

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 427**

51 Int. Cl.:

F04B 39/00 (2006.01)

H02K 44/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.04.2014 PCT/AT2014/050095**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.10.2014 WO14169312**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2014 E 14723970 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2017 EP 2986852**

54 Título: **Unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido con bomba de inducción, y método para la producción de tal unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido**

30 Prioridad:

19.04.2013 AT 3292013
05.02.2014 AT 852014

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.07.2017

73 Titular/es:

SCHNEIDER, ALEXANDER (100.0%)
Margaretenstraße 88-90/3
1050 Wien, AT

72 Inventor/es:

SCHNEIDER, ALEXANDER

74 Agente/Representante:

DURÁN MOYA, Carlos

ES 2 621 427 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

Unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido con bomba de inducción, y método para la producción de tal unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido

5 La invención se refiere a una unidad de almacenamiento de aire comprimido que tiene un circuito eléctrico de entrada y salida, medios de compresión y expansión y un depósito artificial de aire comprimido, presentando los medios de compresión y expansión una bomba de pistón -200- que es conmutable entre un modo de bombeo y un modo generador. Una unidad de almacenamiento de aire comprimido tal resulta conocida del documento US 2011/277457 A1.

15 Para detener el cambio climático, deberían tomarse en cuenta las fuentes de energía renovable para una mayor participación en la mezcla de energía. El problema es, sin embargo, que el suministro de energía procedente del sol y el viento no es en correspondencia temporal con la demanda de energía. No hay suficientes sistemas de almacenamiento de energía económicos. Por tanto, las plantas de energía térmica y plantas de energía nuclear todavía están en uso con el fin de proporcionar una "reserva controlada". Por lo tanto, existe la necesidad de aumentar la cantidad de energía renovable y reducir la dependencia de plantas de energía térmica y nuclear como "reserva controlada" o "balance de energía", respectivamente.

20 Para almacenar energía eléctrica, se conoce el almacenamiento de aire comprimido y calor. Las unidades de almacenamiento de energía de aire comprimido anteriores, hacen uso de cavidades subterráneas geológicamente adecuadas: por este motivo, están limitadas con respecto a la elección del sitio, pero también con respecto a la presión de trabajo máxima. Por tanto, las unidades de almacenamiento de energía de aire comprimido creadas artificialmente, que esencialmente permiten una mayor presión de trabajo, son más ventajosas. Así, la densidad de energía es mayor, el diseño es más compacto y la selección del sitio es más fácil. Además, muchas de las unidades de almacenamiento de energía de aire comprimido propuestas hasta ahora no almacenan el calor generado durante la compresión o lo almacenan solo parcialmente, y en el funcionamiento generador estas, por tanto, tienen que suministrar calor desde el exterior, por ejemplo, mediante la combustión de gases, de modo que el generador no se congela. Esto es porque las tasas de eficiencia de tales unidades de almacenamiento de energía de aire comprimido son demasiado bajas para desempeñar un papel económico importante en la "transición de energía".

35 El documento EP 2 450 549 A2 describe una planta de energía de almacenamiento de calor con etapas de presión o método de almacenamiento de energía para almacenar energía temporalmente en la forma de energía de presión en un medio comprimible y en la forma de energía térmica. Esta tecnología permite una eficiencia termodinámica mayor que los métodos anteriores, como pueden ser los descritos en DE 2 636 417 A1, DE 2 541 501 A1, DD 118455 A1, DE 2 536 447 B2, DE 2 615 439 A1, DE 3 428 041 A1, EP 364 106 B1, USA 4.630.436, USA 4.523.432 y USA 4.765.142. Esta mayor eficiencia se logra mediante una disposición flexible de varios compresores, varios medios de intercambio de calor y varios medios de expansión, los cuales pueden estar conectados mediante numerosas tuberías independientes entre sí en cualquier forma deseada. Lo que ha de llegar a ser ventajoso es la posibilidad de que el número de medios de compresión puede ser diferente del número de medios de expansión. En particular, se supone que es posible suministrar energía en exceso en la forma de energía eléctrica, mecánica y térmica en una forma ventajosa desde el exterior. Por el contrario, una disposición comparable que tiene solo una etapa de compresión y una etapa de expansión, se supone que la eficiencia se aumentará significativamente por la disposición multi-etapa que tiene intercambiadores de calor interconectados. La expansión y compresión se realizan como un proceso adiabático, la disposición multi-etapa de los intercambiadores de calor y la posibilidad de alimentar la energía en exceso desde el exterior, supone llevar al mínimo las pérdidas de temperatura o pérdidas de energía. Una desventaja es la mayor complejidad de la planta, lo que aumenta los costos de construcción y operación. La rentabilidad económica de tal planta depende, entre otras cosas, de la disponibilidad de energía (térmica) en exceso.

50 De manera similar debe evaluarse el sistema descrito en el documento EP 2 489 840 A1, en el que busca un proceso isotérmico. El calor no se almacena, sino que es intercambiado con el ambiente. La presión de almacenamiento máxima es de 300 bar. Si no hay disponible ninguna fuente de calor externa para la descarga la eficiencia queda limitada al 70%.

55 En la medida de lo posible, la presente invención es para almacenar todo el calor producido durante la compresión y su uso de nuevo durante la expansión tan completamente como sea posible. No se proporciona fuente de calor adicional. El objetivo es garantizar la mejor eficiencia posible y la operación más económica.

60 Por encima de todo, un objetivo de la invención es proporcionar una construcción sencilla y eficaz con respecto al desarrollo del compresor/expansor.

65 Para ello la invención da a conocer una unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido como la especificada en la reivindicación 1. Las realizaciones ventajosas se especifican en las reivindicaciones dependientes.

Se utiliza pues una máquina de pistón, que funciona como una bomba así como un generador. Los "pistones" consisten en un líquido que tiene una alta conductividad eléctrica y térmica como puede ser galinstano, los "cilindros" son vasos comunicantes que contienen el líquido. En el funcionamiento de bombeo, los pistones líquidos son impulsados inductivamente. En el funcionamiento generador, el aire comprimido impulsa los pistones, los pistones superan la resistencia de un voltaje de excitación y realizan el trabajo eléctrico en los terminales del devanado de la bobina (semejante a un generador magneto-hidrodinámico (MHD)). Debido a la circulación continua del líquido pistón, toma lugar un intercambio de calor ventajoso entre el desplazamiento del pistón y el acumulador de calor, cuyo intercambiador de calor disipa efectivamente el calor producido durante la compresión y evita la congelación del generador durante la expansión.

En detalle, por consiguiente, la invención proporciona una unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido del tipo indicado en lo anterior, en la que los medios de compresión y expansión comprenden una bomba de pistón, cuyos pistones consisten en un líquido eléctrica y térmicamente conductivo, por ejemplo galinstano, y el cual se puede cambiar entre un funcionamiento de bombeo y un funcionamiento generador, se disponen electroimanes con un núcleo y bobinas para impulsar inductivamente el líquido conductor; el núcleo forma un bucle cerrado, disponiendo el bucle de una forma que se desvía de la forma de anillo circular, es decir, comprende dos partes cilíndricas paralelas y rectas, alrededor de las que se devana la bobina.

El núcleo magnético puede estar diseñado de tal manera que las pérdidas por corrientes de Foucault son mínimas y la energía magnética es máxima, por ejemplo, en que el núcleo está formado de alambres aislados metálicos de μ , paralelo.

Un hueco se deja libre entre el núcleo magnético y las bobinas (excitación), en el cual el líquido conductor se mueve hacia arriba y hacia abajo de acuerdo con los vasos comunicantes. Además, esta es una ventaja en la presente si una pared de división que subdivide el hueco entre el núcleo y las bobinas dentro de un hueco interno ubicado cercano al núcleo y el hueco externo cercano a las bobinas, en donde la pared de división termina en dos extremos superiores de las partes paralelas del núcleo, de modo que el líquido conductor pueda fluir desde un hueco dentro del otro hueco, formando un desplazamiento del pistón.

El volumen del líquido conductor puede ser controlado en un marco de cilindro de la bomba de pistón, el desplazamiento del pistón -por ejemplo por medio de un diseño controlador en una forma completamente tradicional-, la entrada de energía siendo constante durante el proceso de almacenamiento de aire comprimido. Se proporciona con beneficio particular que el líquido conductor se conecta a un depósito, el volumen del cual es variable por medio de un transductor de presión de reducción y un líquido hidráulico dependiendo de la presión del aire en el almacenamiento de energía de aire comprimido, en donde el líquido hidráulico presiona contra al menos una superficie límite resiliente, por ejemplo, una membrana, en el otro lado del cual se coloca el depósito de líquido conductor. La disposición geométrica para controlar el desplazamiento del pistón, que tiene uno o varios elementos membrana de diferente tamaño, así como la(s) característica(s) del resorte de la(s) superficie(s) límite puede imitar exactamente la no linealidad necesaria del cambio de volumen durante la operación.

En el funcionamiento generador, los pistones del generador, que consisten en el mismo líquido que tiene una muy buena conductividad térmica y eléctrica, se impulsan por el aire comprimido, en donde el líquido, es decir, los dos pistones, inducen un voltaje en las bobinas, el cual es llevado a terminales externos, para realizar el trabajo eléctrico deseado.

La máquina uniforme, o para ser más precisos, la bomba de pistón es completamente sumergida en un líquido, por ejemplo, agua, actuando como acumulador de calor. En el funcionamiento, una bomba circulante puede circular constantemente el líquido conductor en un circuito cerrado, en donde el intercambio de calor tiene lugar entre el líquido conductor y el acumulador de calor.

En funcionamiento, se deduce que se proporcionan dos pistones en vasos comunicantes en forma de U y se conectan entre sí; como se mencionó dichos pistones siendo formados por el líquido conductor, y alternativamente un pistón se levanta, mientras el otro pistón se baja, el volumen completo del pistón siendo constante durante el periodo de trabajo.

Además, es una ventaja particular si una bomba circulante de inducción respectiva por debajo de las dos partes del núcleo en cada media carrera del pistón succiona de manera periódica y sincrónica el líquido conductor desde el hueco externo y lo impulsa inductivamente a través del intercambiador de calor y finalmente lo empuja de regreso hacia el hueco interno.

Además, es ventajoso si el depósito, que controla el volumen de líquido conductor, al mismo tiempo actúa como un intercambiador de calor, en donde tres cámaras de arco en forma de disco están dispuestas adyacentes entre sí, es decir, una cámara central, a la cual se suministra el líquido hidráulico, y en ambos lados de la misma, separados por membranas elásticas de la misma, existen dos cámaras de depósito, las cuales son cada una definida por una pared en arco externamente elaboradas de un material que tiene una buena conductividad térmica y resistencia a altas temperaturas, por ejemplo, vidrio borosilicato.

Además, es ventajoso si las bombas circulantes bombean en el líquido conductor en el extremo inferior de los intercambiadores de calor, en donde en el extremo superior y el líquido conductor enfriado o el líquido conductor calentado en el funcionamiento generador se alimenta de nuevo otra vez a la bomba de pistón mediante una tubería.

Para formar el intercambiador de calor, es ventajoso si el líquido conductor se dirige a través de una tubería de intercambio de calor en forma de hélice de un material térmicamente conductivo y resistente a altas temperaturas, por ejemplo, vidrio de borosilicato, dentro de un acumulador de calor, posiblemente dentro del acumulador de calor líquido.

Para una utilización óptima de la energía térmica, también es ventajoso si se extiende una tubería de presión, por ejemplo, serpenteante, pasa entre el depósito de aire comprimido y la bomba de pistón a través del acumulador de calor, en la que la energía térmica se transfiere desde el aire comprimido al medio de acumulación de calor o viceversa.

Para el control de aire comprimido, es ventajoso si una válvula de presión y una válvula de succión en forma de anillos concéntricos rodean el núcleo magnético. Además, es ventajoso si la cámara de aire por encima de la válvula de succión está conectada a los alrededores por medio de una tubería extendiéndose a través del acumulador de calor. La tubería se extiende fuera del acumulador de calor en el lado superior.

Para obtener particularmente un alto grado de eficiencia, también es ventajoso si el depósito de aire comprimido así como, según el caso puede ser, el acumulador de calor y la tubería de presión están rodeados por una capa térmicamente aislante.

En el presente sistema, o unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido se reduce la emisión de ruido, entre otras cosas, obteniendo aislamiento del ruido por el líquido de acumulación de calor que lo rodea. Además, es preferible proporcionar la tubería que lleva a los alrededores el sonido que se obtiene por el calor que rodea con un recubrimiento de amortiguación de ruido en su lado interno.

También es especialmente ventajoso si todas las partes mecánicamente fijas, con excepción de las bobinas, el núcleo y un control de válvula magnética, se hacen de un material eléctricamente no conductor, por ejemplo, cerámica, para minimizar las pérdidas de corriente de Foucault y pérdidas de desmagnetización; por consiguiente, la suspensión de la máquina, el marco, también pueden hacerse de tal material eléctricamente no conductor, como puede ser en particular, cerámica.

Como se mencionó, se proporciona un condensador eléctrico para la salida de voltaje, que preferentemente está diseñado como un condensador de placas que tiene placas de engrane tipo peine, las cuales se separan por un dieléctrico adecuado, por ejemplo, cerámica, vidrio o plásticos, y están separadas de modo que una tensión de rotura dieléctrica de 220 kV se obtiene para el condensador, en donde luego se combina con las bobinas, se obtiene una frecuencia de resonancia de 50 Hz.

La presente unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido tiene una construcción simple, ya que comprende como núcleo una sola máquina, que es simultáneamente un motor, compresor, expansor y generador. Esta máquina sencilla hace el mismo trabajo, para el cual, de acuerdo con EP 2 450 549 A2 tiene una operación simple, en donde aparte de las válvulas no comprende ningún componente sujeto al desgaste. La presente invención permite (suponiendo que todos los procesos se hacen en una forma sin pérdidas) aproximar la eficiencia termodinámica en cualquier sitio cercano a 100%, sin embargo, a cargo de la entrada de energía o salida de energía. Durante la circulación del líquido de pistón, el pistón líquido mejora la transferencia de calor entre el aire comprimido en el desplazamiento del pistón y los alrededores del desplazamiento del pistón. En la presente invención, la compresión/expansión no es meramente un proceso adiabático, como puede ser el caso en EP 2 450 549 A2, sino un politrópico. Por medio de un ajuste fino adecuado del desplazamiento de pistón como una función de la presión de almacenamiento (por ejemplo, variando la cantidad completa del líquido de pistón en el sistema o suministrando/llevando el líquido hidráulico de/hacia el exterior), el tiempo de permanencia del aire comprimido en el desplazamiento del pistón puede variar en cualquier forma deseada. Cada elemento de volumen diferencial de la cantidad de aire a ser comprimida/expandida puede ser comprimida/expandida no solo una vez, sino n- veces antes de ser descargada al almacenamiento o a la atmósfera. Cuanto mayor sea el valor seleccionado para n, es decir, cuanto mayor sea la permanencia de gas en el desplazamiento del pistón, con mayor frecuencia puede intercambiar de calor con líquido de pistón más fresco y más circulado. Cuanto mayor sea el valor seleccionado para n, más cerca la curva característica politrópica se aproxima a la isoterma. Se conoce que la compresión isotérmica y expansión son equivalentes a una eficiencia igual al 100%. Cuanto mayor es el valor seleccionado para n, menor el intercambio de energía entre el desplazamiento del pistón y los alrededores por carrera del pistón, cuanto menor el "rendimiento" de la cantidad de aire comprimido almacenado por carrera de pistón, más tiempo tarda la carga/descarga del almacenamiento. En el caso de un valor mayor para n, habrá un mayor grado de "energía reactiva" termodinámica, oscilante hacia de ida y vuelta entre la energía de presión máxima en el gas (aire) y la energía cinética máxima en el pistón. Además, la transferencia/eficiencia del calor también se puede mejorar aumentando el área del pistón en proporción al desplazamiento del pistón. La invención del tipo presente permite ajustar por medio de un ajuste fino de

algunos parámetros el punto de operación óptimo en términos de la máxima rentabilidad posible. El compromiso óptimo entre el desempeño y la eficiencia también se determina por los precios sobre el intercambio de electricidad. La invención permite ajustar el punto de operación óptimo en caso de cambiar los precios de la electricidad.

5 Para la producción de una unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido antes descrita, pueden al menos alguno o todos los componentes ser fabricados mediante impresión 3D, la impresora 3D siendo cargada con una mezcla de polvo de cerámica y piezas de fibra cerámica en relaciones de mezcla variables.

10 Ventajosamente, la unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido se fabrica en un diseño compacto y auto-portante.

