

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 965 610**

51 Int. Cl.:

F16F 7/108 (2006.01)

B64C 1/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.01.2022** **PCT/IB2022/050588**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2022** **WO22195361**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2022** **E 22703449 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.09.2023** **EP 4118357**

54 Título: **Dispositivo pasivo de amortiguación de vibraciones para aeronaves**

30 Prioridad:

19.03.2021 IT 202100006680

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

16.04.2024

73 Titular/es:

LEONARDO S.P.A. (100.0%)
Piazza Monte Grappa 4
00195 Roma, IT

72 Inventor/es:

GRAVAGNONE, NICOLA y
DI GIULIO, MASSIMILIANO

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 965 610 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

Dispositivo pasivo de amortiguación de vibraciones para aeronaves

5 Campo técnico

Esta invención se refiere a un dispositivo pasivo de amortiguación de vibraciones para una aeronave o avión, con el fin de reducir el ruido y mejorar el confort de los ocupantes. En particular, un dispositivo de amortiguación de vibraciones se puede aplicar a aeronaves propulsadas por hélice o de alas giratorias o, en general, a aeronaves
10 que tienen componentes giratorios, las cuales tienen generalmente elevados niveles de ruido.

Técnica anterior

En el campo de las aplicaciones aeronáuticas, en particular para aeronaves que tienen un componente giratorio, se conocen, en general, dispositivos para mitigar el ruido y/o absorber las vibraciones.

En efecto, se sabe que el ruido percibido en la cabina por los pasajeros y por los asistentes de vuelo, o en general por los ocupantes, depende de la excitación de los modos vibratorios del aire presente en la cabina (conocido como cavidad acústica).

La cavidad acústica rodea a los ocupantes de la aeronave y, a su vez, está rodeada por la estructura de la aeronave que, al vibrar, actúa como un altavoz. Por tanto, actuar sobre las vibraciones estructurales permitirá modificar acústicamente la respuesta de la cavidad.

Las vibraciones estructurales son inducidas por diferentes tipos de cargas, y las cargas inducidas por los componentes giratorios de motores provistos de palas, por ejemplo un rotor, una hélice o un compresor, son uno de los principales tipos de cargas. Hay dos tipos de trayectoria para las cargas vibratorias de los componentes giratorios de un motor: una trayectoria transmitida por la estructura y una trayectoria transmitida por el aire.

Las cargas transmitidas por el aire en una aeronave turbohélice están ligadas a las frecuencias de paso de pala (BPF), que están bien definidas y, normalmente, son tales que hacen vibrar las vigas del suelo y los bastidores de la estructura aeronáutica, en particular el fuselaje. Como saben los expertos en la técnica, la frecuencia de paso de pala (BPF₁) fundamental, es decir, la primera frecuencia de paso de pala, depende únicamente del número de revoluciones del motor y del número de palas del componente giratorio. Conjuntamente con la frecuencia de paso de pala (BPF₁) fundamental, los expertos en la técnica conocen también otros armónicos relativos superiores que definen frecuencias de paso de pala superiores (conocidas como BPF₂, BPF₃, ..., BPF_i).

Para solucionar este problema y reducir al mínimo estas vibraciones y el ruido que perciben los ocupantes, se usan diversos dispositivos, en general amortiguadores pasivos conocidos como péndulos, o absorbedores dinámicos de vibración (DVA); sin embargo, los dispositivos actuales solo son capaces de absorber o amortiguar las vibraciones causadas por una frecuencia a la vez, y no son capaces de amortiguar las vibraciones inducidas por los otros modos vibratorios, en particular las causadas por las frecuencias de paso de pala más altas que, en general, no son despreciables. De hecho, los dispositivos conocidos son comparables a sistemas masa-resorte que tienen una única frecuencia natural que es igual a la frecuencia a amortiguar, o a la frecuencia objetivo, o a la frecuencia principal de la fuente de ruido o, en el caso de una pala, a la primera frecuencia de paso de pala (BPF₁) de acuerdo con la fórmula:

$$\text{BPF} = f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

donde f_n denota la frecuencia natural del sistema de amortiguación masa-resorte, BPF denota la frecuencia de paso de pala, k denota la rigidez del sistema de amortiguación y m denota la masa de dicho sistema.

Dispositivos de la técnica anterior para absorber vibraciones de diversas frecuencias se conocen, por ejemplo, por la publicación de patente CA2087669C, presentada a nombre del mismo solicitante, y por la solicitud de patente de EE. UU. US 2019 0277364 A1, a nombre de TEXTRON.

Otros dispositivos se conocen, por ejemplo, por las publicaciones de patente DE 10 2008 058470 A1, US 2019/003547 A1 y DE 19 53 028 U.

El documento CA2087669C propone un modelo de dispositivo TVA (absorbedor de vibraciones sintonizado), bastante complejo en cuanto a su solución de construcción y de implementación, y que tiene la particularidad de actuar sobre frecuencias naturales. Consiste esencialmente en una barra flexible, una serie de dispositivos fijados a la barra flexible en posición en voladizo con respecto a la estructura sobre la que está montada, y un péndulo

que, estando adecuadamente dimensionado (o estando adecuadamente diseñado el momento de inercia de flexión y el momento de inercia angular del mismo), permite actuar sobre los dos primeros armónicos de la hélice, o sobre las dos primeras frecuencias naturales (BPF_1 y BPF_2) de este componente giratorio. Además, la solución descrita en el documento US 2019 02773 64 A1 a nombre de TEXTRON propone un sistema que comprende cuatro masas (dos masas de cada una de dos dimensiones diferentes) que permite sintonizar el absorbedor de vibraciones sintonizado (TVA) en los dos primeros armónicos (BPF_1 y BPF_2) de la hélice. El TVA está montado sobre una estructura de vigas sobre la que, moviendo y dimensionando adecuadamente las masas, es posible obtener diferentes intervalos de frecuencia de sintonización.

