(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 951 904**

(51) Int. CI.:

F02G 1/053 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.05.2018 PCT/EP2018/061441**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **15.11.2018 WO18206412**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.05.2018 E 18722503 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023 EP 3622167**

(54) Título: **Motor de gas caliente con pistón escalonado**

(30) Prioridad:

09.05.2017 DE 102017109967

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.10.2023

(73) Titular/es:

FRAUSCHER HOLDING GMBH (100.0%)
Gewerbestraße 7
4774 St. Marienkirchen, AT

(72) Inventor/es:

FRAUSCHER, JOSEF

(74) Agente/Representante:

DÍAZ DE BUSTAMANTE TERMINEL, Isidro

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

Motor de gas caliente con pistón escalonado

CAMPO TÉCNICO

La presente descripción se refiere a un motor de gas caliente con al menos un pistón de desplazamiento o de trabajo de doble efecto, por ejemplo un motor Stirling.

ANTECEDENTES

Los motores Stirling son probablemente los representantes más conocidos de los motores de gas caliente. Si se usa aire como gas de trabajo, también se usa el término motor de aire caliente. Algunos de estos motores pueden funcionar como motor de combustión externa y como bomba de calor o enfriador. Otros tipos conocidos de motores de gas caliente son, por ejemplo, el motor Manson, el motor Ericsson, etc. Hoy en día, el término "motor Stirling" se utiliza como término colectivo para diferentes motores de gas caliente con un circuito de gas cerrado (es decir, el gas de trabajo circula exclusivamente dentro del motor sin contacto con la atmósfera circundante). Se pueden distinguir tres tipos básicos de motores Stirling, que se denominan tipo alfa, tipo beta y tipo gamma, con diferentes variantes de los tipos individuales, algunos de los cuales se conocen con nombres especiales (por ejemplo, motor Rider, motor Siemens, etc.). Además, el tipo alfa distingue entre motores de simple y doble efecto. Se conocen un gran número de diseños específicos para todos estos tipos. Cada uno de los diferentes tipos y diseños de motores Stirling tiene ventajas y desventajas desde diferentes puntos de vista. El inventor se ha propuesto el objetivo de crear un motor de gas caliente mejorado que evite ciertas desventajas de los motores Stirling con pistones de desplazamiento (tipos Beta y Gamma) o con pistones de trabajo de doble efecto (tipo alfa de doble efecto) y otros tipos de motores de gas caliente La publicación US 5.103.64 describe un motor Stirling con el denominado yugo de Ross. La publicación US 3.839.858 describe otro tipo de motor de gas caliente que utiliza pistones escalonados. Se conoce un motor de gas caliente alternativo por el documento WO 91/16533.

RESUMEN

El objetivo anterior se consigue mediante el motor Stirling de acuerdo con la reivindicación 1. Varios ejemplos de realización y desarrollos adicionales son el objeto de las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con la invención, el motor de gas caliente presenta una transmisión con una biela, un cilindro y un tubo que está al menos parcialmente dispuesto en el interior del cilindro. Un extremo de un pistón diferencial al menos parcialmente hueco está situado entre el tubo y la pared interior del cilindro para formar un espacio de cilindro anular. La biela se extiende a través del tubo y está articulada al pistón diferencial en el interior de este último.

De acuerdo con otro ejemplo, el motor de gas caliente presenta una transmisión que está dispuesta en un espacio de transmisión en el que prevalece la presión ambiental. El motor Stirling presenta además un pistón escalonado de doble efecto dispuesto en un cilindro y que tiene una primera sección de mayor diámetro y una segunda sección de menor diámetro. El pistón escalonado es al menos parcialmente hueco y presenta un vástago de pistón en el interior que está acoplado mecánicamente a la transmisión. La segunda sección del pistón escalonado que mira hacia la transmisión desemboca en un espacio intermedio para el gas de trabajo del motor Stirling, y al menos una parte de un dispositivo de sellado está dispuesta dentro del pistón escalonado, que sella un paso del vástago del pistón entre el espacio intermedio y el espacio de transmisión.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención se explica con más detalle a continuación utilizando los ejemplos que se ilustran en las figuras. Las ilustraciones no están necesariamente a escala, y la invención no se limita únicamente a los aspectos ilustrados. En cambio, se valora la ilustración de los principios en los que se basa la invención. Respecto a los dibujos:

La figura 1 muestra una estructura esquemática de un motor Stirling de tipo gamma.

La figura 2 muestra una estructura esquemática de un motor Stirling de tipo alfa de doble efecto.

La figura 3 muestra un ejemplo, de acuerdo con la invención, de un motor Stirling de tipo gamma con un pistón de desplazamiento configurado como un pistón escalonado.

La figura 4 muestra un ejemplo, no de acuerdo con la invención, de una unidad de pistón-cilindro de un motor Stirling del tipo alfa de doble efecto con un pistón de trabajo configurado como un pistón escalonado.

La figura 5 muestra un ejemplo, no de acuerdo con la invención, de un motor Stirling de tipo gamma similar al de la figura 3, en donde el pistón de trabajo está configurado como un pistón escalonado (de efecto simple).

La figura 6 muestra un ejemplo, no de acuerdo con la invención, de un motor Stirling de tipo gamma que es funcionalmente similar al ejemplo de la figura 5, pero que presenta pistones y cilindros dispuestos en paralelo.

La figura 7 muestra un ejemplo, no de acuerdo con la invención, de un motor Stirling de tipo gamma que es funcionalmente similar al ejemplo de la figura 6, pero que presenta una mecanismo de transmisión llamado yugo de Ross como mecanismo de manivela.

La figura 8 muestra un ejemplo, no de acuerdo con la invención, de una unidad de pistón-cilindro de un motor Stirling de pistones de trabajo de tipo alfa de doble efecto diseñados como pistones escalonados que están acoplados a un árbol mediante un mecanismo de placa oscilante.

La figura 9 muestra un ejemplo, no de acuerdo con la invención, de un motor Stirling de tipo beta con un pistón de desplazamiento configurado como un pistón escalonado.

La figura 10 muestra un ejemplo de realización que, en lo que se refiere a la función y la cinemática, es prácticamente equivalente al ejemplo de la figura 3; sin embargo, en lugar de un pistón escalonado, se utiliza como pistón de desplazamiento un pistón diferencial al menos parcialmente hueco, que está dispuesto entre un tubo que sobresale en el cilindro y la pared interior del cilindro.

La figura 11 muestra un ejemplo de realización que, en lo que se refiere a la función y la cinemática, es prácticamente equivalente al ejemplo de la figura 5, en donde en lugar de un pistón escalonado, se utiliza un pistón diferencial al menos parcialmente hueco como pistón de desplazamiento, y se utiliza un pistón anular. como pistón de trabajo, en donde tanto el pistón diferencial como el pistón anular están dispuestos cada uno entre un tubo que sobresale en el cilindro respectivo y la pared interior del cilindro.

La figura 12 muestra un ejemplo de realización de una unidad de pistón-cilindro de un motor Stirling de tipo alfa de doble efecto (similar al de la figura 4) con un pistón de trabajo que está diseñado como un pistón diferencial que está dispuesto entre un tubo que sobresale en el cilindro y la pared interior del cilindro.

La figura 13 ilustra un ejemplo de un motor Manson con un pistón escalonado de acuerdo con los ejemplos, no de acuerdo con la invención, descritos en el presente documento.

La figura 14 muestra un acoplamiento alternativo entre el pistón escalonado y el mecanismo de manivela de un motor Stirling de acuerdo con la figura 4.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Los ejemplos descritos en el presente documento se refieren principalmente a diferentes tipos de motores Stirling. Sin embargo, los conceptos descritos en el presente documento (en particular, la forma básica del pistón y su acoplamiento mecánico a la transmisión) pueden transferirse, al menos en parte, a otros tipos de motores de gas caliente. Además, los diseños de cilindro y pistón explicados utilizando los diversos ejemplos descritos en el presente documento se pueden combinar como se desee en motores de varios cilindros. La figura 1 muestra un ejemplo de la estructura de un motor Stirling de tipo gamma. El modo de funcionamiento de un motor Stirling tipo gamma de este tipo se basa en el hecho de que, por ejemplo, un pistón de desplazamiento VK en un cilindro de desplazamiento VZ accionado por un mecanismo de manivela (por ejemplo, con cigüeñal 10 y biela 12) mueve el gas de trabajo alternativamente hacia delante y hacia atrás a través del intercambiador de calor (calentador E), regenerador R y enfriador K entre un lado "caliente" H y un lado "frío" C del cilindro de desplazamiento VZ. Los cambios de presión resultantes actúan sobre un pistón de trabajo AK (a la derecha en la figura 1), que transmite las fuerzas resultantes al cigüeñal 10 y genera allí un par. El vástago de pistón 13 del pistón de desplazamiento VK sale del cilindro de desplazamiento VZ a través de un paso (junta 30) y está conectado al cigüeñal 10 a través de una biela corta 12. El pistón de trabajo AK, que se encuentra, por ejemplo, 90 grados detrás del pistón de desplazamiento VK, está conectado a través de una línea L con el cilindro de desplazamiento VZ. No se muestran dispositivos para guiar la cabeza de biela para absorber la fuerza lateral. En las publicaciones WO 2009/082997 A2 y DE 102 29 442 A1 se describen diversos ejemplos.

Una construcción comparable al pistón de desplazamiento VK dispuesto en el cilindro de desplazamiento VZ en el tipo gamma (véase la figura 1) se usa en un motor Stirling de doble efecto del tipo alfa (también llamado tipo Siemens), que se muestra como ejemplo en la figura 2. Sin embargo, a diferencia del tipo Gamma que se muestra en la figura 1, un motor Stirling de doble efecto de tipo alfa no tiene un pistón des desplazamiento o cilindro de desplazamiento separado, sino varias unidades de cilindro de trabajo de pistón de trabajo interconectadas. Aquí, como se muestra en la figura 2, el extremo caliente H de un cilindro de trabajo AZ está conectado a través del calentador E, el regenerador R y el enfriador K con el extremo frío C del siguiente cilindro de trabajo AZ'. En este sentido, este tipo solo funciona en motores con varios cilindros. Como se muestra en la figura 2, a menudo se utilizan cuatro unidades de pistón-cilindro, cada una de las cuales tiene la misma estructura y cuyos pistones funcionan desfasados 90 grados (respecto a una revolución completa del cigüeñal). Las posiciones angulares de los pistones de trabajo individuales se muestran en la figura 2. También son posibles motores con más de cuatro unidades de pistón-cilindro. No se muestran dispositivos para guiar la cabeza de biela para absorber la fuerza

lateral. El motor Stirling de doble efecto que se muestra también se conoce como motor de gas caliente Siemens. Diversos ejemplos adicionales se describen en las publicaciones US 3.940.934, US 4.069.671 y US 4.195.554.

Lo que tienen en común ambos ejemplos de las figuras 1 y 2 es que el pistón (pistón de desplazamiento VK en el tipo gamma, véase la figura 1, o el pistón de trabajo AK en el tipo alfa de doble efecto, véase la figura 2) se mueve dentro de un cilindro hermético al gas lleno de gas de trabajo (cilindro de desplazamiento VZ en el tipo gamma o cilindro de trabajo AZ en el tipo alfa de doble efecto). La fuerza del pistón es transferida por un vástago de pistón 13 unido al pistón VK o AK. En los ejemplos mostrados, el vástago de pistón 13 pasa a través de una abertura en está en el extremo frío C del cilindro VZ o AZ y se sella (véase la figura **1**, junta 30). El extremo exterior del vástago de pistón 13 se puede conectar a una biela de un mecanismo de manivela (por ejemplo, biela 12, cigüeñal 10), que especifica los movimientos oscilantes. En relación con los ejemplos no de acuerdo con la invención descritos en el presente documento, el término vástago de pistón se refiere a un vástago que está conectado rígidamente (no de manera pivotante) al pistón respectivo, de modo que el vástago de pistón solo puede moverse a lo largo del eje longitudinal S del pistón. Por el contrario, una biela puede girar con respecto al eje longitudinal S del pistón.

