



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 310 945**

(51) Int. Cl.:

F02B 37/10 (2006.01)

F01N 5/02 (2006.01)

F01K 23/06 (2006.01)

F02G 5/00 (2006.01)

F02C 1/10 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **99965758 .8**

(96) Fecha de presentación : **23.11.1999**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1049863**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **08.11.2000**

(54) Título: **Motor miniaturizado de calor residual.**

(30) Prioridad: **24.11.1998 IT TN98A0018**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.01.2009

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.01.2009

(73) Titular/es: **Claudio Filippone**
8708 48th Place
College Park, Maryland 20740, US

(72) Inventor/es: **Filippone, Claudio**

(74) Agente: **Mainar Roger, Susana**

ES 2 310 945 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

Motor miniaturizado de calor residual.

5 **Resumen**

Un ciclo de bucle cerrado de vapor generado por un dispositivo especial formado por medios de expansión de vapor y transferencia de calor es utilizado para convertir el calor residual de los sistemas de potencia convencionales en trabajo termodinámico adicional, mejorando de esta manera la eficacia global del sistema de potencia. El vapor recalentado (es decir, vapor) es producido instantáneamente en el interior de los medios de transferencia de energía especiales donde el calor residual es convertido en energía fluida con las propiedades termodinámicas deseadas. A continuación, el vapor recalentado es convertido en energía mecánica mediante unidades productoras de trabajo (expansores) especiales, devolviendo de esta manera una fracción considerable de la energía contenida en el calor residual al sistema de potencia.

15 Cuando el sistema de potencia bajo consideración es un motor de combustión interna, la energía contenida en los gases de escape (calor residual) es transferida de nuevo al motor mediante uno o más expansores acoplados directa o indirectamente a la carga del motor. La energía extraída del calor residual también puede añadirse de nuevo al motor mediante medios capaces de mejorar la disponibilidad de oxígeno (oxigenadores) durante la combustión. En este caso, el motor mejora también su respuesta dinámica y reduce su producción de emisiones tóxicas. Si el motor utiliza combustibles pesados (es decir, motores diesel), este dispositivo elimina completamente la formación de partículas altamente tóxicas (humo negro), mientras que mejora considerablemente el rendimiento. El costo de la energía requerida para operar el dispositivo propuesto en esta invención es cero ya que solo recupera y utiliza energía en forma de calor que normalmente es descargada al entorno.

25 **Campo de aplicaciones**

La presente invención está caracterizada por una combinación de convertidores de energía de vapor a mecánica accionados por medios de transferencia rápida de calor capaces de transferir energía instantáneamente de los productos de la combustión, o cualquier fuente de calor, a un fluido termodinámico que circula en el interior de un bucle independiente. Este fluido se mueve en el interior del bucle principalmente como resultado de su propia expansión y transfiere su energía a medios mecánicos a través de unidades termodinámicas productoras de trabajo o expansores. De esta manera, los diversos componentes de este dispositivo constituyen un Motor de Calor Residual Miniaturizado (MWHE) especial capaz de recuperar y convertir la energía residual de la combustión o fuentes de calor en energía útil. Al devolver una fracción considerable de esta energía recuperada al sistema de potencia (por ejemplo, en forma de energía mecánica o eléctrica), se minimiza la normalmente inevitable descarga de calor al entorno, mientras que puede reducirse considerablemente la emisión de contaminantes sin costo de energía para el sistema de potencia.

40 Para simplificar la descripción de los principios de funcionamiento y los procedimientos de operación de esta invención, en adelante se considera que el sistema de potencia es un motor de combustión interna (que utiliza combustibles pesados o no pesados). Sin embargo, cualquier sistema de potencia que utilice fuentes de calor y que produzca calor residual como resultado de su funcionamiento podría utilizar las técnicas y procedimientos descritos en esta invención.

45 Cuando esta invención es aplicada a un motor de combustión interna, la energía de los gases de escape de la combustión (alta temperatura y velocidad de flujo de masa) es convertida en caballos de vapor adicionales transferidos directamente a la carga del motor, vía el cigüeñal del motor y/o indirectamente vía unos medios especiales mejoradores de la entrada de oxígeno del motor.

50 El MWHE contiene uno o más sistemas convertidores de energía de vapor en energía mecánica, referidos en adelante como expansores, uno o más sistemas de transferencia instantánea de calor, referidos en adelante como convertidores, uno o más sistemas colapsadores instantáneos de vapor, referidos en adelante como implosionadores y uno o más sistemas mejoradores de aire/oxígeno, referidos en adelante como oxigenadores.

55 En general, el MWHE está formado por uno o más convertidores acoplados con una serie de expansores que incluyen un sistema condensador de vapor o implosionador, para formar un ciclo termodinámico. Un convertidor (o múltiples convertidores) devuelve la energía recuperada de los gases de escape a través de uno o más expansores en forma de energía mecánica, añadiéndola a la potencia generada normalmente por el motor. Otro convertidor (o el exceso de energía recuperada de un único convertidor) permite la presurización del colector de admisión del motor a través del oxigenador, proporcionando de esta manera oxígeno en exceso a la mezcla de aire y combustible independientemente de la velocidad de giro del motor o las revoluciones por minuto (rpm). Al utilizar esta particular característica mejoradora de oxígeno, el rendimiento del motor puede ser mejorado considerablemente ya que el aire/oxígeno es bombeado virtualmente al interior del motor en todo momento, independientemente de las rpm sin costo alguno. Si este dispositivo es aplicado a un motor diesel, la producción de partículas altamente tóxicas se elimina casi completamente ya que el exceso de oxígeno está siempre presente durante la combustión, incluso cuando el motor está acelerando desde el ralentí.

Por lo tanto, la principal aplicación de este motor termodinámico puede considerarse como un sistema antipolución, especialmente cuando se aplica a motores de combustibles pesados, pero también puede considerarse como un dispositivo capaz de mejorar considerablemente el rendimiento del motor mientras que reduce el consumo de combustible. De nuevo, es importante enfatizar que la fuente de energía de esta invención está constituida por el calor que normalmente es descargado irreversiblemente al entorno.

Técnica anterior

Los sistemas de mejora de la toma de aire del motor se caracterizan normalmente por unos turbocompresores centrífugos, o turbocargadores y por compresores de aire de desplazamiento positivo. Los compresores centrífugos son dispositivos utilizados para proporcionar aire en exceso al motor permitiendo una salida de potencia incrementada y generalmente mejorando la combustión. Estos dispositivos mejoran la eficiencia global del motor ya que recuperan una fracción de la energía cinética y la energía de presión contenida en los gases de escape producidos durante la combustión. Los compresores centrífugos son ampliamente usados en aplicaciones de motores de combustión interna (IC) ya que exhiben unas eficiencias razonablemente buenas cuando funcionan a las velocidades adecuadas, son razonablemente resistentes y duran para toda la vida del motor. Los compresores de aire para los motores IC están formados generalmente por dos secciones contrapuestas que contienen el volante de gas de escape "EGW" y el volante del compresor, "CW", conectados por un eje común. El EGW convierte parte de las energías cinética y de presión del gas de escape en potencia en el eje. Debido a que el CW está conectado también mecánicamente al mismo eje, convierte la potencia en el eje proporcionada por el EGW en presión de aire en la descarga del CW. De esta manera, los colectores de entrada del motor son presurizados y hay más aire/oxígeno disponible para el motor. Gracias a estos dispositivos, es posible incrementar la cantidad de combustible inyectado en la cámara de combustión e incrementar la potencia de salida global del motor. Desafortunadamente, la eficiencia de los compresores centrífugos está optimizada sólo para un intervalo considerablemente alto de velocidades de giro del CW (generalmente superior a 30.000 rpm). Dichas velocidades solo se alcanzan cuando la masa de los gases de escape (velocidad de flujo de masa, gramos por segundo), coincide con la rpm del EGW optimizado, de manera que el par máximo se transfiere mediante el eje al CW. Esta inevitable secuencia de acontecimientos crea las condiciones para que se dé un retraso, llamado "retraso del turbo", impuesto principalmente por la inercia de fluidos-mecánica de los gases de escape, la inercia mecánica del EGW, CW y muchos otros factores. Debido al hecho de que los gases de escape son una consecuencia del proceso de combustión, el motor experimenta un retraso considerable entre el tiempo en el que el combustible es inyectado y el tiempo en el que el compresor hace disponible la cantidad adecuada de oxígeno en la cámara de combustión. Este retraso provoca una fuerte caída en el rendimiento del motor durante la aceleración, particularmente desde el ralentí a mayores rpm. De hecho, durante estas fases no hay suficiente oxígeno para completar la combustión, y por lo tanto, la producción de emisiones contaminantes es considerable mientras que se reduce el rendimiento del motor. Esta condición existe durante varios segundos cada vez que el motor acelera y se hace incluso más exagerada cuando el motor está fuertemente cargado.

Normalmente, si el motor está al ralentí y si se presiona de repente el pedal del acelerador, el combustible aparece en el interior de la cámara casi instantáneamente, pero la disponibilidad de oxígeno es completamente insuficiente para completar la combustión. Eventualmente, las rpm del motor cambian desde el ralentí a la velocidad deseada y un flujo de masa creciente de gases de escape empieza a proporcionar suficiente par al compresor centrífugo, y de esa manera la disponibilidad de oxígeno se hace gradualmente suficiente. De hecho, según transcurre el tiempo el CW alcanza las rpm adecuadas y el aire es finalmente comprimido en el interior del colector de admisión. Resumiendo, durante la aceleración los turbocompresores convencionales (particularmente los compresores centrífugos) son incapaces de proporcionar oxígeno al motor durante un periodo de tiempo que depende de la carga del motor y de la velocidad de aceleración. Durante este tiempo, se descarga una gran producción de partículas (especialmente cuando se consideran combustibles pesados) al entorno. Para eliminar, o minimizar, el fenómeno del retraso del turbo, algunos fabricantes de motores utilizan compresores mecánicos diferentes (es decir, compresores de desplazamiento positivo) que exhiben una eficiencia razonable a bajas rpm. Estos sistemas mecánicos están acoplados al cigüeñal del motor, utilizando de esta manera la potencia del motor para funcionar (menos eficientemente). Cuando se utilizan estos dispositivos la producción de polución se reduce durante la aceleración, pero desafortunadamente el rendimiento del motor se ve también penalizado, especialmente a altas rpm del motor. La única alternativa comercial usada ampliamente (por ejemplo para motores diesel grandes) es la de utilizar dos diferentes sistemas de mejora de aire conjuntamente. Por lo tanto, un compresor de aire de desplazamiento positivo, que utiliza la potencia del motor, y un compresor centrífugo están acoplados de manera que uno proporciona el oxígeno a bajas rpm, mientras que el otro presuriza el colector de admisión a mayores rpm. Esta solución es muy cara y resulta sólo en una modesta mejora de la eficiencia global del motor. Otra manera de proporcionar un exceso de oxígeno en el interior del colector de admisión a bajas rpm del motor está representada por el compresor eléctrico. Estos compresores están caracterizados generalmente por un motor eléctrico acoplado con un compresor centrífugo capaz de proporcionar el exceso de oxígeno al motor independientemente de las rpm del motor. Generalmente, estos motores eléctricos son controlados por controladores electrónicos sofisticados y caros y requieren densidades de corriente extremadamente altas para proporcionar el par necesario en unos pocos cientos de milisegundos. En otras palabras, estos compresores son capaces de proporcionar el oxígeno necesario a bajas rpm del motor, pero desafortunadamente requieren un consumo eléctrico extremadamente alto para su funcionamiento. Las altas densidades de corriente requeridas por los compresores de aire eléctricos representa también serios problemas al originar grandes emisiones de interferencias electromagnéticas, y al sobrecargas generalmente los sistemas eléctricos convencionales (es decir, alternador, baterías) a bordo de los vehículos. Por lo tanto, aunque los compresores eléctricos satisfacen el requerimiento de oxígeno en bajas rpm del motor, también requieren de tanta potencia para funcionar

ES 2 310 945 T3

que el balance global de energía podría mostrar de hecho un deterioro del rendimiento global del motor en vez de lo contrario.

El documento EP 272 327 describe un sistema intercambiador de calor, con capacidad para generar potencia eléctrica, accionado por diferencias de temperatura.

El principal objetivo de la invención propuesta es proporcionar un sistema de recuperación de energía residual capaz de reducir la polución medioambiental mientras que incrementa el rendimiento del motor. Por lo tanto, esta invención convierte el calor en energía mecánica que puede ser usada para producir electricidad, presión de aire, o disponibilidad de trabajo termodinámico.

Resumen de la invención

Uno de los objetivos principales de la invención propuesta es proporcionar un dispositivo antipolución mientras que se incrementa el rendimiento global del sistema de potencia sin afectar al consumo específico de combustible. En general, esta invención consiste en un motor termodinámico especial acoplado al sistema de potencia, cuya energía residual es la fuente de energía del motor termodinámico. Debido a que los convertidores y expansores utilizados son extremadamente compactos, el MWHE global puede ser montado/integrado fácilmente con un motor IC convencional. El vapor recalentado es generado mediante la inyección de un fluido de presión relativamente baja con las propiedades termodinámicas y físicas térmicas deseadas (es decir agua o cualquier fluido apropiado) en el interior de un convertidor de transferencia de calor especial que transfiere instantáneamente el calor liberado por el sistema de refrigeración y los gases de escape del motor al fluido. En general, considerando un motor de 50-60 caballos de vapor (HP), aproximadamente 20-24 kW (donde 1 kW = 1,341 HP) se pierden normalmente en forma de calor descargado irreversiblemente al entorno. Este calor se pierde normalmente a través de los gases de escape y la convección forzada a través del sistema de refrigeración y el radiador del motor. La mínima energía requerida para acumular suficiente oxígeno en el interior del colector de admisión cuando el motor está acelerando desde el ralentí a velocidades más altas puede estimarse entre 0,8 - 1 kW para un motor reducido a aproximadamente 3 kW para un motor medio-grande con combustible diesel. Normalmente, la eficiencia de un compresor de aire centrífugo estándar no es superior al 60-70%, por lo tanto, la energía requerida en el eje del compresor es de aproximadamente 3,2 kW. Un dispositivo que utiliza una fuente de energía de 20 kW para convertirla en 3,2 kW de energía mínima requerida para proporcionar aire comprimido debería tener una eficiencia de al menos el 16%. Normalmente, dicha baja eficiencia ni siquiera se considera para la generación de potencia; sin embargo, en este caso la fuente de energía es energía residual y recuperar incluso una pequeña fracción de la misma solo representa una ganancia en la eficiencia global del motor. Por lo tanto, el ciclo termodinámico del NWHE es un ciclo de vapor basado en una inyección de agua (o un fluido apropiado) en el interior de un convertidor de transferencia de calor que convierte instantáneamente el agua en vapor recalentado sin necesidad de calderas de vapor o acumulación (tal como en los ciclos de vapor convencionales). La presión de la inyección de agua y la velocidad de flujo de masa pueden ser variadas como resultado de la cantidad de calor disponible en el interior del convertidor, o simplemente como una función de la cantidad de calor residual que se desea recuperar. Una vez que el agua es inyectada al interior del convertidor se expande instantáneamente, cambiando su volumen específico y haciendo el proceso de transferencia de calor extremadamente rápido. La energía recogida por el vapor recalentado mientras transita por el interior del convertidor es a continuación utilizada en el interior de uno o más expansores capaces de proporcionar potencia directamente al cigüeñal y/o accionar los oxigenadores. Si el motor es un motor de volumen medio/grande la producción de calor residual es mayor que el calor necesario para accionar sólo los oxigenadores. En este caso, el exceso de energía de vapor recalentado puede ser utilizado para accionar un expansor adicional que devuelve (directa o indirectamente) energía mecánica al cigüeñal del motor. Resumiendo, el MWHE puede estar formado por uno o más convertidores de calor y al menos dos expansores. Un expansor está acoplado a la carga del motor a través de un embrague especial y el otro proporciona una velocidad constante óptima para un compresor de tipo centrífugo especial que conforma un sistema mejorador de aire/oxígeno (oxigenador) alimentado con energía residual. El vapor recalentado formado en el interior del convertidor se expande a continuación en los expansores y se condensa en el interior del radiador o como resultado del colapso del vapor cuando es expuesto a las superficies frías de las cámaras en el interior del expansor (sistemas implosionadores). Además, la implosión brusca del vapor en el interior de las cámaras del implosionador causa una caída en la presión del sistema (es decir $P = 0,09$ bar cuando $T = 45^{\circ}\text{C}$) que incrementa la eficiencia del ciclo termodinámico del MWHE. En este punto el fluido condensado (de nuevo en su forma líquida) es presurizado de nuevo al interior del inyector y comienza un nuevo ciclo. Mediante estimaciones aproximadas, es posible asumir que la máxima temperatura alcanzada por el vapor recalentado en el interior del convertidor es de sólo 450°C , la eficiencia global del ciclo termodinámico del calor residual es aproximadamente de 21%. Esto significa que un ciclo de vapor con las características anteriores podría proporcionar al menos 3,4 kW de potencia en el eje a un compresor de cualquier tipo. En otras palabras, el motor termodinámico descrito en esta invención puede ser utilizado para alimentar un sistema mejorador de aire/oxígeno sin coste para el balance global de la energía del motor. Si el convertidor proporciona una temperatura de recalentamiento superior a 450°C , por ejemplo 600°C , la eficiencia global del ciclo termodinámico alcanzaría el 29%. La temperatura máxima que puede alcanzar el vapor recalentado en el interior del convertidor es proporcional a: la longitud del convertidor; la distancia entre las superficies calentadas en el interior del convertidor; la aspereza de las superficies interiores del convertidor; la velocidad de flujo de masa del fluido líquido a convertir en vapor; la velocidad de flujo de los gases de escape que transitan por el interior del convertidor; el aislamiento térmico entre el convertidor y el entorno que lo rodea; y muchas otras variables menos cruciales. En general, las temperaturas de los gases de escape pueden alcanzar valores superiores a 600°C , y la eficiencia relativa del convertidor puede ser muy superior a 29%.

Resumiendo, el dispositivo de esta invención recupera una fracción de la energía que se pierde normalmente en forma de calor en los sistemas de potencia y motores de combustión convencionales. Utilizando esta energía para accionar los sistemas mejoradores de oxígeno, la polución del motor puede reducirse drásticamente mientras que se incrementa el rendimiento del motor. Utilizando esta misma energía para accionar una unidad productora de trabajo, la eficiencia global del motor puede ser mejorada adicionalmente ya que puede proporcionarse más potencia a la carga del motor. Entonces la salida de potencia global del motor es un resultado de la suma de la potencia proporcionada normalmente por el motor y la potencia recuperada del calor residual.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es una representación de un compresor de aire centrífugo básico en cuyo interior se añade una unidad productora de trabajo adicional en el cuerpo central del compresor, formando de esta manera un sistema mejorador de admisión de aire que utiliza la energía cinética de los gases de escape conjuntamente con la expansión del vapor recalentado en el interior de un expansor coaxial con el CW.

La Fig. 2 es una vista transversal que representa las partes mecánicas de la unidad productora de trabajo que puede ser montada en el interior del cuerpo de los compresores centrífugos ampliamente usados. Esta unidad productora de trabajo incluye medios activos para la regulación óptima de la velocidad del expansor junto con un sistema de lubricación autónomo e innovador.

La Fig. 3 es una vista transversal del cuerpo central del expansor que utiliza una cámara/superficie de implosión interna capaz de causar la condensación brusca del vapor.

Las Figs. 3A y 3B son vistas transversales que representan el cuerpo central del expansor equipado con servomecanismos activos que controlan y regulan las boquillas de vapor especiales.

La Fig. 4 es un esquema que representa el sistema de lubricación hidráulico y el efecto de bombeo causado por los álabes interiores incluidos en el eje.

La Fig. 4A es una vista transversal del expansor en la que las boquillas de salida están orientadas en una configuración que ofrece una fuerza que contrarresta los cojinetes de empuje.

La Fig. 4B es una vista transversal del expansor acoplado con un CW en una configuración girada y equipado con un sistema equilibrado de masa variable.

La Fig. 5 es una vista transversal de un expansor especial cuyo volante contiene álabes de múltiples etapas en el interior de la misma circunferencia, acoplado con un CW centrífugo y EGW que muestra también una camisa exterior para la reutilización del calor perdido por las superficies de la carcasa del EGW.

La Fig. 6 es una vista transversal de un expansor similar al descrito en la Fig. 5 excepto que el vapor circula por el interior del sistema encamisado que rodea la carcasa del EGW independientemente del vapor que circula por el interior del expansor.

La Fig. 7 muestra una representación detallada de los álabes de múltiples etapas situados en un único volante, más ligero, compacto y capaz de proporcionar el par de tres volantes equivalentes funcionando con vapor con diferentes propiedades termodinámicas.

La Fig. 8 es una vista transversal de un expansor especial acoplado a un CW centrífugo posicionado con una rotación de 180° y que tiene una sección de descarga formada por una boquilla cónica divergente capaz de recuperar la mayor parte de la energía cinética del aire cuando abandona las puntas de los álabes del CW. En esta Figura se muestran también una serie de válvulas de derivación de la admisión de aire.

La Fig. 9 es una vista transversal de un compresor centrífugo acoplado a un expansor de vapor completamente simétrico para sencillez de fabricación y montaje.

La Fig. 10 es una vista transversal de un expansor que conforma una unidad productora de trabajo acoplado mediante engranajes reductores a un embrague centrífugo, mecánico, hidráulico o electromagnético que transfiere la energía mecánica a la carga del motor.