Sin embargo, como ocurre con otros dispositivos conocidos, estas publicaciones en la literatura de patente describen dispositivos que no son capaces de amortiguar vibraciones a diferentes frecuencias simultáneamente.

Además, los dispositivos presentados y mostrados en la técnica anterior son decididamente voluminosos y complejos en cuanto a su construcción, lo que impone rigurosas limitaciones de diseño e instalación al usuario.

Sumario de la invención

El objetivo de esta invención es proporcionar un dispositivo de amortiguación que no tenga los inconvenientes de la técnica anterior.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un dispositivo pasivo de amortiguación que sea menos voluminoso y, en general, más fácil de montar en una aeronave.

Otro objetivo de la invención es proporcionar una aeronave que comprende un componente de motor que comprende una pluralidad de palas y que comprende un dispositivo pasivo de amortiguación adaptado para amortiguar el ruido producido por dicho componente de motor a una pluralidad de frecuencias simultáneamente.

Estos y otros objetivos se consiguen plenamente de acuerdo con esta invención en virtud de un dispositivo de amortiguación como se define en la reivindicación 1 y en virtud de una aeronave como se define en la reivindicación 7.

Se especifican modos de realización ventajosos de la invención en las reivindicaciones dependientes, de las que su contenido se ha de entender como una parte integrante de la siguiente descripción.

En resumen, la invención se basa en la idea de proporcionar un dispositivo pasivo de amortiguación multifrecuencia para amortiguar las vibraciones de una aeronave, dispositivo que está adaptado, en particular, para absorber las vibraciones del aire presente en la cabina de una aeronave, comprendiendo el dispositivo de amortiguación:

una estructura de soporte;

una pluralidad de N masas de amortiguación de un material metálico, cada una teniendo una n -ésima masa respectiva, en las que N es un número natural mayor que o igual a 2, y n es un número natural de 1 a N ;

una pluralidad de N elementos elásticos, cada uno teniendo una n -ésima rigidez respectiva; en los que cada n -ésimo elemento elástico está pegado tanto a la estructura de soporte como a una n -ésima masa de amortiguación respectiva para sostener dicha n -ésima masa de amortiguación respectiva en la estructura de soporte de modo que la primera pueda vibrar libremente con respecto a la segunda;

en el que, para cada n de 2 a N , cada n -ésima masa de amortiguación de dicha pluralidad de masas de amortiguación está dispuesta para rodear, al menos parcialmente, una $n-1$ -ésima masa de amortiguación de dicha pluralidad de masas de amortiguación, y

en el que la primera masa de amortiguación tiene una conformación cilíndrica con una primera altura y con una sección transversal semicircular, o tiene una conformación semicilíndrica maciza, y en el que cada una de las $N-1$ masas de amortiguación restantes de dicha pluralidad de masas de amortiguación tiene una conformación cilíndrica con una altura y con una sección transversal respectivas de un arco o sector de anillo, o tiene una conformación semicilíndrica hueca.

Por lo tanto, esencialmente, las masas de amortiguación están dispuestas telescópicamente, de modo que una primera masa de amortiguación está apoyada sobre la placa, y cada n -ésima masa de amortiguación siguiente está dispuesta para rodear una $n-1$ -ésima masa de amortiguación solo lateralmente y está apoyada en lados opuestos respectivos de la estructura de soporte.

De acuerdo con la invención, la primera masa de amortiguación tiene una conformación cilíndrica, entendiéndose por cilindro cualquier volumen obtenido por extrusión o proyección de una sección transversal a lo largo de una porción de línea recta transversal a dicha sección transversal, con una primera altura, y con una sección transversal

semicircular, y cada una de las N-1 masas de amortiguación restantes tiene una conformación cilíndrica que tiene una altura y una sección transversal respectivas de un arco o sector de anillo.

Preferentemente, para cada n de 2 a N, la sección transversal de arco de, o de sector de, anillo de la n-ésima masa de amortiguación tiene un radio interior sustancialmente igual a o ligeramente mayor que un radio exterior de la n-1-ésima masa de amortiguación. Aún más preferentemente, la primera altura de la primera masa de amortiguación y las alturas respectivas de las otras N-1 masas de amortiguación de la pluralidad de masas de amortiguación son todas iguales. Por lo tanto, de acuerdo con la invención, las masas de amortiguación están formadas esencialmente como cuerpos cilíndricos que tienen todos la misma altura y secciones transversales de modo que la primera masa de amortiguación se apoya directamente en la estructura de soporte y, para n de 2 a N, cada n-ésima masa de amortiguación rodea, al menos parcialmente, una n-1-ésima masa de amortiguación en una dirección transversal o lateral, y se apoya en los dos lados o extremos laterales o transversales mediante la estructura de soporte.

