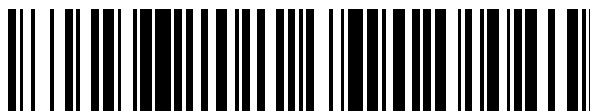


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 532 701**

51 Int. Cl.:

F16C 19/54 (2006.01)

F16F 15/023 (2006.01)

F16C 27/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2011 E 11740963 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.12.2014 EP 2588770**

54 Título: **Procedimiento de amortiguamiento dinámico de un árbol de potencia en particular de un árbol supercrítico y arquitectura de amortiguamiento de puesta en práctica**

30 Prioridad:

01.07.2010 FR 1055272

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

31.03.2015

73 Titular/es:

TURBOMECA (100.0%)

BP 2

64510 Bordes, FR

72 Inventor/es:

**CAZAUX, DAVID y
VOTIE, SYLVAIN PIERRE**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 532 701 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

Procedimiento de amortiguamiento dinámico de un árbol de potencia en particular de un árbol supercrítico y arquitectura de amortiguamiento de puesta en práctica

5 La invención concierne a un procedimiento de amortiguamiento dinámico de un árbol de potencia, en particular de un árbol supercrítico, así como a una arquitectura de amortiguamiento apta para poner en práctica tal procedimiento.

10 Los árboles giratorios de potencia, en particular en los turbomotores, tienen intervalos de funcionamiento nominal que pueden sobrepasar su primera velocidad crítica de flexión. Por definición, el intervalo de funcionamiento de los árboles supercríticos sobrepasa siempre su primera velocidad crítica. En la resonancia, que se produce durante el paso a una velocidad crítica, los árboles de potencia experimentan fenómenos de sobretensión que amplifican las deformaciones y los esfuerzos provocados por los desequilibrios del árbol.

Un análisis modal de la arquitectura de un árbol dado - que clásicamente presenta un cojinete delantero y un cojinete trasero - permite determinar los valores de las velocidades críticas, la forma de las deformadas modales, así como la repartición de la energía de deformación entre los componentes de la línea de árbol: los cojinetes delantero, trasero y el árbol que une estos cojinetes.

15 Un ejemplo de análisis modal de un árbol supercrítico dado facilita un valor de la primera velocidad crítica igual a 15 000 revoluciones/minuto, o sea el 70% de su valor nominal, con una repartición de energía de deformación igual al 10% en el cojinete delantero, el 30% en el cojinete trasero y el 60% en el árbol.

20 A fin de amortiguar las tensiones amplificadas, asociadas en particular a la utilización de árboles supercríticos, cojinetes amortiguadores con película de aceite, denominada también « película comprimida », permiten limitar la amplitud de la sobretensión provocada durante el paso a la velocidad crítica.

25 Sin embargo, estos árboles pueden presentar dientes de engranaje de potencia, lo que en general es el caso en los turbomotores con reductor de velocidad, utilizados en el ámbito aeronáutico cuando la velocidad de rotación del árbol de potencia es elevada. El reductor de velocidad permite transformar la potencia a fin de alimentar los receptores (Caja de Cambios Principal de helicóptero, generador eléctrico etc...). En este caso, está excluida la utilización de películas comprimidas en los cojinetes que enmarcan a los dientes de engranaje del árbol de potencia. En efecto, estos cojinetes deben presentar suficiente rigidez para limitar cualquier desplazamiento radial del piñón que es sometido a los esfuerzos de engrane, a fin de transmitir el par motor y evitar cualquier desengrane o desgaste prematuro. Ahora bien las películas comprimidas necesitan un desplazamiento radial del rodamiento para poder ser comprimidas y producir su efecto de amortiguador. La utilización de las películas comprimidas es por tanto incompatible con estos cojinetes de enmarcado de dientes de engranaje.

Siendo siempre importante la energía de deformación en el cojinete trasero - superior al 10% - y siendo el amortiguamiento difícil de realizar en el cojinete delantero debido a la presencia de los dientes de engranaje de potencia, los sistemas de amortiguamiento de las arquitecturas de los motores con reductor de velocidad y con árbol crítico han sido dispuestos por tanto en los cojinetes traseros de la línea de árbol.