En las construcciones mostradas, el vástago de pistón 13 en el área del paso del cilindro VZ (véase la figura 1) o AZ (véase la figura 2) absorbe aquellas fuerzas laterales que son causadas por la posición inclinada de la biela 12. Estas fuerzas laterales pueden ser problemáticas con respecto al almacenamiento del vástago de pistón 13. En algunas construcciones, por lo tanto, se instalan guías longitudinales adicionales, por ejemplo, guías de cruceta, para descargar el vástago del pistón 13. Sin embargo, dichos elementos mecánicos pueden conducir a un aumento de la altura total de toda la disposición, por lo que normalmente se utilizan bielas 12 relativamente cortas. Esto a su vez da como resultado una relación desfavorable entre el radio del cigüeñal r_K y la longitud de la biela l_p (valor lambda, véase la figura 1), que tiene un efecto en términos tanto de fuerzas laterales elevadas como de una proporción elevada de fuerzas de inercia de segundo orden. Además, puede ser desfavorable para el proceso termodinámico del motor Stirling si el movimiento del pistón se desvía mucho de una trayectoria sinusoidal.

En el caso de un mecanismo de manivela lubricado con aceite, puede ser necesario tomar medidas a lo largo del vástago de pistón 13 para que el aceite no pueda entrar en el espacio de proceso o en el gas de trabajo. Dichas juntas también pueden contribuir a aumentar la altura total del motor Stirling. En este punto, debe señalarse que un mecanismo de manivela se considera generalmente como una unidad funcional mecánica que está diseñada para convertir un movimiento de traslación oscilante de los pistones en una rotación. Un mecanismo de manivela no tiene que estar diseñado necesariamente como en los ejemplos de acuerdo con la figura 1 o 2, en los que las bielas se articulan directamente sobre un cigüeñal. En una configuración alternativa, el mecanismo de manivela puede tener un mecanismo de yugo de Ross. En otra configuración alternativa, se puede conectar una placa oscilante al árbol para convertir el movimiento oscilante de los pistones en rotación.

La figura 3 muestra un ejemplo mejorado de un motor Stirling de tipo gamma no de acuerdo con la invención. El ejemplo mostrado es esencialmente el mismo que el ejemplo de la figura 1, pero el pistón de desplazamiento VK presenta un cilindro hueco (tubo) con un diámetro exterior d que es más pequeño que el diámetro exterior D de la parte superior del pistón VK en su extremo inferior (en el lado "frío" C) en lugar del vástago de pistón 13. En otras palabras, el pistón VK es un pistón diferencial diseñado como pistón escalonado (de doble efecto), que tiene una primera sección S_1 con un diámetro mayor D y una segunda sección S_2 con un diámetro menor d.

El pistón de desplazamiento VK diseñado como pistón escalonado es al menos parcialmente hueco, y el cilindro hueco de diámetro d (sección S_2 del pistón escalonado) permite un paso para una biela 12 suficientemente larga, cuyo extremo superior está articulado al pistón escalonado VK en su interior en la región del diámetro mayor D (sección S_1 del pistón escalonado VK). Por lo tanto, la biela 12 no está conectada con el pistón VK en su extremo inferior, sino que se adentra en el pistón VK en la sección S_1. En comparación con el ejemplo de la figura 1, la biela 12 se puede hacer así significativamente más larga. La región del diámetro mayor D (sección S_1) está claramente delimitada en los ejemplos que se muestran en el presente documento y está (en la dirección axial) por encima del escalón en el pistón escalonado en el que el diámetro se ensancha desde el valor más pequeño d al valor más grande D. Si la transición del diámetro menor d al diámetro mayor D no tiene lugar en un solo escalón, sino gradualmente, la región S_1 del diámetro mayor es la sección de cilindro (axial) en la que el diámetro es mayor que el diámetro menor d.

El eje de pivote de la biela 12 se indica con A. La biela 12 puede articularse en el pistón mediante diferentes tipos de cojinetes. Por ejemplo, se puede utilizar un cojinete liso cilíndrico o un cojinete de rodillos. Como alternativa, se puede utilizar un cojinete de junta esférica. Este se puede disponer, por ejemplo, en el extremo superior de la biela 12. Como se ha mencionado, la biela está articulada en la primera sección S_1 del pistón escalonado (en la que el diámetro del pistón VK es mayor que el diámetro pequeño d). Esto significa que el eje de pivote A de la biela 12 está en la sección S_1.

Para absorber la fuerza lateral del pistón perpendicular al eje central S del cilindro de desplazamiento VZ, puede ser útil proporcionar un elemento de guía F (superficies de deslizamiento) en la región del diámetro grande D (sección S_1) del pistón escalonado VK y en la región del diámetro pequeño d (sección S2). Debido a la baja relación radio del cigüeñal/longitud de la biela, la fuerza del pistón perpendicular al eje central de pistón S es relativamente baja. Dado que esta fuerza se reparte entre las dos superficies de guía F, existe una carga superficial específica

extremadamente baja en las superficies deslizantes. Esta disposición permite el uso de elementos deslizantes exentos de aceite como elementos de guía F, por ejemplo hechos de compuestos de PTFE-grafito con un bajo coeficiente de fricción. Los dos elementos deslizantes F también aseguran una guía lineal precisa del pistón VK y evitan los movimientos de vuelco que pueden ocurrir con elementos de guía de una sola pieza o poco espaciados entre sí.

El dimensionamiento del diámetro del pistón escalonado VK se puede realizar, por ejemplo, de tal manera que el diámetro menor d del pistón escalonado (diámetro exterior del cilindro hueco) sea aproximadamente el 70 % del diámetro mayor D del pistón escalonado, lo que corresponde a una relación entre el área superficial de la superficie anular que se forma ((D2-d2)×π/ 4) en relación al área circular definida por el cilindro hueco (d2×π/4) de aproximadamente de 1:1. Hay un volumen anular entre la segunda sección S_2 del pistón escalonado VK y la superficie del cilindro, que se llena con gas de trabajo enfriado durante el funcionamiento. Por lo tanto, la región debajo del escalón del cilindro escalonado es el "lado frío" C del pistón escalonado VK o del cilindro de desplazamiento VZ. El volumen de cilindro en el cilindro de desplazamiento VZ por encima del pistón escalonado VK se llena con gas de trabajo caliente durante el funcionamiento. La región por encima de la primera sección S_1 del pistón escalonado VK es, por lo tanto, el "lado caliente" H.

En la segunda sección S_2 del pistón escalonado VK está dispuesto un anillo de sellado 20. Asimismo, en la primera sección S_1 del pistón escalonado VK está dispuesto otro anillo de sellado 21. El anillo de sellado 21 sella el lado caliente H contra el lado frío C del cilindro de desplazamiento VZ, mientras que el anillo de sellado 20 sella el lado frío C del cilindro de desplazamiento VZ contra un espacio intermedio P que se encuentra debajo (véase también la figura 4, en donde el pistón escalonado es un pistón de trabajo de un motor alfa de doble efecto y anillos de pistón se proporcionan como anillos de sellado). En el caso ilustrado de un motor gamma, el lado caliente H y el lado frío C del cilindro de desplazamiento VZ están conectados a través del calentador E, el regenerador R y el enfriador K, por lo que la presión en ambos lados es esencialmente la misma. El anillo de sellado 21 sirve esencialmente para evitar que fluya gas de proceso (fuga) entre el pistón escalonado VK y la pared interior del cilindro. Por el contrario, el anillo de sellado 20 debe sellar el interior del cilindro de desplazamiento VZ contra el espacio intermedio P, por lo que el anillo de sellado 20 está realizado generalmente como anillo de pistón. Del mismo modo, la junta 22 dispuesta en el pistón de trabajo AK debe sellar el espacio de trabajo del cilindro de trabajo AZ contra un espacio intermedio P que se encuentra debajo, por lo que la junta 22 generalmente también está diseñada como anillo de pistón.

En los ejemplos, no de acuerdo con la invención, descritos en el presente documento, no es importante si las guías de pistón F y las juntas de pistón 20, 21 (anillos de pistón) están montados sobre o en el pistón como elementos que se mueven con el pistón, o si están dispuestos en el interior del cilindro como elementos fijos, inmóviles que se deslizan a lo largo del árbol del pistón. En el ejemplo de la figura 3, el anillo de pistón 21 y el elemento de guía F están dispuestos en la región del diámetro grande D del pistón escalonado y los elementos se deslizan correspondientemente sobre la pared interior del cilindro VZ. Por el contrario, en la región del diámetro pequeño d del pistón escalonado, el elemento de guía F y el anillo de pistón 20 están dispuestos de forma fija en el interior del cilindro. Dado que las situaciones de instalación mencionadas no tienen ningún efecto sobre el funcionamiento del motor Stirling, se puede seleccionar cualquier variante que sea más adecuada para una construcción específica. Por esta razón, este aspecto no se discutirá en las explicaciones adicionales.

La figura 4 muestra, de forma ejemplar, un ejemplo mejorado de una unidad pistón-cilindro, no de acuerdo con la invención, de un motor Stirling de doble efecto del tipo alfa. Varias de estas unidades de pistón-cilindro (por ejemplo, cuatro como en el ejemplo de la figura 2) se pueden acoplar a un motor alfa de doble efecto. El ejemplo representado es esencialmente el mismo que las unidades de pistón-cilindro en el ejemplo de la figura 2, pero los pistones de trabajo AK, AK' presentan, cada uno, un cilindro hueco (tubo) con un diámetro d en su extremo inferior que es más pequeño que el diámetro D de la parte superior del respectivo pistón AK, AK'. En sí mismos, los pistones de trabajo AK en el presente ejemplo pueden estar construidos esencialmente de la misma manera que el pistón de desplazamiento VK diseñado como pistón escalonado en el ejemplo anterior de la figura 3, y se hace referencia a la descripción asociada anterior. Sin embargo, el modo de funcionamiento de los dos tipos de motores de las figuras 3 y 4 es diferente (véase la descripción de las figuras 1 y 2 anteriores). Sin embargo, los pistones de trabajo AK configurados como pistones escalonados pueden diferir del pistón de desplazamiento VK configurado como pistones escalonados del ejemplo anterior, por ejemplo, en las juntas. En el presente caso, los anillos de sellado 20 y 21 pueden configurarse como anillos de pistón (cargados por presión), ya que deben soportar la diferencia de presión entre el lado caliente H (espacio de expansión) y el lado frío C (espacio de compresión) de los cilindros de trabajo AZ, AZ'.

Con un mecanismo de manivela lubricado con aceite, es posible colocar elementos raspadores de aceite A (anillos raspadores de aceite) en la región de la guía para el diámetro pequeño del pistón (sección S_2) sin aumentar significativamente la longitud total del motor. Un valor lambda bajo (r_K/l_P) permite un movimiento del pistón casi sinusoidal acompañado de fuerzas de inercia de segundo orden bajas y una evolución favorable del flujo másico de gas a través del calentador E, el regenerador R y el enfriador K. En la representación de acuerdo con la figura 4, el pistón de trabajo AK se encuentra aproximadamente en la posición media, por lo que no se ve ningún acodamiento en el cigüeñal 10.

La figura 5 muestra otro ejemplo de un motor Stirling de tipo gamma, no de acuerdo con la invención, y que está construido de manera similar al ejemplo de la figura 3. Sin embargo, a diferencia de la figura 3, el pistón de trabajo AK está configurado como pistón escalonado de efecto simple. El pistón escalonado presenta una primera sección S_1' con un diámetro exterior D' más grande y una segunda sección S_2' con un diámetro exterior d' más pequeño. El espacio de trabajo AR del cilindro de trabajo AZ es el espacio anular que se forma entre la pared interior del cilindro y la segunda sección S_2' del pistón escalonado. La línea de conexión L entre el lado frío C del cilindro de desplazamiento VZ y el cilindro de trabajo desemboca por consiguiente en el espacio anular mencionado anteriormente (espacio de cilindro AR).

El pistón de trabajo AK presenta una abertura continua a lo largo de su eje longitudinal, de modo que puede tener lugar una compensación de presión entre el espacio intermedio P y el espacio del cilindro P' en la superficie frontal del pistón de trabajo AK. Las flechas mostradas en la figura 5, que atraviesan el pistón de trabajo, indican que es posible un flujo de gas a través de la abertura en el pistón de trabajo AK, que permite la compensación de presión mencionada anteriormente. La biela 12 acoplada al pistón de trabajo AK está articulada, al igual que el pistón de desplazamiento VK, en el interior del pistón de trabajo AK en la región S_1' del diámetro mayor D'. El anillo de sellado 23 sella el espacio de cilindro AR (espacio de trabajo/espacio anular) del cilindro de trabajo AZ contra el espacio intermedio P. Del mismo modo, el anillo de sellado 22 sella el espacio de trabajo AR contra el espacio de cilindro delantero P', en el que impera la misma presión que en el espacio intermedio P. Ambas juntas 22, 23 pueden estar configuradas como anillos de pistón. Por lo demás (particularmente en lo que se refiere al cilindro de desplazamiento VZ y al mecanismo de manivela), se hace referencia a la descripción de la figura 3. En comparación con el ejemplo de la figura 3, la variante de la figura 5 permite una línea L más corta entre el cilindro de desplazamiento VZ y el cilindro de trabajo AZ y, en consecuencia, un espacio muerto más pequeño con una biela 11 relativamente larga.