Además, para cada n de 2 a N, la n-ésima masa de cada masa de amortiguación de dicha pluralidad de masas de amortiguación es, de forma ventajosa, un múltiplo de la masa de la primera masa de amortiguación.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, el dispositivo de amortiguación está montado a bordo de una aeronave que comprende un componente de motor que comprende una pluralidad de palas y está adaptado para girar alrededor de un eje de rotación del mismo para proporcionar empuje a dicha aeronave, y las masas y las rigideces de las masas de amortiguación y, respectivamente, de los elementos elásticos son tales que, para cada n de 1 a N, la n-ésima masa de cada n-ésima masa de amortiguación y la n-ésima rigidez del elemento elástico respectivo que sostiene dicha n-ésima masa de amortiguación en la estructura de soporte son tales que la raíz cuadrada de la proporción entre dicha n-ésima rigidez y dicha n-ésima masa es proporcional a una frecuencia de paso de pala diferente (BPF_1 , BPF_2 , BPF_3 , ..., BPF_i) de dicho componente de motor.

En este caso, dicho componente de motor es preferentemente un rotor o una hélice o un compresor (ventilador).

Breve descripción de los dibujos

Los rasgos característicos y ventajas de esta invención quedarán claras mediante la siguiente descripción detallada, proporcionada meramente a modo de ejemplo no limitante y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la fig. 1 es una vista axonométrica de un dispositivo de amortiguación de acuerdo con un primer modo de realización de la invención;

la fig. 2 es una vista en despiece ordenado del dispositivo de amortiguación de la fig. 1; y

la fig. 3 es una vista axonométrica de un dispositivo de amortiguación de acuerdo con otro modo de realización de la invención.

Descripción detallada

En general, en la presente descripción y en las reivindicaciones adjuntas, términos tales como "inferior", "exterior", "interior", "radial", "radialmente", "transversal", "transversalmente" y similares se usan con el significado habitual en el campo técnico pertinente.

Con referencia a las figs. 1 a 3, el dispositivo pasivo de amortiguación multifrecuencia para amortiguar las vibraciones de una aeronave de acuerdo con la invención se indica de manera genérica con el signo de referencia 10.

El dispositivo de amortiguación 10 está particularmente adaptado para absorber dichas vibraciones a amortiguar del aire presente en la cabina de una aeronave, y comprende esencialmente una estructura de soporte 12, una pluralidad de masas de amortiguación 14 y una pluralidad de elementos elásticos 16.

En particular, el dispositivo de amortiguación 10 comprende un número N de masas de amortiguación 14, donde N es un número natural mayor que o igual a 2, por ejemplo 2, 3, 4 o 5, etc., y el mismo número N de elementos elásticos 16. Como se puede observar en las figs. 1 y 2, el dispositivo de amortiguación 10 puede comprender dos masas de amortiguación 14 y dos elementos elásticos 16 respectivos, por ejemplo. Como se puede observar en la fig. 3, también es posible que el dispositivo de amortiguación 10 comprenda tres masas de amortiguación 14 y tres elementos elásticos 16 respectivos, por ejemplo.

La estructura de soporte 12 está diseñada de modo que se pueda conectar al núcleo de un elemento estructural, por ejemplo un bastidor, una viga de suelo o un intercostal de la aeronave, y de modo que pueda soportar o sostener dichas masas de amortiguación 14 de modo que puedan vibrar u oscilar libremente con respecto a dicha estructura de soporte 12. La estructura de soporte 12 tiene preferentemente la forma de una placa metálica que

tiene dos alas laterales 18 y 20 respectivas, en cada una de las cuales se proporciona un orificio pasante circular 22 y 24 respectivo. De esta manera, usando medios de conexión mecánicos roscados o no roscados conocidos tales como tornillos, remaches, elementos de fijación Hi-Lok y/o pernos, es posible fijar la estructura de soporte 12 a una pared interior del compartimento interior o de la cabina de la aeronave o a un elemento estructural como se describe anteriormente.

Las masas de amortiguación 14 están hechas de un material metálico, preferentemente un material metálico de alta densidad para poder proporcionar una gran masa sin ocupar necesariamente un gran espacio. Las masas de amortiguación 14 están fabricadas preferentemente de un metal con un peso específico elevado, por ejemplo tungsteno.

De acuerdo con la invención, las masas de amortiguación 14 tienen una conformación de modo que, para cada n de 2 a N , cada n -ésima masa de amortiguación 14 de dicha pluralidad de masas de amortiguación 14 está dispuesta para rodear, al menos parcialmente, una $n-1$ -ésima masa de amortiguación 14 de dicha pluralidad de masas de amortiguación 14. De hecho, como se puede observar en las figs. 1 y 2, una segunda masa de amortiguación 14 rodea lateral o radialmente una primera masa de amortiguación 14 y, como se puede observar en la fig. 3, no solo una segunda masa de amortiguación 14 rodea lateral o radialmente una primera masa de amortiguación 14 sino que también una tercera masa de amortiguación 14 rodea radial o lateralmente la segunda masa de amortiguación 14. Básicamente, con excepción de una primera masa de amortiguación 14, cada masa de amortiguación 14 siguiente está dispuesta telescópicamente con respecto a la masa de amortiguación anterior para reducir al mínimo las dimensiones radiales del dispositivo de amortiguación 10.

De acuerdo con la invención, todas las masas de amortiguación 14 tienen una conformación cilíndrica o una conformación tridimensional que se puede obtener extrudiendo una sección transversal de base en el espacio; en el modo de realización mostrado en las figuras, se trata de cilindros ortogonales. En particular, es posible usar una conformación semicilíndrica maciza o hueca.