35 Sin embargo, en ciertas arquitecturas modernas, los cojinetes traseros no participan en la deformación modal, no siendo posible entonces ningún amortiguamiento externo a nivel de esos cojinetes traseros. Así, los cojinetes delanteros localizan, típicamente, cerca del 25% y el árbol aproximadamente el 75% de la energía de deformación: los cojinetes traseros - que no trabajan en amortiguamiento - no absorben entonces prácticamente deformación (menos del 1%). Los cojinetes del piñón conductor pasan a ser entonces la única zona que puede permitir aportar amortiguamiento externo al conjunto de la línea de árbol, siendo inaceptable un porcentaje de energía de deformación en el árbol del 75%.

40 La invención propone una arquitectura que permita aportar un amortiguamiento al tiempo que conserve una rigidez a nivel de los cojinetes delanteros a fin de no comprometer el engrane de los dientes de engranaje de potencia. Para hacer esto, se crea un amortiguamiento compresible dinámico en prolongación con el rodamiento aguas abajo del engrane.

45 De modo más preciso, la invención tiene por objeto un procedimiento de amortiguamiento dinámico en un árbol de potencia que comprende un engrane de reducción de velocidad en un piñón conductor, enmarcado por un conjunto de soporte de árbol aguas arriba y aguas abajo del engrane. En esta arquitectura, el conjunto de soportes está prolongado aguas abajo por al menos un soporte suplementario acoplado a un amortiguamiento compresible en movimiento orbital para formar un amortiguamiento aguas abajo axialmente descentrado con respecto al soporte aguas arriba en relación con el engrane de potencia. Esta arquitectura descentrada permite aportar un amortiguamiento dinámico.

De acuerdo con modos de realización particulares:

55 - la prolongación aguas abajo es realizada por intermedio de una unión flexible que forma una palanca de ajuste de rigidez que permite ajustar la repartición de la energía de deformación en el árbol y la energía amortiguada

resultante; así, la unión flexible permite controlar la rigidez del amortiguamiento aguas abajo y por tanto limitar el efecto de la velocidad crítica por una mejor repartición de energía de deformación en el árbol;

- el desplazamiento aguas abajo del amortiguamiento suplementario es determinado por iteración de modo que este amortiguamiento quede colocado en la deformada del árbol a fin de aportar un máximo de amortiguamiento por compresión radial; el engrane queda así enmarcado por dos cojinetes rígidos que aseguran una transmisión de par óptima.

La invención se refiere igualmente a un conjunto amortiguador dinámico en árbol de potencia de puesta en práctica del procedimiento anterior. Tal conjunto comprende cojinetes aguas arriba y aguas abajo con rodamientos de potencia que enmarcan a un engrane de dientes de engranaje de reducción de velocidad. El cojinete aguas abajo está acoplado al menos a un cojinete de rodamiento suplementario asociado a un amortiguador compresible para formar un amortiguador aguas abajo axialmente descentrado con respecto al cojinete aguas arriba del engrane de dientes de engranaje.

De acuerdo con modos de realización particulares:

- los dos cojinetes aguas abajo está unidos por una jaula flexible montada en un cárter común;
- el amortiguador compresible esta constituido por una película comprimida, en particular por una película comprimida centrada por la jaula flexible en el árbol;
- el rodamiento del cojinete aguas abajo suplementario puede ser un rodamiento de bolas o un rodamiento de rodillos.

Otras características y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto en la lectura del ejemplo de realización detallado que sigue, refiriéndose a los dibujos anejos, que representan respectivamente:

- en la figura 1, una vista global de una deformada modal de un árbol de potencia clásico montado entre cojinetes delantero y trasero en unión con un piñón conductor;
- en la figura 2, una semivista en corte longitudinal (parcial) del piñón conductor reductor en unión con el árbol de potencia de la figura 1 según una arquitectura de acuerdo con la invención;
- en la figura 3, una vista en perspectiva (parcial) del árbol de potencia equipado con un amortiguador dinámico de acuerdo con la invención, y
- en las figuras 4a y 4b, dos diagramas de esfuerzos sobre rodamientos delanteros del árbol de potencia en función de la velocidad de rotación, respectivamente en ausencia y en presencia del amortiguador dinámico de acuerdo con la invención.

