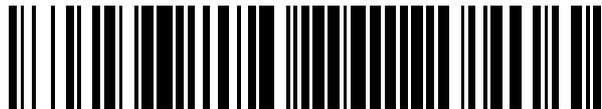


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 662 537**

51 Int. Cl.:

**G05B 19/404** (2006.01)

**G05B 19/19** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.11.2012 E 12191227 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018 EP 2624089**

54 Título: **Estructura de controlador para amortiguar vibraciones de baja frecuencia**

30 Prioridad:

**02.02.2012 DE 102012201562**

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

**06.04.2018**

73 Titular/es:

**DR. JOHANNES HEIDENHAIN GMBH (100.0%)  
Dr. Johannes-Heidenhain-Strasse 5  
83301 Traunreut, DE**

72 Inventor/es:

**KERNER, NORBERT**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 662 537 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).

**DESCRIPCION**

Estructura de controlador para amortiguar vibraciones de baja frecuencia

5 La invención se refiere a una estructura de controlador para amortiguar vibraciones de baja frecuencia en máquinas herramientas controladas numéricamente de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. Tales vibraciones influyen en una medida considerable en la calidad de la superficie de una pieza de trabajo procesada.

10 El control numérico de una máquina herramienta controla mecanización procesamiento de una pieza de trabajo con una ayuda de un programa de piezas, en el que está fijado el proceso de mecanización en los más diferentes ciclos de procesamiento. Una herramienta debe seguir en este caso de la manera más exacta posible una trayectoria predeterminada, para que la forma de la pieza de trabajo fabricada corresponda a las especificaciones. A tal fin, deben controlarse de manera correspondiente los diferentes ejes de la máquina herramienta con sus accionamientos rotatorios o lineales respectivos.

15 Para poder mantener una trayectoria de mecanización predeterminada, se emplean estructuras de controlador, que calculan en un controlador de la posición, a partir de la posición de referencia predeterminada y la posición real, respectivamente, de un eje de la máquina, la posición de referencia (para accionamientos lineales) o bien el número de revoluciones de referencia (para accionamientos rotatorios), con los que debe corregirse entonces, dado el caso, una desviación de la posición. La diferencia entre el número de revoluciones de referencia y el número de revoluciones real se convierte en un controlador del número de revoluciones en una corriente de referencia que - multiplicada por la constante del modo del accionamiento - corresponde también a un par motor de referencia del accionamiento. En un controlador de corriente se excita a partir de esta corriente de referencia, después de la comparación con la corriente real, una tensión de referencia, que se convierte en el amplificador del accionamiento y se aplica en las fases del motor. Sistemas de medición apropiados verifican la posición real de los accionamientos respectivos, a partir de la cual se puede derivar la velocidad real. Sensores de corriente en las líneas de alimentación hacia el motor detectan la corriente real.

30 La conexión entre accionamiento y herramienta nunca es completamente rígida, sino que contiene más bien componentes elásticos, es decir, aptos para vibraciones. Por lo tanto, aparecen resonancias mecánicas, que pueden conducir, en el caso de parametrización inadecuada de la estructura de controlador y/o de amortiguación propia reducida de los componentes de los componentes elásticos, a vibraciones no deseadas. A través del requerimiento de anchura de banda cada vez más alta de las estructuras de controlador, realizada sobre todo por factores de amplificación altos en el circuito controlador de la posición, se amplifican también tales frecuencias de resonancia de baja frecuencia y se superponen sobre la trayectoria de la herramienta. Las vibraciones de baja frecuencia en la zona de hasta aproximadamente 50 Hz son claramente más visibles que la ondulación superficial no deseada en la pieza de trabajo mecanizada.

40 En la formación de tales vibraciones de resonancia repercute de una manera especialmente negativa un giro de fases negativo, como aparece en particular a través de los retardador del recorrido de control en colaboración con la parte integral del controlador del número de revoluciones. A través de la reducción del factor de amplificación correspondiente se puede reducir la parte integral y de esta manera se puede debilitar la vibración de resonancia, pero al mismo tiempo se reducen también la rigidez de la máquina herramienta y la calidad de la corrección de las interferencias.

45 Por lo tanto, en el documento EP 1439437 B1 se describe una estructura de controlador para posicionar una carga por medio de un motor eléctrico, que presenta una instalación para la amortiguación activa de vibraciones de baja frecuencia no deseadas. La estructura de controlador presenta un controlador de la posición, que contrarresta las vibraciones de baja frecuencia no deseadas. De acuerdo con el ejemplo de realización de la figura 3 del documento EP 1439437 B1, a partir de una única señal de sensor, que contiene la vibración de interferencia, se forman una primera y una segunda señales de amortiguación de diferente posición de fases y se conmuta entre controlador de posición y controlador de velocidad para amortiguar activamente de esta manera las vibraciones de interferencia. Puesto que las señales de amortiguación de acuerdo con este estado de la técnica se obtienen a partir de las señales presentes en el circuito de regulación, no se pueden emplear sensores externos, que detectan, por ejemplo, vibraciones en la proximidad de la herramienta.

