parte con resorte y la parte sin resorte situadas en el lado exterior con respecto al giro se acercan entre sí, debido al momento de inclinación que surge al girar. En el control de restricción de ladeo, el actuador 30 ubicado en el lado interior con respecto al giro es controlado para generar, como fuerza de restricción de ladeo, la fuerza de actuador en el sentido de bote mientras que el actuador 30 ubicado en el lado exterior con respecto al giro es controlado para generar, como fuerza de restricción de ladeo, la fuerza de actuador en el sentido de rebote, para restringir el movimiento relativo de la parte con resorte y la parte sin resorte, ubicadas en el lado interior con respecto al giro, alejándose entre sí y para restringir el movimiento relativo de la parte con resorte y la parte sin resorte, ubicadas en el lado exterior con respecto al giro, acercándose entre sí. Más específicamente, la aceleración lateral  $G_y^*$  de control-uso que se va a utilizar en el control se determina como una aceleración lateral

indicativa del momento de ladeo que recibe la carrocería del vehículo, según la siguiente fórmula, sobre la base de:  
 (1) aceleración lateral estimada  $G_{yc}$  que se estima sobre la base del ángulo de funcionamiento  $\delta$  del volante de dirección y la velocidad  $v$  del vehículo; y (2) la aceleración lateral real  $G_{yr}$  que es medida realmente por el sensor de aceleración lateral 232:

5

$$G_{y^*} = K_1 \cdot G_{yc} + K_2 \cdot G_{yr}$$

( $K_1$ ,  $K_2$ : ganancias)

10 La componente  $f_R$  de restricción de ladeo se determina sobre la base de la aceleración lateral  $G_y$  de control- uso determinada de este modo, según la siguiente fórmula:

$$f_R = K_3 \cdot G_{y^*}$$

15 ( $K_3$ : ganancia)

iii) Control de restricción de cabeceo

20 Cuando el morro de la carrocería del vehículo se hunde al desacelerar tal como al frenar, las partes con resorte y las partes sin resorte situadas en el lado de ruedas delanteras del vehículo se acercan entre sí mientras que las partes con resorte y las partes sin resorte situadas en el lado de ruedas traseras del vehículo se alejan entre sí, debido al momento de cabeceo que hace que el morro se hunda. Cuando la carrocería del vehículo se agacha de atrás al acelerar, las partes con resorte y las partes sin resorte situadas en el lado de ruedas delanteras del vehículo se alejan entre sí mientras que las partes con resorte y las partes sin resorte situadas en el lado de ruedas traseras del vehículo se acercan entre sí, debido al momento de cabeceo que hace que se agache de atrás. En el control de restricción de cabeceo, la fuerza de actuador se genera como la fuerza de restricción de cabeceo para restringir o suprimir un cambio en la distancia con resorte-sin resorte, con el hundimiento del morro y al agacharse de atrás. Más específicamente, la aceleración longitudinal real  $G_x$  que es medida realmente por el sensor de aceleración longitudinal 230 se utiliza como aceleración longitudinal indicativa de momento de cabeceo que recibe la carrocería del vehículo. Sobre la base de la aceleración longitudinal real  $G_x$ , la componente de restricción de cabeceo  $f_P$  se determina según la siguiente fórmula:

30

$$f_P = K_4 \cdot G_x$$

( $K_4$ : ganancia)

35 El control de restricción de cabeceo se ejecuta cuando el grado de abertura del estrangulador detectado por el sensor de estrangulador 238 supera un umbral prescrito o la presión del cilindro maestro detectada por el sensor 240 de presión de freno supera un umbral prescrito.

iv) Determinación de la fuerza requerida de actuación

40 Después de que se haya determinado la componente  $f_V$  de amortiguación de vibraciones, la componente  $f_R$  de restricción de ladeo y la componente  $f_P$  de restricción de cabeceo como se ha descrito anteriormente, se determinará la fuerza requerida de actuación  $f_N$  que se requiere que actúe entre la parte con resorte y la parte sin resorte sobre la base de esas componentes según la siguiente fórmula:

40

$$f_N = f_V + f_R + f_P$$

45

Sobre la base de la fuerza requerida de actuación  $f_N$  determinada de este modo, se determina la fuerza de objetivo de actuador  $f^*$  que es la fuerza de actuador que se requiere que sea generada por el actuador 30. En el presente sistema de suspensión 10, el mecanismo de conexión 32 que incluye los resortes espirales de compresión 96, 100 y 70 el amortiguador se disponen en serie con el actuador 30. Por consiguiente, la fuerza de actuador se transmite entre la parte con resorte y la parte sin resorte a través del mecanismo de conexión 32. En el presente sistema 10, por lo tanto, la fuerza de objetivo de actuador  $f^*$  se determina considerando la característica de transmisión del Conjunto de resorte-absorbedor 20 relacionada con la transmisión de la fuerza de actuador a la parte con resorte y la parte sin resorte a través del mecanismo de conexión 32.

50

v) Característica de transmisión

55 En lo sucesivo se explicará con detalle la característica de transmisión del Conjunto de resorte-absorbedor 20. La Figura 3 es una vista en perspectiva del Conjunto de resorte-absorbedor 20. Cuando una fuerza de actuador se define como " $f_A(t)$ ", y una cantidad de desplazamiento de la unidad de lado sin resorte con respecto a la parte sin resorte parte se define como " $x(t)$ " utilizando el tiempo " $t$ " como un parámetro, una ecuación de movimiento con respecto a la unidad de lado sin resorte se representa de la siguiente manera. La cantidad de desplazamiento  $x(t)$  es positiva cuando la unidad de lado sin resorte se desplaza hacia arriba.