La figura 6 muestra otro ejemplo de motor Stirling de tipo gamma, no de acuerdo con la invención, y que es muy similar al ejemplo anterior de la figura 5, en lo que respecta a la función y la configuración de los pistones. La principal diferencia entre los ejemplos de las figuras 5 y 6 es la posición de los cilindros entre sí. De acuerdo con la figura 6, los ejes longitudinales S y S' del cilindro de desplazamiento VZ y el cilindro de trabajo AZ son paralelos, mientras que en el ejemplo anterior los ejes longitudinales S y S' forman esencialmente un ángulo recto y crean así un motor en V. En comparación con el ejemplo anterior, la disposición paralela de los cilindros permite una conexión de línea L aún más corta entre el cilindro de desplazamiento VZ y el cilindro de trabajo AZ y, en consecuencia, un espacio muerto aún más pequeño. Por lo demás, se hace referencia a la descripción de las figuras 3 y 5.

La figura 7 muestra una variante del ejemplo de la figura 6. La diferencia esencial entre los ejemplos de las figuras 6 y 7 consiste en el mecanismo de manivela, que de acuerdo con la figura 7 tiene un mecanismo llamado yugo de Ross. Con el yugo de Ross, las bielas 11 y 12 no conectan directamente los pistones al cigüeñal 10, sino que los extremos de las bielas 11 y 12 opuestos a los pistones están articulados en un balancín 14 (yugo, *yoke*), que transmite el movimiento oscilante de los pistones al cigüeñal 10. El balancín 14 está montado adicionalmente en la carcasa de la transmisión a través de otra biela 13. Dicho mecanismo de yugo de Ross es conocido en sí mismo y por lo tanto no se explica con más detalle en el presente documento. Aparte del mecanismo de manivela, el ejemplo de la figura 7 tiene prácticamente la misma estructura que el ejemplo de la figura 6 y se hace referencia a las explicaciones anteriores.

La figura 8 muestra una variante del ejemplo de la figura 4, en la que cuatro o más unidades de cilindro (cilindro de trabajo AZ; cilindro de trabajo AZ') accionan un árbol de accionamiento 10 a través de un mecanismo de placa oscilante. En la vista en sección mostrada en la figura 8, se representan dos unidades de cilindro dispuestas opuestas (respecto a la transmisión). En este caso, la "manivela" del árbol 10 está formada por el placa oscilante inclinado, al que se articulan las bielas 11 y 12 (por ejemplo, mediante rodamientos esféricos). Los mecanismos de placa oscilante son conocidos en sí mismos y, por lo tanto, no se explican más en el presente documento.

De manera similar al ejemplo de la figura 2, se requieren al menos cuatro unidades de cilindro para formar un motor Stirling de tipo alfa de doble efecto. El recuadro en la parte inferior derecha de la figura 8 muestra una vista en planta esquemática que muestra cómo se puede construir un motor de este tipo. Dos cilindros AZ y AZ' están dispuestos en cada uno de los niveles E_1 y E_2, estando los ejes longitudinales de los cilindros en los niveles E_1 y E_2, que son perpendiculares entre sí (lo que no tiene por qué ser necesariamente el caso). Un cilindro AZ en el primer nivel E_1 está conectado (a través del calentador E, el regenerador R y el enfriador K) a un cilindro AZ correspondiente en el segundo nivel E_2. Este a su vez está conectado al segundo cilindro AZ' en el primer nivel, etc. De esta forma, se forma un motor de cuatro cilindros. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, también son posibles construcciones con más de cuatro cilindros.

Un pistón escalonado como se describe en los ejemplos anteriores de un motor Stirling de tipo gamma y tipo alfa (doble efecto) también se puede usar en un motor Stirling de tipo beta. En la figura 9 se representa un ejemplo de un motor beta. Similar a una motor gamma (véase la figura 3) un motor beta presenta un pistón de desplazamiento VK y un pistón de trabajo AK. A diferencia del ejemplo de acuerdo con la figura 3, el pistón de desplazamiento VK y el pistón de trabajo AK se mueven en el mismo cilindro Z. El pistón de desplazamiento VK, como en el motor gamma (véase la figura 3), está diseñado como un pistón escalonado, en donde la biela 12, que conecta el pistón escalonado VK con el cigüeñal 10, atraviesa la segunda sección S_2 del pistón escalonado VK (al menos

parcialmente hueco) y está articulada en la primera sección S_1 del pistón escalonado VK. La configuración del pistón de desplazamiento VK representada permite el uso de una biela 12 comparativamente larga y una mejora en el valor lambda. En la región del diámetro grande D (sección S_1) del pistón escalonado VK puede estar previsto un elemento de guía F (superficies de deslizamiento) para absorber la fuerza lateral del pistón perpendicularmente al eje central S del cilindro Z. Con respecto al pistón de desplazamiento VK configurado como un pistón escalonado, se hace referencia también a la descripción de la figura 3.

El pistón de trabajo AK está diseñado como un pistón en forma de anillo (pistón anular) y se mueve coaxialmente al pistón de desplazamiento VK. El diámetro exterior del pistón anular AK se indica con D_A y el diámetro interior del pistón anular corresponde (aparte del juego del pistón) al diámetro pequeño d del pistón escalonado VK. La sección S_2 del pistón escalonado VK, con el diámetro menor d, pasa a través del pistón anular AK. Los anillos de sellado (anillos de pistón) se pueden disponer en el pistón anular AK, uno para sellarlo en el exterior (junta 22a) y otro para sellarlo en el interior (junta 22b). Asimismo, las superficies deslizantes de guía F pueden estar dispuestas en el (interior y exterior del) pistón anular AK. También son posibles otras configuraciones a este respecto, por ejemplo, la disposición del anillo de pistón 22b en el pistón escalonado VK en la sección S_2 o la disposición de las superficies deslizantes de guía F en el cilindro Z.

Como se representa en la figura 9, el pistón de trabajo AK, configurado como pistón anular, está acoplado al cigüeñal 10 a través de dos bielas 11a, 11b dispuestas simétricamente al eje central S. Para obtener más espacio para la articulación de los extremos superiores de las bielas 11a, 11b, el cilindro Z tiene un diseño escalonado, lo que permite un mayor diámetro exterior D_A del pistón anular AK en comparación con el diámetro exterior D de la sección S_1 del pistón escalonado VK. El área del pistón (área anular $(DA^2\text{-}d^2) \times \pi /4$) ganada por el diámetro exterior más grande D_A puede usarse para reducir correspondientemente la carrera del pistón de trabajo. De este modo, con las bielas 11a, 11b, que inevitablemente son más cortas que la biela 12, se puede lograr una lambda que es igualmente favorable que con la biela 12 del pistón de desplazamiento VK. Las áreas del pistón (áreas anulares) de los pistones escalonados (pistones de desplazamiento VK) y los pistones anulares (pistones de trabajo AK) y las carreras correspondientes del pistón pueden seleccionarse de tal manera que la relación de los volúmenes de carrera sea de aproximadamente 1:1. En la representación de acuerdo con la figura 6, el pistón de desplazamiento VK se encuentra aproximadamente a la mitad de la carrera, por lo que no se aprecia ningún acodamiento en el cigüeñal 10. Como en el caso de los motores gamma, el pistón de desplazamiento VK adelanta al pistón de trabajo AK aproximadamente 90 grados (respecto a la posición angular del cigüeñal 10). El cigüeñal 10 está dispuesto en el espacio intermedio P como en el ejemplo de acuerdo con la figura 3.

La figura 10 muestra una variante del ejemplo de la figura 3, no de acuerdo con la invención. Los ejemplos de las figuras 3 y 10 son funcional y cinemáticamente equivalentes. Los dos ejemplos se diferencian únicamente en la estructura del cilindro de desplazamiento VZ y del pistón de desplazamiento VK dispuesto en él, pudiendo ser la carrera del pistón y el volumen del cilindro iguales en ambas variantes. De acuerdo con la figura 10, en lugar de un pistón escalonado se utiliza un pistón diferencial de diseño algo diferente. En el presente ejemplo, el pistón diferencial está guiado coaxialmente a un tubo R, que sobresale en el interior del cilindro de desplazamiento VZ (y en el pistón diferencial). El pistón diferencial es (al menos parcialmente) hueco y está dispuesto entre el tubo R y la pared interior del cilindro, de modo que se crea un espacio anular de cilindro (espacio anular) debajo del pistón diferencial entre la superficie lateral del tubo R y el superficie interior del cilindro, como también sería el caso cuando se usa un pistón escalonado. La guía, no representada en la figura 10, puede estar dispuesta en el exterior del pistón diferencial o en la pared interior del cilindro. El tubo R está rígidamente conectado a la carcasa del motor (por ejemplo, atornillado) y la junta 20 sella el espacio anular (es decir, el lado frío C del cilindro de desplazamiento VZ) contra el interior del pistón diferencial, donde prevalece la misma presión que en el espacio intermedio P. Las flechas que atraviesan el tubo R en la figura 10 indican nuevamente la posibilidad de igualar el flujo de gas y la presión (análogamente a la figura 5). La junta 21 solo debe evitar fugas, como ya se explicó anteriormente con referencia a la figura 3. La biela 12 atraviesa el tubo R y está articulada en el interior del pistón diferencial VK. Por lo tanto, se puede lograr la misma relación favorable entre el radio del cigüeñal r_K y la longitud de la biela l_p (valor lambda, véase la figura 1) como en el ejemplo de la figura 3. Por lo demás, se hace referencia a las explicaciones de la figura 3.

El ejemplo de la figura 11 es una modificación del ejemplo de la figura 5. Ambos ejemplos son funcional y cinemáticamente equivalentes. De acuerdo con la figura 11, el cilindro de desplazamiento VZ y el pistón de desplazamiento VK están construidos de la misma manera que en el ejemplo anterior de la figura 10. Esta construcción reemplaza el pistón escalonado de la figura 5. De acuerdo con la figura 11, el pistón de trabajo AK está configurado como un pistón anular, que también está dispuesto entre un tubo R', que sobresale en el pistón de trabajo AK, y está sellado hacia la superficie exterior de un tubo R' (véase, por ejemplo, anillo de pistón 23). El tubo R' está, de manera análoga al tubo R en el cilindro de desplazamiento VZ, conectado rígidamente a la carcasa del motor y, como se mencionó, sobresale en el cilindro de trabajo AZ. Como en la figura 5, el pistón de trabajo AK es hueco y permite una compensación de presión entre el espacio intermedio P y el espacio del cilindro P' en la superficie frontal del pistón de trabajo AK. El anillo de sellado 22 es esencialmente el mismo que en la figura 5. El anillo de sellado 23 sella el pistón de trabajo AK y el tubo R' entre sí.

El ejemplo de la figura 12 es una modificación del ejemplo de la figura 4 en donde el pistón escalonado de la figura 4 se sustituye por un pistón diferencial. El cilindro de trabajo AZ y el pistón de trabajo AK (pistón diferencial) están construidos esencialmente de la misma manera que el pistón de desplazamiento VK y el cilindro de desplazamiento de la figura 11 y se hace referencia a las explicaciones anteriores. Como ya se ha explicado con referencia a la figura 4, análogamente al ejemplo de la figura 2, se pueden conectar varias unidades de cilindro (por ejemplo, cuatro) para formar un motor Stirling de tipo alfa de doble efecto.