60 Se conoce a partir del documento US 6515442 B1 una estructura de controlador, en la que una señal de amortiguación formada a partir de dos señales de sensor es conmutada entre el controlador de velocidad y el controlador de corriente. En los sensores se trata de aparatos de medición de la posición, que pueden determinar tanto la posición del motor como también la posición del elemento móvil y, por lo tanto, también el giro mutuo de estos elementos, que puede conducir a un par motor restablecido y, por lo tanto, a vibraciones de interferencia. Sin embargo, el gasto para la obtención de una señal de amortiguación es alto.

El cometido de la invención es crear una estructura de controlador para posicionar una carga, que amortigua de una

manera todavía más efectiva las vibraciones de interferencia y en este caso se puede adaptar a diferentes casos de aplicación.

5 Este cometido se soluciona por medio de un dispositivo con las características de la reivindicación 1. Las formas de realización ventajosas se deducen a partir de las características, que se indican en las reivindicaciones dependientes de la reivindicación 1.

10 Se indica una estructura de controlador para posicionar una carga por medio de un motor eléctrico, que presenta una instalación para la amortiguación activa de vibraciones de baja frecuencia no deseadas. La estructura de controlador presenta un controlador de posición, al que se ha alimentado una desviación de una posición real de la carga con respecto a una posición de referencia y que emite una velocidad de referencia. La estructura de controlador presenta, además, un controlador de velocidad, al que se ha alimentado una desviación de una velocidad real de la carga con respecto a la velocidad de referencia y que emite una corriente de referencia, así como un controlador de corriente, al que se ha alimentado una desviación de una corriente real del motor con respecto a la corriente de referencia, y que emite una tensión de referencia para el funcionamiento del motor. El controlador de posición, el controlador de velocidad y el controlador de corriente forman juntos un circuito de regulación en cascada.

20 El circuito de regulación se conmutan señales de amortiguación, que contrarrestan vibraciones de baja frecuencia no deseadas, de manera que al menos una primera señal de amortiguación y una segunda señal de amortiguación de diferente posición de fases se derivan a partir de una única señal de sensor, y en el que la primera señal de amortiguación se conmuta entre el controlador de la posición y el controlador de velocidad, y la segunda señal de amortiguación está conmutada entre el controlador de velocidad y el controlador de corriente.

25 La estructura de controlador presentada aquí sólo necesita una única señal de sensor, que contiene la vibración a amortiguar y, por lo tanto, no está limitada a casos de aplicación en los que se emplean varios sensores. Así, por ejemplo, es suficiente un único sensor de posición en el motor o en la carta móvil. La parametrización de la instalación para la amortiguación activa se realiza de manera comparativamente sencilla, puesto que los parámetros individuales sólo se influyen entre sí en una medida insignificante. También la estructura de controlador es robusta contra modificaciones como, por ejemplo, masas modificadas, que pueden desplazar la frecuencia de la resonancia de interferencia.

35 Puesto que también los sensores de aceleración son adecuados como fuente para una señal de sensor para la derivación de las señales de amortiguación, se pueden detectar oscilaciones directamente o cerca del lugar de interés y se pueden amortiguar de esta manera, por lo tanto aproximadamente en el punto medio de la herramienta de una máquina herramienta, en la que deben evitarse las vibraciones. Tales sensores de aceleración se pueden instalar, en efecto, en oposición a los aparatos de medición de manera relativamente sencilla cerca de tales lugares.

40 Con la instalación presentada aquí para la amortiguación de la vibración se podrían amortiguar con mucho éxito vibraciones de torsión entre accionamiento y carga, pero también vibraciones de instalación de una máquina herramienta, así como vibraciones del punto medio de la herramienta. De esta manera se puede aplicar muy ampliamente la instalación para la amortiguación de vibraciones.

45 Otras ventajas así como detalles de la presente invención se deducen a partir de la descripción siguiente de una forma de realización preferida con la ayuda de las figuras. En este caso:

La figura 1 muestra un primer ejemplo de realización sencillo.

50 La figura 2 muestra un segundo ejemplo de realización con posibilidades adicionales para la parametrización.

La figura 3 muestra un tercer ejemplo de realización con un sensor de aceleración, desde el que se derivan las señales de amortiguación.

55 En la figura 1 se muestra en primer lugar una estructura de controlador convencional con un controlador de la posición 2, un controlador de la velocidad 3 y un controlador de corriente 4, para los que deben determinarse en cada caso valores de referencia  $x_{nom}$ ,  $v_{nom}$ ,  $i_{nom}$ . La posición de referencia  $x_{nom}$  se acondiciona, por ejemplo, a través de un control numérico de orden superior.

60 A partir de la diferencia de la posición de referencia  $x_{nom}$  y de la posición real  $x_{ist}$  se determina en el controlador de la posición 2 a través del miembro proporcional (miembro-P) 5.6 la velocidad de referencia  $v_{nom}$ . El miembro-P 5.6 es un amplificador sencillo, cuyo factor de amplificación  $K_v$  es parametrizable.