En la descripción que sigue, los términos delantero o aguas arriba se refieren por comparación a lo largo de un eje X'X, a posiciones de elementos dispuestos en el lado del piñón conductor o más cerca del piñón, mientras que los términos aguas abajo o trasero designan, por comparación a lo largo del eje X'X, la posición de elementos más alejados del piñón conductor o hacia la parte de creación del par motor. Por otra parte, los mismos signos de referencia designan elementos idénticos o equivalentes.

Refiriéndose a la vista global de la figura 1, un árbol de potencia 10 de arrastre de turbina 19 presenta, en deformada modal con respecto a su eje X'X en reposo, una flexión que integra aproximadamente el 75% de la energía de deformación cuando los cojinetes traseros 18 no participan prácticamente (menos del 1%) en el amortiguamiento. Los cojinetes delanteros 12 y 14, que enmarcan a los dientes de engranaje 15 en el cual está montado el piñón conductor 16 de reducción de velocidad, soportan entonces aproximadamente el 25% de la energía de deformación que no es amortiguada. Tal repartición no es aceptable, en particular en la resonancia. Los esfuerzos a los cuales son sometidos los rodamientos a nivel de los cojinetes delanteros están ilustrados en la figura 4a y se comentan más adelante.

Una arquitectura de acuerdo con la invención, tal como la ilustrada en las figuras 2 (semivista en corte) y 3 (vista en perspectiva), permite amortiguar los esfuerzos a los que son sometidos los cojinetes delanteros 12 y 14 de rodamiento de rodillos duros 12r y 14r, sin perjudicar al engrane del piñón delantero. Los cojinetes 12 y 14 están montados respectivamente en cárteres 32 y 34 por bridas 36 a través de los conjuntos tornillo-tuerca 38 y de los anillos anulares 39.

En esta arquitectura, el cojinete delantero 14 situado aguas abajo con respecto al primer cojinete aguas arriba 12 según el eje orientado X'X del árbol 10, y un cojinete aguas abajo suplementario 20 están montados en las extremidades del cárter 34. Los cojinetes son lubricados por canales 22 acoplados a pulverizadores 24. La brida 36 se prolonga axialmente por una jaula flexible 24 de acero perforado, de tipo jaula de ardilla, a su vez prolongada por la jaula exterior 20a del cojinete 20. La jaula flexible 24 une así los rodamientos 14r y 20r, siendo mantenido en posición el cojinete 20 por la brida 36 a través de la jaula flexible 24. En opción, una brida 21 (la brida 21 y el cárter

34 no está representados en la figura 3 para no enmascarar la jaula), fijada por un conjunto de tornillo-tuerca 38a y prolongada axialmente por una lengüeta 25, permite proteger el cárter 34. El rodamiento 20r de este cojinete, en este ejemplo de bolas, es un rodamiento « de tope » - en el sentido que éste absorbe los esfuerzos axiales del conjunto de la línea de árbol.

5 El cárter 34 forma ventajosamente en su parte central una jaula flexible 24 de acero perforado, de tipo jaula de ardilla, entre los dos cojinetes 14 y 20. El cojinete 20, que crea un amortiguamiento dinámico por acoplamiento con la jaula flexible 24, está así descentrado con respecto al cojinete aguas arriba 12 tomando la sección central de los dientes de engranaje de potencia 15 como referencia. La jaula flexible permite así controlar la rigidez del cojinete 20 y por tanto ajustar la velocidad crítica.

10 A fin de realizar un amortiguamiento dinámico del cojinete suplementario 20 montado en la jaula flexible 24, el rodamiento 20r está combinado radialmente a una película comprimida 26. Se trata de una película de aceite dispuesta entre el anillo 25 y la jaula exterior 20a del cojinete 20, en extensión axial según el eje X'X entre dos gargantas de estanqueidad 27 y 28, que integran preferentemente juntas de segmento para controlar los caudales de fuga. Alternativamente, la película comprimida puede no estar centrada en la jaula, sino montada directamente en el cárter 34 con un anillo exterior de rodamiento « flotante » (no representado).

