

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 520 466**

51 Int. Cl.:

B23Q 11/00 (2006.01)

B23Q 17/09 (2006.01)

F16F 7/10 (2006.01)

F16F 15/03 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.09.2012** **E 12380046 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.09.2014** **EP 2708316**

54 Título: **Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.11.2014

73 Titular/es:

IDEKO, S. COOP (100.0%)
Polígono Industrial de Arriaga, 2
20870 Elgoibar, Gipuzkoa, ES

72 Inventor/es:

MUÑO A GOROSTIDI, JOKIN;
AGUIRRE REJADO, GORKA y
GOROSTIAGA ALTUNA, MIKEL

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 520 466 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

Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta

5 Sector de la técnica

10 La presente invención está relacionada con la supresión o atenuación de las vibraciones producidas en las máquinas herramientas durante los procesos de mecanizado, tales como por ejemplo torneado, fresado, taladrado o rectificado, proponiendo para ello un amortiguador inercial sintonizable que se acopla a la máquina herramienta para modificar la dinámica de uno de sus concretos modos de vibración.

Estado de la técnica

15 Uno de los principales problemas relacionados con los procesos de mecanizado, como torneado, fresado, taladrado y rectificado, es el fenómeno conocido como "chatter" regenerativo.

20 El "chatter" regenerativo es una vibración autoexcitada propia de los procesos de corte en donde el filo de la herramienta debe pasar por una superficie que ha sido previamente mecanizada. Cuando la herramienta entra a mecanizar una zona de la pieza no deja una superficie lisa, sino que se crea una superficie con ondulaciones debido a la vibración de la máquina. Así, cuando se mecaniza sobre una zona previamente mecanizada, la herramienta se encuentra con una superficie variable generada en la pasada anterior, que afecta al espesor teórico de viruta. Este espesor también se ve alterado por la vibración que sufre la herramienta en el instante del corte. Por lo tanto, la vibración que tiene en el instante actual y la que ha tenido la máquina en el anterior periodo, afectan al espesor teórico de la viruta, y con ello, a la fuerza de corte, ya que esta es proporcional al espesor de viruta. Se genera un bucle en el que la fuerza de corte es función de la vibración actual y anterior de la máquina. Para ciertas condiciones de corte, este bucle hace aumentar la amplitud de la vibración y la fuerza de corte de forma inestable, generando grandes vibraciones, denominadas 'chatter', que afectan en general a la máquina, a la pieza y a la herramienta.

30 Para suprimir las vibraciones no deseadas en las operaciones de mecanizado y, especialmente, para la supresión del "chatter", se emplean amortiguadores inerciales, los cuales son absorbedores dinámicos formados por una masa móvil que está suspendida de la estructura a amortiguar, por medio de un elemento elástico que proporciona rigidez y capacidad de disipar energía, de manera que la masa móvil dispuesta en el interior del amortiguador vibra transmitiendo a la máquina una fuerza inercial que reduce la amplitud de las vibraciones mecánicas producidas en la máquina herramienta. No obstante, es sabido que, para funcionar eficazmente, los amortiguadores de vibraciones deben sintonizar con precisión su rigidez y amortiguación en relación a la frecuencia natural de la estructura a amortiguar.

40 Existen diferentes tipos de amortiguadores para eliminar las vibraciones producidas en las máquinas herramientas durante el mecanizado, distinguiéndose los amortiguadores pasivos, los amortiguadores semi-activos y los amortiguadores activos. Los amortiguadores pasivos presentan una rigidez y una amortiguación fijas, las cuales no se pueden variar durante el proceso de mecanizado, por lo que su rendimiento se ve disminuido en caso de que la frecuencia de vibración de la estructura a amortiguar varíe durante dicho proceso de mecanizado debido a variaciones en la posición de corte, o reducciones de masa relacionados con el proceso de corte.

45 Los amortiguadores semi-activos presentan una rigidez y una amortiguación controlada, debiéndose sintonizar el amortiguador en la cercanía de la frecuencia de vibración de la estructura a amortiguar. En este caso la adaptación se realiza manualmente por parte del operario, antes de proceder al mecanizado.

50 Los amortiguadores activos sustituyen el principio de funcionamiento de rigidez y amortiguación, por un actuador controlado que permite generar fuerzas arbitrarias en cualquier instante, consiguiendo de esta manera optimizar la disipación de energía. Estos amortiguadores activos son, por lo tanto, más efectivos que los amortiguadores pasivos y semi-activos pero, sin embargo, su solución es más cara, compleja y menos robusta.