A partir de la diferencia de la velocidad de referencia  $v_{nom}$  y de la velocidad real  $v_{ist}$  se determina en el controlador de velocidad 3 a través de un miembro-proporcional-integral (miembro-PI) 6.1 el valor de referencia de la

corriente  $i_{nom}$ . El miembro-PI contiene de manera habitual un amplificador y un integrador, que amplifican de manera paralela entre sí la señal de entrada y la integran al mismo tiempo, de manera que las porciones respectivas se pueden parametrizar a través de factores de amplificación  $K_p$  y  $K_i$ .

5 A partir de la diferencia de la corriente de referencia  $i_{nom}$  y de la corriente real  $i_{ist}$  se calculan en el controlador de corriente 4 a través de otro miembro-PI tensiones de referencia, con cuya ayuda un amplificador de potencia no representado acciona el motor eléctrico M.

10 La posición del motor M se calcula en este caso con un codificador giratorio Enc1. La señal de posición del codificador giratoria Enc1 se deriva en el tiempo en un diferenciador (miembro-D) 7.2 y se alimenta como velocidad real  $v_{ist}$  al circuito de regulación.

15 Puesto que la carga no representada no está conectada rígidamente con el motor M, se mide la posición de la carga con un aparato de medición de la posición Enc2 separado. La señal de posición de este aparato de medición de la posición Enc2 es alimenta al circuito de regulación como posición real  $x_{ist}$ .

20 Especialmente la conexión no rígida entre motor y carga, que se indica en la figura 1 con un símbolo de muelle/amortiguación, conduce a vibraciones no deseada en el sistema general, en particular cuando a través del desarrollo temporal de la posición de referencia  $x_{nom}$  se excitan resonancias en todo el sistema.

25 Por lo tanto, durante la parametrización de tal estructura de controlador se puede ponderar si el controlador, gracias a factores de amplificación  $K_v$ ,  $K_p$ ,  $K_i$  grandes, debe reaccionar de manera especialmente rápida a desviaciones, de manera que el sistema tiende en este caso muchas veces a vibraciones, o si más bien factores de amplificación  $K_v$ ,  $K_p$ ,  $K_i$  reducidos deben evitar la excitación de vibraciones, de manera que el sistema corrige entonces sólo lentamente las desviaciones y de esta manera se desvía aún más de la posición de referencia  $x_{nom}$  predeterminada.

30 De acuerdo con la presente invención, una instalación 1 debe ayudar en este caso a amortiguar activamente vibraciones no deseada y de esta manera poder combinar las ventajas de factores de amplificación altos  $K_v$ ,  $K_p$ ,  $K_i$  con una inclinación, en cambio, reducida a vibraciones no deseadas.

35 A tal fin, se acondicionan en la instalación 1 señales de amortiguación v-FF y a-FF, que se forman sobre la base de una única señal de sensor. En este ejemplo de realización, se utiliza como única señal de sensor la posición real  $x_{ist}$ . Esta señal de sensor contiene cada vibración no deseada de la carga. De manera alternativa serían apropiadas también otras señales de sensor, aquí por ejemplo la posición del motor M, o la corriente real  $i_{ist}$  del motor.

40 En la instalación 1 se forma, como en el controlador de posición 2, en primer lugar la diferencia de la posición de referencia  $x_{nom}$  y la posición real  $x_{ist}$ , para separar las vibraciones no deseadas del movimiento deseado de la carga.

45 En una primera derivación para la formación de la primera señal de amortiguación v-FF se amplifica esta diferencia por medio de un primer miembro-P 5.1, se manera que se puede parametrizar el factor de amplificación  $k_1$  del miembro 5.1.

50 Con preferencia, la señal para la formación de la primera señal de amortiguación v-FF se pasa también a través de un filtro de pasabanda 8.1, que está ajustado a la frecuencia de vibración a amortiguar. Tales frecuencias de resonancia perturbadoras se encuentran típicamente en el intervalo entre 10 y 50 hertzios. Un efecto importante del filtro pasabanda 8.1 es en este caso que la instalación para frecuencias muy bajas (por ejemplo inferiores a 5 hertzios) no tiene ya repercusiones sobre el circuito de regulación. En lugar del filtro pasabanda 8.1 se podrían emplear también un paso alto, que corta las frecuencias bajas.

55 En una segunda derivación para la formación de la segunda señal de amortiguación a-FF se deriva temporalmente la diferencia de la posición de referencia y la posición real en un miembro-D 7.1, que se puede parametrizar de nuevo a través de un factor de amplificación  $K_d$ . Además, la señal para la formación de la segunda señal de amortiguación a-FF se pasa a través de un segundo miembro proporcional 5.2, de manera que el factor de amplificación  $k_2$  del segundo miembro-P 5.2 se puede parametrizar. La segunda señal de amortiguación a-FF se conmuta aditivamente entre el controlador de velocidad 3 y el controlador de corriente 4.