15 Las dos bombas circulantes pueden ser reemplazadas por una bomba circulante compacta centralmente ordenada la cual está firmemente unida a la bomba principal y la cual simultáneamente satisface una función de soporte mecánico.

Los núcleos magnéticos de la bomba principal y bomba de circulación preferentemente no están devanados sino encapsulados, en cavidades del componente compacto, en donde las cavidades tienen, en particular, una sección transversal con forma de estrella y la formación de burbujas de aire se reduce aplicando un vacío en la cavidad.

20 Varias capas de fibras o cuerdas pueden ser devanadas alrededor de las partes que llevan la presión para mejorar la resistencia, y posteriormente estas fibras o cuerdas pueden ser introducidas en una matriz de endurecimiento o ser envainadas con una matriz de endurecimiento.

25 Para envolver las partes que llevan la presión, puede utilizarse una máquina de bobinado diseñada específicamente para este propósito.

30 El dispositivo para intercambiar entre el funcionamiento de bombeo y el funcionamiento generador puede organizarse por encima de las válvulas, de modo que es posible envolver tanto el dispositivo de intercambio como la máquina con fibras en el área del desplazamiento del pistón y las válvulas.

Al haber mejorado el controlador de desplazamiento, es posible envolverlo con fibras.

35 Ventajosamente, cuatro pilares principales están organizados en el borde exterior para soportar la planta y llevar el intercambiador de calor helicoidal.

40 El intercambiador de calor helicoidal puede hacerse de piezas que consisten en segmentos de cuarto de círculos. Dichos segmentos de cuarto de círculo cada uno es envainado con un tubo elaborado de tejido fibroso y luego con una matriz de endurecimiento, antes de ser insertados en aberturas apropiadas sobre los cuatro pilares principales y siendo firmemente unidos, por ejemplo, soldadas a los mismos.

Adicionalmente, puede disponerse un dispositivo para suministrar y descargar aire a/del controlador de desplazamiento del pistón. Dicho dispositivo para suministrar y descargar aire tiene una función semejante como el dispositivo de intercambio.

45 El controlador del desplazamiento de pistón puede disponerse por encima de la máquina. Con ello se logran las siguientes ventajas:

- Debido al peso específico bajo, el líquido hidráulico flota directamente sobre el líquido de pistón y se mezcla con éste.

50 - La relación de mezclado del polvo de cerámica y las piezas de fibra cerámica pueden variar en la impresora 3D, en particular, para la fabricación del controlador del desplazamiento del pistón: Por ejemplo, la impresora puede ser cargada hasta el borde superior de la bomba con polvo de cerámica solamente, para obtener superficies tan lisas como sea posible, y por encima de ésta con una mezcla de polvo de cerámica y piezas de fibra, para obtener un elemento dúctil que tiene un mayor alargamiento al rompimiento.

55 Si las aletas del intercambiador de calor se utilizan en el desplazamiento del pistón, el intercambio de calor entre el gas y la atmósfera en el desplazamiento del pistón puede ser mejorado y la eficacia aumentada mediante el acercamiento al proceso isotérmico.

60 Al devanar las bobinas eléctricas, gira, por ejemplo, un cuerpo de bobina móvil preferentemente gira en un marco fijo o en un plano base. Existe un pequeño hueco de aire entre el fondo de la bobina y el marco fijo, en donde las bolas de cerámica llevan que la bobina se lamina durante el proceso de devanado. El marco fijo comprende un surco circular, en el cual las bolas se laminan. Después del final del proceso de devanado, el espacio de aire entre la bobina y el marco incluidas las bolas se llena con una matriz de endurecimiento (por ejemplo, hormigón). Los dientes pueden proporcionarse en la circunferencia exterior del fondo de la bobina, de modo que el devanado puede tomar lugar con la ayuda de un accionamiento de engranaje.

65

La invención ahora se describirá por medio de las modalidades preferidas no limitativas y con referencia a los dibujos acompañantes, en los cuales:

- 5 La figura 1 es una vista esquemática toda la unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido;
la figura 1A es un diagrama del circuito eléctrico equivalente asociado;
- 10 la figura 2 es una vista esquemática de una máquina de pistón ("bomba de inducción") de la unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido con sus componentes periféricos como puede ser un controlador del desplazamiento de pistón y circulación de intercambio de calor;
- 15 la figura 3 es una vista esquemática de esta máquina de pistón ("bomba de inducción") en forma alargada y sin componentes periféricos;
- la figura 4 es una sección transversal del núcleo magnético blando, el devanado de la bobina y los huecos de aire interno y externo de esta máquina de pistón, de acuerdo con la línea IV-IV en la figura 3;
- 20 la figura 5 es una sección transversal del núcleo magnético blando, el desplazamiento del pistón y el tren de engranaje planetario de ese dispositivo de la máquina de pistón que intercambia entre el funcionamiento de bombeo y el funcionamiento generador, de acuerdo con la línea V-V en la figura 3;
- la figura 6, en un detalle VI de acuerdo con la figura 3, es una sección longitudinal alargada de una válvula de presión y succión que incluye resortes e imanes de control, en donde ambas válvulas están cerradas;
- 25 la figura 7 es una vista semejante a la figura 6, sin embargo, con una válvula de succión abierta;
- la figura 8. es una vista semejante a la figura 6, sin embargo, con una válvula de succión abierta;
- 30 la figura 9 es una sección longitudinal ampliada de la válvula de presión que incluye imanes de control, la vista siendo girada en aproximadamente 90° en comparación con la figura 6;
- la figura 10 es una sección longitudinal ampliada de la válvula de succión que incluye imanes de control, la vista siendo girada en aproximadamente 90° en comparación con la figura 6;
- 35 la figura 11 es diagrama esquemático de un proceso de ciclo termodinámico;
- la figura 12 es una vista de la máquina de diseño compacto;
- 40 la figura 13 es una vista girada en aproximadamente 90° en comparación con la figura 12;
- la figura 14 es una sección transversal de la bomba de circulación compacta centralmente dispuesta por debajo de la máquina, así como los cuatro soportes incluido el intercambiador de calor helicoidal;
- 45 la figura 15 es una sección transversal del controlador de desplazamiento del pistón mejorado;
- la figura 16 es una sección transversal de una pata de la máquina que consiste en el núcleo magnético en forma de estrella;
- 50 la figura 17 es una vista esquemática de un posible diseño de la máquina de bobinado;
- la figura 18 es una vista ampliada del dispositivo de intercambio mejorado;
- 55 la figura 19 al igual que la figura 18, sin embargo, con la válvula inferior estando en una posición abierta;
- la figura 20 al igual que la figura 18, sin embargo, con la válvula superior estando en una posición abierta; y
- 60 la figura 21 es una sección transversal de la máquina en el nivel del desplazamiento del pistón teniendo aletas del intercambiador de calor ordenadas en una forma de estrella.
- 65 La figura 1 muestra esquemáticamente un ejemplo de una unidad de almacenamiento de aire comprimido -100- que comprende una bomba de pistón -200- ejerciendo la función de un compresor y un expansor: una capa térmicamente aislante -1- rodeando un almacenamiento de aire comprimido -2- (artificial) y un líquido acumulador de calor -3-, el cual, por ejemplo, es agua. La bomba de pistón -200- se sumerge en el líquido y rodeada por todos los lados.

En términos de ingeniería eléctrica, se proporciona un circuito resonante serie R-L-C; véase la figura 1A. Un voltaje U alternante de 220 kV se aplica a terminales externos -4- como circuito de entrada y salida. La capacidad C se forma por el condensador -5-, el cual está dispuesto fuera de la capa térmicamente aislante -1-. El condensador -5- está diseñado como un condensador de placa laminado que tiene una tensión de rotura dieléctrica considerablemente mayor que 200 kV. Las placas del condensador -5- están conectadas de modo que los polos del condensador -5- se inter-engran en una forma tipo peine y el dieléctrico llena un espacio serpenteante entre los electrodos. La inductividad L se forma por un devanado en forma de bobina -6- de la bomba de pistón -200-. La resistencia activa eléctrica R resulta del trabajo mecánico realizado durante la compresión de aire. La inductividad L de la bobina -6- y la capacidad C del condensador -5- se dimensionan de modo que la frecuencia de resonancia corresponde a la frecuencia de alimentación de 50 Hertz (o, según el caso puede ser, 60 Hertz, por ejemplo, en los Estados Unidos).

Así, la unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido -100- trabaja sin ninguna transformación de voltaje directamente con un voltaje alternante de 220 kV en la entrada/salida -4-, para cuyo propósito es favorable si todas las partes, en particular el devanado de bobina -6-, son cuidadosamente doblemente aislados y diseñados en una forma hermética al agua.

El aire comprimido fluye a través de la tubería de presión -7- entre la bomba de pistón -200- y el depósito de aire comprimido -2-. Para optimizar el intercambio de calor, la tubería de presión -7- está diseñada en una forma serpenteante dentro del intercambiador de calor -3-. Una tubería -8- conecta la bomba de pistón -200- al aire ambiente. Para minimizar la emisión de ruido, el interior de la tubería -8- que conduce a la parte exterior puede ser recubierto con un material que amortigua el ruido. Además, el acumulador de calor -3- y el aislamiento térmico -1- al mismo tiempo actúan como un amortiguador de sonido.

La figura 2 es una vista esquemática de la bomba de pistón -200- que incluye todos sus componentes periféricos. Un transductor de presión -9- convierte la presión de trabajo del aire comprimido (tubería de presión -7-) proporcionalmente a la presión de un líquido hidráulico -10-, el cual pasa la presión en dos resortes de membrana -11-. Los resortes de membrana -11- subdividen un elemento en forma de disco -12- en una región interna (en medio) -13- y dos regiones externas -14- (derecha e izquierda de la región media -13-).

Dos pequeñas bombas de circulación -15- se colocan por debajo de las dos patas de la bomba de pistón -200-. Estas bombas circulantes -15- dirigen un líquido de pistón, que todavía se describirá con mayor detalle, a través de un circuito de intercambio de calor, que continúa la pata derecha y la pata izquierda de la bomba del pistón -200- en una línea recta hacia abajo, conduce a través de la bomba circulante -15- y luego se ramifica en dos conductos: una ramificación se extiende desde el fondo a través de la región externa -14- del elemento en forma de disco -12-. La otra ramificación se extiende hacia arriba a través de un intercambiador de calor de hélice -16-. Por encima de los dos elementos -12- y -16-, los dos conductos o ramificaciones se funden en un conducto, que centralmente re-ingresa la bomba de pistón -200- en un vértice inferior -17- de la bomba de pistón.

La figura 3 es una vista ampliada de la bomba de pistón -200- sin ningún componente periférico: esta comprende un núcleo magnético suave -18- en la forma de anillo tórico abierto por corte, en el cual dos partes paralelas, es decir, partes del cilindro -18A-, -18B-, están insertadas. La elevación del núcleo -18- mostrado en la figura 3 tiene la forma de un estadio. El núcleo -18- es construido en tal forma que cualquier pérdida de corriente de Foucault es mínima, por ejemplo, en la forma de alambres de metal Mu aislados, paralelos o elaborados de una placa del transformador estratificada. Por otra parte, el núcleo -18- es construido en tal forma que el flujo magnético alcanza un máximo y la resistencia magnética llega a un mínimo, es decir, por ejemplo sin ninguna junta o huecos de aire en la dirección del flujo magnético. Las partes en forma de cilindro -18A-, -18B- del núcleo -18- se envuelven con alambre aislante para formar las bobinas -6-. Un hueco angular -19- se coloca entre el núcleo -18- y las bobinas -6-. Las dos bobinas -6- se conectan por un tubo en forma de U -20- concéntricamente alrededor del núcleo magnético -18-. La cámara de aire -19- entre las bobinas -6- conectadas en forma de U y el núcleo -18- es subdividido por una pared de división -21- en un hueco interno -22- ubicado cercano al núcleo -18- y un hueco externo -23- ubicado cerca a la bobina; véase también la figura 4. Estos dos huecos -22- y -23- definen dos vasos comunicantes concéntricos.

Entre las partes paralelas -18A-, -18B- del núcleo -18- por encima de la bobina -6-, se ubica un dispositivo de conmutación -24- que comprende dos servomotores -25-, cada uno conduce un disco -27- a través de un engranaje planetario -26-; véase también figura 5; cada disco -27- tiene una proyección frustocónica -28- en el centro y una rosca en la superficie externa, que se desliza en una rosca de la carcasa del dispositivo de conmutación -24-.

La figura 6 es una vista alargada de un área detallada (véase detalle VI en la figura 3) de la bomba de pistón -200-: un desplazamiento de pistón -29- de la bomba de pistón -200- (véase la figura 3) es cercana a la parte superior de dos válvulas, es decir, una válvula de presión -30- y una válvula de succión -31-. Ambas válvulas -30- y -31- están diseñadas como anillos concéntricos alrededor del núcleo magnético -18-. Ambas válvulas -30-, -31-, se mantienen cerca cada una por la fuerza de un resorte -32- o -33-, respectivamente. El resorte -32- mantiene la válvula de presión -30- cerrada, el resorte -33- mantiene la válvula de succión -31- cerrada. Ambas válvulas -30-, -31- llevan varios electroimanes dispuestos en forma anular -34- o -35-, respectivamente, los cuales son capaces de abrir las válvulas -30-, -31- contra la fuerza del rodillo. Los electroimanes -34- abren la válvula de presión -30-; los electroimanes -35- abren la válvula de succión -31-.

La figura 7 muestra la válvula de presión -30- en una posición abierta: el desplazamiento de pistón -29- se conecta al almacenamiento de aire comprimido -2-, como se indica por la flecha -(7)-, apuntando a la tubería de presión -7-.

5 La figura 8 muestra la válvula de succión -31- en posición abierta: el desplazamiento de pistón -29- se conecta al aire ambiente (flecha -(8)-; véase tubería -3-).

La figura 9 es una vista interior o proyección de una parte de la válvula de presión -30-, de modo que la forma de uno de los electroimanes dispuestos en forma anular -34- es visible. La dirección de visualización se gira en 90° en comparación con la figura 6, es decir, radialmente desde el interior hacia el exterior.

La figura 10 muestra una parte de la válvula de succión -31- en proyección, de modo que la forma de dos electroimanes dispuestos en forma anular -35- es visible. La dirección de visualización se gira en 90° en comparación con la figura 6, es decir, también radialmente hacia afuera.

15 Siguiendo la ilustración básica anterior de la construcción de la unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido presente -100-, a continuación seguirá una descripción del funcionamiento de la unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido -100-, otros detalles constructivos resultantes.

20 El hueco -19- entre las bobinas -6- y el núcleo -18- (véase figura 3) se llena con el líquido térmica y eléctricamente conductor, por ejemplo, galinstano. En estado de reposo, el nivel de líquido es idéntico en ambas patas de los tubos de comunicación (de acuerdo con las partes del núcleo -18A-, -18B-).

Un extremo de una bobina -6- se conecta a un extremo de la otra bobina -6-, de modo que las dos bobinas -6- juntas forman un devanado simple alrededor del núcleo magnético -18-. Los flujos magnéticos de las bobinas interconectadas -6- a través del núcleo -18- siempre se extienden en la misma dirección, ya sea en una dirección en el sentido horario o una dirección antihorario. Un voltaje alterno de 220 kV que tiene una frecuencia de 50 Hertz se aplica a los dos terminales -4- (figura 1). Dicho voltaje alternante induce un campo magnético y un flujo magnético asociado en el núcleo -18- de la bomba de pistón -200-, cuya dirección se invierte 50 veces por segundo, en sentido horario y anti-horario, alternativamente.