55 Se hace por tanto necesario un amortiguador inercial sintonizable que pueda adaptar automáticamente y de forma continua su rigidez y amortiguación durante el proceso de mecanizado, detectando también durante el proceso si se está produciendo "chatter" y la frecuencia óptima de sintonía, para así garantizar en todo momento un funcionamiento óptimo. US-20007/0051576 da a conocer un amortiguador inercial de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

60 Objeto de la invención

65 De acuerdo con la presente invención se propone un amortiguador inercial sintonizable para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, que permite controlar de forma independiente la rigidez y la amortiguación, para adaptarse a la frecuencia de vibración de la estructura a amortiguar, durante el proceso de mecanizado, de manera que se consiguen mecanizados de alta precisión tanto en dimensiones como en acabado superficial. El

objetivo principal es mejorar la productividad, ya que al aumentar la estabilidad del proceso de corte se permiten mayores profundidades de pasada, y por lo tanto eliminar material más rápido. La mayor precisión es la segunda ventaja.

La presente invención permite ajustar independientemente tanto la rigidez como el amortiguamiento del amortiguador pasivo, gracias a un elemento elástico de rigidez ajustable y a la utilización de corrientes inducidas (eddy currents). La invención es definida en la reivindicación 1.

El amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, según la invención, comprende una carcasa externa que se fija a la estructura de la máquina herramienta a amortiguar, disponiéndose en el interior de dicha carcasa externa una masa inercial suspendida, la cual debe ser sintonizada en base a la frecuencia de vibración de la estructura de la máquina herramienta a amortiguar.

En el interior de la masa inercial se dispone un elemento elástico de rigidez ajustable que es accionado en giro por un motor asociado a un encoder, controlándose la rigidez de la masa inercial mediante la variación de la posición angular del eje del motor que acciona en giro al elemento elástico. Asociada a la masa inercial se disponen unos pares de imanes que generan un campo magnético variable en el espacio. En el hueco disponible entre los pares de imanes se disponen unas placas conductoras de electricidad, fijadas a la carcasa externa y sin contacto mecánico con los imanes. El movimiento relativo entre el campo magnético generado por los imanes y las placas conductoras, genera una fuerza de frenado o amortiguación debida a las pérdidas asociadas a las corrientes eléctricas que se inducen (eddy currents). Asimismo, un primer acelerómetro se dispone acoplado a la masa inercial y un segundo acelerómetro se dispone acoplado a la carcasa externa que va fija a la estructura a amortiguar.

En una posible realización práctica, para la variación de la rigidez se ha previsto que el elemento elástico de rigidez ajustable que va dispuesto en el interior de la masa inercial sea un muelle que presente una configuración en forma de "H", con dos paredes transversales de diferente grosor. En otro posible ejemplo de realización, para la variación de la rigidez se ha previsto que el elemento elástico sea una viga en voladizo que mediante un husillo a bolas accionado por el motor varía la posición del punto de apoyo de la viga. En cualquier caso, el control independiente de la rigidez del amortiguador inercial se consigue variando la posición angular del eje del motor que acciona al elemento elástico, conociéndose en todo momento la posición angular del eje del motor por medio de las lecturas dadas por el encoder que va asociado al mismo.

Para controlar de manera independiente el amortiguamiento del amortiguador inercial, se han previsto dos posibles realizaciones: según un ejemplo de realización, los imanes asociados a la masa inercial presentan unos medios de desplazamiento para moverse transversalmente respecto de unas placas y variar así el campo magnético que se establece entre ellos; y según otro ejemplo de realización, cada imán está constituido por un conjunto de placas contiguas, estando el conjunto de placas formado por una primera placa de acero, una segunda placa de acero que incluye un bobinado eléctrico y una tercera placa imantada que se dispone paralela a la placa metálica, de manera que variando la corriente eléctrica que circula por el bobinado se consigue variar el campo magnético.

El dispositivo permite calcular durante el proceso de mecanizado los valores óptimos de rigidez y amortiguamiento, y ajustarlos con el motor y bobinados, asegurando una sintonía optima en todo momento. Este dispositivo tiene la capacidad de variar su sintonía a medida que las frecuencias naturales del sistema y las condiciones varían en el campo de trabajo.

Se pueden distinguir tres modos de trabajo, dependiendo si se utiliza un cálculo de masa modal equivalente y si se conoce la variación de los parámetros dinámicos a lo largo del campo de trabajo (modelo dinámico):