La Fig. 11 representa la aplicación de la unidad expansor-compresor como un sistema mejorador de oxígeno conectado directamente en el tambor del filtro de aire del colector de admisión del motor sin afectar al funcionamiento de los turbocargadores o turbocompresores existentes ya instalados en el motor.

La Fig. 12 representa la aplicación de la unidad expansor-compresor como un sistema mejorador de oxígeno posicionada en el interior del colector de admisión utilizando un efecto chorro para presurizar el colector de admisión. De nuevo, esta aplicación no afecta a los turbocargadores o turbocompresores ya instalados en el motor.

ES 2 310 945 T3

La Fig.13 muestra la optimización de un turbocompresor convencional. En este caso, la admisión de aire/oxígeno del expansor/compresor es independiente y el efecto de bombeo por chorro es optimizado para un mayor rendimiento a rpm bajas del motor.

La Fig. 14 muestra una serie de diferentes configuraciones de la unidad expansor compresor mediante el acoplamiento del expansor a partes existentes del compresor o mediante el acoplamiento del expansor a partes fabricadas especialmente (es decir, volante de álabes de múltiples etapas especial o partes simétricas).

La Fig. 15 muestra los circuitos hidráulicos de los diversos convertidores de calor situados en el interior del silenciador, en el interior o rodeando el colector de escape y la camisa que rodea la carcasa del EGW. En esta Figura, el convertidor de calor formado por una camisa en contacto térmico con las superficies calientes expuestas a los gases de escape calientes que accionan el volante y aislado térmicamente del entorno que lo rodea, forma una trayectoria hidráulica que permite al vapor recalentado fluir directamente al interior del expansor (mostrado en detalle en la Fig. 5).

La Fig. 15A muestra un sistema refrigerador formado por aletas/respiraderos de calor del convertidor posicionado sobre o en el interior del colector de escape capaz de recircular el aire de refrigeración en caso de un mal funcionamiento del convertidor o el MWHE.

La Fig. 16 muestra un circuito hidráulico similar al mostrado en la Fig. 15. En esta Figura, la conexión de los diversos convertidores permite un recalentamiento adicional del vapor e incrementa la eficiencia global del MWHE.

La Fig. 17 es un esquema que representa el ciclo termodinámico realizado por el fluido (es decir, agua o cualquier fluido apropiado) del condensador al convertidor o convertidores, al expansor o expansores y de nuevo al condensador.

La Fig. 17A es un esquema que representa el ciclo termodinámico, tal como el mostrado en la Fig. 17, con la adición de un tanque de acumulación de alta presión aislado en el que puede acumularse calor residual en exceso para pulsar los expansores.

La Fig. 18 representa una vista transversal de un convertidor de calor de fácil construcción y equipado con aletas/trayectorias interiores para una mejor transferencia de calor, aislado térmicamente con materiales apropiados o por medio de una camisa adicional en la que es posible obtener un vacío y un buen aislamiento térmico.

Descripción de las formas de realización preferentes

Los principios de funcionamiento del MWE de la presente invención se describen ahora utilizando los esquemas y las representaciones mostradas en las Figuras 1-18.

Las etapas termodinámicas del ciclo del MWHE se representan en las Figs. 17 y 17A. Debido a que el MWHE está formado por la combinación de varios subcomponentes, cada uno de ellos caracterizado por prestaciones únicas, la descripción del MWHE debería simplificarse un tanto describiendo primero los subcomponentes. Los subcomponentes más importantes del ciclo del MWHE, los expansores, convertidores, implosionadores, oxigenadores y sus aplicaciones se describen en las Figs. 1-16. Las Figs. 17 y 17A proporcionan básicamente la conexión hidráulica global y el procedimiento de funcionamiento de cada subcomponente como parte de un único dispositivo: el MWHE como una maquinaria. Por lo tanto, los componentes básicos de un compresor centrífugo modificado para integrar el bloque expansor de vapor del MWHE se muestran en la Fig. 1. El cuerpo del expansor 1 está comprendido en el interior del bloque a trazos de la Fig. 1. El expansor de vapor 1 contiene al menos un volante del expansor con álabes "EW", 6, con álabes 6a diseñados para proporcionar un par apropiado a una velocidad de flujo de masa y unas propiedades termodinámicas deseadas del vapor. El material del propio volante puede ser de metal, material compuesto o una combinación. En general, el material del volante debe tener la resistencia suficiente para soportar el estrés mecánico impartido por el vapor y debe tener una buena estabilidad térmica a la temperatura de funcionamiento impuesta por el vapor en expansión. Los bordes más exteriores de las puntas de los álabes 6a pueden estar realizadas en un material de sellado (es decir, Teflón), que se hace más suave cuando su sección transversal es suficientemente fina, ofrece buenas características de lubricación y forma un buen cierre entre las partes giratorias del volante y la carcasa estática 1. La forma, altura y ángulos de los álabes 6a del EW están diseñados de manera que se obtiene el par máximo a unas rpm deseadas, coincidiendo de esta manera con las rpm óptimas del CW de aire 2a, en el interior del difusor 2. El EW 6 es también coaxial con el EGW 3b, y el CW 2a. Todos los volantes 6, 2a y 3b están acoplados mecánicamente al mismo eje 12 sellado por presión en varios puntos (no todos ellos mostrados en la Figura 1) mediante una serie de juntas tóricas 93 o similares. En el interior del bloque expansor 1, hay al menos un cojinete o cojinetes de empuje 4 y/o cojinetes lubricados con fluido 5 de diseño convencional o de diseño especial tal como se describe en la Figura 4. Para conseguir un buen aislamiento térmico entre la carcasa del expansor 1 y las secciones del compresor de aire formadas por el CW 2a y la carcasa 2, se posiciona un cierre térmico 18 entre las partes del compresor y el cuerpo del expansor 1. En esta configuración el aislamiento térmico 18 es necesario para prevenir que el calor del expansor sea transferido al aire comprimido en el interior del difusor 2.

En la Fig. 2, se muestra en detalle el expansor 1. El vapor recalentado generado en los convertidores descritos en las Figs. 5, 6, 15, 16 y 18 entra por la entrada 9 (Fig. 2) que puede posicionarse simétricamente con respecto al eje 12 de la Fig. 1, o pueden posicionarse en cualquier lugar del cuerpo del expansor 1. Si el fluido de trabajo del MWHE es agua

(podría utilizarse cualquier fluido con las propiedades físicas y termodinámicas apropiadas), el vapor recalentado a una presión y temperatura deseadas entra por las entradas 9 y fluye a través de las boquillas 17. Las boquillas 17 pueden ser boquillas estáticas convergentes simples, diseñadas para obtener una conversión presión a velocidad deseada o pueden ser accionadas activamente o ajustadas estáticamente mediante los medios 15, 14 y 13. Estos medios permiten que la presión y la velocidad del vapor sean ajustadas exactamente antes de que se expanda a través de los álabes 6a del EW 6. Los medios de regulación 14 consisten en un enlace mecánico capaz de insertar o extraer una aguja 13 especial. De esta manera el expansor puede ser adaptado a medida para funcionar a una velocidad óptima como una función de la velocidad de flujo de masa y de las propiedades termodinámicas del vapor que entra a través de las entradas 9. Las boquillas 17 están posicionadas en el interior del cuerpo del expansor 1 de manera que la fuerzas generadas contra los álabes 6a contrarrestan las fuerzas que actúan sobre el eje 12 (Fig. 1). Esta fuerza de reacción es proporcional a la masa del vapor que incide sobre los álabes 6a. Una vez que el vapor se expande a través del EW 6, puede salir del expansor 1 a través de las trayectorias de descarga 10 que están hidráulicamente conectadas a un condensador/radiador 86 mostrado en las Figs. 17 y 17A. La lubricación de los cojinetes 5 se realiza mediante un tanque de aceite 16, las trayectorias de aceite 16a y 16b y un tanque cárter 16c. Los procedimientos de lubricación pueden utilizar diseños convencionales mediante circulación forzada de aceite mediante una bomba exterior o mediante un procedimiento innovador mostrado en la Fig. 4. El expansor 1 puede ser diseñado también de manera que los cojinetes 5 y las trayectorias hidráulicas de aceite 16a y 16b no estén integrados en el interior del cuerpo del expansor (por ejemplo, los cojinetes 5 podrían estar posicionados en el interior de los bloques 2 y 3 de la Fig. 1). Para minimizar las pérdidas de calor y presión entre el EW 6 y el bloque estático del expansor 1, una serie de sellados apropiados (juntas tóricas, grafito, etc.) pueden ser posicionados tal como se indica mediante el número de referencia 93. Como un medio de sellado adicional entre los álabes 6a y los componentes estáticos del expansor 1, puede utilizarse un recubrimiento de Teflón del volumen que rodea el volante y sobre el propio EW 6. Por ejemplo, si el volante está realizado en Teflón, la punta de los álabes puede ser moldeada (o mecanizada) de manera que la flexibilidad del Teflón es utilizada como cierre centrífugo. Entonces, una parte flexible de los álabes, en el borde de la punta del álabe, roza contra la carcasa que contiene el volante. Debido a que la carcasa está recubierta con Teflón en el interior (o se posiciona un anillo de Teflón alrededor del volante) la estructura global queda sellada a pesar de que el volante esté girando y la carcasa esté estática. Además, las características de lubricación óptimas del Teflón permiten que el sellado dure una cantidad de tiempo considerable; sin embargo, cualquier otro compuesto de sellado podría conseguir los mismos resultados. Para minimizar la transferencia de calor desde el cuerpo del expansor al cuerpo del compresor se utiliza un sellado térmico 18 tal como se muestra en la Fig. 2. El material de este sellado tiene una conductividad térmica muy baja.

En la Fig. 3, por el contrario, se favorece la transferencia de calor entre el cuerpo del expansor 1 y el cuerpo del compresor. En esta configuración el vapor sale de los álabes 6a y entra a una cámara de condensación formada por una trayectoria hidráulica definida por las aletas 19 y 20. De esta manera, el aire relativamente frío que pasa a través del compresor enfría las superficies de la cámara de condensación y el vapor implosiona instantáneamente. Cuando el vapor se condensa bruscamente (implosiona), inmediatamente después de su expansión a través de los álabes del EW 6, causa una caída escalonada de presión que incrementa la eficiencia global del expansor. La elección entre un expansor 1c de la Fig. 3 ó 1 de la Fig. 1 se basa principalmente en un compromiso entre la eficiencia deseada del compresor de aire y la eficiencia generada por la combinación de los diversos convertidores de calor residual. En la Fig. 3, el vapor entra al expansor 1c desde las entradas 9 (mostradas aquí en una configuración simétrica no limitativa) pasando a través de las boquillas 17 donde sus características termodinámicas en términos de presión y velocidad son ajustadas activa o estáticamente. A continuación, se expande a través de los álabes 6a y entra en una trayectoria hidráulica de refrigeración forzada formada por las aletas 20 y 20a. Las aletas 20a tienen el propósito de extender la superficie de refrigeración formada por las aletas 20a del componente 19 en contacto con el gran flujo de masa de la admisión de aire del compresor. En cuanto el vapor entra en contacto directo con las superficies 19, enfriadas por aire, el vapor se contrae bruscamente cambiando su volumen específico en un factor superior a mil. Este cambio brusco en el volumen específico en el interior de un sistema en el que el volumen del sistema es fijo provoca una caída escalonada en la presión local. La reducción de la presión en la descarga de los álabes 6a es equivalente a incrementar la presión en la salida de la boquilla 17, obteniendo de esta manera más trabajo termodinámico en el eje del expansor (es decir, 12 en la Fig. 1). Debido a que el aire que fluye en el exterior del expansor podría ser el mismo aire/oxígeno que se comprime en el interior de los colectores de admisión del motor, la temperatura del aire comprimido incrementa consecuentemente. Sin embargo, debido a que la masa del vapor a condensar es mínima con respecto a la masa de aire que fluye en el interior del lado compresor, el incremento de la temperatura del aire es mínimo, afectando de esta manera a la eficiencia del compresor de aire sólo marginalmente. En otras palabras, la caída de presión causada por la implosión forzada del vapor causa una mayor eficiencia del expansor, mientras que el consecuente incremento de la temperatura del aire causa una menor eficiencia del compresor. Sin embargo, la eficiencia global del dispositivo aumenta ya que la ganancia en la eficiencia del expansor es mayor que la pérdida en la eficiencia del compresor. En las Figs. 3A y 3B los cuerpos de los expansores 1c y 1 de las Fig. 3 y de la Fig. 2 se muestran uno al lado del otro para mostrar sus principales diferencias. En las Figs. 3A y 3B, el control de la velocidad del EW 6 es realizado de una manera dinámica (control activo), mediante los medios 13 que son capaces de ajustar el diámetro de la boquilla 17 y controlar las propiedades termodinámicas del vapor que fluye a través de la boquilla 17 mediante el ordenador/controlador 92, descrito en la Fig. 17 o mediante un sistema sub-ordenador especializado, indicado mediante "S". El sistema sub-ordenador S, es un controlador especializado que optimiza el funcionamiento de un subcomponente particular del motor miniaturizado (en este caso el expansor). El sistema sub-ordenador S puede tener un interfaz con el ordenador 92 descrito en las Figs. 17 y 17A. Las agujas 13 son reposicionadas/ajustadas continuamente mediante servomecanismos accionados por los motores 112. Los motores 112 pueden ser accionados mediante electricidad o ser activados mediante medios neumáticos. El control básico de la velocidad del EW 6 se realiza mediante la detección de la velocidad del volante mediante un sensor de movimiento 115 (es decir, sensor de efecto Hall) conectado al ordenador 92 de la Fig. 17. El

ES 2 310 945 T3

ordenador 92 monitoriza toda la condición termodinámica del expansor y del convertidor o convertidores y ajusta la posición de las agujas 13 proporcionalmente a la cantidad de vapor disponible, su estado termodinámico, la velocidad del volante, etc. De esta manera, el EW 6 funciona siempre bajo condiciones óptimas.

5 En la Fig. 4 se muestra un circuito hidráulico preferente para la lubricación del eje 12. En la Fig. 4, los cojinetes 5 se representan en una manera no limitativa en el interior del cuerpo del expansor. Los cojinetes 5 pueden estar formados por materiales de cojinete lubricados mediante la acción giratoria del eje 12. El aceite 24, o un fluido lubricante, en el interior del tanque 16 fluye por el interior de las trayectorias hidráulicas 16a y 16b que forman canales interiores y experimenta una aceleración a través de los álabes incluidos 22 grabados sobre la superficie del eje 12. De esta manera, el aceite 24 gana energía cinética en el interior de los álabes 22 y convierte esta energía en energía potencial. Por ejemplo, las moléculas de aceite 24 (parte superior derecha de la Fig. 4), entran al canal 16a y fluyen por el interior de los álabes interiores 22 en el eje 12. Los álabes 22 están conformados de manera que el giro del eje imparte una aceleración al aceite en cuanto el eje alcanza las velocidades mínimas. De esta manera la velocidad al final del canal 16b es mayor que a la entrada del canal 16a generando un efecto de bombeo. Debido a que el eje 12 gira a unas rpm razonablemente altas, incluso un pequeño ángulo de los álabes 22 causa un deseado efecto de bombeo. Por lo tanto, el aceite 24 en el interior del tanque 16 es forzado por una depresión en el canal 16a a pasar a través de los álabes 22, lubricando el casquillo o cojinete 5 y volviendo de nuevo al tanque 16 a través del canal 16b. En otras palabras, la lubricación del eje 12, el cojinete o casquillo 5 ocurre como un resultado automático del giro del eje 12. Cuanto mayor sea el número de revoluciones por minuto del eje 12, más aceite será bombeado a través de los álabes 22, por lo tanto los efectos de lubricación y refrigeración incrementan automáticamente con mayores velocidades de giro del eje. En general, los álabes 22 pueden estar formados por microcanales conformados apropiadamente sobre la superficie del eje 12 o 12b. El número de álabes 22 puede ser par o impar siempre que se respete la simetría y/o equilibrio del eje 12 o 12b. Las trayectorias del aceite desde el tanque 16 a los diversos cojinetes 5 pueden realizarse de manera que cada cojinete tenga su propia entrada y salida de aceite. La entrada de aceite 16a podría estar situada en la entrada de un conjunto de cojinetes 5 (parte inferior de la Fig. 4), ser aceleradas mediante un primer conjunto de álabes interiores 22, fluyendo al interior del eje 12b a través del orificio 23a al interior del canal 23 en el interior del eje, entrada al lado de succión del álabe interior 22, a través del orificio 23b, y finalmente siendo descargado al canal 16b que devuelve el aceite de nuevo al tanque 16.

30 En la Fig. 4A, se representa el efecto de las fuerzas desarrolladas por la acción del EGW 3b, CW 2a y EW 6. A continuación se describe una solución para el desgaste del cojinete de empuje. El cojinete de empuje 4, que puede posicionarse en cualquier punto a lo largo del eje 12, normalmente tiene que contrarrestar las fuerzas de reacción desarrolladas por el EGW 3b y el CW 2a. Estas fuerzas se desarrollan como una reacción al movimiento de los gases de escape y el aire en los álabes de los volantes. Cuando el EW 6 del expansor de vapor está integrado en el interior del cuerpo o del dispositivo global (por ejemplo tal como se muestra en la Fig. 1), es posible posicionar las boquillas 17 de manera que las fuerzas de reacción desarrolladas por el vapor en los álabes del EW 6 se contrapongan al efecto de las fuerzas generadas por el resto de los volantes (es decir, 3b y 2a en la Fig. 4A), minimizando de esta manera el efecto del desgaste sobre el cojinete de empuje 4. Posicionando y dimensionando apropiadamente las boquillas 17, la fuerza neta del vapor 118, indicada por F_{vapor} , podría ser de la misma magnitud y dirección opuesta a las fuerzas 116 y 117 generadas por los volantes 2a y 3b indicadas en el diagrama vectorial (Fig. 4A, parte superior) como F_{aire} y F_{gas} . De hecho, al asignar un signo positivo a las fuerzas que van de izquierda a derecha, F_{vapor} es positiva mientras que F_{aire} y F_{gas} son negativas (la notación vectorial no es necesaria ya que todas ellas se mueven a lo largo del mismo eje). Dimensionando apropiadamente el diámetro de las boquillas 17, junto con el dimensionamiento apropiado de los convertidores de calor residual y el diámetro del EW 6, es posible generar una fuerza de reacción 118 resultante del momento generado por el vapor en expansión. En la Fig. 4A, la dirección de las fuerzas representadas es sólo indicativa. Si el expansor es utilizado sólo como un oxigenador independiente (es decir, Fig. 8), el EW 6 funciona a rpm constante (particularmente el caso para las aplicaciones descritas en las Figs. 11, 12 y 13), por lo tanto, es posible ajustar la fuerza de reacción del vapor (F_{vapor}) de manera que las fuerzas axiales que actúan sobre el cojinete de empuje se anulen.

50 En la Fig. 4B el expansor está acoplado con un CW 2a girado (los detalles de esta configuración se describen en las Figs. 8 y 9) y está equipado con un sistema equilibrado que actúa sobre las masas giratorias y añade su propio peso como una fuerza opuesta a la fuerza de reacción 116 del CW 2a. Incluso en este caso el dimensionamiento apropiado del EW 6, junto con las propiedades térmicas globales apropiadas del MWHE y el posicionamiento correcto de las boquillas 17 en el interior del cuerpo del expansor pueden minimizar los efectos de las fuerzas de reacción causadas por el CW 2a y que actúan sobre el cojinete de empuje 4. En esta configuración el CW 2a está posicionado de manera que forma 180° en relación a la posición del mismo volante utilizando en los compresores centrífugos convencionales. En este caso, el componente axial de las fuerzas que actúan sobre el cojinete de empuje 4 se compone principalmente de la fuerza 116 generada por el propio compresor centrífugo (que empuja al eje 12 hacia arriba). Si el cuerpo del oxigenador (30 en la Fig. 8) está posicionado verticalmente, entonces las boquillas 17 en la Fig. 4B pueden ser posicionadas de manera que la suma de las fuerzas generadas por el peso del eje 12 (por la fuerza de gravedad, "FG"), el peso de la masa equilibrada 120 y 121 (por la FG), que genera la fuerza 119 y la fuerza resultante 118 causada por la reacción del vapor sobre los álabes del EW 6 podría ser exactamente igual y opuesta a la fuerza 116, anulando de esta manera su efecto. Similarmente, si se incrementa considerablemente la masa 120 o se utiliza un CW 2a pesado (es decir, obteniendo un efecto volante de inercia), las boquillas 17 pueden ser posicionadas de manera que favorezcan el efecto de la fuerza 116. La masa equilibrada 120 y 121 proporciona también los medios para ajustar las componentes desequilibradas usuales del eje 12, acoplado con los diversos volantes. De hecho, la masa 121 puede ser desplazada de su posición central mediante los tornillos 122 y ser bloqueada en su sitio mediante los tornillos 123. El

ES 2 310 945 T3

sistema de masas formado por las masas 120, 122 y 123 puede ser posicionado en cualquier punto a lo largo del eje 12 (las dimensiones representadas en la Fig. 4B no están a escala). De esta manera, el equilibrado del sistema giratorio completo (es decir, eje 12, CW 2a, EW 6 y eventualmente EGW 3b) puede ser realizado una vez que se ha montado la unidad.