El cambio del flujo magnético en el núcleo -18- a su vez induce un voltaje alternante eléctrico extendiéndose anularmente alrededor del núcleo -18- y unido al núcleo -18-, en el líquido eléctricamente conductor presente en el hueco -19-. La corriente eléctrica asociada con este líquido induce un campo magnético, el cual es opuesto al campo magnético en el núcleo -18-. Si el campo magnético en el núcleo -18- circula en sentido horario, el campo magnético generado por la corriente eléctrica en el líquido es en una dirección anti-horario y viceversa. Una fuerza de Lorentz idéntica se ejerce tras cada elemento de volumen diferencial del líquido. Esto provoca un flujo laminar sin remolinos en el recipiente de comunicación, el líquido asciende en una pata, mientras cae en la otra parte. Así, este sistema actúa como una bomba de pistón o máquina de pistón que comprende un pistón líquido. El calor generado en la compresión (ilustrado con más detalle a continuación) se disipa o el calor requerido en el funcionamiento generador que se suministra en el líquido de pistón se circula continuamente durante la operación y se dirige a través del intercambiador de calor -16-. La circulación continua del líquido de pistón en un circuito evita que siempre las mismas moléculas del líquido estén en el borde entre el pistón y el aire. La circulación del líquido se logra cuando el hueco -19- llenado con un líquido eléctricamente conductor se divide en dos huecos concéntricos -22-, -23- por la pared de división concéntrica -21-, además de la figura 3, véase también la figura 4. Estos huecos -22-, -23- están conectados solo en el extremo superior del desplazamiento del pistón -29- de los dos "pistones", de modo que el líquido de pistón puede pasar desde el hueco interno -22- en el hueco interno -23- (y viceversa). El volumen de pistón calentado en el funcionamiento de bombeo (o enfriado en el funcionamiento generador) se intercambia en cada periodo de trabajo (es decir, 50 veces por segundo) por la bomba de circulación -15-. La bomba de circulación -15- pequeña funciona igual que la bomba de aire comprimido grande (ver figuras 6 a 10) por inducción, solo que a pequeña escala. Se absorbe líquido de pistón desde el hueco externo -23- hacia abajo, continuamente se dirige a través de los intercambiadores de calor -12-, -16- y luego desde por debajo, en el vértice inferior -17-, de nuevo en el hueco interno -22-.

Una vez que el aire comprimido calentado ha pasado por la válvula de presión abierta -30- (figuras 6, 7) es dirigida a través del acumulador de calor -3- en la tubería de presión -7-, permitiendo disipar su calor. A la inversa, el aire que entra desde el almacenamiento de energía de aire comprimido -2- puede absorber calor desde el acumulador de calor -3-, antes de expandirse y enfriarse en el desplazamiento de pistón -29- del sistema, luego funcionando como un generador.

Para mantener la potencia absorbida en el funcionamiento de bombeo (operación de carga) constante, se controla el volumen del desplazamiento del pistón -29-. En el caso de una baja presión de trabajo (por ejemplo, 100 bar), el nivel del líquido de pistón es bajo, en consecuencia, el desplazamiento del pistón -29- es grande. En el caso de una alta presión de trabajo (por ejemplo, 1000 bar), el nivel del líquido de pistón es alto, en consecuencia, el desplazamiento del pistón -29- es bajo. El volumen del desplazamiento de pistón es controlado por el elemento -12- que funciona como controlador de volumen, y como ya se mencionó, dicho elemento tiene su interior dividido en la región media

(interna) -13- y las dos regiones externas -14- por los dos resortes de membrana -11- (véase la figura 2). Los resortes de membrana -11- se abultan cuando la presión se eleva en la región media -13-. El líquido hidráulico -10- es contenido en esta región -13-, la presión se reajusta proporcionalmente a la presión de trabajo con la ayuda de un transductor de presión -9-. El líquido de pistón es contenido en las regiones externas -14- del elemento en forma de disco -12-, cuyo líquido es parcialmente desplazado fuera de las regiones -14- cuando se abultan los resortes de la membrana -11-, reduciendo así el volumen en la región -14-. Cuando la presión de trabajo se eleva, el líquido de pistón se fuerza desde la cámara -14- a través de la abertura -17- y dentro del hueco -19-, reduciendo así el desplazamiento del pistón -29-. El resorte característico y las dimensiones de los resortes de membrana -11- preferentemente se seleccionan en tal forma que el desplazamiento del pistón -29- es controlado por la presión de trabajo en tal forma que la potencia absorbida es constante en el funcionamiento de bombeo.

Así, el sistema puede trabajar como una bomba o como un generador. En el funcionamiento de bombeo, la energía eléctrica se utiliza para realizar el trabajo de compresión en el desplazamiento del pistón -29- por encima del nivel de líquido. El aire adjunto en el desplazamiento del pistón -29- se comprime hasta que la presión es mayor que la presión en el almacenamiento de energía de aire comprimido -2-. De este modo, la válvula de presión -30- (véase figuras 6 y 7) por encima del líquido del pistón se abre contra la fuerza del resorte -32-, y el aire comprimido fluye en el almacenamiento de energía de aire comprimido -2- a través de la tubería de presión -7-. En el funcionamiento de bombeo, la diferencia de presión solo basta para abrir la válvula de presión -30-, la presión en el desplazamiento del pistón -29- supera la fuerza del resorte -32-, que nuevamente cierra la válvula de presión -30- después de la carrera del pistón.

Si bien el aire es comprimido en un "cilindro", el otro cilindro succiona aire fresco desde el exterior en el que la presión negativa causada por el desplazamiento del pistón -29- del otro cilindro abre la válvula de succión -31- contra la fuerza del resorte -33-, véase la figura 8.

En el funcionamiento generador, se aplica un voltaje de excitación a las terminales -4- desde el exterior. Dicho voltaje de excitación puede ser proporcionado por la red eléctrica, con lo cual la unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido del presente tipo trabaja en una operación interconectada. En el caso de una falla de energía, el voltaje de excitación puede ser generado por un sistema convencional auto-suficiente (por ejemplo, generador de diesel más transformador). Varios (por ejemplo, ocho) electroimanes -34- abren la válvula de presión -30- superando la fuerza del resorte -32-. Cuando el voltaje a través de los imanes -34- se apaga, la fuerza del resorte -32-, junto con la fuerza de gravedad, cierra (disminuye) la válvula de presión -30-. Mientras en un cilindro los imanes -34- abren la válvula de presión -30-, varios (por ejemplo, ocho) electroimanes -35- abren la válvula de succión -31- en el otro cilindro, para liberar el aire procesado hacia el exterior en la presión atmosférica (véase tubería -8-), superando la fuerza del resorte -33- y presionando la válvula de succión -31- hacia abajo. Cuando el voltaje a través de los imanes -35- se apaga, la fuerza del resorte cierra (asciende) la válvula de succión -31-, la cual entonces se cerrará. Los rectificadores (no se muestran) pueden cada uno suprimir una media onda de cada periodo del voltaje alternante en forma en forma de seno en los electroimanes -34- y -35-. Por ejemplo, la primer media onda de cada periodo de seno se aplica en los electroimanes, que abre la válvula de presión derecha y la válvula de succión izquierda, mientras la segunda media onda de cada periodo de seno se aplica en los electroimanes, que abre la válvula de presión izquierda y la válvula de succión derecha. El proceso de apertura y cierre se realiza elevando y bajando las válvulas -30-, -31- de manera síncrona con el voltaje de excitación 50 veces por segundo. La entrada de aire a presión realiza el trabajo mecánico en el funcionamiento generador, superando la resistencia electromagnética. Con ello, un flujo de corriente ocurrirá en las terminales externas -4-, lo cual es opuesto al voltaje de excitación eléctrica en ese punto. Así, se proporciona una fuente de voltaje, que puede suministrar energía eléctrica al exterior.

En el funcionamiento generador, los electroimanes de este modo abren la válvula de presión -30-, para permitir que el aire comprimido entre desde el depósito de aire comprimido -2- y dentro del desplazamiento del pistón -29- del cilindro, o los electroimanes -35- bajan la válvula de succión -31-, para permitir que el aire sea soplado hacia la atmósfera en la presión atmosférica después del ciclo de trabajo.

La cámara -36- por encima de la válvula de presión -30- se conecta a la presión del depósito de aire comprimido -2- o la presión atmosférica, dependiendo del modo de operación.

Para que la máquina sea capaz de trabajar ya sea como una bomba o un generador, es necesario que la cámara de aire -36- (véase figura 6) por encima de la válvula de presión -30- se conecte selectivamente a la presión de trabajo (por ejemplo, 100 - 1000 bar) o la presión atmosférica (1 bar). En el funcionamiento de bombeo, la cámara de aire -36- por encima de la válvula de presión -30- se conecta a la presión de trabajo en el depósito de aire comprimido -2-. Hasta que la presión en el pistón, es decir, el desplazamiento de pistón -29-, es mayor, la válvula de presión -30- abre contra la fuerza del resorte. Sin embargo, en el funcionamiento generador la cámara de aire -36- por encima de la válvula de presión -30- debe conectarse a la presión atmosférica (tubería -8-), pues de lo contrario el electroimán -34- no podría levantar la válvula de presión -30-.

La conmutación entre los modos de operación se efectúa por orden de un programa controlado por sistema de control de la planta de energía siempre en dos pasos: Primero, la cámara -36- se separa de la cámara, la cual fue conectada (un elemento frusto-cónico -28- cierra). Posteriormente, se conecta a la cámara -8'- o -7'- (véase la figura

6), a la cual no fue conectada hasta ahora (el otro elemento frusto-cónico -28- abre). Durante el proceso de conmutación, el aire comprimido y por lo tanto la energía se pierde, lo cual es proporcional al volumen de la cámara -36-. Por tanto, esta cámara -36- se mantiene tan pequeña como sea posible. La cámara -36- se separa desde el almacenamiento de trabajo -7'- o el aire ambiente -8'- en cada caso por uno de los elementos frusto-cónicos -28- en el centro del disco correspondiente -27- que comprende una rosca en su superficie exterior. El elemento frusto-cónico -28- se presiona en una abertura frusto-cónica. Esto se hace por un servomotor -25- (véase figura 3), que gira el disco -27- (llevando el cierre frusto-cónico) a través del engranaje planetario -26-, de modo que la rosca en su superficie exterior se desliza en una rosca correspondiente en el lado interno del dispositivo de conmutación -24-, al igual que un tornillo en una tuerca. En términos del número de vueltas, pasos, coeficiente de fricción estática, etc., la rosca está diseñada con respecto a la abertura del cierre en tal forma que la presión de trabajo máxima contra la presión atmosférica se sella de manera confiable. En resumen, la fricción estática y el número de vueltas de la rosca externa de los discos grandes -27- sella confiablemente la presión máxima contra la presión atmosférica.

La energía reactiva permanece en la planta. Oscila entre la capacidad e inductividad. Desde el exterior, la energía activa se suministra solo a la resistencia equivalente, o la energía activa se produce por la fuente de voltaje equivalente.

Para minimizar las pérdidas de corriente de Foucault y las pérdidas debido a la magnetización inversa, todas las partes mecánicamente fijas, con excepción del devanado de bobina -6- y -15-, los núcleos -18- y -15- y el control de válvula electromagnética (-34-, -35-) se hacen de material eléctricamente no conductor (por ejemplo, cerámica). Esto también incluye el soporte mecánico o suspensión (no se muestra en el dibujo) de la máquina. De otro modo, la suspensión puede hacerse de madera o mampostería de ladrillo.

El sistema descrito es un motor térmico. El proceso de ciclo termodinámico se muestra en la figura 11. En general, los pasos de operación individuales son como sigue:

Compresión politrópica (A-B)
 Compresión isobárica (B-C)
 Cambio isocórico en presión (C-D)
 Expansión isobárica (D-A)

En el caso de una baja presión $p_l (=1 \text{ bar})$, el volumen V es controlado de modo que la integral de superficie del proceso del ciclo (trabajo según carrera del pistón) se mantiene constante durante la carga del depósito de aire comprimido -2- en el funcionamiento de bombeo, con aumento continuo de la presión de trabajo de P_{min} (por ejemplo, 100 bar) a P_{max} (por ejemplo, 1000 bar) y en consecuencia la bomba de pistón -200- absorbe una energía eléctrica constante. El rectángulo, a través del cual se mueve el proceso del ciclo, cambia su forma, pero no su área durante el proceso de carga. Al comienzo del proceso de carga es amplio y bajo (A-B-C-D), durante el proceso de carga se vuelve más estrecho (A'-B'-C'-D) y mayor, al final es más estrecho y mayor (A''-B''-C''-D) como se muestra en la figura 11.

Durante la descarga del depósito de aire comprimido -2- en el funcionamiento generador, la presión de trabajo del depósito de aire comprimido -2- disminuye continuamente. Para mantener la energía constante en el funcionamiento generador, la presión de trabajo -por ejemplo, con la ayuda de una válvula reguladora que no se muestra en el dibujo- es regulada hacia abajo a un valor fijo (por ejemplo, 100 bar). El rectángulo, que es atravesado durante el proceso del ciclo, siempre tiene la misma forma.

La transición de calor entre el desplazamiento de pistón -29- y la atmósfera puede variar haciendo una elección adecuada de los parámetros de construcción y/u operación, de modo que el proceso politrópico de compresión/expansión más o menos se aproxima a un proceso isotérmico y así la eficiencia del sistema puede mejorarse a un grado mayor o menor. Un mayor grado de eficiencia puede obtenerse por, entre otras cosas, ciclos de menor energía/mayor carga, o viceversa.

La figura 12 muestra una vista de la máquina en diseño compacto. Todas las partes que llevan presión de la planta se diseñan de modo que pueden ser envueltas con varias capas (por ejemplo, 40-60 capas) de fibras (por ejemplo, fibras de vidrio, fibras de cerámica o fibras de basalto). En la producción después de cada envoltura de capa de fibra, se proporciona para aplicar una matriz de endurecimiento (por ejemplo, hormigón en el caso de devanado de fibra de vidrio o matriz de carburo de silicio en el caso de fibras de carburo de silicio), que llenan los espacios entre las fibras y combina la capa subyacente durante el endurecimiento. Las secciones transversales de los devanados multi-capas -37- se indican en una forma sombreada. Un componente tipo capa -38- está firmemente unido a la máquina y a los cuatro pilares externos -39-. La caja -38- rodea y lleva las bobinas eléctricas -6-. Una bomba circulante -300- se ubica centralmente por debajo de la máquina y se fija en ésta. Consiste en un núcleo magnético suave -40-, que es encapsulado en una matriz -41-, de una bobina eléctrica -42-, que se enrolla alrededor de la parte interna del núcleo -40- y de un hueco -43- entre la parte interna del núcleo -40- y la bobina eléctrica -42-. La parte interna del núcleo -40- magnético se divide arriba y abajo en cuatro ramificaciones, de manera similar a un trébol de cuatro hojas. Las líneas del campo magnético se cierran a lo largo de estas cuatro ramificaciones (véase también la figura 14). El curso de las líneas de campo magnético de la bomba circulante -300- es semejante a los chorros de una fuente de cuatro

chorros. Hacia arriba y hacia abajo, el hueco -43- es del mismo modo dividido en cuatro ramificaciones, de modo que el líquido del pistón puede fluir entre las cuatro ramificaciones del núcleo magnético en cuatro corrientes parciales. Las cuatro corrientes parciales del líquido de pistón entran en el intercambiador térmico de hélice -44- en el extremo inferior de la bomba circulante, fluye hacia el exterior y luego - soportado por los pilares -39- - en cuatro espirales externas separadas hacia arriba hacia un punto de retorno y desde este en cuatro espirales internas separadas hacia abajo otra vez, hasta que salen de nuevo al área de los pilares principales en dirección interior y entran en la máquina en el extremo inferior. El punto de retorno no es del todo en el extremo superior de los pilares -39-, pero por debajo. Hay algunos espirales por encima de este punto de retorno, que corre en el conducto -45- hacia el controlador del desplazamiento del pistón -46-, al igual que un "callejón sin salida". Un líquido hidráulico que tiene un peso específico considerablemente pequeño flota en su volumen de control. El líquido hidráulico también llena el área de compresión interna del controlador del desplazamiento del pistón -46-. La región -47- conecta la válvula de succión al aire ambiente. Consiste en una región interna y externa. La región externa -47- es una tubería amplia extendiéndose anularmente cerca del núcleo magnético. Entre la región interna y externa -47-, el aire pasa a través de ranuras paralelas verticales en el elemento de cerámica macizo -50-. El dispositivo de conmutación -48- para la conmutación entre el funcionamiento de bombeo y el funcionamiento generador se diseña en tal forma que encaja en un cilindro y puede ser envuelto con fibras. El cilindro es un componente cerámico masivo, en el cual dos agujeros grandes y algunas tuberías delgadas se dejan libres. Cada agujero se proporciona con un servomotor eléctrico, un engranaje planetario y un cierre frusto-cónico. Un bloque macizo -49- se ubica en el centro del dispositivo de conmutación, cuyo bloque se inserta después del montaje de los servomotores, para proporcionar resistencia a la presión de trabajo en las cavidades del dispositivo de conmutación a la derecha y a la izquierda. El transporte del aire comprimido a y desde la máquina tomar lugar a través de una tubería anular -51-, la cual se mantiene libre como una cavidad anular en el interior del elemento cerámico masivo -51-. El cuerpo en forma de estadio de la máquina es externamente envuelto con varias capas de cuerdas -52- (por ejemplo, elaboradas de fibra de vidrio, fibras de cerámica, o fibras de basalto) en paralelo a la línea central, las cuales se incrustan en una matriz de endurecimiento (por ejemplo, hormigón o carburo de silicio). Por debajo del devanado del rotor -52-, se inserta un componente -53-, el cual cierra el hueco a través del cual la cuerda fue roscada durante el proceso de devanado. Las cuerdas -52- absorben el esfuerzo por tracción causado entre las áreas parciales por encima y por debajo del desplazamiento del pistón durante la operación.