La figura 13 muestra un ejemplo de un motor de gas caliente que se conoce como el motor Manson. Dado que el gas de trabajo no circula en un circuito cerrado (sino que hay una conexión con el espacio intermedio o la atmósfera a través de una válvula), el motor Manson representado no es, estrictamente hablando, un motor Stirling. El pistón escalonado funciona igualmente como pistón de desplazamiento y de trabajo y se indica con AK en el presente ejemplo. En los puntos muertos superior e inferior del movimiento del pistón, se abre brevemente una válvula V, por ejemplo a través de un control de válvula mecánico, que conecta el espacio de cilindro anular (entre la sección más estrecha del pistón escalonado y la pared interior del cilindro AZ) con la presión ambiental en el espacio intermedio P. El control mecánico de la válvula puede comprender, por ejemplo, una palanca 41 que está montada de manera pivotante alrededor de un punto de pivote 40 y que se inclina por medio de levas 44a y 44b dispuestas en el árbol 10. La palanca 41 transfiere este movimiento basculante al empujador de la válvula V contra la fuerza de recuperación de un resorte 42. En el extremo inferior de la palanca 41 se puede fijar un rodillo 43 que rueda sobre el árbol 10. La estructura y la función de un motor Manson son conocidas en sí mismas (por ejemplo, de las publicaciones DE 199 04 269 A1 y GB 2554458 A) y, por lo tanto, no se explican en el presente documento con más detalle. Las ventajas de la articulación de la biela 12 en la región del diámetro grande D del pistón escalonado, explicadas con relación a los demás ejemplos, también se aplican al motor Manson.

En algunas construcciones de motores Stirling, la transmisión (véase la figura 14, espacio de transmisión G) no se utiliza como espacio intermedio, sino que funciona bajo presión atmosférica. En tales casos, el espacio intermedio (que está bajo la presión del gas de trabajo) debe sellarse contra el espacio de transmisión, lo que se hace con un vástago de pistón, por ejemplo, utilizando elementos de sellado especiales. La llamada "junta de Leningrado", en la que los elementos de sellado están precargados con un resorte, ha demostrado ser fiable para este fin. Dos discos cónicos presionan el elemento de sellado contra el vástago de pistón para iniciar la función de sellado. Un elemento de sellado de este tipo es conocido en sí mismo.

Un ejemplo de este tipo se representa en la figura 14. La figura 14 muestra una unidad de pistón-cilindro de un motor Stirling de tipo alfa de doble efecto. Varias de estas unidades de pistón-cilindro (por ejemplo, cuatro como en el ejemplo de la figura 2) pueden acoplarse para formar un motor alfa de doble efecto. Para ahorrar altura, como pistón de trabajo AK está previsto un pistón escalonado de doble efecto de acuerdo con el ejemplo representado. Como en los ejemplos anteriores, el pistón escalonado AK presenta una primera sección S_1 de mayor diámetro D y una segunda sección S_2 de menor diámetro d, siendo el pistón escalonado AK al menos parcialmente (al menos en la zona de la segunda sección S_2 con el diámetro d) hueco. Sin embargo, a diferencia del ejemplo de la figura 4, el pistón escalonado AK no está conectado directamente con una biela de un mecanismo de manivela, sino que presenta un vástago de pistón 13 (como en el ejemplo de la figura 2). Sin embargo, a diferencia del ejemplo de la figura 2, los elementos de guía y sellado del vástago 13 pueden estar dispuestos dentro del árbol de pistón escalonado frente al mecanismo de manivela (sección S_2 con diámetro exterior d). En este ejemplo no de acuerdo con la invención, el vástago de pistón 13 puede estar conectado, por ejemplo, a través de una biela a un cigüeñal de la misma manera o similar que en el ejemplo de la figura 2 (con las desventajas asociadas). Por lo tanto, puede ser mejor acoplar el vástago de pistón 13 con un yugo de Ross, un mecanismo de accionamiento de plato oscilante o un mecanismo de accionamiento de placa oscilante, ya que estos tipos de transmisión tienen desviaciones más pequeñas de las bielas debido a su diseño o no requieren ninguna biela. Dichas transmisiones son conocidas, por ejemplo, de las publicaciones GB 2174457 A o WO 2010/093666 A2.

El mecanismo de manivela (por ejemplo, cigüeñal 10, véase por ejemplo, la figura 2) frente a la segunda sección S_2 del pistón escalonado AK desemboca en un espacio intermedio P para el gas de trabajo del motor Stirling. Un tabique 33 separa el cárter entre el espacio intermedio P y el espacio de transmisión G, en el que está dispuesta la transmisión (no representada en la figura 14, véase las figuras 7 y 8). El vástago de pistón 13 conectado con el pistón escalonado AK es guiado a través de una abertura en el tabique 33. La junta comprende un manguito 31 que está unido rígidamente al tabique 33 y a través del cual discurre el vástago de pistón 13. En el interior del manguito 31 está dispuesto un elemento de sellado 35 anular alrededor del vástago de pistón 13. El elemento de sellado 35 está sujeto entre dos discos cónicos 34 a lo largo del eje longitudinal S del vástago de pistón 13 (eje de cilindro S). La fuerza de pretensado requerida para esto es generada por un resorte 32, que se puede disponer dentro del manguito 31 alrededor del vástago de pistón 13 (por ejemplo, en el caso de un resorte espiral) y que ejerce una fuerza sobre los discos 34 a lo largo del eje longitudinal S del vástago de pistón 13. En los ejemplos de acuerdo con las figuras 2 y 4 no hay separación entre el espacio intermedio P y el espacio de transmisión G, y el mecanismo de manivela está dispuesto en el espacio intermedio. El presente ejemplo, por otro lado, permite una separación del espacio intermedio P y el espacio de transmisión G, de modo que la transmisión pueda funcionar a presión ambiental. En teoría, una construcción de acuerdo con la figura 2 no requeriría ningún espacio intermedio. En el presente ejemplo de acuerdo con la figura 5, un espacio intermedio P separado puede ser ventajoso, ya que, de lo contrario, la sección de pistón inferior S_2 generaría oscilaciones de presión excesivas y, en consecuencia, fuerzas

excesivas sobre la carcasa y el tabique 33 debido a su volumen desplazado.

REIVINDICACIONES

1. Un motor de gas caliente que comprende:

una transmisión (10) con una biela (12);

un cilindro (VZ; AZ; Z); y

un pistón diferencial (VK; AK) dispuesto en el cilindro (VZ; AZ; Z), en donde el cilindro (VZ; AZ; Z) y el pistón diferencial (VK; AK) están diseñados de tal manera que se forma un espacio de cilindro anular en el cilindro, en donde el pistón diferencial (VK; AK) es al menos parcialmente hueco, y la biela (12) está articulada dentro del pistón diferencial (VK; AK) en una posición tal que el espacio de cilindro anular se extiende alrededor de la biela (12); y

un tubo (R, R') que sobresale en el cilindro (VZ; AZ), en donde un extremo del pistón diferencial (VK; AK) está dispuesto entre el tubo (R, R') y una pared interior del cilindro (VZ; AZ),

caracterizado por que un primer anillo de sellado (20) está dispuesto entre el tubo (R, R') y una pared interior del pistón diferencial (VK; AK).

2. El motor de gas caliente de acuerdo con la reivindicación 1,

en donde el tubo (R, R') sobresale tanto en el cilindro (VZ; AZ) que también sobresale en el interior del pistón diferencial (VK; AK) cuando este último está en su punto muerto superior.

3. El motor de gas caliente de acuerdo con la reivindicación 1 o 2,

en donde el tubo (R, R'), el pistón diferencial (VK; AK) y el cilindro (VZ; AZ) están dispuestos coaxialmente entre sí.

4. El motor de gas caliente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3,

en donde el tubo (R, R') es inamovible con respecto al cilindro (VZ; AZ).

5. El motor de gas caliente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4,

en donde un segundo anillo de sellado (21) está dispuesto entre el pistón diferencial (VK; AK) y la pared interior del cilindro (VZ; AZ; Z), y en donde el espacio de cilindro anular está sellado respecto a un espacio intermedio (P) por medio del primer anillo de sellado (20).

6. El motor de gas caliente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además:

otro pistón (AK) dispuesto en otro cilindro (AZ), que está acoplado a la transmisión por medio de otra biela (11).

7. El motor de gas caliente de acuerdo con la reivindicación 6,

en donde se forma un espacio de cilindro anular tanto en el cilindro (VZ) como en el otro cilindro (AZ), y

en donde el espacio de cilindro anular del cilindro (VZ) y el espacio de cilindro anular del otro cilindro (AZ) estando conectados por una línea (L).

8. El motor de gas caliente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7,

en donde la biela (12) está articulada en el interior del pistón diferencial (VK; AK) por medio de un cojinete liso o un cojinete de rodillos o por medio de un cojinete de junta esférica.

9. El motor de gas caliente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la medida en que dependen de la reivindicación 5,

en donde la tubería (R) desemboca en un espacio intermedio (P) para un gas de trabajo del motor de gas caliente.

10. El motor de gas caliente de acuerdo con la reivindicación 9,

en donde la transmisión (10) está dispuesta en el espacio intermedio (P).

11. El motor de gas caliente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10,

en donde el motor de gas caliente es un motor Stirling.