5

En la Fig. 5 se muestra un expansor de vapor integrado 1a posicionado en el interior de los componentes de un turbocompresor convencional. En esta Figura, el expansor 1a está formado por un Volante de Múltiples Etapas, “MSW”, 7, caracterizado por una serie de álabes 7a, 7b y 7c, montados moldeados o mecanizados en el interior del mismo volante. El vapor entra al expansor 1a a través de la entrada (o entradas) 9d posicionadas sobre el cuerpo de una camisa especial 25 que contiene los cuerpos de la boquilla de escape de gas centrífuga 3a y el EGW 3b. El vapor es proporcionado a la temperatura, presión y velocidad de flujo de masa deseadas por los convertidores descritos en las Figs. 15, 16, 17 y 18. De nuevo, el vapor entra por las entradas 9d, recibe calor adicional principalmente por convección y radiación en el interior de las cámaras de calor formadas por las superficies de la boquilla 3a y la camisa 25, y entra al interior del cuerpo del expansor 1a. Para minimizar las pérdidas de calor, pueden utilizarse materiales aislantes o puede formarse una cámara de vacío evacuando el aire del interior de otra cámara formada por las superficies de la camisa 25 y las de una camisa adicional 25a. El aire puede ser extraído durante la fabricación o mediante una válvula de vacío 124. El vapor recalentado entra ahora al cuerpo del expansor 1a y se expande a través del primer conjunto de boquillas convergentes 17 (el dibujo es simétrico). El diámetro de la salida de la boquilla 17 está diseñado para transferir el máximo momento al primer conjunto de álabes 7a del MSW 7. De nuevo las boquillas 17 pueden ser fijas o ser ajustadas activamente tal como se muestra en las Figs. 2 y 3. Normalmente, el vapor que sale de esta primera etapa de los álabes (7a) entraría a una nueva etapa de álabes en un nuevo volante separado diseñado para coincidir con las nuevas propiedades del vapor. En esta invención todavía se posiciona una nueva serie de álabes 7b en el mismo volante (MSW 7), pero tiene un diámetro diferente y una forma diferente para compensar la dirección del vapor modificada y su estado termodinámico modificado. Por lo tanto, el vapor pierde una fracción de su energía al expandirse a través de los álabes 7a, a continuación entra en un nuevo conjunto de boquillas 17a (fijas o ajustadas activamente) después de haber cambiado la dirección en 180° a lo largo de un codo pulido en el interior del cuerpo del expansor 1a. Ahora, el vapor en determinadas condiciones termodinámicas se expande a través del nuevo conjunto de álabes 7b. Otra boquilla convergente 17b proporciona los ajustes apropiados en términos de presión y velocidad de vapor, ya que el vapor pierde más y más energía conforme se expande en las diversas etapas. Al salir de la boquilla 17b, el vapor se expande de nuevo en el interior de otro conjunto de álabes 7c posicionados en la periferia del MSW 7. Finalmente, el vapor de escape es retirado del expansor 1a a través de las trayectorias hidráulicas de descarga 10 o a través de una cámara de implosión (no mostrada) tal como se describe en la Fig. 3. Por lo tanto, la técnica de girar 180° la trayectoria de flujo del vapor permite la generación de un par mayor a partir del mismo volante, en vez de tres o más volantes, reduciendo de esta manera el peso, la inercia y permitiendo una miniaturización considerable del cuerpo del expansor. El sistema de lubricación del expansor 1a puede estar formado por un sistema de lubricación de aceite convencional, mediante una bomba exterior o por un sistema que utiliza los cojinetes 5 tal como se describe en la Figura 4. Si el sistema de lubricación es similar al descrito en la Fig. 4, el aceite, o fluido lubricante similar, puede ser refrigerado a través de los tanques 16c, montados sobre el cuerpo del difusor del compresor de aire. Debido a que la temperatura máxima del aire en la descarga del CW 2a es sólo de 1,5 a 2,5 veces la temperatura de la entrada de aire (generalmente inferior a 40°C), esta sección del dispositivo global puede proporcionar una refrigeración apropiada para el fluido lubricante. Para minimizar las pérdidas de calor del cuerpo del expansor 1a al aire que fluye por el interior del compresor, se posiciona un sello aislante térmico 18 como un tampón entre los dos cuerpos diferentes.

La Fig. 6 representa un expansor integrado en el interior del cuerpo de un turbocompresor con características similares a las descritas en la Fig. 5. En esta Figura el vapor que fluye al interior de la cámara de calor formada por las superficies 3a y 26e lo hace de manera que puede fluir hacia dentro o hacia fuera de la cámara de calor independientemente de las entradas 9e del cuerpo del expansor 1a. La cámara de calor está también térmicamente aislada mediante el vacío creado mediante la válvula 124 o utilizando un recubrimiento con materiales de aislamiento térmico o recubriendo las superficies exteriores 26e (es decir, la capa térmica 25b). En esta configuración, el vapor es recalentado a determinadas temperaturas y a continuación puede ser forzado al interior de otro convertidor de calor para alcanzar incluso mayores temperaturas de recalentamiento.

La Fig. 7 representa el MSW 7 con más detalles. Para conservar la dirección de giro deseada indicada por 27, la inclinación/forma de los álabes 7a, 7b y 7c cambia en cada etapa. Tal como se muestra en las Figs. 5 y 6, el vapor entra por las entradas 9, se acelera en el interior de la boquilla 17 y se expande en la primera serie de álabes 7a cuya forma está diseñada para transferir la energía cinética del vapor en energía mecánica en el eje del volante. La forma de los álabes 7c, 7b y 7a representada en los dibujos de la Fig. 7 es sólo indicativa. Ahora, el vapor que sale de los álabes 7a es redirigido y entra a una nueva boquilla 17a para expandirse a través de los álabes 7b. La inclinación de los álabes 7b es diferente de la de los álabes 7a de manera que se conserva la dirección de giro 27. Finalmente, el vapor que sale de los álabes 7b es redirigido de nuevo y condicionado por la boquilla 17b diseñada para convertir el vapor de baja presión en energía cinética y se expande a través de los álabes 7c. En este punto, el contenido de energía del vapor es bajo y puede ser descargado al condensador 86 (Figs. 17 o 17A). Cada serie de álabes 7c, 7b y 7a está conectada con el MSW 7 mediante las secciones 26 y 26a. El número de secciones 26 y 26a puede variar proporcionalmente al diámetro del volante, la velocidad de flujo de masa del vapor y el par requerido.

65

En la Fig. 8 se muestra un compresor centrífugo innovador (oxigenador) completamente simétrico, fácil de fabricar y que utiliza partes más sencillas. De nuevo, el oxigenador es uno de los diversos sub-componentes del MWHE. En este caso, el expansor 1a está conectado mecánicamente a un CW 2a montado girado un ángulo de 180° con respecto

al eje 12. Esta configuración permite la simetría de las partes mecánicas (más fácil de montar y fabricar) y proporciona mayores eficiencias del compresor. El aire fluye a través de la trayectoria de aire 40 y a través de un difusor axial 29, entrando al cuerpo del CW 2a y ganando energía cinética como resultado de la acción centrífuga del volante. El aire sale con la energía máxima en la punta de los álabes del CW 2a y entra en un difusor conformado especialmente tal como se indica por la región 95 en la Fig. 8. Este difusor es simétrico y divergente a lo largo de toda la longitud del cuerpo 30. La primera transformación de la energía cinética del aire en presión ocurre en la región 95 y una ganancia adicional en presión ocurre a lo largo de los álabes/paletas 31 separados regularmente sobre un cono fijo 33. La forma de las paletas 31 es tal que los movimientos turbulentos y los vórtices de aire en la salida del CW 2a (punta de los álabes) se reorganizan, se redirigen y se convierten en presión (energía útil). Además, el corte transversal del difusor formado por el cono 33 y las superficies interiores del cuerpo 30 forma una boquilla divergente. De hecho, el corte transversal cambia radialmente de pequeño a grande, tal como se muestra mediante las distancias d1 y d2, indicado por el número de referencia 32. De esta manera otra componente de la velocidad del aire que sale del CW 2a es convertida en presión. El cuerpo 30 está unido mecánicamente al expansor 1a mediante una brida de acoplamiento 28. El cono 33 y las paletas 31 son estáticos o fijados al cuerpo 30. Resumiendo, el cuerpo del oxigenador está formado por dos conos concéntricos que tienen alturas y diámetros diferentes o por un cono concéntrico y posicionado internamente en el interior de un cilindro capaz de proporcionar características similares a las descritas para el cuerpo 30. La brida 28 puede estar unida al cuerpo 30 mediante aletas/paletas estáticas adicionales (que dirigen el flujo de aire hacia el CW 2a) o mediante un cuerpo semitoroidal abierto 39 que rodea la entra del oxigenador y que proporciona la estructura para el colector de admisión 40. El colector 40 puede conectarse fácilmente a un filtro de aire convencional. El dispositivo global formado por el expansor 1a y el cuerpo 30 forma un oxigenador que puede ser diseñado para proporcionar un mínimo flujo de masa de oxígeno suficiente para permitir la combustión completa desde el ralentí del motor a rpm medias altas. Si la salida del oxigenador 40a está conectada a un sistema de admisión de aire del motor equipada con un turbocompresor convencional, las válvulas de membrana 38 podrían abrirse automáticamente cada vez que la presión en la región adyacente al vórtice del cono 33 sea inferior a la presión atmosférica. Por lo tanto, el oxigenador podría ser diseñado para proporcionar oxígeno a bajas rpm, mientras que el turbocompresor convencional empezaría a funcionar apropiadamente a altas rpm, de manera que las válvulas de derivación 38 permitan que el turbocompresor respire incluso si el oxigenador no está dimensionado para proporcionar todo el rango de masa de aire a altas rpm del motor. Las válvulas de derivación 38 están formadas por la membrana 35 compuesta por materiales flexibles (es decir, caucho, material compuesto) con el grosor, dimensiones y las propiedades físicas y de torsión apropiadas. Una válvula de derivación 38 con el diámetro hidráulico apropiado (corte transversal eficaz visto por el fluido) o más válvulas con características de flujo de aire equivalentes pueden ser montadas en el cuerpo 30. En general, el expansor 1a, 1 (o 1b tal como se describe en la Fig. 14), puede proporcionar la propulsión necesaria al CW 2a. Si el expansor está miniaturizado apropiadamente puede ser insertado también en el interior del cuerpo del cono 33, tal como se indica mediante el recuadro a trazos 1c. En este caso, las trayectorias de entrada del vapor 9 y las trayectorias de descarga de vapor 10 pueden realizarse a través del grosor de las paletas 31. Las trayectorias del vapor 9 incluidas en el interior de las aletas 31 estarían térmicamente aisladas, mientras que el vapor que sale del EW 6 o MSW 7 estaría expuesto a las superficies refrigeradas por aire del cono 33 y las paletas 31. Cuando el vapor que sale del EW 6 o MSW 7 impacta las superficies interiores frías del cono 33 se condensa bruscamente (implosiona), generando una caída de presión que incrementa la eficiencia global del oxigenador. Este oxigenador puede ser acoplado también con un EGW convencional 3b (y la boquilla relacionada) destapando el tapón térmico 41 y extendiendo el eje 12. En otras palabras, prolongando el eje 12 es posible añadir propulsión pulsada al CW 2a utilizando la energía cinética de los gases de escape. El expansor 1a mostrado en la Fig. 8 (o incluso los expansores 1 o 1b) puede ser miniaturizado de hecho hasta un punto en el que puede ser insertado en el interior de la estructura cónica del oxigenador simétrico. En este caso, el cuerpo del oxigenador 30 contendría el cono 33 y en el interior del cono 33 el expansor 1, 1a o 1b. Entonces las paletas 31 contendrían las trayectorias hidráulicas para las entradas 9 del expansor 1a y las trayectorias hidráulicas para la descarga de vapor 10. Las trayectorias hidráulicas de entrada 9, incluidas ahora en el interior de las paletas 31, estarían térmicamente aisladas, mientras que las trayectorias de descarga 10 pueden transferir calor y condensar en el interior de las trayectorias hidráulicas 10 (incluidas en el interior de las paletas 31), ya que las paletas 31 están siempre a bajas temperaturas debido a la acción del flujo de masa o de aire. Creando una cámara de implosión en el interior del cono 33, las superficies del cono proporcionan las superficies de refrigeración para que el vapor recalentado se colapse bruscamente cuando entra en contacto con las superficies interiores del cono 33. En este caso, el oxigenador simétrico se hace extremadamente compacto ya que sus sistemas expansor y de implosión están contenidos todos ellos en el interior del cuerpo 30. Además, cuando ocurre una implosión completa en el interior del cuerpo 30 no es necesario circular el vapor en el interior del radiador condensador (es decir, 86 en las Figs. 17 y 17A), simplificando adicionalmente de esta manera la trayectoria hidráulica y las conexiones del motor miniaturizado.

En la Fig. 9 se representa otro oxigenador simétrico, similar al descrito en la Fig. 8. En este oxigenador, el aire entra al cuerpo del CW 2a, pasando por el difusor 29, de una manera radial (desde todas direcciones). En esta configuración puede posicionarse un filtro de aire cilíndrico entre el cuerpo 30 y la brida 28a. Para mejorar la eficiencia del CW 2a, las paletas estáticas pueden ser posicionadas también en el interior de la trayectoria de admisión 96. Sin embargo, el oxigenador puede proporcionar también oxígeno al motor sin un filtro de aire montado en el mismo (ver Fig. 11). En general, el EW 6, MSW 7 y CW 2a pueden estar realizados en plástico, Teflón, material compuesto, metal o cualquier material que mantenga sus propiedades físicas-térmicas para temperaturas relativamente bajas (muy inferiores a las temperaturas de los gases de escape). Si el MWHE es aplicado a un motor IC grande, la cantidad de calor generada por el motor, recuperada por los convertidores y transformada de nuevo en energía útil por los expansores del MWHE es mucho mayor que la energía necesaria para alimentar sólo los oxigenadores. Por lo tanto, el exceso de energía puede ser utilizado de varias maneras. Por ejemplo, puede ser utilizado para proporcionar potencia mecánica adicional al propio motor IC.

ES 2 310 945 T3

En la Fig. 10 se muestra un sistema auxiliar de transferencia de potencia pulsada o continua formado por el Volante de Inercia Auxiliar del Expansor AEF 11. En esta Figura, la unidad de potencia comprendida por el cuerpo 42 está conectada directamente al bloque motor IC 43. En general, la unidad de potencia 42 puede conectarse a cualquier carga (es decir, un alternador para la producción de potencia eléctrica). En la Fig. 10, el excedente de vapor entra en las trayectorias hidráulicas 9c y se expande a través de los álabes del AEF 11. El AEF 11 está realizado de materiales pesados para proporcionar una gran inercia de giro. El vapor entra a las boquillas 17c y descarga en la cámara de condensación 51. Una fracción del vapor se condensa en esta cámara, el resto del vapor (vapor con un bajo contenido de energía) sale de la unidad de potencia 42 a través de las trayectorias 10b y se condensa en un condensador. Mediante cámaras refrigeradoras 51, el efecto de implosión del vapor descrito en la Fig. 3 puede ser utilizado para incrementar la eficiencia del AEF 11. Un sistema de reducción de velocidad formado por engranajes 49 y 50 puede ser necesario si la eficiencia óptima del AEF 11 se obtiene a altas rpm. Los parámetros óptimos vienen dictados principalmente por la cantidad de vapor en exceso disponible y el sistema de engranaje reductor podría no ser necesario si el AEF 11 funciona a rpm compatibles con las rpm del motor IC. El AEF 11 está mecánicamente acoplado al cigüeñal del motor IC 44 mediante una polea modificada 45. La modificación consiste en una brida 46 unida mecánicamente a otra brida 47 acoplada a un sistema embrague 48. El embrague 48 puede ser hidráulico, magnético o por fricción o una combinación de cualquiera de los mismos dependiendo del grado de exactitud deseado cuando se transfiere la potencia desde la unidad de potencia 42 al motor IC (o cualquier carga). Por ejemplo, el embrague 48 puede estar formado por un aceite cuya viscosidad a unas rpm determinadas proporciona el par por fricción deseado. Si se utiliza un embrague electrónico, el sensor 55 monitoriza la velocidad del cigüeñal 44 mientras que el sensor 56 proporciona información analógica o digital de la velocidad del AEF 11. Las señales electrónicas de estos sensores se convierten en entradas (es decir, 135 en las Figs. 17 y 17A) o un sistema de control por ordenador (92 en las Figs. 17 y 17A) que activa el embrague 48 de manera pulsada o continua. Con el fin de que el AEF 11 proporcione potencia con la mejor eficiencia, debería permitirse sólo una fluctuación relativamente pequeña de las rpm del AEF. Por lo tanto, al utilizar la potencia proporcionada por la unidad de potencia 42 en una manera pulsada, las rpm del AEF 11 podrían variar sólo ligeramente. Para minimizar las pérdidas de calor de la unidad de potencia 42, un material de aislamiento térmico 54 recubre las partes estáticas del AEF 11.

La Fig. 11 representa una de las aplicaciones más simples de la unidad oxigenadora 30. En esta Figura, la salida del oxigenador simétrico 30 está conectada a la entrada del filtro de aire 60 posicionado en el cuerpo que rodea el filtro de aire 59. Los motores IC grandes normalmente tienen la entrada del filtro de aire formada por un tubo ventilado a presión atmosférica. El expansor de este oxigenador podría ser del tipo 1a, 1 o 1b. El oxigenador mostrado en la Fig. 11 utiliza un expansor del tipo 1a. Aplicando el oxigenador tal como se muestra en esta Figura, todo el sistema de admisión de aire al motor está siempre presurizado sin alterar en absoluto el turbocompresor convencional 2 y 3 ya instalado. El aire entra al filtro protector 57 desde todas las direcciones. A continuación se comprime en el interior del filtro de aire 59 que presuriza el colector de admisión 61 y 63 independientemente de las rpm del motor IC o del estado del compresor 2. Cuando el motor IC acelera, el incremento brusco de combustible inyectado se mezcla con el exceso de oxígeno (gracias al oxigenador 30), proporcionando una combustión completa y una respuesta extremadamente rápida sin producir partículas tóxicas y otros contaminantes durante la aceleración. Si el expansor 30 está infradiseñado de manera intencionada (incapaz de proporcionar grandes velocidades de flujo de masa una vez que el motor IC alcanza rpm altas), el compresor convencional 2 empieza gradualmente a comprimir el aire por su cuenta (el motor IC está acelerando desde el ralentí a altas rpm), provocando de esta manera una depresión en el interior del colector 62, 61 y 60. En cuanto la presión en el interior del colector 60 es inferior a la presión atmosférica, las válvulas de derivación 38 se abren, proporcionando una trayectoria más fácil para el flujo de aire en el interior del compresor 2, ahora a un régimen total. La entrada de vapor 9b y la salida 10 están conectadas a un convertidor y un condensador, respectivamente (tal como se observa en el esquema de las Figs. 17 y 17A). Debido a que la unidad expansora 30 podría acomodar un EGW adicional conectado a su eje, un tapón 41 es insertado cuando no se utilice esta opción. Si la unidad oxigenadora 30 se estropea, el motor IC funciona como lo hacía antes de la instalación del oxigenador, sin perjudicar al motor IC (sólo decrecería su rendimiento y volvería a contaminar).

Las Figs. 12 y 13 muestran la unidad oxigenadora 30 insertada en el interior del circuito colector de admisión. En estas configuraciones, el aire comprimido que sale de la boquilla aceleradora 64 o 66 es aire filtrado por los filtros 59 o 59a. La presión en el interior del colector de admisión es incrementada gracias al efecto chorro causado por la boquilla 64 o 66. De nuevo, gracias al oxigenador, alimentado por el MWHE, el oxígeno está siempre disponible para el motor IC independientemente de sus rpm. De nuevo, si el oxigenador está intencionalmente infradiseñado, la velocidad de flujo de masa apropiada a la succión del compresor 2 es proporcionada por las válvulas de derivación 38. Cuando el oxigenador está configurado tal como se muestra en la Fig. 13, la boquilla 66 proporciona una salida más eficiente de oxígeno al colector de admisión 67. Para hacer que la entrada de aire del oxigenador sea completamente independiente del filtro de aire 59 del motor IC, puede conectarse un filtro de aire independiente 59a al oxigenador 30 mediante una conexión sellada a la entrada 40.

Para resumir las diversas configuraciones expansor a compresor, en la Fig. 14 se muestra una serie de unidades oxigenadoras. De izquierda a derecha, el expansor 1a muestra la facilidad con la que el cuerpo del expansor 1a puede ser acoplado a los cuerpos 2 y 3 de un CW 2a y EGW 3b convencionales. Particularmente, el volante del expansor puede ser convencional (es decir EW 6) o el MSW 7 descrito en la Fig. 7. Por ejemplo, el cuerpo del expansor 1 de la unidad oxigenadora representado en la parte superior central de la Fig. 14 utiliza el EW 6, mientras que el expansor 1b utiliza una serie de volantes de expansor 8 para una expansión de vapor de múltiples etapas convencional. En cualquier caso, todas estas unidades expansoras pueden ser integradas mecánicamente entre el compresor y las unidades de gas de escape normalmente disponibles. La miniaturización del cuerpo del expansor 1a, 1 y 1b permite también el

ES 2 310 945 T3

acoplamiento con una unidad compresora convencional 2 y 2a de manera que el oxígeno puede ser proporcionado siempre al motor IC independientemente de las rpm del motor IC. Por ejemplo, la unidad oxigenadora mostrada en la parte inferior izquierda de la Figura 14 describe una unidad expansora 1a capaz de proporcionar propulsión de vapor a un CW 2a convencional, mientras que el eje de la unidad está truncado en un lado permitiendo la inserción del tapón 41. Esta configuración particular puede ser utilizada para las aplicaciones descritas en las Figs. 11, 12 y 13. El oxigenador representado en la parte inferior central de la Fig. 14 es la unidad oxigenadora más optimizada ya que utiliza una geometría simétrica y convierte completamente los vórtices y la energía cinética del aire en presión. Esta unidad está formada combinando el cuerpo 30 y 1a o el cuerpo 30 y 1 o el cuerpo 30 y 1b. En general, una geometría simétrica puede ser conservada incluso si varios cuerpos de expansores están incluidos/integrados en el interior del cono contenido en el interior del cuerpo 30. Finalmente, el oxigenador mostrado en la parte inferior derecha de la Fig. 14 es otro oxigenador configurado de manera que el aire entra a través del colector de admisión 40 y puede fluir a través de una trayectoria de circunvalación 37c y las válvulas de derivación 38. Esta configuración es particularmente útil cuando el motor IC ya está equipado con un turbocompresor o un turbocargador y el oxigenador sólo necesita proporcionar oxígeno en ralentí y a bajas rpm del motor IC, mientras que el turbocompresor ya instalado proporciona aire a altas rpm. Todos los cuerpos de los oxigenadores están diseñados de manera universal para permitir conexiones de EGW 3b adicionales y carcasa 3, removiendo el tapón 41 e insertando un eje dimensionado proporcionalmente.