15 El porcentaje de energía de deformación amortiguada por la película comprimida durante el paso al modo de árbol puede ser ajustado entonces gracias a la flexibilidad de la jaula 24, por ejemplo con un amortiguamiento igual o superior aproximadamente al 15%. Tal arquitectura permite así una repartición (en porcentajes) de 15 a 25 / 70 a 60 / 15, entre respectivamente la energía amortiguada en los cojinetes delanteros / energía amortiguada en el árbol / energía no amortiguada. Tales reparticiones son mecánicamente totalmente aceptables.

20 Además, el desplazamiento « d », que traduce la posición descentrada del cojinete 20 con respecto al cojinete 14 realizada por un separador 23, es ajustado por iteración para que el cojinete amortiguador 20 quede en la deformada del árbol. Se establece un compromiso entre el desplazamiento más corto, para disminuir el volumen y el más largo para aumentar el amortiguamiento del modo. El valor del desplazamiento es igualmente función, especialmente, de la gama de velocidades de funcionamiento, de la longitud de los dientes de engranaje y del árbol, así como del diámetro del árbol. El desplazamiento « d » tiene el efecto de aplastar lo mejor posible la película comprimida, lo que aumenta su eficacia y permite aportar un máximo de amortiguamiento, en particular durante el paso a la velocidad crítica de flexión del árbol (denominado también resonancia). En el ejemplo de realización el desplazamiento « d » está ajustado a 40 mm.

25 En efecto, en este paso – que corresponde a una transmisión de par pequeño por el piñón conductor – el árbol es sometido a un movimiento orbital con respecto a su eje X'X bajo el efecto de su propio desequilibrio (véase la figura 1). El cojinete amortiguador 20 montado en la jaula flexible 24 sigue el mismo movimiento y provoca un aplastamiento de la película de aceite 26 que de esta manera amplifica el amortiguamiento dinámico.

30 Por otra parte, el rigidizador de los cojinetes que enmarcan a los dientes de engranaje de potencia 15 permite asegurar una buena resistencia de los dientes de engranaje entre ellos cuando se ejerce el par motor, incluso durante los pasos de las deformadas del árbol o a plena potencia.

Los diagramas de las figuras 4a y 4b ilustran los esfuerzos ejercidos en newton E (N) en un conjunto de rodamientos de los cojinetes delanteros de un árbol de potencia en función de la velocidad de rotación V en revoluciones por minuto (rpm), respectivamente en ausencia y en presencia del amortiguador dinámico de acuerdo con la invención.

35 La primera curva C1 (véase la figura 4a) presenta en particular un pico fuerte importante de resonancia P1 de aproximadamente 4500 N, durante el paso modal del árbol a la velocidad crítica de 19 000 rpm. Los esfuerzos a los que son sometidos pueden generar desgastes prematuros o desengranes entre los dientes de engranaje.

40 La segunda curva C2 (véase la figura 4b) no presenta pico fuerte importante en el paso del árbol a la velocidad crítica de 24 000 rpm gracias al amortiguamiento dinámico por una arquitectura del tipo de la descrita anteriormente. El pico registrado P2 se eleva aproximadamente a 1600 N, lo que se mantiene completamente aceptable.