60

$$m \cdot d^2x(t)/dt^2 + C \cdot dx(t)/dt + k \cdot x(t) = -f_A(t) \dots (1)$$

En la ecuación anterior, "m" representa la masa inercial de la unidad de lado sin resorte, "C" representa el coeficiente de amortiguación del amortiguador 70, y "k" representa una constante de resorte en un caso en el que se supone que los dos resortes espirales de compresión 96, 100 constituyen un resorte. La ecuación anterior (1) se somete a la transformada de Laplace utilizando, como parámetro, "s" que es un operador de Laplace, por lo que se obtiene la siguiente fórmula:

$$X(s) = -1/(m \cdot s^2 + C \cdot s + k) \cdot F_A(s) \dots (2)$$

Cabe señalar que "X(s)" y "F<sub>A</sub>(s)" son funciones obtenidas por transformada de Laplace de "x(t)" y f<sub>A</sub>(t), respectivamente. Es decir, una primera función de transferencia G<sub>1</sub>(s) se representa como G<sub>1</sub>(s) = -1/(m·s<sup>2</sup>+C·s+k). La primera función de transferencia es una función de transferencia por la que se saca la cantidad de desplazamiento de la unidad de lado sin resorte con respecto a la parte sin resorte cuando se aporta la fuerza de actuador.

Cuando una fuerza de actuación real que actúa realmente en la parte sin resorte se define como "fr(t)", mientras que la cantidad de desplazamiento de la unidad de lado sin resorte con respecto a la parte sin resorte se define como "x(t)" como se ha descrito antes, se representa una ecuación de movimiento con respecto a la parte sin resorte de la forma siguiente:

$$fr(t) = -C \cdot dx(t)/dt - k \cdot x(t) \dots (3)$$

La siguiente fórmula (4) se obtiene por transformada de Laplace de la ecuación anterior (3):

$$Fr(s) = -(C \cdot s + k) \cdot X(s) \dots (4)$$

Cabe señalar que "Fr(s)" es una función obtenida por transformada de Laplace de fr(t). Es decir, una segunda función de transferencia G<sub>2</sub>(s) se representa como G<sub>2</sub>(s) = -(Cs+k). La segunda función de transferencia es una función de transferencia por la que se saca la fuerza real de actuación cuando se aporta la cantidad de desplazamiento de la unidad de lado sin resorte con respecto a la parte sin resorte. Mediante la sustitución de la fórmula (2) en la fórmula (4), se obtiene la siguiente fórmula:

$$Fr(s) = \{(C \cdot s + k)/(m \cdot s^2 + C \cdot s + k)\} \cdot F_A(s) \dots (5)$$

Dado que la fuerza de actuador f<sub>A</sub>(t) que se requiere que sea generada por el actuador 30 se determina de tal manera que la fuerza de actuación fr(t) se haga igual a la fuerza f<sub>N</sub>, la fuerza de actuador se calcula según la siguiente fórmula:

$$F_A(s) = \{(m \cdot s^2 + C \cdot s + k)/(C \cdot s + k)\} \cdot Fr(s) \dots (6)$$

vi) Determinación de fuerza de objetivo de actuador

En el modelo que se muestra en la Figura 3, la parte sin resorte es fija, y sólo se ha tenido en cuenta el movimiento de la unidad de lado sin resorte con respecto a la parte sin resorte. Sin embargo, dado que el Conjunto de resorte-absorbedor 20 está siendo desplazado en todo momento debido al aporte desde la rueda, es deseable tener en cuenta la influencia del desplazamiento de la parte sin resorte. Por consiguiente, se considera un modelo del Conjunto de resorte-absorbedor 20 mostrado en la Figura 4 en el que la parte sin resorte se está desplazando mientras se define el desplazamiento absoluto de la parte sin resorte como "x<sub>1</sub>(t)". Según el modelo, se puede considerar que la unidad de lado sin resorte tiene una fuerza inercial que tiene una magnitud acorde con la aceleración vertical sin resorte d<sup>2</sup>x<sub>1</sub>(t)/dt<sup>2</sup>. Por lo tanto, F\*(s) que se obtiene por transformada de Laplace de la fuerza de objetivo de actuador f\*(t) está representada por la siguiente fórmula, considerando la fuerza inercial md<sup>2</sup>x<sub>1</sub>(t)/dt<sup>2</sup> cuya magnitud corresponde a la aceleración vertical sin resorte de la unidad de lado sin resorte:

$$F^*(s) = \{(m \cdot s^2 + C \cdot s + k)/(C \cdot s + k)\} \cdot F_N(s) - m \cdot s^2 \cdot X_1(s) \dots (7)$$

Por consiguiente, la fuerza de objetivo de actuador se determina sobre la base de: un valor de salida indicativo de la fuerza de actuador cuando la fuerza requerida de actuación se aporta en una función de transferencia compuesta  $G(s) = (ms^2 + Cs + k)/(Cs + k)$  que se establece como una función recíproca de una función que es un producto de la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia; y la fuerza inercial de la unidad de lado sin resorte con respecto al desplazamiento de la parte sin resorte.

