(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 658 939**

(51) Int. Cl.:

F04D 25/06	(2006.01)
F04D 27/02	(2006.01)
F04D 29/058	(2006.01)
F04D 29/46	(2006.01)
F16C 32/04	(2006.01)
F25B 1/053	(2006.01)
F25B 49/02	(2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.10.2007** **PCT/US2007/021536**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2008** **WO08045413**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2007** **E 07839361 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2017** **EP 2061998**

(54) Título: **Compresor de refrigerador de alta capacidad**

(30) Prioridad:

06.10.2006 US 849865 P
05.10.2007 US 868341

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.03.2018

(73) Titular/es:

DAIKIN APPLIED AMERICAS INC. (100.0%)
13600 Industrial Park Boulevard
Minneapolis, MN 55441, US

(72) Inventor/es:

DOTY, MARK C.;
CAMPAIGNE, EARL A.;
WATSON, THOMAS A.;
BUTLER, PAUL K.;
CLINE, QUENTIN E. y
SHOWALTER'S, SAMUEL J.

(74) Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 658 939 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

Compresor de refrigerador de alta capacidad

Solicitud relacionada

Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud provisional de EE.UU. nº 60/849.865 presentada el 6 de octubre de 2006, que por la presente se incorpora por completo por referencia.

Campo de la invención

Esta invención se refiere en general al campo de los compresores. Más específicamente, la invención está dirigida a compresores de gran capacidad para sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

Técnica antecedente

Las grandes instalaciones de enfriamiento, tales como los sistemas de refrigeración industrial o los sistemas de aire acondicionado para complejos de oficinas, a menudo implican el uso de sistemas de alta capacidad de refrigeración de más de 400 toneladas de refrigeración (1400 kW). La entrega de este nivel de capacidad típicamente requiere el uso de sistemas de compresores de etapa única muy grande o etapas múltiples. Los sistemas de compresores existentes típicamente son accionados por motores de tipo inducción que pueden ser de tipo hermético, semihermético o de accionamiento abierto. El motor de accionamiento puede funcionar a niveles de potencia superiores a 250 kW y velocidades de rotación cercanas a 3600 rpm. Dichos sistemas de compresor típicamente incluyen elementos giratorios soportados por cojinetes lubricados, hidrodinámicos o de elementos rodantes.

La capacidad de un sistema de refrigeración dado puede variar sustancialmente dependiendo de ciertas condiciones de entrada y salida. En consecuencia, la industria de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) ha desarrollado condiciones estándar bajo las cuales se determina la capacidad de un sistema de refrigeración. Las condiciones de clasificación estándar para un sistema de refrigerador refrigerado por agua incluyen: entrada de agua del condensador a 29,4 °C (85 °F), 0,054 litros por segundo por kW (3.0 gpm por tonelada); una tolerancia del factor de incrustación del condensador del lado del agua de 0,044 m^2-ºC por kW (0,00025 hr-ft^2-ºF por BTU); salida de agua del evaporador a 6,7 °C (44,0 °F), 0,043 litros por segundo por kW (2,4 gpm por tonelada); y una tolerancia del factor de incrustación del evaporador del lado del agua de 0,018 m^2-ºC por kW (0,0001 hr-ft^2-ºF por BTU). Estas condiciones han sido establecidas por el Instituto de Aire Acondicionado y Refrigeración (ARI) y se detallan en el Estándar ARI 550/590 titulado "2003 Standard for Performance Rating of Water-Chilling Packages Using the Vapor Compression Cycle", que por la presente se incorpora por referencia aparte de cualquier definición expresa de términos específicamente definidos. El tonelaje de un sistema de refrigeración determinado en estas condiciones se denomina en lo sucesivo "toneladas de refrigeración estándar".

En un sistema de refrigerador, el compresor actúa como una bomba de vapor, comprimiendo el refrigerante desde una presión de evaporación a una presión de condensación más alta. Una variedad de compresores han encontrado uso en la realización de este proceso, incluyendo compresores rotativos, de husillo, de desplazamiento, reciprocantes y centrífugos. Cada compresor tiene ventajas para varios propósitos en diferentes rangos de capacidad de refrigeración. Para grandes capacidades de refrigeración, se sabe que los compresores centrífugos tienen la mayor eficiencia isentrópica y, por lo tanto, la mayor eficiencia térmica general para el ciclo de refrigeración del refrigerador. Véase la patente de EE.UU. 5.924.847 de Scaringe, et al.

En términos generales, el compresor comprende una sección aerodinámica, un tren de accionamiento y un sistema de control. El tipo de sección aerodinámica empleada depende de varios factores, incluido el refrigerante, la relación de presión requerida y el rango de capacidad. La sección aerodinámica puede tener un impulsor (etapa única simple) o múltiples impulsores (etapas múltiples). Un compresor de etapa única es muy adecuado para aplicaciones de refrigeración de confort en las que la relación de presión es típicamente inferior a 3 y el coste del equipo es importante. Los compresores de etapa única se caracterizan típicamente por una eficiencia de ciclo constante en un amplio rango de funcionamiento en comparación con los compresores de múltiples etapas.

En un compresor de múltiples etapas, cada etapa aumenta la presión del gas comprimido desde la salida de la etapa anterior. Los compresores de múltiples etapas se pueden equipar con un economizador (también conocido como "refrigerador intermedio") para proporcionar una eficiencia de ciclo que es más alta que los compresores de etapa única en un rango de funcionamiento estrecho, pero con un coste y complejidad adicionales. Véase "Heating, Ventilating and Air Conditioning Systems and Equipment", 1996 ASHRAE Handbook (Inch-Pound Edition) y "Fundamentals", 2005 ASHRAE Handbook (Inch-Pound Edition), que por la presente se incorporan ambos por referencia en el presente documento, aparte de cualquier definición expresa de términos específicamente definidos. Cuanto mayor sea la relación de presión requerida, mayor será el beneficio de eficiencia de un compresor de múltiples etapas. El coste se incrementa debido al tamaño más grande, la necesidad de una mayor cantidad de componentes de precisión (por ejemplo, impulsores múltiples, álabes de desenrollamiento) y las tuberías y componentes adicionales para el economizador.

El impulsor del compresor puede ser accionado directamente por el motor o accionado a través de un juego de engranajes que aumenta la velocidad. Para los refrigerantes de alta presión como HFC-134a, las velocidades de rotación del impulsor pueden superar las 3600 revoluciones por minuto (rpm). Debido a que los motores de inducción estándar giran a un máximo de 3600 rpm a una frecuencia de línea de 60 Hz, es posible que se necesite un incrementador de velocidad engranada para alcanzar velocidades de rotación superiores a 3600 rpm. El incrementador de velocidad engranada presenta ineficiencias, incluyendo las pérdidas de energía que ocurren en la transmisión de potencia a través de los engranajes y las pérdidas viscosas del aceite.

Alternativamente, un motor de inducción puede ser accionado a una velocidad sincrónica de 3600 RPM por un accionador de frecuencia variable (VFD). Sin embargo, las pérdidas de calor relacionadas con el principio de inducción y la ineficiencia resultante se vuelven excesivas al girar a las altas velocidades requeridas para los refrigerantes como el R-134a.

El uso de cojinetes magnéticos para mejorar la eficiencia de un sistema de accionamiento de compresor es conocido. Por ejemplo, la patente de EE.UU. 5.857.348 de Conry (Conry) divulga el uso de cojinetes radiales y axiales magnéticos activos en un compresor centrífugo. Los sistemas de compresores convencionales utilizan cojinetes de elementos rodantes o hidrodinámicos en los que el muñón del árbol está en contacto con los elementos rodantes o un lubricante. Los cojinetes magnéticos eliminan tales fuerzas de cizalladura del lubricante o contacto rodante y, por lo tanto, característicamente tienen menos resistencia que los cojinetes a base de lubricación.

Sin embargo, los cojinetes magnéticos pueden estar sujetos a daños por contacto siempre que el cojinete pierda potencia. Dicha pérdida de potencia puede ser rutinaria (y, por lo tanto, diseñada para ello), como durante el apagado del compresor. Pero algunas pérdidas de energía no se anticipan, como un corte de potencia u otra interrupción en el servicio de energía. En cualquier caso, se puede producir un contacto no deseado y puede dañar los cojinetes u otros componentes que son sensibles a las tolerancias de alineación cercanas proporcionadas por la levitación del cojinete magnético.

La sabiduría convencional con respecto al diseño de los compresores de refrigeración centrífuga de accionamiento directo con cojinetes magnéticos es que el desarrollo de capacidades sustancialmente mayores no es factible en un único compresor debido a las mayores masas y diámetros del árbol (es decir, mayores momentos de inercia polares) y densidades de potencia.

Otra preocupación en la implementación de los cojinetes magnéticos es el fallo del propio controlador del cojinete. A menudo, el fallo del controlador del cojinete ocasionará daños a los componentes de rotación debido a movimientos incontrolables.

Muchos sistemas de refrigerador de alta capacidad cuentan con un motor que funciona a una velocidad de rotación de funcionamiento constante. La velocidad de funcionamiento se elige basándose en un rendimiento óptimo a plena carga o casi plena. Sin embargo, los métodos de control más avanzados a menudo implican un funcionamiento frecuente del refrigerador a menos de la capacidad máxima. El funcionamiento de un compresor de velocidad fija a menos de su capacidad total presenta ineficiencias.

En un compresor centrífugo, el refrigerante está motivado a través del sistema de refrigeración por un impulsor. Los impulsores de producción actuales a menudo utilizan un orificio cónico como el medio para montar el impulsor en el árbol de alta velocidad. Esta configuración de montaje es económica y se ha utilizado con éxito durante muchos años. Sin embargo, hay algunos problemas inherentes con el montaje del orificio cónico. Por ejemplo: (1) la alineación del impulsor y el árbol es difícil y lleva mucho tiempo; (2) la ubicación axial montada del impulsor no es repetible, variando ligeramente cada vez que se monta el impulsor; y (3) la combinación de árbol e impulsor puede requerir reequilibrio después de cada ensamblaje.

Típicamente, el motor que acciona el compresor se enfría activamente, especialmente con motores de alta potencia. Con los sistemas de refrigerador, la proximidad del enfriador de refrigerante al motor a menudo lo convierte en el medio de elección para refrigerar el motor. Muchos sistemas cuentan con circuitos de derivación diseñados para refrigerar adecuadamente el motor cuando el compresor está funcionando a plena potencia y con la consiguiente caída de presión a través del circuito de derivación. Otros compresores, como los divulgados por Conry, conectan el flujo de refrigerante a través del circuito de derivación a un dispositivo de estrangulación que regula el flujo de refrigerante en el compresor. Además, la publicación de solicitud de patente de EE.UU. 2005/0284173 de Larminat describe el uso de refrigerante vaporizado (sin comprimir) como medio de refrigeración. Sin embargo, tales circuitos de derivación adolecen de deficiencias inherentes.

Algunos sistemas enfrían varios componentes en serie, lo que limita el rango operativo del compresor. El requisito de carga de refrigeración de cada componente variará según la capacidad de refrigeración del compresor, el consumo de potencia del compresor, las temperaturas disponibles y las temperaturas del aire ambiente. Por lo tanto, el flujo de refrigerante puede coincidir adecuadamente con solo uno de los componentes en serie, y luego solo bajo condiciones específicas, lo que puede crear escenarios donde los demás componentes están sobrerefrigerados o

subrefrigerados. Incluso la adición de controles de flujo no puede mitigar los problemas ya que el flujo de refrigeración será determinado por el dispositivo que necesite mayor refrigeración. Otros componentes en serie estarán subrefrigerados o sobrerefrigerados. Los componentes sobrerefrigerados pueden formar condensación si se exponen al aire ambiente. Los dispositivos subrefrigerados pueden exceder sus límites operacionales resultando en el fallo de componentes o el apagado de la unidad.

Los grandes sistemas de refrigerador a menudo tienen requisitos de mantenimiento específicos relacionados con los sistemas de lubricación. Cuando se utilicen elementos rodantes o cojinetes hidrodinámicos, los cojinetes deben estar provistos de lubricación. Del mismo modo, cualquier engranaje que aumente o reduzca la velocidad del árbol de accionamiento también debe estar provisto de lubricación. El sistema de aceite proporciona lubricación a estos componentes, que requieren equipos auxiliares como un depósito de aceite, una bomba, un circuito de recirculación, un calentador de aceite (para mantener baja la viscosidad del aceite en los meses de invierno) y un refrigerador de aceite (para evitar el sobrecalentamiento del aceite en los meses de verano). Estos componentes típicamente requieren mantenimiento periódico, como reemplazo de filtros, reemplazo de juntas, muestreo de calidad de aceite, reemplazo de aceite y reparación de la bomba, calentador y refrigerador. El sistema de lubricación comparte una atmósfera común con los componentes de refrigeración, que normalmente introduce aceite en el refrigerante y puede tener un efecto perjudicial sobre la transferencia de calor. Además, los componentes tales como la bomba, el calentador, el refrigerador y el circuito de recirculación pueden requerir aislamiento de la atmósfera ambiental, lo que introduce el potencial de puntos de fuga en el sistema de refrigeración general.

Para reemplazar los componentes internos del compresor, los diseños de compresor existentes a menudo requieren la eliminación o el desmontaje de otros componentes del compresor que no están planificados o no requieren servicio. El reensamblaje a menudo requiere procedimientos de alineación de precisión que consumen mucho tiempo y alteran el rendimiento de la unidad si se realiza incorrectamente. Además, los alojamientos aerodinámicos y de motor a menudo están contenidos en una única estructura de colada, lo que reduce la capacidad de cambiar o actualizar los componentes aerodinámicos, ya que el tamaño se limita al tamaño de colada existente.

Otra característica de los diseños de compresores centrífugos de gran capacidad existentes es el peso del conjunto. Por ejemplo, el rotor de un motor de inducción típico puede pesar cientos de kilos y puede exceder los 450 kg. Además, a medida que se desarrollan sistemas que exceden la capacidad existente de caballos de fuerza y tonelaje de refrigerante, el peso de tales unidades puede ser problemático con respecto al envío, la instalación y el mantenimiento. Cuando las unidades se montan sobre el nivel del suelo, el peso puede ir más allá de lo problemático a lo prohibitivo debido al gasto de proporcionar soporte estructural adicional.