45 La invención no está limitada a los ejemplos de realización descritos y representados. Es posible por ejemplo prever otros tipos de amortiguamiento compresible que la película comprimida: junta elastómera, aire comprimido, cojinete magnético, etc. Por otra parte, la unión flexible puede ser realizada por una alternancia de diferentes materiales, una aleación flexible o trenzas de hilos metálicos. Además, pueden estar previstos varios cojinetes suplementarios según una repartición ajustada a fin de producir un amortiguamiento delantero regulado con precisión.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de amortiguamiento dinámico en un árbol de potencia (10) que comprende un engrane (15) de reducción de velocidad en un piñón conductor (16), enmarcado por un conjunto de soportes de árbol aguas arriba (12) y aguas abajo (14) del engrane, caracterizado por que el conjunto de soportes (12, 14) está prolongado aguas abajo por al menos un soporte suplementario (20) acoplado a un amortiguamiento compresible (26) en movimiento orbital para formar un amortiguamiento aguas abajo axialmente descentrado (20, 26) con respecto al soporte aguas arriba (12) en relación con el engrane de potencia (15).
- 10 2. Procedimiento de amortiguamiento dinámico de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual la prolongación aguas abajo es realizada por intermedio de una unión flexible (24) que forma una palanca de ajuste de rigidez que permite ajustar la repartición de la energía de deformación en el árbol (10) y la energía amortiguada resultante.
- 15 3. Procedimiento de amortiguamiento dinámico de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el cual el desplazamiento aguas abajo (D) del amortiguamiento suplementario (20) es determinado por iteración de modo que este amortiguamiento quede colocado en la deformada del árbol (10) a fin de aportar un máximo de amortiguamiento por compresión radial.
- 20 4. Conjunto amortiguador dinámico en árbol de potencia de puesta en práctica del procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que comprende cojinetes aguas arriba (12) y aguas abajo (14) de rodamientos de potencia (12r, 14r) que enmarcan a un engrane de dientes de engranaje de reducción de velocidad (15), estando el cojinete aguas abajo (14) acoplado al menos a un cojinete de rodamiento suplementario (20, 20r) asociado a un amortiguador compresible (26) para formar un amortiguador aguas abajo axialmente descentrado (20, 26) con respecto al cojinete aguas arriba (12) en relación con el engrane de dientes de engranaje (15).
- 25 5. Conjunto amortiguador dinámico de acuerdo con la reivindicación precedente, en el cual los dos cojinetes delanteros (14, 20) están unidos por una jaula flexible (24) montada en un cárter común (34).
- 30 6. Conjunto amortiguador dinámico de acuerdo con las reivindicaciones 4 o 5, en el cual el amortiguador compresible está constituido por una « película comprimida » (26).
7. Conjunto amortiguador dinámico de acuerdo con la reivindicación precedente en el cual la « película comprimida » (26) está centrada en el árbol (10) por la jaula flexible (24).
8. Conjunto amortiguador dinámico de acuerdo con las reivindicaciones 4 a 7, en el cual el rodamiento (20r) del cojinete aguas abajo suplementario (20) es un rodamiento de bolas.
9. Conjunto amortiguador dinámico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el cual el rodamiento (20r) del cojinete aguas abajo suplementario (20) es un rodamiento de rodillos.
10. Conjunto amortiguador dinámico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 9, caracterizado por que se aplica a un árbol supercrítico.