Los convertidores de calor del MWHE se muestran en las Figs. 15 y 15A. El agua líquida (o el fluido termodinámico apropiado) es inyectado a aproximadamente 70-80°C mediante una bomba (bomba 87 mostrada en las Figs. 17 y 17A). A continuación, el fluido a alta presión es inyectado mediante el inyector 69 conectado a la trayectoria hidráulica 68. Este inyector puede ser esencialmente una válvula antirretorno, cargada por muelle, o activada electrónicamente. Si la bomba es una bomba de desplazamiento positivo, el inyector 69 puede ser eliminado. El fluido líquido es ahora inyectado al interior del convertidor de calor formado por el cuerpo 70 en cuyo interior fluyen los gases de escape calientes 80 y son ventilados a presión atmosférica. La cantidad de energía transferida de los gases 80 al fluido en el interior del convertidor depende principalmente de la superficie de contacto fluido-convertidor, longitud d3 y la masa de fluido inyectada al MWHE. Para favorecer un mayor intercambio de calor entre el fluido y los gases en el interior del convertidor 70, una serie de superficies helicoidales 71 son insertadas en el interior del convertidor. Estas superficies prolongan el tiempo de permanencia del líquido en el interior del convertidor extendiendo la trayectoria hidráulica del fluido antes de salir por la salida 72. El fluido de trabajo (es decir, agua) se expande en el interior del convertidor, se acelera moviéndose a través de las superficies helicoidales 71 y se convierte en vapor recalentado. Debido a la naturaleza explosiva de la expansión del fluido en el interior del convertidor, el coeficiente relativo de transferencia de calor incrementa en consecuencia, permitiendo de esta manera una miniaturización del propio convertidor. De esta manera, el vapor recalentado, en determinadas condiciones termodinámicas, está ahora disponible en la salida 72 (Fig. 15). Puede conseguirse un recalentamiento adicional del vapor conectando la salida 72 a una serie de canales recalentadores 73 en contacto térmico con los gases de escape. La máxima temperatura de recalentamiento del vapor se alcanza en el interior de los canales 73 en la parte más cercana a la salida de las cámaras de combustión (cerca de las bridas 74 del colector de escape). Los canales 73 pueden ser sustituidos por una camisa que rodea el colector de escape convirtiéndose en otro convertidor. Para regular el exceso de vapor se conecta una válvula de tres vías 77 al tubo 76 que sale del convertidor formado por los canales 73. En general, la válvula 77 puede ser sustituida por las válvulas equivalentes 77a y 77b tal como se muestra en la Fig. 17. En la Fig. 15 la unidad oxigenadora está integrada con un turbocompresor tal como se describe en las Figs. 5 y 6 y está térmicamente aislada mediante el material aislante 25a. La válvula 77 se acciona para controlar la admisión de vapor al interior de la unidad expansora y para redirigir el exceso de vapor al AEF 11 (Fig. 10) a través de la trayectoria hidráulica 79. La salida 78 de la válvula 77 está conectada a los puertos de entrada 9d (o 9d, Fig. 5 y puertos de entrada/salida 9d, Fig. 6) del expansor. El vapor recalentado se expande en el interior del expansor integrado (1a, 1 o 1b), y se condensa en el interior de un condensador a través de la trayectoria hidráulica de descarga 10 o se condensa mediante una implosión en el interior del cuerpo del expansor (Fig. 3). Para minimizar la pérdida de calor del colector de escape 74, puede utilizarse un material aislante 75, tal como se muestra en la Fig. 15. Los cierres 94 entre el bloque motor IC y los colectores de escape 74 están realizados también en un material aislante térmico (que conserva el calor de los gases de escape). Para prevenir el sobrecalentamiento del convertidor formado por los canales 73 en contacto térmico con los gases de escape cerca de la salida de las cámaras de combustión, la estructura térmicamente aislante 75 puede disponerse de manera que las aletas móviles 135 (Fig. 15A) se abran cuando el MWHE funciona mal. Por lo tanto, la activación de las aletas 134 en la Fig. 15A proporciona refrigeración de la estructura colector de escape de gas cuando el vapor no circula por el interior del MWHE. En la Fig. 15A, el aislamiento térmico 75 descrito en la Fig. 15 puede formarse mediante una cámara de aire relativamente sellada cuando las aletas 134 están cerradas (cuando el MWHE trabaja adecuadamente) o el aislamiento térmico es minimizado cuando las aletas 134 se abren automática o manualmente (el aire puede circular a través del colector de escape). Por ejemplo, la apertura de las aletas 134 puede ocurrir si la temperatura de los materiales del colector supera un umbral de seguridad prefijado.

En la Fig. 16 puede conseguirse un mayor grado de recalentamiento del vapor gracias a las diferentes conexiones hidráulicas de los diversos convertidores. De nuevo, el fluido líquido es inyectado a través del inyector 69, se convierte en recalentado a la temperatura máxima del convertidor 70, sale por la salida 72 y entra al convertidor formado por la camisa que rodea el EGW 3b a través de la entrada 9d. Aquí ocurre otro proceso de transferencia de energía y se incrementa el nivel de recalentamiento. El vapor recalentado sale de este convertidor por la salida 9d y entra al convertidor formado por los canales 73. Aquí el nivel de recalentamiento se incrementa todavía más. Ahora, el vapor está a su máxima temperatura y la presión es regulada mediante la válvula 77. El exceso de vapor es dirigido hacia el AEF 11 mediante el tubo térmicamente aislado 79, mientras que la cantidad apropiada de vapor recalentado se deja expandir en el interior del expansor a través del tubo aislado térmicamente 78, conectado a la entrada 9e del expansor.

ES 2 310 945 T3

El vapor cede energía a través del expansor y se condensa en un condensador mediante el tubo 10. Los gases de escape 80, generados durante la combustión, transfieren calor a los diversos convertidores (canales 73, camisa que rodea el EGW 3b y el convertidor 70) mientras que transfieren también su energía cinética y energía de presión al EGW 3b (recubierto por el aislamiento 25b en la Fig. 16). El oxígeno, por otra parte, entra al colector de admisión de aire 81 y es comprimido por el CW 2a, rodeado por la estructura 2. El CW 2 en esta configuración está alimentado por la suma del par desarrollado por el expansor del MWHE (especialmente a bajas rpm del motor IC) y el par generado por el EGW 3b una vez que el motor IC alcanza rpm relativamente altas. Los diversos convertidores utilizados en las Figs. 15 y 16 pueden ser utilizados en las aplicaciones descritas en las Figs. 11, 12, 13 y 14.

Finalmente, los procesos termodinámicos del MWHE completo se describen en el esquema de la Fig. 17. El circuito de refrigeración del motor IC 43 está formado por el bucle hidráulico cerrado compuesto por la bomba de agua 82, radiador 84 y convertidor 83. El agua de refrigeración del motor IC 43 normalmente alcanza los 90°C, después de lo cual una válvula termostática, normalmente posicionada en la descarga de la bomba 82, se abre y permite la circulación forzada del refrigerante al radiador 84 que transfiere calor vía convección de aire indicada por la flecha 85. Insertando el convertidor de calor 83 y 83a, la mayoría del calor transportado por el refrigerante puede ser transferido a un nuevo bucle hidráulico cerrado. El convertidor 83 y 83a separa el circuito de refrigeración del motor IC del circuito del MWHE por razones de seguridad y fiabilidad. Sin embargo, este convertidor puede ser eliminado si el fluido de trabajo del MWHE es utilizado también para enfriar el motor IC 43. En este caso, el radiador 84 se convierte en un condensador 85 del MWHE, simplificando de esta manera el dispositivo global. Si el circuito hidráulico del MWHE es independiente del circuito del motor IC 43, un fluido diferente (es decir, con una presión de vapor inferior que induce mayores eficiencias termodinámicas) puede ser utilizado como fluido de trabajo para el MWHE. El fluido de trabajo que circula por el interior del circuito del MWHE es presurizado por la bomba 87 y recibe un primer proceso de adición de calor en el lado interior 83a del convertidor formado por los dos bucles separados 83 y 83a. Este fluido presurizado es inyectado a continuación a través de las trayectorias hidráulicas 68 y el inyector 69. El convertidor 88, representado en la Fig. 17, puede estar formado por la combinación de los convertidores formados por los cuerpos 70, 73, 75, 25a y 25b y el convertidor formado por la camisa que rodea el EGW 3b en las Figs. 15, 16 y/o el convertidor 103 descrito en la Fig. 18. De nuevo en la Fig. 17, el fluido líquido entra al convertidor 88 y se expande inmediatamente. En la salida 76, una masa de vapor recalentado deseada, con un determinado contenido de energía, es regulada por las válvulas 77a y 77b (o una válvula de tres vías 77, Figs. 15 y 16) de manera que se admite la cantidad adecuada de vapor en el expansor 1 y el AEF 11. El expansor 1 proporciona el sistema de propulsión para un sistema compresor 2 o cualquiera de los oxigenadores descritos en la Fig. 14. Por el contrario, el AEF 11 utiliza el exceso de vapor para transformarlo en energía útil mediante el acoplamiento directo o indirecto con el cigüeñal 44. Los sensores de temperatura y presión están posicionados en el interior del convertidor 88 y proporcionan la información termodinámica mediante señales electrónicas 91 procesadas por una unidad computerizada 92 o un sistema subordenador, indicado por "S" en los dibujos, especializado sólo en la optimización del funcionamiento de uno de los subcomponentes del motor miniaturizado (es decir, expansor, implosionador, convertidor). La unidad computerizada 92 monitoriza y controla la cantidad de vapor a los diversos expansores mediante de actuadores/válvulas 89. Por ejemplo, los actuadores 89 pueden ser motores eléctricos o motores accionados neumáticamente que regulan las válvulas 77a y 77b. Cuando el motor IC 43 es arrancado en frío, el ordenador 92 activa la bomba 87 mediante la conexión eléctrica 90 sólo cuando la temperatura del convertidor 83 o el convertidor 88 alcanza un nivel prefijado. La bomba 87 podría ser también completamente mecánica (es decir, de desplazamiento positivo) y ser activada mediante uniones mecánicas por el motor IC 43. De nuevo, cuando la bomba 87 está activa, el fluido recibe calor del convertidor 83a antes de ser inyectado al interior del convertidor 88. En el interior del convertidor 88 la presión y la temperatura del vapor de formación rápida son proporcionales a la cantidad de calor transferido de los gases de escape 80. Todos los expansores (es decir, 1a, 1, 1b, 11) utilizados por el MWHE son controlados por el ordenador 92 y pueden ser accionados de una manera pulsada o continua. Por ejemplo, mediante el ordenador 92, la válvula 77b y 77a pueden mantenerse parcialmente cerradas causando un rápido incremento de la presión en el circuito. Cuando se presiona el acelerador del motor IC 43, la válvula 77b y/o 77a puede abrirse y hay un exceso de par disponible temporalmente para el motor IC 43. Si el motor IC 43 es un motor diesel grande, la presión en el interior del circuito 76 puede ser ajustada de manera que la potencia de arranque puede ser proporcionada por el AEF 11 al motor cada vez que la carga es máxima (es decir, camiones o autobuses que afrontan condiciones de reposo a aceleración). Si el motor IC 43 es un motor de rendimiento, la válvula 77b puede ser accionada de manera que se disponga de sobrepresiones en los colectores de entrada permitiendo la inyección de más combustible lo que lleva a una potencia global incrementada del motor. Si el ordenador 92 está dispuesto para funcionar en un modo de potencia continuo, las válvulas 77b y 77a pueden ser ajustadas activamente para proporcionar potencia en todo momento. La sonda 91 en el interior del convertidor 88 proporciona los parámetros termodinámicos necesarios para el ordenador 92 que es capaz también de apagar el MWHE en caso de sobrepresión o cualquier anomalía desarrollada en el circuito MWHE. Cuando el MWHE es apagado debido a anomalías, el ordenador 92 abre la válvula 97 y descarga el vapor de nuevo al condensador 86 o, si el fluido es agua, al entorno. En este caso, para evitar el sobrecalentamiento del convertidor formado por los canales 73, Figs. 15 y 16, las aletas 134, Fig. 15A son abiertas por el ordenador 92 (o manualmente). Cuando el fluido en el MWHE fluye a través de la válvula 97, o se pierde debido a una rotura del circuito, se activa una alarma óptica/de audio mediante una conexión eléctrica 114, o mediante el ordenador 92. En general, el ordenador 92 es un sistema de control capaz de monitorizar las entradas analógicas y digitales proporcionales a las rpm del cigüeñal 44 mediante el sensor 55, la velocidad del AEF 11 mediante el sensor 56, la velocidad del EW 6 mediante el sensor 115 (tal como se describe en las Figs. 3A y 3B). Estas señales electrónicas (condicionadas por un interfaz Entrada/Salida convencional) son procesadas por el ordenador 92 que regula las posiciones de las diversas válvulas y actuadores en consecuencia (es decir servomotores 112, mediante las conexiones eléctricas 113, tal como se describe en las Figuras 3A y 3B). El ordenador 92 puede estar formado por una estructura de microprocesador programable o adaptable por el usuario

ES 2 310 945 T3

mediante la inserción de memorias especialmente mapeadas (es decir, modo de funcionamiento pulsado o continuo del motor de calor residual miniaturizado).

En la Fig. 17A el circuito hidráulico del MWHE utiliza un tanque presurizado 125 como un medio para acumular el exceso de vapor en vez de disiparlo a través del AEF 11 utilizado en la Fig. 17. Tal como se ha descrito anteriormente, el exceso de vapor se produce debido a que el calor producido por el motor proporciona más energía que la requerida para alimentar sólo un oxigenador. Sin embargo, este exceso de energía puede ser acumulado y devuelto al motor IC en forma de presión de arranque. Al tener dicha disponibilidad de alta presión cuando el motor IC está acelerando desde las rpm del ralentí a rpm altas, es posible obtener un rendimiento considerablemente incrementado del motor IC ya que puede quemarse más combustible dada la mayor disponibilidad de oxígeno. En la Fig. 17A, el vapor acciona sólo un oxigenador diseñado para proporcionar grandes velocidades de flujo de mas de oxígeno al motor IC independientemente de su número de rpm. Si el convertidor 88 genera demasiado vapor, la velocidad de flujo de masa del fluido bombeado por la bomba 87 puede ser reducida. Esto podría causar un incremento de temperatura considerable en el interior del convertidor. El exceso de energía del convertidor 88 puede ser utilizado para proporcionar velocidades de flujo de masa de aire muy grandes a altas presiones mediante la acumulación del exceso de vapor en el interior del tanque 125. Esta configuración es particularmente ventajosa cuando el motor IC es operado en un ciclo urbano (aceleraciones y deceleraciones continuas). El exceso de vapor es regulado mediante la válvula 77a conectada al tanque 125 mediante el tubo aislado y la junta 126. De nuevo, la presión en el interior del tanque 125 es ajustada y controlada por el ordenador 92. Si la presión en el interior del tanque 125 supera un umbral prefijado, la válvula 132 es abierta por el ordenador 92 y el vapor se condensa en el interior del radiador 86 mediante el tubo 10. Si un sistema implosionador es dimensionado para condensar la misma masa de vapor recalentado que entra al expansor (es decir, 1c e "I" en la Fig. 8), entonces puede eliminarse el radiador 86. Si el motor IC funciona al ralentí durante periodos de tiempo prolongados el calor global convertido por el convertidor 88 podría no ser suficiente para proporcionar grandes cantidades de oxígeno cuando son requeridas por una aceleración brusca. De hecho, el expansor 1 podría estar en una situación en la que la velocidad de flujo de la masa de vapor sea insuficiente par proporcionar suficiente propulsión para su CW 2a. En este caso, el ordenador 92 abre la válvula 131, descargando la presión de vapor previamente acumulada directamente a través de expansor 1. La presión incrementada en el interior de la trayectoria hidráulica 130 no afecta a la válvula 77b ya que una válvula antirretorno 127 previene sobrepresiones de vuelta en el interior del circuito hidráulico 76. Las válvulas 131 y 132 son controladas por actuadores 128 y 129, que son accionados por el ordenador 92. El tanque 125 está aislado térmicamente mediante materiales aislantes o mediante una camisa 133 en la que puede establecerse un vacío mediante la válvula 124.

Los convertidores con una pobre eficiencia de transferencia de calor pueden realizarse simplemente enrollando una bobina en contacto térmico con el colector de escape del motor IC y/o el silenciador. Para obtener una transferencia de energía optimizada desde los gases de escape al MWHE, se representa en la Fig. 18 un convertidor compacto y simple capaz de mantener fuertes fluctuaciones de presión. Los gases de escape entran al tubo 98 con bridas y sellado por el cierre 99 y que permite la conexión de los múltiples convertidores en serie o en paralelo para formar un banco de convertidores. El número de convertidores utilizados depende de los requerimientos de velocidad de flujo de masa y de la cantidad de calor residual a recuperar. Las conexiones selladas hidráulicamente entre los diversos convertidores pueden conseguirse también mediante juntas universales 107 conformadas en cualquier geometría para acomodar en el espacio disponible en el compartimiento del motor IC (es decir, codos con ángulos de inclinación variables). La longitud y el diámetro del tubo 98 combinados con el número de aletas interiores 100 y la distancia entre la superficie exterior del tubo 98 y la superficie interior del tubo 110a determinan la capacidad de transferencia de calor del convertidor. Esta velocidad de transferencia de calor será también proporcional a una velocidad de flujo de masa determinada del fluido de trabajo del MWHE. Las aletas 100 forman una trayectoria hidráulica que fuerza al fluido a tener un tiempo de permanencia relativamente grande en el interior del convertidor. Además, esta trayectoria fuerza al fluido a tener un contacto estrecho con las superficies interiores del convertidor, favoreciendo una transferencia de calor extremadamente rápida. El agua puede ser inyectada al interior del convertidor a través de una de las entradas/salidas 101, 101a o 102. El convertidor es simétrico y las entradas y salidas pueden intercambiarse. Generalmente, para mejorar la eficiencia del convertidor, el puerto de entrada del fluido del MWHE debería elegirse al final del circuito hidráulico de los gases de escape (lo más lejos posible de las cámaras de combustión). La flecha 105 representa agua líquida, relativamente fría, inyectada por la entrada 101 al interior de un convertidor (representado aquí abierto). En cuanto el agua es inyectada se expande, cambiando su volumen específico en un factor de varios miles. Esta expansión termodinámica provoca aceleraciones agua/vapor extremadamente rápidas en el interior de la cámara formada por la superficie exterior del tubo 98 y la superficie interior del tubo 110a concéntrica con el tubo 98. El calor es añadido al agua, que se convierte en vapor 106. Mientras el vapor se desplaza por el interior de la trayectoria formada por las aletas 100, su presión y temperatura incrementan rápidamente, convirtiéndolo en recalentado antes de salir por la salida 102. El número de aletas 100 es variable y los puertos de entrada/salida pueden estar soldados o roscados en las copas extremas que sellan la camisa formada por el tubo 98 y 110a. Los puertos de entrada 101a proporcionan una entrada sellada para los sensores de temperatura y presión. Si estos puertos no se utilizan pueden ser simplemente cerrados. Para minimizar las pérdidas de calor del convertidor al entorno que lo rodea, el convertidor puede ser aislado térmicamente envolviéndolo con un material aislante 104. Para mejorar adicionalmente el aislamiento térmico, se forma una cámara de vacío 110 insertando otro cilindro concéntrico que rodea el tubo 110a (sellado con las copas extremas). El aire puede ser evacuado durante la fabricación o mediante la válvula 109. Si la transferencia de calor entre los gases de escape y el fluido del MWHE es óptima, la temperatura de los gases de escape podría caer tan severamente que el agua producida durante la combustión del combustible empezaría a condensarse hacia el final del último convertidor 98 del banco de convertidores. Utilizando una válvula 108 insertada en una de las juntas de acoplamiento 107 posicionada en el punto inferior del banco de convertidores (o incluso si es un único convertidor), el

ES 2 310 945 T3

agua condensada en los gases de escape puede ser descargada sin acumulación en el interior del tubo 98, minimizando la corrosión. Si el motor IC está equipado con un convertidor catalítico, los convertidores del MWHE deben ser insertados después del convertidor catalítico, o el ordenador 92 tiene que ser programado para producir vapor en cantidades que no reducen la temperatura de los gases de escape a niveles que dañarían o afectarían al correcto funcionamiento del convertidor catalítico.

Referencias citadas en la descripción

La lista de referencias citadas por el solicitante se proporciona solamente para conveniencia del lector. Dicha lista no forma parte del documento de patente europea. A pesar de que se ha tenido mucho cuidado durante la recopilación de las referencias, no deben excluirse la posibilidad de que se hayan producido errores u omisiones y a este respecto la OEP se exime de toda responsabilidad.