Una ecuación de movimiento con respecto a la unidad de lado sin resorte y una ecuación de movimiento con respecto a la parte sin resorte, según el modelo que se muestra en la Figura 4, se representan mediante las siguientes fórmulas (8) y (9), respectivamente:

$$m \cdot d^2x_0(t)/dt^2 = -f_A(t) - C \cdot \{dx_0(t)/dt - dx_1(t)/dt\} - k \cdot \{x_0(t) - x_1(t)\} \dots (8)$$

$$f_r(t) = -C \cdot \{dx_0(t)/dt - dx_1(t)/dt\} - k \cdot \{x_0(t) - x_1(t)\} \dots (9)$$

Las siguientes fórmulas (10) y (11) se obtienen por transformada de Laplace de las fórmulas anteriores (8) y (9), respectivamente:

$$m \cdot s^2 \cdot X_0(s) = -F_A(s) - C \cdot s \cdot \{X_0(s) - X_1(s)\} - k \cdot \{X_0(s) - X_1(s)\} \dots (10)$$

$$F_r(s) = -C \cdot s \cdot \{X_0(s) - X_1(s)\} - k \cdot \{X_0(s) - X_1(s)\} \dots (11)$$

Las fórmulas anteriores (10) y (11) se organizan en la siguiente fórmula:

$$F_A(s) = \{(m \cdot s^2 + C \cdot s + k)/(C \cdot s + k)\} \cdot F_r(s) - m \cdot s^2 \cdot X_1(s) \dots (12)$$

Es decir, se obtiene la fórmula (12) similar a la fórmula (7).

La transformada de Laplace indicada anteriormente se realiza en valores continuos, es decir, datos analógicos. Sin embargo, la fuerza requerida de actuación  $f_N$  que se va a aportar a la función de transferencia compuesta  $G(s)$  se determina cada vez que se ejecuta un programa que se va a explicar, y, por lo tanto, es un valor discreto con respecto al tiempo de cabeceo  $T_s$  de la ejecución del programa. Por consiguiente, la fuerza de objetivo de actuador es calculada por una función de transferencia  $G(z)$  obtenida por discretización de la función de transferencia compuesta  $G(s)$  indicada anteriormente utilizando la denominada transformación  $z$  que puede ser explicada como transformada de Laplace sobre el grupo discreto.

Se explicará brevemente un ejemplo de la transformación  $z$ . " $a_{n+1}$ " se define como " $z a_n$ ", es decir,  $a_{n+1} = z a_n$ , donde los datos en un determinado tiempo  $t_n$  se definen como " $a$ " y un intervalo de muestreo se define como " $T_s$ " y se utiliza un operador " $z$ " indicativo del orden de los datos discretos. La aproximación de " $da(t_n)/dt$ " utilizando los datos discretos proporciona la siguiente fórmula:

$$da(t_n)/dt = (a_n - a_{n-1})/T_s \dots (13)$$

La fórmula anterior (13) se transforma utilizando " $a_{n+1} = z a_n$ ", de modo que se obtiene la siguiente fórmula:

$$da(t_n)/dt = \{(1 - z^{-1})/T_s\} \cdot a_n \dots (14)$$

Además, la transformada de Laplace " $da(t_n)/dt$ " proporciona " $s A(s)$ ". Es decir, el operador de Laplace " $s$ " en la fórmula (7) se ha sustituido por " $(1 - z^{-1})/T_s$ " y " $F^*(s)$ " y " $F_N(s)$ " en la fórmula (7) se transforman, respectivamente, en " $f^*$ " y " $f_N$ " cada uno como datos discretos, para obtener la siguiente fórmula:

$$f^* = G(z) \cdot f_N - m \cdot G_z g \dots (15)$$

Dado que " $s^2 X_1(s)$ " representa la aceleración vertical sin resorte, " $s^2 X_1(s)$ " se sustituye por la aceleración vertical sin resorte  $G_z g$  detectada por el sensor 236 de aceleración vertical sin resorte. En este sentido, el valor de salida actual

"G(z)" se calcula utilizando el valor de entrada actual y el valor de entrada anterior y el valor de salida anterior. De este modo se lleva a cabo el cálculo según la fórmula (15), por lo que se determina la fuerza de objetivo de actuador  $f^*$ .

5 Como se ha descrito anteriormente, el amortiguador 70 se configura de tal manera que su coeficiente de amortiguación C se hace diferente dependiendo del sentido de contracción y extensión. Por consiguiente, la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia se cambian dependiendo del sentido de movimiento relativo de la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte. Más específicamente, el coeficiente de amortiguación C del amortiguador 70 establecido en cada una de entre la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia se cambia de manera selectiva entre el coeficiente de amortiguación  $C_c$  en un caso en el que la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte se mueven acercándose entre sí y el coeficiente de amortiguación  $C_t$  en un caso en el que la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte parte se mueven alejándose entre sí. El desplazamiento relativo de la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte es una diferencia entre: una cantidad del movimiento de la parte con resorte y parte sin resorte acercándose y alejándose entre sí detectado por el sensor de altura 224; y la cantidad del movimiento relativo de la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte estimada a partir del resultado de la detección del solucionador 242. Por consiguiente, el sentido del movimiento relativo de la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte se estima sobre la base de los resultados de detección del sensor de altura 224 y el solucionador 242.

20 El actuador 30 es controlado para generar la fuerza de objetivo de actuador  $f^*$  determinado como se ha descrito anteriormente. El funcionamiento del motor 46 para generar la fuerza de objetivo de actuador  $f^*$  es controlado por el inversor 204. Más específicamente, la relación de objetivo de trabajo se determina sobre la base de la fuerza de objetivo de actuador  $f^*$  determinada de este modo, y una orden basada en la relación determinada de trabajo se envía al inversor 204. Los elementos de conmutación del inversor 204 son controlados para abrirse y cerrarse bajo la apropiada relación de trabajo, por lo que el motor 46 es impulsado para generar la fuerza de objetivo de actuador  $f^*$ .