- Sintonía con cálculo de masa modal equivalente y con modelo dinámico desconocido: se comparan las señales de los dos acelerómetros, se obtiene la masa equivalente y la relación entre la masa equivalente y la masa móvil del amortiguador. Se usa la información del acelerómetro montado en la parte fija para detectar, de forma continua durante el proceso de mecanizado, la frecuencia principal a la que está vibrando la máquina, y también detectar si esta vibración corresponde a un caso de "chatter". Considerando que la frecuencia de "chatter" es igual a la frecuencia natural se obtienen los parámetros óptimos de rigidez y amortiguamiento del actuador teniendo en cuenta los parámetros óptimos de Den Hartog y Simms, y se realiza la sintonía.
- Sintonía sin cálculo de masa modal y con modelo dinámico desconocido: Se realiza la sintonía suponiendo simplemente que la frecuencia de sintonía tiene que coincidir con la frecuencia de "chatter".
- Sintonía off-line con modelo dinámico conocido: Por medio de un análisis dinámico previo de la máquina, se calcula la frecuencia óptima de sintonía del amortiguador en función de la posición de los ejes de la máquina. Durante el proceso de mecanizado se ajusta la rigidez y el amortiguamiento de la máquina de forma continua, dependiendo de la posición de los ejes de la máquina.

Otra característica innovadora de este amortiguador de la invención es la posibilidad de identificar de forma automática su propia rigidez y amortiguamiento. Durante el proceso de mecanizado, se procesa la vibración medida por los dos acelerómetros, y de la relación entre estas dos medidas se puede calcular la rigidez y amortiguamiento que une la masa inercial y la estructura. En un amortiguador semi-activo convencional, esta identificación se debe hacer fuera de la máquina, y requiere equipamiento específico.

Se obtiene así un amortiguador inercial sintonizable con una solución sencilla, de bajo coste y robusto, el cual por sus características constructivas y funcionales resulta de aplicación preferente para la función con la que está destinado, permitiendo la posibilidad de adaptarse de forma continua a los cambios en las condiciones de mecanizado, para así garantizar siempre un funcionamiento óptimo.

Descripción de las figuras

La figura 1 muestra una vista en perspectiva del amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, según el objeto de la invención.

La figura 2 muestra una perspectiva en sección horizontal del amortiguador inercial, en donde se observa la masa inercial dispuesta en el interior.

La figura 3 muestra una vista en sección vertical de un ejemplo de realización de los imanes del amortiguador inercial.

La figura 4 muestra otra vista en sección vertical de otro ejemplo de realización de los imanes del amortiguador inercial.

La figura 5 muestra una vista en alzado del amortiguador inercial.

La figura 6 muestra una vista de un ejemplo de realización del muelle de rigidez variable del amortiguador inercial.

La figura 7 muestra una vista esquemática de un posible ejemplo de realización del elemento elástico dispuesto en el interior de la masa inercial del amortiguador.

La figura 8 muestra una vista en perspectiva de diferentes zonas de una máquina herramienta en donde se puede disponer el amortiguador inercial.

La figura 9 muestra la reducción de flexibilidad que produce el amortiguador adecuadamente sintonizado sobre la función de respuesta en frecuencia del sistema original.

Descripción detallada de la invención

El principio fundamental de funcionamiento de un amortiguador inercial, es la sintonía entre el modo de vibración de la estructura que se pretende amortiguar y el modo de vibración del amortiguador, tanto en su forma modal como en la frecuencia.

En el sector de la máquina herramienta, para evitar el fenómeno de "chatter", se añade un amortiguador que, unido a la estructura de la máquina herramienta, modifique la dinámica de unos de sus concretos modos de vibración. Más concretamente se trata de amortiguar el modo de vibración que se autoexcita en el proceso de "chatter". Los modos de vibración son algo intrínseco a toda estructura. En ciertas condiciones de mecanizado, el proceso se vuelve inestable, produciéndose una vibración creciente e inadmisibles, asociada a un modo de vibración de la máquina. El chatter es un efecto derivado de la existencia de estos modos, que se presenta en ciertas condiciones de mecanizado. Para evitar esto, se debe añadir amortiguamiento, bien directamente a la estructura, lo cual es complicado, o bien de forma localizada al modo de vibración crítico. Para ello, se puede añadir un amortiguador inercial sintonizado de forma que añada amortiguamiento a ese modo concreto. El amortiguador debe ser capaz de auto sintonizarse durante el mecanizado para garantizar un comportamiento óptimo.

El amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, objeto de la invención, presenta una carcasa externa (1), que se dispone fijada a la estructura de la máquina herramienta que se pretende amortiguar. Dentro de dicha carcasa externa (1) se aloja una masa inercial (2) suspendida, cuya rigidez y amortiguación se pueden controlar de manera independiente, pudiendo así ajustarse la rigidez y la amortiguación de esa masa inercial (2) para sintonizar la frecuencia de vibración natural del amortiguador con la frecuencia del modo de vibración de la zona de la máquina herramienta que se pretende amortiguar.

