

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 923 876**

51 Int. Cl.:

H02P 5/747 (2006.01)

F16H 3/72 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2017** **PCT/EP2017/067039**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.01.2018** **WO18007567**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2017** **E 17734776 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.06.2022** **EP 3482490**

54 Título: **Transmisión de velocidad variable con impulsor auxiliar y sistema que usa el mismo**

30 Prioridad:

08.07.2016 IT 201600071644

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

03.10.2022

73 Titular/es:

NUOVO PIGNONE TECNOLOGIE - S.R.L. (100.0%)

Via Felice Matteucci 2

50127 Florence, IT

72 Inventor/es:

BRADLEY, PAUL JOHN;

BOCCADAMO, GIANLUCA y

MILANI, GIULIANO

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 923 876 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

Transmisión de velocidad variable con impulsor auxiliar y sistema que usa el mismo

5

Campo técnico

El objeto de la presente invención se refiere a sistemas que comprenden una máquina impulsada y un impulsor. Más específicamente, las realizaciones descritas en la presente descripción se refieren a sistemas donde un impulsor de velocidad constante impulsa en rotación una máquina giratoria de velocidad variable, tal como un compresor, o, por ejemplo, un tren de compresores.

Técnica anterior

El documento US-2.908.189 A describe una carcasa para fijar un generador a la porción delantera del motor de una aeronave, tal como un motor de reacción. El documento WO 2014/053421 A1 describe un sistema de turboexpansor y turbomáquina impulsada.

En varias aplicaciones industriales existe la necesidad de impulsar una carga giratoria utilizando impulsores, que giran a una velocidad de rotación constante, tal como motores eléctricos. En algunas circunstancias, la carga giratoria es una turbomáquina, tal como un compresor. Se usan grandes compresores axiales o centrífugos, de forma típica, en tuberías para presurizar el gas que se va a transportar a lo largo de la tubería. Se usan también grandes compresores centrífugos o axiales en las denominadas aplicaciones de GNL, para la licuefacción del gas natural. Se usan compresores en tales instalaciones para procesar fluidos refrigerantes, que se usan en un ciclo cerrado para enfriar el gas natural.

En algunas aplicaciones, se requiere que la velocidad de rotación de la carga giratoria cambie y se pueda modular entre, p. ej., aproximadamente un 70 % y aproximadamente un 105 % de la velocidad de rotación nominal. Los motores eléctricos pueden girar a velocidad variable interponiendo un impulsor de frecuencia variable entre la red de distribución de energía eléctrica y el motor eléctrico. Los impulsores de frecuencia variable son componentes complejos, costosos y voluminosos, ya que deben convertir tasas muy elevadas de energía requeridas por el motor eléctrico. Las aplicaciones típicas de los motores eléctricos para impulsar grandes compresores pueden requerir energías de 1 a varias decenas de MW.

Por lo tanto, existe la necesidad de sistemas que permitan una forma más conveniente de modular la velocidad de rotación de una carga de velocidad variable impulsada por un impulsor principal.

35

Resumen de la invención

Según un primer aspecto, en la reivindicación 1 se define un sistema según la invención.

La velocidad del eje de salida es una combinación de la velocidad del impulsor principal y la del impulsor auxiliar. La relación de transmisión entre el impulsor principal y la carga se puede cambiar actuando sobre el impulsor auxiliar. De esta manera, se puede hacer girar el impulsor principal a una velocidad de rotación constante, es decir, fija, mientras que la velocidad de rotación de la carga se puede modular controlando el funcionamiento del impulsor auxiliar.

45

Si el impulsor principal es un motor eléctrico, se puede prescindir de un impulsor de frecuencia variable para el impulsor principal.

El impulsor auxiliar es una turbomáquina, p. ej. un turboexpansor, o una turbina de vapor de agua o vapor. En algunas realizaciones, la carga giratoria puede ser un compresor de gas y el turboexpansor puede estar alimentado por gas procesado por el compresor de gas.

50

El impulsor auxiliar es una turbomáquina que forma parte de un ciclo termodinámico cerrado, por ejemplo, un CRO (Ciclo de Rankine Orgánico). El calor residual, por ejemplo, de un motor de turbina de gas u otra fuente de calor de baja temperatura, se aprovecha de forma útil para impulsar el impulsor auxiliar.

55

El impulsor auxiliar está acoplado mecánicamente al segundo eje de entrada de la disposición de engranajes de suma de velocidades ya sea directa o indirectamente, es decir, con la interposición de uno o más engranajes, formando, p. ej., un tren de engranajes ordinario.

60

El primer eje de entrada puede acoplarse de manera impulsora al impulsor principal directa o indirectamente, p. ej., por medio de una caja de engranajes. De manera similar, el eje de salida de la disposición de engranajes de suma de velocidades puede acoplarse mecánicamente a la carga ya sea directa o indirectamente, es decir, por ejemplo, con la interposición de una caja de engranajes u otro dispositivo de ajuste de velocidad adicional.

65

La carga incluye un compresor, tal como un compresor centrífugo, un compresor axial o un compresor axial-radial mixto, o similar. Otras cargas giratorias posibles pueden incluir compresores alternativos, en donde el impulsor principal hace girar el cigüeñal del compresor alternativo.

Aunque la disposición divulgada en la presente descripción es particularmente útil y ventajosa en sistemas en donde el impulsor principal es un motor eléctrico, se pueden usar otros impulsores principales en su lugar, tales como turbinas de gas o turbinas de vapor. El sistema, como se describe en la presente descripción, es adecuado en todas las situaciones donde el impulsor principal es una máquina principal de velocidad fija o constante. El sistema es útil siempre que el impulsor principal esté configurado para girar a una velocidad de rotación sustancialmente constante, lo que incluye no solo aquellos impulsores que están limitados a girar a una velocidad constante (tal como motores eléctricos desprovistos de un impulsor de frecuencia variable u otros dispositivos de conversión de frecuencia) sino también aquellos que se operan preferiblemente a una velocidad constante, p. ej., para maximizar la eficiencia de los mismos.

En realizaciones particularmente ventajosas, la disposición de engranajes de suma de velocidades comprende un tren de engranajes epicicloidal. Como se entiende en la presente descripción en su sentido más amplio, un tren de engranajes epicicloidal es una disposición de al menos dos engranajes que se engranan mutuamente, en donde al menos uno de dichos engranajes está soportado de forma inactiva en un elemento giratorio, que gira alrededor del eje de rotación imaginario del otro de dichos al menos dos engranajes que se engranan mutuamente.

En las configuraciones descritas en la presente descripción, el tren de engranajes epicicloidal tiene al menos dos grados de libertad y al menos tres engranajes que se engranan, de los cuales al menos uno (engranaje planetario) está soportado de forma inactiva en un miembro (portaplanetas) que gira alrededor de un eje de rotación imaginario estacionario de otro de los engranajes que se engranan formando el tren.

Según un aspecto adicional, en la presente descripción se describe un método para operar una carga giratoria de velocidad variable como se define en la reivindicación 9.

Breve descripción de los dibujos

Una apreciación más completa de las realizaciones descritas de la invención y muchas de sus ventajas relacionadas se obtendrá fácilmente a medida que la misma se entienda mejor por referencia a la siguiente descripción detallada al considerarse en relación con los dibujos adjuntos, en donde:

la Fig. 1 ilustra esquemáticamente un primer ejemplo de un sistema que no es según la invención;

la Fig. 2 ilustra esquemáticamente un segundo ejemplo de un sistema que no es según la invención;

las Figs. 3 y 4 ilustran vistas en sección de transmisiones de velocidad variable de los sistemas de las Figs. 1 y 2;

la Fig. 5 ilustra esquemáticamente un ejemplo adicional de un sistema que no es según la invención;

las Figs. 6 y 7 ilustran vistas en sección de una transmisión de velocidad variable del sistema de la Fig. 5;

la Fig. 8 ilustra una vista en sección según la línea VIII-VIII de la Fig. 7;

la Fig. 9 ilustra un esquema de un ciclo combinado de turbina de gas/OCR que comprende un expansor acoplado a una unidad de transmisión de velocidad variable según la presente invención,

Descripción detallada de las realizaciones

La siguiente descripción detallada de las realizaciones ilustrativas se refiere a los dibujos adjuntos. Los mismos números de referencia en diferentes dibujos identifican elementos idénticos o similares. De manera adicional, los dibujos no están necesariamente dibujados a escala. Además, la siguiente descripción detallada no limita la invención. En lugar de ello, el alcance de la invención queda definido por las reivindicaciones adjuntas.