#### vii) Control de cambio de altura

En el presente sistema de suspensión 10, también se ejecuta un control para cambiar, mediante los resortes de aire 34, la altura del vehículo sobre la base de la intención del conductor en un intento de negociar la marcha en una superficie de carretera con un alto grado de irregularidad, por ejemplo. El control en lo sucesivo se denomina como "control de cambio de altura" donde proceda. Se explicará brevemente el control de cambio de altura. El control de cambio de altura se ejecuta cuando se cambia una altura de objetivo, que es una de las alturas predeterminadas que se va a realizar, al accionar un conmutador 226 de cambio de altura de vehículo sobre la base de la intención del conductor. Para cada una de las alturas predeterminadas, se establece de antemano una distancia de objetivo con resorte-sin resorte para cada una de las cuatro ruedas 12. El funcionamiento del dispositivo 160 de suministro y de descarga de aire se controla de tal manera que las distancias con resorte-sin resorte para las respectivas ruedas 12 se vuelven iguales a las respectivas distancias de objetivo, sobre la base de los valores detectados por los respectivos sensores de altura 224, por lo que las distancias con resorte-sin resorte de las respectivas ruedas 12 se cambian de manera adecuada según la altura deseada. En el control de cambio de altura, también se ejecuta la denominada nivelación automática para hacer frente a un cambio en la altura del vehículo debido a un cambio en el número de pasajeros montados en el vehículo, un cambio en el peso de los cargamentos transportados por el vehículo, y similares.

#### 3. Programa de control

45 El control del actuador 30 explicado anteriormente se ejecuta de tal manera que un programa de control del actuador indicado por el diagrama de flujo de la Figura 5 es implementado de manera repetida por la ECU 200 en el tiempo de cabeceo  $T_s$ , p. ej., desde varios milisegundos a varias decenas de milisegundos, con el conmutador de encendido (llave de contacto) 220 del vehículo colocado en un estado ON (activo). En lo sucesivo, se explicará brevemente el flujo del control haciendo referencia al cuadro de flujo. El programa de control de actuador se ejecuta para cada uno de los cuatro actuadores 30 de los respectivos Conjuntos de resorte-absorbedor 20 que se proporcionan para las respectivas cuatro ruedas 12. En la siguiente descripción, se explicará el procesamiento realizado por el programa ejecutado en uno de los cuatro actuadores 30, por razones de brevedad.

55 En el programa de control de actuador, el componente  $f_v$  de amortiguación de vibraciones, el componente  $f_R$  de restricción de ladeo y el componente  $f_P$  de restricción de cabeceo se determinan en la etapa S1 (en lo sucesivo "etapa" se omite donde proceda) a S3, según la manera explicada antes. A continuación, se implementa S4 para sumar las tres componentes  $f_v$ ,  $f_R$ ,  $f_P$ , determinando de ese modo la fuerza requerida de actuación  $f_N$  que se requiere que actúe entre la parte con resorte y la parte sin resorte. Posteriormente, en S5, se obtiene la cantidad de desplazamiento relativo  $x$  de la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte a partir de una diferencia entre: la cantidad del movimiento de la parte con resorte y parte sin resorte al acercarse y alejarse entre sí que se obtiene a partir del resultado de detección del sensor de altura 224; y la cantidad de movimiento relativo de la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte que se estima a partir del resultado de detección del solucionador 242. En S6, se compara entre sí la cantidad de desplazamiento relativo actual y la cantidad de desplazamiento relativo anterior, y se estima el sentido del movimiento relativo de la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte. Cuando se estima que la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte se mueven acercándose entre sí, se implementa S7

para establecer el coeficiente de amortiguación C del amortiguador 70 en Cc. Cuando se estima que la unidad de lado sin resorte y la parte sin resorte se mueven alejándose entre sí, se implementa S8 para establecer el coeficiente de amortiguación C del amortiguador 70 en Ct.

5 Posteriormente, en S9, se ejecuta el cálculo según la función de transferencia  $G(s) = (m's^2 + Cs + k) / (Cs + k)$  explicada anteriormente, por lo que se saca la fuerza de actuador  $f_A$  que va a ser generada por el actuador 30 según la fuerza requerida de actuación  $f_N$  determinada en S4 como el valor de entrada. A continuación, en S10, se determina la fuerza de objetivo de actuador  $f^*$  ( $= f_A - m'Gzg$ ) teniendo en cuenta la fuerza inercial  $m'Gzg$  de la unidad de lado sin resorte con respecto al desplazamiento de la parte sin resorte. S10 es seguida de S11 en la que se determina la relación de trabajo para controlar el motor 46 sobre la base de la fuerza de actuador determinada  $f^*$ , y al inversor 204 se envía una orden sobre la base de la relación de trabajo. Debido al procesamiento, se controla el funcionamiento del motor 46 de cada actuador 30, de modo que cada actuador 30 genera la fuerza de actuador que será requerida.