Documentos de patente citadas en la descripción

- EP 272327 A [0011]

REIVINDICACIONES

1. Sistema convertidor de energía usado para convertir energía calorífica a partir de una fuente de calor residual (80), en el que el sistema comprende un canal calentador (9a, 71, 73, 78, 88, 98) que tiene al menos una superficie en contacto térmico con dicha fuente de calor residual (80) y que tiene al menos una entrada (69, 79, 101) a través de la cual un primer fluido entra y al menos una salida (9d, 72, 79, 76, 102) a través de la cual el primer fluido vaporizado sale, en el que la energía calorífica es transferida desde dicha fuente de calor al primer fluido en el interior de dicho canal calentador expandiendo y acelerando el primer fluido desde la entrada a la salida, al menos un expansor (1, 1b, 1c, 1a, 11) que tiene una entrada (9, 9e, 9c, 9b) en comunicación fluida con la salida del canal calentador para convertir la energía transferida al primer fluido en energía mecánica, y **caracterizado** porque dicho primer fluido circula en un circuito de bucle cerrado compuesto por
una cámara de implosión (1, 19 29, 51) adyacente a dicho expansor y enfriada externamente por un segundo fluido, para condensar el primer fluido que sale del expansor, aumentando de esta manera la energía que es convertida en energía mecánica y mejorando la eficiencia;
medios de bombeo (87) y al menos una boquilla de inyección (69) del primer fluido condensado en una entrada de dicho canal calentador.
2. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, en el que dicho canal calentador (9a, 71, 73, 78, 88, 98) está diseñado termodinámicamente para convertir el primer fluido de líquido a vapor.
3. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, que comprende además un radiador (86) en comunicación con dicha cámara de implosión para contribuir a la refrigeración del primer fluido.
4. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, que comprende además un aislamiento térmico (25a, 25b, 75, 103, 110) que rodea al menos una parte del canal calentador.
5. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 4, en el que el aislamiento térmico incluye al menos una camisa térmicamente aislante (25a, 25, 25b, 26e, 54, 75, 134, 110) para aislar el canal calentador del entorno que lo rodea.
6. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 4, en el que la camisa aislante es una camisa de vacío.
7. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, en el que dicho expansor comprende:
una pluralidad de álabes (7a, 7b, 7c) conectadas a un volante del expansor (6, 7, 8, 11);
un eje motriz (12, 9, 12b, 12a) conectado al volante del expansor; y
al menos una boquilla (17) para inyectar los vapores de dicho primer fluido hacia la pluralidad de álabes del volante del expansor.
8. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 7, en el que la boquilla está posicionada sustancialmente paralela al eje motriz.
9. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 8, en el que el eje motriz del expansor comprende un sistema de lubricación (22, 5) para proporcionar lubricación y refrigeración al eje motriz.
10. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 9, en el que el sistema de lubricación comprende:
una entrada (16a) y una salida (16b) a través de las cuales fluye un fluido lubricante; y
al menos un álabe (22) formado en una superficie del eje motriz (12b) y configurado para impartir aceleración al fluido lubricante, proporcionando de esta manera el fluido lubricante con convección forzada y efecto de bombeo:
de esta manera el sistema de lubricación proporciona convección forzada y efecto de bombeo mediante el movimiento del eje motriz.
11. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, en el que el expansor y la cámara de implosión están definidos integralmente en el interior de una sola carcasa (20, 19, 51, I, 33).
12. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 11, en el que la cámara de implosión comprende al menos una superficie de pared enfriada (20a) enfrentada al expansor (1c) para condensar en la misma el primer fluido expandido.

ES 2 310 945 T3

13. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, en el que la cámara de implosión está conectada hidráulicamente a un tanque (21) a cuyo interior fluye el primer fluido condensado.

14. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, que comprende además un compresor (30) para refrigerar la cámara de implosión, en el que el compresor comprende:

una carcasa (30) que tiene una superficie (31, 33) en contacto térmico con la cámara de implosión;

una admisión (40, 96) y un difusor (29) a través de los cuales pasa el segundo fluido; y

un volante del compresor (2a) para transferir la energía del primer fluido al segundo fluido, en el que el volante del compresor está acoplado mecánicamente a un eje motriz (12) del expansor,

en el que el compresor toma y expulsa el segundo fluido a través de la entrada y el difusor respectivamente, proporcionando refrigeración a la cámara de implosión.

15. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 14, en el que el difusor es una boquilla divergente formada por un cono concéntrico interior (33) posicionado en el interior de una carcasa cilíndrica exterior (30), estando el cono concéntrico interior conectado a la carcasa cilíndrica exterior por una pluralidad de paletas (31).

16. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 15, en el que la carcasa cilíndrica exterior es un cono concéntrico exterior (30) que tiene una altura y un diámetro diferentes del cono concéntrico interior (33).

17. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 15, en el que la pluralidad de paletas (31) están curvadas de manera que el segundo fluido entra al compresor axialmente a través del volante del compresor (2a) y sale axialmente de la boquilla divergente.

18. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 15, en el que el expansor está posicionado en el interior del cono concéntrico interior (1e) y el cono concéntrico interior incluye trayectorias hidráulicas para entrada y salida del expansor, de manera que el cono interior forma una unidad compresor-expansor-implosionador autocontenida.

19. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 15, en el que al menos una de entre la pluralidad de paletas se extiende a una parte de la entrada (66, 64).

20. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 14, en el que el volante del compresor (2a) es simétrico con respecto al eje motriz (12) de manera que el volante del compresor está configurado para girar 180°.

21. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 14, que comprende al menos una válvula de derivación (38) posicionada en una parte del compresor y configurada de manera que la válvula de derivación se abre cuando la presión en el interior del compresor es inferior a la presión en el exterior del compresor.

22. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 14, en el que el expansor comprende un volante del expansor de una única etapa (6) que tiene una pluralidad de álabes, en el que el expansor comprende además al menos dos boquillas (17) para inyectar el primer fluido hacia la pluralidad de álabes, estando posicionadas las al menos dos boquillas de manera que las fuerzas (118) ejercidas por el primer fluido inyectado desde las al menos dos boquillas contrarresta las fuerzas (116) ejercidas por el volante del compresor.

23. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 14, en el que el expansor comprende una pluralidad de volantes de expansor (7, 8), en el que cada uno tiene la pluralidad de álabes (7a, 7b, 7c, 8), comprendiendo además el expansor una pluralidad de boquillas (17, 17a, 17b) para inyectar el primer fluido hacia la pluralidad de álabes, estando las boquillas separadas y posicionadas de manera que la suma de todas las fuerzas de reacción ejercidas por el primer fluido inyectado desde las boquillas contrarresta las fuerzas ejercidas por el volante del compresor.

24. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, en el que el expansor comprende un volante de inercia (11) que tiene un mecanismo de acoplamiento (48) para la utilización de la energía utilizable en forma de energía mecánica.

25. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 24, en el que el mecanismo de acoplamiento incluye al menos un mecanismo embrague (48).

26. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 24, en el que el volante de inercia está configurado para ser incluido en una unidad de potencia (42) que proporciona la energía utilizable por medio de un embrague conectado mecánicamente a los medios de ajuste de velocidad (S, 55, 48, 50, 49, 56).

27. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, que comprende un tanque presurizado (125) dispuesto entre la salida del canal calentador (88) y la entrada del expansor (9e) para acumular el primer fluido previamente a la entrada al expansor para almacenar la energía transferida del primer fluido.

ES 2 310 945 T3

28. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, que comprende al menos un sensor (91, S, 113, 90, 135) para medir un parámetro operativo del sistema, en el que el sensor proporciona una entrada a un sistema controlador (S) para controlar el funcionamiento del sistema.

29. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, que comprende un sistema ordenador (92) para controlar y optimizar el funcionamiento del sistema, comprendiendo el sistema ordenador un microprocesador programable que adapta a medida el funcionamiento del sistema.

30. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 1, en el que la fuente de calor residual (80) es, por otra parte, una fuente de calor residual generado por un sistema primario.

31. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 30, en el que el sistema primario es un motor de combustión interna (43).

32. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 14, en el que la cámara de implosión (I, 19, 20, 51) está conectada hidráulicamente a un tanque en el que se acumula el primer líquido condensado, en el que la superficie exterior (33, 31) del tanque está en contacto térmico con el paso del segundo fluido.

33. Sistema convertidor de energía según la reivindicación 14, en el que la cámara de implosión (51) está conectada hidráulicamente a un tanque en el cual se recoge el primer líquido condensado, en el que la superficie exterior del tanque es refrigerada conduciendo el calor a las estructuras del entorno (42).

34. Procedimiento para convertir energía calorífica a partir de una fuente de calor residual en energía utilizable, en el que el procedimiento comprende:

la provisión de un canal calentador (9a, 71, 73, 78, 88, 98) que tiene al menos una superficie de pared calentada por dicha fuente de calor residual, una entrada (9d, 69, 79, 101) y una salida (9d, 72, 79, 76, 102);

inyectar un primer fluido en la entrada del canal calentador para transferir la energía calorífica al fluido causando que se expanda y se acelere en el interior de canal calentador;

convertir la energía calorífica transferida al primer fluido que sale del canal calentador en energía utilizable en un expansor (1c) conectado a la salida del canal calentador;

condensar el primer fluido que sale del expansor en una cámara de implosión (20, 19, 42, 51, I) definida adyacente a dicho expansor (1c) y que tiene al menos una pared contactada por el primer fluido, refrigerada exteriormente por un segundo fluido, sin mezcla de los dos fluidos;

bombear el primer fluido condensado para inyectarlo en la entrada del canal calentador.

35. Procedimiento según la reivindicación 34, que comprende las etapas de: comprimir el segundo fluido para mejorar la refrigeración de dicha pared.

36. Procedimiento según la reivindicación 35, en el que la compresión del segundo fluido refrigerador es accionada mediante parte de la energía convertida en dicho expansor.

37. Procedimiento según la reivindicación 34, que comprende además el aislamiento de al menos una parte de dicho canal calentador.