En la memoria descriptiva, las referencias a “una realización” o “algunas realizaciones” significan que un elemento, estructura o característica particular descrito en relación con una realización está incluido en al menos una realización del objeto descrito. Por lo tanto, la utilización de la expresión “en una realización” o “en algunas realizaciones” en varias partes de la memoria descriptiva no se refiere necesariamente a la misma realización o realizaciones.

A continuación, con referencia a la Fig. 1, en una realización un sistema 1 comprende un impulsor principal 3 y una carga giratoria 5. En la realización ilustrativa de la Fig. 1, que no es según la presente invención, la carga giratoria 5 comprende dos máquinas giratorias 5A y 5B. Una o ambas máquinas giratorias 5A, 5B pueden comprender un compresor, por ejemplo, un compresor centrífugo o un compresor axial, o un compresor alternativo, o una combinación

de estos. En la siguiente descripción se asumirá a manera de ejemplo que ambas máquinas giratorias 5A, 5B son compresores. Según el esquema de la Fig. 1, los dos compresores 5A, 5B están acoplados mecánicamente a un único eje 7 y, por lo tanto, giran a la misma velocidad. En otras realizaciones, no mostradas, puede disponerse una caja de engranajes, por ejemplo, entre los dos compresores 5A, 5B, de manera que estos últimos puedan rotar a diferentes velocidades de rotación.

En la realización de la Fig. 1, el impulsor principal 3 puede incluir un motor eléctrico, alimentado por una red 9 de distribución de energía eléctrica. El impulsor principal 3 puede girar a una velocidad de rotación fija, es decir, constante, de manera que se pueda prescindir de un impulsor de frecuencia variable. Para modificar la velocidad de rotación de la carga 5, se dispone una transmisión 11 de velocidad variable a lo largo de la línea del eje entre el impulsor principal 3 y la carga 5. La transmisión 11 de velocidad variable se puede acoplar funcionalmente a un equipo 12 de control, que además se interconecta con la carga 5 o con el proceso, del que la carga 5 forma parte. El equipo 12 de control puede configurarse para modificar la velocidad de rotación del eje 7, que conecta de manera impulsora una salida de la transmisión 11 de velocidad variable a la carga 5, con respecto a la velocidad de rotación fija de un eje 13 que conecta de manera impulsora el impulsor principal 3 a una entrada de la transmisión 11 de velocidad variable.

La Fig. 2 ilustra una realización ilustrativa adicional de un sistema que no es según la presente invención,

Los mismos números de referencia designan los mismos componentes, elementos o piezas que se muestran en la Fig. 1 y que no se describirán de nuevo. La principal diferencia entre el sistema de la Fig. 1 y el sistema de la Fig. 2 es una caja 15 de engranajes dispuesta entre el eje 8 de salida de la transmisión 11 de velocidad variable y el eje 7, que transmite movimiento a la carga 5. Se puede usar la caja 15 de engranajes si, p. ej., la relación de velocidad requerida entre la velocidad de rotación del eje de salida del impulsor principal 3 y la velocidad de rotación de la carga 5 no se puede lograr únicamente mediante la transmisión 11 de velocidad variable.

A continuación, con referencia a la Fig. 3, sin dejar de hacer referencia a las Figs. 1 y 2, se describirá una posible realización de la transmisión 11 de velocidad variable. La transmisión 11 de velocidad variable comprende una disposición 21 de engranajes de suma de velocidades que comprende un primer eje 23 de entrada, un segundo eje 25 de entrada y un eje 27 de salida. El eje 27 de salida está acoplado mecánicamente al eje 7 o puede formar parte del mismo. El eje 23 de entrada está acoplado mecánicamente al eje 13 o puede formar parte del mismo.

En la realización de la Fig. 3, la disposición 21 de engranajes de suma de velocidades es un tren de engranajes epicicloidal. El tren 21 de engranajes epicicloidal comprende un engranaje anular 31 y un portaplanetas 33, que soporta una pluralidad de engranajes planetarios 35. Cada engranaje planetario 35 está montado de manera inactiva en un pasador 37 restringido al portaplanetas 33 y gira con el mismo. El tren 21 de engranajes epicicloidal además comprende un engranaje central 39 enclavado en el eje 27 de salida y que gira con el mismo.

En la realización de la Fig. 3, el engranaje anular 31 es un engranaje interno y los engranajes planetarios 35 están engranados con el engranaje 31 anular interno. Los engranajes planetarios 35 además están engranados con el engranaje central 39. El portaplanetas 33 está enclavado en el primer eje 23 de entrada y gira con el mismo alrededor del eje imaginario del engranaje anular 31 y del engranaje central 39, de manera que el engranaje anular 31, el engranaje central 39 y el portaplanetas 33 son coaxiales.

El engranaje anular 31 gira solidariamente con un engranaje 41, que recibe movimiento de un impulsor auxiliar 43. En la realización de la Fig. 3, el impulsor auxiliar 43 está acoplado mecánicamente al engranaje 41 por medio de un piñón 45 que está enclavado en un eje impulsor 47 del impulsor auxiliar 43. Por lo tanto, el tren 21 de engranajes epicicloidal tiene dos grados de libertad y recibe la energía de entrada del impulsor principal 3 y del impulsor auxiliar 43.

En la realización ilustrativa de la Fig. 3, el impulsor auxiliar 43 es un motor eléctrico. El motor eléctrico 43 está alimentado por la red 9 de distribución de energía eléctrica. Para que el motor eléctrico 43 gire a una velocidad variable, se dispone un impulsor 49 de frecuencia variable (VF) entre la red 9 de distribución de energía eléctrica y el motor eléctrico 43.

Como se sabe, la relación de velocidad τ_0 entre el primer engranaje y el último engranaje de un tren de engranajes epicicloidal viene dada por la fórmula de Willis

$$\tau_0 = \frac{\Omega_n - \Omega_p}{\Omega_1 - \Omega_p}$$

en donde:

Ω_n es la velocidad de rotación del último engranaje del tren de engranajes epicicloidal

Ω_p es la velocidad de rotación del portaplanetas

Ω_1 es la velocidad de rotación del primer engranaje del tren de engranajes epicicloidal

Como se muestra mediante la fórmula de Willis, la relación de transmisión entre el primer eje 23 de entrada y el eje 27 de salida se puede ajustar modulando la velocidad de rotación del engranaje anular 31. La velocidad de rotación del engranaje anular 31 se puede controlar controlando la velocidad de rotación del impulsor auxiliar, es decir, el motor eléctrico 43, lo que se logra mediante el impulsor 49 de frecuencia variable.

El rango de variación de la velocidad en torno a la velocidad nominal de la carga 5 suele ser pequeño. El tren 21 de engranajes epicicloidal puede diseñarse de tal manera que proporcione una relación de transmisión de velocidad que sea adecuada para impulsar la carga 5 a una velocidad de rotación preestablecida dada, que puede, p. ej., ser la velocidad máxima (por ejemplo, 105 % de la velocidad nominal de la carga 5). Si se requiere una velocidad diferente, p. ej., si la carga debe impulsarse al 100 % o a menos del 100 % de la velocidad nominal de la misma, el impulsor auxiliar 43 se pone en movimiento, para hacer girar el engranaje anular 31 a una velocidad tal que, basándose en la fórmula de Willis, el eje 27 de salida gira a la velocidad de rotación requerida de la carga 5. La impulsión auxiliar 43 se puede controlar para que gire en ambas direcciones (en sentido de las agujas del reloj y en sentido contrario a las agujas del reloj) y, por otra parte, la energía eléctrica puede recuperarse a través del impulsor auxiliar 43 cuando este último frena el engranaje anular 31.