60 A través de la acción de desplazamiento de fases del miembro-D 7.1 en la segunda derivación, la primera la segunda señal de amortiguación v-FF o bien a-FF presentan diferentes posiciones de fases. Debido a la derivación temporal en el miembro-D 7.1, la fase de la vibración de interferencia se adelanta aproximadamente 90 grados frente a la vibración obtenida a través de la formación de la diferencia entre posición de referencia  $x_{nom}$  y posición real  $x_{ist}$ . Expresado de otra manera, la segunda señal de amortiguación a-FF adelante 90 grados a la primera señal de amortiguación v-FF.

Esta segunda señal de amortiguación a-FF, que se adelanta en 90 grados a la vibración de interferencia, se conecta aditivamente después del controlador de velocidad 3. Debido a la acción de desplazamiento de fases del integrador en el controlador de velocidad 3, que no desplaza la fase alrededor de +90 grados como un miembro-D, sino de manera ideal alrededor de -90 grados, aparece en el punto de conmutación de la segunda señal de amortiguación una extinción de la vibración de interferencia.

Otra acción importante del miembro-D 7.1 se basa en que se amortiguan más bien las frecuencias bajas y se amplifican las frecuencias altas. La requerimiento ya mencionado en conexión con el filtro pasabanda 8.1 de que la instalación 1 para frecuencias pequeñas no debe repercutir sobre el circuito de regulación, se cumple, por lo tanto, en la segunda derivación a través de la respuesta de frecuencia del miembro-D 7.1.

Hay que indicar que la acción de desplazamiento de fases del integrador en el controlador de velocidad 3 se supone aquí de manera idealizada con -90 grados. En realidad, incluso un controlador de velocidad 3 bien compensado provoca sólo un desplazamiento de fases en torno a -85 grados, un controlador de velocidad más compensado puede provocar, por ejemplo, también un desplazamiento de fases de sólo -45 grados. En el siguiente ejemplo de realización se publican, por lo tanto, medidas adicionales, con las que se puede conseguir a pesar de todo una buena amortiguación de vibraciones de interferencia, pudiendo adaptarse la instalación a las relaciones reales.

En la figura 2 se encuentran de nuevo todos los elementos de la estructura de controlador de la figura 1. Estos elementos están provistos con signos de referencia idénticos y no se describen aquí de nuevo, puesto que su función está inalterada. La estructura de controlador de este segundo ejemplo de realización está ampliada, sin embargo, con algunos elementos.

Así, por ejemplo, la segunda señal de amortiguación a-FF se pasa antes de la conmutación entre el controlador de velocidad 3 y el controlador de corriente 4 por un desplazador de fases 9 con un desplazamiento de fases +Phi parametrizable. Por ejemplo, se ha empleado un elemento diferencial con retardo de primer orden (miembro - DT1) con éxito como desplazador de fases 9. Así, por ejemplo, es posible adaptar la posición de las fases de la segunda señal de conmutación a-FF de una manera óptima a la posición de las fases, determinada esencialmente a través del integrador en el controlador de velocidad 3, de la vibración de interferencia presente en la salida del controlador de velocidad, y conseguir la mejor extinción o bien amortiguación posible.

En la figura 2 se reconoce, además, un tercer miembro-P 5.3 parametrizable a través de un tercer factor de amplificación k3, a través del cual se suma una porción, tomada después del miembro-D 7.1, de la segunda señal de amortiguación a-FF a la salida del primer miembro-P 5.1. De esta manera se puede mezclar con la primera señal de amortiguación v-FF una porción parametrizable de la segunda señal de amortiguación a-FF. De este modo se obtiene un grado de libertad adicional en la parametrización de toda la estructura de controlador.

De la misma manera se reconoce en la figura 2 un cuarto miembro-P 5.4 parametrizable a través de un cuarto factor de amplificación k4, a través del cual se suma una porción, tomada después del filtro de pasabanda 8.1, de la primera señal de amortiguación v-FF a la salida del segundo miembro 5.2. De esta manera, se puede mezclar con la segunda señal de amortiguación a-FF una porción parametrizable de la primera señal de amortiguación v-FF. También de esta manera se obtienen grados de libertad adicionales en la parametrización de la estructura de controlador.

Si se selecciona en el segundo ejemplo de realización el desplazamiento de fases del desplazador de fases 9  $\Phi = 0$  y los factores de amplificación del tercero y del cuarto miembro-P  $k_3 = 0$  y  $k_4 = 0$ , entonces se obtiene el primer ejemplo de realización de la figura 1, puesto que los elementos, en los que se ha ampliado el primer ejemplo de realización, están entonces inactivos.

Si se seleccionan sólo uno o dos de los tres parámetros +Phi, k3 o k4 diferentes de cero, entonces resultan otros ejemplos de realización, en los que de los tres elementos adicionales desplazador de fase 9 o bien tercero y cuarto miembro-P 5.3, 5.4, sólo están presentes aquéllos cuyos parámetros son diferentes de cero. Estos ejemplos de realización no se representan aquí separados en figuras.