En el interior de la masa inercial (2) se dispone un elemento elástico (3) de rigidez ajustable, que es accionado en giro por medio de un motor (4), yendo ese motor (4) asociado a un encoder (5) que permite controlar el giro del mismo. De esta manera, mediante el giro controlado del motor (4) se hace girar al elemento elástico (3) para dotar al amortiguador inercial de la rigidez requerida. En las figuras 2 y 6 se puede observar un ejemplo de realización, no

limitativo, del elemento elástico (3) de rigidez ajustable, tratándose en el caso representado en las figuras, de un muelle en forma de "H" con unas paredes transversales (3.1, 3.2) de diferente grosor, de modo que en función de la posición angular del eje del motor (4) que acciona dicho muelle se puede ajustar la rigidez de la masa inercial (2) y, por lo tanto, de todo el amortiguador.

El elemento elástico (3) de rigidez ajustable puede presentar otras configuraciones conocidas, como por ejemplo, tal y como se observa en la figura 7, dicho elemento elástico (3) situado en el interior de la masa inercial (2) está compuesto por una viga en voladizo (3.3) sobre la que desliza un carro (3.4). Mediante el giro controlado del eje del motor (4) se varía el punto de apoyo (3.5) del carro (3.4) a lo largo de la viga en voladizo (3.3), de manera que el apoyo variable del carro (3.4) sobre la viga en voladizo (3.3) permite ajustar la rigidez del amortiguador.

El desplazamiento del carro (3.4) a lo largo de la viga en voladizo (3.3) se llevaría a cabo mediante un husillo a bolas controlado por el giro del motor (4). En cualquier caso, en función de la posición angular del eje del motor (4), controlada por el encoder (5) del motor (4), se puede ajustar la rigidez del amortiguador.

El amortiguamiento de la masa inercial (2) y, por tanto, del amortiguador inercial, se consigue por medio de unas corrientes inducidas por un campo magnético ("eddy current"). Asociados a la masa inercial (2) se disponen además unos pares de imanes (6), situándose en el hueco entre cada par de imanes (6), pero sin contacto entre ellos, una placa (7) conductora que va fija a la carcasa externa (1), siendo dicha placa (7) conductora preferentemente de cobre. El requisito fundamental para esa placa es una baja resistencia eléctrica, para conseguir mayores corrientes y fuerzas. Así, entre cada par de imanes (6) se genera un campo magnético que, combinado con el movimiento relativo de estos imanes (6) respecto a la placa (7) conductora, aporta un amortiguamiento lineal al amortiguador inercial. De esta manera, la masa inercial (2) y los imanes (6) vibran en el interior de la carcasa externa (1), reduciendo con ello la amplitud de las vibraciones mecánicas producidas en la máquina herramienta por efecto del "chatter".

Se han previsto dos posibles formas de controlar el amortiguamiento generado por el campo magnético que se establece entre cada par de imanes (6). En el ejemplo de realización, mostrado en la figura 3, se ha previsto que los imanes (6) presenten unos medios de desplazamiento (8) para moverse transversalmente respecto de las placas (7) conductoras, de manera que variando la distancia de separación entre los imanes (6) se varía el campo magnético de amortiguación y, por tanto, la amortiguación. Mientras que, en otro ejemplo de realización, mostrado en la figura 4, el campo magnético establecido entre cada par de imanes (6) puede variarse empleando un conjunto de placas, así cada imán (6) está constituido por una primera placa de acero (6.1), una segunda placa de acero que incluye un bobinado (6.2) y una tercera placa imantada (6.3), siendo la tercera placa imantada (6.3) la que más próxima está a la placa (7) conductora y la primera placa de acero (6.1) la que se encuentra más alejada de la placa (7) conductora.

Con el propósito de poder identificar la frecuencia a amortiguar, durante el proceso de mecanizado, se ha previsto disponer dos acelerómetros (9, 10), que van integrados en el propio amortiguador. El primer acelerómetro (9) se dispone acoplado a la masa inercial (2), mientras que el segundo acelerómetro (10) va acoplado a la carcasa externa (1) que se encuentra fija a la estructura de la máquina herramienta. De este modo, el acelerómetro (9) mide la vibración que se está produciendo en la masa inercial (2) y el acelerómetro (10) mide la vibración que está teniendo la máquina herramienta.

El empleo de los dos acelerómetros (9, 10) permite añadir dos funciones al amortiguador, que se ejecutan de forma continua durante el proceso de mecanizado, relacionadas con la identificación de las características dinámicas del propio amortiguador y con el cálculo de la frecuencia óptima de sintonía del amortiguador.

La identificación de las características dinámicas del amortiguador (variables con la posición del motor y con el campo magnético), y en concreto de la rigidez de la unión entre la masa inercial y la estructura, y del amortiguamiento generado por las corrientes parásitas, se puede realizar de dos formas.