Existe una gran necesidad sentida en la industria HVAC de aumentar la capacidad de los sistemas de refrigeración. La evidencia de esta necesidad se ve reforzada por el continuo aumento de las ventas de refrigeradores de gran capacidad. En el año 2006, por ejemplo, se vendieron más de 2000 sistemas de refrigerador con capacidades de compresor superiores a 200 toneladas de refrigeración estándar. Por consiguiente, sería bienvenido el desarrollo de un sistema de compresor que supere los desafíos de diseño anteriores para la entrega de capacidades de refrigeración sustancialmente mayores que los sistemas existentes o comercializados anteriormente. El documento US-A-6070421 divulga un sistema de refrigerador de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

Sumario de la invención

Las diversas realizaciones de la invención incluyen conjuntos de compresores centrífugos de etapa única y de múltiples etapas diseñados para grandes instalaciones de refrigeración. El diseño mejora la salida de potencia y la eficiencia, mejora la fiabilidad y reduce los requisitos de mantenimiento.

Las variables en el diseño de un compresor de refrigerador de alta capacidad incluyen el diámetro y la longitud de los conjuntos de rotor y estator y los materiales de construcción. Existe una compensación de diseño con respecto al diámetro del conjunto de rotor. Por un lado, el conjunto de rotor debe tener un diámetro suficientemente grande para cumplir con el requisito de par. Por otro lado, el diámetro no debería ser tan grande como para generar tensiones superficiales que excedan las resistencias típicas del material cuando funciona a altas velocidades de rotación, que pueden exceder 11000 rpm en ciertas realizaciones de la invención, aproximándose a 21000 rpm en algunos casos. Además, diámetros y longitudes más grandes del conjunto de rotor pueden producir fuerzas de arrastre aerodinámicas (también conocidas como resistencia al viento) proporcionales a la longitud y al cuadrado del diámetro del conjunto de rotor en funcionamiento, lo que da como resultado más pérdidas. Los diámetros y longitudes más grandes también pueden tender a aumentar la masa y el momento de inercia del conjunto de rotor cuando se utilizan materiales estándar de construcción.

La reducción de la tensión y el arrastre tiende a promover el uso de conjuntos de rotor de menor diámetro. Para producir una mayor capacidad de potencia dentro de los confines de un conjunto de rotor de menor diámetro, algunas realizaciones de la invención utilizan un motor de imán permanente (PM). Los motores de imán permanente son muy adecuados para el funcionamiento a más de 3600 rpm y exhiben la mayor eficiencia demostrada en un amplio rango de velocidad y par de torsión del compresor. Los motores de PM generalmente producen más potencia por unidad de volumen que los motores de inducción convencionales y son muy adecuados para su uso con los

VFD. Además, el factor de potencia de un motor de PM es típicamente más alto y la generación de calor típicamente menor que la de los motores de inducción de potencia comparable. Por lo tanto, el motor de PM proporciona una eficiencia energética mejorada en comparación con los motores de inducción.

Sin embargo, el aumento adicional de la capacidad de potencia dentro de los confines del conjunto de rotor de menor diámetro crea una mayor densidad de potencia con menos superficie exterior para la transferencia de calor generada por las pérdidas eléctricas. En consecuencia, las aplicaciones de refrigeración grandes, como los sistemas de refrigeración industrial o los sistemas de aire acondicionado que utilizan motores de PM, están normalmente limitados a capacidades de 200 toneladas de refrigeración estándar (700 kW) o menos.

Para abordar el aumento en la densidad de potencia, el refrigerador de la invención, de acuerdo con la reivindicación 1, utiliza refrigerante gaseoso de la sección de evaporador para enfriar los conjuntos de rotor y estator. Todavía otras realizaciones incluyen además la refrigeración interna del árbol de motor, que aumenta el área de transferencia de calor y puede aumentar el acoplamiento por convección del coeficiente de transferencia de calor entre el refrigerante gaseoso y el conjunto de rotor.

En diversas realizaciones descritas en la descripción, los componentes del sistema de accionamiento están diseñados para mejorar la eficiencia energética global. Algunos o todos los mecanismos de pérdida de energía antes mencionados (por ejemplo, eficiencia aerodinámica, eficiencia del motor, pérdidas de engranaje y pérdidas por fricción del cojinete) pueden abordarse para una mayor eficiencia del compresor. Además, el diseño del compresor propuesto brinda capacidades de refrigeración que superan las 800 toneladas de refrigeración estándar, una mejora notable en la capacidad frente a los sistemas actualmente existentes, que se sitúa en menos de 200 toneladas de refrigeración estándar para los compresores de accionamiento directo que utilizan cojinetes magnéticos. Por lo tanto, varias realizaciones de la invención reducen el número de compresores requeridos para instalaciones de refrigeración grandes (más de 200 toneladas de refrigeración estándar).

Se puede utilizar un accionador de frecuencia variable (VFD, también conocido como accionador de velocidad variable, o VSD) para variar la velocidad del compresor para que coincida con los requisitos de carga, mejorando así la eficiencia energética en condiciones de carga parcial.

El compresor ha de configurarse para incluir un sistema de refrigeración que enfría el conjunto de árbol de motor/rotor y el conjunto de estator de forma independiente, evitando las desventajas inherentes a la refrigeración en serie de estos componentes. Cada circuito puede ser adaptable a diferentes capacidades de refrigeración y relaciones de presión de funcionamiento que mantienen los componentes respectivos dentro de los límites de temperatura en un rango de velocidades sin sobrerefrigerar o subrefrigerar el motor. Las realizaciones incluyen un circuito de refrigeración o derivación que pasa refrigerante gaseoso a través del árbol de motor así como sobre el perímetro exterior del conjunto de rotor, enfriando así el conjunto de rotor por conducción directa al árbol y por convección sobre el perímetro exterior.

El conjunto de compresor puede construirse de forma modular para facilitar el mantenimiento más sencillo de la unidad y proporcionar un alto grado de flexibilidad aerodinámica. La sección aerodinámica se puede separar completamente del alojamiento de motor, lo que permite el uso del tren de accionamiento con una variedad de secciones aerodinámicas que pueden variar en tamaño o en el número de etapas. De esta manera, uno puede reparar o actualizar la unidad sin necesidad de reemplazar el tren de accionamiento u otros componentes que puedan ser compartidos por las dos configuraciones. Los componentes del compresor se pueden intercambiar a medida que cambian los requisitos de rendimiento del refrigerador y/o cuando los componentes se rediseñan para obtener mayores eficiencias. Por ejemplo, uno puede hacer coincidir el conjunto de motor con una variedad de conjuntos aerodinámicos para obtener la mejor coincidencia de impulsor o forma de voluta con la carga. La construcción modular también puede simplificar el inventario de piezas fabricado y retenido por los fabricantes de refrigeradores.

El compresor puede fabricarse a partir de componentes ligeros y coladas, proporcionando una relación potencia a peso alta. Los componentes de peso bajo en un diseño de etapa única permiten el mismo tonelaje en aproximadamente un tercio del peso de las unidades convencionales. Las diferencias de reducción de peso pueden realizarse a través del uso de componentes o coladas de aluminio o aleación de aluminio, eliminación de engranajes, y un motor más pequeño. El refrigerador de acuerdo con la invención se define por las características de la reivindicación 1. El sistema de refrigerador puede incluir además una sección aerodinámica acoplada operativamente al árbol de motor, el acoplamiento operativo puede ser mediante acoplamiento directo. Además, el motor de imán permanente puede superar los 140 kW de potencia, puede producir velocidades superiores a 11000 revoluciones por minuto y puede exceder una capacidad de refrigeración de 200 toneladas en condiciones de clasificación de industria estándar.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un esquema de un sistema de refrigerador en una realización de la invención.

La figura 2 es una vista en perspectiva de un conjunto de compresor en una realización de la invención.

La figura 3 es una vista en alzado del conjunto de compresor de la figura 2.

La figura 4 es una vista de extremo del extremo de entrada del conjunto de compresor de la figura 2.

La figura 5 es una vista superior del conjunto de compresor de la figura 2.

La figura 6 es una vista parcial en despiece ordenado del conjunto de compresor de la figura 2.

La figura 7 es una vista en corte en perspectiva de una sección aerodinámica de un conjunto de compresor de etapa única en una realización de la invención.

La figura 8 es una vista en corte en perspectiva de la sección aerodinámica de la figura 7.

La figura 9 es una vista en corte transversal de un impulsor montado en un árbol de accionamiento en una realización de la invención.

La figura 10 es una vista en corte en perspectiva de un conjunto de compresor de dos etapas en una realización de la invención.

La figura 11 es una vista en perspectiva de un árbol de motor que tiene una montura de tipo polígono en una realización de la invención.

La figura 12 es una vista en corte en perspectiva de un conjunto de álabes de guía de entrada en una realización de la invención.

La figura 13 es una vista en despiece ordenado de un conjunto de tornillo sin fin para el conjunto de álabes de guía de entrada de la figura 12.

La figura 14 es una vista en perspectiva de un sensor de posición magnético montado en el conjunto de álabes de guía de entrada de la figura 12.

La figura 15 es una vista en corte en perspectiva de un conjunto de tren de accionamiento del compresor en una realización de la invención.

La figura 16 es una vista en perspectiva de un conjunto de placa de bus de terminal en una realización de la invención.

La figura 17 es una vista en perspectiva de un conjunto de placa de bus de terminal en una realización de la invención.

La figura 18 es una vista en corte transversal de los conjuntos de rotor y estator del conjunto de tren de accionamiento de la figura 15.

La figura 19 es una vista en corte transversal del conjunto de tren de accionamiento de la figura 15 que resalta un circuito de derivación de gas para el conjunto de rotor de la figura 18.

La figura 19A es una vista en corte del árbol de motor de la figura 19.

La figura 19B es una vista en corte de un árbol de motor en una realización de la invención.

La figura 19C es una vista en corte parcial ampliada del árbol de motor de la figura 19B.

La figura 20 es una vista en corte de un conjunto de compresor que resalta un circuito de derivación de líquido para el conjunto de estator del conjunto de tren de accionamiento de la figura 15.

Las figuras 20A y 20B son vistas en corte ampliadas de un pasaje en espiral que puede utilizarse en el circuito de derivación de líquido de la figura 20.

La figura 21 es un esquema eléctrico de un VFD con 6 fases de salida y una fuente de potencia de entrada de autotransformador de desplazamiento de fase en una realización de la invención.

La figura 22 es un esquema eléctrico de un sistema de suministro de potencia que tiene fuentes de potencia intermedias redundantes en una realización de la invención.

La figura 23 es un gráfico del suministro de voltaje de enlace de CC como una función de la velocidad de rotación de un motor de imán permanente en una realización de la invención.

Descripción detallada de las formas de realización

Haciendo referencia a la figura 1, un sistema 28 de refrigerador que tiene una sección 30 de condensador, un dispositivo 32 de expansión, una sección 34 de evaporador y un conjunto 36 de compresor centrífugo se representa en una realización de la invención. El sistema 28 de refrigerador se puede caracterizar además por un circuito 38 de derivación de gas y un circuito 40 de derivación de líquido para refrigerar diversos componentes del conjunto 36 de compresor centrífugo.

En funcionamiento, el refrigerante dentro del sistema 28 de refrigerador es accionado desde el conjunto 36 de compresor centrífugo a la sección 30 de condensador, como se representa mediante la flecha direccional 41, configurando un flujo en el sentido de las agujas del reloj como en la figura 1. El conjunto 36 de compresor centrífugo provoca un aumento en la presión de funcionamiento de la sección 20 de condensador, mientras que el dispositivo 32 de expansión provoca una caída en la presión de funcionamiento de la sección 34 de evaporador. En consecuencia, existe una diferencia de presión durante el funcionamiento del sistema 28 de refrigerador en el que la presión de funcionamiento de la sección 30 de condensador puede ser mayor que la presión de funcionamiento de la sección 34 de evaporador.

Con referencia a las figuras 2 a 9, se representa una realización de un conjunto 36 de compresor centrífugo de acuerdo con la invención. El conjunto 36 de compresor centrífugo incluye una sección aerodinámica 42 que tiene un eje central 44, un alojamiento 46 de motor, un compartimento 48 de electrónica y un recinto 50 de terminal de potencia entrante. El alojamiento 46 de motor define generalmente una cámara interior 49 para la contención y el montaje de diversos componentes del conjunto 36 de compresor. El acoplamiento entre el alojamiento 46 de motor y la sección aerodinámica 42 puede ser provisto mediante una interfaz embridada 51.

Sección aerodinámica

En una realización, la sección aerodinámica 42 de un compresor 43 de etapa única, mejor representada en las figuras 7 a 9, contiene una etapa 52 de compresor centrífugo que incluye una pieza 56 de inserción de voluta y un impulsor 80 dentro de un alojamiento 57 de impulsor. La etapa 52 de compresor centrífugo puede estar alojada en un alojamiento 54 de descarga y en comunicación fluida con un alojamiento 58 de entrada.

El alojamiento 58 de entrada puede proporcionar una transición 60 de entrada entre un conducto 59 de entrada y una entrada 62 a la etapa 52 de compresor. El conducto 59 de entrada puede configurarse para montarse en la transición 50 de entrada con una brida 59a. El alojamiento 58 de entrada también puede proporcionar una estructura para soportar un conjunto 64 de álabes de guía de entrada y sirve para mantener la pieza 56 de inserción de voluta contra el alojamiento 54 de descarga.

En algunas realizaciones, la pieza 56 de inserción de voluta y el alojamiento 54 de descarga cooperan para formar un difusor 66 y una voluta 68. El alojamiento 54 de descarga también puede estar equipado con una transición 70 de salida en comunicación fluida con la voluta 68. La transición 70 de salida puede interconectarse con una boquilla 72 de descarga que transita entre el alojamiento 54 de descarga y un conducto aguas abajo 73 (figuras 3 a 5) que conduce a la sección 30 de condensador. Un sistema 74 de difusión aguas abajo puede estar acoplado operativamente con el impulsor 80, y puede comprender el difusor 66, la voluta 68, la transición 70 y la boquilla 72 de descarga. La sección aerodinámica 42 también puede incluir una junta 76 de árbol y una junta 77 de argolla de impulsor. La junta 76 de árbol puede mantenerse en su lugar mediante un resorte ondulado 78 y un anillo 79 de retención.

La boquilla 72 de descarga puede estar hecha de un acero fundido soldable tal como WCB de calidad ASTM A216. Los diversos alojamientos 54, 56, 57 y 58 pueden estar fabricados de acero, o de aleaciones de aluminio de alta resistencia o aleaciones ligeras para reducir el peso del conjunto 36 de compresor.