Como se mencionó anteriormente, la primera masa de amortiguación 14 tiene una conformación cilíndrica con una primera altura h_1 y con una sección transversal semicircular, o tiene sustancialmente una conformación semicilíndrica maciza, y cada una de las restantes masas de amortiguación 14 tiene una conformación cilíndrica con una altura h_n respectiva y con una sección transversal de un arco o sector de anillo, es decir, tienen sustancialmente una conformación semicilíndrica hueca.

En un modo de realización preferente, cada masa de amortiguación 14 tiene la misma altura que las otras masas de amortiguación 14.

Además, para cada n de 2 a N , la sección transversal de arco o sector de anillo de la n -ésima masa de amortiguación 14 tiene preferentemente un radio interior r_n sustancialmente igual a o ligeramente mayor que un radio exterior r_{n-1} de la $n-1$ -ésima masa de amortiguación 14. Por lo tanto, sustancialmente, como se muestra en las figs. 1 y 2 (para el caso en que $N = 2$) y en la fig. 3 (para el caso en que $N = 3$), la sección transversal de sector circular de la segunda masa de amortiguación 14 tiene un radio interior r_2 sustancialmente igual a o ligeramente mayor que un radio exterior r_1 de la primera masa de amortiguación 14, y la sección transversal de sector circular de la tercera masa de amortiguación 14 tiene un radio interior sustancialmente igual a o ligeramente mayor que un radio exterior de la segunda masa de amortiguación 14.

Cada masa de amortiguación 14 tiene una n -ésima masa m_n respectiva, y cada elemento elástico 16 tiene asimismo una n -ésima rigidez elástica k_n respectiva.

Los elementos elásticos 16 están pegados tanto a la estructura de soporte 12 como a una masa de amortiguación 14 respectiva; por lo tanto, el primer elemento elástico 16 está pegado tanto a la estructura de soporte 12 como a la primera masa de amortiguación 14, el segundo elemento elástico 16 está pegado tanto a la estructura de soporte 12 como a la segunda masa de amortiguación 14, el tercer elemento elástico 16 está pegado tanto a la estructura de soporte 12 como a la tercera masa de amortiguación 14, y así sucesivamente. De este modo, cada elemento elástico 16 sostiene una masa de amortiguación 14 respectiva en la estructura de soporte 12, para mantener dicha masa libre para que vibre u oscile libremente con respecto a la estructura de soporte 12.

Para ello, los elementos elásticos 16 están hechos de un material polimérico.

En un modo de realización preferente mostrado en las figuras, los elementos elásticos 16 están hechos como un paralelepípedo, o una placa, o una capa de material elástico que se puede pegar a las dos caras opuestas para conectarse por un lado a una masa de amortiguación particular 14 y por el otro lado a la estructura de soporte 12.

Aún más preferentemente, para cada n de 2 a N (donde N es el número de masas de amortiguación 14 o elementos elásticos 16), cada n -ésimo elemento elástico 16 comprende porciones separadas en forma de paralelepípedo, o de placa, preferentemente dos porciones separadas 16a y 16b, incluso más preferentemente dos porciones separadas iguales 16a y 16b.

Claramente, dependiendo de la conformación requerida y de la conformación de la estructura de soporte 12, puede haber diferentes conformaciones para las masas de amortiguación 14 y para los elementos elásticos 16, pero la disposición relativa de las masas de amortiguación 14 y los elementos elásticos 16 respectivos es siempre de modo que, a excepción de la primera masa de amortiguación 14, las sucesivas masas de amortiguación 14 estén dispuestas telescópicamente o rodeando, al menos parcialmente, una masa de amortiguación 14 precedente en dirección radial, lateral o transversal, y siempre de modo que la conexión elástica entre la masa de amortiguación 14 y la estructura de soporte 12 esté fijada mediante un elemento elástico 16 respectivo (opcionalmente proporcionado en forma de diversas porciones de elemento elástico separadas 16a, 16b) que está dispuesto entre las mismas y pegado a ambas para permitir que la masa de amortiguación 14 respectiva vibre u oscile libremente con respecto a la estructura de soporte 12.

La masa m_n de cada masa de amortiguación 14 y la rigidez k_n de cada elemento elástico 16 respectivo se determinan durante la fase de diseño de modo que el sistema formado por una masa de amortiguación 14 y por el elemento elástico 16 particular esté adaptado para amortiguar una frecuencia específica. En particular, cuando f_i es la frecuencia cuyas vibraciones se pretende amortiguar mediante un par respectivo formado por la n -ésima masa de amortiguación 14 y por el n -ésimo elemento elástico 16 respectivo, la masa m_n respectiva y la rigidez k_n respectiva se seleccionan de modo que se cumpla la siguiente fórmula:

$$f_i = BPF_i = \frac{1}{2n} \sqrt{\frac{k_n}{m_n}}$$

De esta manera, cada par respectivo formado por la n -ésima masa de amortiguación 14 y por el n -ésimo elemento elástico 16 estará adaptado para amortiguar una frecuencia f_i respectiva.

Por ejemplo, si se fija una rigidez elástica k común a todos los elementos elásticos 16, para cada n de 2 a N , la n -ésima masa m_n de cada masa de amortiguación 14 de dicha pluralidad de masas de amortiguación 14 se puede proporcionar como un múltiplo de la masa m_1 de la primera masa de amortiguación 14, por ejemplo un múltiplo creciente. Las masas de amortiguación 14 son preferentemente de modo que la masa m_n de cada n -ésima masa de amortiguación 14 dispuesta más hacia dentro con respecto a la n -ésima masa de amortiguación sea inversamente proporcional al cuadrado del i -ésimo orden de la frecuencia de paso de pala BPF_i , cuyas vibraciones dicha n -ésima masa de amortiguación 14 está destinada a amortiguar.