Dado que el rango de variación de la velocidad de rotación de la carga 5 es relativamente pequeño, la velocidad de rotación del engranaje anular 31 y, por lo tanto, la energía total requerida del impulsor auxiliar 43 es pequeña si se compara con la energía de impulsión proporcionada por el impulsor principal 3. Por ejemplo, la disposición puede establecerse de modo que la energía requerida del impulsor auxiliar 43 sea aproximadamente el 15 % de la energía de entrada total cuando la carga 5 discurre aproximadamente al 105 % de la velocidad nominal.

El impulsor 49 de frecuencia variable requerido para hacer girar el impulsor auxiliar 47 a la velocidad de rotación deseada puede tener, por lo tanto, una energía nominal sustancialmente baja, si se compara con un impulsor de frecuencia variable que se requiere cuando se controla la modulación de velocidad de rotación cambiando la velocidad del impulsor principal 3. El impulsor 49 de frecuencia variable es, por lo tanto, sustancialmente más pequeño y más económico que un impulsor de frecuencia variable adecuado para impulsar el impulsor principal 3 a una velocidad variable. Adicionalmente, dado que la eficiencia del impulsor de frecuencia variable es inferior al 100 %, un impulsor 49 de frecuencia variable que procesa solo una fracción de la energía total requerida para impulsar la carga 5 también reduce las pérdidas totales de conversión de energía eléctrica con respecto a una disposición de la técnica actual, donde la totalidad de la energía eléctrica es convertida por un impulsor de frecuencia variable acoplado al accionador principal 3.

La disposición 21 de engranajes de suma de velocidades de la Fig. 2 está configurada de manera que el engranaje central está enclavado en el eje 27 de salida, es decir, la salida de la disposición de engranajes de suma de velocidades es el engranaje central, mientras que el primer eje de entrada es el eje 23, acoplado de manera impulsora al portaplanetas 33 y el segundo eje de entrada es el eje 25, acoplado de manera impulsora al engranaje anular 31. Esta no es la única configuración posible para la disposición de engranajes de suma de velocidades. Como saben los expertos en la técnica, los trenes de engranajes epicicloidales pueden configurarse de varias maneras diferentes y los diversos elementos giratorios de los mismos pueden usarse de diferentes maneras como miembros de entrada o salida.

La Fig. 4 ilustra una realización ilustrativa adicional de la transmisión 11 de velocidad variable, usando una disposición 21 de engranajes de suma de velocidades diferente. Los mismos números de referencia designan componentes iguales o equivalentes a los ilustrados en la Fig. 3.

La disposición 21 de engranajes de suma de velocidades es de nuevo un tren de engranajes epicicloidal y comprende un primer eje 23 de entrada, un segundo eje 25 de entrada y un eje 27 de salida. El eje 27 de salida está acoplado mecánicamente al eje 7 o puede formar parte del mismo. El eje 23 de entrada está acoplado mecánicamente al eje 13 o puede formar parte del mismo.

El tren 21 de engranajes epicicloidal de la Fig. 4 comprende de nuevo un engranaje anular 31 y un portaplanetas 33, que soporta una pluralidad de engranajes 35 planetarios. Cada engranaje planetario 35 está montado de manera inactiva en un pasador 37 respectivo restringido al portaplanetas 33 y que gira con el mismo. El tren 21 de engranajes epicicloidal además comprende un engranaje central 39 enclavado en el eje 27 de salida y que gira con el mismo. En la realización de la Fig. 4, el engranaje anular 31 es de nuevo un engranaje interno y los engranajes planetarios 35 están engranados con el engranaje 31 anular interno. Los engranajes planetarios 35 además están engranados con el engranaje central 39. A diferencia de la realización de la Fig. 3, en la Fig. 4, el engranaje anular 31 está enclavado en el primer eje 23 de entrada y gira con el mismo.

Se proporciona el portaplanetas 33 con un engranaje 42, que recibe movimiento del impulsor auxiliar 43. En la realización de la Fig. 4, el impulsor auxiliar 43 está acoplado mecánicamente al engranaje 42 por medio de un piñón 45 que está enclavado en un eje impulsor 47 del impulsor auxiliar 43.

5 De manera similar a la Fig. 3, en la Fig. 4, el impulsor auxiliar 43 también es un motor eléctrico alimentado por la red 9 de distribución de energía eléctrica. La variación de velocidad de rotación del impulsor auxiliar 43 se obtiene de nuevo a través de un impulsor de frecuencia variable (VF) 49 dispuesto entre la red 9 de distribución de energía eléctrica y el motor eléctrico 43.

10 En la realización de la Fig. 4, el impulsor principal 3 transmite, por lo tanto, la energía principal a la carga 5 a través de la transmisión 11 de velocidad variable, de donde se modula la relación de transmisión actuando sobre el portaplanetas 33, en lugar de sobre el engranaje anular 31, como se muestra en la realización de la Fig. 3.

15 En ambas realizaciones, la velocidad de rotación de la carga 5 está controlada por el equipo 12 de control, que proporciona una señal a la transmisión 11 de velocidad variable para modificar la velocidad de rotación de la carga 5 actuando sobre el impulsor auxiliar 43.

La Fig. 5 ilustra un esquema de una realización ilustrativa adicional de un sistema que no es según la presente invención. El sistema está de nuevo etiquetado con el 1 en su conjunto y comprende un impulsor principal 3 y una carga 5. El impulsor principal 3 puede ser un impulsor de velocidad fija, tal como un motor eléctrico. La carga se muestra en este caso como un único compresor 5, p. ej., un compresor centrífugo, un compresor axial o un compresor alternativo. Una transmisión 11 de velocidad variable está dispuesta entre el impulsor y la carga 5 y está acoplada de manera impulsora al impulsor principal 3 por medio del eje 13 y a la carga 5 por medio del eje 7. Se proporciona un equipo 12 de control, que está configurado para controlar la velocidad de rotación de la carga 5 por medio de la transmisión 11 de velocidad variable.

A continuación, con referencia a la Fig. 6, sin dejar de hacer referencia a la Fig. 5, se describe una posible realización de la transmisión 11 de velocidad variable para el sistema de la Fig. 5. La transmisión 11 de velocidad variable comprende una disposición 21 de engranajes de suma de velocidades que comprende un primer eje 23 de entrada, un segundo eje 25 de entrada y un eje 27 de salida. El eje 27 de salida está acoplado mecánicamente al eje 7 o puede formar parte del mismo. El eje 23 de entrada está acoplado mecánicamente al eje 13 o puede formar parte del mismo.

En la realización de la Fig. 6, la disposición 21 de engranajes de suma de velocidades es un tren de engranajes epicicloidial configurado sustancialmente de la misma manera que en la Fig. 3. El tren 21 de engranajes epicicloidial comprende un engranaje anular 31 y un portaplanetas 33, que soporta una pluralidad de engranajes planetarios 35. Cada engranaje planetario 35 está montado de manera inactiva en un pasador 37 restringido al portaplanetas 33 y gira con el mismo. El tren 21 de engranajes epicicloidial además comprende un engranaje central 39 enclavado en el eje 27 de salida y que gira con el mismo. En la realización de la Fig. 6, el engranaje anular 31 es un engranaje interno y los engranajes planetarios 35 se engranan con el engranaje 31 anular interno y con el engranaje central 39. El portaplanetas 33 está enclavado en el primer eje 23 de entrada y gira con el mismo.

El engranaje anular 31 gira solidariamente con un engranaje 41, que recibe movimiento de un impulsor auxiliar 143. En la realización de la Fig. 6, el impulsor auxiliar 143 está acoplado mecánicamente al engranaje 41 por medio de un piñón 45 que está enclavado en un eje impulsor 47 del impulsor auxiliar 43.