Funcionalmente, la interfaz embridada 51 permite que el alojamiento 54 de descarga se monte en el alojamiento 46 de motor con la boquilla 72 de descarga selectivamente posicionada con relación al eje central 44. En algunos casos, el posicionamiento selectivo de la boquilla 72 de descarga permite que la sección aerodinámica 42 se conecte a la sección 30 de condensador sin recurrir a longitudes excesivas del conducto aguas abajo 73 o un número excesivo de vueltas en el conducto aguas abajo 73. La reducción en la longitud y el número de vueltas en el conducto aguas abajo 73 generalmente da como resultado la reducción de las pérdidas de carga correspondientes en el sistema 28 de refrigerador, promoviendo así un funcionamiento más eficiente de la energía. El posicionamiento selectivo también permite que ciertas realizaciones de la invención se apliquen más fácilmente a una variedad de diseños de evaporador y condensador que son más adecuados para ángulos de descarga únicos.

Impulsor

Para diversas realizaciones, se puede disponer un impulsor 80 entre la entrada 62 y el difusor 66 en el alojamiento 57 de impulsor, como se representa en las figuras 7 y 8. El impulsor 80 puede incluir un orificio pasante 81 que permite que el impulsor 80 se monte en un árbol de accionamiento tal como un árbol 82 de motor. El árbol 82 de motor se caracteriza por un eje 89 de rotación. Se puede utilizar un perno 84 de amarre para acoplar el impulsor 80 al árbol 82 de motor. El perno 84 de amarre se aplica con una rosca 83, y la tapa del perno 84 de amarre se asienta dentro de un contrataladro delantero 85 en la nariz del impulsor 80, como se representa en la figura 9. La rosca 83 y el perno 84 de amarre pueden ser de rosca izquierda o derecha. El impulsor 80 también puede formarse para acoplarse con una porción sobresaliente 86 que se extiende desde una porción 87 de resalte del árbol 82 de motor. La combinación de una arandela plana 90 y una arandela o arandelas 92 de resorte se puede implementar en el contrataladro delantero 85 entre el perno 84 de amarre y el impulsor 80. Un cono 88 de nariz puede colocarse sobre el perno 84 de amarre y el contrataladro delantero 85.

Las realizaciones representadas en las figuras 1 a 9 están configurados con el impulsor 80 acoplado directamente con el árbol 82 de motor, anulando así la necesidad de un árbol de accionamiento separado y engranaje y estructura acompañantes. En esta realización, el eje 89 de rotación del árbol 82 de motor define el eje central 44 de la sección aerodinámica 42. Los expertos en la técnica reconocerán que ciertos aspectos de la divulgación se pueden aplicar a configuraciones que incluyen un árbol de accionamiento que está separado y es distinto del árbol 82 de motor.

Haciendo referencia a la figura 11, el árbol 82 de motor se representa con una porción sobresaliente 86 que comprende una montura de tipo polígono 96 en una realización de la invención. La montura de tipo polígono 96 se llama así por su corte transversal poligonal. Se pueden utilizar otras disposiciones de montaje de impulsor, que incluyen, pero no se limitan a, una montura curva o una montura de diente en v/estriada.

Volviendo a las figuras 9 y 11, la porción sobresaliente 86 del árbol 82 de motor sirve para alinear el impulsor 80 con el eje central 44 en una realización. Las arandelas 92 de resorte pueden ayudar a mantener el perno 84 de amarre en tensión durante el funcionamiento. Además, la elección de una rosca izquierda o derecha para la rosca 83 y el perno 84 de amarre también puede ayudar a mantener el perno 84 de amarre apretado en las roscas de la rosca 83, dependiendo de la dirección de rotación del árbol 82 de motor. El cono 88 de nariz puede formarse con una superficie contorneada para reducir la resistencia aerodinámica a medida que el refrigerante gaseoso 94 entra en el impulsor 80. Para los compresores de múltiples etapas, el cono 88 de nariz puede utilizarse solo en la primera etapa o en la etapa de entrada (figura 10).

La formación del difusor 66 y la voluta 68 mediante la cooperación de la pieza 56 de inserción de voluta con el alojamiento 54 de descarga puede proporcionar una reducción en el número de componentes mientras que permite la flexibilidad aerodinámica. La disposición permite cambios en los componentes aerodinámicos cambiando solo la pieza 56 de inserción de voluta (por ejemplo, para cambiar el difusor 66 de una configuración sin álabes a una de álabes, o cambiando las características de paso de la voluta 68), y también puede ser adecuado para formar el pasaje de retorno entre la primera y la segunda etapa en una sección aerodinámica de múltiples etapas. Por lo tanto, la boquilla 72 de descarga y el alojamiento 70 de descarga pueden permanecer unidos al refrigerador durante el mantenimiento de los componentes aerodinámicos.

El montaje de tipo polígono 96 resuelve los problemas asociados con la eliminación, la ubicación axial, la alineación rotacional (es decir, "descentramiento") y el equilibrio del impulsor 80 y la junta 77 de argolla. El montaje de tipo polígono 96 no necesita ser ahusado, permitiendo así que el impulsor descanse contra un resalte 87 en el árbol 82 de motor. La forma de tipo polígono puede transmitir el par de torsión desde el árbol 82 de motor al impulsor 80 con una tensión de material reducida en comparación con las estructuras con llave.

En funcionamiento, la sección aerodinámica 42 transfiere el momento angular desde el impulsor 80 a un refrigerante gaseoso 94 (figura 7) que entra desde la sección 34 de evaporador. La energía cinética impartida por el impulsor 80 al refrigerante gaseoso 94 puede transformarse en una presión estática mayor en el sistema 74 de difusión aguas abajo. El aumento total de la presión en el sistema se genera típicamente en el impulsor 80. Aproximadamente dos tercios del aumento de la presión estática se generan típicamente dentro del mismo impulsor 80, generándose el aumento de presión estática restante en el sistema 74 de difusión aguas abajo.

La boquilla 72 de descarga permite una mayor difusión del refrigerante gaseoso 94 antes de entrar en la sección 30 de condensador, reduciendo así la caída de presión total en la sección de condensador y reduciendo los niveles de presión sonora que irradian desde el compresor. En general, se realiza una mayor difusión (es decir, recuperación de la presión o aumento de la presión estática) aumentando la longitud total y el diámetro de salida de la boquilla 72 de descarga. El uso de materiales de colada soldables permite que el conducto aguas abajo 73 se suelde a la boquilla 72 de descarga para la instalación de una válvula de retención (no representada) para evitar el flujo inverso si se desea. Otros materiales compatibles con soldadura también pueden ser utilizados para este propósito. Alternativamente, la conexión entre la boquilla 72 de descarga y el conducto aguas abajo 73 puede ser una interfaz embridada (no representada).

<u>Configuración de múltiples etapas</u>

Haciendo referencia a la figura 10, se representa en una realización de la invención una sección aerodinámica 42a de múltiples etapas para su uso en un compresor de múltiples etapas. Un compresor de múltiples etapas se caracteriza por tener más de un impulsor, representado en la figura 10 como un primer impulsor 80a y un segundo impulsor 80b. En la realización representada, el primer impulsor 80a está alojado en un primer alojamiento 57a de impulsor que está soportado por una pieza 98 de inserción de espaciador, definiendo todos una primea etapa 52a. Una segunda etapa 52b de la figura 10 está definida por el segundo impulsor 80b, un segundo alojamiento 57b de impulsor y la pieza 56 de inserción de voluta en la realización representada. Las etapas primera y segunda 52a y 52b pueden estar separadas por un canal 99 de cruce. El canal 100 de cruce puede estar equipado con álabes de desenrrollamiento (no representadas).

Las etapas primera y segunda 52a y 52b y el canal 99 de cruce pueden alojarse en un alojamiento 54 de descarga. El alojamiento 58 de entrada puede estar posicionado aguas arriba de la primera etapa 52a. Se puede añadir un carrete o extensión 55 al alojamiento 54 de descarga, por ejemplo, en una disposición embridada para acomodar tanto la primera como la segunda etapa 52a y 52b. En una realización alternativa, el alojamiento 54 de descarga y la extensión 55 pueden ser un alojamiento común sin bridas (no representado) lo suficientemente largo para acomodar tanto la primera como la segunda etapa 52a y 52b.

Los impulsores primero y segundo 80a y 80b son accionados por un árbol común 100. El árbol común 100 se puede unir al árbol 82 de motor en una variedad de formas. Por ejemplo, el árbol común 100 puede ser de una construcción hueca de pared gruesa y el perno 84 de amarre (figura 9) alargado para pasar a través de los impulsores primero y segundo 80a y 80b y del árbol común 100.

En otra realización, el perno 84 de amarre puede tener la misma longitud que en la configuración de etapa única de la figura 9, pero el segundo impulsor está adaptado para aplicarse de manera roscada a un extremo aguas abajo 100b del árbol común 100. La última realización puede ser útil donde la longitud axial de la sección aerodinámica 42a de múltiples etapas es prohibitivamente larga para un perno 84 de amarre de longitud extendida (por ejemplo, cuando el número de etapas excede dos).

En otra realización (no representada), los impulsores aguas abajo (por ejemplo, 80b) están configurados con formas de llave para impartir el par de torsión a los impulsores. El árbol común 100 se extiende al impulsor aguas arriba (por ejemplo, 80a) que puede unirse con el perno 84 de amarre. El espacio entre los impulsores se puede mantener con tubos cilíndricos huecos que se deslizan sobre el árbol común 100.

En otra realización más (no representada), se puede utilizar una única configuración de montaje de tipo polígono suficientemente larga para soportar y separar múltiples impulsores (por ejemplo, 80a y 80b). Los impulsores podrían deslizarse sobre la forma de tipo polígono, de nuevo separados por unos espaciadores cilíndricos huecos.

La invención puede configurarse con más de dos etapas. Las etapas intermedias pueden comprender una pieza de inserción de espaciador similar a la pieza 98 de inserción de separador y un impulsor similar al segundo impulsor 80b. En algunas realizaciones, solo la etapa final de un compresor de múltiples etapas necesita estar equipada con una pieza 56 de inserción de voluta.

Funcionalmente, la construcción modular del conjunto 36 de compresor centrífugo permite que la sección aerodinámica 42 del compresor 43 de etapa única (figura 8) se remplace por la sección aerodinámica 42a de múltiples etapas según sea necesario. La construcción modular permite al operador actualizar la unidad sin reemplazar el tren de accionamiento (explicado más adelante) u otros componentes que pueden ser compartidos por las dos configuraciones (por ejemplo, el alojamiento 58 de entrada, el conjunto de álabes de guía de entrada (discutido más adelante), la pieza 56 de inserción de voluta, y la boquilla 72 de descarga). La construcción modular también puede simplificar el inventario de piezas fabricado por los fabricantes de refrigeradores y retenido por los proveedores. Múltiples carretes tales como la extensión 55 (figura 10) permiten la acumulación del alojamiento 54 de descarga a cualquier longitud que se requiera sin necesidad de reemplazar el alojamiento 54 utilizado en la configuración de etapa única (figura 8).

En funcionamiento, el primer impulsor 80a imparte típicamente un componente de velocidad tangencial en el refrigerante gaseoso 94 cuando el refrigerante gaseoso 94 entra en el canal 99 de cruce. Los álabes de desenrollamiento (no representados) pueden diseñarse para eliminar el componente de velocidad tangencial a medida que el refrigerante gaseoso 94 pasa a través del canal 99 de cruce, enderezando así el flujo cuando entra en la segunda etapa 52b.

Álabes de guía de entrada

Haciendo referencia a la figura 12, el conjunto 64 de álabes de guía de entrada y un sistema 101 de actuación para actuar el conjunto 64 de álabes de guía de entrada se ilustra en una realización de la invención. El conjunto 64 de álabes de guía de entrada puede incluir una pluralidad de subconjuntos 102 de álabes de guía, cada uno montado en la transición 60 de entrada. (La transición 60 de entrada se ha eliminado de la figura 12 para mayor claridad). Cada subconjunto 102 de álabes de guía puede incluir una porción 102a de perfil aerodinámico, una porción 102b

de pedestal configurada para acoplarse operativamente con la transición 60 de entrada, y una porción 104 de engranaje. La porción 104 de engranaje y el pedestal 102b pueden coincidir a través de una disposición de ranura 103 de llave. El subconjunto 102 de álabes de guía puede configurarse para girar alrededor de un eje 106 de rotación que intersecta sustancialmente el eje central 44. En una realización, el pedestal 102b se puede retener en una ubicación radial dada con respecto a la porción 104 de engranaje con un anillo 105 de clip.

En la figura 12, la realización representada incluye una pluralidad de tales subconjuntos 102 de álabes de guía y porciones 104 de engranaje, teniendo cada uno su propio eje 106 de rotación. Los múltiples ejes 106 de rotación están ubicados sustancialmente en un plano 108 de control. Los subconjuntos 102 de álabes de guía pueden estar dimensionados para que no lleguen al eje central 44, definiendo así un agujero o diámetro 107 de separación en el centro del conjunto 64 de álabes de guía de entrada. El diámetro 107 de separación puede permitir un flujo mínimo o de umbral para evitar la pérdida durante la carga ligera o la puesta en marcha. El diámetro 107 de separación también permite el acceso al perno 84 de amarre.

Las porciones 104 de engranaje pueden fabricarse a partir de un polímero. El uso de ciertos polímeros, tales como polioxi-metileno (POM), también conocido como poliacetal, paraformaldehído, resina de acetal, poliformaldehído y politrioxano (por ejemplo, DELRIN ®, fabricado por DuPont, Inc. De Wilmington, Delaware), permite que las porciones 104 de engranaje se formen mediante moldeo por inyección. Los subconjuntos 102 de álabes de guía pueden moldearse o mecanizarse a partir de una aleación de latón o silicio de aluminio. La realización de la figura 12 representa una forma de perfil aerodinámico simétrico de la serie 0009 del Comité Asesor Nacional de Aeronáutica (NACA, por sus siglas en inglés “National Advisory Committee for Aeronautics”) para los subconjuntos 102 de álabe de guía. Otros materiales y configuraciones de álabe de guía pueden ser adecuados, dependiendo de los detalles de la aplicación.

En una realización, un único engranaje delantero 110 en forma de anillo, que es sustancialmente paralelo y está ubicado en el lado aguas abajo del plano 108 de control, es aplicado en malla con las porciones 104 de engranaje. El engranaje delantero 110 en forma de anillo también puede fabricarse a partir de un material polimérico de alta resistencia, tal como DELRIN u otro material de clase 5, en cuyo caso el engranaje delantero en forma de anillo puede moldearse por inyección.