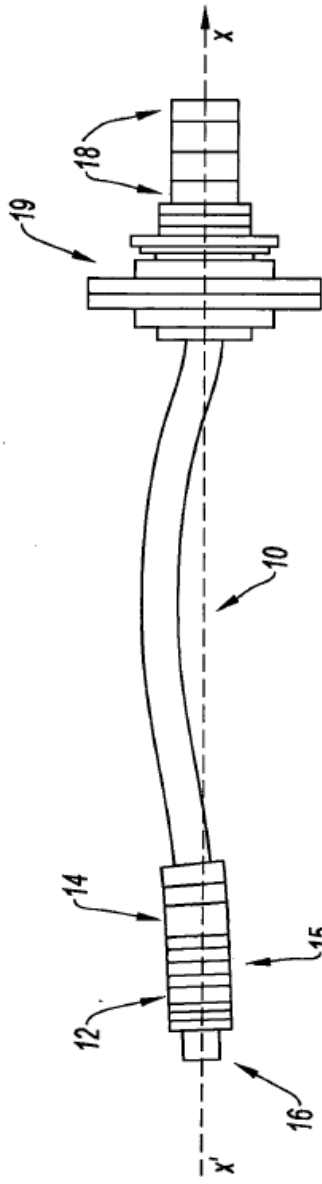


Fig. 1

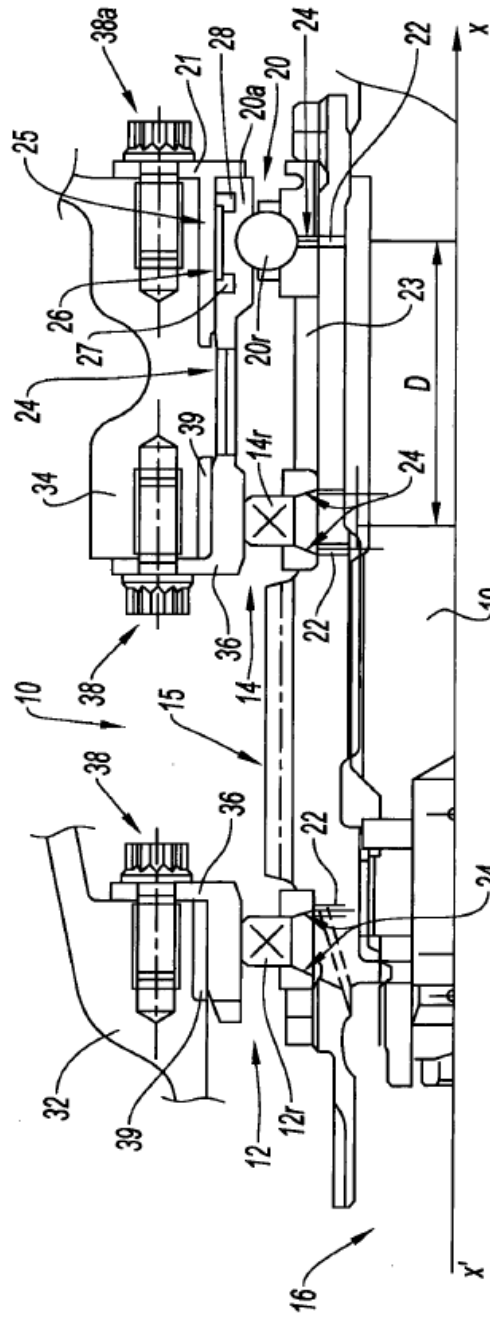


Fig. 2

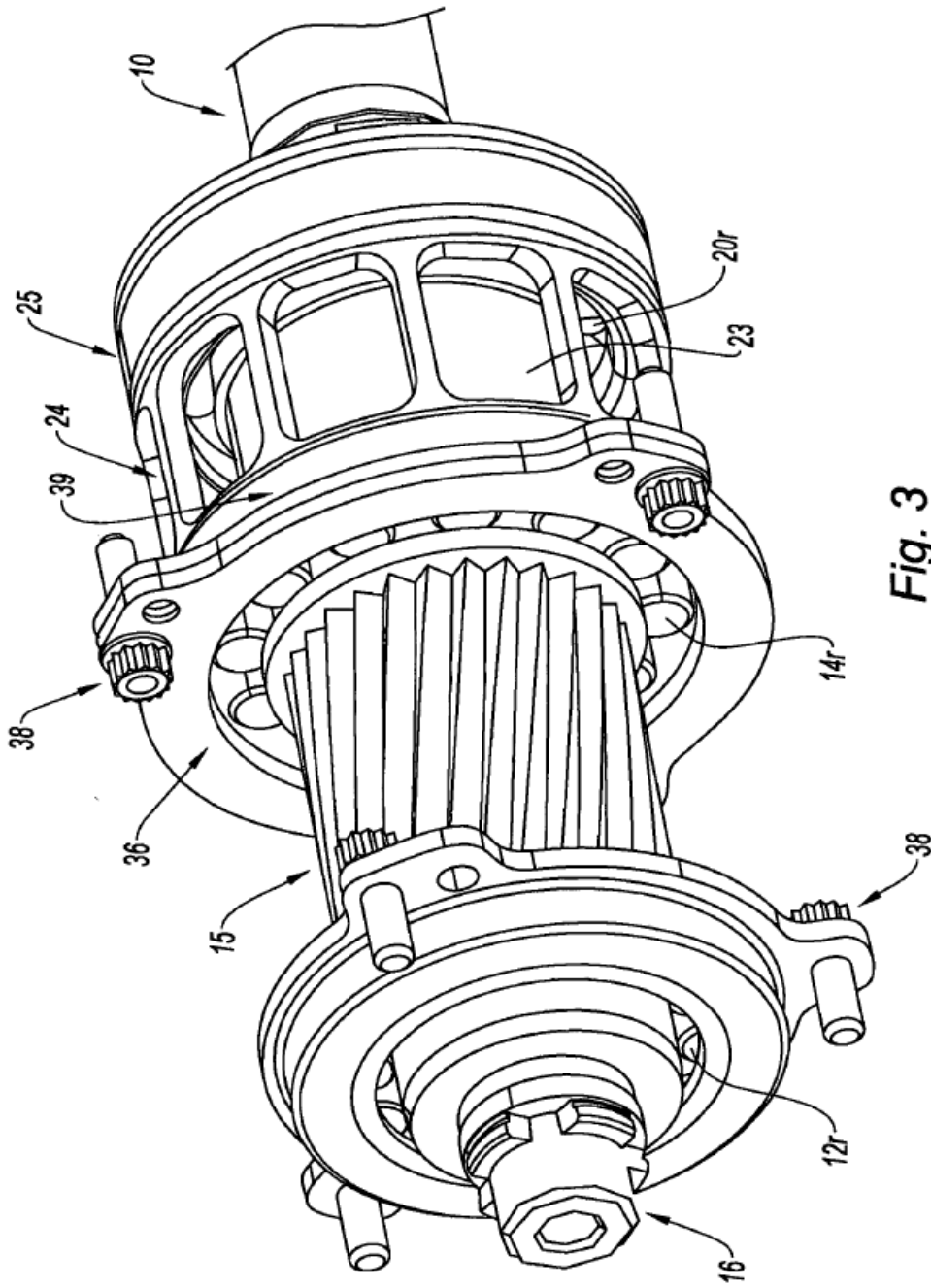