El dispositivo de amortiguación 10 de acuerdo con la invención se puede aplicar, en particular, a una aeronave que comprende un componente de motor que comprende una pluralidad de palas y está adaptado para girar alrededor de un eje de rotación del mismo para proporcionar empuje a dicha aeronave.

En el contexto de la invención, se entiende por "componente de motor" las hélices, incluso turbohélices, los rotores, los rotores de propulsión de helicópteros o drones, los compresores, en particular piezas de motores turboreactores o turbohélices y más, en general, cualquier componente que comprenda una pluralidad de palas o álabes que giren a una frecuencia de rotación predeterminada de una manera que pueda generar ruido.

En este caso, el dispositivo de amortiguación 10 se caracteriza por que, para cada n de 1 a N , la n -ésima masa m_n de cada masa de amortiguación 14 y la n -ésima rigidez k_n del elemento elástico 16 respectivo que sostiene esta masa de amortiguación 14 sobre la estructura de soporte 12 son de modo que la raíz cuadrada de la proporción entre dicha n -ésima rigidez y dicha n -ésima masa es proporcional a una frecuencia de paso de pala ($BPF_1, BPF_2, BPF_3, \dots, BPF_N$) diferente de dicho componente de motor. Por lo tanto, cada par masa de amortiguación 14-elemento elástico 16 tiene sustancialmente una proporción entre la rigidez y la masa que se selecciona de acuerdo con una frecuencia de paso de pala (BPF_i) diferente, una componente de la vibración que hay que amortiguar.

En particular, preferentemente, para cada n de 1 a N , la n -ésima masa m_n de cada masa de amortiguación 14 y la n -ésima rigidez k_n del elemento elástico 16 respectivo que sostiene esta masa de amortiguación 14 sobre la estructura de soporte 12 son de modo que la raíz cuadrada de la proporción entre dicha n -ésima rigidez y dicha n -ésima masa sea proporcional a la $N-n+1$ -ésima (N menos n más 1) frecuencia de paso de pala (BPF_{N-n+1}). Por lo tanto, por ejemplo, en caso de que $N = 2$, o en caso de que el dispositivo solo comprenda dos masas de amortiguación 14 y dos elementos elásticos 16 respectivos, la masa m_1 de la primera masa de amortiguación 14 y la rigidez k_1 del primer elemento elástico 16 que sostiene la primera masa de amortiguación 14 sobre la estructura de soporte 12 son de modo que la raíz cuadrada de la proporción entre dicha primera rigidez k_1 y dicha primera masa m_1 sea proporcional a la segunda frecuencia de paso de pala BPF_2 , y la segunda masa de amortiguación 14 y la rigidez k_2 del segundo elemento elástico 16 que sostiene la segunda masa de amortiguación 14 sobre la estructura de soporte 12 son de modo que la raíz cuadrada de la proporción entre dicha segunda rigidez k_2 y dicha segunda masa m_2 sea proporcional a la primera frecuencia de paso de pala BPF_1 .

5 Por ejemplo, si se usa el dispositivo de amortiguación 10 de acuerdo con la invención que tiene tres ($N = 3$) masas de amortiguación 14, como se muestra por ejemplo en la fig. 3, las masas m_n y las rigideces k_n se seleccionan de modo que la raíz cuadrada de la proporción entre la rigidez k_1 del primer elemento elástico 16 y la masa m_1 de la primera masa de amortiguación m_1 sea proporcional a la tercera BPF (BPF_3), y de modo que la raíz cuadrada de la proporción entre la rigidez k_2 del segundo elemento elástico 16 y la masa m_2 de la segunda masa de amortiguación m_2 sea proporcional a la segunda BPF (BPF_2), y de modo que la raíz cuadrada de la proporción entre la rigidez k_3 del tercer elemento elástico 16 y la masa m_3 de la tercera masa de amortiguación m_3 sea proporcional a la primera BPF (BPF_1). De manera evidente *per se*, un experto en la técnica podrá determinar las masas y las rigideces necesarias para amortiguar vibraciones a otras frecuencias, usando un mayor número de masas de amortiguación 14 y de elementos elásticos 16 respectivos.

Claramente, esta enseñanza también se puede aplicar a diferentes componentes de motor tales como los expuestos anteriormente.

15 Como se desprende de la descripción anterior, gracias al dispositivo de amortiguación de acuerdo con la invención, los objetivos de la invención descrita anteriormente se pueden lograr plenamente, lo que da lugar a varias ventajas.

En particular, la invención proporciona un dispositivo pasivo de amortiguación mejorado con respecto a la técnica anterior.

20 En primer lugar, gracias al uso de una pluralidad de masas de amortiguación y una pluralidad de elementos elásticos respectivos que son independientes entre sí, es posible amortiguar vibraciones a varias frecuencias simultáneamente, y ya no es necesario seleccionar qué frecuencia amortiguar.

25 Además, como resultado de la disposición "telescópica" de las masas de amortiguación, el dispositivo de amortiguación de acuerdo con la invención es adecuado, en particular, para aplicaciones aeronáuticas en las que la exigencia de dimensiones pequeñas es de máxima importancia.