15 4. Estructura funcional del controlador

La ECU 200 que ejecuta el indicado control de cada actuador 30 se considera que tiene varias partes funcionales para ejecutar los diferentes tipos de procesamiento. Para ser más específicos, la ECU 200 incluye una parte funcional para determinar la fuerza requerida de actuación mediante la ejecución del procesamiento en S1-S4 del indicado programa de control de actuador, es decir, una parte 300 de determinación de fuerza requerida de actuación. La parte 300 de determinación de fuerza requerida de actuación incluye: una parte 302 de control de amortiguación de vibraciones como una parte funcional para determinar la componente  $f_V$  de amortiguación de vibraciones; una parte 304 de control de restricción de ladeo como parte funcional para determinar la componente  $f_R$  de restricción de ladeo; y una parte 306 de control de restricción de cabeceo como una parte funcional para determinar la componente  $f_P$  de restricción de cabeceo. La ECU 200 incluye una parte 308 de cálculo dependiente de función de transferencia como una parte funcional para calcular según la función de transferencia compuesta a cual se aporta la fuerza requerida de actuación y que se establece como la función recíproca de la función que es un producto de la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia. Una parte que ejecuta el procesamiento en S5-S9 del programa corresponde a la parte 308 de cálculo dependiente de función de transferencia. La parte de cálculo 308 dependiente de función de transferencia incluye una parte de cambio 310 de función de transferencia que ejecuta el procesamiento en S5-S8 del programa y que cambia la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia mediante el cambio del coeficiente de amortiguación del amortiguador dependiendo del sentido del movimiento relativo de la unidad de lado sin resorte y la parte si resorte. La ECU 200 incluye además una parte 312 de corrección dependiente de fuerza inercial que ejecuta el procesamiento en S10 del programa y que corrige, sobre la base de la fuerza inercial de la unidad de lado sin resorte con respecto al desplazamiento de la parte sin resorte, el valor de salida indicativo de la fuerza de actuador sacada desde la parte 308 de cálculo dependiente de función de transferencia, para determinar la fuerza de objetivo de actuador. La parte 314 de determinación de fuerza de objetivo de actuador se constituye incluyendo la parte 300 de determinación de fuerza requerida de actuación, la parte 308 de cálculo dependiente de función de transferencia y la parte 312 de corrección dependiente de fuerza inercial. La ECU 200 incluye además una parte 316 de control de cambio de altura que realiza el cambio de altura del vehículo mediante los resortes de aire 34.

En el presente sistema de suspensión 10, la fuerza de objetivo de actuador se determina sobre la base de: (a) la fuerza requerida de actuación que se requiere que actúe entre la parte con resorte y la parte sin resorte por parte del actuador 30 y el mecanismo de conexión 32; y (b) la fuerza inercial de la unidad de lado sin resorte con respecto al desplazamiento de la parte sin resorte, mientras se utiliza: la primera función de transferencia que es una función de transferencia por la que se saca la cantidad de desplazamiento de la unidad de lado sin resorte con respecto a la parte sin resorte cuando se aporta la fuerza de actuador; y la segunda función de transferencia que es una función de transferencia por la que se saca la fuerza requerida de actuación que es una fuerza que actúa realmente entre la parte con resorte y la parte sin resorte cuando se aporta la cantidad de desplazamiento. Por consiguiente, la disposición asegura una fuerza apropiada que actúa realmente en la parte con resorte y la parte sin resorte como resultado de la transmisión de la fuerza de actuador a través del mecanismo de conexión 32. En otras palabras, el sistema actual 10 evita el deterioro de la comodidad al conducir el vehículo, la capacidad de dirección y la estabilidad del vehículo, etc. que surge de la disposición en serie del mecanismo de conexión con respecto al actuador.

55 Realización modificada

En el sistema según la realización ilustrada, la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura de tal manera que la fuerza requerida de actuación se aporta en la función de transferencia compuesta  $G(s)$  establecida como la función recíproca de la función que es un producto de la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia, tal como se muestra en la Figura 7(a). La parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se puede configurar de tal manera que la fuerza de objetivo de actuador se calcula utilizando una función de transferencia compuesta  $H(s)$  como se muestra en la Figura 7(b). La función de transferencia compuesta  $H(s)$  es una función de transferencia que es aproximada a la función de transferencia  $G(s)$  en la realización ilustrada y se representa de la siguiente manera:

65

$$H(s) = G'(s) / \{1 + G'(s) \cdot A(s)\}$$

En la fórmula anterior, "G'(s)" y "A(s)" son funciones de transferencia representadas por las fórmulas siguientes, respectivamente:

5

$$G'(s) = P + I/s + D \cdot s$$

$$A(s) = (C \cdot s + k) / (m \cdot s^2 + C \cdot s + k)$$

En las fórmulas anteriores, "P", "I" y "D" son una ganancia proporcional, una ganancia integral y una ganancia diferencial, respectivamente, y se establecen en valores adecuados para ser aproximadas a la función de transferencia G(s) en la realización ilustrada. La función de transferencia G(s) en la realización ilustrada es una función lineal con respecto a "s", mientras que la función de transferencia A(s) en la realización modificada es una función que tiene un término "1/s". Por consiguiente, la función de transferencia A(s) en la realización modificada asegura un cálculo estable, en comparación con la función de transferencia G(s) en la realización ilustrada.

10

15



## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de suspensión para un vehículo, que comprende:

5 un actuador electromagnético (30) que incluye: una unidad de lado con resorte (42, 46, 48, 60) conectada a una parte con resorte (24), una unidad de lado sin resorte (44, 62, 94) que se conecta a una parte sin resorte (22) y que es movable respecto a la unidad de lado con resorte en asociación con un movimiento de la parte con resorte y la parte sin resorte acercándose y alejándose entre sí; y un motor electromagnético, el actuador se configura para generar, sobre la base de una fuerza del motor electromagnético (46), una fuerza de actuador que es una fuerza con respecto a un movimiento relativo de la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte;

10 un mecanismo de conexión (32) que incluye un resorte de soporte (96, 100) para permitir que una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte sea soportada por una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte a la que se conecta dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte, el mecanismo de conexión se configura para conectarse a dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte; y

15 un controlador (200) que incluye una parte (314) de determinación de fuerza de objetivo de actuador configurada para determinar, según una regla de control prescrita, una fuerza de objetivo de actuador que es la fuerza de actuador que se requiere que sea generada por el actuador, el controlador se configura para controlar la fuerza de actuador que va a ser generada por el actuador, sobre la base de la fuerza de objetivo de actuador,

**caracterizado porque**

25 la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para determinar la fuerza de objetivo de actuador sobre la base de: (a) una fuerza requerida de actuación que es una fuerza requerida para actuar entre la parte con resorte y la parte sin resorte por el actuador y el mecanismo de conexión; y (b) una fuerza inercial de dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte con respecto a un desplazamiento de dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte, utilizando al mismo tiempo:

30 una primera función de transferencia que es una función de transferencia por la que se saca una determinada cantidad de desplazamiento de dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte con respecto a dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte cuando se aporta la fuerza de actuador; y una segunda función de transferencia que es una función de transferencia por la que se saca una fuerza real de actuación que es una fuerza que actúa realmente entre la parte con resorte y la parte sin resorte cuando se aporta la cantidad de desplazamiento.