Las porciones 104 de engranaje pueden fabricarse a partir de materiales autolubricantes que son lo suficientemente duraderos para proporcionar una vida útil aceptable y son resistentes al refrigerante o refrigerantes especificados para su uso con el conjunto 28 de refrigerador. Tales materiales incluyen, pero no se limitan a, acetales (tales como POM), tereftalato de polibutileno (PBT), nailon, sulfuro de polifenileno (PPS), polímero de cristal líquido (LCP) y polieteretercetona (PEEK). Alternativamente, se pueden utilizar núcleos de metal que están parcial o totalmente recubiertos de un material autolubricante en las superficies exteriores o en las superficies de contacto del engranaje.

El acetal posee estabilidad dimensional, resistencia a la fatiga y capacidad para resistir muchos productos químicos en un amplio rango de temperaturas. El acetal es altamente lubricante y se mueve suavemente sobre metales y plásticos. El PBT es un poliéster adecuado para la aplicación en conjuntos de engranajes mixtos que tienen engranajes hechos de otros plásticos y metales y se destaca por el moldeo con superficies lisas. Los nylons generalmente se destacan por su dureza, resistencia al desgaste y resistencia de fricción baja con otros plásticos y metales. El PPS generalmente es rígido y dimensionalmente estable con alta resistencia química y a la fatiga. Los LCP se caracterizan por su estabilidad dimensional hasta 220 ºC y resistencia a la mayoría de los productos químicos.

Se pueden utilizar fibras y rellenos para mejorar las propiedades de la resina de engranaje. Por ejemplo, el copolímero de acetal reforzado con 25% de fibras cortas de vidrio de 2 mm puede duplicar la resistencia a la tracción de la resina base y triplicar su módulo de flexión. La adición de fibras de vidrio de más de 10 mm puede mejorar aún más la resistencia del polímero, la rigidez, la resistencia al deslizamiento y al impacto, la estabilidad dimensional y la dureza.

Un anillo 112 de tope de álabe de guía que tiene una cara festoneada 113 está ubicado en el lado aguas arriba de las partes 104 de engranaje en una realización de la invención, con la cara festoneada 113 orientada hacia las porciones 104 de engranaje. Véanse las figuras 12 y 14. El anillo 112 de tope de álabe de guía también puede fabricarse a partir de polioxi- metileno que permite la fabricación mediante moldeo por inyección u otros materiales poliméricos de alta resistencia. La ubicación del engranaje delantero 110 en forma de anillo y el anillo 112 de tope de álabe de guía con respecto al plano 108 de control (es decir, aguas arriba o aguas abajo) es arbitraria y no limitativa.

La realización representada ilustra el engranaje delantero 110 en forma de anillo que tiene una periferia exterior 114, cuya porción está mecanizada como un engranaje 116 de tornillo sin fin para acoplarse con un tornillo sin fin 118. El tornillo sin fin 118 puede accionarse mediante un motor 120 de accionamiento a través de una combinación 122 de engranaje de accionamiento/reducción de velocidad estándar que comprende un engranaje 121 de accionamiento y un engranaje 123 de reducción de velocidad.

Funcionalmente, el conjunto 64 de álabes de guía de entrada se puede utilizar para establecer el ángulo de

enrollado de entrada con o contra la dirección de rotación del impulsor 80. Al variar el ángulo de álabe de guía de entrada, se puede controlar el trabajo, el aumento de presión y el flujo másico de refrigerante a través de la etapa del compresor. El conjunto 64 de álabes de guía de entrada puede proporcionar así un flujo de gas de control o estrangulamiento del refrigerante 94 a través del conjunto 36 de compresor centrífugo cuando funciona en una carga de refrigeración parcial. (Otra técnica implica variar la velocidad de compresor, discutida a continuación, que se puede utilizar en combinación con el conjunto 64 de álabes de guía de entrada para controlar el conjunto 36 de compresor centrífugo).

El uso de materiales auto lubricantes para las porciones 104 de engranaje del conjunto 64 de álabes de guía de entrada también puede diseñarse para trabajar en un entorno de refrigerante sin necesidad de aceite de lubricación.

Haciendo referencia a la figura 13, se muestra una vista en despiece ordenado de una realización de un conjunto 126 de tornillo sin fin para accionar el engranaje 116 de tornillo sin fin. En esta realización, el conjunto 126 de tornillo sin fin comprende un árbol 128, el tornillo sin fin 118, un espaciador largo 129, como espaciador corto 130, y dos cojinetes 131 y 132 dispuestos cerca de los extremos del árbol 128, todos montados en una ménsula 133 de soporte de tornillo sin fin. La ménsula 133 de soporte de tornillo sin fin puede tener sustancialmente forma de U con un primer puerto 134 en alineación axial sustancial con un segundo puerto 135. El primer puerto 134 puede configurarse para aceptar una arandela 136 de resorte, y el segundo puerto 135 configurado para aceptar un clip 137 de retención. El árbol 128 puede estar configurado para aceptar un clip 127 de retención en un extremo y las teclas 138 y 139 de engranaje que se acoplan con el tornillo sin fin 118 y el engranaje 123 de reducción de velocidad, respectivamente.

Los espaciadores 129, 130 se utilizan para colocar el tornillo sin fin 118 en la orientación adecuada dentro de la ménsula 133 de soporte de tornillo sin fin en la realización representada de la figura 13. Los cojinetes 131, 132 pueden proporcionar una rotación libre del árbol 128 que reduce los requisitos de fricción y par de torsión en comparación con los diseños de cojinetes de contacto o rodantes estándar. El conjunto 126 de tornillo sin fin puede mantenerse dentro de la ménsula 133 de soporte de tornillo sin fin mediante la retención opuesta proporcionada por la arandela 136 de resorte y el clip 137 de retención. El clip 127 de retención puede asegurar el engranaje de reducción de velocidad 123 entre el extremo del árbol 128 y la ménsula 133 de soporte de tornillo sin fin. Las teclas 138 y 139 de engranaje pueden funcionar para asegurar rotacionalmente el tornillo sin fin 118 y el engranaje 123 de reducción de velocidad, respectivamente.

Haciendo referencia a la figura 14, un sensor 140 de posición para determinar la posición angular de los subconjuntos 102 de álabes de guía de entrada se ilustra en una realización de la invención. Los sensores de posición adecuados están disponibles comercialmente, tales como el MLX 90316, fabricado por Melexis Microelectronic Integrated Systems de Concord, New Hampshire. En una realización, el sensor 140 de posición funciona con un principio de efecto Hall magnético, en el que un imán 142 está embebido o acoplado de otro modo a la base del subconjunto 102 de álabes de guía, y un sensor de efecto Hall 144 montado en una placa 146 de circuito en estrecha proximidad al imán 142 para detectar la posición del imán 142 alrededor del eje 106 de rotación. La posición angular del subconjunto 102 de álabes de guía puede derivarse de la posición detectada del imán 142. La placa 146 de circuito puede estar soportada por una ménsula 148 montada en el alojamiento 58 de entrada. Se proporciona una descripción del funcionamiento del MLX 90316 en "MLX90316 Rotary Position Sensor IC", 3901090316 Rev. 001 Hoja de datos, 4 de octubre de 2005, que se incorpora en este documento por referencia en el presente documento diferente a cualquier definición expresa de términos específicamente definidos en el mismo.

En funcionamiento, el conjunto 36 de compresor centrífugo se puede controlar posicionando de forma giratoria los subconjuntos 102 de álabes de guía de entrada para obstruir y/o dirigir el flujo en varios grados. El motor 120 de accionamiento hace girar el tornillo sin fin 118 a través de la combinación 122 de engranaje de accionamiento/reducción de velocidad, que acciona el engranaje 116 de tornillo sin fin y hace que el engranaje delantero 110 gire alrededor del eje central 44. La rotación del engranaje delantero 110 en esta realización hace que cada una de las porciones 104 de engranaje gire alrededor del eje 106 de rotación respectivo, girando de este modo el subconjunto 102 de álabes de guía. Con respecto al conjunto 126 de tornillo sin fin, los cojinetes 134 y 136 pueden proporcionar una rotación libre del árbol 128 para requisitos de baja fricción y par de torsión. La cara festoneada 113 del anillo de tope de álabe de guía 112 (figura 12) puede proporcionar un tope mecánico para la rotación de cada una de las porciones 104 de engranaje tanto en la dirección abierta como cerrada, evitando así colisiones dañinas entre los subconjuntos 102 de álabes de guía. Se pueden utilizar otros medios para un tope mecánico, tales como pasadores o protuberancias que se extienden desde el alojamiento 58 de entrada.

El motor 120 de accionamiento puede ser un motor paso a paso bidireccional hermético con un bucle de retroalimentación interno, a partir del cual se puede determinar la posición angular de los subconjuntos 102 de álabe de guía mediante una alineación y calibración adecuadas. El motor 120 de accionamiento puede estar dimensionado para entregar el par de torsión necesario para accionar los subconjuntos 102 de álabes de guía desde una posición totalmente cerrada a una posición totalmente abierta. El motor 120 de accionamiento también puede dimensionarse para manejar cargas impuestas por la fuerza aerodinámica de un refrigerante gaseoso 124 sobre los subconjuntos 102 de álabes de guía durante el funcionamiento. Además, el motor 120 de accionamiento puede configurarse de modo que los subconjuntos 102 de álabes de guía se puedan mantener en una posición giratoria constante y se

evite su deriva durante el funcionamiento.

El conjunto 140 de sensor de posición ofrece una realización alternativa para la determinación de la orientación angular del subconjunto 102 de álabes de guía. La señal de salida del sensor de efecto Hall 144 varía de acuerdo con la posición angular de un imán 142 que puede estar montado en el extremo del subconjunto 102 de álabes de guía de entrada. La placa 146 de circuito puede proporcionar puntos de conexión para cables de señal (no mostrados) y una estructura de montaje para el sensor de efecto Hall 144.

Tren de accionamiento

Haciendo referencia a la figura 15, se muestra una realización del alojamiento 46 de motor que contiene un tren 150 de accionamiento que incluye un motor 152 de imán permanente que tiene un conjunto 154 de estator, un conjunto 156 de rotor montado en un árbol 82 de motor, y cojinetes magnéticos libres de aceite 158 y 160 que suspenden el árbol 82 de motor durante el funcionamiento. El motor 152 de imán permanente puede alimentarse a través de seis conductores 162 conectados al conjunto 154 de estator a través de un conjunto 163 de placa de bus de terminal. Un dispositivo de retroalimentación de posición de rotación tal como un codificador o potenciómetro que detecta la posición del árbol también se puede acoplar al árbol 82 de motor.

El alojamiento 46 de motor y el tren 150 de accionamiento pueden incluir además un alojamiento 161 de extremo, un par de subconjuntos 149a y 149b de portador de cojinete, y un conjunto 151 de cojinete de empuje. El conjunto de cojinete de empuje puede incluir una corredera 151a que se extiende radialmente hacia fuera desde el árbol 82 de motor y dos bobinas 151b y 151c que se encuentran a horcajadas sobre la corredera 151a.

En funcionamiento de la realización representada en la figura 15, las bobinas 151b y 151c del conjunto 150 de cojinete de empuje interactúan magnéticamente con el rodete 151a para asegurar el tren 150 de accionamiento en una posición axial dentro del alojamiento 46 de motor, proporcionando así una fuerza contraria sin fricción para adelantar e invertir fuerzas de empuje que se ejercen sobre el tren 150 de accionamiento. Los subconjuntos 149a y 149b de portador de cojinete pueden proporcionar una estructura para posicionar los cojinetes en la línea central del motor después de instalar el motor. El dispositivo de retroalimentación de posición puede utilizarse para determinar la velocidad de rotación del árbol 82 de motor, así como la posición de rotación en un instante dado, las cuales pueden ser necesarias para el funcionamiento adecuado y el control de un accionamiento de frecuencia variable.

(El funcionamiento de los accionamientos de frecuencia variable se explica a continuación).

Haciendo referencia a la figura 16, el conjunto 163 de placa de bus de terminal se presenta en perspectiva en una realización de la invención. En esta realización, seis terminales rectangulares 159 pasan a través de un material 165 de encapsulado dieléctrico tal como un material epoxi de vidrio. Los terminales 159 se pueden agrupar en dos conjuntos de tres, pasando cada conjunto a través de un encapsulado dieléctrico común. El material 165 de encapsulado proporciona aislamiento eléctrico entre los terminales 159 y la placa 163a de montaje.

Haciendo referencia a la figura 17, un conjunto 163 de placa de bus de terminal se presenta en otra realización de la invención, en el que cada terminal 159 se encapsula individualmente dentro de un paso dieléctrico 167 equipado con un medio tal como una junta tórica o juntas de compresión para sellar el paso dieléctrico 167 para evitar fugas entre el paso dieléctrico 167 y la placa 163a de montaje del refrigerante gaseoso 94 contenido en el alojamiento 46 de motor. Cada terminal 159 y el correspondiente paso dieléctrico 167 forman un conjunto que puede eliminarse individualmente y puede retenerse mediante anillos 157 de retención como se representa en la figura 17, o mediante otras configuraciones disponibles para el experto en la materia, tales como conexiones roscadas o tuercas de bloqueo.

Los terminales 159 en las configuraciones de las figuras 16 y 17 típicamente se fabrican con cobre y pueden variar en altura para facilitar la instalación de cables de alimentación en los terminales. La placa 163a de montaje puede estar construida de aluminio, una aleación de aluminio u otro material estructural adecuado.

Haciendo referencia a la figura 18, se representa un conjunto 156 de rotor en una realización de la invención. El árbol 82 de motor incluye un extremo 164 de accionamiento sobre el cual se puede montar el impulsor 80, y un extremo 166 de no accionamiento que se extiende dentro del alojamiento 46 de motor. El conjunto 156 de rotor se puede caracterizar por un diámetro interno 168 de separación y una longitud total 170 que puede incluir una longitud activa 172 sobre la cual puede depositarse un material magnético permanente 174.