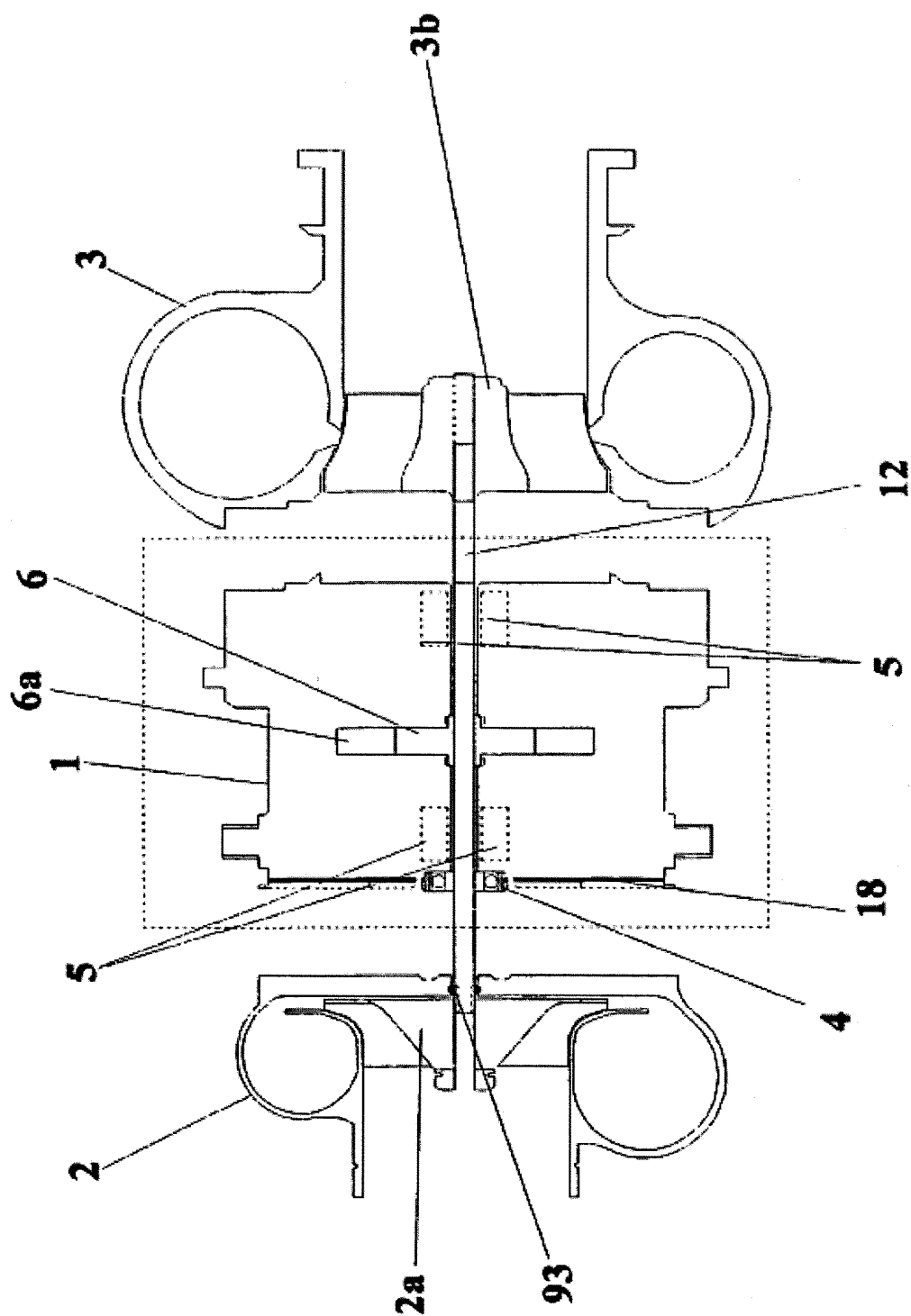


Fig. 1

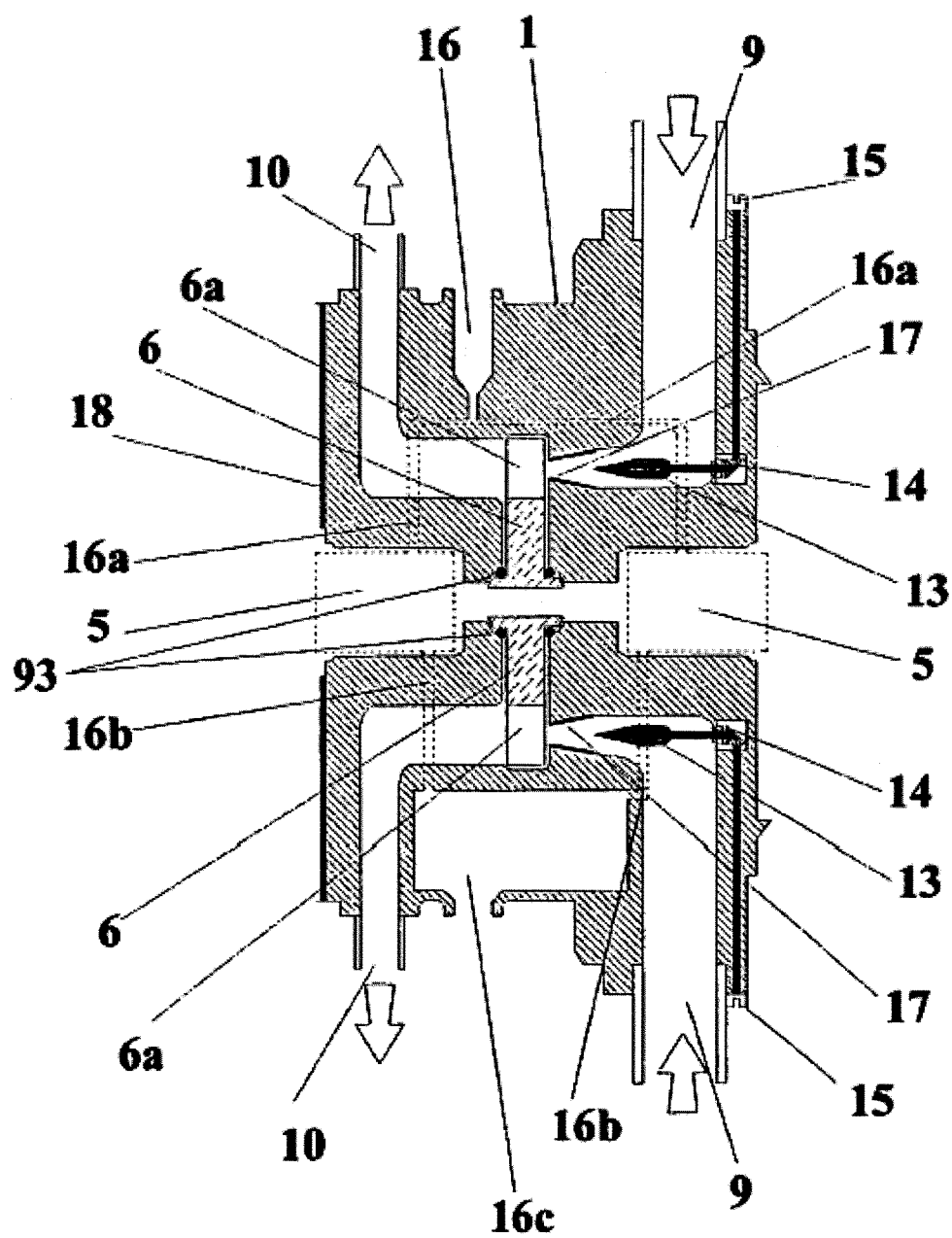


Fig. 2

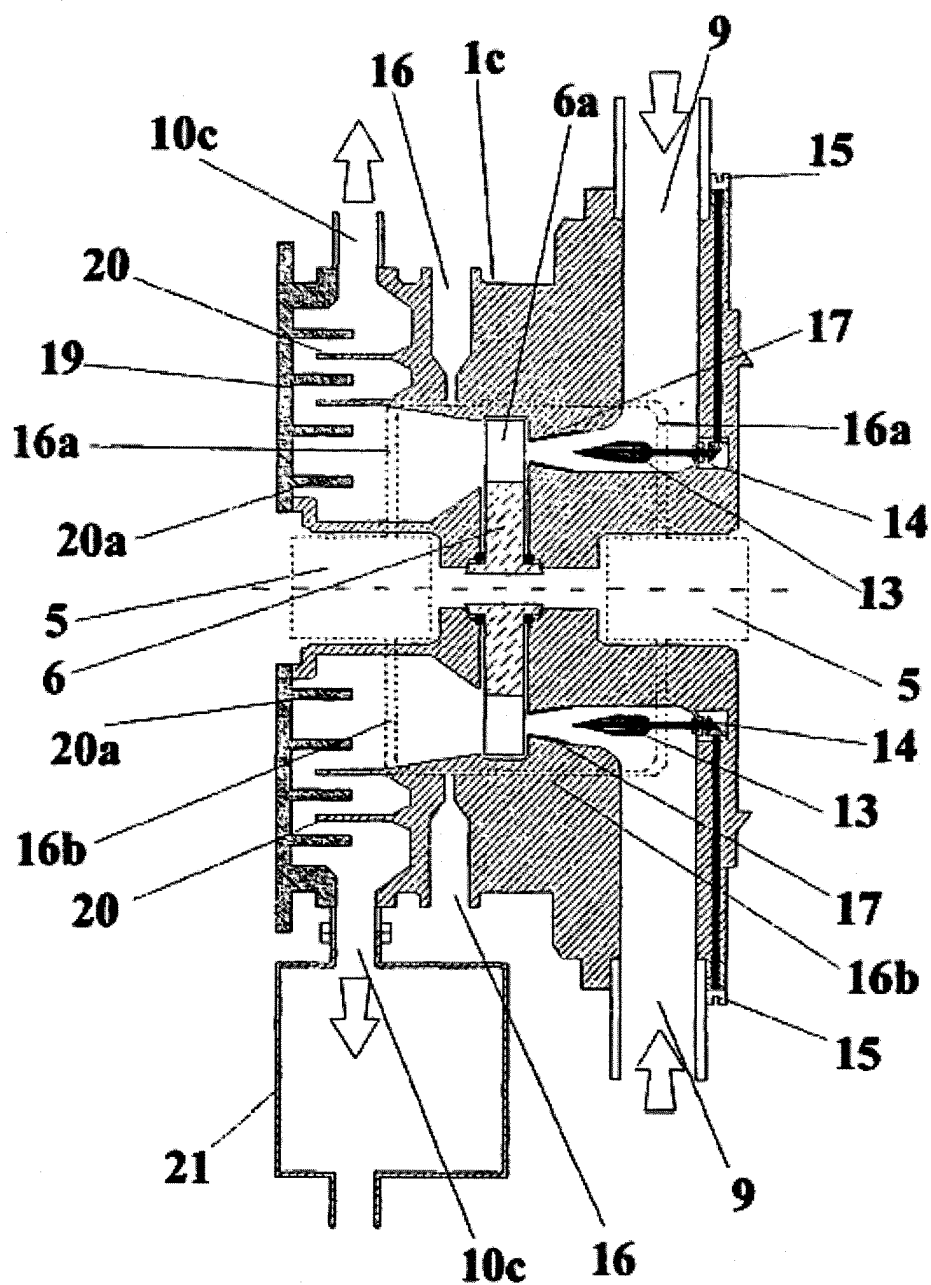


Fig. 3

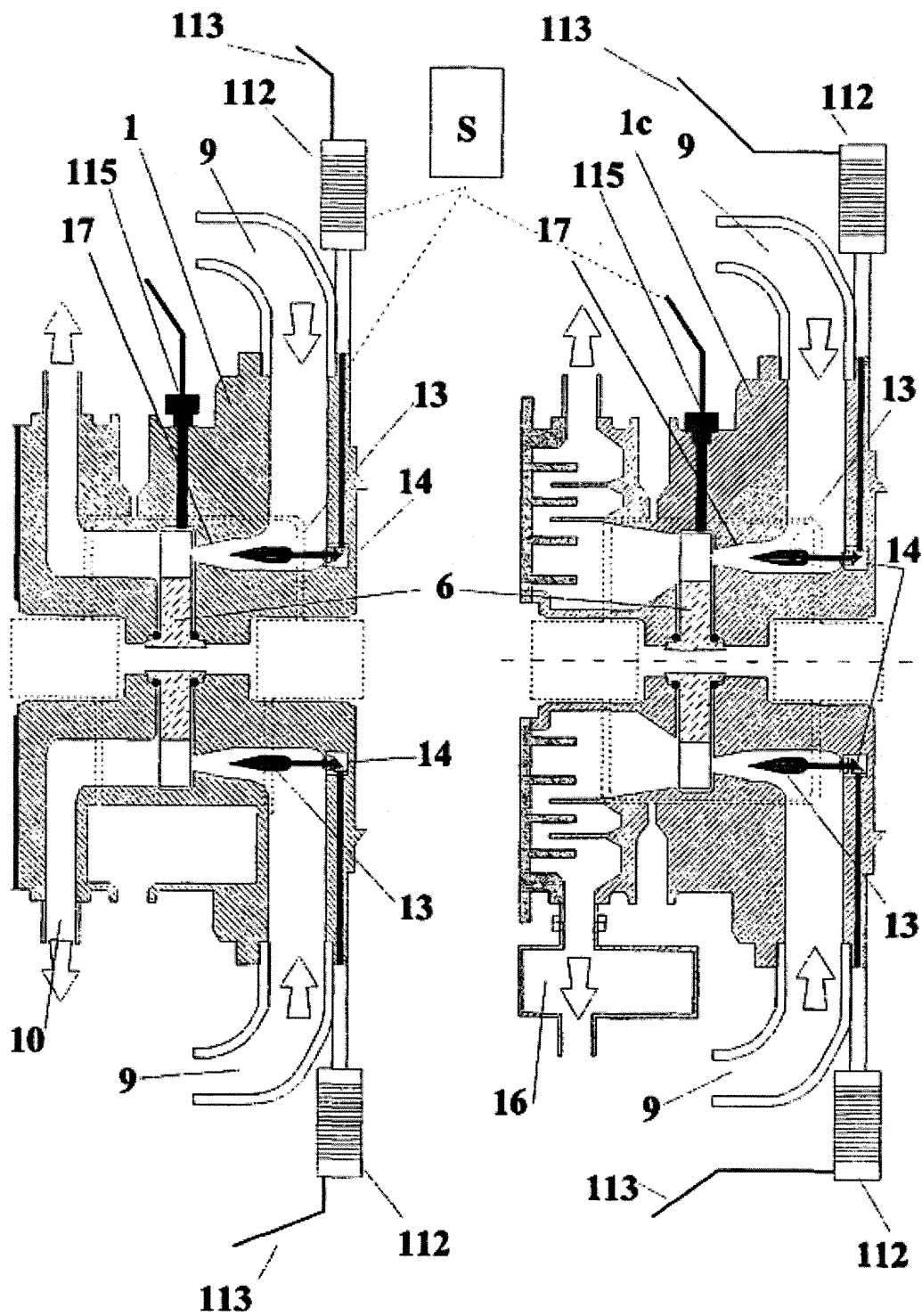


Fig. 3A

Fig. 3B

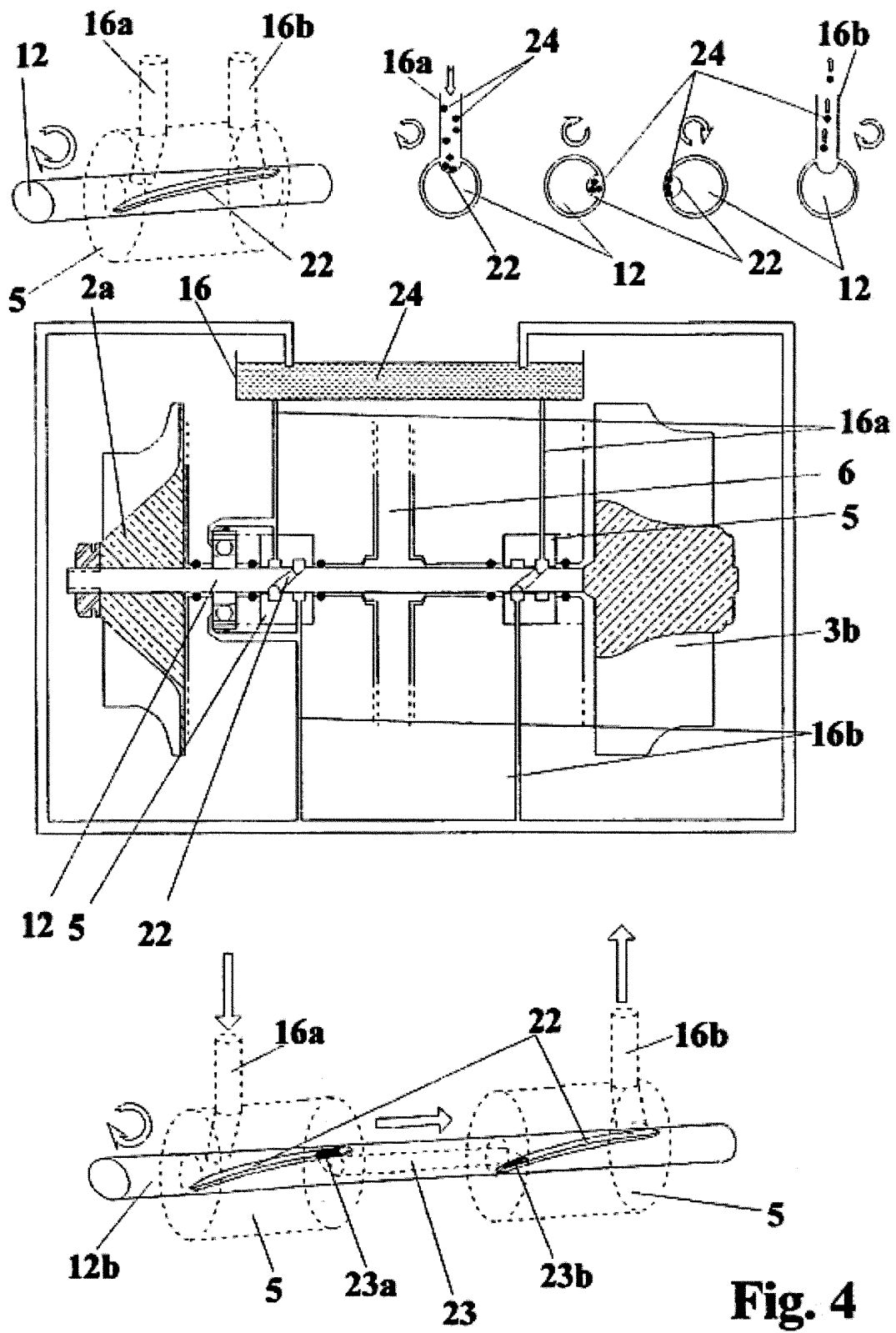
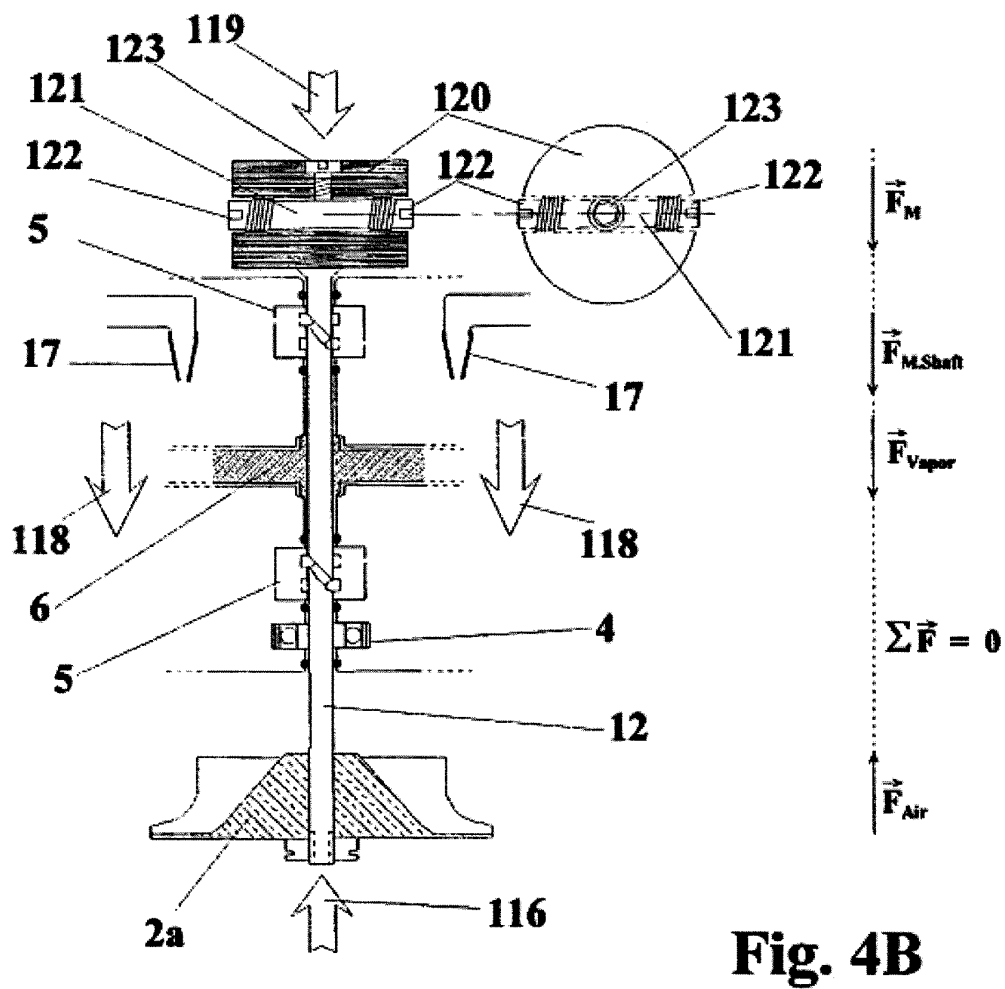
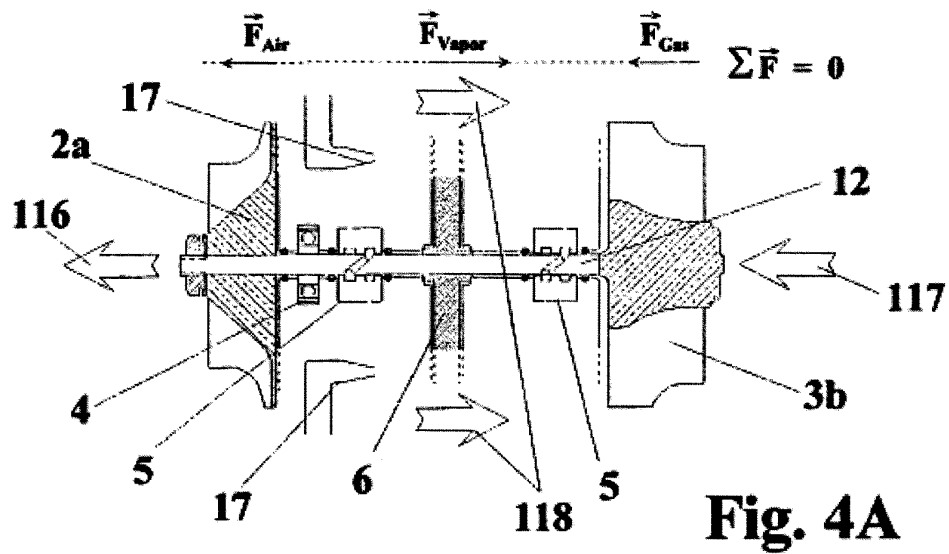