Un tercer ejemplo de realización se muestra en la figura 3. Aquí un sensor de aceleración Acc sirve como fuente para la señal de sensor, a partir de la cual la instalación 1 forma señales de amortiguación v-FF, a-FF y aquí adicionalmente x-FF. La aceleración  $a_{ist}$  calculada por el sensor de aceleración Acc de la carga se integra dos veces después de la retirada de la porción igual por medio de un filtro 10 en dos miembros integradores 11.1, 11.2, para poder deducir de esta manera una modificación de la posición.

La porción igual del valor de posición formado por medio de integración doble es, en efecto, indefinida, pero puesto que aquí sólo interesan vibraciones de interferencia, se puede eliminar por filtración esta porción igual. Esto se realiza en el presente ejemplo de realización conduciendo la diferencia de la posición de referencia x-nom y la aceleración  $a_{ist}$  integrada dos veces en primer lugar a través de un filtro pasabanda 8.2, antes de que sea dividida la

señal liberada de la porción igual en tres derivaciones para la formación de las señales de amortiguación v-FF, a-FF y x-FF individuales.

5 La medida de disponer el filtro pasabanda 8.2 ya antes de la división en las diferentes derivaciones (y no como en las figuras 1 y 2 en la primera derivación) tiene, además, la ventaja de que en el miembro-D 7.1 de la segunda derivación no llegan frecuencias muy altas. De esta manera se reduce el ruido de este miembro-D.

10 La primera derivación forma de nuevo la primera señal de amortiguación v-FF y corresponde esencialmente a la primera derivación del ejemplo de realización anterior. Solamente el filtro pasabanda 8.1 falta en esta derivación, puesto que la señal para la formación de la primera señal de amortiguación v-FF ya ha pasado, en efecto, a través del filtro pasabanda 8.2.

15 La segunda derivación para la formación de la segunda señal de amortiguación a-FF corresponde totalmente a la segunda derivación del ejemplo de realización anterior.

20 En la figura 3 se reconoce que desde la salida del segundo filtro pasabanda 8.2 se deriva una tercera derivación para la formación de una tercera señal de amortiguación x-FF, que se conecta a través de un quinto miembro proporcional 5.5 con un factor de amplificación  $k_5$  parametrizable a la entrada del regulador de posición 2. La conexión de la tercera señal de amortiguación x-FF impide que el controlador de posición 2 contrarreste el efecto de amortiguación, que se alcanza a través de la conexión de las señales de amortiguación v-FF y a-FF.