Un conjunto 154 de estator de 6 fases también se representa en la figura 18 en una realización de la invención. En esta realización, el conjunto 154 de estator se describe generalmente como un cilindro hueco 176, con las paredes del cilindro que comprenden una pila 178 de laminación y seis devanados 180 que tienen porciones 181 y 182 de giro de extremo encapsuladas en una colada dieléctrica 183 tal como una resina epoxi de alta temperatura (mejor ilustrada en la figura 18). Un total de seis conductores 162 (cuatro de los cuales se muestran en la figura 18), uno para cada uno de los seis devanados 180, se extienden desde un extremo 186 del cilindro hueco 176 en esta configuración. Puede incluirse un manguito 188 que se extiende sobre la superficie exterior del cilindro hueco 176 y

en contacto íntimo con las periferias radiales exteriores tanto de la pila 178 de laminación como de las coladas dieléctricas 183. El manguito 188 puede estar fabricado de un material no magnético de alta conductividad, tal como aluminio o acero inoxidable. Se pueden posicionar una pluralidad de sensores 190 de temperatura, tales como termopares o termotratadores, para detectar la temperatura del conjunto 154 de estator con terminaciones que se extienden desde el extremo 186 del cilindro hueco 176.

Con referencia a las figuras 19 y 19 A, se ilustra un circuito 192 de refrigeración de rotor en una realización de la invención. El circuito 192 de refrigeración de rotor puede ser una subparte o bifurcación del circuito 40 de derivación de gas (figura 1). El refrigerante gaseoso 94 de la sección 34 de evaporador puede entrar en el circuito 192 de refrigeración de rotor a través de un conducto 194 de entrada formado en el alojamiento 161 de extremo y puede salir a través de un paso 195 de salida formado en el alojamiento 46 de motor. En consecuencia, el circuito 192 de refrigeración de rotor se puede definir como el segmento del circuito 40 de derivación de gas entre el paso 194 de entrada y el paso 195 de salida. El paso 194 de entrada puede estar en comunicación fluida con un paso longitudinal 196 que puede ser un paso central sustancialmente concéntrico con el eje 89 de rotación del árbol 82 de motor. El paso longitudinal 196 puede estar configurado con un extremo abierto 198 en el extremo 166 de no accionamiento del árbol 82 de motor. El paso longitudinal 196 puede pasar a través y más allá de la porción del árbol 82 de motor sobre el cual está montado el conjunto 156 de rotor, y terminar en un extremo cerrado 200.

La representación de la figura 19 representa un espacio 201 entre el extremo 166 de no accionamiento del árbol 82 de motor y el alojamiento 161 de extremo. En esta configuración, el refrigerante gaseoso 94 es arrastrado dentro del extremo abierto 198 del paso longitudinal 196 desde la cámara interior 94. Alternativamente, el árbol puede entrar en contacto con estructuras cooperantes en el alojamiento 161 de extremo, tales como juntas dinámicas, de modo que el refrigerante gaseoso 94 se canaliza directamente en el paso longitudinal 196.

En una realización, una pluralidad de pasos 202 de aspiración radial están en comunicación fluida con el paso longitudinal 196 cerca del extremo cerrado 200, extendiéndose los pasos 202 de aspiración radialmente hacia fuera a través del árbol 82 de motor. Los pasos 202 de aspiración pueden configurarse de modo que el refrigerante gaseoso 94 salga a una región 203 de cavidad entre el conjunto 154 de estator y el árbol 82 de motor. Se puede definir un espacio anular 204 entre el conjunto 154 de estator y el conjunto 156 de rotor para transferir el refrigerante gaseoso 94. Generalmente, el circuito 192 de refrigeración de rotor del circuito 40 de derivación de gas puede disponerse para permitir que el gas de refrigerante circule por los diversos componentes alojados entre el conjunto 156 de rotor y el alojamiento 161 de extremo (por ejemplo, el cojinete magnético 158). El refrigerante gaseoso 94 que sale del paso 195 de salida puede ser retornado a la sección 34 de evaporador. Mediante esta disposición, los componentes del tren 150 de accionamiento están en contacto con el refrigerante de refrigeración en una fase de vapor (refrigerante gaseoso 94) y, bajo ciertas condiciones, con refrigerante en una fase líquida.

Haciendo referencia a la figura 19B, se representa una pluralidad de pasos 206 de flujo que son sustancialmente paralelos pero no concéntricos con el eje 89 de rotación del árbol 82 de motor en otra realización de la invención. Los pasos 206 de flujo pueden reemplazar el único paso longitudinal 196 de la figura 19A como se representa, o puede complementar el paso longitudinal 196. La pluralidad de pasos puede estar en comunicación fluida con los pasos 202 de aspiración.

Los pasos 206 de flujo también pueden incluir estructuras de mejora de transferencia de calor, tales como aletas longitudinales 206a que se extienden a lo largo de la longitud y sobresalen en los pasos 206 de flujo. Otras estructuras de mejora de transferencia de calor de este tipo están disponibles para el experto, que incluyen, pero no se limitan a, aletas en espiral, surcos longitudinales o en espiral formados en las paredes de los pasos 206 de flujo o estructuras escalonadas. Tales estructuras de mejora de transferencia de calor también pueden incorporarse en la configuración de las figuras 19 y 19 A.

Funcionalmente, el uso de la pluralidad de pasos puede mejorar el coeficiente de transferencia de calor global entre el refrigerante gaseoso 94 y el conjunto 156 de rotor aumentando el área de transferencia de calor. Las estructuras de mejora de transferencia de calor también pueden aumentar el área de transferencia de calor, y en ciertas configuraciones pueden actuar para conectar el flujo para mejorar aún más la transferencia de calor. El acoplamiento conductor entre los pasos 206 de flujo y la superficie exterior del árbol 82 de motor también se puede reducir debido a que el espesor radial efectivo de la trayectoria de conducción puede acortarse. Los múltiples pasos pueden proporcionar además al diseñador otro conjunto de parámetros que pueden manipularse u optimizarse para producir regímenes de números de Reynolds favorables que mejoran el coeficiente de transferencia de calor por convección entre el refrigerante gaseoso 94 y las paredes de los pasos 206 de flujo.

Se puede incluir un dispositivo 207 de estrangulamiento en el lado de entrada (como se representa en la figura 19) o en el lado de salida del circuito 192 de refrigeración de rotor del circuito 40 de derivación de gas. El dispositivo 207 de estrangulamiento puede ser de naturaleza pasiva o automática. Un dispositivo pasivo es generalmente uno que no tiene un control de retroalimentación activo, tal como con un dispositivo de orificio fijo o con un dispositivo de orificio variable que utiliza control de bucle abierto. Un dispositivo automático es uno que utiliza un elemento de retroalimentación en el control de bucle cerrado, como un controlador de encendido/apagado o un controlador que utiliza esquemas de control proporcionales/integrales/derivados.

La temperatura del refrigerante gaseoso 94 que sale del circuito 192 de refrigeración de rotor puede ser monitorizada con un elemento de retroalimentación tal como una sonda 205 de detección de temperatura. El elemento de retroalimentación puede utilizarse para el control de bucle cerrado del dispositivo 207 de estrangulamiento. Alternativamente, se pueden utilizar otros elementos de retroalimentación, tales como un medidor de flujo, indicador de flujo de calor o sensor de presión.

Con referencia a las figuras 20 y 20A, una sección 208 de refrigeración de estator del circuito 40 de derivación de líquido para enfriar el conjunto 154 de estator se resalta en una realización de la invención. La sección 208 de refrigeración de estator puede comprender un tubo 209a que define un pasaje en espiral 210 formado en el exterior del manguito 188. La transferencia de calor al refrigerante 216 que fluye en el tubo 209a se puede aumentar con un material intersticial térmicamente conductor 211 entre el tubo 209a y el manguito 188. El tubo 209a se puede fijar al manguito 188 mediante soldadura, soldadura fuerte, sujeción u otros medios conocidos por el experto.

Haciendo referencia a la figura 20B, el pasaje en espiral 210 puede comprender un canal 209b que permite que un refrigerante líquido 216 que fluye dentro haga contacto directo con el manguito 188. El canal 209b se puede fijar al manguito 188 mediante soldadura, soldadura fuerte u otras técnicas conocidas por el experto en la materia que proporcionan un pasaje estanco a las fugas.

Se observa además que la invención no está limitada a una configuración en espiral para la sección 208 de refrigeración de estator. Las camisas de refrigeración cilíndricas convencionales, tales como la línea de productos PANELCOIL proporcionada por Dean Products, Inc. de Lafayette Hill, Pensilvania, se pueden montar en el manguito 188, o incluso suplantar la necesidad de un manguito separado.

El pasaje en espiral 210 puede configurarse para comunicación fluida con un puerto 212 de entrada de refrigeración de líquido a través del cual se suministra el líquido refrigerante 216 y un puerto de salida de refrigeración de líquido 214 a través del cual se devuelve el líquido refrigerante 216. El puerto 212 de entrada de refrigeración de líquido puede estar conectado a la sección 30 de condensador del circuito de refrigeración, y el puerto 214 de salida de refrigeración de líquido puede estar conectado a la sección 34 de evaporador. El líquido refrigerante 216 en esta realización está motivado para pasar desde la sección 30 de condensador a la sección 34 de evaporador (figura 1) debido a la presión operativa más alta de la sección del condensador 30 con respecto a la sección 34 de evaporador.

Se puede incluir un dispositivo de estrangulamiento (no representado) en el lado de entrada o en el lado de salida de la sección 208 de refrigeración de estator. El dispositivo de estrangulamiento puede ser de naturaleza pasiva o automática.

El tren 150 de accionamiento puede ensamblarse desde el extremo 166 de no accionamiento del árbol 82 de motor. Deslizar el conjunto 156 de rotor sobre el extremo 166 de no accionamiento durante el montaje (y no el extremo 164 de accionamiento) puede evitar el daño a los pasos 202 de aspiración radial.

Funcionalmente, el motor 152 de imán permanente puede tener una alta eficiencia en un amplio rango operativo a altas velocidades, y combinar los beneficios de una potencia de salida alta y un factor de potencia mejorado en comparación con los motores de tipo inducción de tamaño comparable. El motor 152 de imán permanente también ocupa un pequeño volumen o huella, proporcionando así una alta densidad de potencia y una alta relación potencia/peso.

Además, el árbol 82 de motor puede servir como un acoplamiento directo entre el motor 152 de imán permanente y el impulsor 80 de la sección aerodinámica 42. Este tipo de disposición se denomina en el presente documento configuración "de accionamiento directo". El acoplamiento directo entre el árbol de motor y el impulsor 80 elimina el engranaje intermedio que presenta ineficiencias de transferencia, requiere mantenimiento y agrega peso a la unidad. Los expertos en la técnica reconocerán que ciertos aspectos de la descripción se pueden aplicar a configuraciones que incluyen un árbol de accionamiento que está separado y es distinto del árbol 82 de motor.

En funcionamiento, la rotación de los pasos 202 de aspiración radial dentro del árbol 82 de motor actúa como un impulsor centrífugo que atrae el refrigerante gaseoso 94 a través del circuito 40 de derivación de gas y enfría el conjunto 154 de estator. En esta realización, el gas que reside en los pasos 202 de aspiración es lanzado radialmente hacia el exterior en la cavidad 203, creando así una presión o succión menor en el extremo cerrado 200 que atrae el refrigerante gaseoso 94 a través del paso 194 de entrada desde la sección 34 de evaporador. El desplazamiento del gas hacia la cavidad 203 también crea una mayor presión en la cavidad 203 que acciona el refrigerante gaseoso 94 a través del espacio anular 204 y el paso 195 de salida, volviendo a la sección 34 de evaporador. La diferencia de presión causada por esta acción centrífuga hace que el refrigerante gaseoso 94 fluya hacia y desde la sección 34 de evaporador.

La refrigeración del conjunto 156 de rotor se puede mejorar en varios aspectos con respecto a los diseños de compresor de refrigeración existentes. El conjunto 156 de rotor se enfría a lo largo de la longitud del diámetro interno

168 de separación interna por conducción térmica directa al árbol 82 de motor refrigerado. Generalmente, la superficie exterior del conjunto 156 de rotor también se enfría mediante la convección forzada provocada por el refrigerante gaseoso 94 que se empuja a través del espacio anular 204.

El dispositivo 207 de estrangulamiento se puede utilizar para controlar el flujo de refrigerante gaseoso 94 y la consiguiente transferencia de calor al mismo. La sonda 205 de detección de temperatura puede utilizarse como un elemento de retroalimentación en el control de la velocidad de flujo del refrigerante gaseoso 94.

El uso del refrigerante gaseoso 94 tiene ciertas ventajas sobre el uso del refrigerante líquido 216 para refrigerar el rotor. Un gas típicamente tiene una viscosidad menor que un líquido, impartiendo así menos fricción o arrastre aerodinámico sobre una superficie en movimiento. El arrastre aerodinámico reduce la eficiencia de la unidad. En las realizaciones divulgadas, el arrastre aerodinámico puede ser especialmente frecuente en el flujo a través del espacio anular 204 donde no solo existe un componente de velocidad axial sino un gran componente de velocidad tangencial debido a la rotación a alta velocidad del conjunto 156 de rotor.

Como se divulga en una realización, el conjunto 154 de estator puede enfriarse mediante el refrigerante líquido 216 que entra en el pasaje en espiral 210 como un líquido. Sin embargo, cuando el refrigerante líquido 216 pasa a través de la sección 208 de refrigeración de estator, una porción del refrigerante puede vaporizarse, creando un escenario de ebullición de dos fases o nucleado y proporcionando una transferencia de calor muy efectiva.

El refrigerante líquido 216 puede ser forzado a través del circuito 40 de derivación de líquido y la sección 208 de refrigeración de estator debido a la diferencia de presión que existe entre la sección 30 de condensador y la sección 34 de evaporador. El dispositivo de estrangulamiento (no representado) reduce o regula de forma pasiva o activa el flujo a través del circuito 40 de derivación de líquido. Los sensores 190 de temperatura pueden utilizarse en un bucle de control de retroalimentación junto con los medios de estrangulamiento.

El manguito 188 se puede fabricar a partir de un material de alta conductividad térmica que difunde térmicamente la transferencia de calor conductor y promueve la refrigeración uniforme de las periferias exteriores de la pila 178 de laminación y las coladas dieléctricas 183. Para la configuración del canal enrollado en espiral 209b, el manguito 188 sirve además como una barrera que evita que el refrigerante líquido 216 penetre en la pila 178 de laminación.

El encapsulado de las porciones 181, 182 de giro de extremo del conjunto 154 de estator dentro de las coladas dieléctricas 183 sirve para conducir el calor desde las porciones 181, 182 de giro de extremo a la sección 208 de refrigeración de estator, reduciendo así los requisitos de carga térmica en el circuito 192 de refrigeración de rotor del circuito 40 de derivación de gas. La colada dieléctrica 183 también puede reducir el potencial de erosión de las porciones 181, 182 de giro de extremo expuestas al flujo del refrigerante gaseoso 94 a través del circuito 192 de refrigeración del rotor.