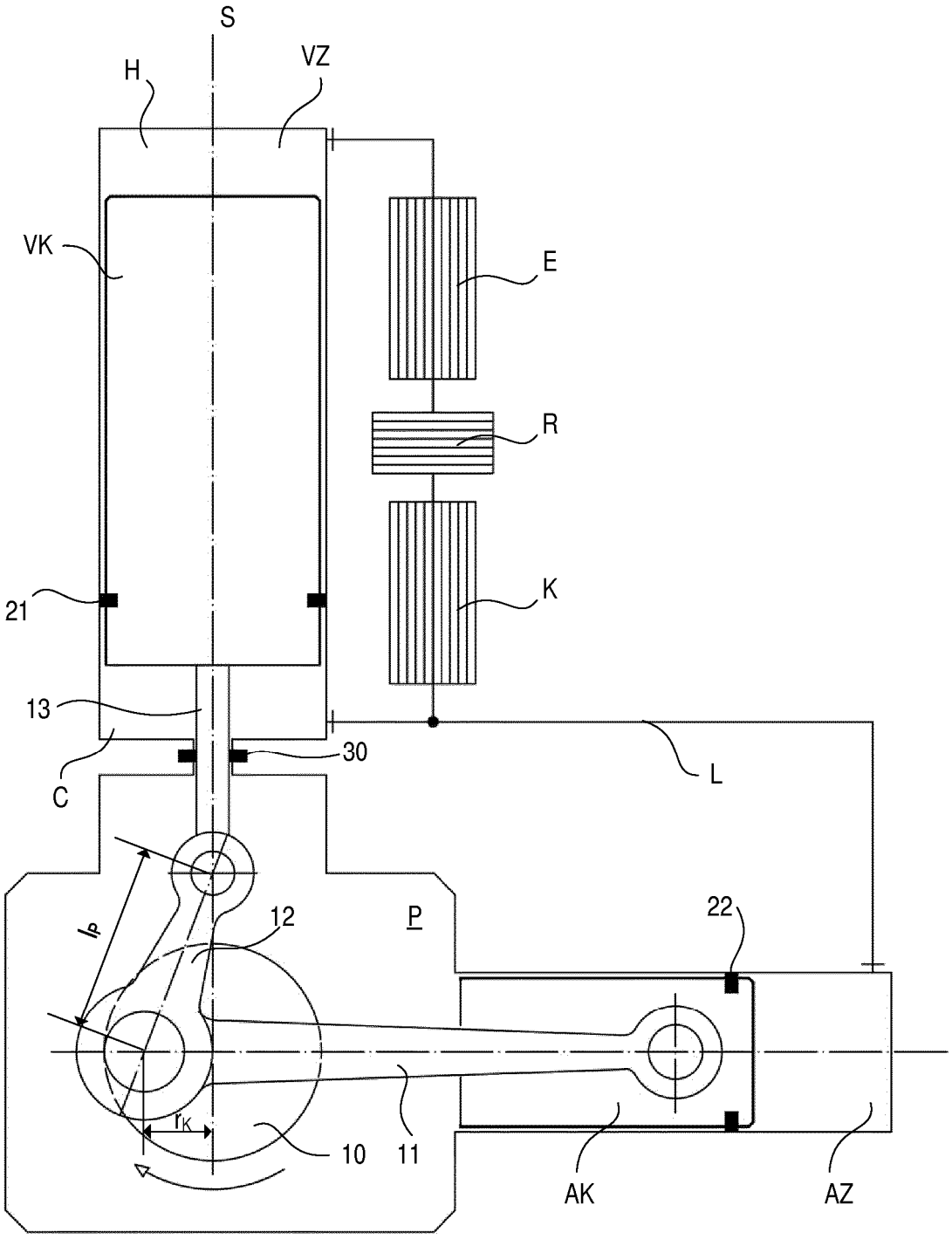


Fig. 1

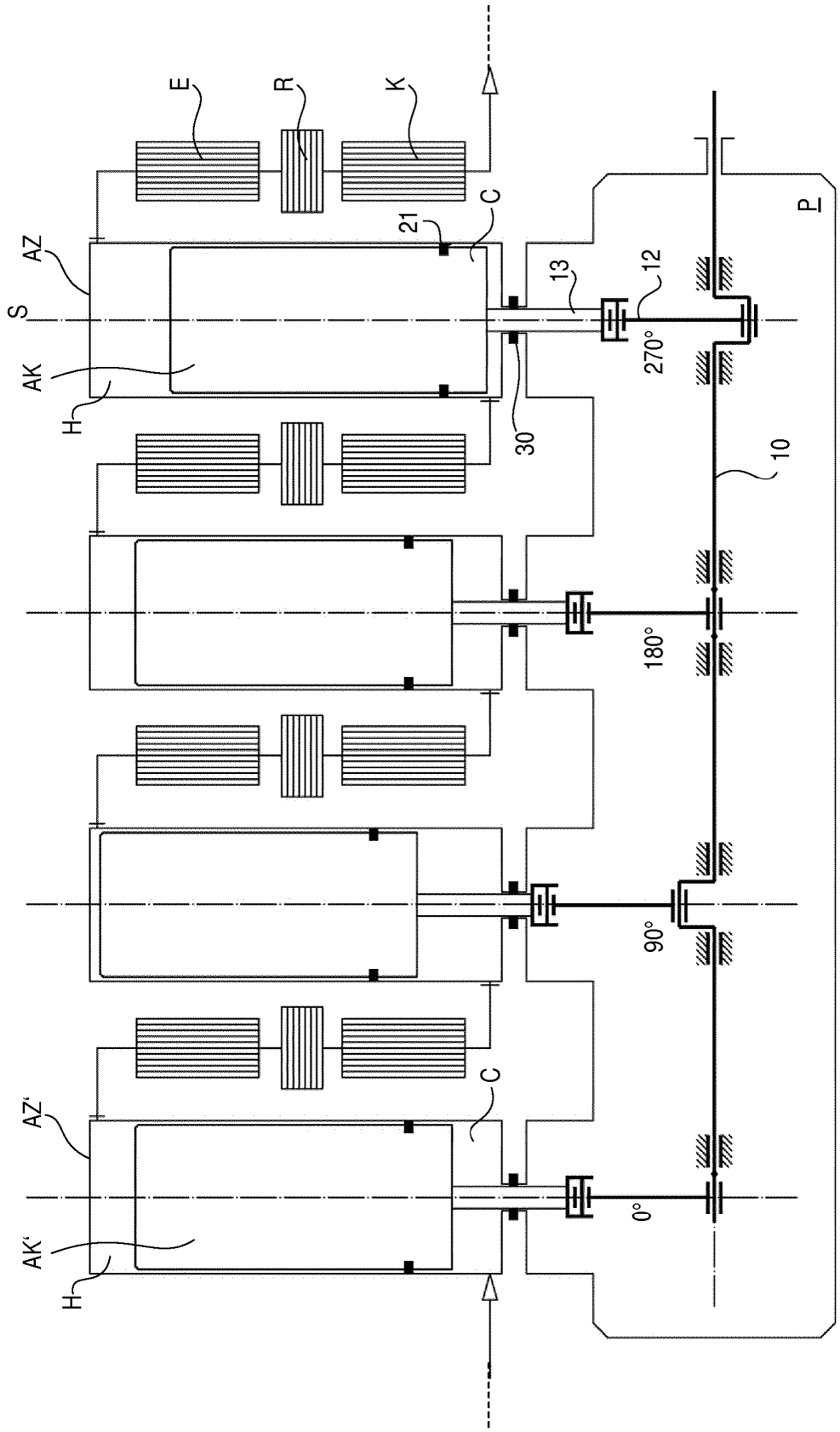


Fig. 2

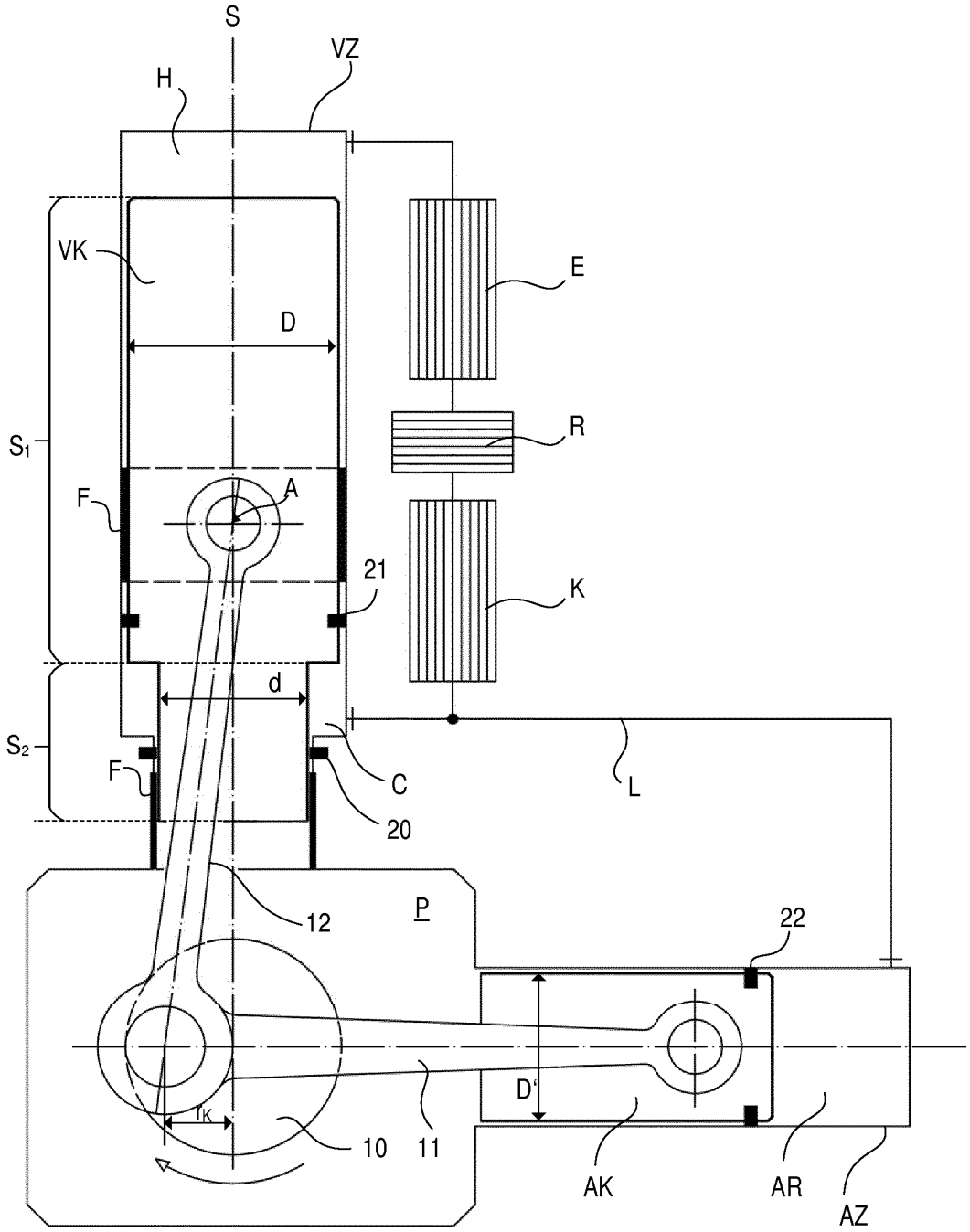


Fig. 3

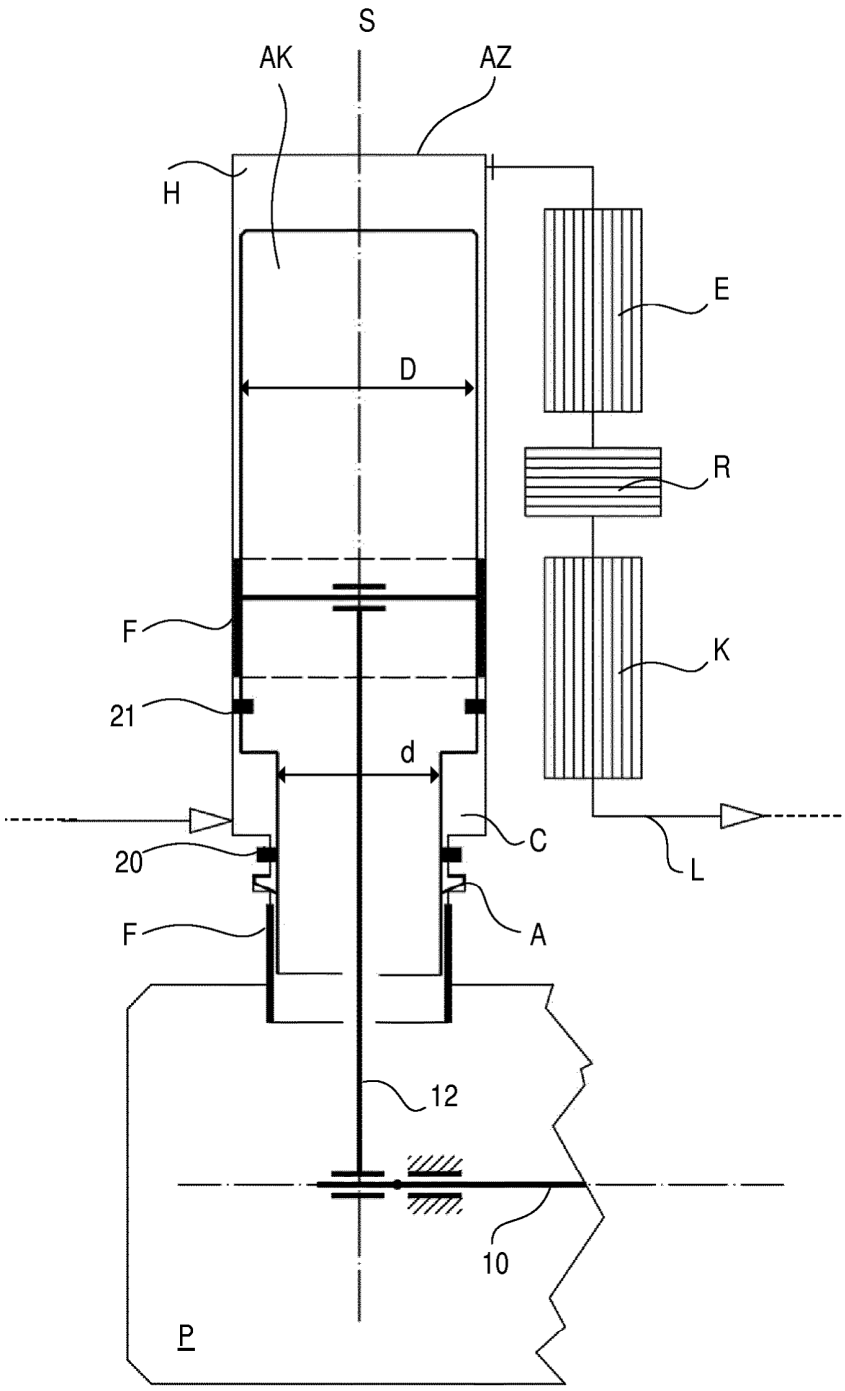