30 Sin perjuicio del principio de la invención, los modos de realización y los detalles de construcción pueden variar ampliamente con respecto a lo que se ha descrito e ilustrado meramente a modo de ejemplo no limitante, sin, de este modo, apartarse del alcance de protección de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 1 . Dispositivo pasivo de amortiguación multifrecuencia (10) para amortiguar las vibraciones de una aeronave, comprendiendo el dispositivo de amortiguación (10):

una estructura de soporte (12);

una pluralidad de N masas de amortiguación (14) de un material metálico, cada una teniendo una n-ésima masa respectiva (m_n), en las que N es un número natural mayor que o igual a 2, y n es un número natural de 1 a N;

una pluralidad de N elementos elásticos (16), cada uno teniendo una n-ésima rigidez (k_n) respectiva;

en el que cada n-ésimo elemento elástico (16) está pegado tanto a la estructura de soporte (12) como a una n-ésima masa de amortiguación (14) para sostener dicha n-ésima masa de amortiguación (14) sobre la estructura de soporte (12) de modo que la primera puede vibrar libremente con respecto a la segunda; y

en el que, para cada n de 2 a N, cada n-ésima masa de amortiguación (14) de dicha pluralidad de masas de amortiguación (14) está dispuesta para rodear, al menos parcialmente, una n-1-ésima masa de amortiguación (14) de dicha pluralidad de masas de amortiguación (14), **caracterizado por que** la primera masa de amortiguación (14) tiene una conformación cilíndrica con una primera altura (h_1) y con una sección transversal semicircular, o tiene una conformación semicilíndrica maciza, y en el que cada una de las N-1 masas de amortiguación (14) restantes de dicha pluralidad de masas de amortiguación (14) tiene una conformación cilíndrica con una altura (h_n) respectiva y con una sección transversal de arco o sector de anillo, o tiene una conformación semicilíndrica hueca.

- 2 . Dispositivo de amortiguación de acuerdo con la reivindicación 1, en el que para cada n de 2 a N, la sección transversal de arco o sector de anillo de la n-ésima masa de amortiguación (14) tiene un radio interior (r_n) sustancialmente igual a, o ligeramente mayor que, un radio exterior (r_{n-1}) de la n-1-ésima masa de amortiguación (14).

- 3 . Dispositivo de amortiguación de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la primera altura (h_n) de la primera masa de amortiguación (14) y las alturas (h_n) respectivas de las otras N-1 masas de amortiguación (14) de la pluralidad de masas de amortiguación (14) son todas iguales.

- 4 . Dispositivo de amortiguación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que, para cada n de 2 a N, cada n-ésimo elemento elástico (16) adaptado para sostener una n-ésima masa de amortiguación (14) respectiva de dicha pluralidad de masas de amortiguación (14) comprende porciones separadas (16a, 16b) conformadas como placas, preferentemente dos porciones separadas iguales (16a, 16b).

- 5 . Dispositivo de amortiguación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que, para cada n de 2 a N, la n-ésima masa (m_n) de cada masa de amortiguación (14) de dicha pluralidad de masas de amortiguación (14) es un múltiplo de la masa (m_1) de la primera masa de amortiguación (14).

- 6 . Dispositivo de amortiguación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las masas de amortiguación (14) están hechas de tungsteno.

- 7 . Aeronave, que comprende:

un componente de motor, que comprende una pluralidad de palas y está adaptado para girar alrededor de un eje de rotación del mismo para proporcionar empuje a dicha aeronave; y

un dispositivo de amortiguación (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes;

caracterizada por que, para cada n de 1 a N, la n-ésima masa (m_n) de cada n-ésima masa de amortiguación (14) y la n-ésima rigidez (k_n) del n-ésimo elemento elástico (16) respectivo que sostiene dicha n-ésima masa de amortiguación (14) sobre la estructura de soporte (12) son de modo que la raíz cuadrada de la proporción entre dicha n-ésima rigidez (k_n) y dicha n-ésima masa (m_n) es proporcional a una frecuencia de paso de pala ($BPF_1, BPF_2, BPF_3, \dots, BPF_i$) diferente de dicho componente de motor.