35 2. El sistema de suspensión según la reivindicación 1, en donde se establece una función de transferencia compuesta como una función recíproca que es el producto de la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia, y

40 en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para determinar la fuerza de objetivo de actuador sobre la base de: un valor de salida obtenido al aportar la fuerza requerida de actuación a la función de transferencia compuesta; y la fuerza inercial.

45 3. El sistema de suspensión según la reivindicación 2, en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para determinar la fuerza de objetivo de actuador según una relación entre el valor de salida obtenido al aportar la fuerza requerida de actuación a la función de transferencia compuesta y la fuerza inercial, la relación indica que la diferencia entre el valor de salida y la fuerza de objetivo de actuador corresponde a la fuerza inercial.

50 4. El sistema de suspensión según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde el mecanismo de conexión se configura para conectar: la unidad de lado sin resorte como dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte; y la parte sin resorte como dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte y se configura de tal manera que el resorte de soporte permite que la unidad de lado sin resorte sea soportada elásticamente por la parte sin resorte, y

55 en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para determinar la fuerza de objetivo de actuador sobre la base de la fuerza requerida de actuación y la fuerza inercial de la unidad de lado sin resorte con respecto al desplazamiento de la parte sin resorte, mientras que se utiliza: la primera función de transferencia por la que se saca una cantidad de desplazamiento de la unidad de lado sin resorte con respecto a la parte sin resorte cuando se aporta la fuerza de actuador; y la segunda función de transferencia por la que se saca la fuerza real de actuación que es una fuerza que actúa realmente entre la parte con resorte y la parte sin resorte cuando se aporta la cantidad de desplazamiento.

60

65 5. El sistema de suspensión según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde el mecanismo de conexión incluye un amortiguador (70) dispuesto en paralelo con el resorte de soporte y configurado para generar una fuerza de amortiguación con respecto a un movimiento relativo de dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la unidad de lado sin resorte y dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte.

6. El sistema de suspensión según la reivindicación (5), en donde la primera función de transferencia y la segunda función de transferencia se establecen sobre la base de un coeficiente de amortiguación del amortiguador.

5  
7. El sistema de suspensión según la reivindicación 6,  
en donde el amortiguador se configura de tal manera que el coeficiente de amortiguación del mismo se hace  
diferente dependiendo del sentido del movimiento relativo de dicha una de entre la unidad de lado con resorte y la  
unidad de lado sin resorte y dicha una de entre la parte con resorte y la parte sin resorte, y  
10 en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para cambiar la primera función  
de transferencia y la segunda función de transferencia que se van a utilizar, dependiendo del sentido del movimiento  
relativo.

15  
8. El sistema de suspensión según la reivindicación 7, que comprende además: un sensor (224) de cantidad e  
movimiento para detectar  
una cantidad del movimiento de la parte con resorte y la parte sin resorte al acercarse y alejarse entre sí; y un sensor  
de cantidad de funcionamiento de motor para detectar una cantidad de funcionamiento del motor electromagnético,  
en donde la parte de determinación de fuerza de objetivo de actuador se configura para estimar el sentido del  
movimiento relativo de dicha una de entre la unidad de lado sin resorte y la unidad de lado con resorte y dicha una  
20 de entre la parte con resorte y la parte sin resorte, sobre la base de un valor detectado por el sensor de cantidad de  
movimiento y un valor detectado por el sensor de cantidad de funcionamiento de motor.