La figura 13 es también una vista de la máquina en diseño compacto; sin embargo, la vista se gira en 90° en comparación con la figura 12. En cada punto en la figura 12 se muestra el dispositivo de conmutación entre el funcionamiento de bombeo y el funcionamiento generador. La figura 13 muestra un dispositivo de conmutación de un diseño semejante. Sirve para conexión optativa del controlador del desplazamiento del pistón a la presión de trabajo o a la presión atmosférica.

La figura 14 muestra una sección transversal de la bomba circulante. El núcleo magnético -40- que tiene una sección transversal en forma de estrella se ubica en la parte media. En el exterior, el núcleo magnético se divide en cuatro ramificaciones que tienen una sección transversal de aletas paralelas (semejante a una placa del transformador en capas). Las líneas de campo magnético se cierran entre estas cuatro ramificaciones (véase la figura 12 y la figura 13). El núcleo -40- es encapsulado en un elemento cerámico -41-. La bobina eléctrica -42- de la bomba circulante se ubica alrededor del núcleo interno. El elemento -41- no se compacta antes del devanado de la bobina eléctrica -42-, sino simplemente rodea las cuatro ramificaciones -40- del núcleo magnético. Está abierto entre y deja acceso a la cavidad, la cual entonces se llena con el alambre eléctrico del devanado -42-. Después de producir el devanado -42-, los espacios libres restantes de los elementos -41- se llenan, de modo que un elemento compacto se produce y el devanado -42- ya no es accesible desde el exterior. Un hueco angular se deja libre entre las bobinas -42- y el núcleo magnético -40-, a través de cuyo hueco fluye el líquido de pistón. Hacia arriba y hacia abajo, este hueco anular -43- se divide en cuatro ramas, las cuales se extienden verticalmente entre las ramas del núcleo magnético en una forma desplazada 45°. En el fondo, las cuatro ramas se abren en cuatro conductos, los cuales radialmente conducen hacia afuera de los cuatro pilares -39-. A partir de ahí, las cuatro espirales del conducto se dirigen hacia arriba.

La figura 15 muestra una sección transversal del controlador del desplazamiento del pistón -46-, mejorado. A diferencia de la patente base, no está diseñada como un disco, sino como un anillo tórico. Tiene una ventaja de que se puede envolver con las fibras -37-, para soportar mejor los esfuerzos por tracción. Un conducto anular interno -54- corre a lo largo del eje del anillo tórico -46-. Las paredes de división -55- subdividen el área fuera del conducto anular -54-. Cada segmento contiene un volumen elásticamente compresible -56-, el borde de los cuales tiene una forma similar a un fuelle o un acordeón. Los volúmenes -56- están dentro del conducto anular -54-. El conducto anular -54-, por su parte, se conecta al extremo superior del sumidero térmico de hélice a través del conducto perpendicular -45-, cuyo sumidero térmico acomoda el líquido de pistón. Tanto el conducto de bucle -64- como los volúmenes -56- se llenan con aceite hidráulico. Debido a su menor peso específico, el aceite hidráulico flota sobre el líquido de pistón. La cámara fuera de los fuelles -56- se llena con aire. Durante la operación, esta cámara de aire se conecta a la presión de trabajo y comprime los fuelles -56- a un grado mayor o menor, dependiendo de la presión de trabajo, de este modo, una cantidad mayor o menor de aceite hidráulico presiona hacia abajo a través del conducto -45-, que de nuevo controla el nivel de líquido del pistón y entonces el desplazamiento del pistón en la máquina.

La figura 16 muestra una sección transversal de un brazo de la máquina. El núcleo magnético -18- no está enrollado, sino encapsulado de manera integrada en una cavidad del elemento cerámico. Para minimizar la pérdida, el núcleo

es en forma de estrella. Durante el proceso de fabricación, una cavidad en forma de estrella se dejó libre en el interior del componente de cerámica para este propósito. Además, se muestran el hueco interior -22- y el hueco exterior -23-.

5 La figura 17 muestra un ejemplo de realización de una máquina de bobinado para envolver las partes que llevan presión con las fibras. En el ejemplo mostrado, la máquina de bobinado se diseña en la forma de un triángulo. Sin embargo, su diseño también podría ser un rectángulo, en general un polígono o un anillo. En particular, podría estar abierta en un lado y diseñada en la forma de pinzas. En el presente caso, sin embargo, no solamente la envoltura sino también la fabricación de un tejido de fibra con la ayuda de una segunda -no se muestra- máquina en un telar mecánico podría ser posible. La máquina de bobinado mostrada tiene -6- ruedas en la forma de tres pares de ruedas
10 -57- firmemente en reposo sobre el tubo que se va a envolver. Cada par de ruedas -57- se conecta a dos motores eléctricos a través de engranajes, cuyos motores son inalámbricamente controlados a través de control remoto. Cada uno de los motores puede incluir una tarjeta SIM y ser controlado a través de comunicación móvil (máquina a máquina). Uno de los dos motores -58- dirige el par de ruedas, el otro (servo) motor -59- lo controla. El control puede estar orientado hacia abajo por una transmisión ubicada entre el servomotor -59- y el par de ruedas -57-. Para poder envolver un anillo tórico curvo en una forma uniforme, todos los pares de ruedas deben ser controlados independientemente uno de otro en una forma diferente. La fibra se enrolla en un rollo -60- firmemente conectado a la máquina de bobinado. La fibra se enrolla fuera del rollo durante el proceso de devanado. Dos acumuladores -61- suministran la energía necesaria. Los lados del triángulo son variables en longitud, para coincidir diferentes secciones transversales. Un resorte ajustable -62- o un huso (no se muestra) asegura la presión de contacto constante
20 necesaria de los pares de ruedas en la superficie del tubo.

La figura 18 muestra el dispositivo de conmutación. Comprende dos extensiones en forma de cilindro, horizontal, extendiéndose desde el cuerpo en forma de estadio de la máquina hacia el interior. En estas extensiones, dos cavidades en forma de cilindro cada una se deja libre, las cuales se disponen una encima de la otra. Estas están
25 conectadas entre sí así como a la presión de trabajo, a la presión atmosférica y a la cámara por encima de la válvula de presión a través de conductos delgados. Estos conductos delgados sirven - semejante a la trompa de Eustaquio en el oído humano - la compensación de presión. Un servomotor se ubica en ambas perforaciones, que mueven un cierre frusto-cónico a través del engranaje planetario. Cuando la conmutación entre el funcionamiento de bombeo y el funcionamiento generador, la cámara por encima de la válvula de presión debe ser selectivamente conectada a la presión de trabajo o a la presión atmosférica. La figura 18 muestra ambas válvulas en posición cerrada.
30

La figura 19 muestra la misma disposición que la figura 18, sin embargo, con la válvula inferior estando en posición abierta. La cámara por encima de la válvula de presión ahora se conecta a la presión de trabajo. La máquina está en el funcionamiento de bombeo. Ambas cavidades en el dispositivo de conmutación son del mismo modo conectadas a la presión de trabajo.
35

La figura 20 muestra la misma disposición que la figura 18, sin embargo, con la válvula superior estando en posición abierta. La cámara por encima de la válvula de presión ahora se conecta a la presión atmosférica. La máquina está en el funcionamiento generador. Ambas cavidades en el dispositivo de conmutación son del mismo modo conectadas a la presión atmosférica.
40

En particular, el dispositivo de conmutación se caracteriza en que las dos cavidades grandes, en las cuales los servomotores se encuentran, siempre tienen la misma presión - ya sea presión de trabajo o presión atmosférica. Así, se evitan las tensiones en el interior del dispositivo de conmutación.

45 La figura 21 muestra un dispositivo para mejorar la eficiencia de la máquina: las aletas perpendiculares en forma de estrella -63- se disponen en el desplazamiento del pistón. Se extiende hacia arriba hasta las válvulas y hacia abajo hasta en donde estas siempre se sumergen en el líquido de pistón, sin embargo, no está abajo del borde superior de las bobinas principales eléctricas -6-, puesto que de otro modo el flujo de corriente anular en el líquido del pistón podría interrumpirse. Las aletas -63- podrían tener una conductividad térmica alta y una capacidad térmica alta. A mayores aletas en el desplazamiento del pistón, mayor la superficie, y de este modo la transición térmica entre el aire el líquido del pistón se mejorará. El proceso termodinámico se vuelve menos adiabático y más isotérmico, en particular si el aire se comprime y expande varias veces en el desplazamiento del pistón, antes de que fluya sobre la válvula de presión abierta en el acumulador.
50

El material de las aletas puede consistir en, por ejemplo, cerámica y, por ejemplo, puede ser el mismo material que el elemento cerámico compacto. En este caso, las aletas se producen en un paso de operación separado cuando se imprimen los elementos cerámicos compactos y son firmemente unidos a éstos.
55

El material de las aletas puede consistir en, por ejemplo, metal, por ejemplo, tungsteno. En este caso, después de la fabricación del elemento cerámico compacto, las aletas son lateralmente insertadas en ranuras verticales proporcionadas para este propósito y posteriormente las ranuras son firmemente cerradas.
60

REIVINDICACIONES

1. Una unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido (100) que tiene un circuito eléctrico de entrada y salida (4), medios de compresión y expansión, un depósito de aire comprimido creado artificialmente (2), en la que los medios de compresión y expansión comprenden una bomba de pistón (200) conmutable entre un modo de bombeo y uno de compresión, **caracterizada por que** los pistones de la bomba de pistón (200) consisten en un líquido eléctrica y térmicamente conductor, por ejemplo, galinstano, que se proporcionan electroimanes que comprenden un núcleo (18) y bobinas (6) para dirigir inductivamente el líquido conductor, y el núcleo (18) forma un bucle cerrado que comprende dos partes de cilindro rectas, paralelas (18A, 18B), sobre las cuales las bobinas (6) se enrollan.
2. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada por que** el hueco (19) se deja libre entre el núcleo magnético (18) y las bobinas (6), en cuyo hueco el líquido conductor se mueve hacia arriba y hacia abajo en un recipiente de comunicación.
3. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizada por que** la pared de división (21) divide el hueco (19) entre el núcleo (18) y las bobinas (6) en un hueco interno (22) ubicado cercano al núcleo (18) y un hueco externo (23) ubicado cercano a las bobinas (6), en donde la pared de división (21) termina en los dos extremos superiores de las partes paralelas del núcleo (18A, 18B), de modo que el líquido conductor puede fluir desde un hueco (22, 23) dentro del otro hueco (23, 22), formando un desplazamiento del pistón (29).
4. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada por que** el volumen del líquido conductor es controlable en una cámara de cilindro de la bomba del pistón (200), en el desplazamiento del pistón (29), la entrada de energía siendo constante durante el almacenamiento de aire comprimido.
5. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizada por que** el líquido conductor se conecta a un depósito (14), el volumen del cual es variable por medio de un transductor de presión de reducción (9) y un líquido hidráulico (10) dependiendo de la presión de aire en el almacenamiento de energía de aire comprimido (2), en donde el líquido hidráulico (10) presiona contra al menos una superficie límite resiliente, por ejemplo, una membrana (11), sobre el otro lado del cual se ubica el depósito (14) del líquido conductor.
6. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada por que** la bomba de pistón (200) está completamente sumergida en un líquido, por ejemplo, agua, que actúa como un acumulador de calor (3) en el que preferentemente una bomba de circulación (15) circula constantemente el líquido conductor en un circuito cerrado, y un intercambio de calor tiene lugar entre el líquido conductor y el acumulador de calor (3).
7. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con la reivindicación 6 con reivindicación 3, **caracterizada por que** cada bomba circulante de inducción (15) por debajo de las dos partes del núcleo (18A, 18B) en cada mitad de carrera de pistón succiona de manera periódica y síncrona líquido conductor desde el hueco externo (23) y lo impulsa de manera inductiva a través del intercambiador de calor (3) y finalmente lo empuja de regreso al hueco interno (22).
8. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, **caracterizada por que** el depósito (14) que controla el volumen del líquido conductor simultáneamente actúa como un intercambiador de calor (12), en donde tres cámaras de arco en forma de disco (14, 13, 14) están colocadas adyacentes entre sí, es decir, una cámara media (13) a la cual se suministra el líquido hidráulico (10), y en ambos lados de éste, limitado de ellas por membranas resilientes (11), dos cámaras de depósito (14), cada una de las cuales comprenden una pared arqueada (14') hacia afuera de un material que tiene una buena conductividad térmica y resistencia a alta temperatura, por ejemplo, vidrio de borosilicato.
9. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con las reivindicaciones 7 y 8, **caracterizada por que** las bombas de circulación (15) bombean el líquido conductor en el extremo inferior del intercambiador de calor (12 o 16), por lo cual en el extremo superior el líquido conductor enfriado o el líquido conductor calentado en el funcionamiento generador se alimenta de regreso otra vez a la bomba del pistón (15) a través de una tubería.
10. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizada por que** el líquido conductor se dirige a través de una tubería del intercambiador térmico de hélice (16) elaborada de un material térmicamente conductor y resistente a altas temperaturas, por ejemplo, vidrio de borosilicato, dentro de un acumulador de calor (3), como puede ser el caso, dentro del acumulador de calor líquido.

- 5 11. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizada por que** una tubería de presión (7), por ejemplo serpenteante, pasa entre el depósito de aire comprimido (2) y la bomba de pistón (200) a través del acumulador de calor (3), en la que la energía térmica se transfiere desde el aire comprimido al medio de acumulación de calor o viceversa.
- 10 12. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizada por que** una válvula de presión (30) y una válvula de succión (31) en forma de anillos concéntricos rodean el núcleo magnético (18), en la que preferentemente el espacio de aire por encima de la válvula de succión (31) se conecta en los alrededores por medio de una tubería (8) extendiéndose a través del acumulador de calor (3), en la que preferentemente además la tubería (8) se proporciona con una capa de amortiguación de ruido en su lado interno.
- 15 13. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizada por que** el depósito de aire comprimido (2) así como, en su caso, el acumulador de calor (3) y la tubería de presión (7) están rodeados por una capa térmicamente aislante (1).
- 20 14. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizada por que** todas las partes mecánicamente fijas, con excepción de las bobinas (6; 15), núcleo (18) y un control de válvula magnética (34; 35) se hacen de un material eléctricamente no conductor, por ejemplo, cerámica, para minimizar las pérdidas por corriente de Foucault y las pérdidas debidas a la magnetización inversa, en las que además preferentemente para mejorar la resistencia se envuelven los componentes a presión con fibras o cables en varias capas.
- 25 15. La unidad de almacenamiento de energía de aire comprimido, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizada por que** se proporciona un condensador eléctrico (5), el cual es diseñado como, por ejemplo, un condensador de placa que tiene placas de inter-engrane tipo peine, las cuales están separadas por un dieléctrico, por ejemplo, cerámica, vidrio o plástico, en el que se da una tensión de rotura dieléctrica de 220 kV.