En la realización de la Fig. 6, el impulsor auxiliar 143 es un turboexpansor, por ejemplo, un turboexpansor centrífugo, que puede estar provisto de álabes 149 de guía de entrada variable. El turboexpansor 143 puede alimentarse mediante un gas de proceso comprimido, suministrado, p. ej., a través de un conducto 145 de entrada (Fig. 5). El gas de proceso comprimido se expande en el turboexpansor 143 y se descarga a través de un conducto 147 de suministro (Fig. 5). La caída de entalpía del gas de proceso a través del turboexpansor 143 se convierte en energía mecánica para impulsar el engranaje anular 31. La cantidad de energía mecánica generada por el turboexpansor 143 y, por lo tanto, la velocidad de rotación del engranaje anular 31 y, en última instancia, la relación de transmisión de la transmisión 11 de velocidad variable, se puede ajustar por medio de los álabes 149 de guía de entrada variable y/o por medio de una válvula 151 de presión de gas. El equipo 12 de control puede conectarse funcionalmente a dichos componentes para modular la relación de transmisión de la transmisión 11 de velocidad variable y adaptar la velocidad de rotación del eje 27 de salida a la velocidad de rotación requerida de la carga 5 que actúa tanto sobre los álabes 149 de guía de entrada variable como sobre la válvula 151 de presión de gas, o sobre solo uno de dichos componentes.

En algunas realizaciones, como se muestra esquemáticamente en la Fig. 5, el compresor 5 proporciona el gas que se expande a través del turboexpansor 143, es decir, una fracción del gas procesado a través del compresor 5 se usa para proporcionar energía mecánica por medio del turboexpansor 143. El turboexpansor puede proporcionarse con un freno para bloquear el eje del mismo al inicio del sistema, si así se requiere. Este puede ser particularmente

el caso cuando el gas que se expande a través del turboexpansor 143 es el mismo gas procesado a través del compresor 5.

En otras realizaciones, se puede proporcionar una fuente diferente de un fluido presurizado para alimentar el turboexpansor. En otras realizaciones adicionales, se puede usar otra turbomáquina, p. ej., una bomba, cuando un líquido presurizado está disponible como fuente de alimentación.

Con referencia a la Fig. 7, sin dejar de hacer referencia a las Figs. 5 y 6, se muestra una realización adicional de la transmisión 11 de velocidad variable. La diferencia entre las realizaciones de las Figs. 6 y 7 se refiere principalmente a la disposición diferente de los engranajes en el tren 21 de engranajes epicicloidial. El tren 21 de engranajes epicicloidial de la Fig. 7 comprende de nuevo un engranaje anular 31 y un portaplanetas 33, que soporta una pluralidad de engranajes planetarios 35. Cada engranaje planetario 35 está montado de manera inactiva en un pasador 37 respectivo restringido al portaplanetas 33 y que gira con el mismo. El tren 21 de engranajes epicicloidial además comprende un engranaje central 39 enclavado en el eje 27 de salida y que gira con el mismo. En la realización de la Fig. 7, el engranaje anular es de nuevo un engranaje interno y los engranajes planetarios 35 están engranados con el engranaje 31 anular interno. Los engranajes planetarios 35 además están engranados con el engranaje central 39. A diferencia de la realización de la Fig. 6, en la Fig. 7, el engranaje anular 31 está enclavado en el primer eje 23 de entrada y gira con el mismo.

Se proporciona el portaplanetas 33 con un engranaje 42, que gira solidariamente con el mismo. El engranaje 42 recibe movimiento del impulsor auxiliar 143. En la realización de la Fig. 7, el impulsor auxiliar 143 está acoplado mecánicamente al engranaje 42 por medio de un piñón 45 que está enclavado en un eje impulsor 47 del impulsor auxiliar 143. A manera de ejemplo, un tren 46, 48 de engranajes adicional está dispuesto entre el piñón 45 y el engranaje 42.

La Fig. 8 ilustra una vista en sección transversal a lo largo de la línea VIII-VIII que muestra los componentes principales del tren 21 de engranajes epicicloidial de la Fig. 7.

La operación de la transmisión 11 de velocidad variable de la Fig. 7 es sustancialmente la misma que la descrita anteriormente en relación con la Fig. 6.

La Fig. 9 ilustra una realización según la presente invención. Los mismos números de referencia designan elementos iguales o correspondientes ya descritos en relación con las figuras anteriores. En la realización de la Fig. 9, la transmisión 11 de velocidad variable está acoplada a un impulsor auxiliar en forma de una turbomáquina 243, por ejemplo, un CRO (Ciclo de Rankine Orgánico). Los números de referencia 23 y 27 designan de nuevo el eje de entrada y el eje de salida de la transmisión 11 de velocidad variable. Los componentes internos de la transmisión 11 de velocidad variable no se muestran en la Fig. 9 y pueden diseñarse según una cualquiera de las realizaciones descritas en la presente descripción.

La turbina de CRO 243 está dispuesta en un circuito cerrado 245 de, por ejemplo, un ciclo de Rankine orgánico. En otras realizaciones, el circuito cerrado 245 puede ser un ciclo de Rankine y la turbina 243 puede ser una turbina de vapor.

El circuito 245 puede diseñarse de cualquier manera conocida por los expertos en la técnica. Según la invención, el circuito 245 comprende un condensador o enfriador 247, una bomba 249 y un intercambiador 251 de calor. Un fluido de trabajo circula por el circuito cerrado y es sometido a transformaciones termodinámicas cíclicas, para convertir el calor del intercambiador 251 de calor en energía mecánica útil disponible en el eje de salida de la turbina o turboexpansor 243.

El lado caliente del intercambiador 251 de calor puede recibir calor de la pila de escape de gas de un motor 253 de turbina de gas, de un motor alternativo de gas o de cualquier otra fuente de calor residual, es decir, de donde haya calor disponible a una temperatura relativamente baja. El motor 253 de turbina de gas puede formar parte de una disposición de generador de gas y puede usarse para impulsar un generador eléctrico 255. En otras realizaciones, el motor 253 de turbina de gas puede usarse para aplicaciones de impulsión mecánica, p. ej., para impulsar un compresor o un tren de compresores, una bomba o cualquier combinación de cargas giratorias.

El calor residual se recupera del gas de combustión de escape en el intercambiador 251 de calor y se usa para vaporizar y calentar un fluido orgánico, p. ej., ciclopentano o cualquier otro fluido de OCR adecuado. El fluido caliente y presurizado se expande a continuación, en el turboexpansor o la turbina 245, se enfría y posiblemente se condensa en el condensador 247 y se bombea mediante la bomba 249 de nuevo al intercambiador 251 de calor.

La expansión del fluido en el turboexpansor o la turbina 245 genera energía mecánica. La energía puede usarse como energía mecánica de entrada a través de un eje 47 de impulsión que conecta mecánicamente el turboexpansor o la turbina 245 a la transmisión 11 de velocidad variable. Si se dispone de energía mecánica adicional en el eje del turboexpansor o de la turbina 245, p. ej., debido a que la transmisión 11 de velocidad variable no requiere ninguna o poca energía, o porque el calor residual disponible desde el intercambiador 251 de

calor supera la tasa de energía requerida por la transmisión 11 de velocidad variable, al menos una parte de la energía mecánica disponible en el eje de salida del turboexpansor o turbina 245 puede convertirse en energía eléctrica mediante un generador 257 eléctrico auxiliar.

5 La disposición de la Fig. 9 puede tener como resultado una eficiencia energética global mejorada de un ciclo combinado, donde se aprovecha el calor residual de un ciclo de temperatura superior (motor 253 de turbina de gas) para generar energía eléctrica y/o mecánica útil, de la que al menos una parte puede usarse como energía de entrada auxiliar para la transmisión 11 de velocidad variable. No se requiere energía eléctrica adicional, de alta
10 calidad para impulsar el eje de entrada auxiliar de la transmisión 11 de velocidad variable.

10 Por ejemplo, en las realizaciones descritas anteriormente, la disposición de engranajes de suma de velocidades está formada por un tren de engranajes epicicloidal simple, en donde cada engranaje planetario está engranado tanto con el engranaje anular como con el engranaje central. En otras realizaciones, puede contemplarse un tren de engranajes epicicloidal complejo. En esta clase de trenes de engranajes epicicloidales, cada uno de los
15 engranajes planetarios se engrana bien solo con el engranaje anular o bien solo con el engranaje central. El portaplanetas en este caso soporta pares de engranajes planetarios.