FIG.1

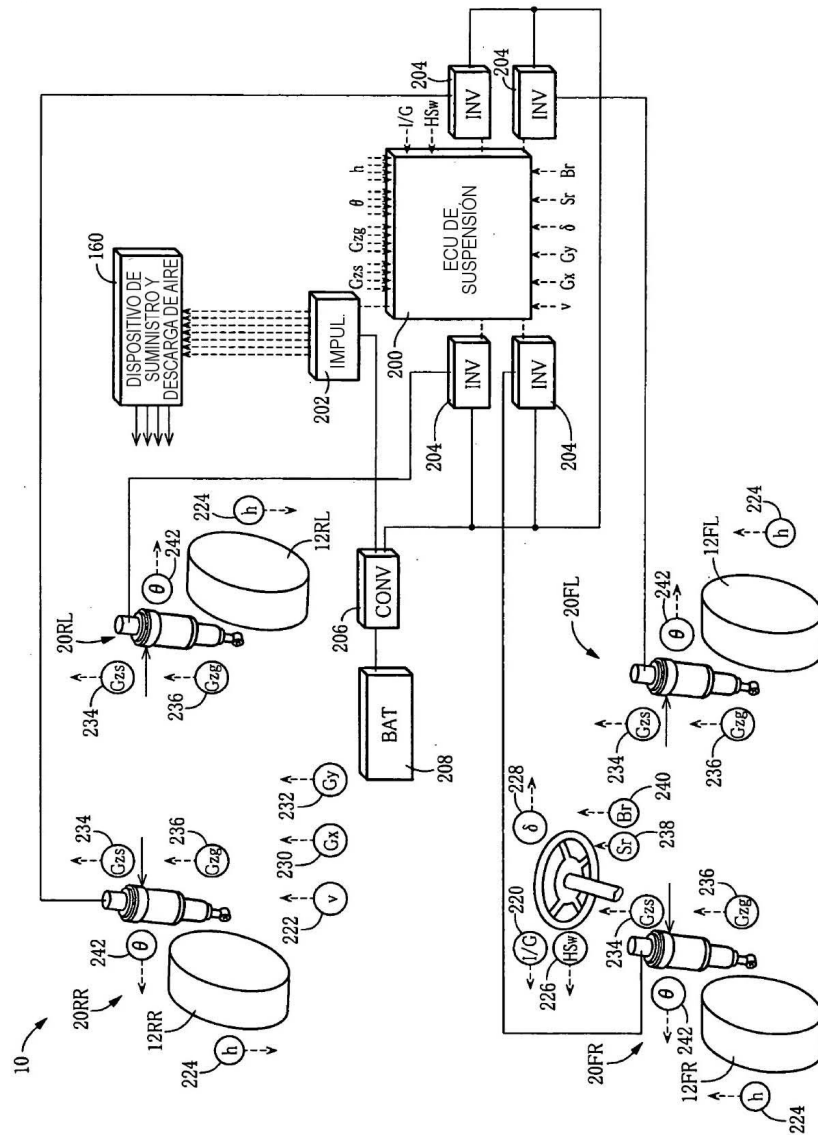


FIG.2

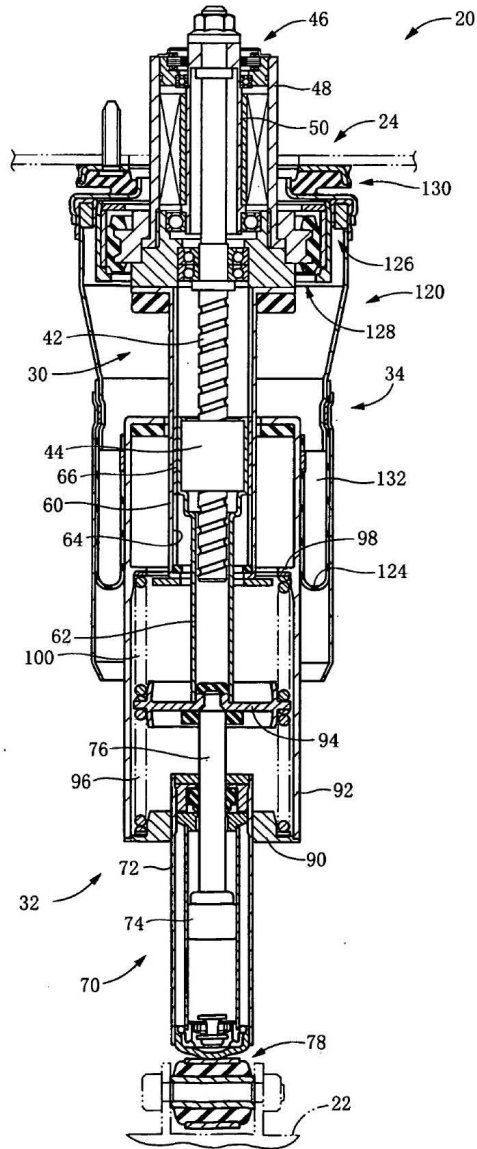


FIG.3

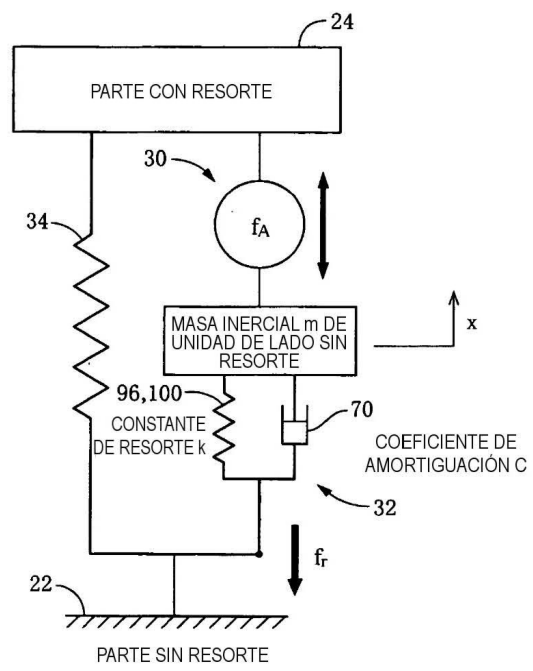


FIG.4