Fig. 4



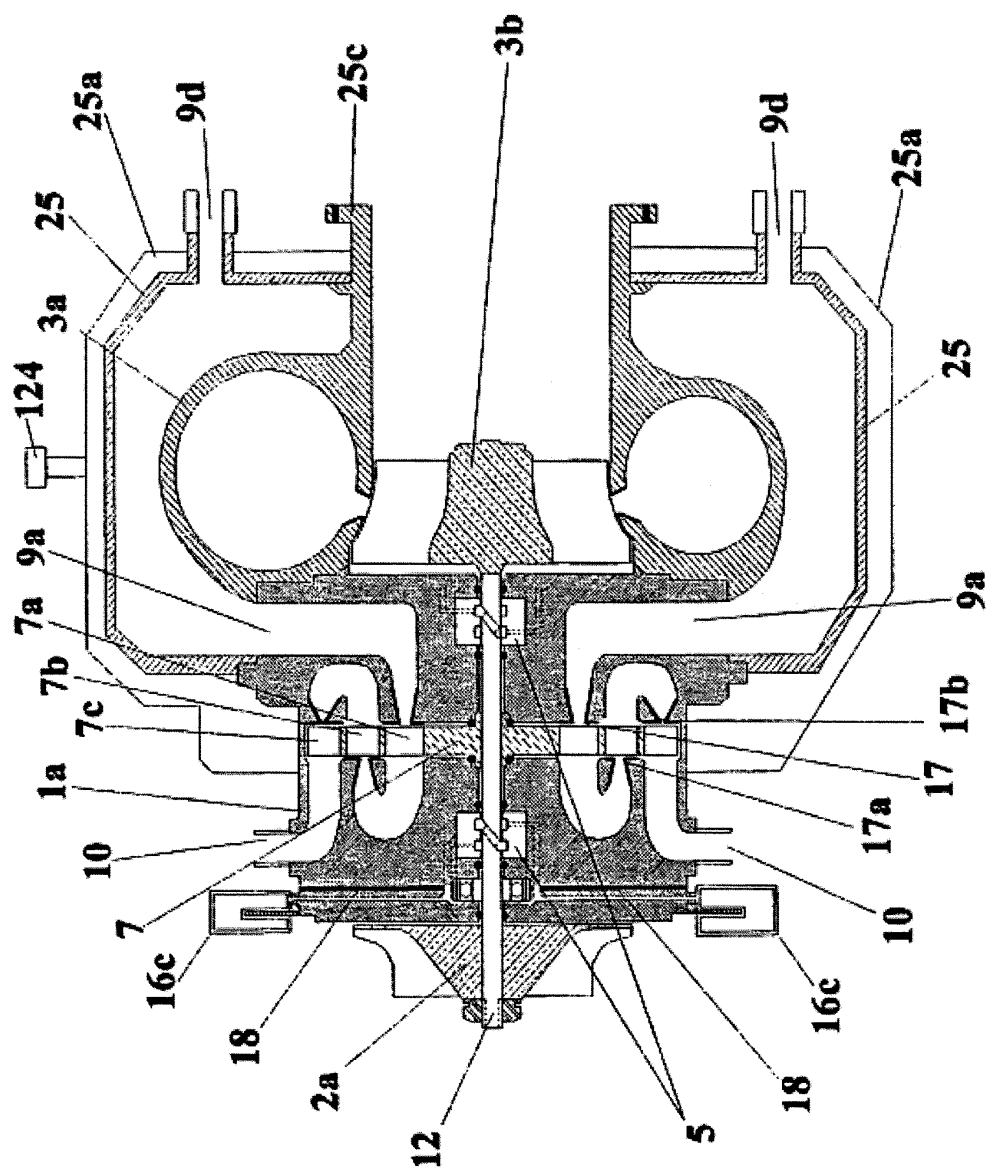


Fig. 5

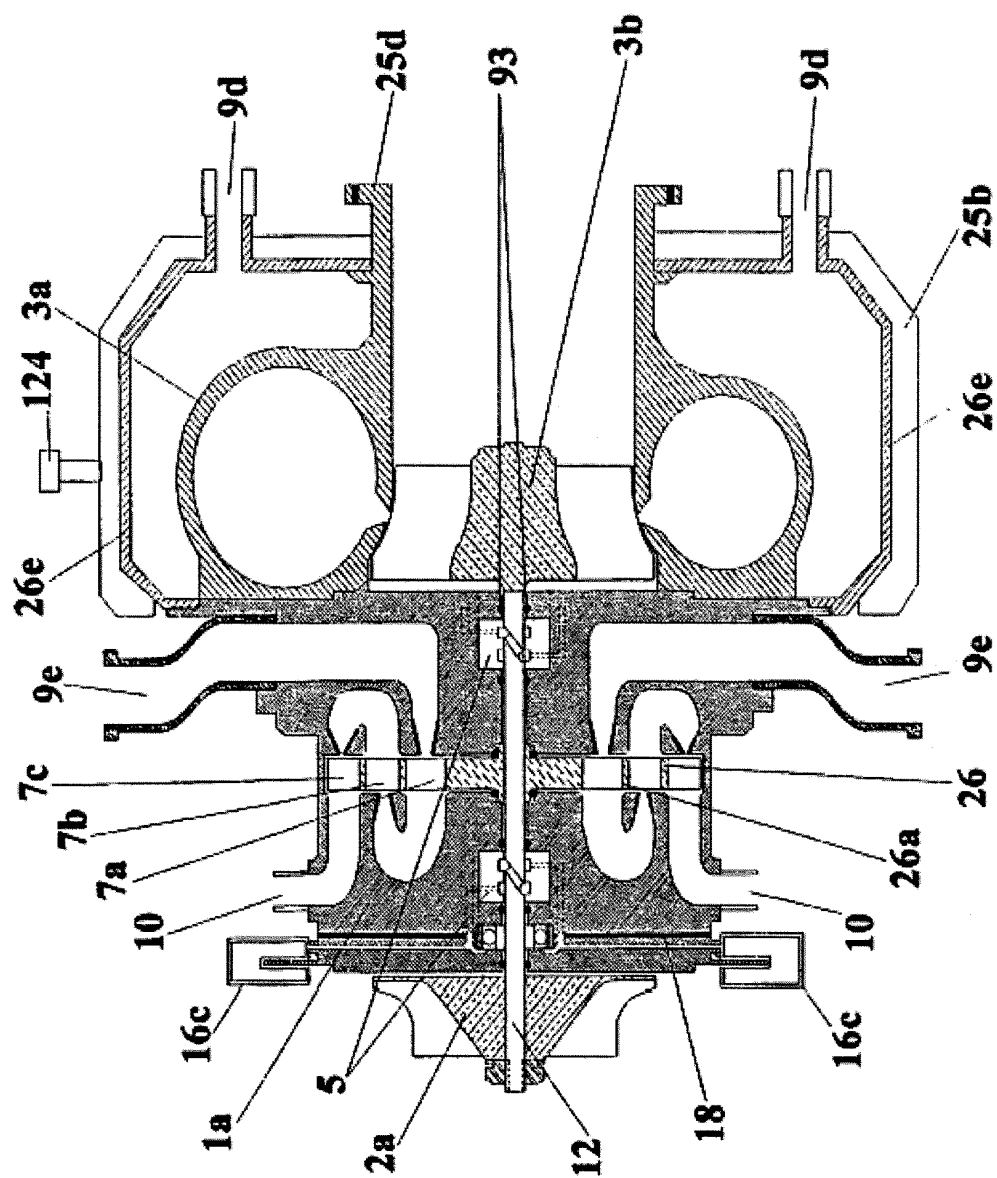


Fig. 6

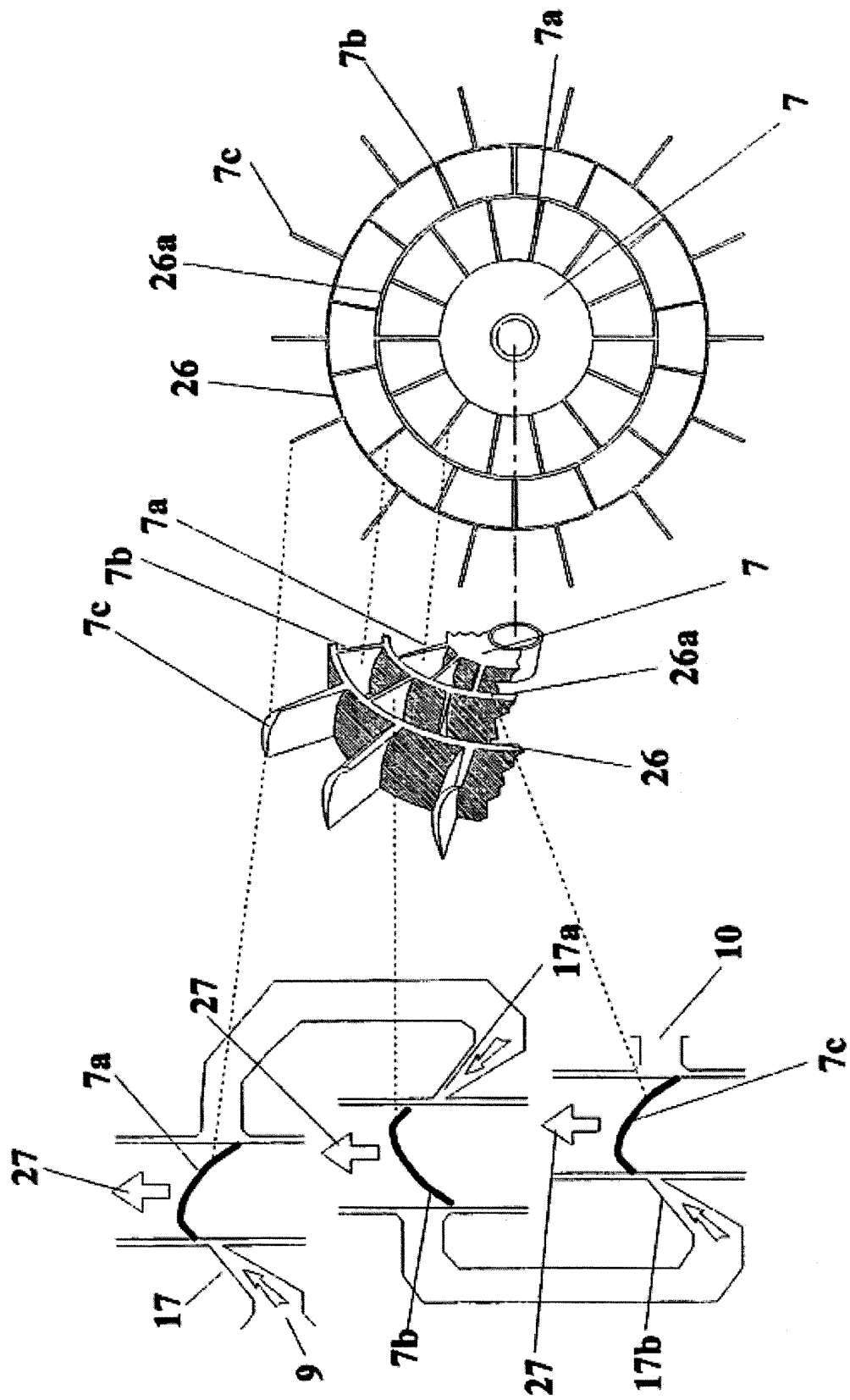


Fig. 7

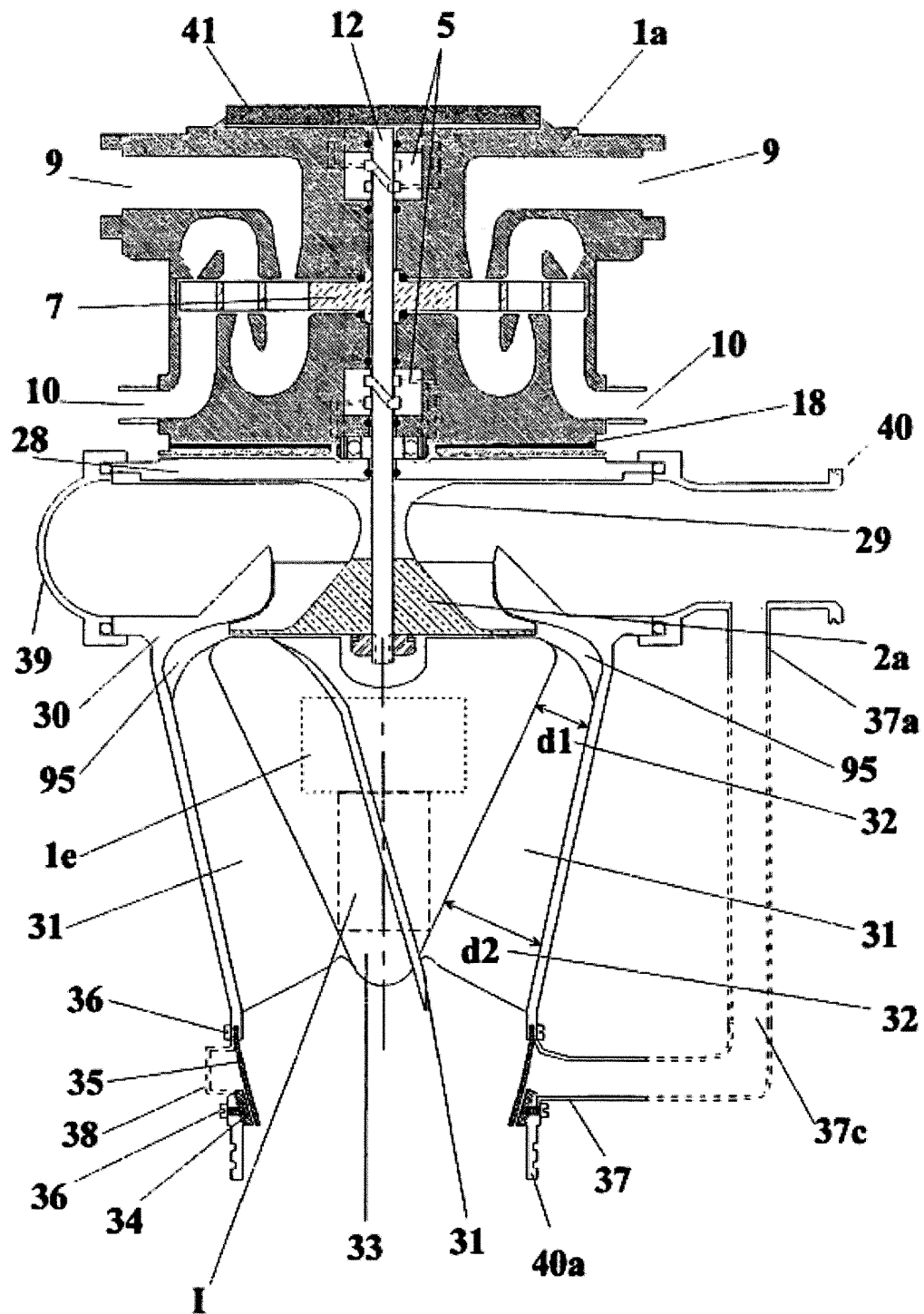


Fig. 8

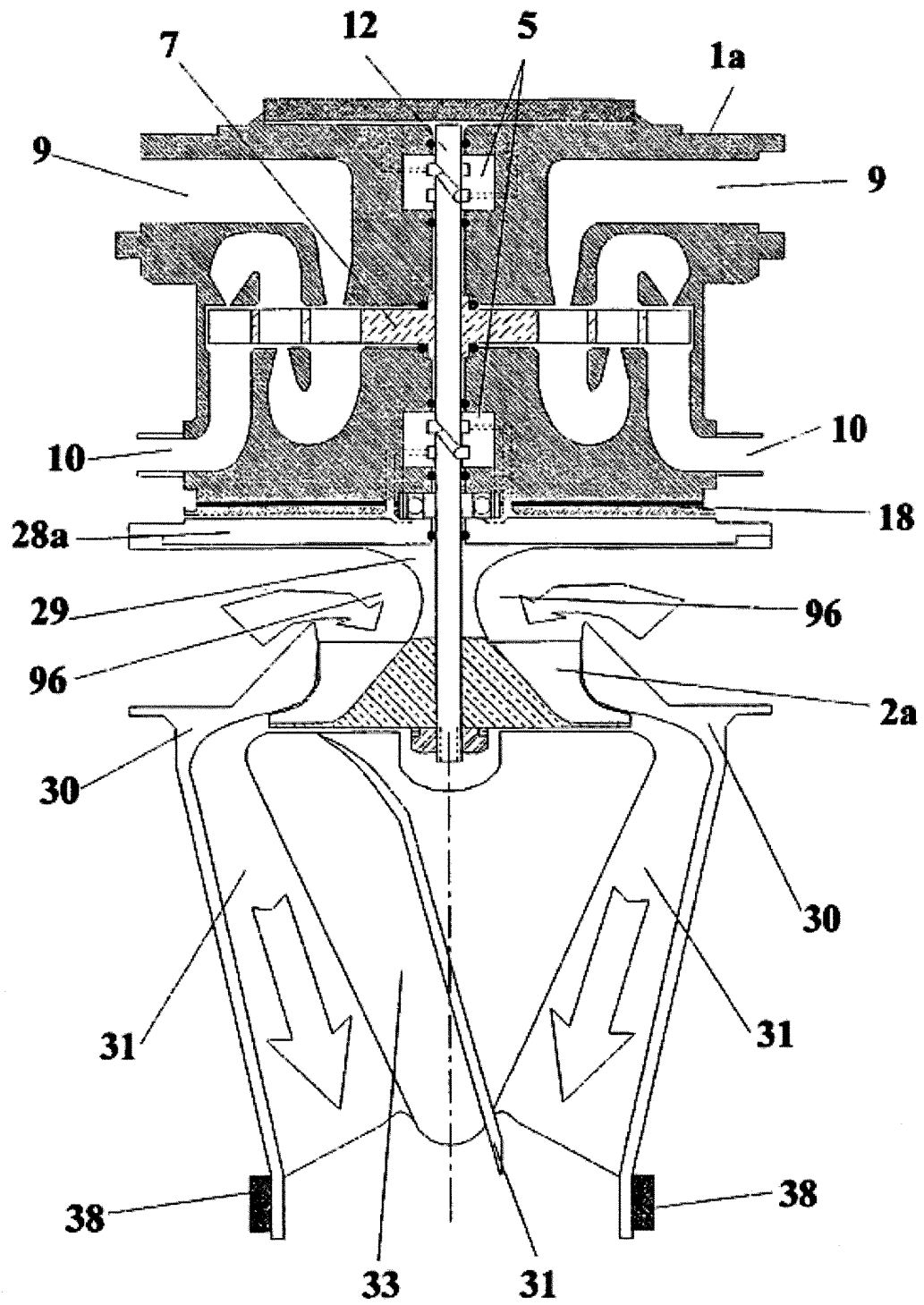


Fig. 9

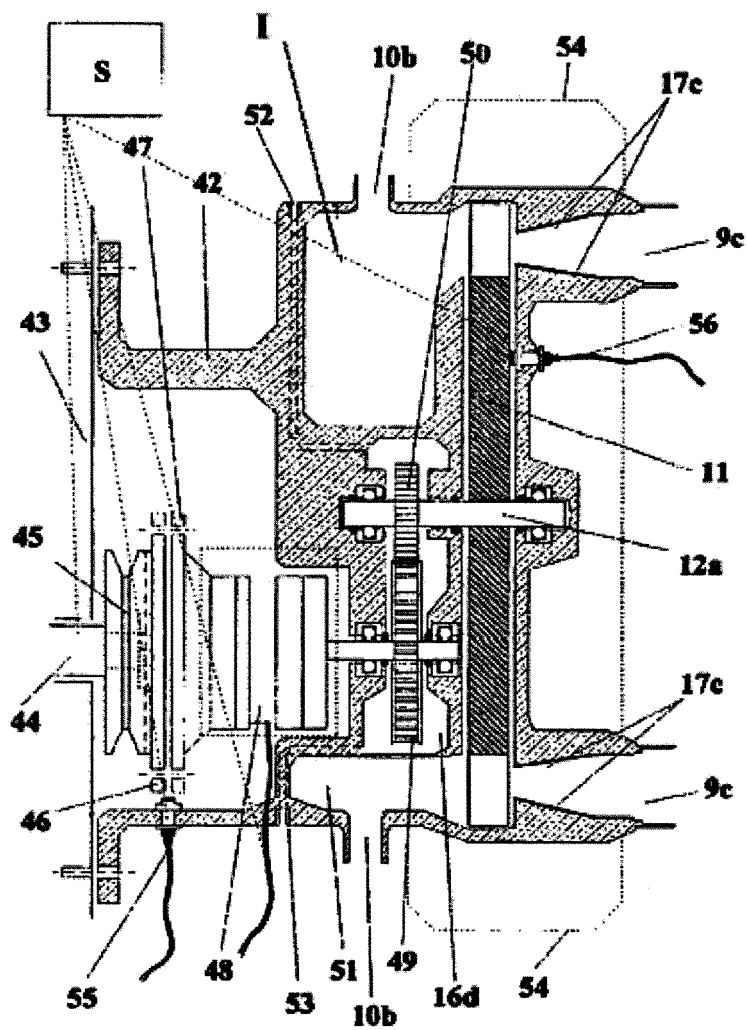


Fig. 10

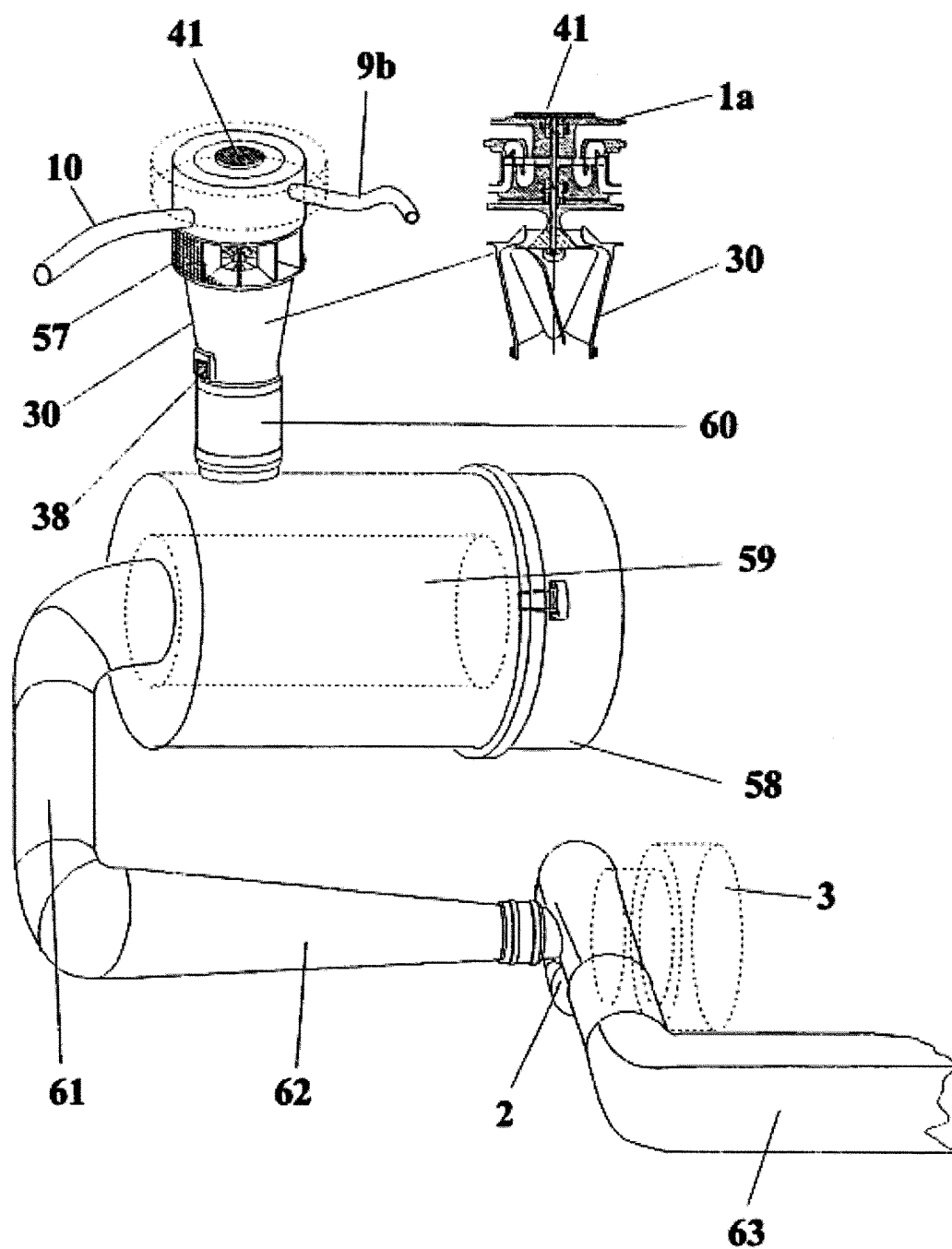
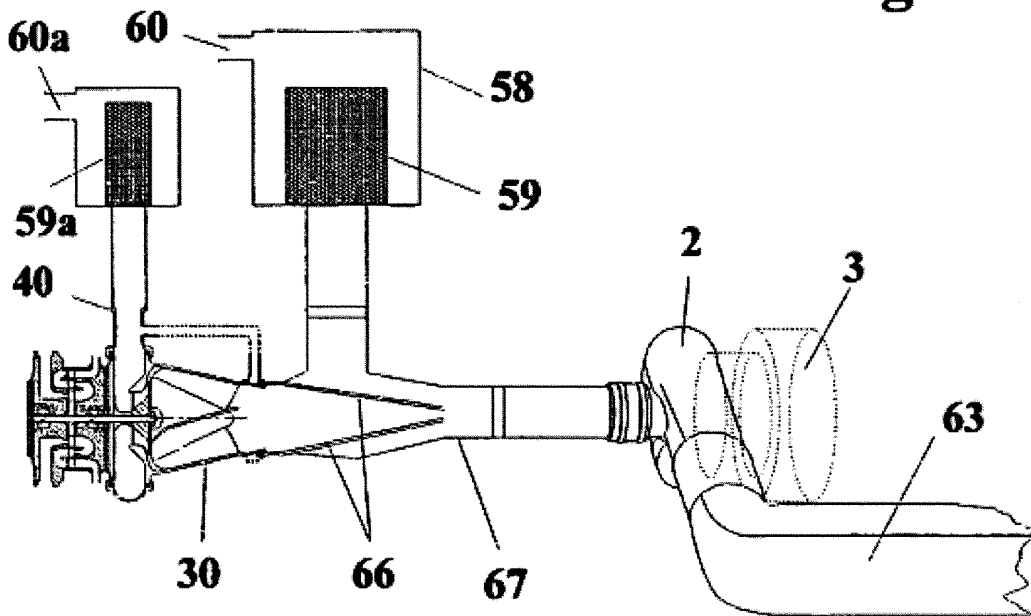
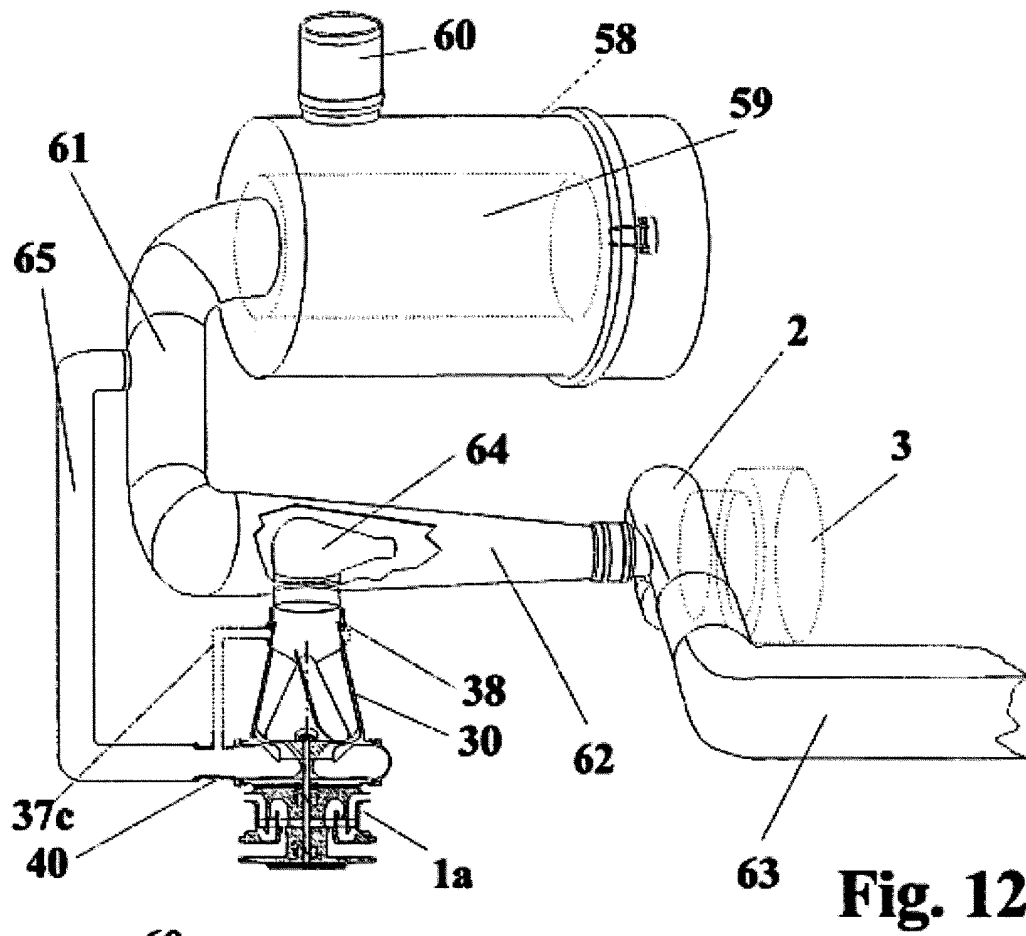