Fig. 3

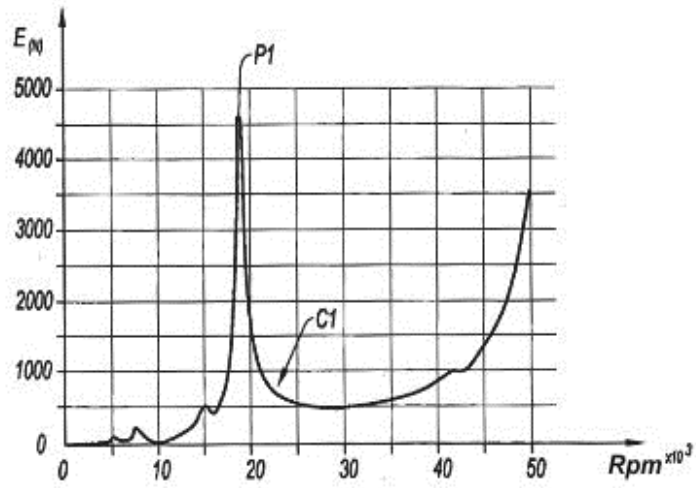


Fig. 4a

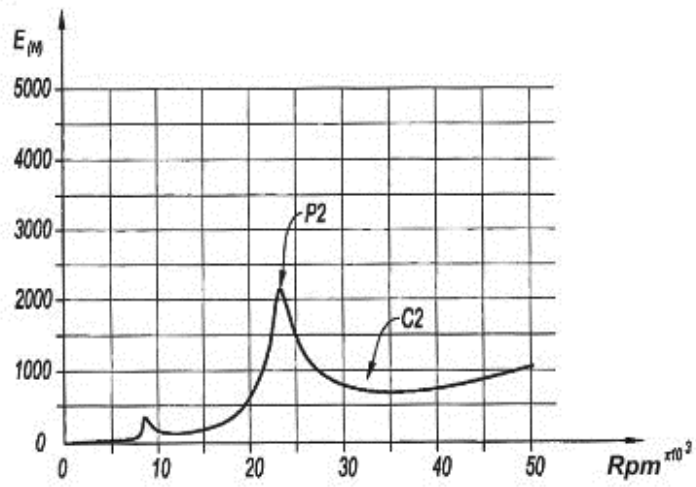


Fig. 4b