Fig. 4

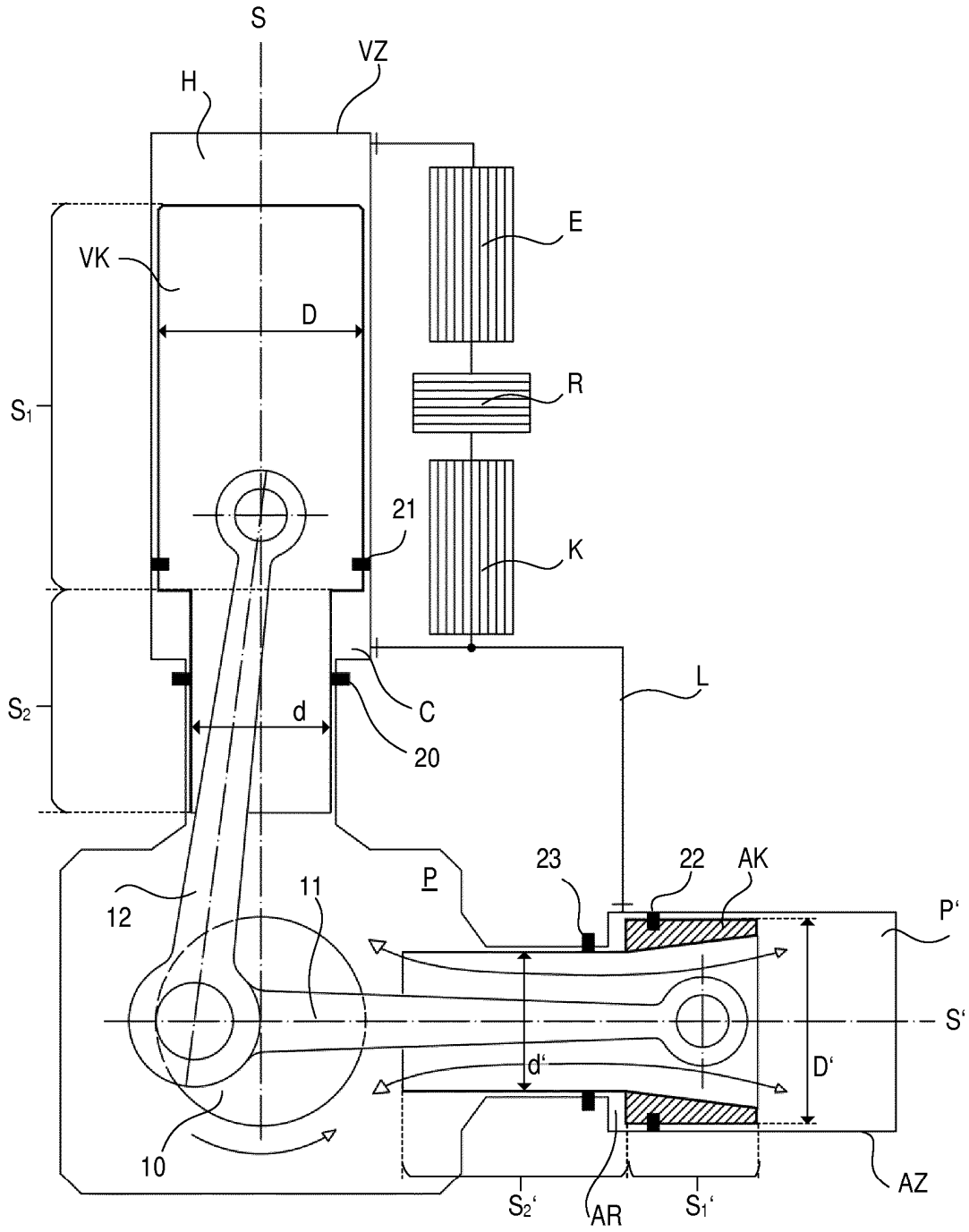


Fig. 5

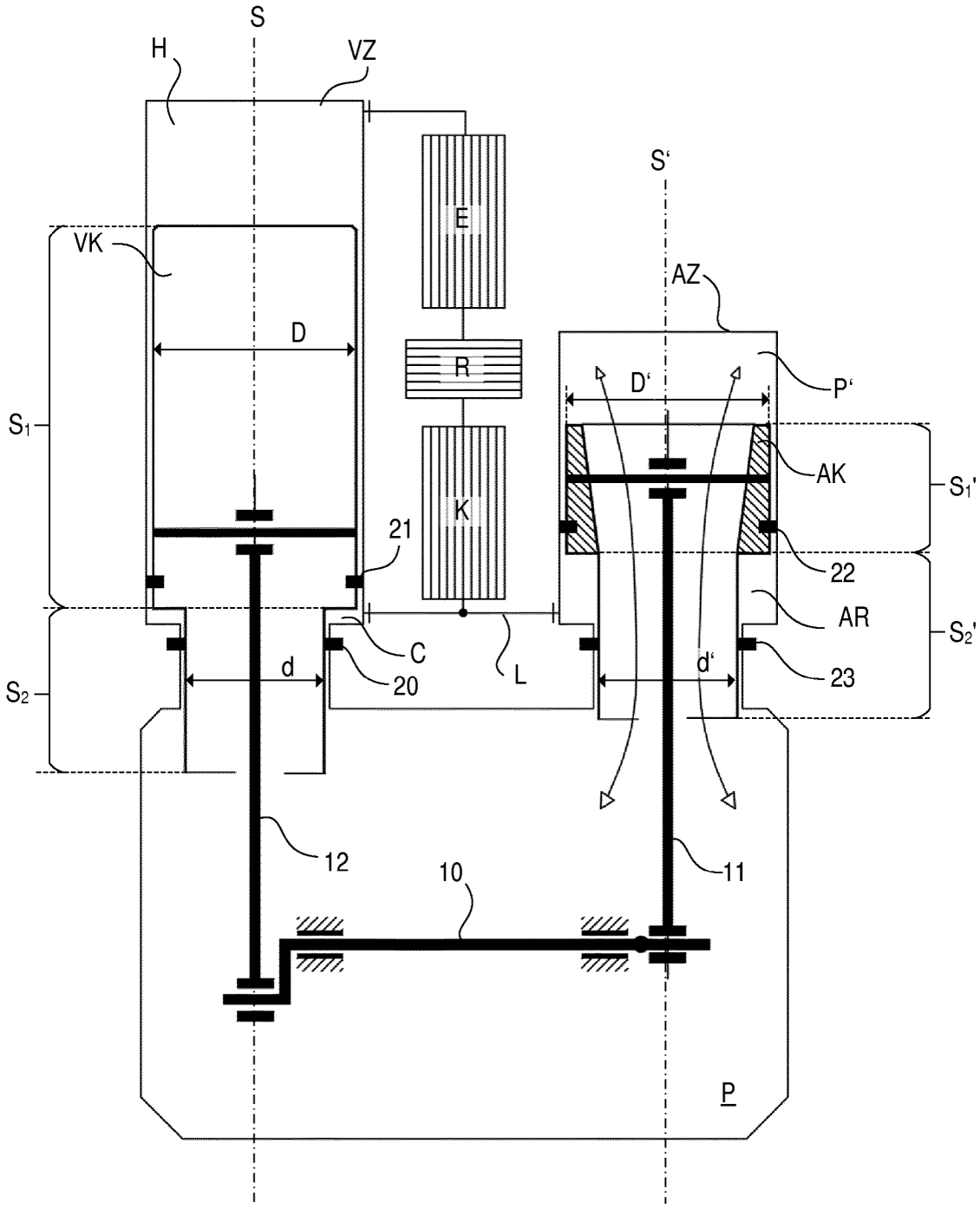


Fig. 6

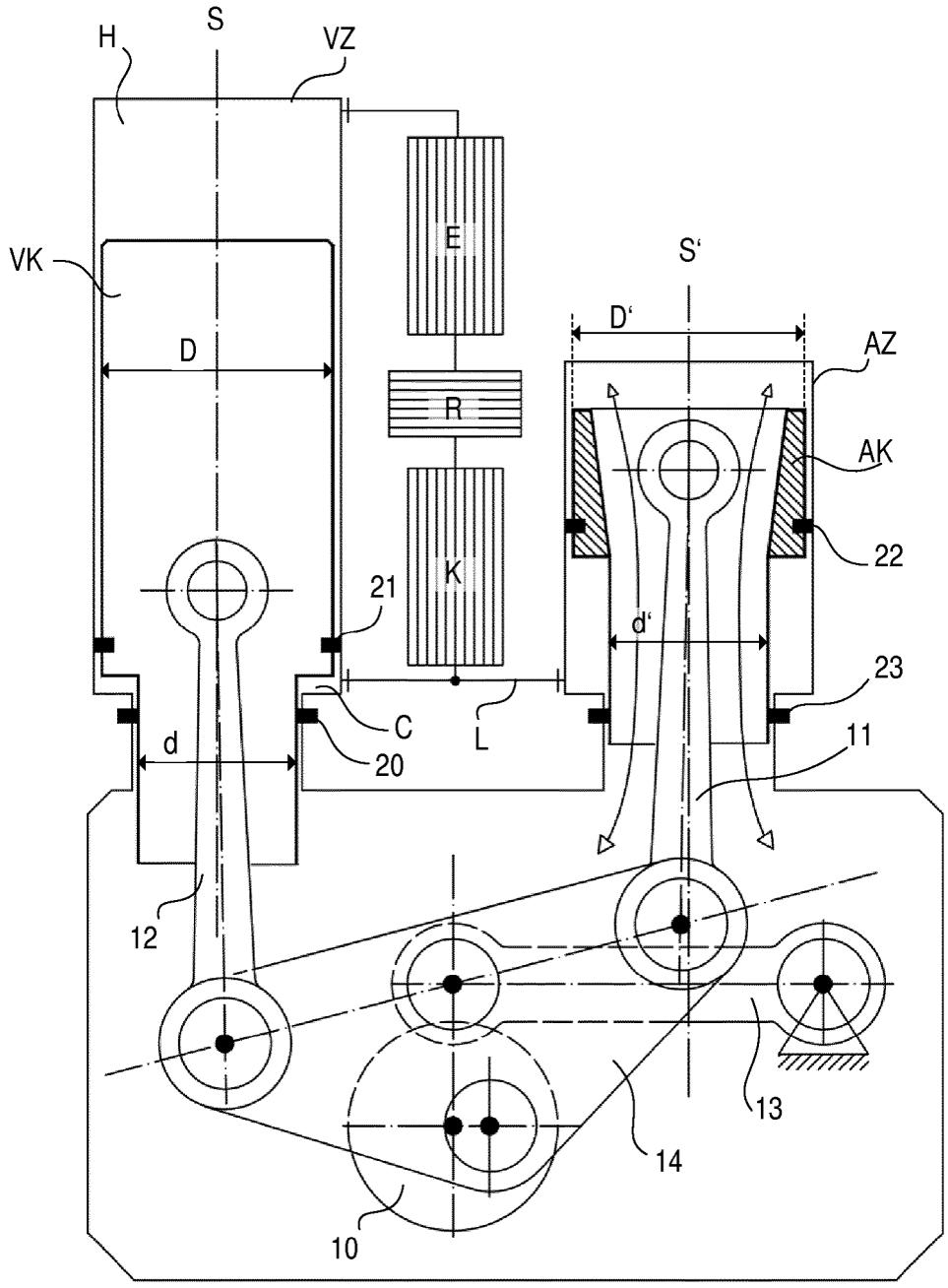
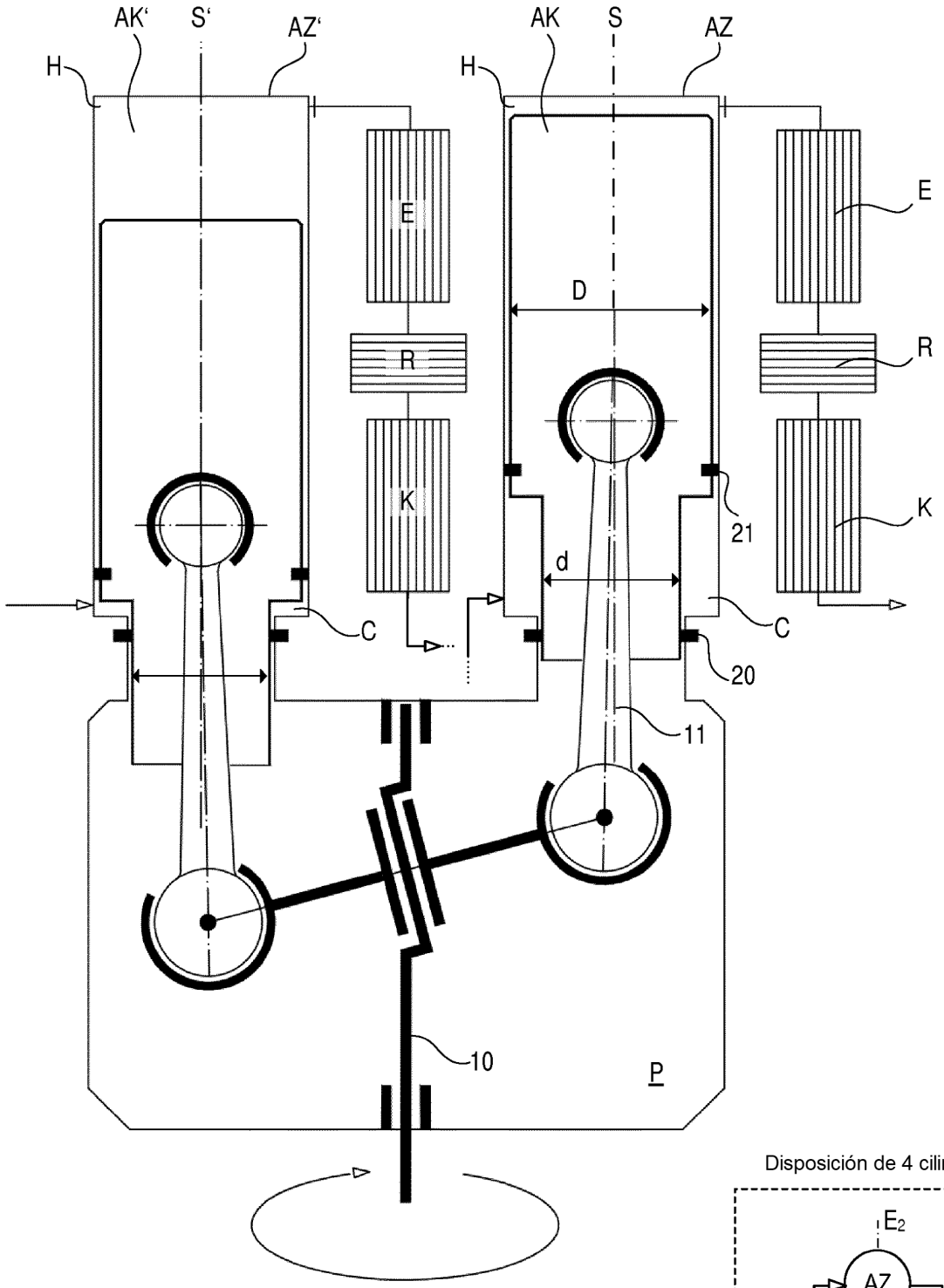