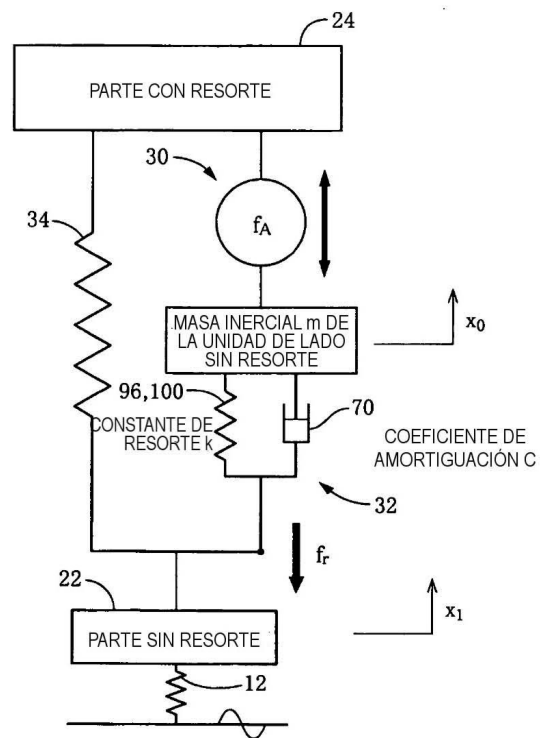


FIG.5

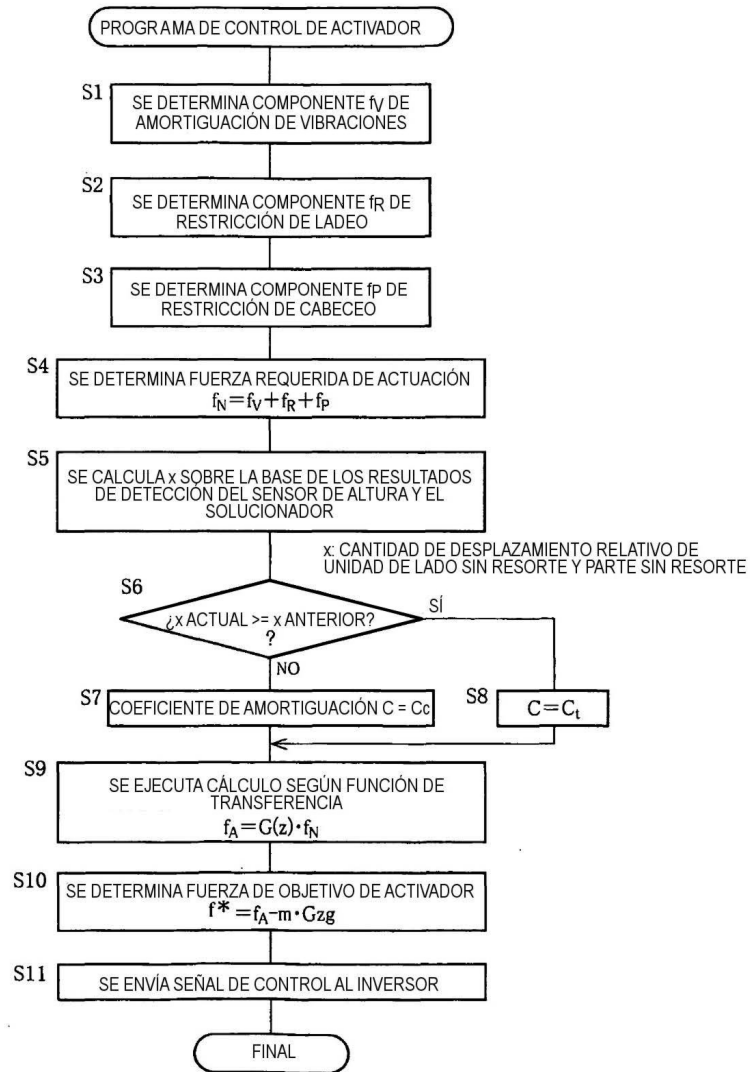


FIG.6

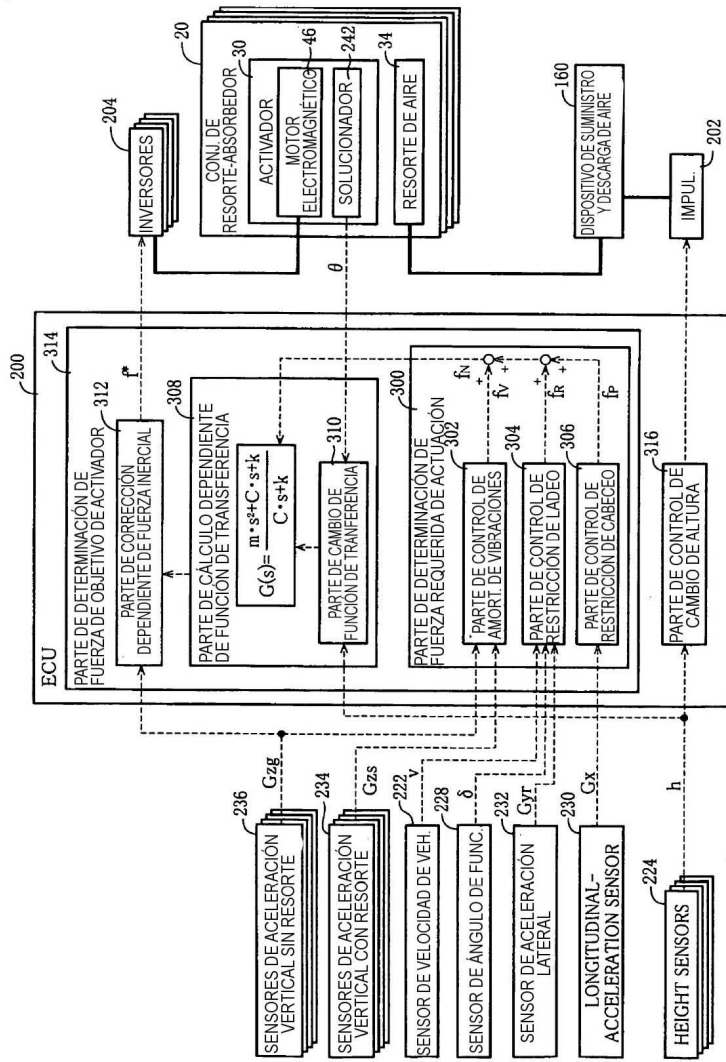




FIG.7