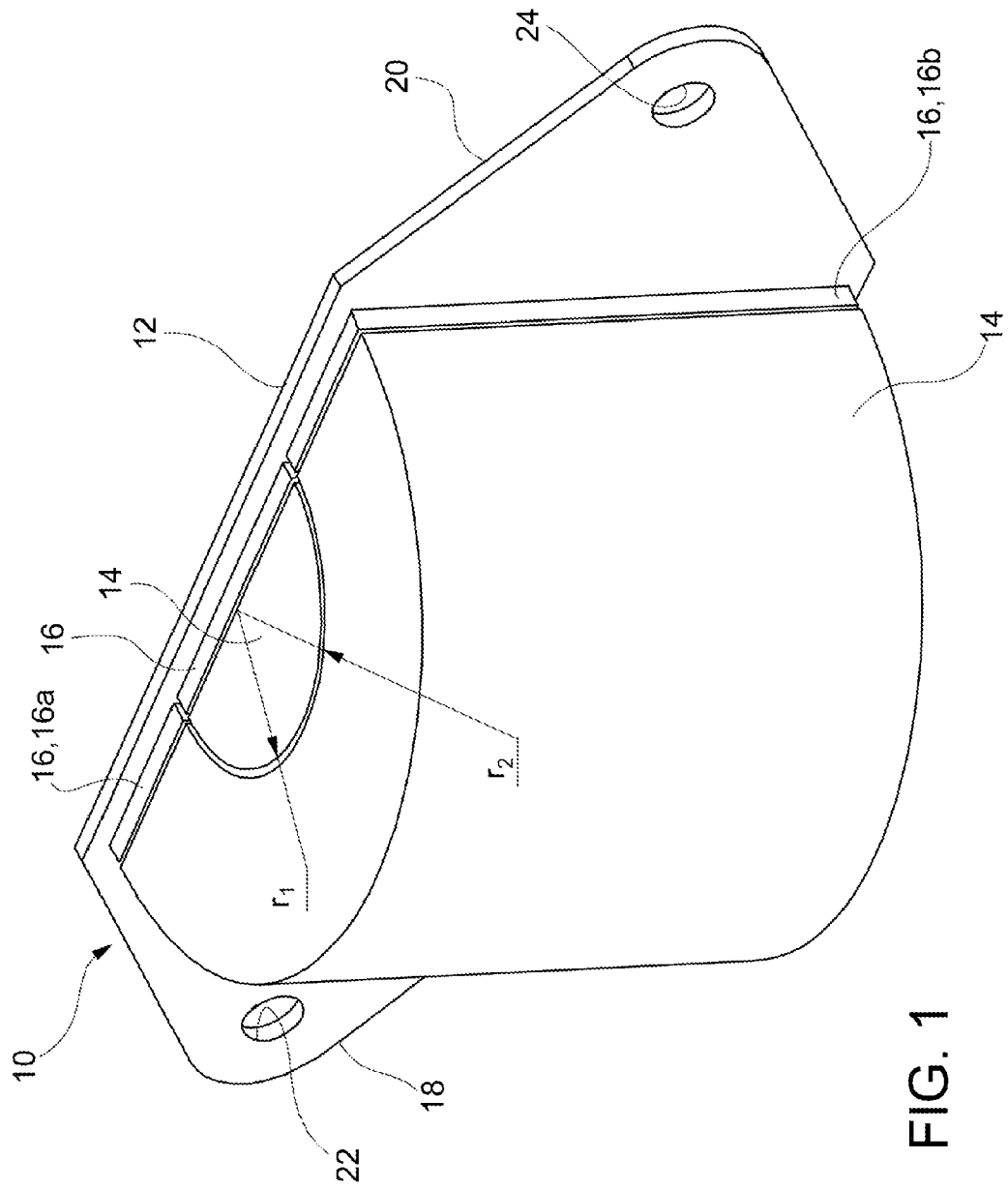
- 8 . Aeronave de acuerdo con la reivindicación 7, en la que para cada n de 1 a N, la n-ésima masa (m_n) de la n-ésima masa de amortiguación (14) y la n-ésima rigidez (k_n) del n-ésimo elemento elástico (16) respectivo que sostiene dicha masa de amortiguación (14) sobre la estructura de soporte (12) son de modo que la raíz

cuadrada de la proporción entre dicha n -ésima rigidez y dicha n -ésima masa sea proporcional a la $N-n+1$ -ésima frecuencia de paso de pala (BPF_{N-n+1}).

9.

5

Aeronave de acuerdo con la reivindicación 7 o la reivindicación 8, en la que el componente de motor es un rotor, una hélice o un compresor.