Fig. 11



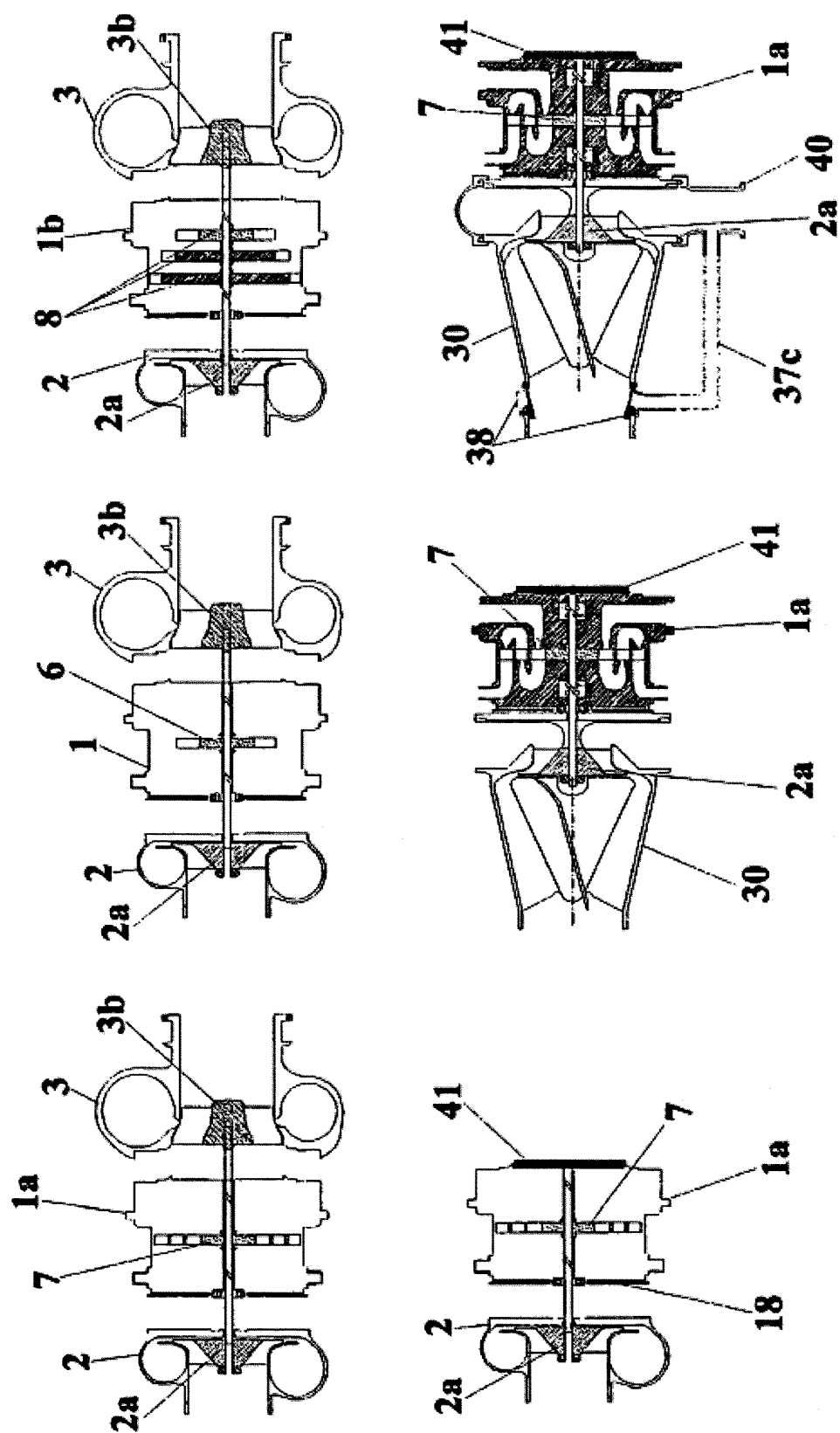


Fig. 14

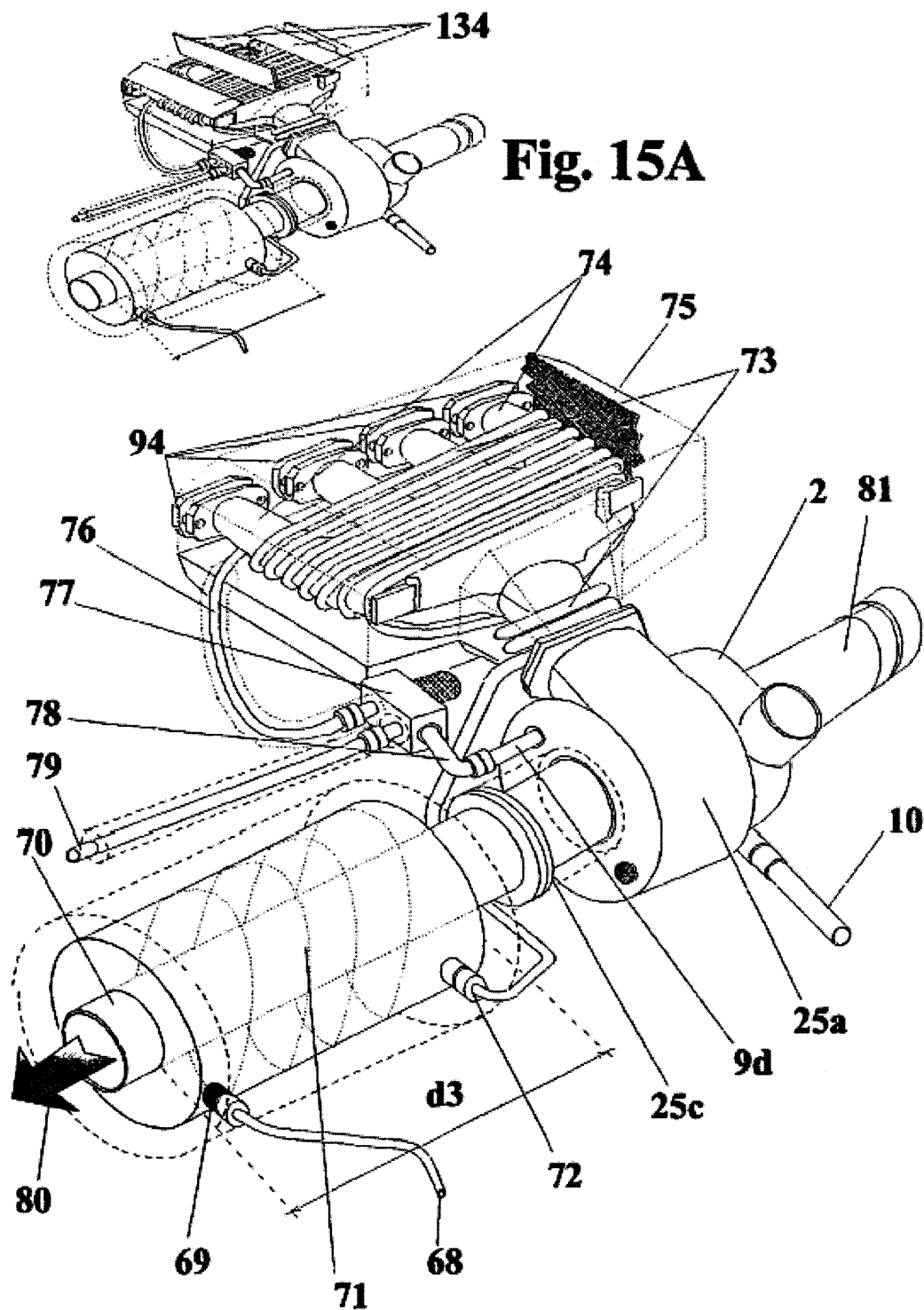


Fig. 15

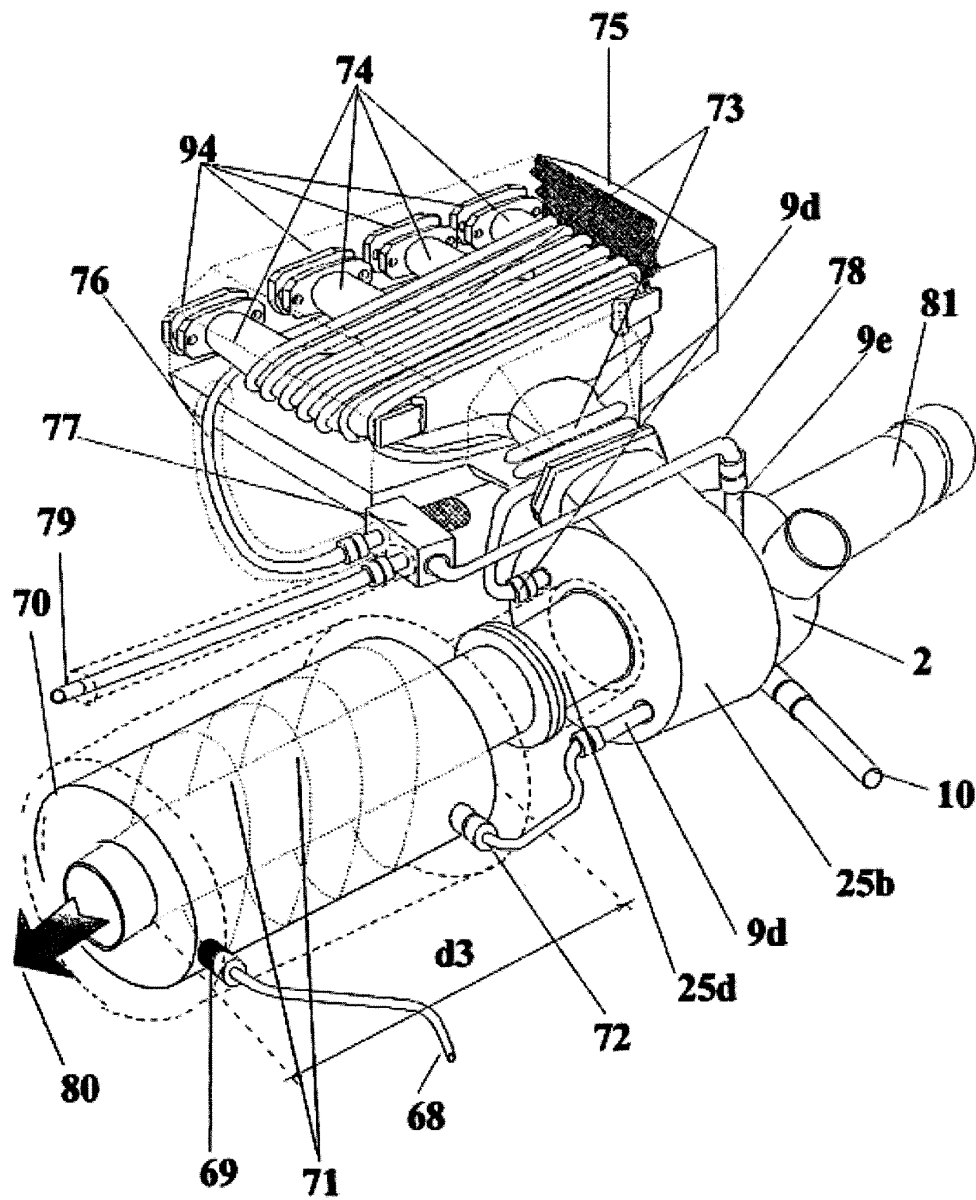


Fig. 16

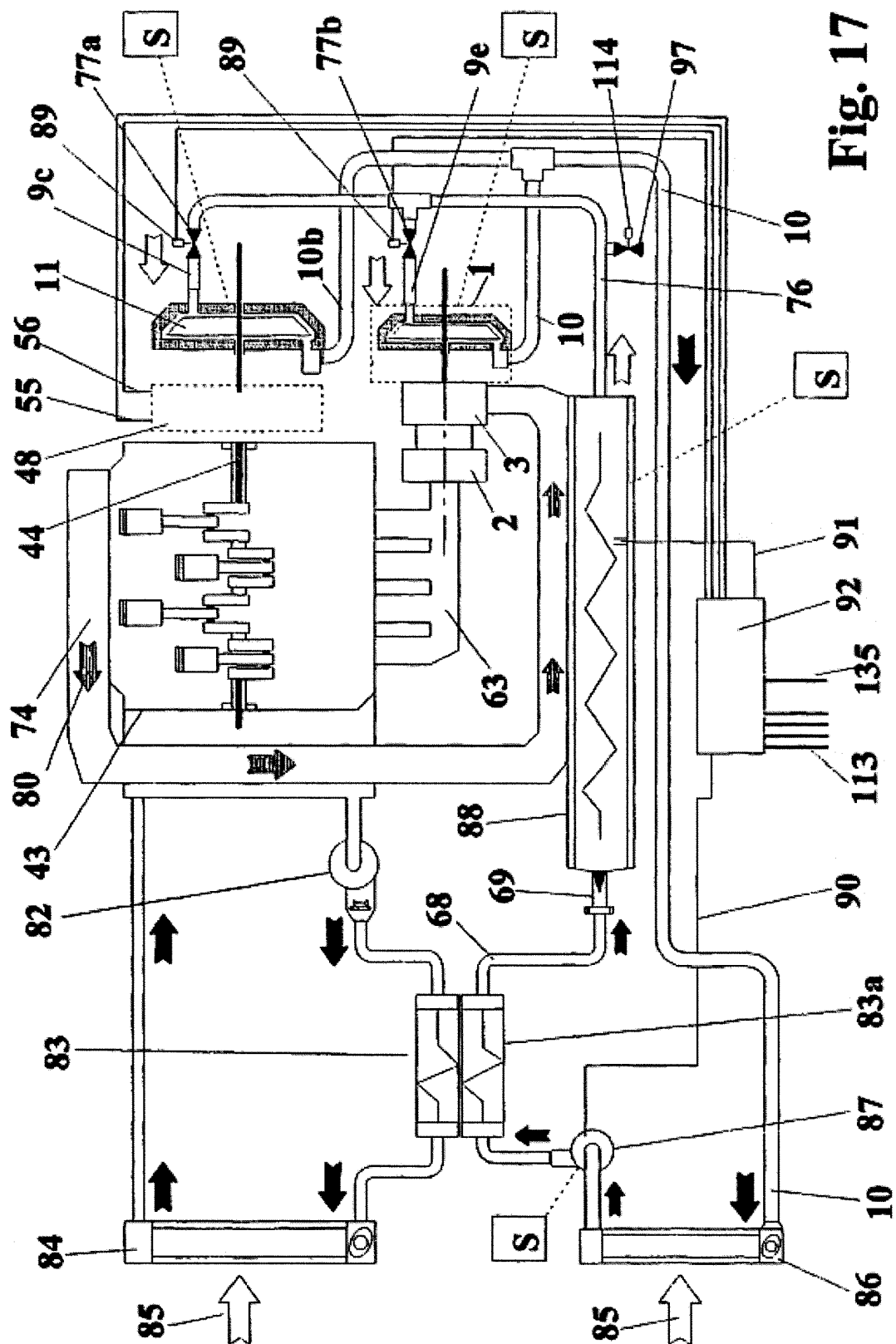


Fig. 17

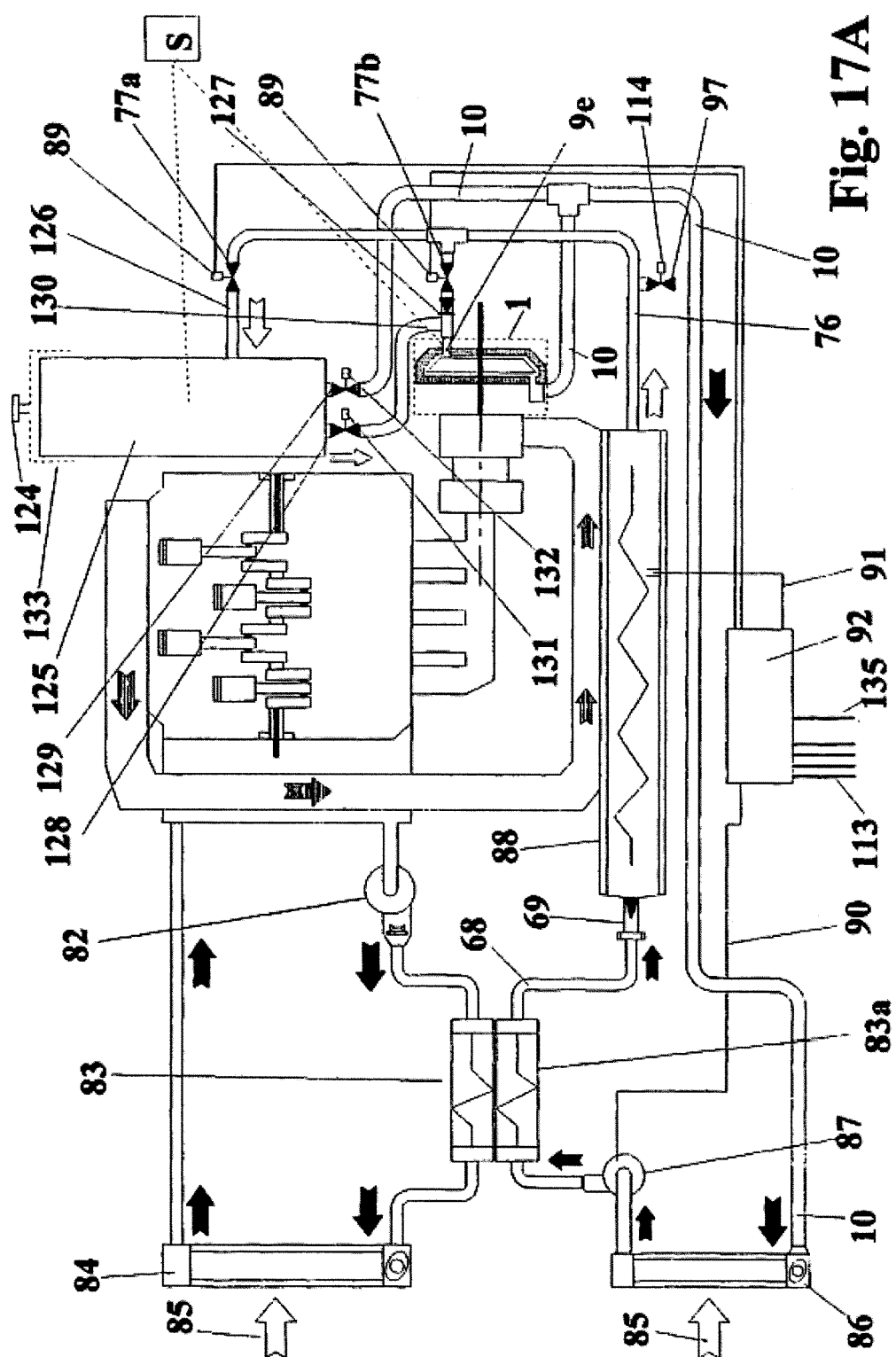


Fig. 17A

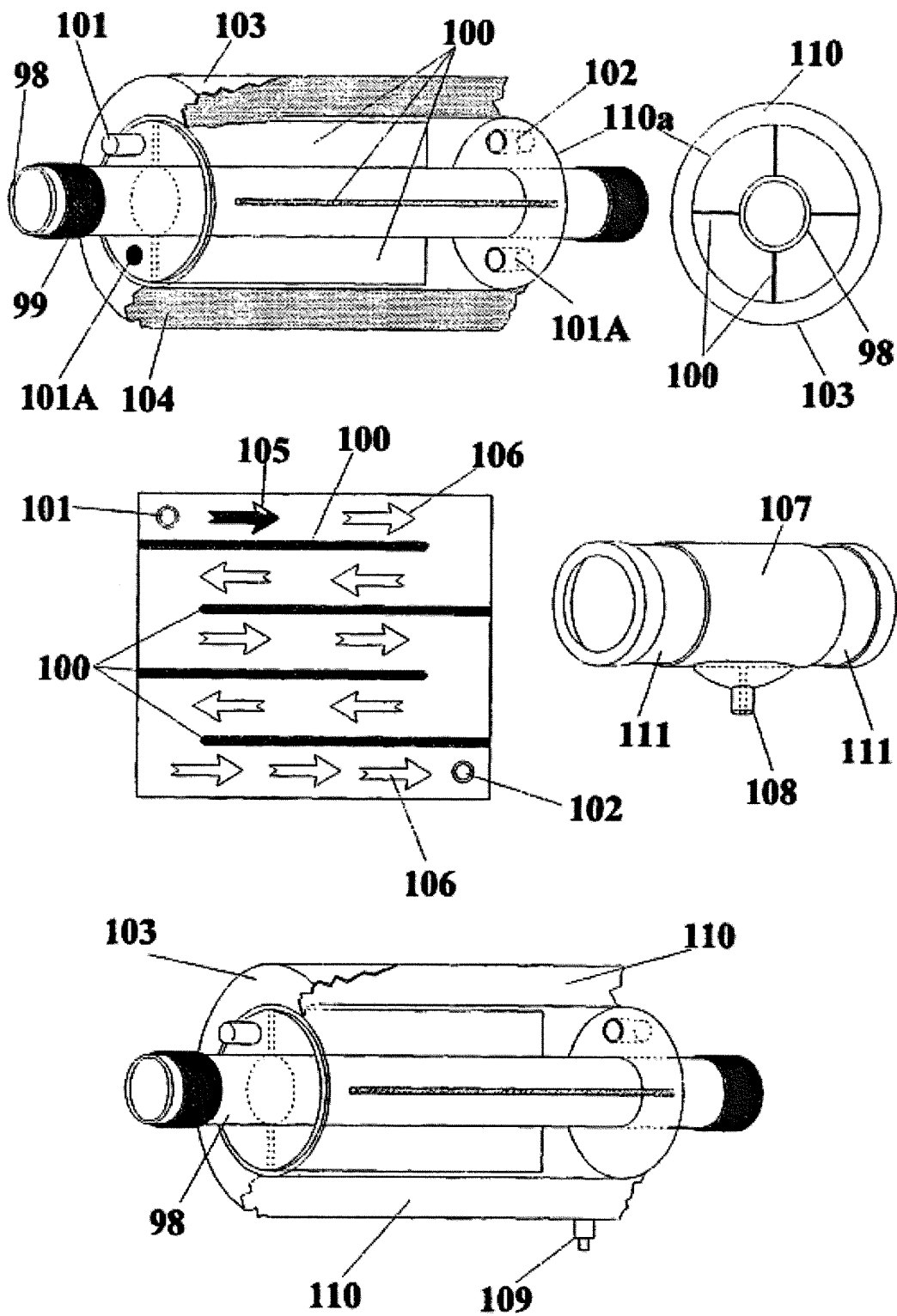


Fig. 18