25 Las estructuras de controlador de los ejemplos de realización anteriores han sido publicadas en un tipo de representación general, habitual en la técnica de regulación. Se pueden implementar de diferentes maneras. En este caso, se puede distinguir, en general, entre circuitos de regulación analógicos, que están constituidos, por ejemplo, con la ayuda de amplificadores de operación, y una implementación digital, en la que se representa una estructura de controlador en software. Un técnico en el campo de la técnica de regulador seleccionará fácilmente la mejora posibilidad de implementación para su aplicación y podrá aplicar las enseñanzas de la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Estructura de controlador para posicionar una carga por medio de un motor eléctrico (M), con una instalación para la amortiguación activa de vibraciones de baja frecuencia no deseadas,
- 5 - con un controlador de la posición (2), al que se alimenta una desviación de una posición real ( $x_{ist}$ ) de la carga respecto de una posición de referencia ( $x_{nom}$ ), y que emite una velocidad de referencia ( $v_{nom}$ ),
- con un controlador de velocidad (3), al que se alimenta una desviación de una velocidad real ( $v_{ist}$ ) de la carga respecto de la velocidad de referencia ( $v_{nom}$ ),
- 10 - así como con un controlador de corriente (4), al que se alimenta una desviación de una corriente real ( $i_{ist}$ ) del motor (M) respecto de la corriente de referencia ( $i_{nom}$ ), y que emite una tensión de referencia para el funcionamiento del motor (M),
- en el que en el circuito de control se conectan señales de amortiguación (v-FF, a-FF), que contrarrestan vibraciones de baja frecuencia no deseadas, **caracterizado** porque
- 15 - se derivan al menos una primera y una segunda señal de amortiguación (v-FF, a-FF) de diferente posición de fase a partir de una única señal de sensor ( $x_{ist}$ , a-ist),
- porque la primera señal de amortiguación (v-FF) está conmutada entre el controlador de la posición (2) y el controlador de velocidad (3), y porque la segunda señal de amortiguación (a-FF) está conmutada entre el controlador de velocidad (3) y el controlador de corriente (4).
- 20 2.- Estructura de controlador de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** porque la señal de sensor es un valor proporcional a la posición real ( $x_{ist}$ ) de la carga móvil, y porque este valor se resta de la posición de referencia ( $x_{nom}$ ) para formar a partir de esta diferencia las señales de amortiguación (v-FF, a-FF).
- 25 3.- Estructura de controlador de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada** porque la señal de sensor es un valor proporcional a la aceleración ( $a_{ist}$ ) de la carga móvil.
- 4.- Estructura de controlador de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizada** porque la señal de sensor ( $a_{ist}$ ) recorre dos miembros de integración (11.1, 11.2) y se resta entonces de la posición de referencia ( $x_{nom}$ ), para formar a partir de esta diferencia las señales de amortiguación (v-FF, a-FF).
- 30 5.- Estructura de controlador de acuerdo con la reivindicación 2 ó 4, **caracterizada** porque para la formación de la primera señal de amortiguación (v-FF) se conduce la diferencia a través de al menos un primer miembro proporcional (5.1) con un primer factor de amplificación ( $k_1$ ) parametrizable.
- 35 6.- Estructura de controlador de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizada** porque la primera señal de amortiguación (v-FF) pasa, además, a través de un filtro pasabanda (8.1), que está ajustado a la frecuencia de vibración a amortiguar.
- 40 7.- Estructura de controlador de acuerdo con la reivindicación 2 ó 4, **caracterizada** porque para la formación de la segunda señal de amortiguación (a-FF) se pasa la diferencia a través de un miembro diferenciador (7.1) y a través de un segundo miembro proporcional (5.2) con un segundo factor de amplificación ( $k_2$ ) parametrizable.
- 45 8.- Estructura de controlador de acuerdo con las reivindicaciones 5 y 7, **caracterizada** porque para la formación de la primera señal de amortiguación (v-FF) se añade una porción, tomada después del miembro diferenciador (7), de la segunda señal de amortiguación (a-FF) a través de un tercer miembro proporcional (5.3) con un tercer factor de amplificación ( $k_3$ ) parametrizable a la salida del primer miembro proporcional (5.1).
- 50 9.- Estructura de controlador de acuerdo con las reivindicaciones 5 y 7, **caracterizada** porque para la formación de la segunda señal de amortiguación (a-FF) se añade una porción, tomada delante del primer miembro proporcional (5.1), de la primera señal de amortiguación (v-FF) a través de un cuarto miembro proporcional (5.4) con un cuarto factor de amplificación ( $k_4$ ) parametrizable a la salida del segundo miembro proporcional (5.2).
- 55 10.- Estructura de controlador de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque la segunda señal de amortiguación (a-FF) se pasa antes de la conexión entre el controlador de velocidad (3) y el controlador de la corriente (4) a través de un desplazador de fases (9) con un desplazamiento de fases (+Phi) parametrizable.
- 60 11.- Estructura de controlador de acuerdo con la reivindicación 2 ó 4, **caracterizada** porque la diferencia se pasa en primer lugar a través de un segundo filtro pasabanda (8.2), desde cuya señal de salida se derivan las señales de amortiguación (v-FF, a-FF, x-FF).
- 12.- Estructura de controlador de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizada** porque a partir de la salida del segundo filtro pasabanda (8.2) se deriva una tercera señal de amortiguación (x-FF), que se conecta a través de un quinto miembro proporcional (5.5) con un factor de amplificación ( $k_5$ ) parametrizable a la entrada del controlador de

la posición (2).