Fig. 7


AK‘
S‘
AZ‘
H
AK
S
AZ
H
E
R
K
D
E
R
K
21
d
C
C
20
11
10
P

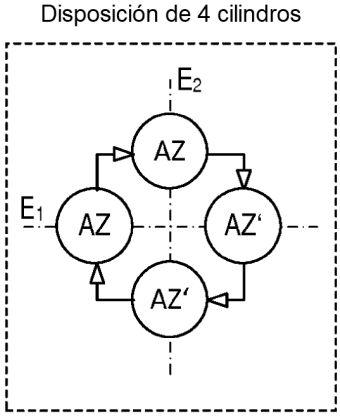

Disposición de 4 cilindros
E2
AZ
E1
AZ
AZ‘
AZ‘

Fig. 8

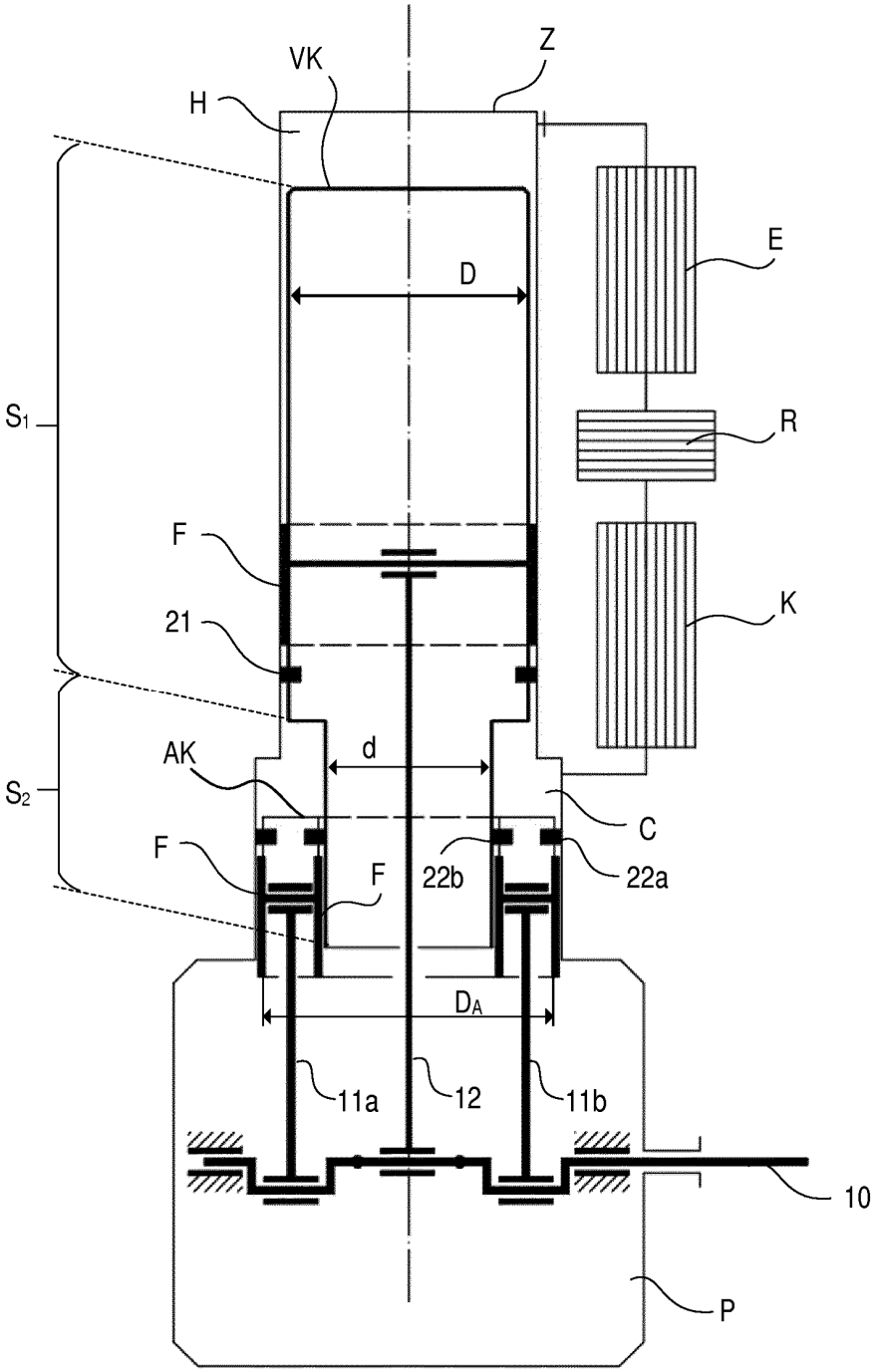


Fig. 9