En un primer caso ya conocido, previo al proceso de mecanizado se identifican estos parámetros para diferentes posiciones del motor (4) y valores del campo magnético, requiriendo equipos de medida específicos, y se interpola para obtener una relación directa entre ellos que permita el control de la rigidez y el amortiguamiento durante el proceso de mecanizado.

En un segundo caso, se propone realizar esta identificación de forma continua durante el proceso de mecanizado, mediante el procesamiento de la información recibida de los dos acelerómetros (9, 10), de cuya relación se puede calcular la rigidez y amortiguamiento del amortiguador en cada momento, evitando el uso de equipos añadidos.

La identificación de la frecuencia óptima de sintonía, y el ajuste del amortiguador a ella, se puede realizar de forma continua durante el proceso de mecanizado de las siguientes maneras alternativas:

La señal del acelerómetro (10) instalado en la estructura del amortiguador puede ser procesada para detectar de forma continua durante el mecanizado la frecuencia principal de vibración de la máquina. En caso de que esta

frecuencia no sea múltiplo entero de la frecuencia de paso de la herramienta, se considera que se está produciendo "chatter", y se procede a ajustar la frecuencia del amortiguador a esta frecuencia principal de vibración. En caso de que la frecuencia detectada sea múltiplo de la frecuencia de paso de la herramienta, se considera que no hay "chatter", y por lo tanto no se modifica el amortiguador. Este proceso de ajuste se realiza de manera continua durante el mecanizado.

La señal de los dos acelerómetros (9, 10) del amortiguador se puede procesar para obtener la masa modal asociada al modo principal de vibración de la máquina. Esta masa modal, junto con los parámetros dinámicos del amortiguador, ya conocidos, y la frecuencia de vibración de "chatter", detectada del mismo modo que en el caso anterior, permiten calcular la frecuencia óptima de sintonización del amortiguador, a la que se ajustará éste variando su rigidez por medio del motor (4).

La frecuencia óptima de sintonía del amortiguador se calcula habitualmente por medio de análisis dinámicos de máquina y proceso, previamente al proceso de mecanizado. Siendo la frecuencia óptima en general variable con la posición de los ejes de la máquina, se puede calcular dicha frecuencia en diferentes posiciones de dichos ejes. El amortiguador presentado aquí puede detectar de forma continua la posición de los ejes de la máquina, adaptando la rigidez y el amortiguamiento interpolando entre los puntos de sintonía óptima identificados en el análisis dinámico previo.

Como se puede observar en las figuras 1, 3 y 5, la masa inercial (2), se encuentra guiada en el interior de la carcasa externa (1) por medio de unos flexos (11), los cuales están unidos mediante respectivos anclajes (12) a la carcasa externa (1) del amortiguador inercial. Estos flexos (11) tienen la función principal de guiar la masa inercial (2), permitiendo su desplazamiento en la dirección principal del amortiguador, y aportando rigidez en el resto de direcciones, asegurando así que se genere un único modo de vibración principal, siempre alineado con los imanes y la placa (7) conductora.

En la figura 8 se muestra un ejemplo de algunas de las posibles zonas de una máquina herramienta en donde puede ir dispuesto el amortiguador inercial. La máquina herramienta representada se trata de una fresadora, pudiendo disponerse el amortiguador inercial, por ejemplo, en el carnero (13) de la máquina, lo más próximo posible al cabezal de fresado (14), en la mesa (15) donde se dispone la pieza (16) a mecanizar, o en general donde la vibración de la máquina según el modo crítico tenga una mayor amplitud, ya que esto reduce la masa móvil necesaria.

La figura 9 muestra una grafica con diferentes curvas de reducción de flexibilidad que produce el amortiguador adecuadamente sintonizado sobre la función de respuesta en frecuencia del sistema original.