30

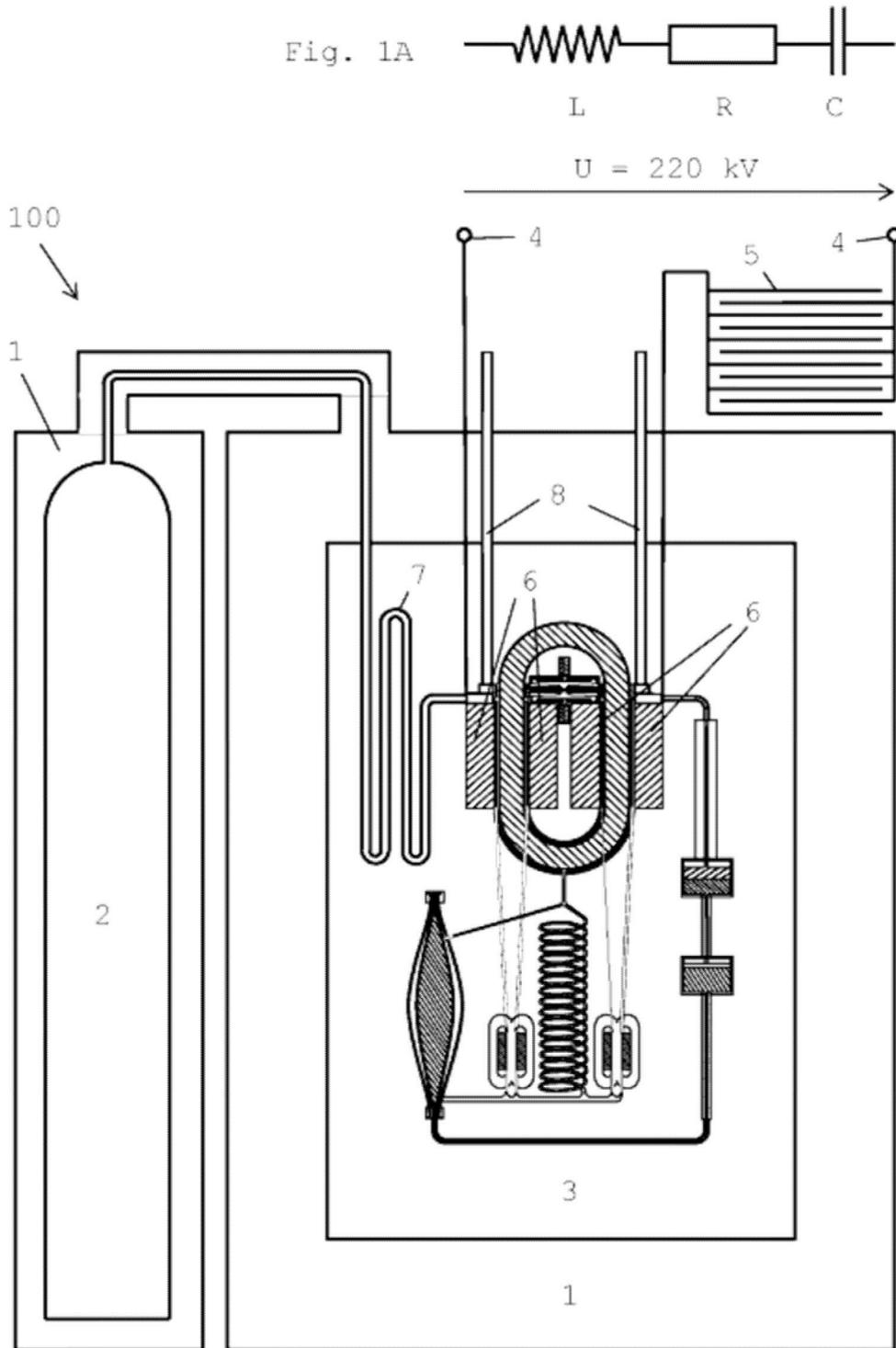


Fig. 1

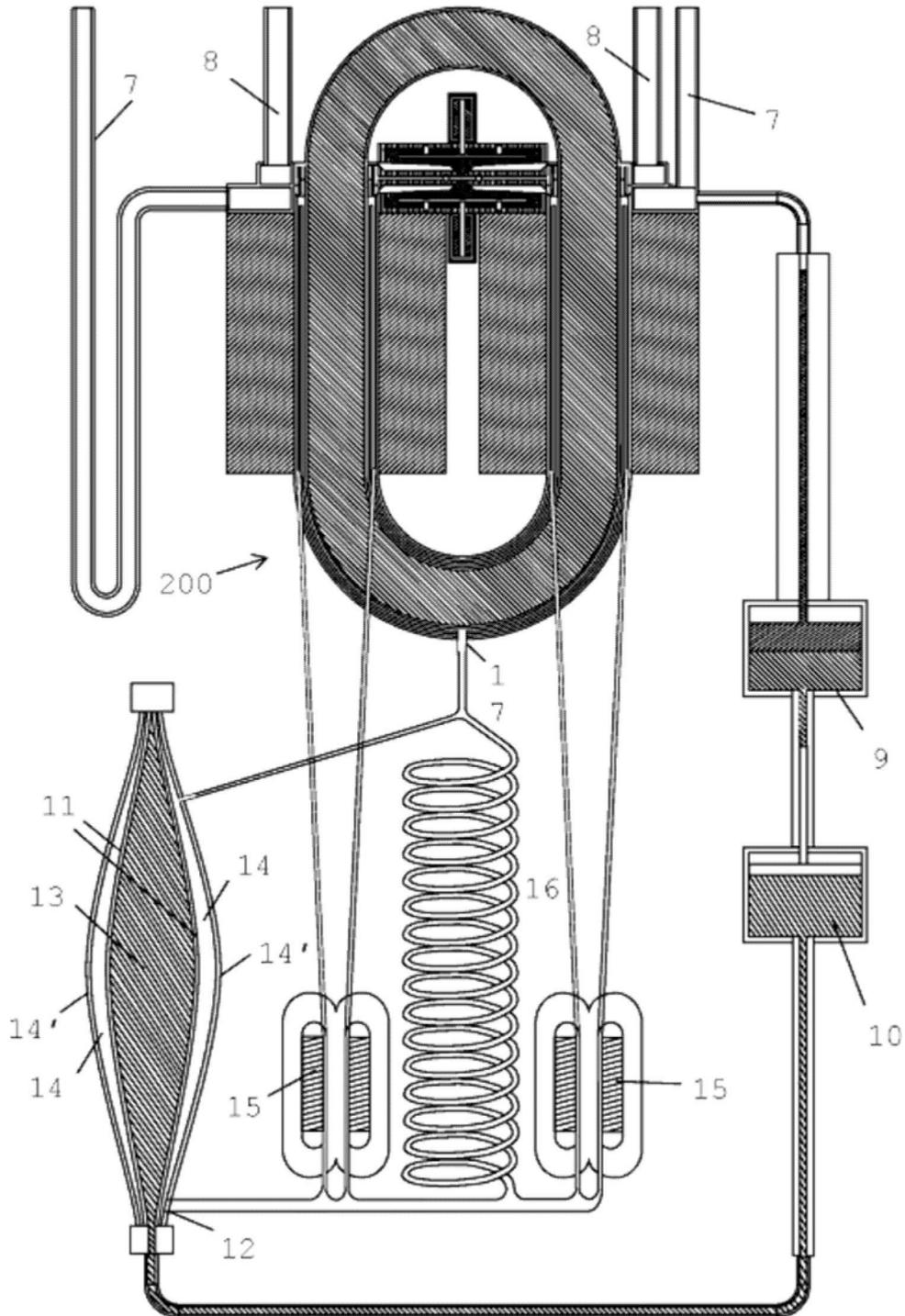


Fig. 2

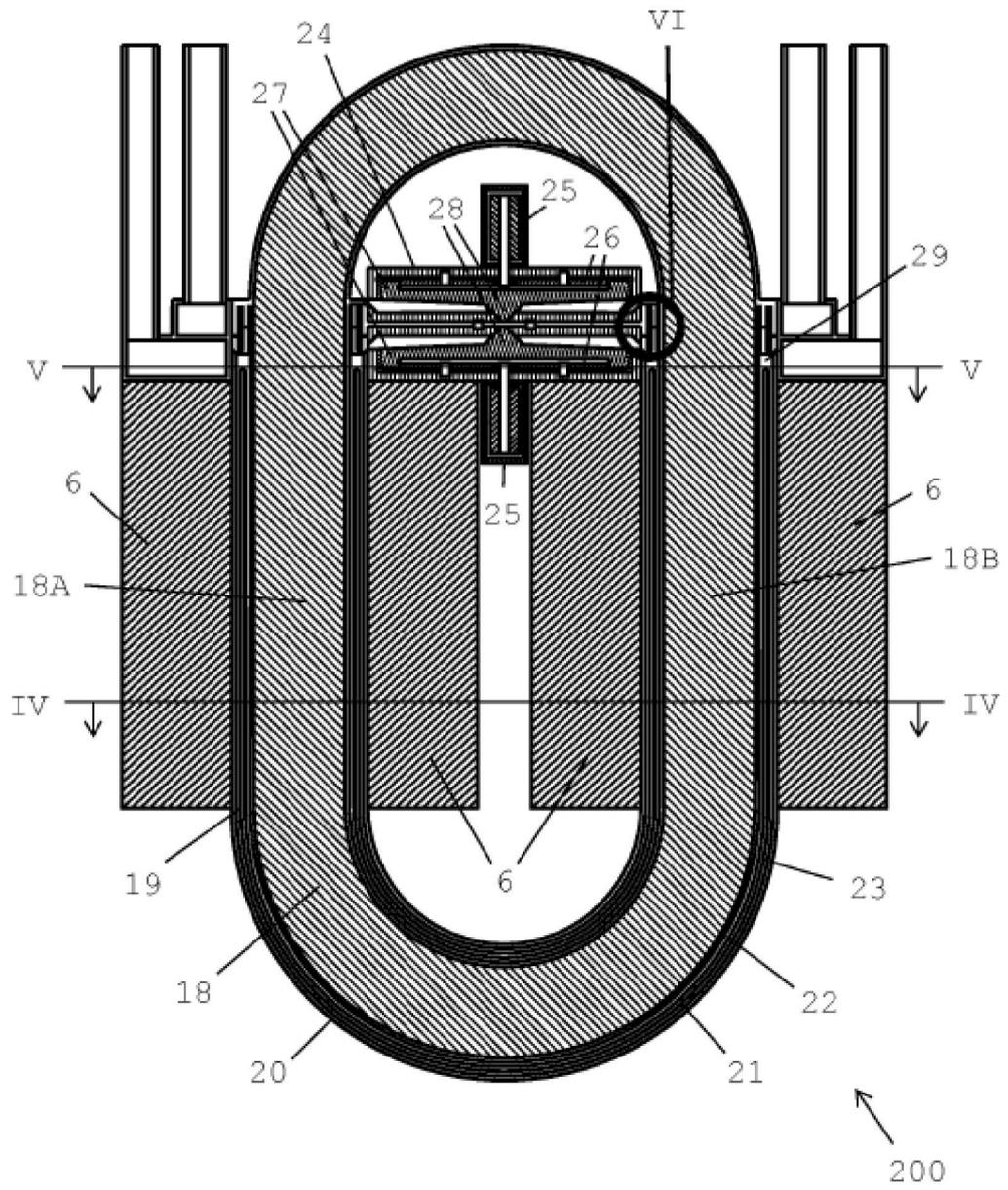


Fig. 3

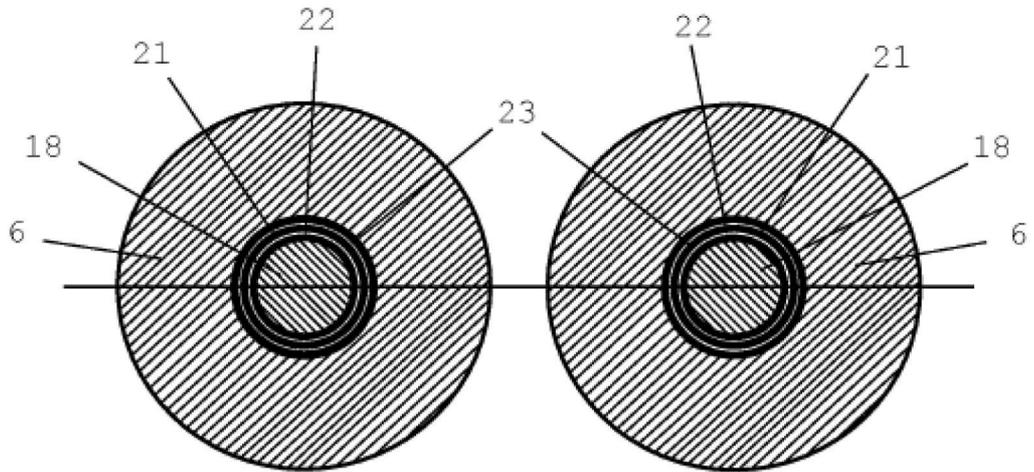


Fig. 4

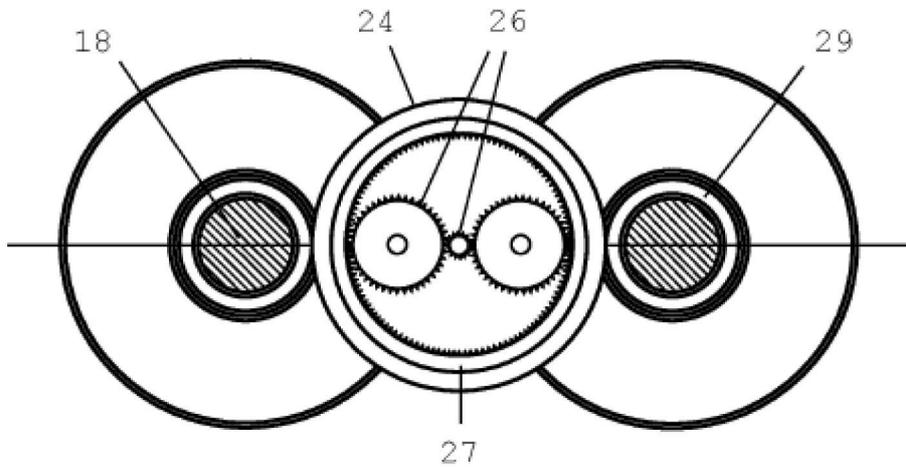


Fig. 5