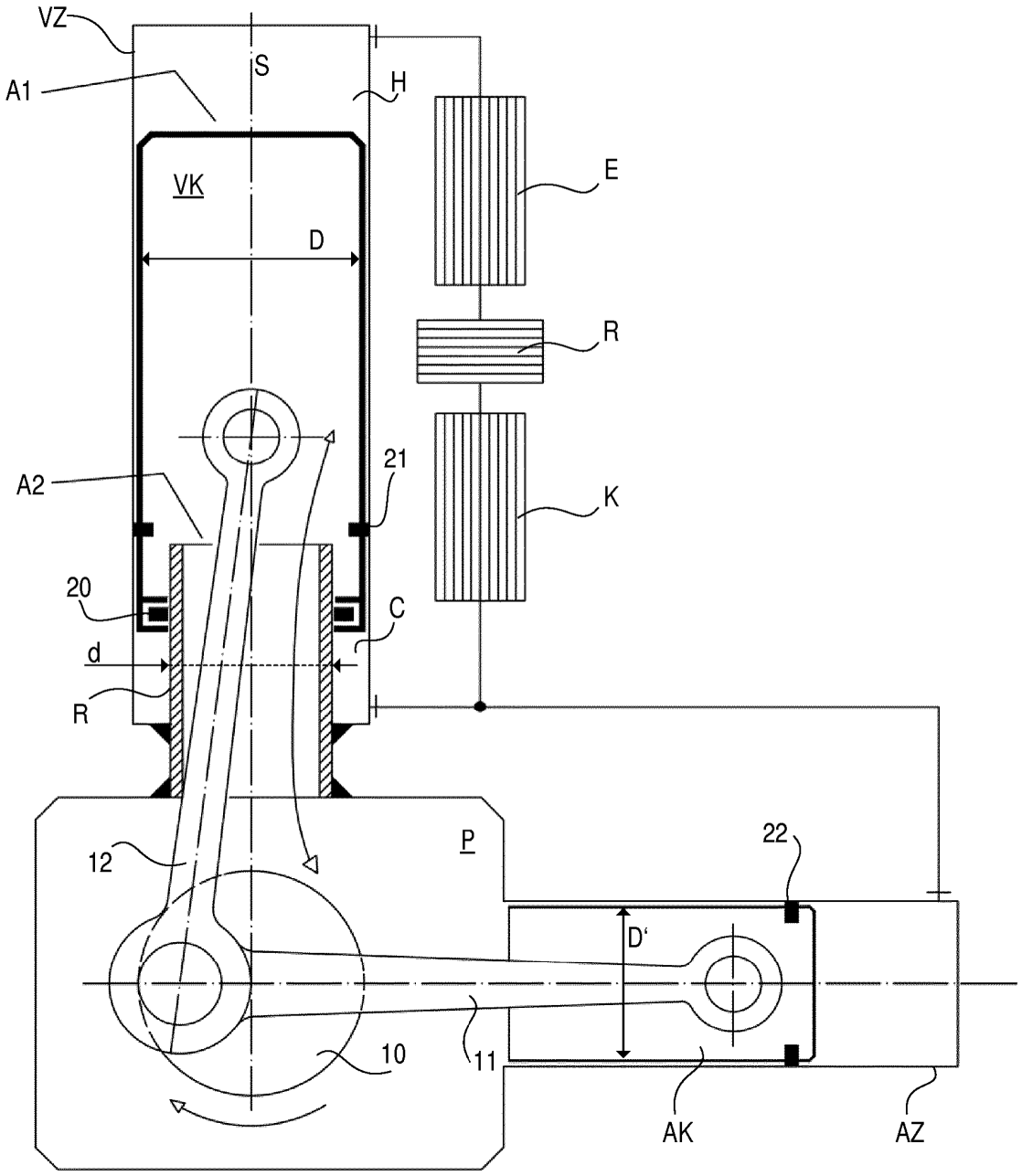


Fig. 10

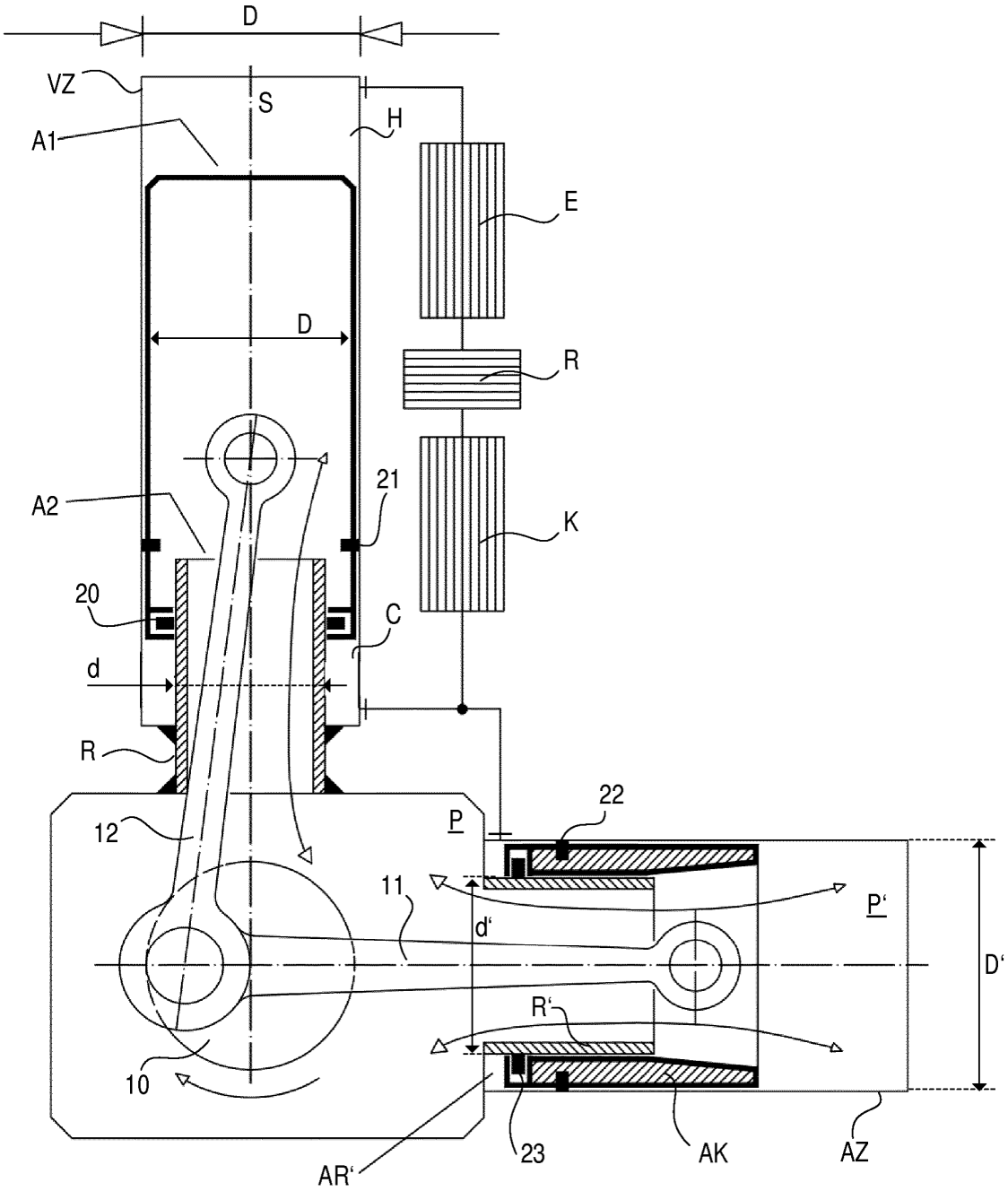


Fig. 11

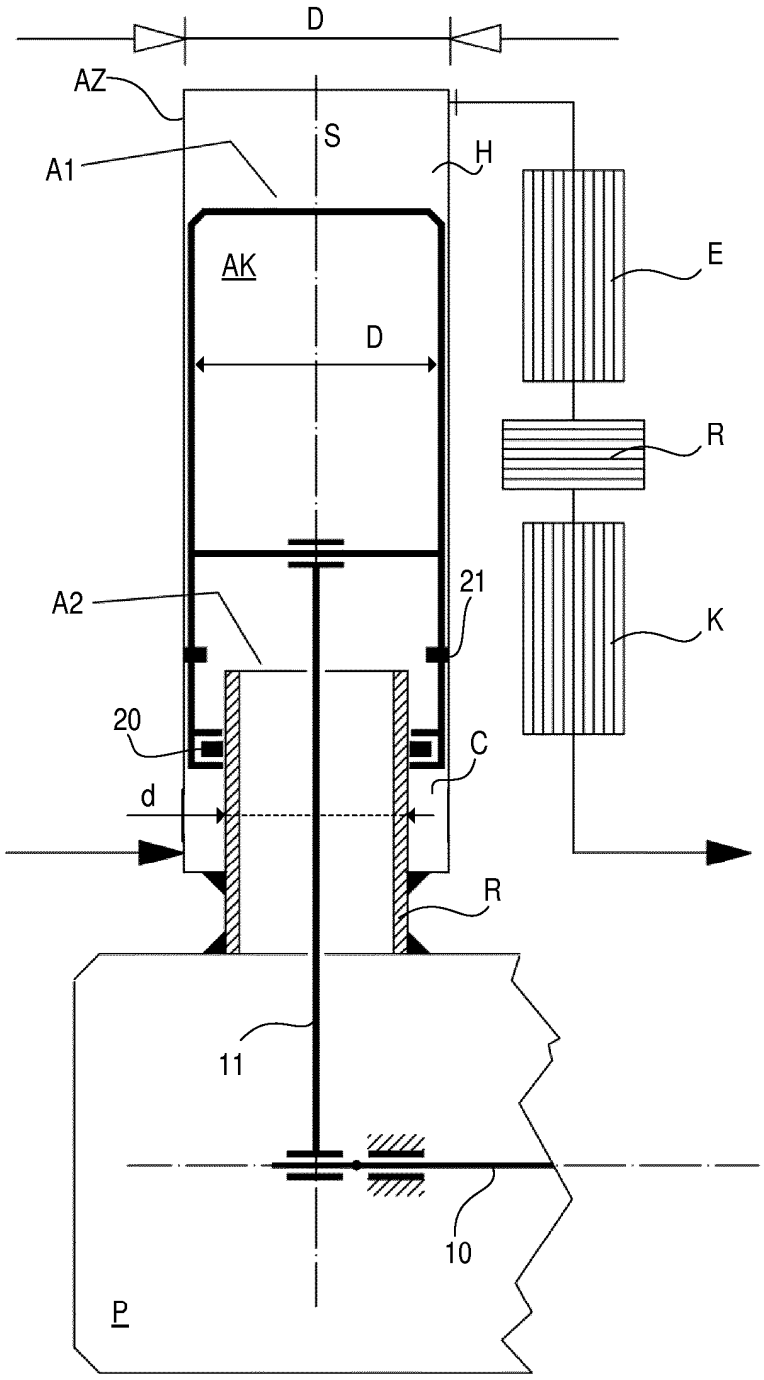


Fig. 12

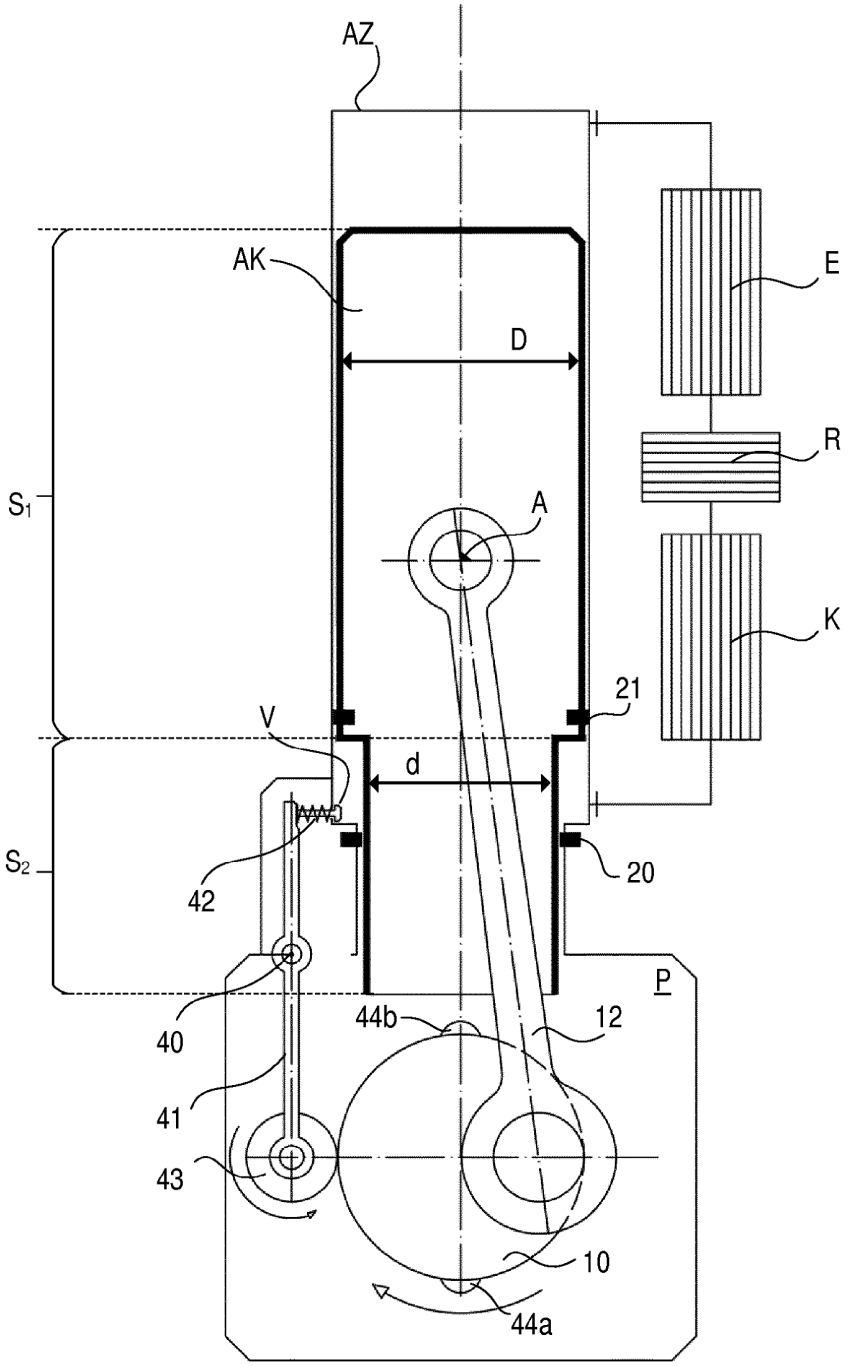


Fig 13

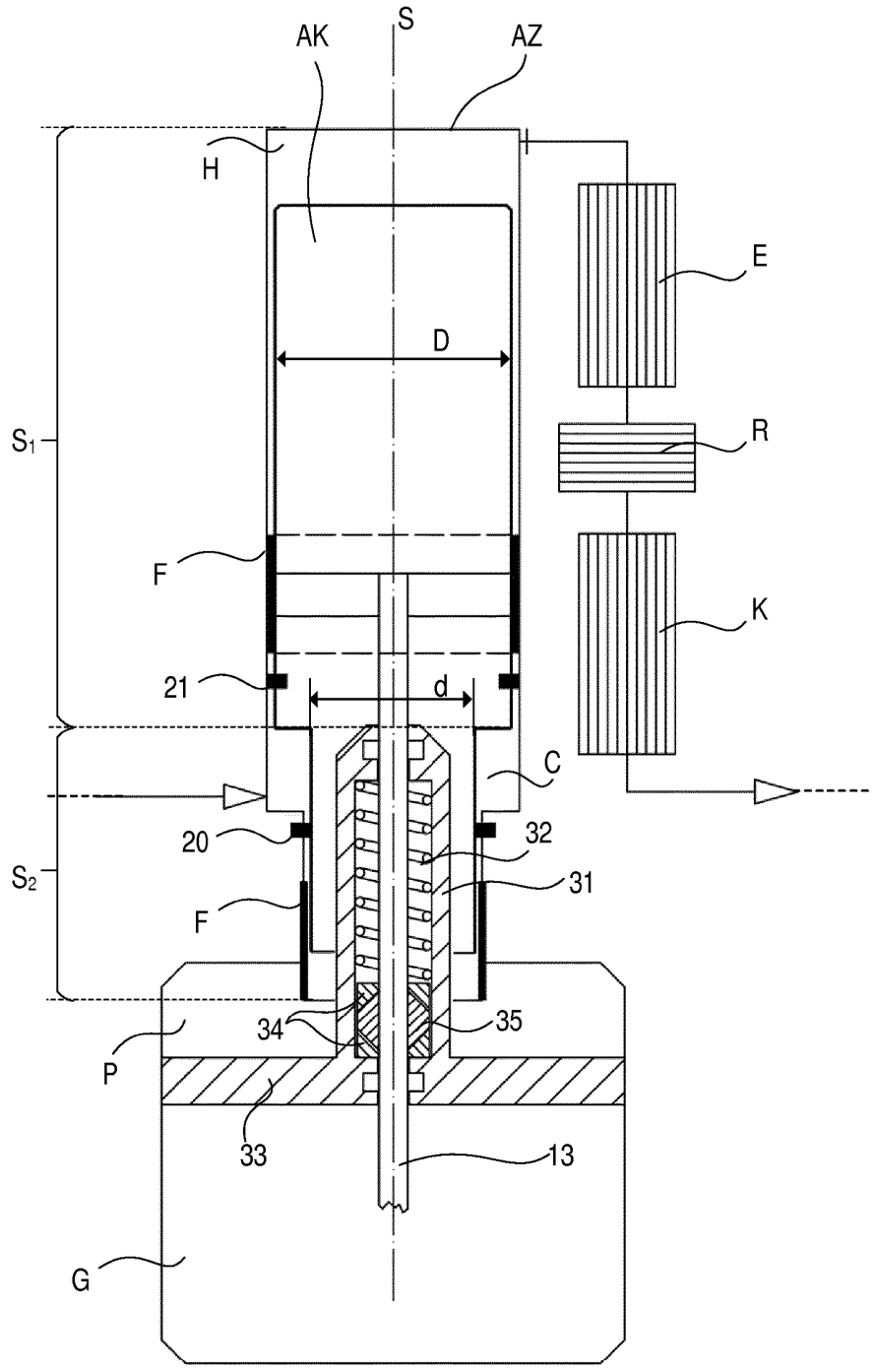


Fig 14