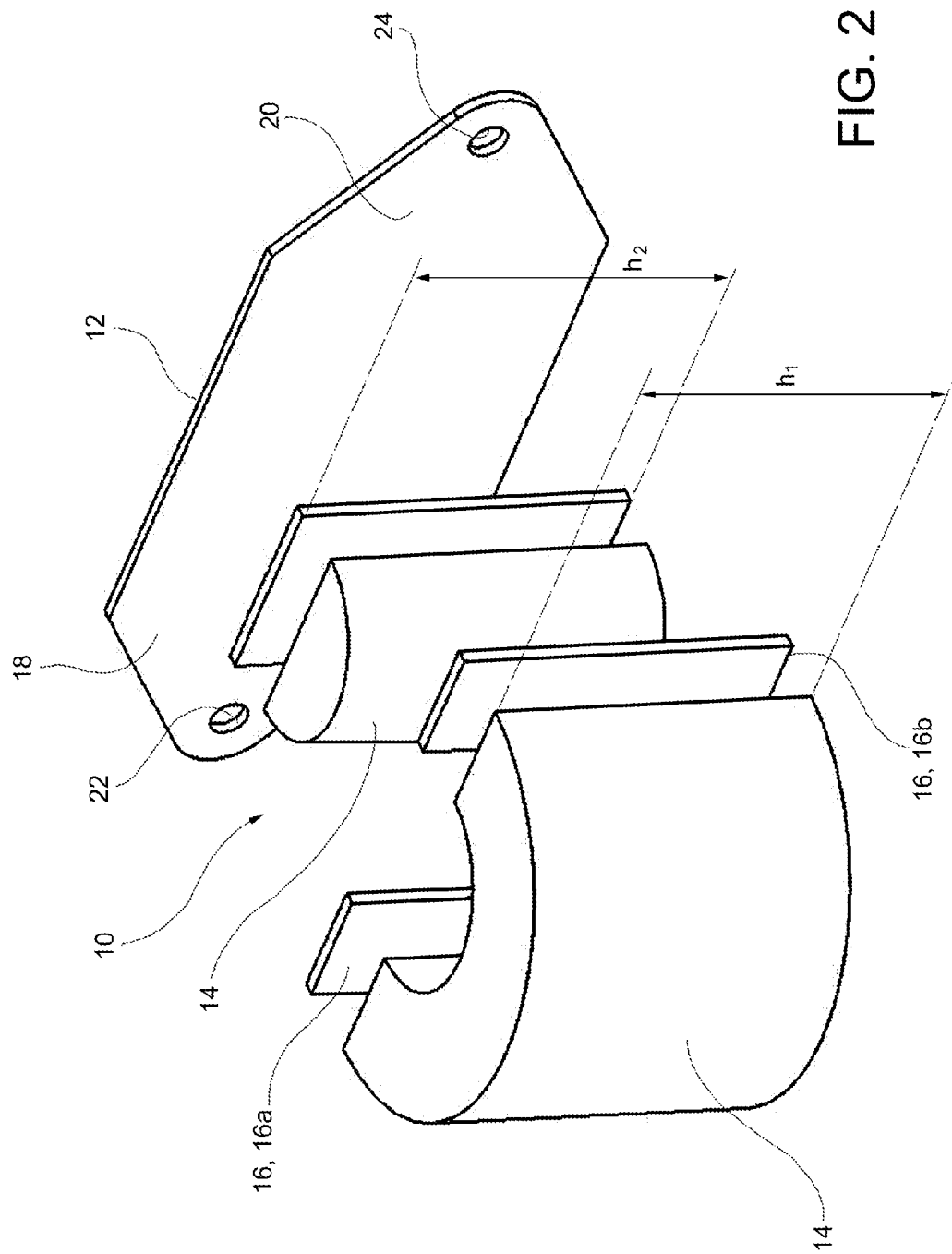


FIG. 2

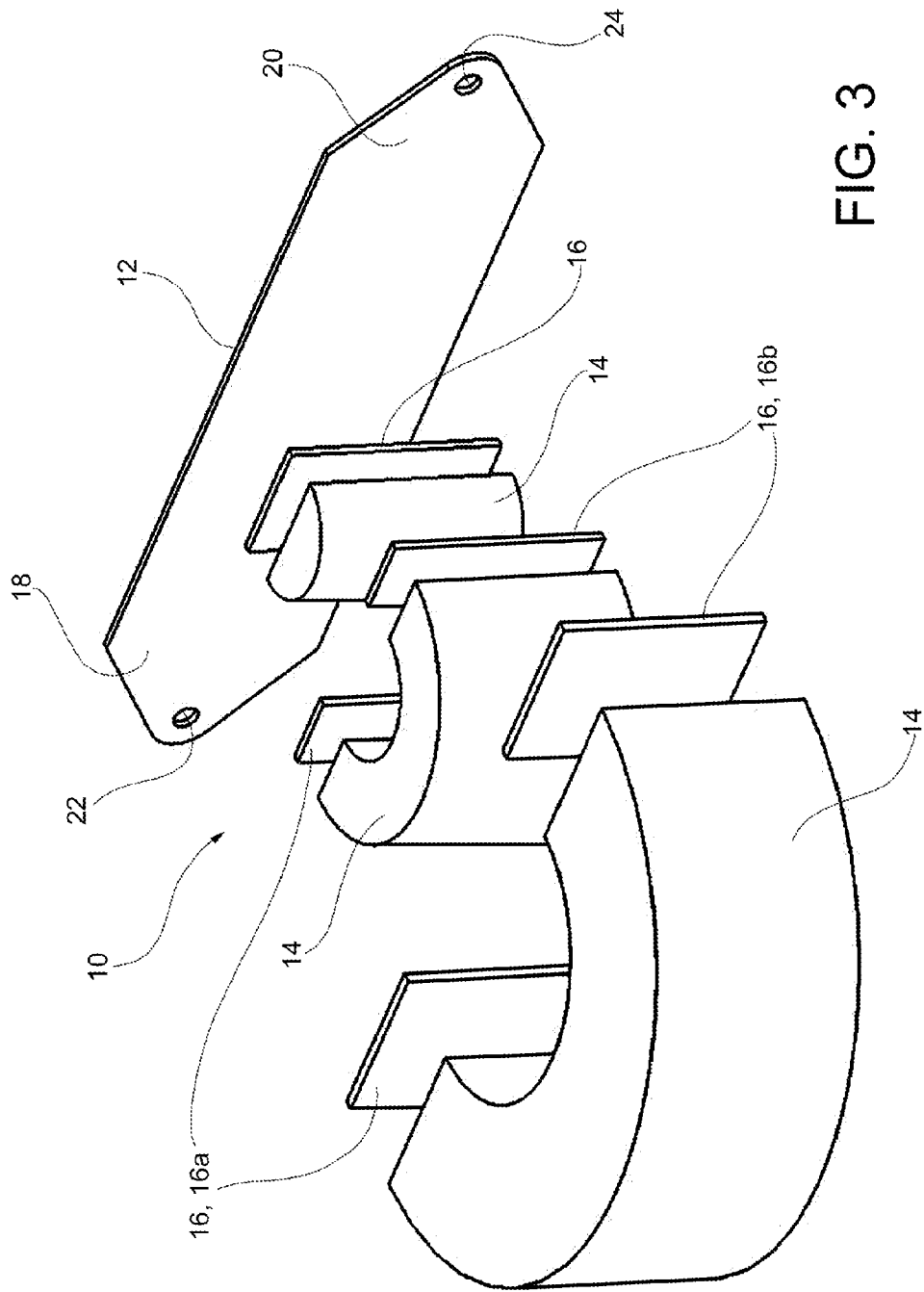


FIG. 3