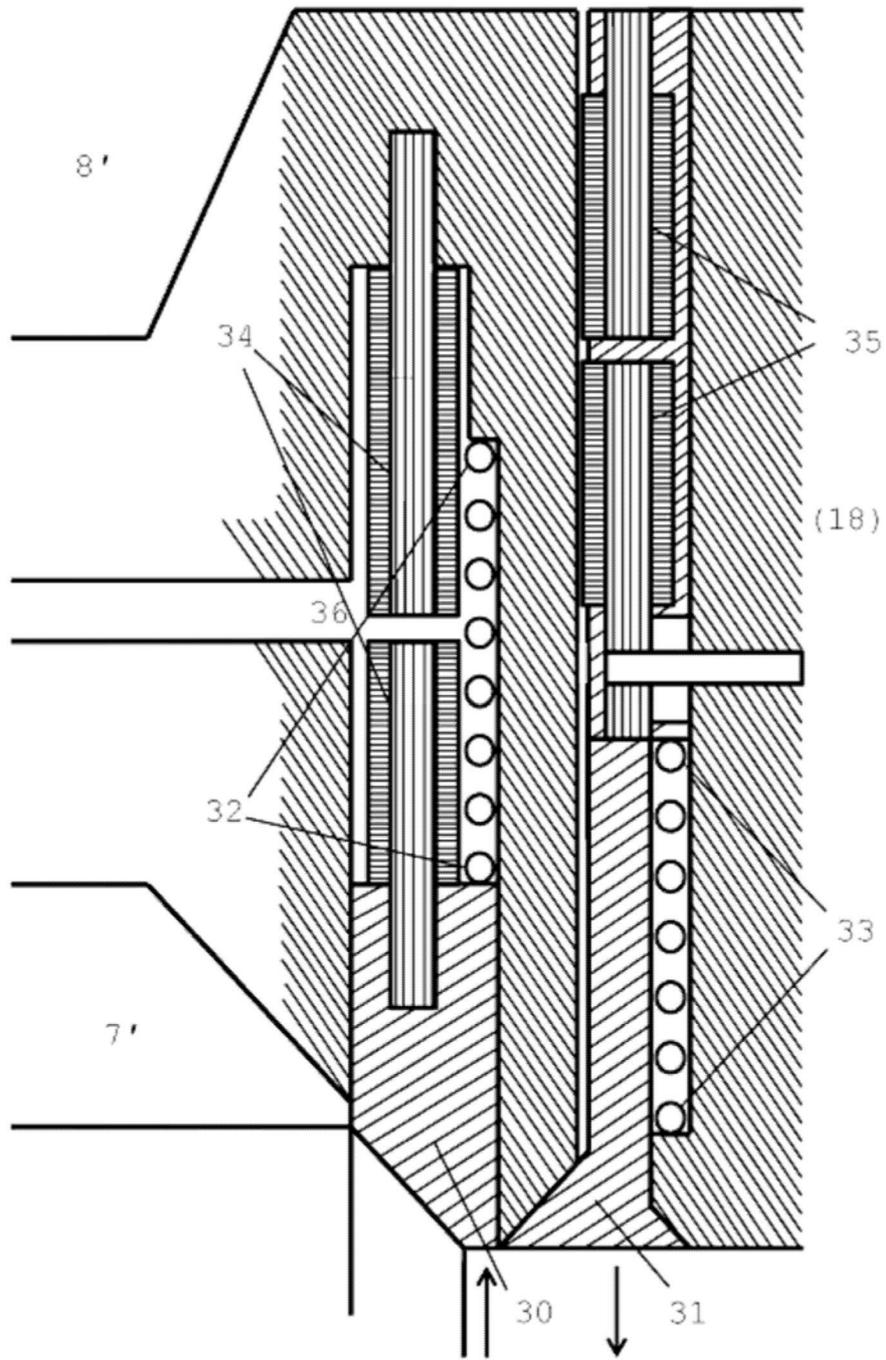
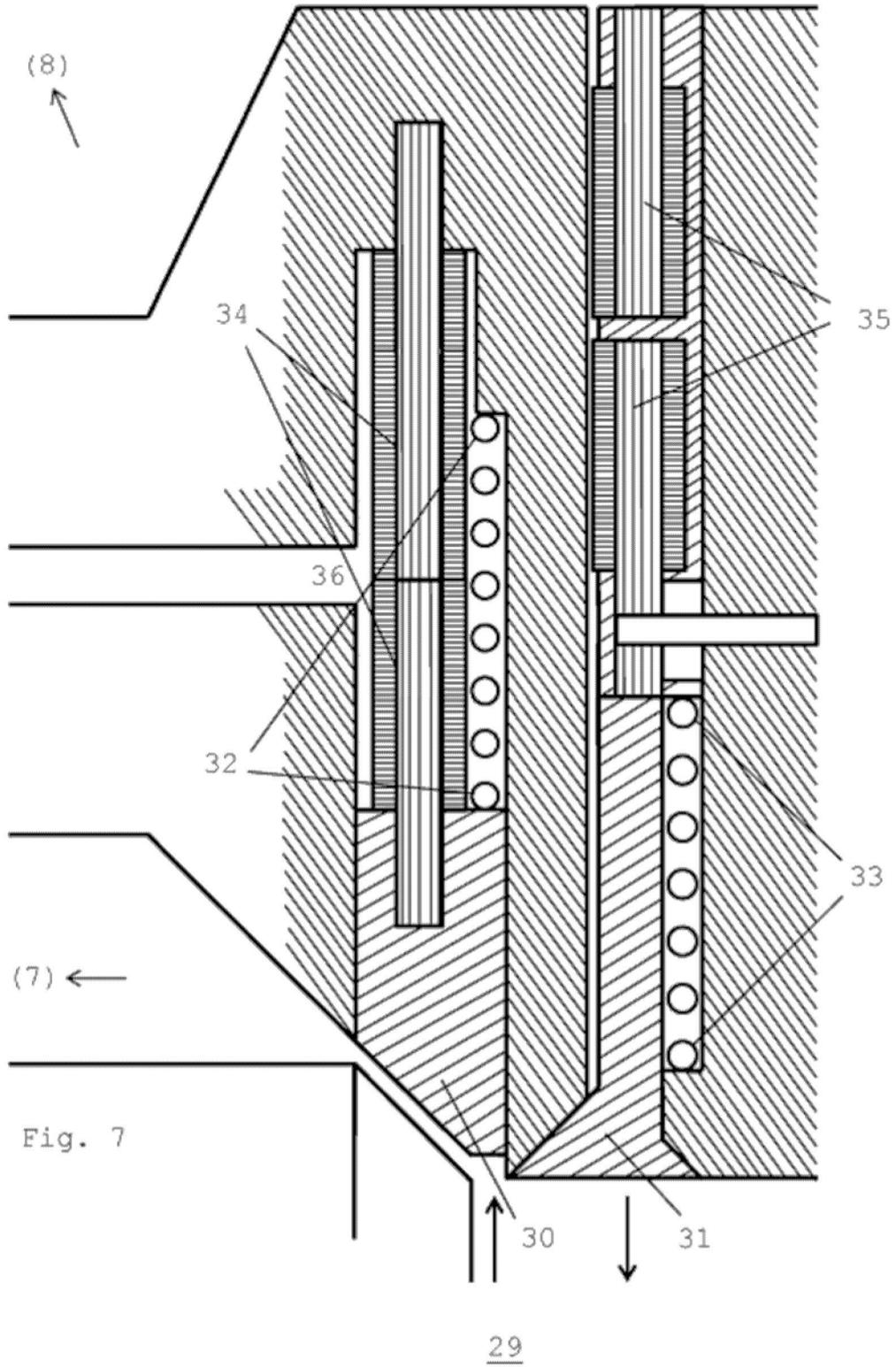


Fig. 6



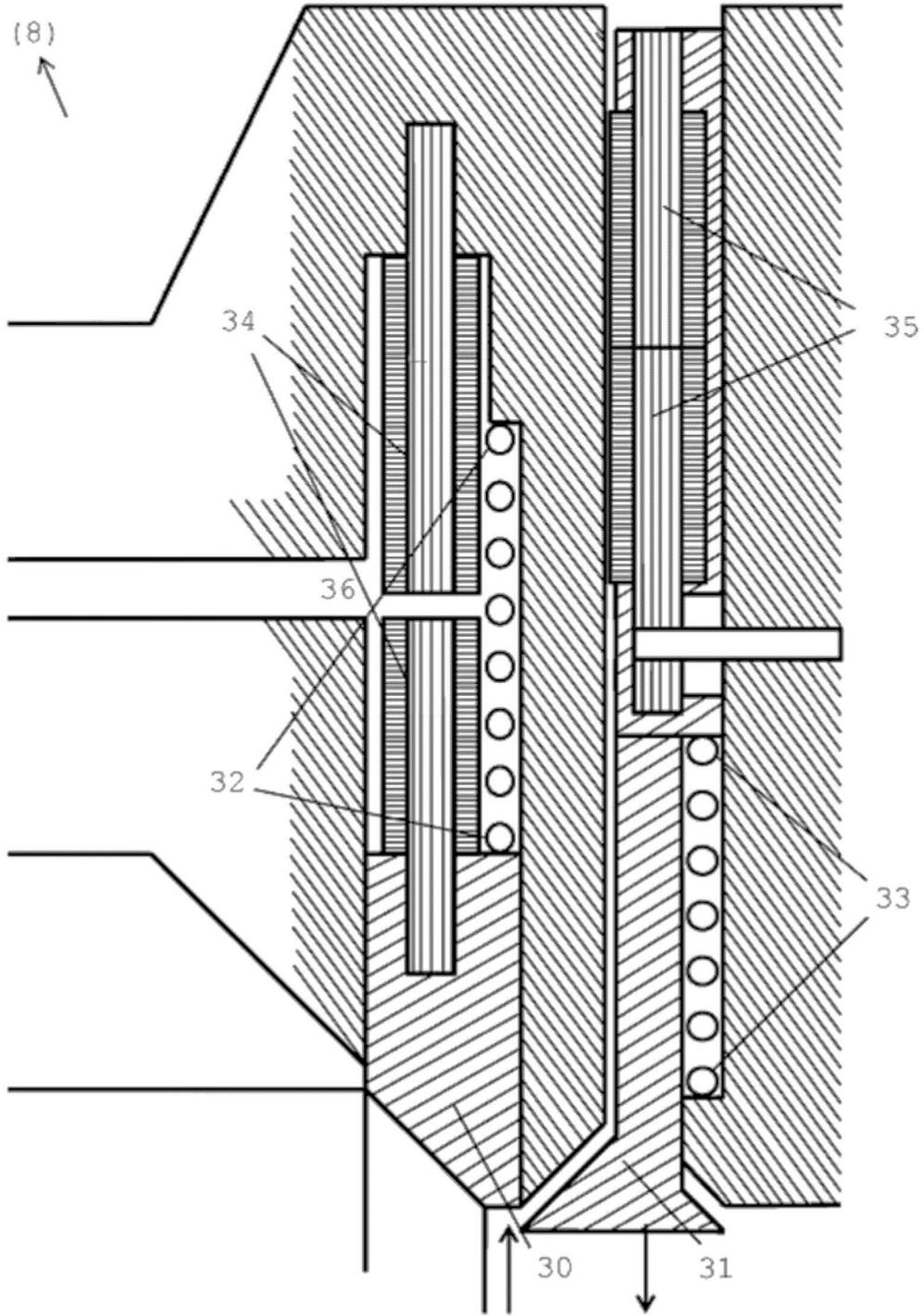


Fig. 8 29

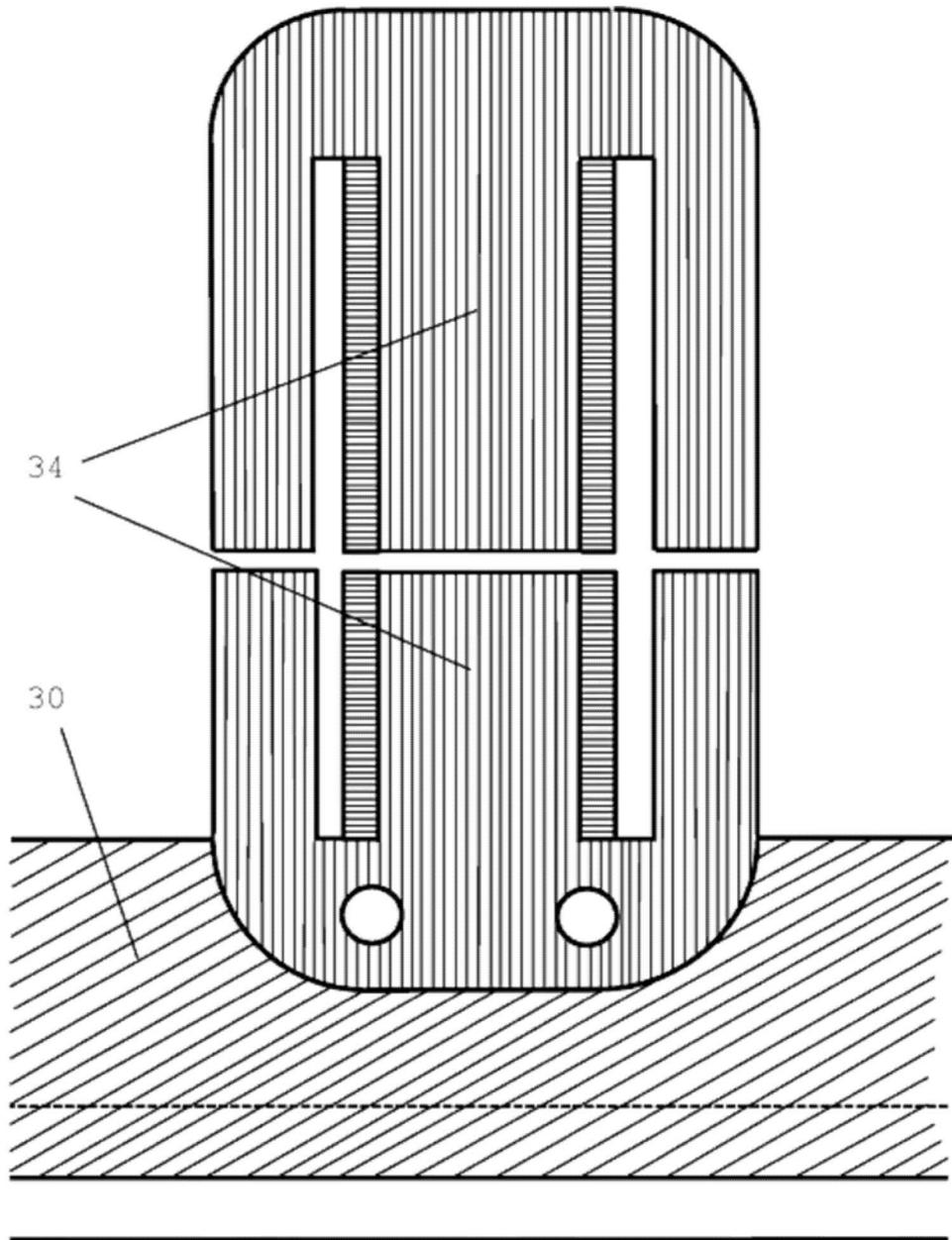


Fig. 9

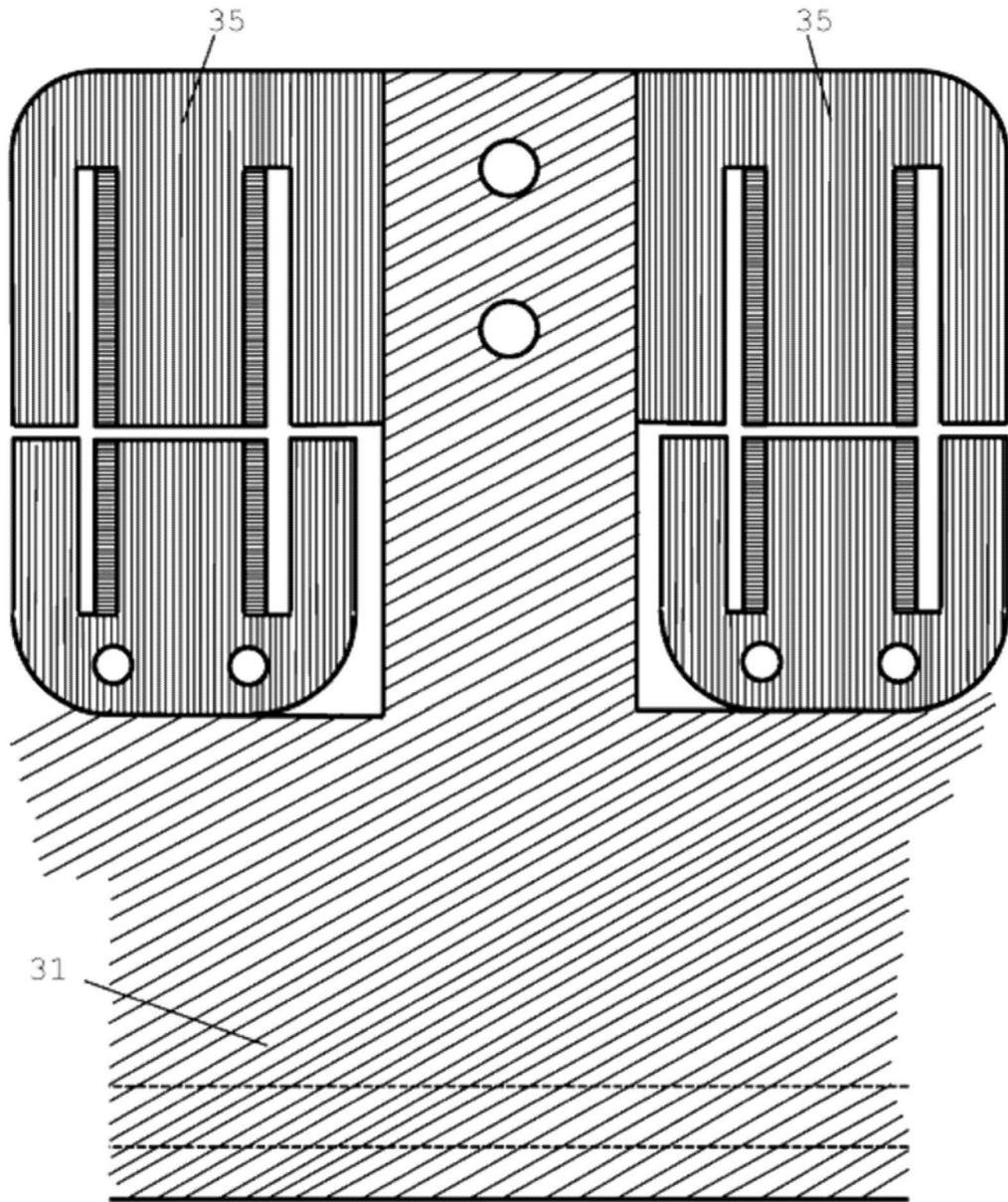
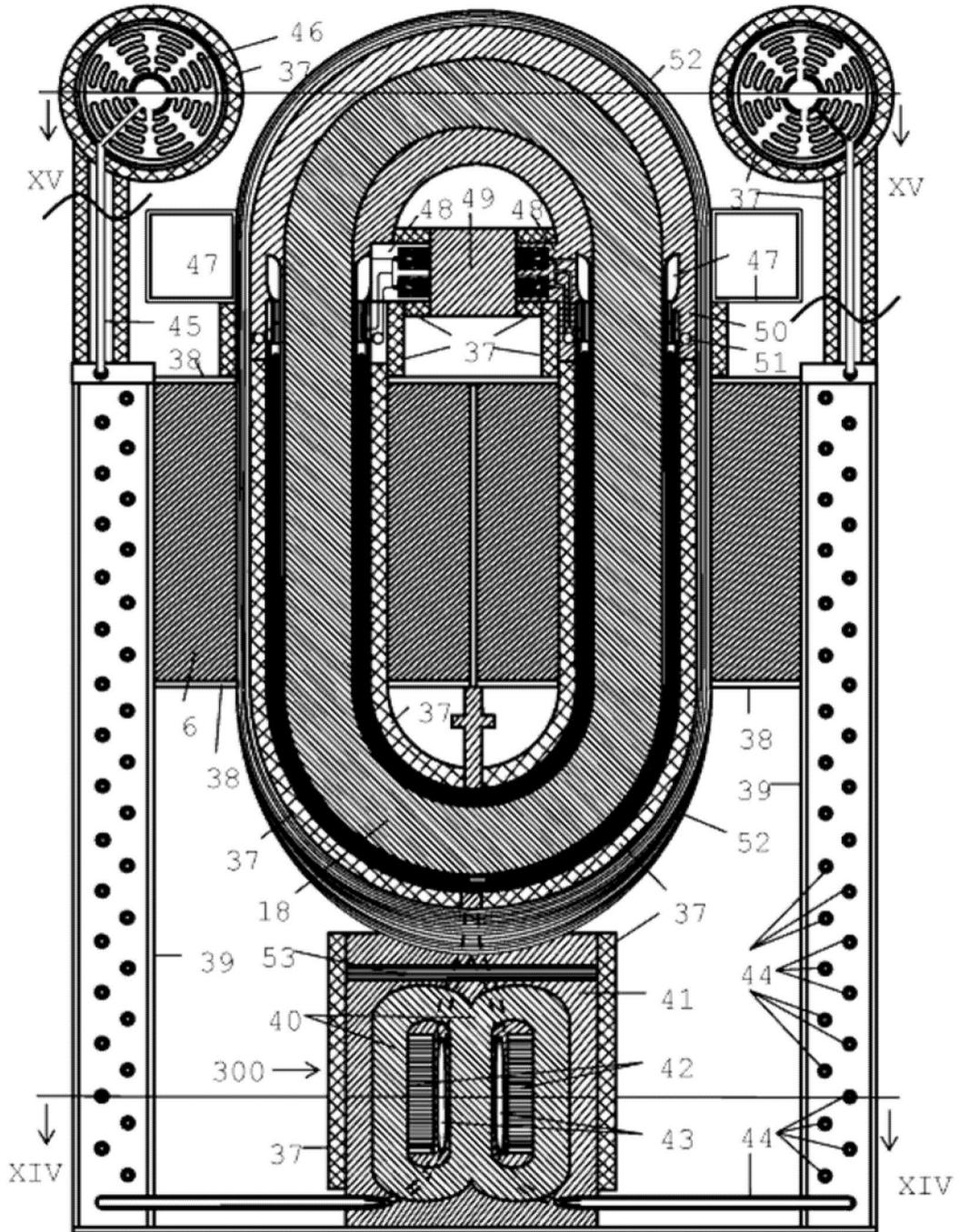