Cojinetes magnéticos

En diversas realizaciones de la invención, el conjunto 156 de rotor está soportado por cojinetes magnéticos sin fricción 158 y 160 en funcionamiento normal. Los cojinetes 158, 160 son controlados y levitados por controladores de microprocesador y amplificadores de potencia que pueden estar contenidos dentro de un recinto de electrónica 217 en el cuerpo del compresor o ubicados a distancia.

Además, se pueden proporcionar cojinetes 218 y 220 de elemento rodante de "apoyo" para restringir el conjunto de rotación y protegerlo de daños durante un fallo de control catastrófico de los cojinetes magnéticos 158 y 160. En ciertas realizaciones, los cojinetes 218 y 220 de apoyo tienen un diámetro interno que es mayor que el diámetro del árbol 82 de motor. Los cojinetes magnéticos 158 y 160, los cojinetes 218 y 220 de apoyo y el árbol 82 de motor pueden estar dispuestos de modo que el árbol 82 de motor esté sustancialmente centrado dentro del diámetro interno durante el funcionamiento, creando un espacio anular entre el árbol 82 de motor y cada uno de los cojinetes magnéticos 158 y 160. Los espacios permiten que el árbol 82 de motor gire libremente sin entrar en contacto con los cojinetes 218, 220 de apoyo. Mediante esta disposición, los cojinetes 218, 220 de apoyo no entran en contacto con el conjunto 156 de rotor durante el funcionamiento normal.

Accionamiento de frecuencia variable

En referencia a la figura 21, un sistema 248 de accionamiento de frecuencia variable (sistema de VFD) que acciona el motor 153 de imán permanente en una disposición de seis fases se representa esquemáticamente en una realización de la invención. En esta realización, un total de seis cables 250 de potencia transmiten potencia a un par de devanados trifásicos 252a y 252b. Cada conjunto de devanados trifásicos 252a y 252b puede ser alimentado por una sección 254a y 254b de potencia de accionamiento de frecuencia variable (VFD) separada e independiente que puede obtenerse a través de un autotransformador 256 conectado a un suministro 224 de red.

En una configuración de seis fases, el autotransformador 256 puede proporcionar un desplazamiento de fase de 30 grados entre las secciones 254a o 254b de potencia de VFD. El autotransformador 256 también se puede utilizar

para aumentar o disminuir el voltaje de entrada según sea necesario de acuerdo con las demandas del VFD.

La realización de seis fases está representada y descrita en el presente documento, pero la invención no está limitada por ello. Por ejemplo, una única sección de potencia podría proporcionar energía para un motor de imán permanente que tenga un juego de devanados de 3 fases. En esta realización alternativa, el autotransformador 256 no se utiliza para el desplazamiento de fase, sino que se puede utilizar para subir o bajar el voltaje entrante al requerido por la sección 254a y 254b de potencia de VFD.

Las secciones 254a y 254b de potencia de VFD pueden comprender cada una un rectificador 258 de entrada, un filtro 260, un interruptor 262 de corriente y un circuito 264 de dirección, todos conectados a través de un bus 266 de CC como se representa en la figura 21. El rectificador 258 convierte la potencia de CA del autotransformador 256 en una potencia de CC. Los tipos de rectificadores que pueden utilizarse incluyen un puente de diodos, un rectificador controlado por tiristores o una combinación de los mismos. El filtro 260 reduce la ondulación de la potencia de CC rectificada. El interruptor 262 de corriente y el circuito 264 de dirección se combinan para formar un inversor 268.

El inversor 268 convierte la potencia de CC en una potencia de CA trifásica en una frecuencia que corresponde a una velocidad de rotación deseada del motor 153 de imán permanente. La conmutación de las corrientes en el bus 266 de CC se lleva a cabo con transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) utilizando modulación de ancho de impulso (PWM).

En una realización, el inversor 268 se denomina un tipo de "fuente de corriente" en el que la salida al motor 153 de imán permanente es una corriente de CA controlada en lugar de un voltaje de CA controlada. Los accionamientos de fuente actuales se pueden ver en referencias tales como "Introduction to Power Electronics and Drives", Bimal K. Bose, ed. Ch5, 1997, Institute of Electrical and Electronics Engineers, ISBN 0-7803-1061-6, que se incorpora en este documento por referencia, a excepción de cualquier definición expresa de términos específicamente definidos en el mismo.

La electrónica de potencia, los métodos de control y los controles de microprocesador permiten a los usuarios aprovechar los beneficios de un accionamiento de fuente actual con algunos de los inconvenientes. El inversor de fuente de corriente utiliza una frecuencia de conmutación menor en el inversor y un menor tiempo de subida de voltaje (dV/dT), lo que reduce la tensión del motor y mejora la eficiencia general del sistema. El inversor de origen actual también tiene capacidades inherentes de limitación de corriente. Los inversores de fuente de corriente típicamente incluyen inductores grandes en el enlace de CC con el coste y el peso correspondientes. Los métodos de control de corriente pueden ser bastante sofisticados para el control de armónicos en la entrada y la salida.

A continuación se enumeran otras referencias relacionadas con problemas específicos de diseño relacionados con los métodos de control, la eficiencia, el uso con motores de imanes permanentes y la mitigación de armónicos. Todos se incorporan a la presente por referencia, a excepción de cualquier definición expresa de términos específicamente definidos en el mismo.

"A general purpose voltage regulated current-source inverter power supply", Espinoza, J.R.; Joos, G.; Ziogas, P.D.; Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1993. APEC '93. Conference Proceedings 1993., Eighth Annual 7-11 de marzo de 1993 página(s): 778 - 784.

"A low-harmonic electric drive system based on current-source inverter", Yuexin Yin; Wu, A.Y., Industry Applications, IEEE Transactions en el volumen 34, número 1, ene.-feb. 1998 página(s): 227 - 235.

"Voltage control of current source inverters", Colli, V.D.; Cancelliere, P.; Marignetti, F.; Di Stefano, R.; energy Conversion, IEEE Transactions en el volumen 21, número 2, junio 2006 página(s): 451 - 458.

"A current-source-inverter-fed induction motor drive system with reduced losses", Espinoza, J.R.; Joos, G.; Industry Applications, IEEE Transactions en el volumen 34, número 4, julio-agos. 1998 página(s): 796 - 805.

"Implementation of current source inverter for power line conditioning", Williams, S.M.; Hoft, R.G.; Industry Applications, IEEE Transactions en el volumen 27, número 4, julio-agos. 1991 página(s): 773 - 779.

"An integrated three-phase voltage regulated current source inverter topology", Espinoza, J.; Joos, G.; Ziogas, P.; Industrial Electronics, 1993. Conference Proceedings, ISIE'93 - Budapest., IEEE International Symposium el 1-3 de junio de 1993 página(s): 663 - 668.

"Brushless permanent magnet (BPM) motor drive system using load-commutated inverter", Toliyat, H.A.; Sultana, N.; Shet, D.S.; Moreira, J.C.; Power Electronics, IEEE Transactions en el volumen 14, número 5, sept. 1999 página(s): 831 - 837.

"High-efficiency drives using permanent-magnet motors", Slemon, G.R.; Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1993. Proceedings of the IECON '93., International Conference el 15-19 nov. 1993 página(s): 725 -

730 vol.

Una función del interruptor 262 de corriente (también conocido como convertidor reductor, convertidor buck o convertidor de inversión multifase) en diversas realizaciones es mantener el voltaje de bus de CC en el nivel apropiado por encima de la fuerza contraelectromotriz del motor 153 de imán permanente y mantener una fuente de corriente constante para el motor 153 de imán permanente. El interruptor 262 de corriente puede comprender una red de diodos, inductores grandes y dispositivos de conmutación. Los dispositivos de conmutación pueden ser una pluralidad de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) que están dispuestos en paralelo y están controlados en un patrón intercalado o multifásico. Este patrón de control conmuta los IGBT en diferentes puntos en el tiempo, lo que reduce la ondulación en el enlace de CC y suaviza el suministro de corriente.

El circuito 264 de dirección puede incluir una red de dispositivos de conmutación que convierten la energía de CC en una corriente alterna trifásica de 3 fases utilizando un patrón de control PWM. La potencia del respectivo devanado trifásico 252a o 252b del motor 153 de imán permanente puede conmutarse a una velocidad de acuerdo con la velocidad del motor deseada. Este tipo de sección de salida del inversor puede utilizar una frecuencia de conmutación mucho menor en comparación con un accionamiento de fuente de voltaje.

Otra realización de esta invención utiliza un inversor de fuente de voltaje. En este tipo de inversor, el voltaje de CC se mantiene y los IGBT cambian a una velocidad mayor.

Funcionalmente, el sistema 248 de VFD se puede adaptar para proporcionar suficiente par de torsión y velocidad para que el impulsor centrífugo 80 o los impulsores 80a y 80b cumplan los requisitos de funcionamiento del refrigerador. El sistema 248 de VFD puede reducir los armónicos de la línea de potencia y mejorar la eficiencia del tren de accionamiento en comparación con los diseños convencionales. El uso de dos secciones 254a y 254b de potencia de VFD para alimentar devanados independientes en el motor anula la necesidad de coordinar el voltaje o corriente de bus de CC utilizando un transformador de interfase como con los VFD tradicionales de 12 impulsos. La disposición también reduce el calentamiento del motor y las pérdidas de energía.

El sistema 248 de VFD puede estar diseñado para un funcionamiento a alta velocidad para acomodar un rango de combinaciones de tamaño de impulsor y de refrigerante que pueden implementarse en el diseño modular de la invención. Se pueden alcanzar velocidades de rotación superiores a 20000 rpm.

En una realización, el sistema 248 de VFD incluye disipadores de calor que tienen un circuito de derivación de refrigeración (no representado) que acomoda un líquido o un refrigerante gaseoso. El circuito de derivación de refrigeración puede incluir una válvula de control y un elemento de temperatura de retroalimentación del disipador de calor para controlar el disipador de calor a una temperatura deseada (no representada). Los componentes húmedos del disipador de calor se pueden seleccionar por compatibilidad con el refrigerante a utilizar (por ejemplo, refrigerante R-134a y aceite de polioéster). La electrónica en las proximidades de componentes refrigerados activamente puede diseñarse para evitar o contener la humedad de la condensación. Diversas realizaciones pueden utilizar agua como fluido de refrigeración.

Los rectificadores 258 pueden generar armónicos que pueden causar una variedad de males no solo para el equipo de la planta, sino para instalaciones vecinas a través de la red eléctrica que alimenta el suministro 224 de red, particularmente para instalaciones de alta potencia. Los problemas potencialmente causados por los armónicos incluyen sobrecalentamiento del conductor, fallo o ruptura de condensadores, activación espuria de interruptores, sobrecalentamiento de devanados del transformador, así como interferencia con controladores, ordenadores y medidores de servicios públicos en una instalación o en la red eléctrica.

El desplazamiento de fase de 30 grados proporcionado por el autotransformador 256 puede mitigar estos problemas reduciendo los armónicos de la línea de potencia auxiliar y proporcionando una entrada de 12 impulsos a los inversores (por ejemplo, 6 impulsos a cada uno de los dos inversores 268 de la figura 21). La entrada de 12 impulsos puede eliminar los armónicos 5 ° y 7 °. Además, el cambio de fase en la configuración del motor de 6 fases puede reducir el calentamiento del motor y maximizar la eficiencia. Estos métodos reducen los armónicos de potencia y pueden utilizarse con filtros de armónicos adicionales según sea necesario para cumplir con los requisitos IEEE-519.

Suministro de alimentación intermedia

En referencia a la figura 22, un suministro de potencia y un sistema VFD 221 que incluye un suministro 222 de potencia intermedio que acciona los cojinetes magnéticos 158 y 160, un controlador 270 de cojinete magnético y un controlador 272 de VFD se representan en una realización de la invención. En funcionamiento normal, el suministro 222 de potencia intermedio puede ser suministrado por voltajes 274a y 274b de enlace de CC desde los buses 266 de CC de cada VFD 254a y 254b. También se puede derivar una entrada 276 de CC adicional al suministro 222 de potencia intermedio a través de un rectificador 278 desde el suministro 224 de red entrante.
En una realización, el suministro 222 de potencia intermedio incluye un convertidor 280 de conmutación y un banco de transformadores 282 de suministro de potencia de aislamiento para convertir la entrada 276 de CC o el voltaje

274 de enlace de CC intermedio a un voltaje de suministro auxiliar específico. Los cojinetes magnéticos 158 y 160, el controlador 270 de cojinete magnético y el controlador 272 de VFD pueden estar conectados a los transformadores 282 de suministro de potencia de aislamiento apropiados.

Varias realizaciones de la invención también pueden alimentar el suministro 222 de potencia intermedio con voltajes 284a y 284b de fuerza contraelectromotriz proporcionados por la revolución del respectivo devanado trifásico 252a o 252b del motor 153 de imán permanente. Cuando el motor 153 de imán permanente está girando, los voltajes 284a y 284b de fuerza contraelectromotriz pueden ser la única fuente de potencia presente en los buses 266 de CC en el caso de una interrupción de la potencia desde el suministro 224 de red. Los voltajes 284a y 284b de fuerza contraelectromotriz son generalmente proporcionales a la velocidad de rotación del motor 153 de imán permanente.

Funcionalmente, las fuentes redundantes para el suministro 222 de potencia intermedio permiten la activación funcional del conjunto de compresor sin que estén presentes los voltajes 274a y 274b de enlace de CC. Por ejemplo, el suministro de potencia intermedio puede ser fuente a través del rectificador 278 cuando los VFD no están completamente alimentados o cuando no hay presente voltaje de fuerza contraelectromotriz, tal como durante el arranque inicial del sistema o el mantenimiento del sistema. Cuando el motor 153 de PM está girando, los voltajes 284a y 284b de fuerza contraelectromotriz pueden proporcionar una fuente de potencia alternativa al suministro 222 de potencia intermedio. Dicha redundancia proporciona seguridad adicional de suministro no solo para los cojinetes magnéticos 158, 160, sino también para el controlador 270 de cojinete magnético en el caso de que el fallo de los VFD 254a y 254b provoque la pérdida de los voltajes 274a y 274b del enlace de CC.

En funcionamiento normal, los voltajes de CA emitidos por los inversores 268 pueden controlarse para estar justo por encima de los voltajes 284a y 284b de fuerza contraelectromotriz producidos por el motor 153 de imán permanente. La sincronización de fase para la conmutación de los IGBT en los inversores 268 se puede realizar con un dispositivo de retroalimentación de dispositivo de retroalimentación de posición rotacional.