REIVINDICACIONES

- 1.- Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, comprendiendo una carcasa externa (1) que puede ser fijada a la estructura de la máquina herramienta a amortiguar, alojándose en el interior de dicha carcasa externa (1) una masa inercial (2) suspendida cuya rigidez y amortiguación se sintonizan en base a la frecuencia de vibración de la estructura de la máquina herramienta a amortiguar, disponiéndose asociados a la masa inercial (2) unos pares de imanes (6), estando los imanes (6) de cada par separados entre sí por medio de una placa (7) conductora eléctrica que va fijada a la carcasa externa (1) y que no establece contacto mecánico con los imanes (6), de manera que entre los imanes (6) de cada par se genera un campo magnético que genera amortiguamiento respecto a la placa (7) conductora eléctrica; **caracterizado porque** en el interior de la masa inercial (2) se dispone un elemento elástico (3) que es accionado en giro por un motor (4) asociado a un encoder (5), controlándose la rigidez de la masa inercial (2) mediante la variación de la posición angular del eje del motor (4); y **porque** un primer acelerómetro (10) se sitúa en la carcasa externa (1) y un segundo acelerómetro (9) se sitúa en la masa inercial (2) móvil.
- 2.- Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizado porque** el elemento elástico (3) dispuesto en el interior de la masa inercial (2) es un muelle que presenta una configuración en forma de "H" con dos paredes transversales (3.1, 3.2) de diferente grosor.
- 3.- Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizado porque** los imanes (6) asociados a la masa inercial (2) presentan unos medios de desplazamiento (8) para moverse transversalmente respecto de la placa (7) conductora eléctrica y variar el campo magnético que se establece entre ellos, y con ello el amortiguamiento.
- 4.- Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizado porque** cada imán (6) está constituido por un conjunto de placas contiguas, comprendiendo una primera placa de acero (6.1), una segunda placa de acero (6.2) que incluye un bobinado en su interior y una tercera placa imantada (6.3), disponiéndose esta tercera placa imantada (6.3) contigua a la placa (7) conductora eléctrica, permitiendo variar el amortiguamiento mediante la variación de la corriente eléctrica en el bobinado de la placa de acero (6.2).
- 5.- Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizado porque** la placa (7) conductora eléctrica es de cobre.
- 6.- Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizado porque** el elemento elástico (3) está compuesto por una viga en voladizo (3.3) sobre la que desliza un carro (3.4), de manera que la rigidez de la masa inercial (2) se ajusta mediante desplazamiento del carro (3.4) sobre la viga en voladizo (3.3).
- 7.- Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizado por** medios para el procesamiento de la señal de los dos acelerómetros (9,10), durante el proceso de mecanizado, para el cálculo de la rigidez y amortiguamiento real de la unión entre la masa inercial (2) y la estructura de la máquina herramienta.
- 8.- Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizado por** medios que usan la señal de los dos acelerómetros (9,10) para el cálculo de la masa modal asociada al modo principal de vibración de forma continua durante el proceso de mecanizado, y de esta forma calcular la frecuencia óptima a la que sintonizar el amortiguador por medio del motor (4) que controla la posición del elemento elástico (3).
- 9.- Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizado por** medios que usan la señal del acelerómetro (10) acoplado a la carcasa externa (2) para la detección, de forma continua durante el proceso de mecanizado, de la frecuencia principal de vibración de la máquina, la evaluación de si se corresponde a un caso de chatter, y, en caso afirmativo, se define esta frecuencia como referencia para ajustar la rigidez del elemento elástico (3) controlado por el motor (4).
- 10.- Amortiguador inercial para la supresión de vibraciones en máquina herramienta, de acuerdo con la primera reivindicación, **caracterizado por** medios para la variación de la frecuencia propia del amortiguador en función de la posición de los ejes de la máquina durante el proceso de mecanizado, de acuerdo a una caracterización dinámica previa de la máquina en la que se calcula la frecuencia de sintonía óptima del amortiguador para cada posición de los ejes de la máquina.

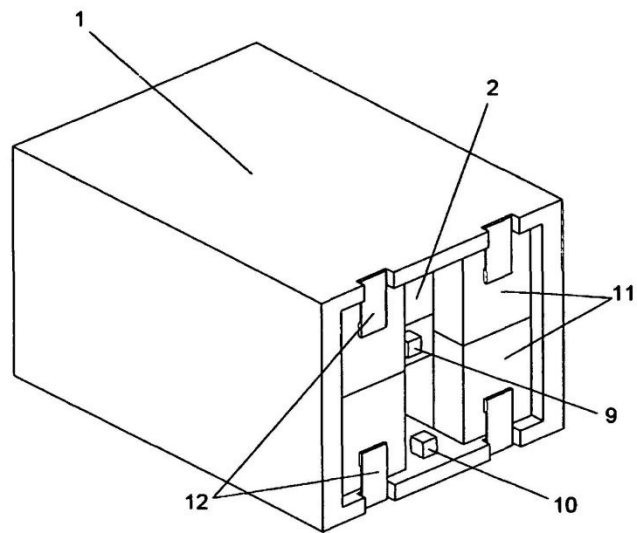
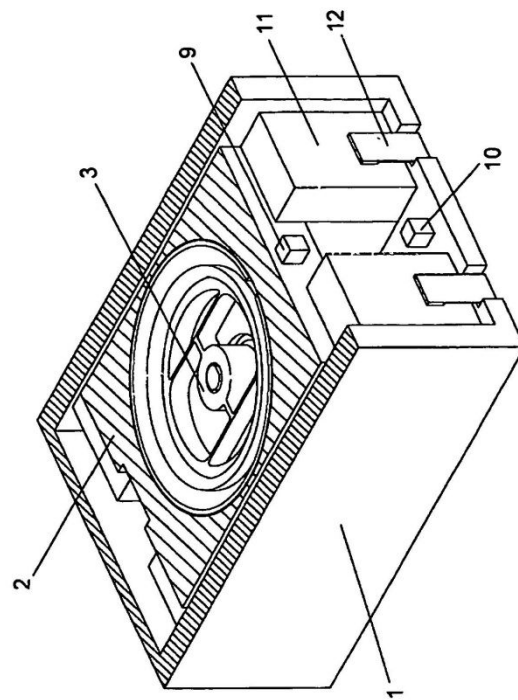