Adicionalmente, aunque en las realizaciones descritas el engranaje anular es un engranaje interno, es decir, un anillo hueco con dientes dispuestos internamente, en otras realizaciones el engranaje anular puede ser un
20 engranaje externo, de la misma manera que el engranaje central. De hecho, en algunos casos, los engranajes anular y central se denominan acumulativamente engranajes centrales.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (1) que comprende:

un impulsor principal (3) configurado para girar a una velocidad de rotación sustancialmente constante;
 una carga giratoria (5) configurada para ser impulsada en rotación por el impulsor principal (3);
 un equipo (12) de control, para ajustar de manera controlable una velocidad de rotación de carga;
 una transmisión (11) de velocidad variable que está dispuesta entre el impulsor principal (3) y la carga (5) y que comprende una disposición (21) de engranajes de suma de velocidades que tiene un primer eje (23) de entrada, un segundo eje (25) de entrada y un eje (27) de salida;
 un impulsor auxiliar (243; 143), acoplado mecánicamente al segundo eje (25) de entrada de la disposición (21) de engranajes de suma de velocidades y configurado para girar el segundo eje (25) de entrada;
 en donde el impulsor auxiliar es una turbomáquina (243)
 en donde el primer eje (23) de entrada de la disposición (21) de engranajes de suma de velocidades está acoplado de manera impulsora al impulsor principal (3); y
 en donde el eje (27) de salida de la disposición (21) de engranajes de suma de velocidades está acoplado de manera impulsora a la carga giratoria (5);
 siendo la velocidad del eje (27) de salida una combinación de una velocidad del impulsor principal (3)
 y de una velocidad del impulsor auxiliar (243, 143);
 caracterizado por que
 la carga giratoria (5) incluye un compresor para procesar un fluido refrigerante para la licuefacción de gas natural; y
 comprendiendo además el sistema un circuito (245) termodinámico cerrado que comprende un condensador o enfriador (247), una bomba (249) y un intercambiador (251) de calor de manera que el fluido de trabajo que circula por el circuito cerrado convierte el calor del intercambiador (251) de calor en energía mecánica útil disponible en un eje de salida de la turbomáquina (243), en donde se aprovecha el calor residual para impulsar el impulsor auxiliar (243), en donde la turbomáquina (243) está dispuesta en el circuito (245) termodinámico cerrado.

2. El sistema (1) de la reivindicación 1, en donde la disposición (21) de engranajes de suma de velocidades comprende un tren de engranajes epicicloidal.

3. El sistema (1) de la reivindicación 2, en donde el tren de engranajes epicicloidal comprende un engranaje central (39), un engranaje anular (31), al menos un engranaje planetario (35) soportado sobre un portaplanetas (33).

4. El sistema (1) de la reivindicación 3, en donde el impulsor auxiliar (243) está acoplado de manera impulsora a uno del engranaje anular (31) y del portaplanetas (33).

5. El sistema (1) de la reivindicación 3, en donde el impulsor principal (3) está acoplado de manera impulsora a uno del engranaje anular (31) al portaplanetas (33).

6. El sistema (1) de la reivindicación 3, 4 o 5, en donde el eje (27) de salida está acoplado de manera impulsora al engranaje central (39).

7. El sistema (1) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el impulsor auxiliar es un turboexpansor (143) que comprende al menos un dispositivo (149; 151) de ajuste para ajustar un caudal de gas a través del turboexpansor (143), acoplado funcionalmente al equipo (12) de control.

8. El sistema de la reivindicación 7, en donde el dispositivo de ajuste comprende al menos uno de una válvula (151) de presión de gas y álabes (149) de guía de entrada variable.

9. Un método para operar una carga giratoria (5) de velocidad variable según el sistema (1) de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el método las siguientes etapas:

impulsar la carga giratoria (5) con el impulsor principal (3) de velocidad constante a través de la disposición (21) de engranajes de suma de velocidades que comprende el primer eje (23) de entrada, el segundo eje (25) de entrada y el eje (27) de salida, estando el primer eje (23) de entrada acoplado de manera impulsora al impulsor principal (3);
 variar la velocidad de la carga giratoria (5) suministrando energía auxiliar al segundo eje (25) de entrada mediante el impulsor auxiliar (243), y controlar una velocidad de rotación de la carga (5) ajustando la velocidad del impulsor auxiliar (243);

10. El método de la reivindicación 9, en donde el impulsor auxiliar es un turboexpansor (143) y en donde el gas comprimido del compresor se procesa a través del turboexpansor (143) para generar energía mecánica.
- 5 11. El método de la reivindicación 9 o la reivindicación 10, que comprende las etapas de:
- 10 hacer circular el fluido de trabajo por el circuito cerrado (245);
 suministrar calor al fluido de trabajo circulante;
 someter el fluido de trabajo circulante a transformaciones termodinámicas cíclicas, incluyendo una expansión en la turbomáquina (243), para convertir parcialmente el calor en energía mecánica; y
 suministrar al menos parte de la energía mecánica en la transmisión (11) de velocidad variable.

Fig.1

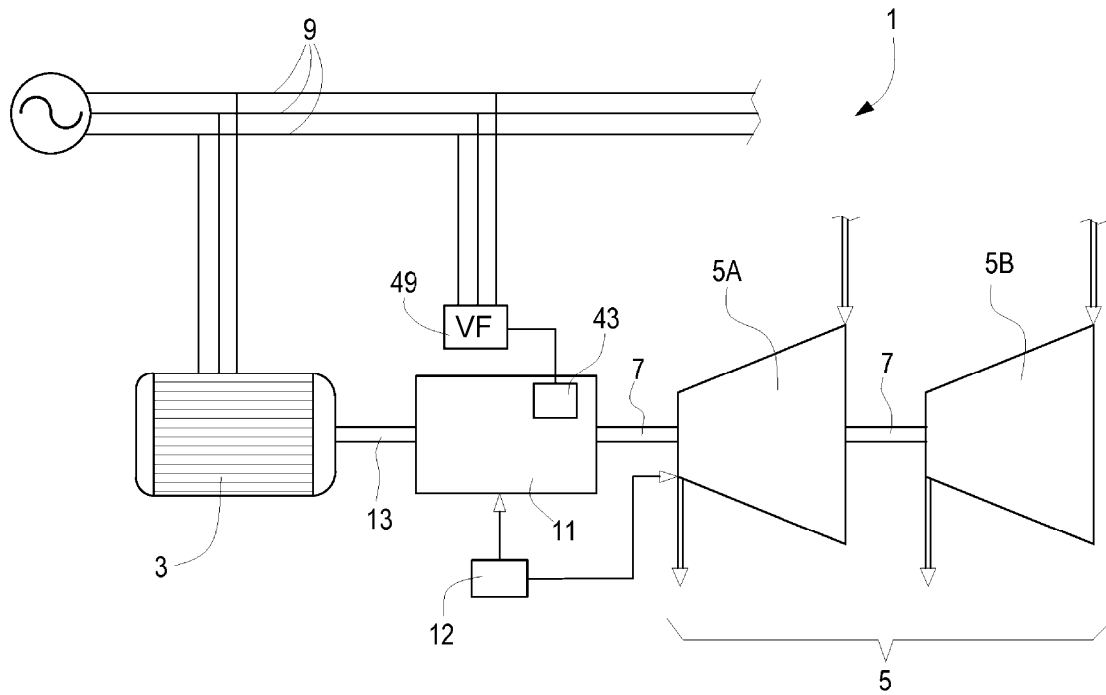
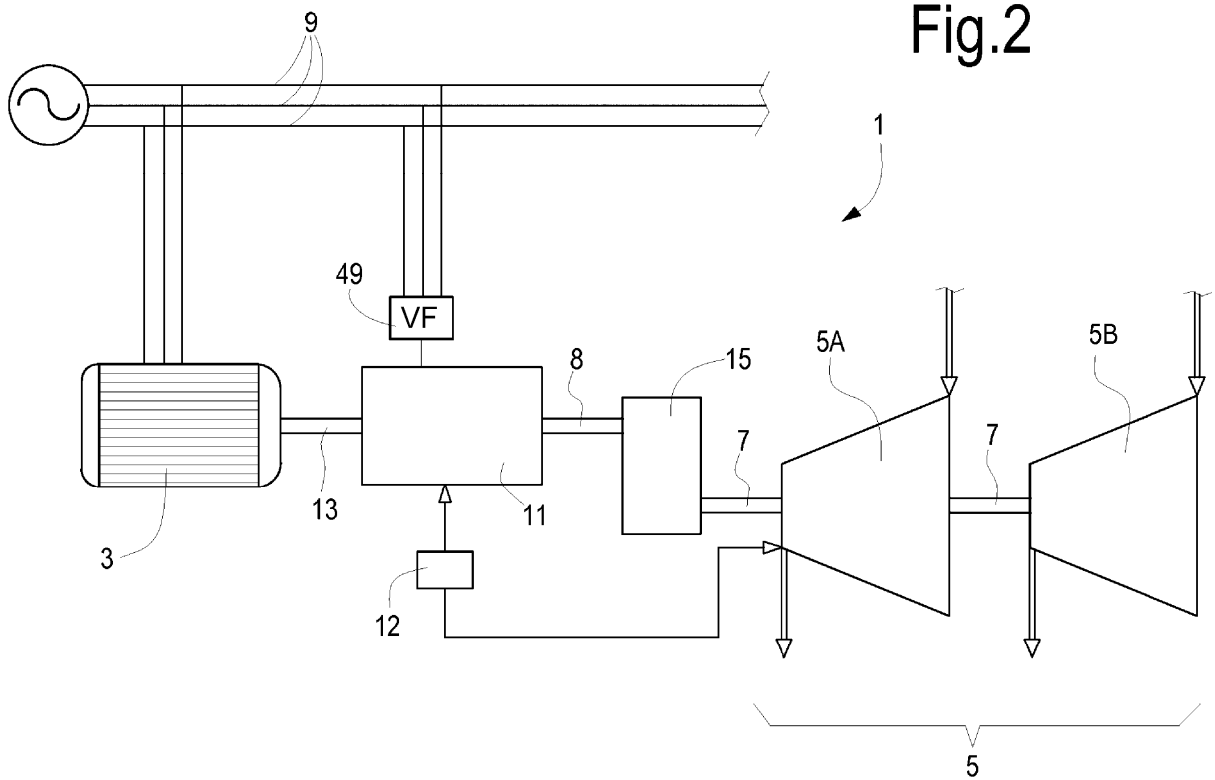