Fig. 1

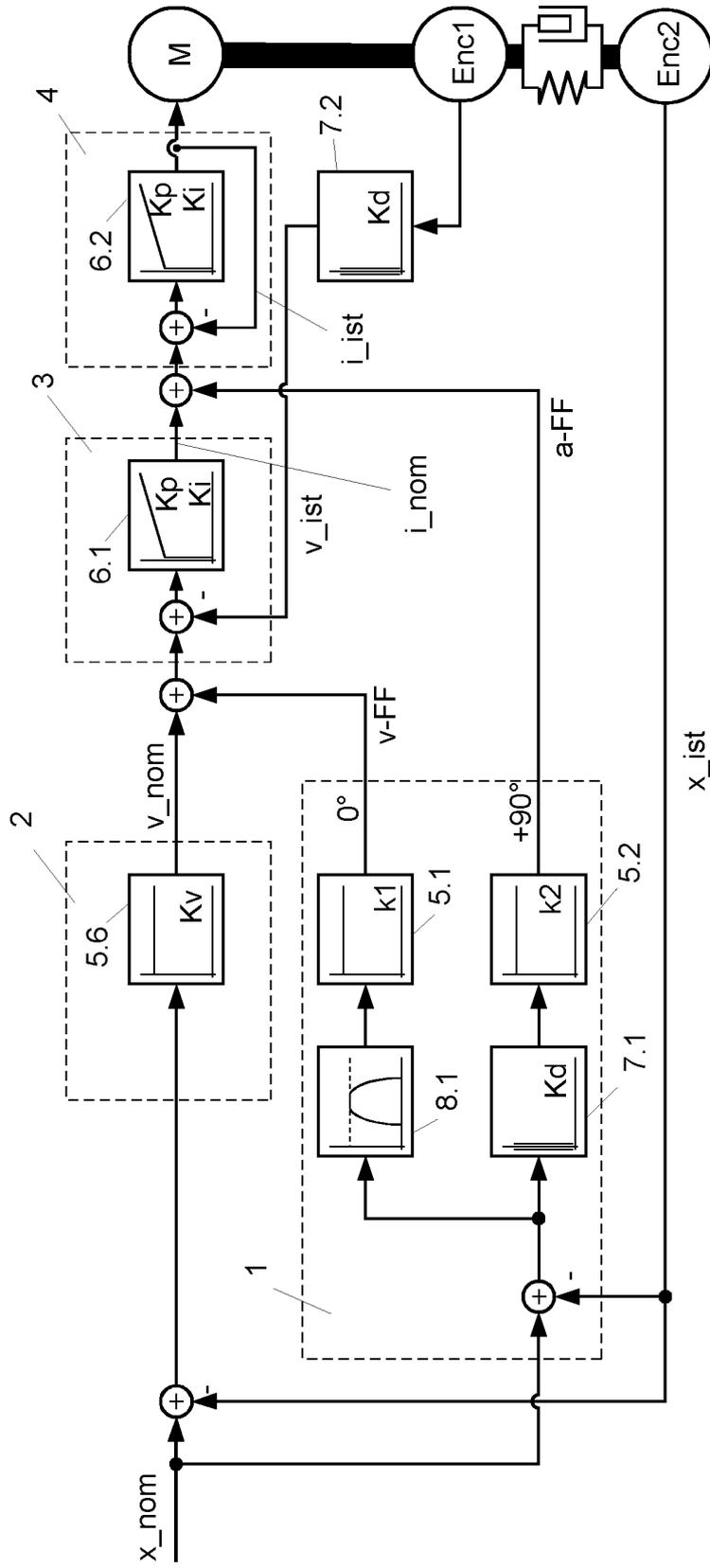
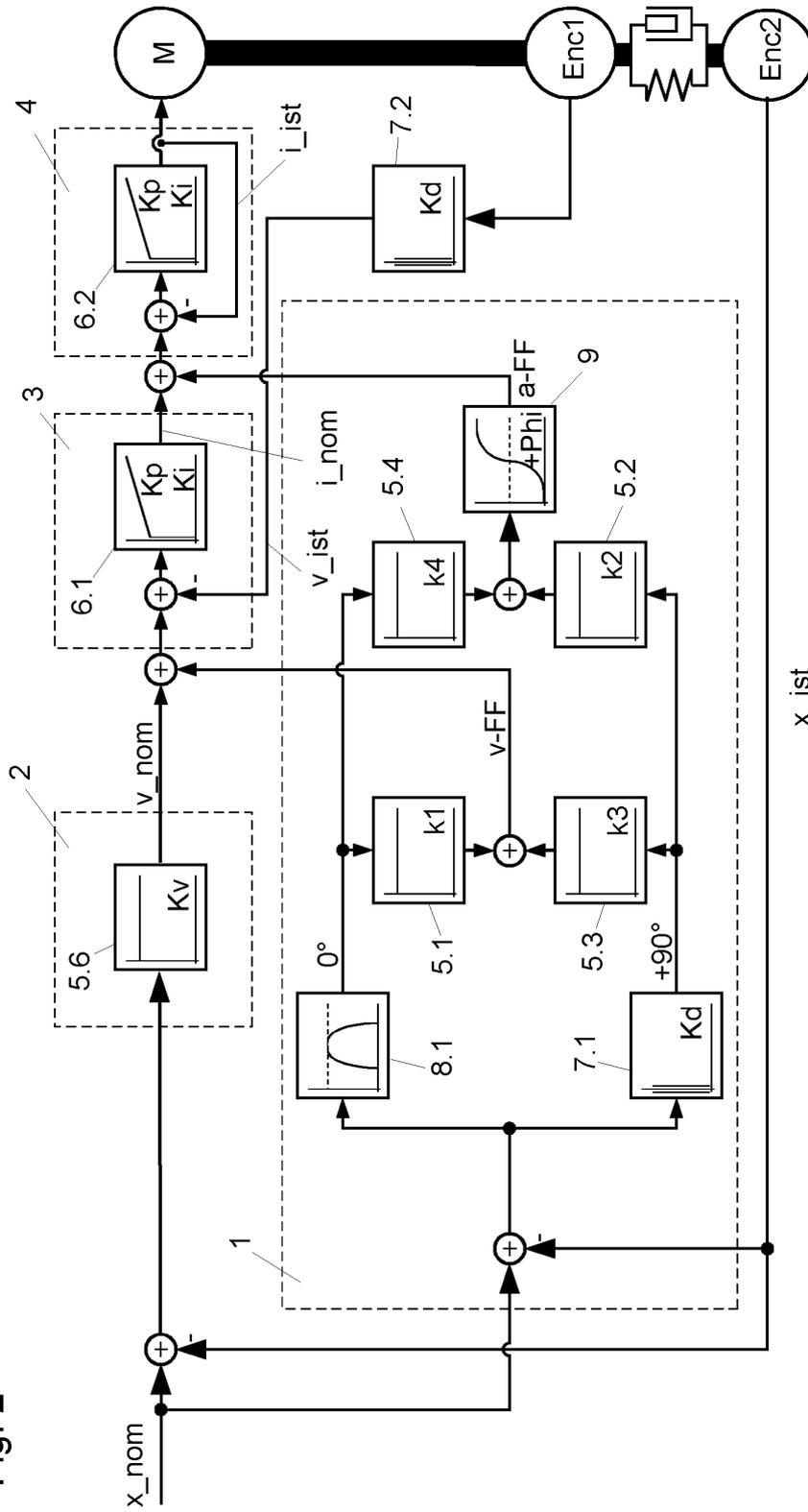