Fig. 1



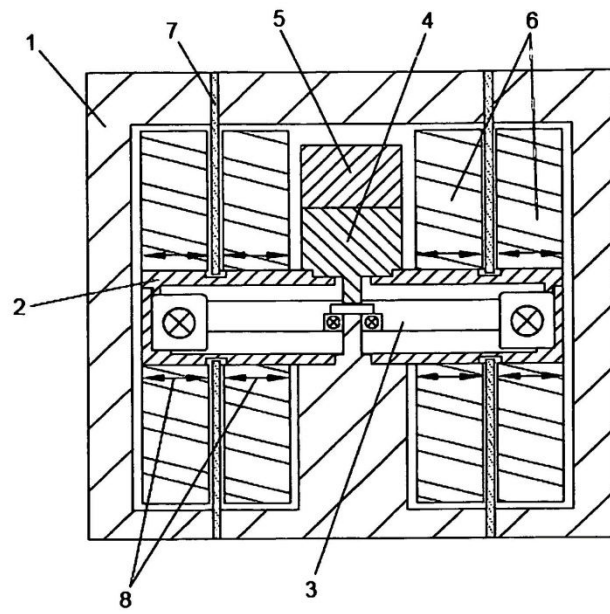


Fig. 3

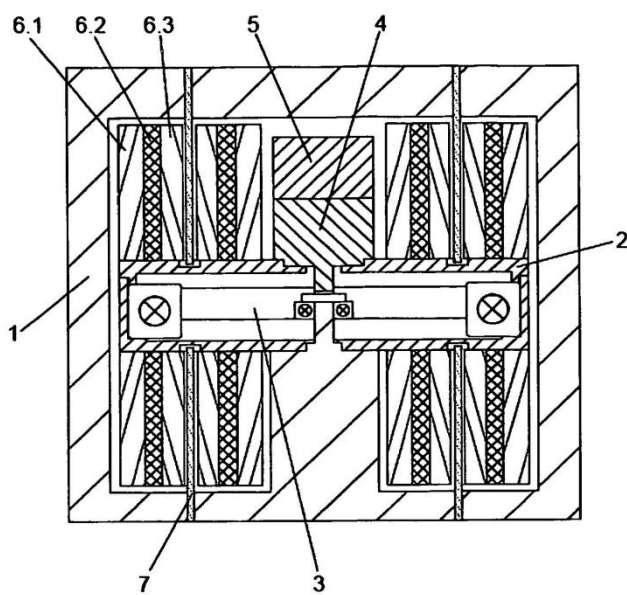


Fig. 4

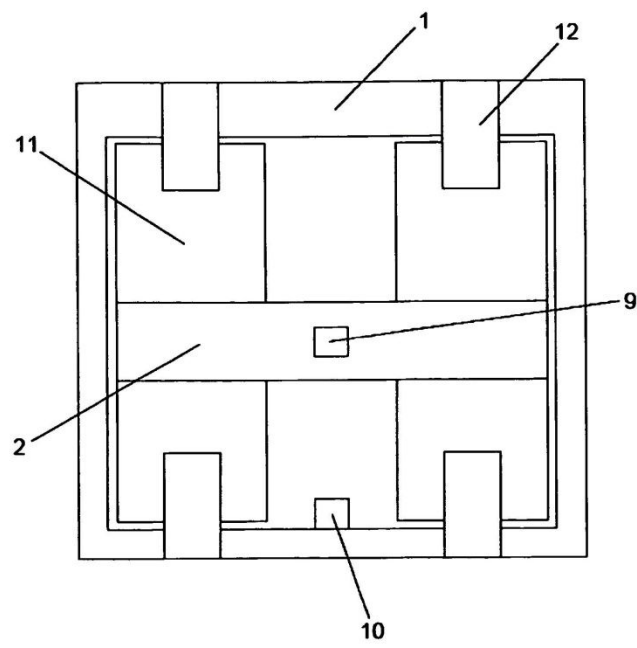


Fig. 5