Fig.2



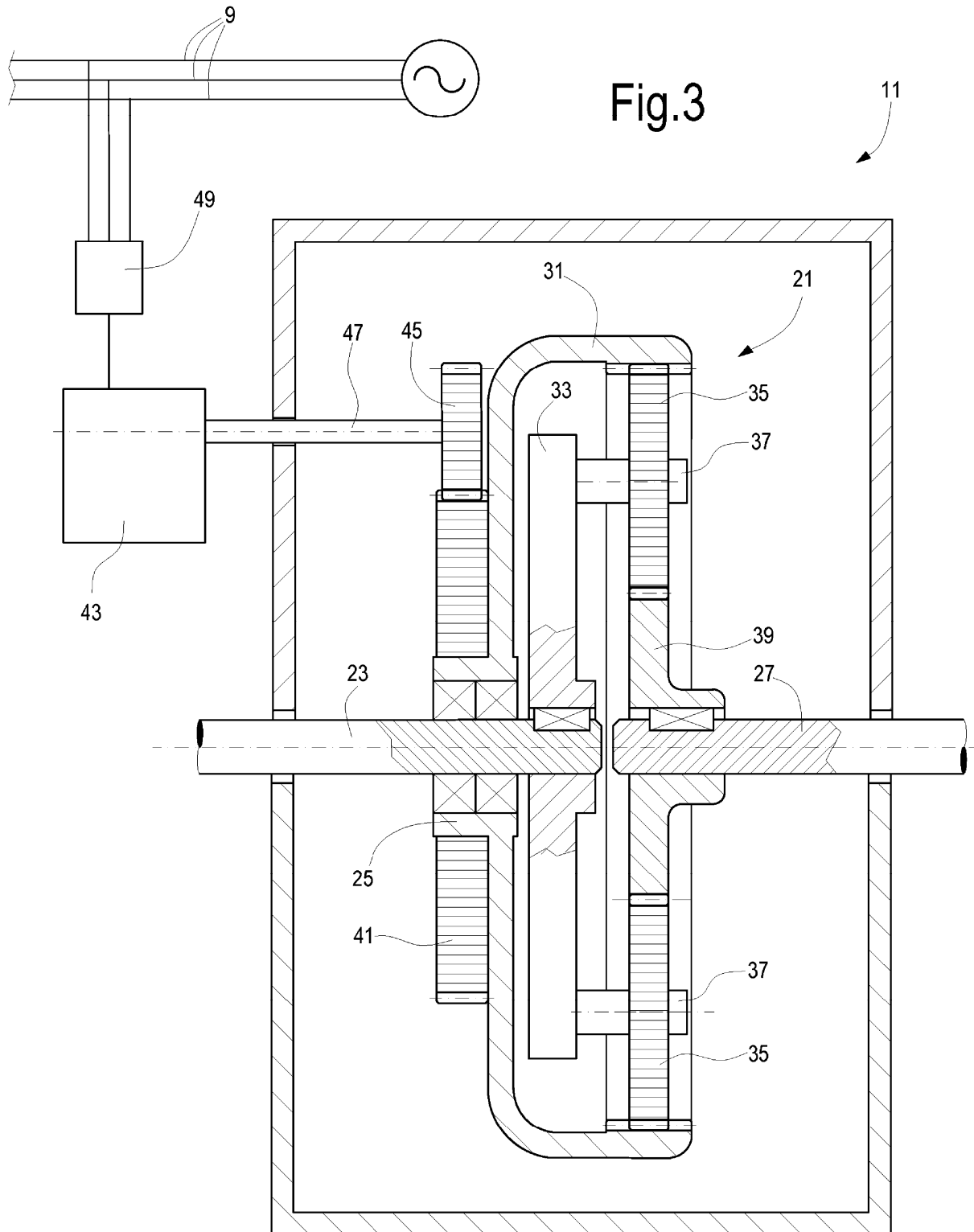
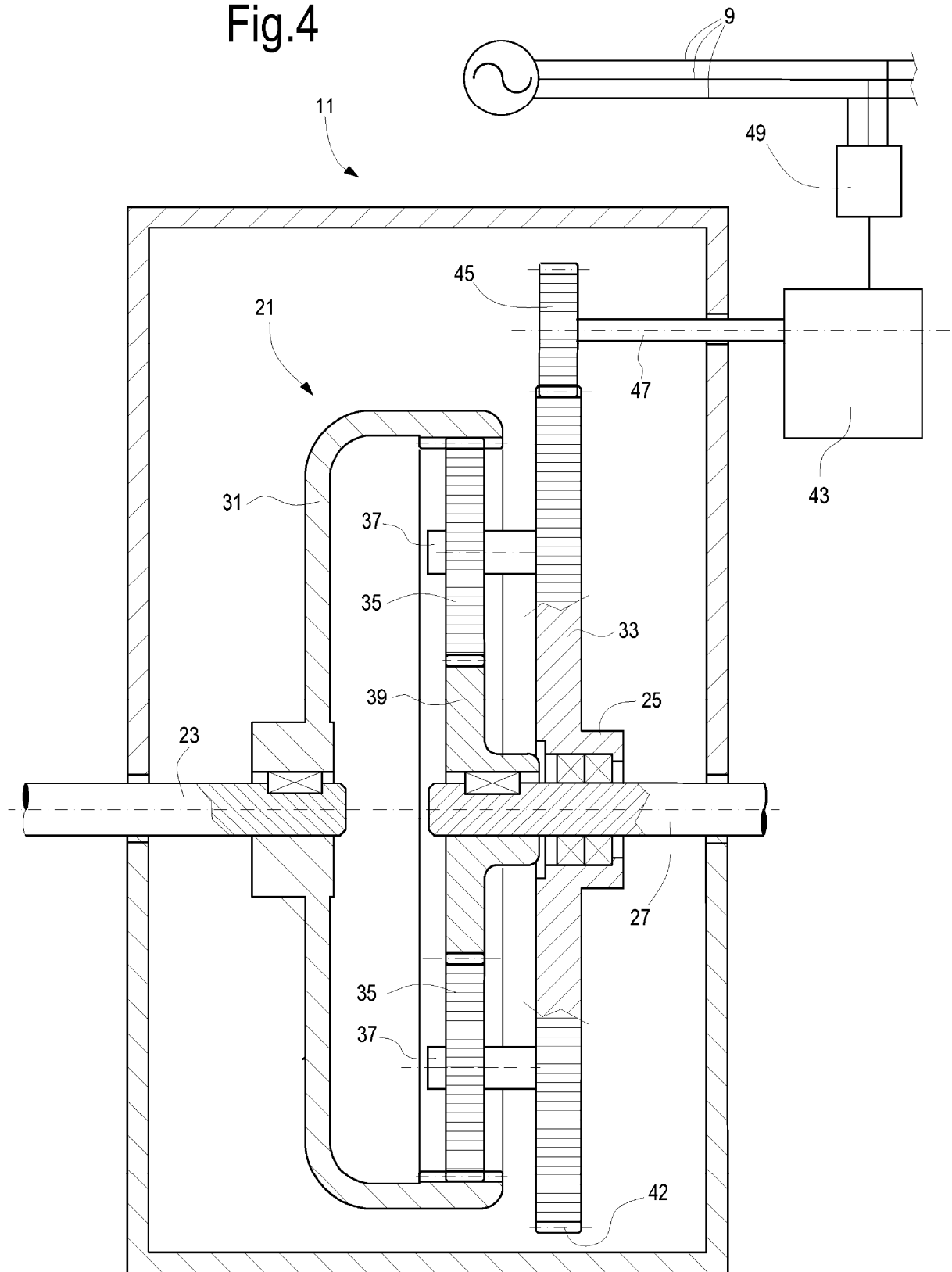
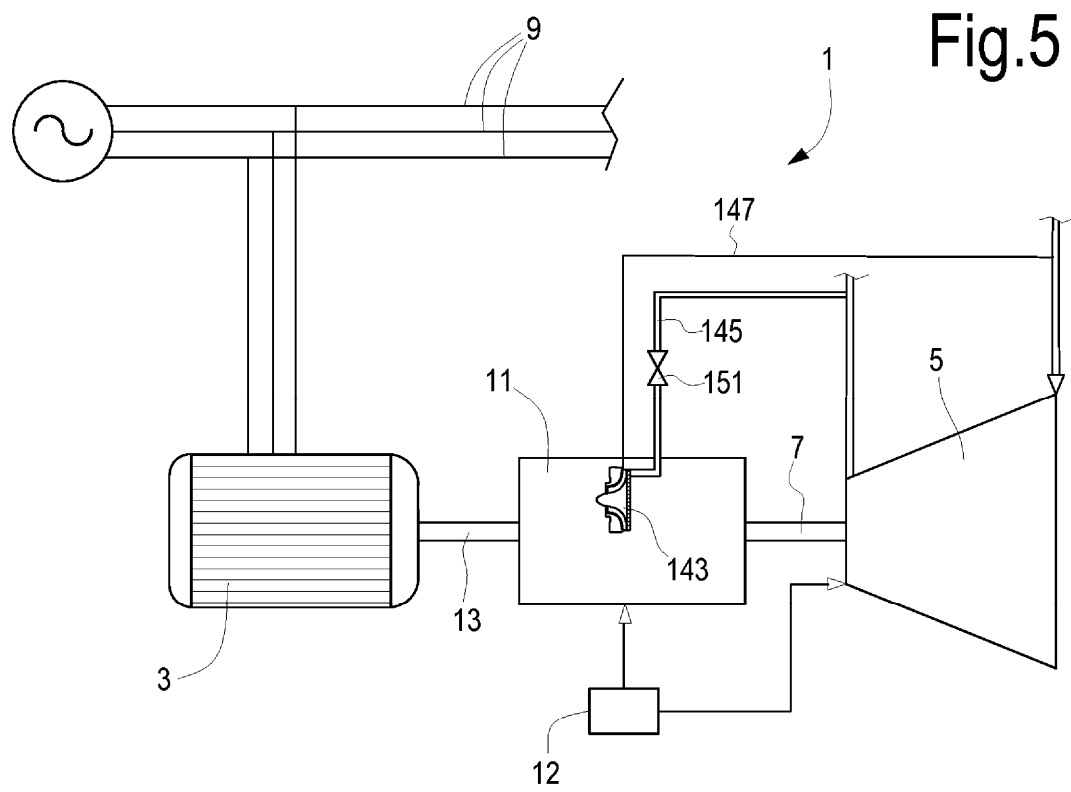