Cuando se pierde el voltaje 224 de suministro de entrada de red, los voltajes 274a y 274b de enlace de CC pueden mantenerse mediante los voltajes 284a y 284b de fuerza contraelectromotriz. La fuerza contraelectromotriz pasa a través de diodos dispuestos en una configuración de "rueda libre" que se aplican en paralelo con los dispositivos de conmutación IGBT. En esta configuración, los diodos de rueda libre actúan como un rectificador para suministrar al bus de CC. La potencia de los cojinetes magnéticos 158, 160 y el controlador 270 de cojinete magnético se puede mantener durante las caídas de tensión y de línea experimentadas por el suministro 224 de red para evitar daños a los cojinetes magnéticos 158, 160.

Los VFD 254a y 254b pueden configurarse para funcionar con una variedad de voltajes estándar de suministro de red (por ejemplo, 380, 400, 415, 440, 460, 480 y 575V) con las variaciones apropiadas (por ejemplo, ± 10%) y frecuencia de línea de 50 ó 60Hz. La acomodación de la variedad de voltajes de entrada puede generar un amplio rango de voltajes 274a, 274b de enlace de CC. La capacidad de funcionar a voltaje y frecuencia reducidos impone una variable adicional en el voltaje 274 de enlace de CC entregado en el suministro 222 de potencia intermedio. En consecuencia, se puede utilizar algún nivel de regulación para suministrar potencia a los cojinetes 158, 160 y los controladores 270 y 272.

En una configuración, el controlador 272 de VFD puede permitir que el sistema 248 de VFD haga girar el motor 152 de imán permanente y comunique el estado del sistema 248 de VFD a otros componentes del sistema de refrigerador.

El sistema 248 de VFD puede configurarse para transmitir y recibir datos de configuración y funcionamiento a través de una red Ethernet local a la instalación de refrigerador. Además, el sistema 248 de VFD puede tener un servidor FTP para cargar actualizaciones de software a través de la red Ethernet y un servidor HTTP para monitorizar y configurar el accionamiento.

Haciendo referencia a la figura 23, el suministro 222 de potencia intermedio puede estar configurado además para proporcionar un "aumento regenerativo" 286 a los voltajes 274a y 274b de enlace de CC. El aumento regenerativo 286 se puede lograr revisando el régimen de conmutación de los IGBT en el inversor de salida del VFD 264. El mantenimiento de los voltajes 274a y 274b de enlace de CC también, a su vez, mantiene el voltaje de salida desde el suministro 222 de potencia intermedio.

El aumento se puede lograr ajustando el patrón de conmutación del inversor para simular un convertidor de "aumento". En este tipo de convertidor de CC a CC, el voltaje de salida excede el voltaje de entrada debido a la disposición del circuito que incluye los inductores de enlace de CC (dispositivo de almacenamiento de energía), diodos e IGBT.

Un efecto de ejemplo del aumento regenerativo 286 se presenta en la figura 23 como un gráfico normalizado del voltaje 274 de enlace de CC y una velocidad 290 de rotación del motor eléctrico 153 de imán permanente. La línea punteada representa un voltaje no aumentado 288 del voltaje 274 de enlace de CC que se produce sin el aumento regenerativo 286. El voltaje no aumentado 288 cae proporcionalmente con la velocidad. La salida del suministro 222

de potencia intermedio puede por lo tanto mantenerse hasta aproximadamente el 5% de la velocidad 290 de rotación nominal del motor 153 de imán permanente.

El voltaje 274 de enlace de CC de la configuración de aumento regenerativo está representada por la línea continua 286. El efecto del aumento regenerativo se puede realizar a velocidades 290 de rotación por debajo de aproximadamente 40% del valor nominal, mientras que el voltaje 274 de enlace de CC se puede mantener constante hasta que la velocidad 290 de rotación cae por debajo de aproximadamente el 2% del valor nominal. Por debajo del 2% de la velocidad 290 de rotación nominal, el voltaje 274 de enlace de CC cae bruscamente, alcanzando una salida de cero a aproximadamente el 1% de la velocidad de rotación nominal.

Por lo tanto, el aumento regenerativo puede configurarse para proporcionar suficiente voltaje 274 de enlace de CC por encima de un umbral que mantiene los controladores 270 y 272 a una velocidad de rotación 290 que es cercana a cero y, dependiendo del voltaje de enlace de CC nominal, también podría proporcionar una potencia o voltaje adecuado por encima de un valor de umbral que mantenga los cojinetes magnéticos 158, 160 hasta la misma velocidad 290 de rotación.

Puede ocurrir algo de pérdida de energía debido a componentes eléctricos no ideales. Por lo tanto, los cojinetes 218, 220 de apoyo pueden soportar el conjunto de rotación si hay una velocidad de rotación residual después de una pérdida anormal del control del cojinete. En condiciones normales de parada, el controlador de cojinete puede hacer que el árbol 82 de motor se detenga por completo antes de bajar el árbol 82 de motor sobre los cojinetes 218, 220 de apoyo.

En las referencias enumeradas a continuación, se encuentran una descripción de aparatos y métodos para conmutar suministros de potencia y variantes tales como convertidores de aumento, convertidores buck y convertidores multifásicos.

Mohan, Ned; Undeland, Tore M., Robbins, William P. (2003). Power Electronics.
Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-42908-2.
Power Electronics. Converters, Applications and Design.

N. Mohan, T.M. Undeland y W.P. Robbins.
John Wiley & Sons ISBN 0-471-58408-8.
Power Electronics. Circuits, Devices and Applications.

M.H.Rashid.
Prentice Hall ISBN 0-13-686619-0.
Principles of Power Electronics.

J.G. Kassakian, M.F. Schlecht y G.C. Verghese.
Addison-Wesley ISBN 0-201-09689-7

Procedimientos de montaje

Los siguientes procedimientos se pueden utilizar para ensamblar varios componentes del conjunto del compresor. Ciertos pasos pueden ser opcionales y no necesarios para lograr el ensamblaje deseado. La secuencia de los pasos también se puede cambiar y, por lo tanto, no es limitativa.

Un procedimiento para ensamblar el conjunto de motor/cojinete en una realización de la invención puede ser el siguiente.

- Elevar la temperatura del alojamiento 46 de motor.

- Insertar el conjunto 154 de estator en el alojamiento 46 de motor.

- Permitir que el alojamiento se enfríe, asegurando el estator al alojamiento de motor.

- Instalar un pasador antirrotación que proporcione una resistencia al cizallamiento adicional entre el alojamiento 46 de motor y el conjunto 154 de estator para la retención del par de torsión.

- Unir el bloque 50 de terminal de motor al alojamiento 46 de motor.

- Asegurar los cables de motor a los terminales con pernos y tuercas.

- Insertar el cojinete magnético radial delantero 158 y el cojinete 220 de apoyo en los portadores de cojinete delantero.

- Conectar la potencia de cojinete y los cables de sensor a los terminales electrónicos.

- Insertar el conjunto de portador en el alojamiento y asegurar con tornillos.

- Insertar el conjunto 150, 156 de rotor/árbol de motor en el cartucho de cojinete delantero con los accesorios necesarios.

- Insertar el cojinete magnético radial 160 de rasgado, el actuador 151b de cojinete de empuje delantero, y los cojinetes 218, 220 de apoyo en los portadores 149b de cojinete trasero.

- Conectar la potencia de cojinete y los cables de sensor a los terminales electrónicos.

- Insertar el conjunto de portador en el alojamiento 46 de motor y asegurar.

- Insertar el rodete 151a de empuje en el árbol de motor.

- Insertar el actuador 151c de cojinete de empuje en el portador de cojinete trasero y asegurar.

- Insertar una junta tórica en la cubierta 161 de extremo de alojamiento de motor.

- Unir la cubierta de extremo de alojamiento de motor al alojamiento.

Se observa que la sección aerodinámica 42 puede diseñarse para servicio con el alojamiento 54 de descarga unido al alojamiento 46 de motor, permitiendo que la boquilla 72 de descarga permanezca en su lugar durante el servicio de la sección aerodinámica 42 y por lo tanto reduciendo el tiempo de inactividad del servicio. Además, el alojamiento 54 de descarga se puede rotar sobre el eje central 44 para proporcionar flexibilidad en el montaje del conjunto 36 de compresor centrífugo. Véase la figura 6.

Un procedimiento para instalar el impulsor 80 en el árbol 82 de motor de acuerdo con la configuración representada en la figura 9 puede ser como sigue:

- Antes de la instalación del impulsor 80, verificar que la junta 76 de árbol haya sido instalada.

- Alinear el árbol 82 de motor con el impulsor 80 y empujar el impulsor sobre el árbol 82 de motor. El impulsor debe descansar contra el resalte 87.

- Instale la arandela plana 90 y dos arandelas elásticas 92 en el contrataladro delantero 85 del impulsor 80.

- Insertar el perno 84 de amarre a través del orificio 81 de impulsor y aplicar de forma roscada el perno 84 de amarre con las roscas ubicadas en la porción sobresaliente 86 del árbol 82 de motor; apretar el perno de amarre de acuerdo con las especificaciones de par de torsión establecidas.

- Insertar el cono 88 de nariz en el contrataladro delantero 85 y apretar de acuerdo con las especificaciones de par de torsión establecidas. El cono de nariz se puede atornillar colocando un pasador a través de los agujeros radiales y mediante giro. Nota: el cono de nariz utiliza una banda de rodadura izquierda.

El montaje del conjunto 36 de compresor centrífugo se puede lograr a través de los siguientes procedimientos:

- Instalar la junta 76 de árbol en el alojamiento 54 de descarga utilizando el resorte ondulado 78 y el anillo 79 de retención.

- Sujetar el alojamiento 54 de descarga al alojamiento 46 de motor.

- Montar el impulsor 80 en el árbol 82 de motor (véase el procedimiento de montaje del impulsor más arriba).

- Insertar la pieza 56 de inserción de voluta en el alojamiento 54 de descarga y asegurar en su lugar con sujetadores.

- Insertar la junta 77 de argolla de impulsor y el resorte ondulado 78 sobre el borde de entrada del alojamiento 57 de impulsor.

- Instalar el conjunto 64 de álabes de guía de entrada en el alojamiento 58 de entrada.

- Alinear, insertar y sujetar el alojamiento 58 de entrada al alojamiento 54 de descarga.

- Verificar el ajuste de la junta 77 de argolla de impulsor rotando el impulsor 80.

El montaje de una sección aerodinámica de múltiples etapas seguiría un método similar y se puede aplicar a un tren de accionamiento casi idéntico con variaciones en la longitud del árbol y las cargas de los cojinetes.

Un procedimiento para ensamblar el conjunto de tornillo sin fin 126 puede ser el siguiente (por favor consulte la figura 13):

- Colocar el tornillo sin fin 118 en el recorte de la ménsula 133 de soporte de tornillo sin fin.

- Insertar el árbol 128 a través de los puertos 134, 135 en el alojamiento de la ménsula 133 de soporte de tornillo sin fin, aplicando el engranaje de tornillo sin fin como se muestra en la figura 13. Alinear la llave de engranaje de tornillo sin fin con la forma de clave de árbol e insertar la llave 139 de engranaje de tornillo sin fin para bloquear el engranaje de tornillo sin fin en el árbol.

- Insertar el espaciador largo 129, el cojinete 131 y la arandela 136 de resorte en el primer puerto 134 en la ménsula de 133 soporte de tornillo sin fin. Asegurar la arandela 136 de resorte dentro del primer puerto 134.

- Deslizar el cojinete 132 sobre el árbol 128 y dentro del segundo puerto 135 e instalar el clip 137 de retención dentro del segundo puerto 135.

- Colocar el espaciador corto 130 en el árbol 128.

- Colocar el engranaje 123 de reducción de velocidad en el árbol 128. Alinear la forma de llave de engranaje con la forma de llave del árbol e instalar la llave 139 de engranaje para fijar rotacionalmente el engranaje 123 de reducción de velocidad con respecto al árbol 128.

- Instalar el clip 127 de retención en el árbol 128.

Un procedimiento para ensamblar el conjunto 64 de álabes de guía de entrada puede ser el siguiente (véase la figura 12):

- Colocar el engranaje delantero 110 sobre el alojamiento 58 de entrada con los dientes orientados hacia fuera del alojamiento.

- Insertar los subconjuntos 102 de álabes de guía en el alojamiento 58 de entrada en la orientación adecuada de los subconjuntos 102 de álabes de guía. Una vez que se insertan los subconjuntos 102 de álabes de guía, rotar los álabes a la posición cerrada.

- Colocar una porción 104 de engranaje en cada subconjunto 102 de álabes de guía, alineando las ranuras 103 de llave en la porción 104 de engranaje y el subconjunto 102 de álabes de guía.

- Colocar una llave (no representada) en la ranura de cada conjunto de engranaje de álabe/dentado.

- Instalar el anillo 105 de clip en cada conjunto 102 de álabes de guía.

- Montar el anillo 112 de tope de álabe de guía en el alojamiento 58 de entrada con la cara festoneada 113 orientada hacia los engranajes dentados 104.

- Sujetar el conjunto 126 de tornillo sin fin al alojamiento 58 de entrada, asegurándose de que haya un ajuste apropiado entre el tornillo sin fin 118 y el engranaje 116 de tornillo sin fin en el engranaje delantero 110.

- Montar el engranaje 121 de accionamiento en el motor 120 de accionamiento.

- Sujetar el motor 120 de accionamiento al conjunto 126 de tornillo sin fin, aplicando el engranaje 121 de motor de accionamiento con el engranaje 123 de reducción de velocidad.

La invención se puede poner en práctica en otras realizaciones no divulgadas en el presente documento. Las referencias a términos relativos tales como superior e inferior, delantero y trasero, izquierdo y derecho, o similares, están destinadas a la conveniencia de la descripción y no están contempladas para limitar la invención, o sus componentes, a ninguna orientación específica. Todas las dimensiones representadas en las figuras pueden variar con un potencial diseño y el uso pretendido de una realización específica de esta invención sin salir del alcance de la misma.