Fig. 2



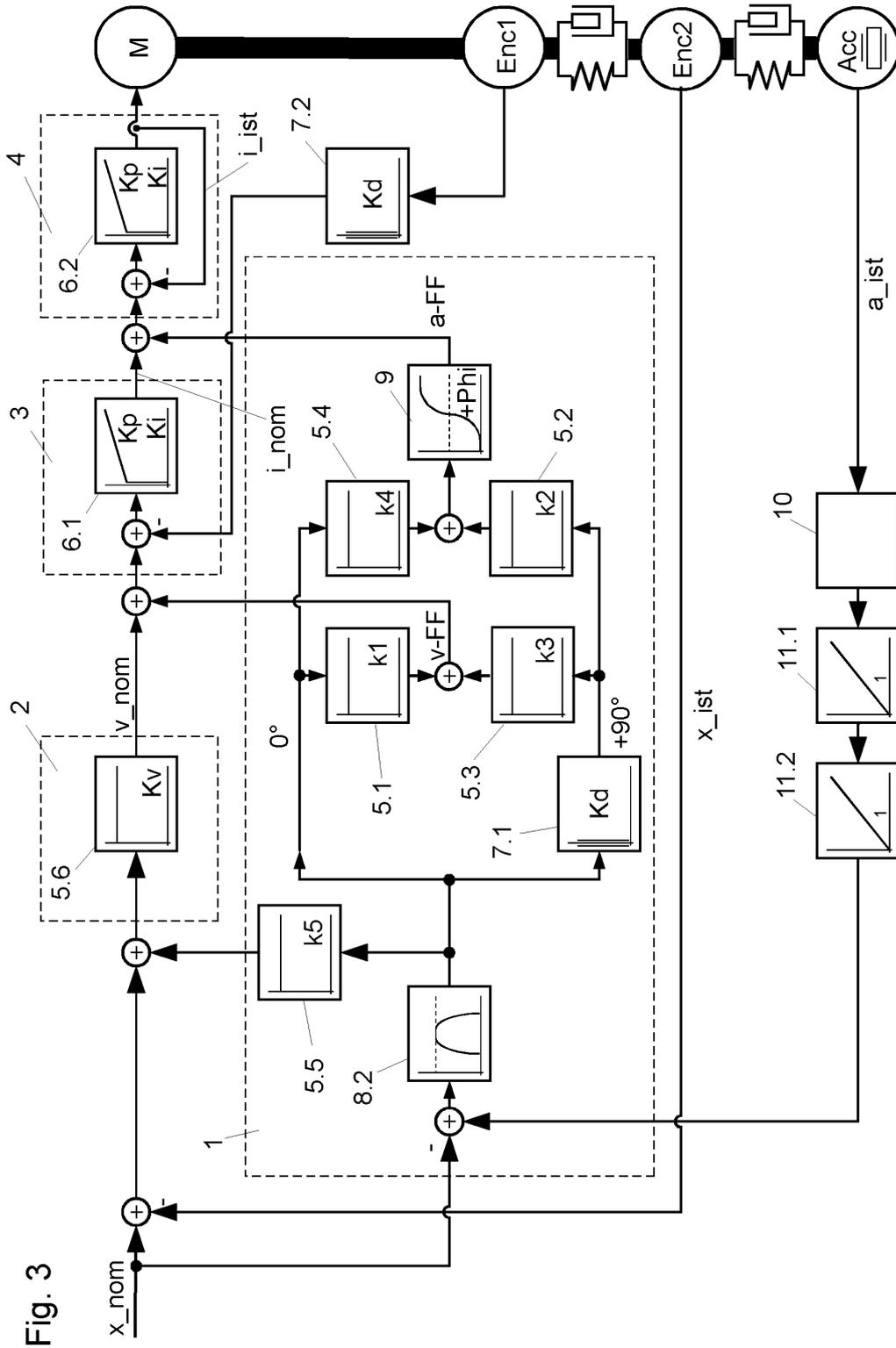


Fig. 3