Fig.4





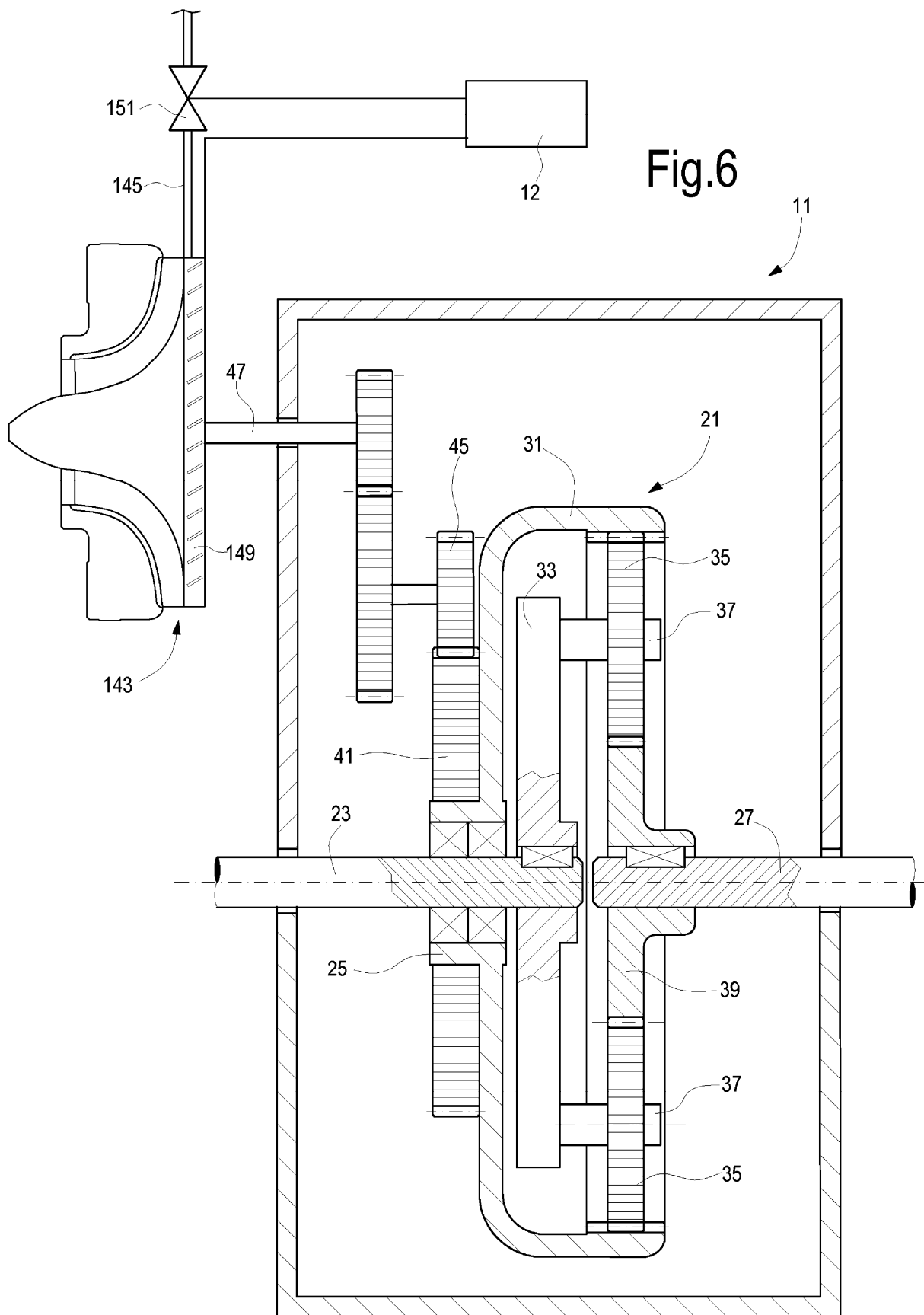


Fig.7