Fig. 10



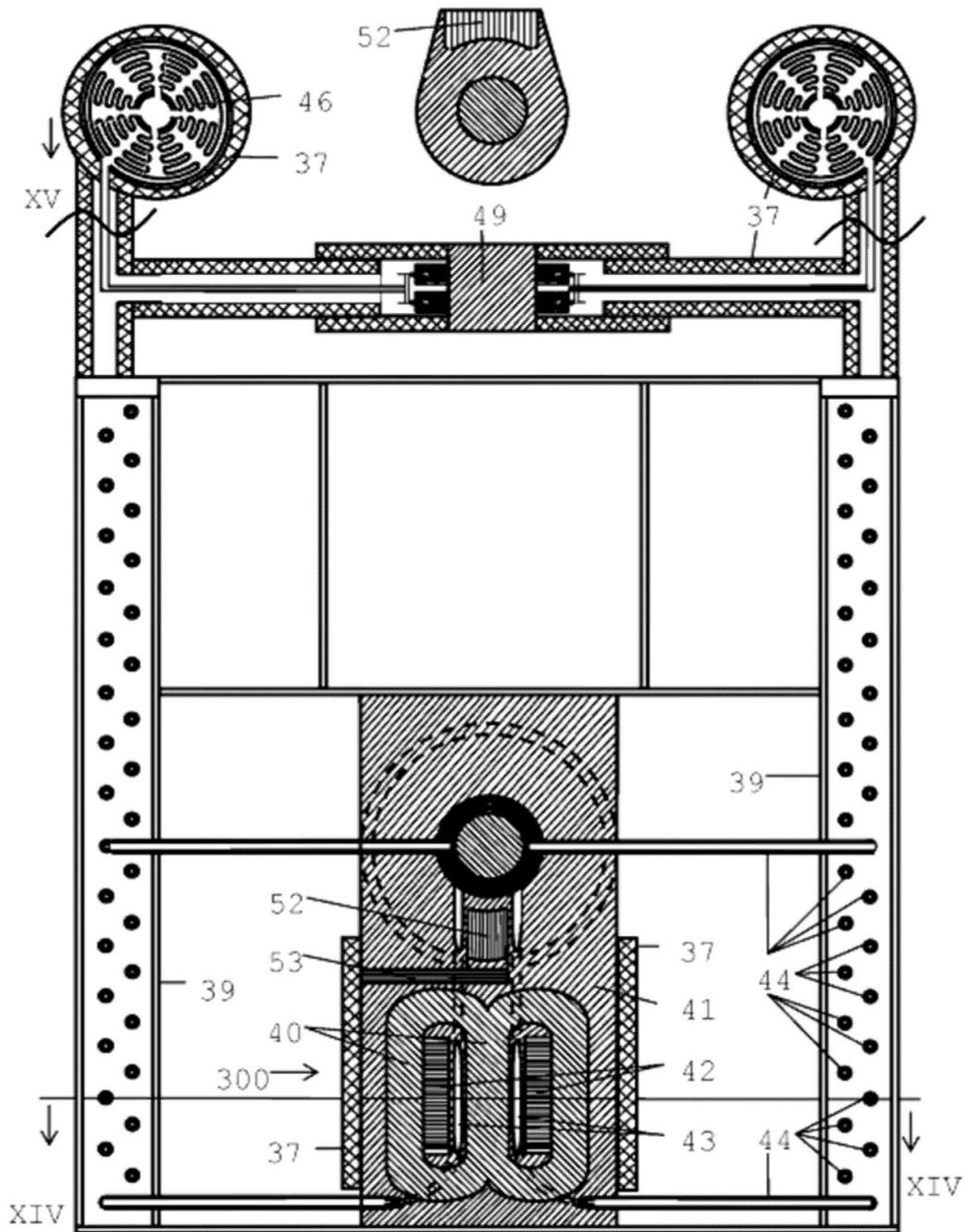


Fig. 13

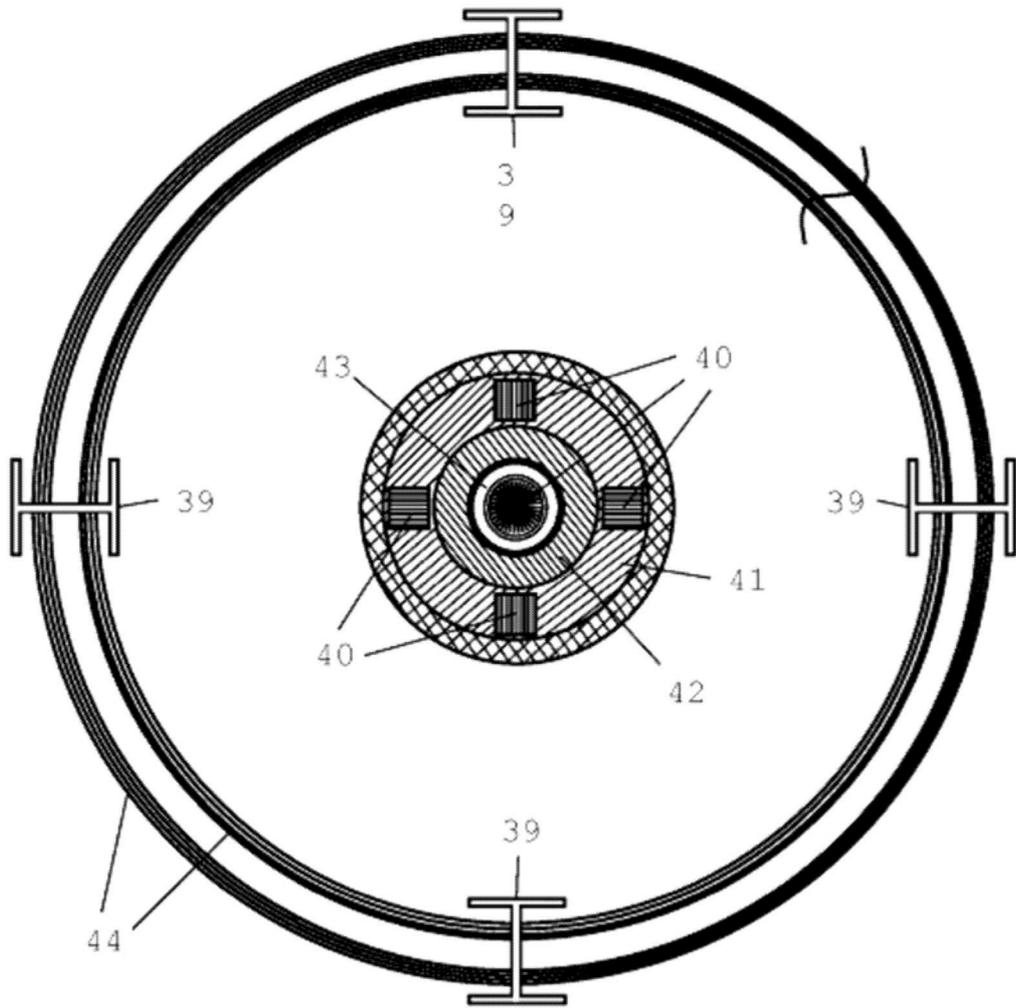


Fig. 14

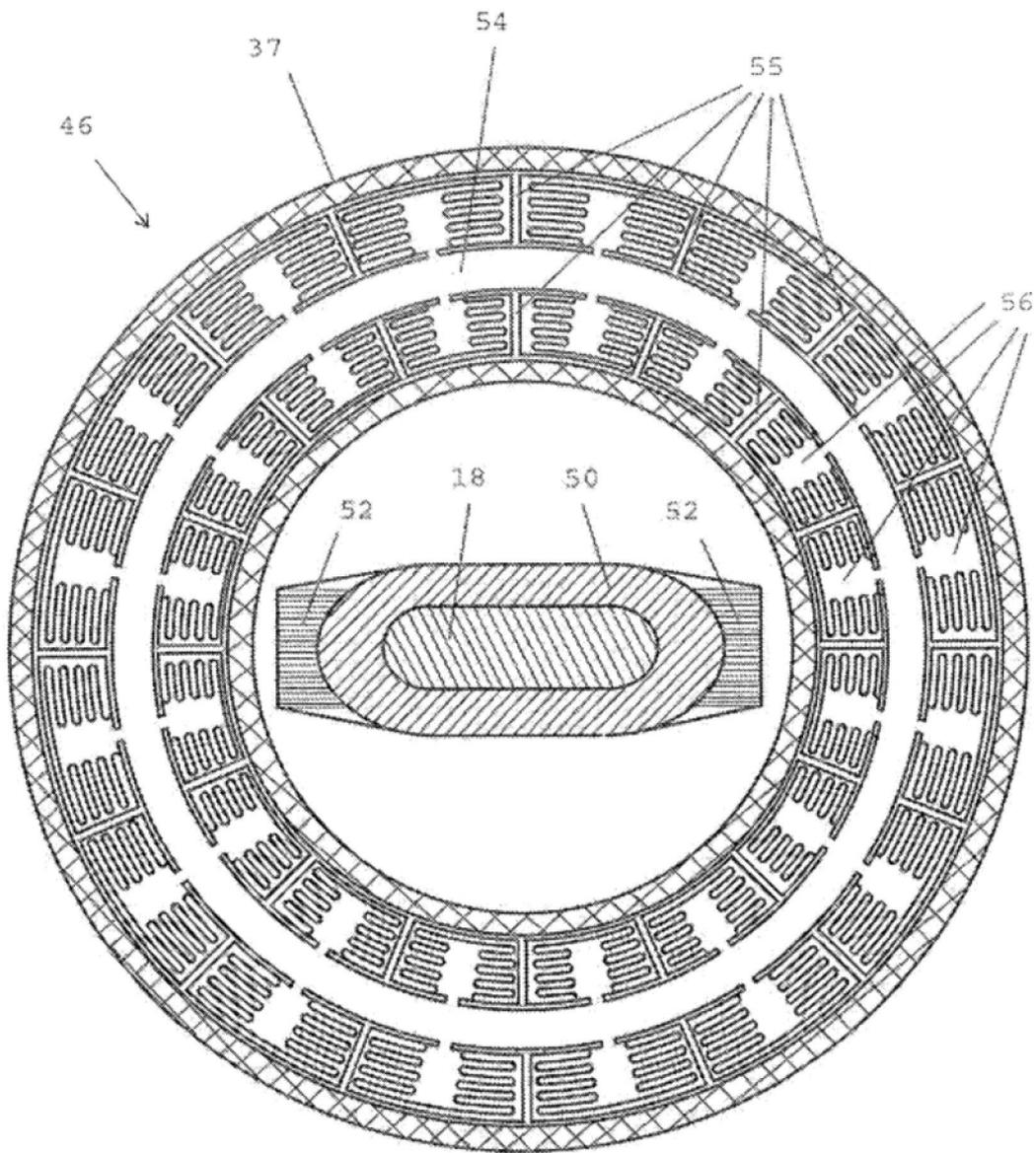


Fig. 15

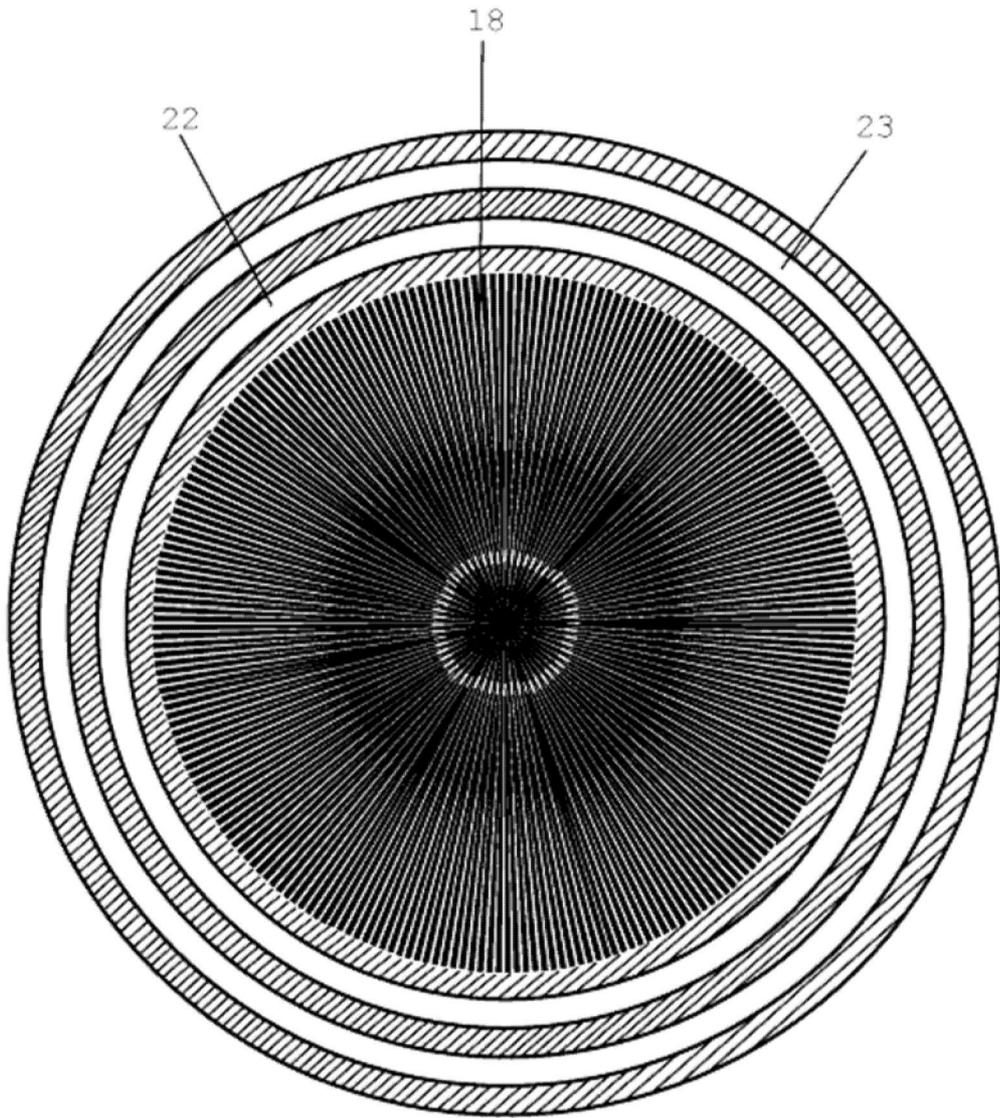


Fig. 16