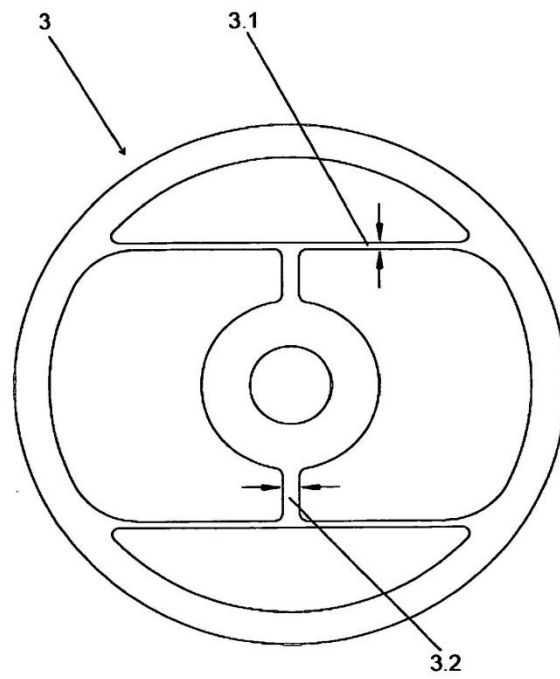


Fig. 6

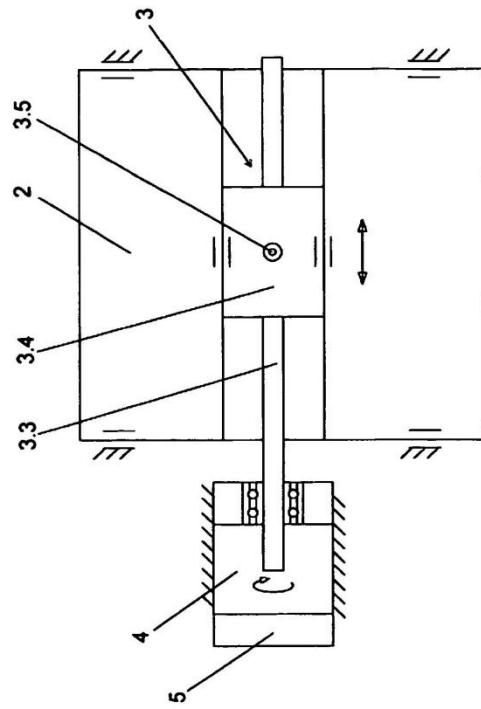


Fig. 7

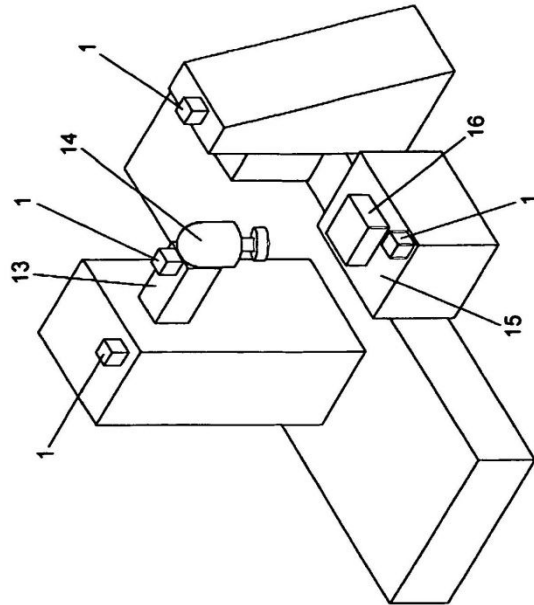


Fig . 8

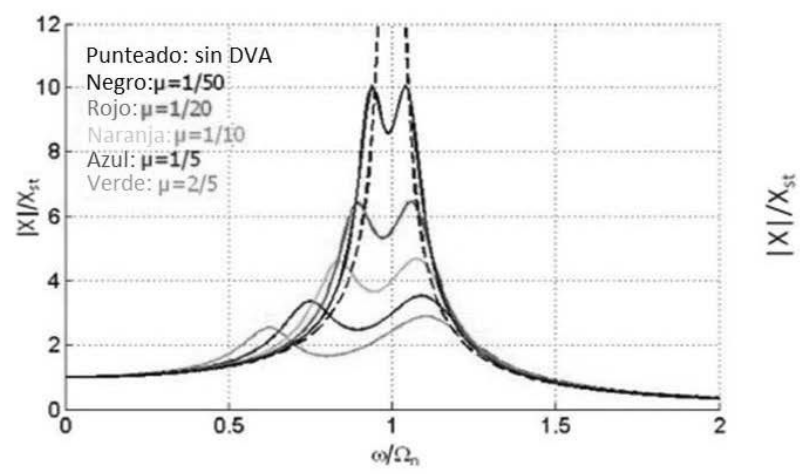


Fig. 9