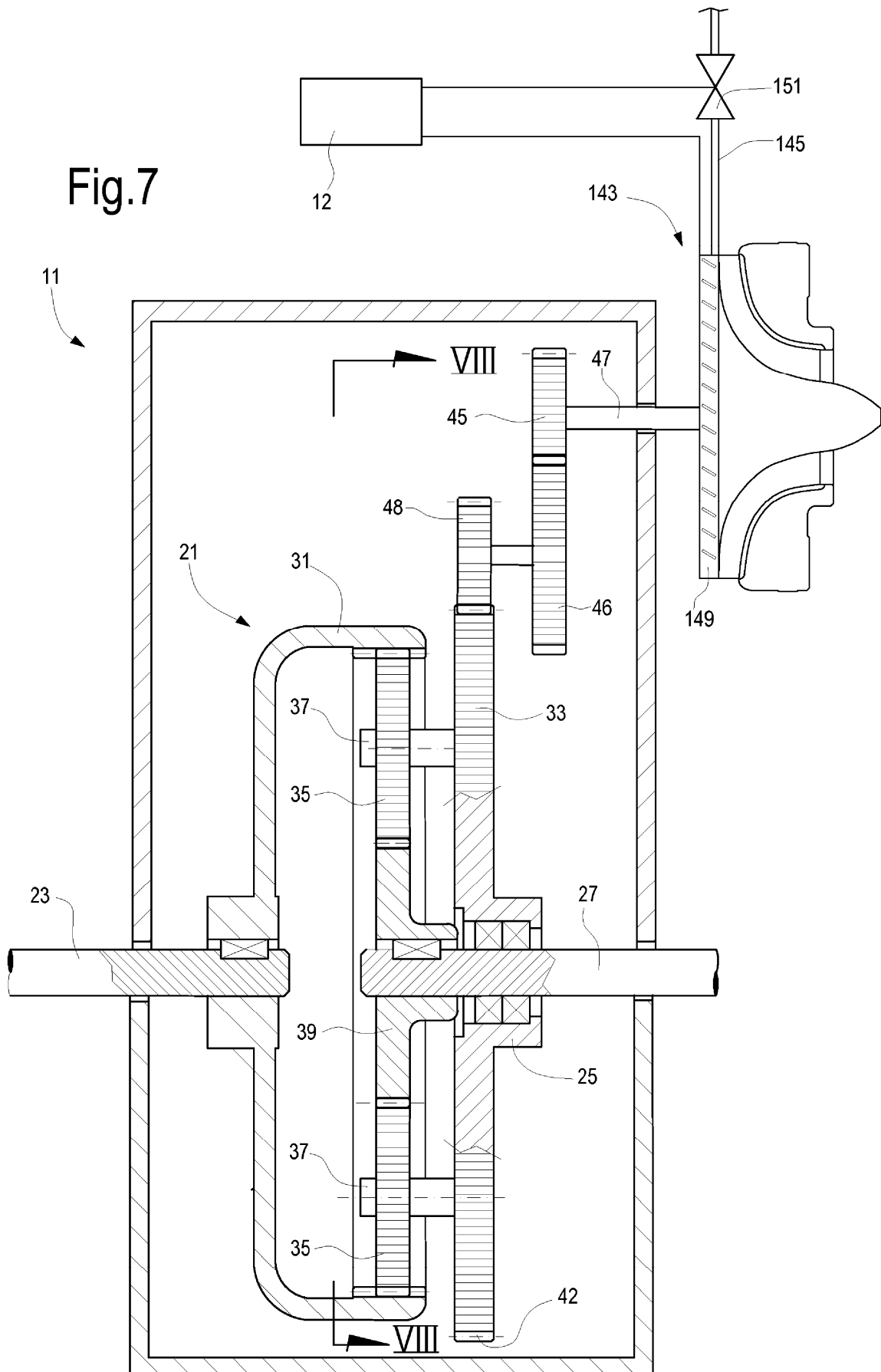


Fig.8

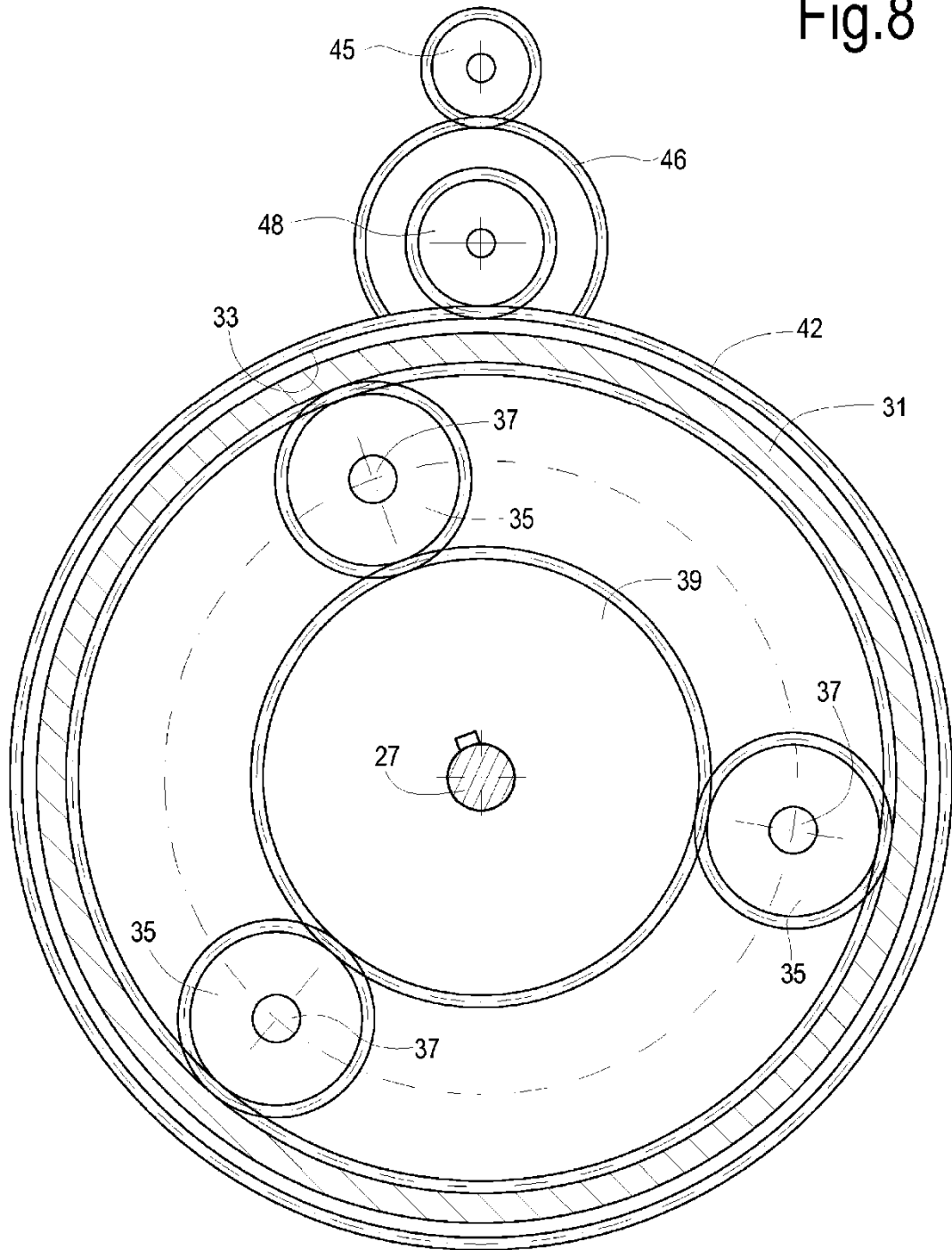


Fig.9