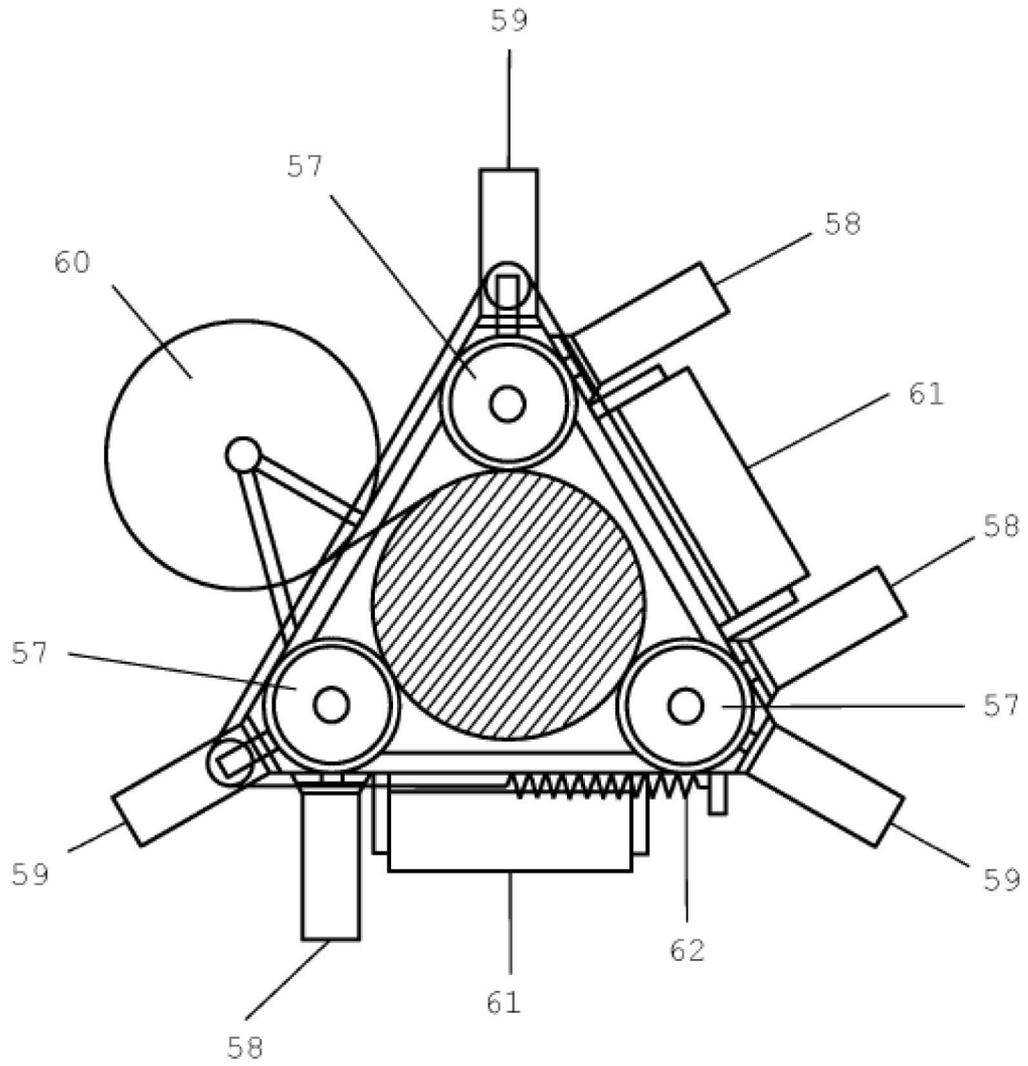
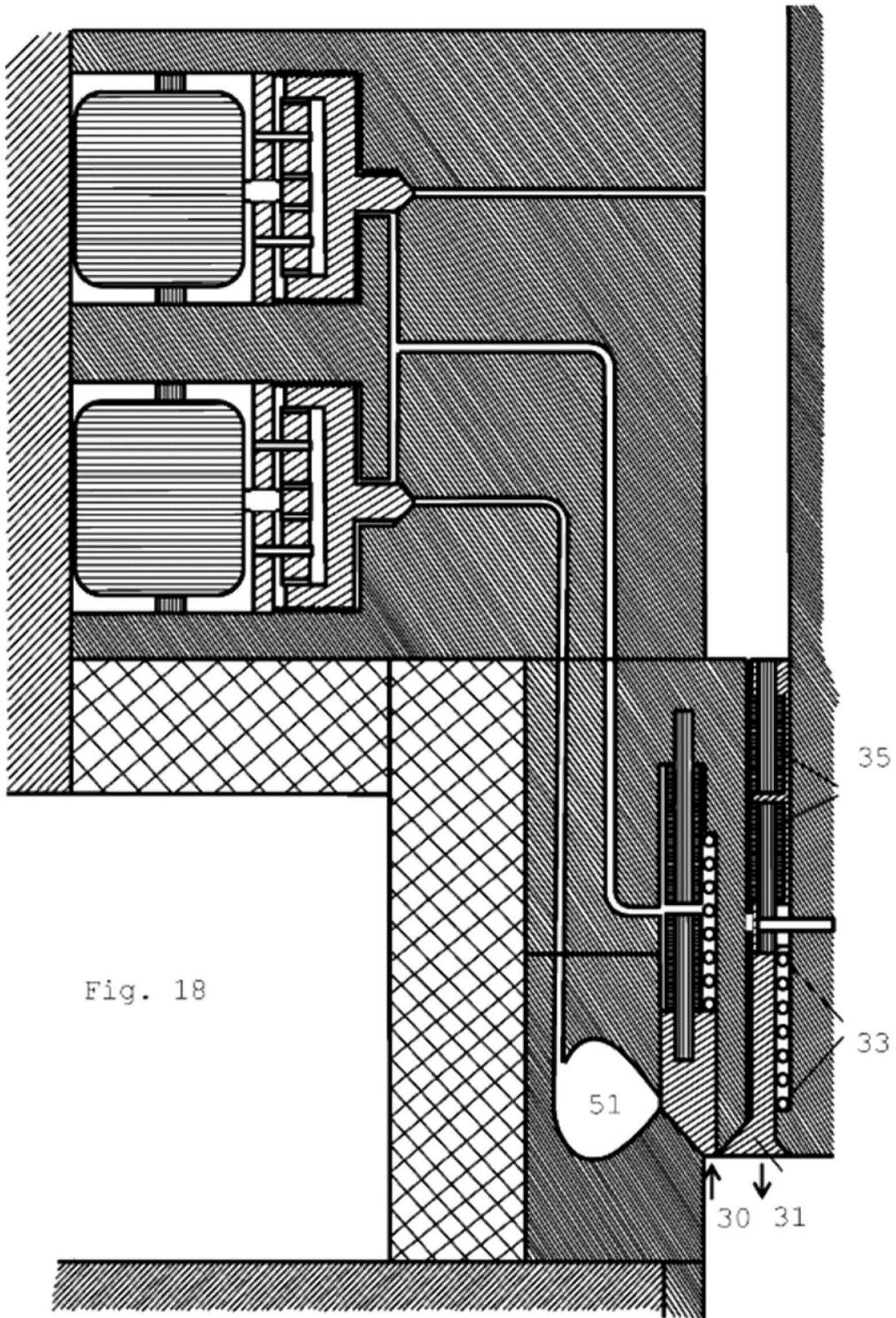


Fig. 17



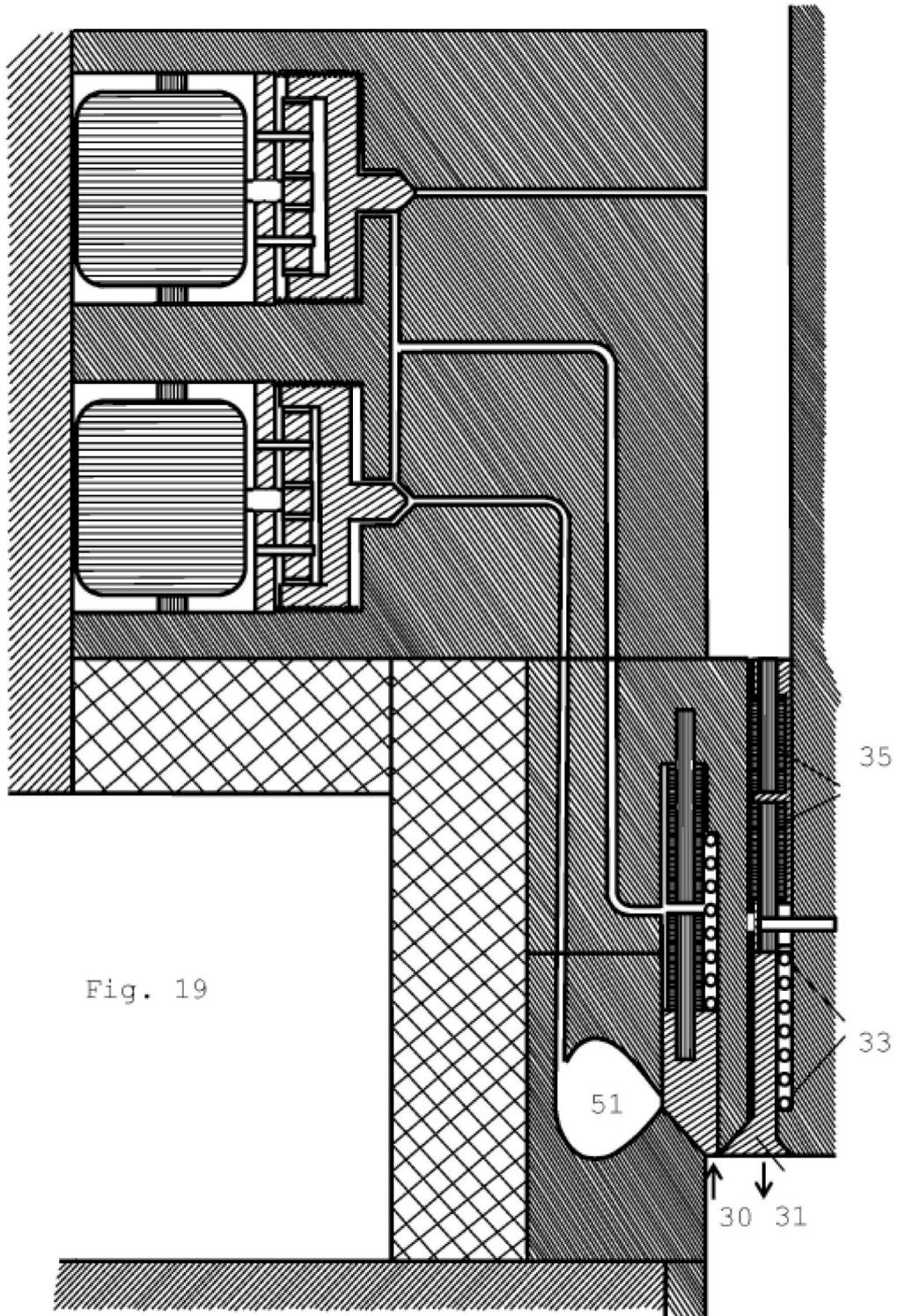
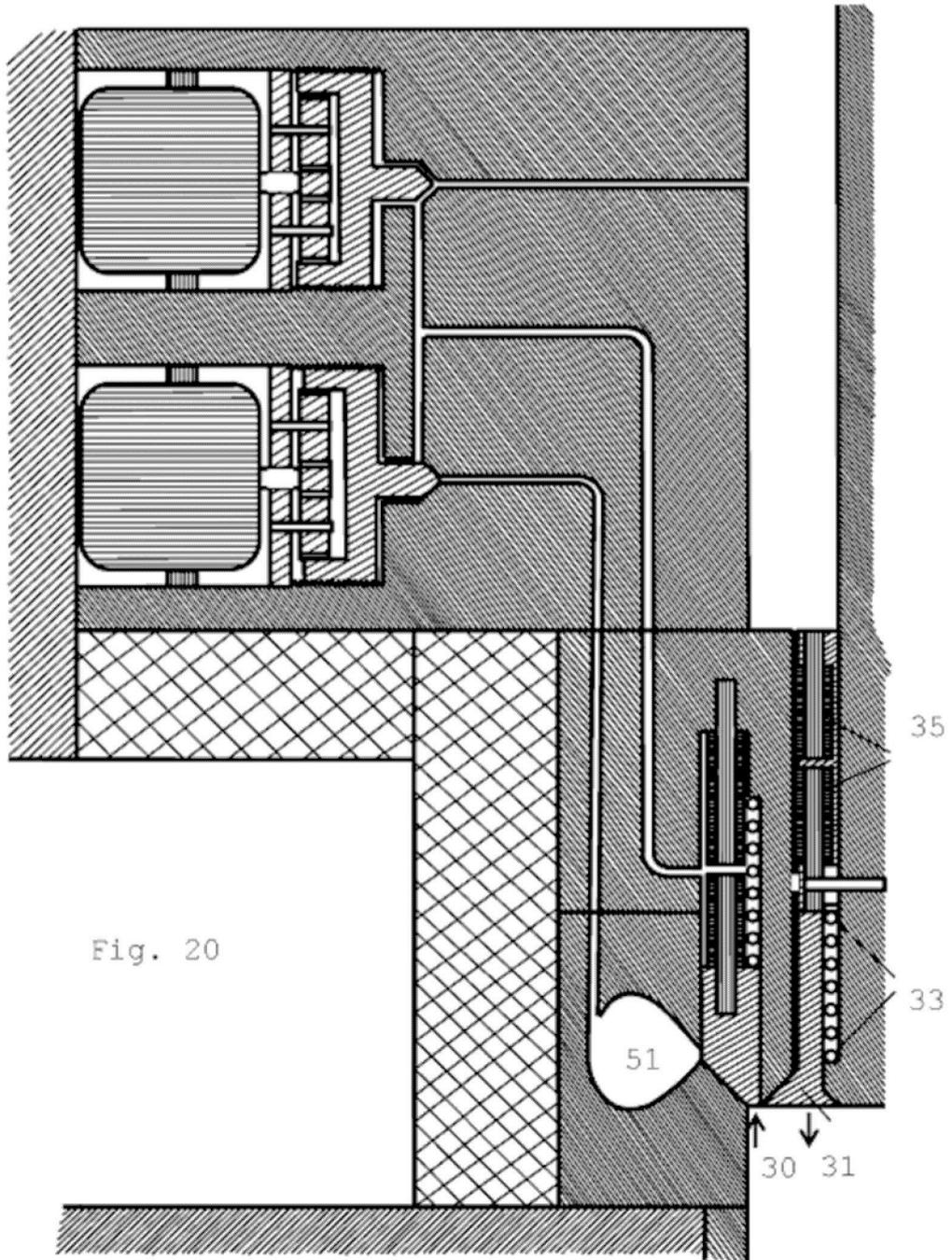


Fig. 19



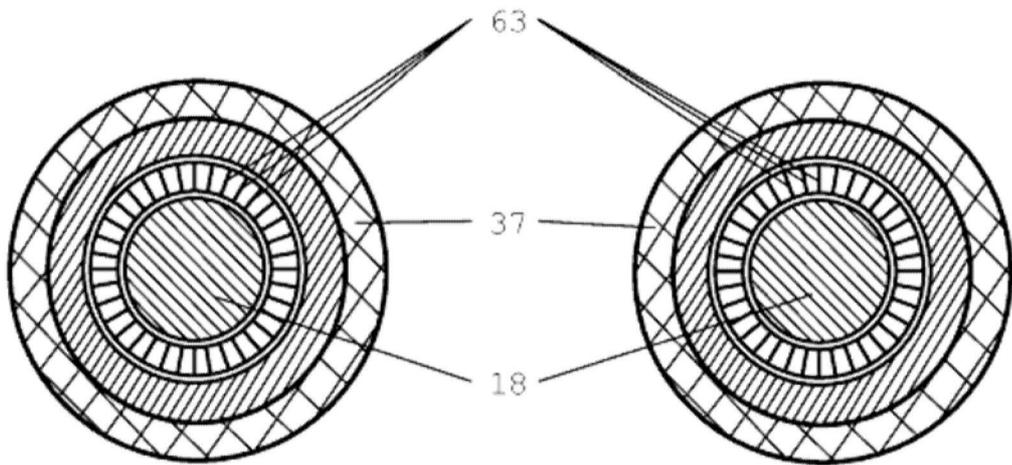


Fig. 21