REIVINDICACIONES

1.- Un sistema (28) de refrigerador que comprende:

un conjunto (36) de compresor centrífugo para compresión de un refrigerante gaseoso que incluye un motor de imán permanente, estando alojado dicho motor de imán permanente dentro de un alojamiento (46) de motor, definiendo dicho alojamiento (46) de motor una cámara interior (49), incluyendo dicho motor de imán permanente:

un árbol (82) de motor que es giratorio sobre un eje de rotación,

un conjunto (156) de rotor acoplado operativamente con una porción de dicho árbol (82) de motor, y

caracterizado por al menos dos cojinetes magnéticos (158, 160) acoplados operativamente a dicho árbol (82) de motor, incluyendo dicho árbol (82) de motor al menos un paso longitudinal (196) y al menos un paso (202) de aspiración, extendiéndose dicho al menos un paso longitudinal (196) en paralelo sustancialmente con dicho eje de rotación a través de al menos dicha porción de dicho árbol (82) de motor, estando dicho al menos un paso (202) de aspiración en comunicación fluida con dicha cámara interior (49) y dicho al menos un paso longitudinal (196); y

una sección (34) de evaporador en comunicación fluida con dicho al menos un paso longitudinal (196) para el suministro de dicho refrigerante gaseoso que enfría dicho árbol (82) de motor y dicho conjunto (156) de rotor.

2.- El sistema (28) de refrigerador de la reivindicación 1, que comprende además una sección aerodinámica (42) acoplada operativamente a dicho árbol (82) de motor.

3.- El sistema (28) de refrigerador de la reivindicación 2, en el que dicha sección aerodinámica (42) y dicho árbol (82) de motor están acoplados directamente.

4.- El sistema (28) de refrigerador de la reivindicación 1, en el que dicho motor de imán permanente excede los 140 kilovatios de potencia.

5.- El sistema (28) de refrigerador de la reivindicación 4, en el que dicha velocidad de rotación de dicho motor de imán permanente excede las 11000 revoluciones por minuto.

6.- El sistema (28) de refrigerador de la reivindicación 1, en el que dicho sistema (28) de refrigerador tiene una capacidad de refrigeración que excede los 703 kW (200 toneladas de refrigeración estándar).

7.- Un sistema de refrigerador que comprende un motor de imán permanente y que tiene una capacidad de refrigeración de más de 703 kW (200 toneladas de refrigeración) en condiciones de clasificación de la industria estándar.

8.- El sistema de refrigerador de la reivindicación 7, en el que dicho motor de imán permanente incluye un árbol (82) de motor soportado por cojinetes magnéticos (158, 160), teniendo dicho árbol (82) de motor una velocidad de rotación que excede 11000 revoluciones por minuto.

Fig. 1

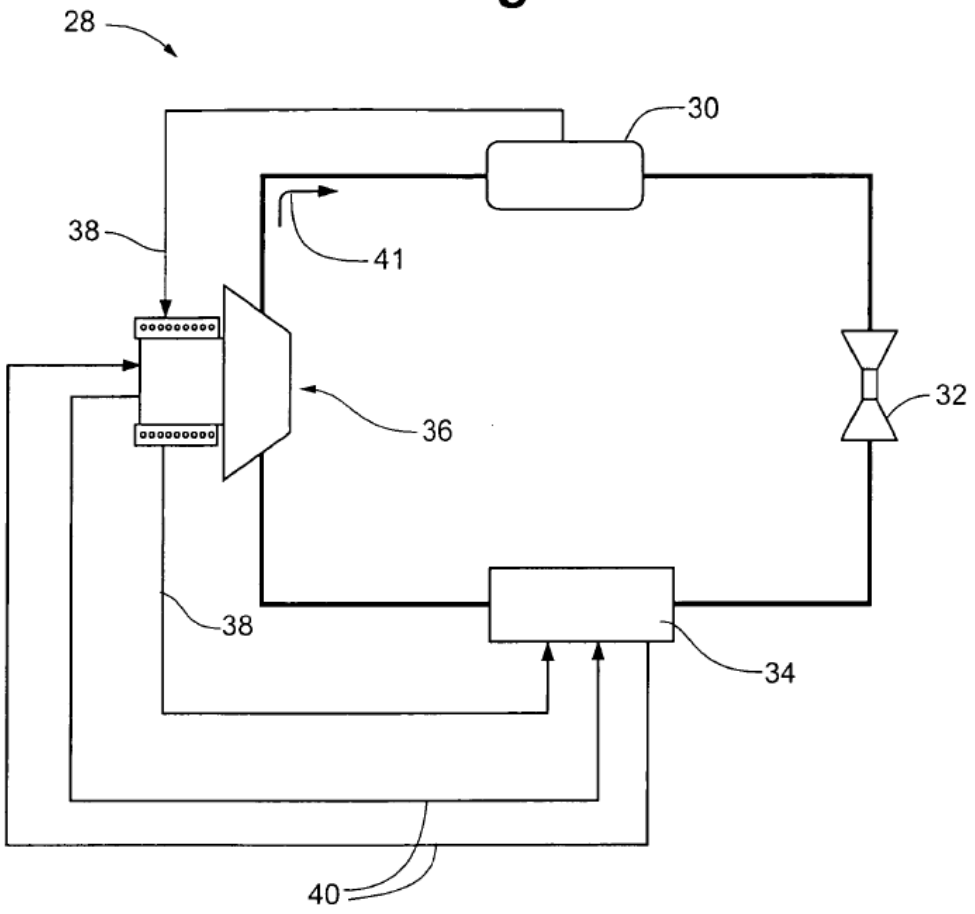


Fig. 2

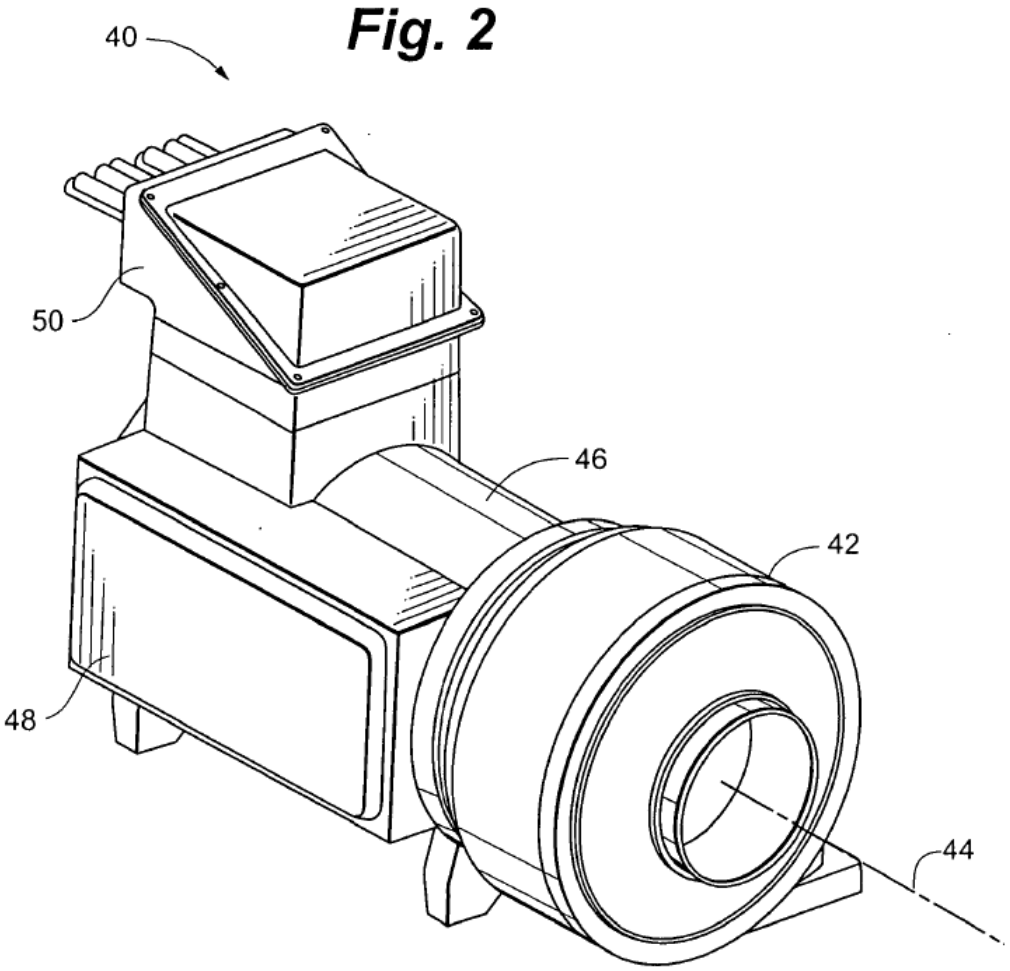


Fig. 3

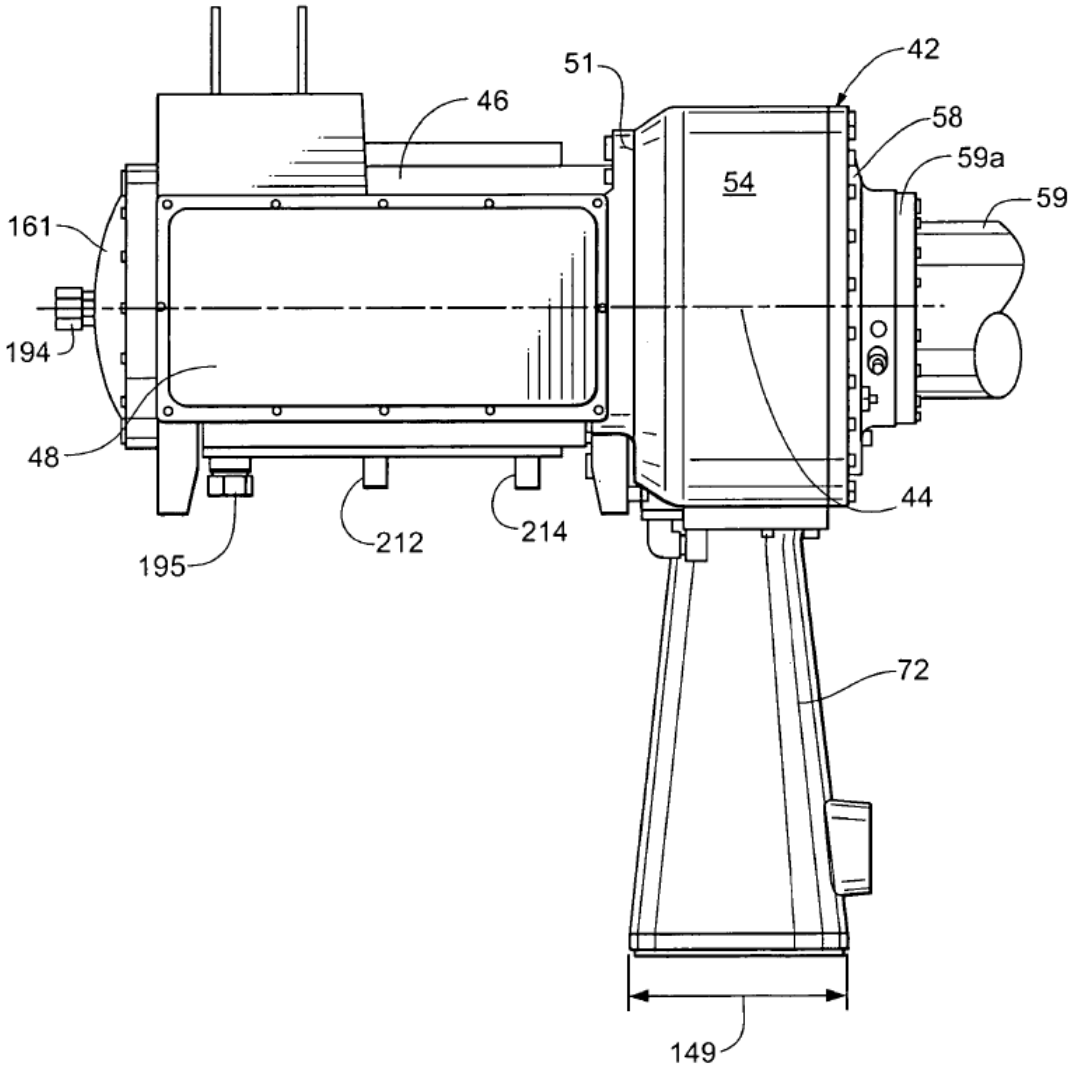


Fig. 4

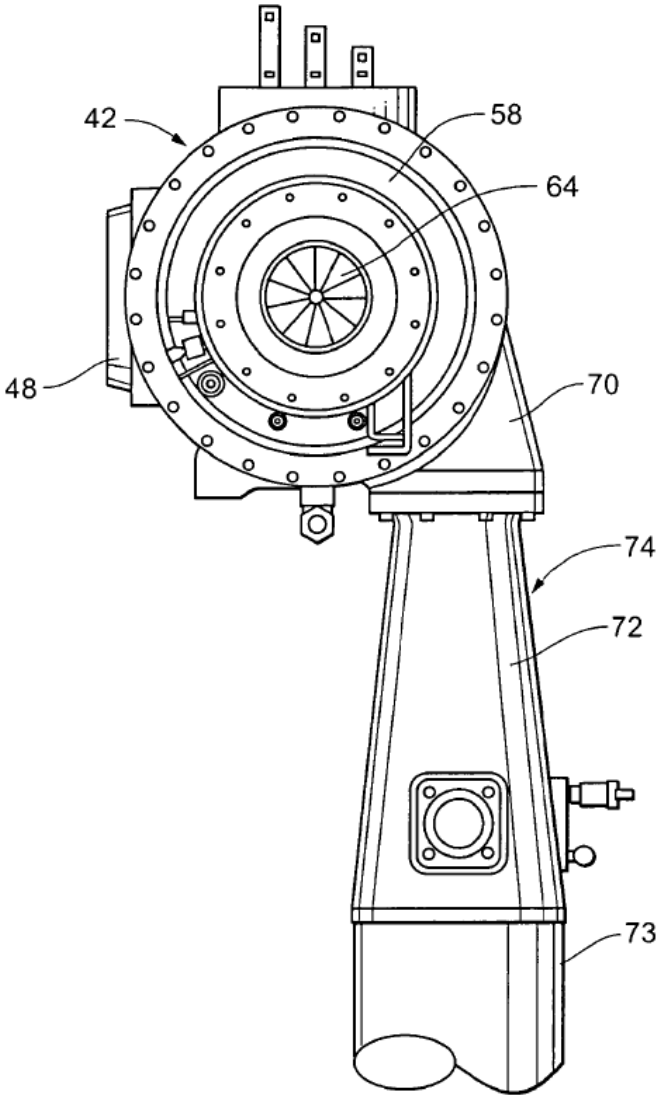


Fig. 5

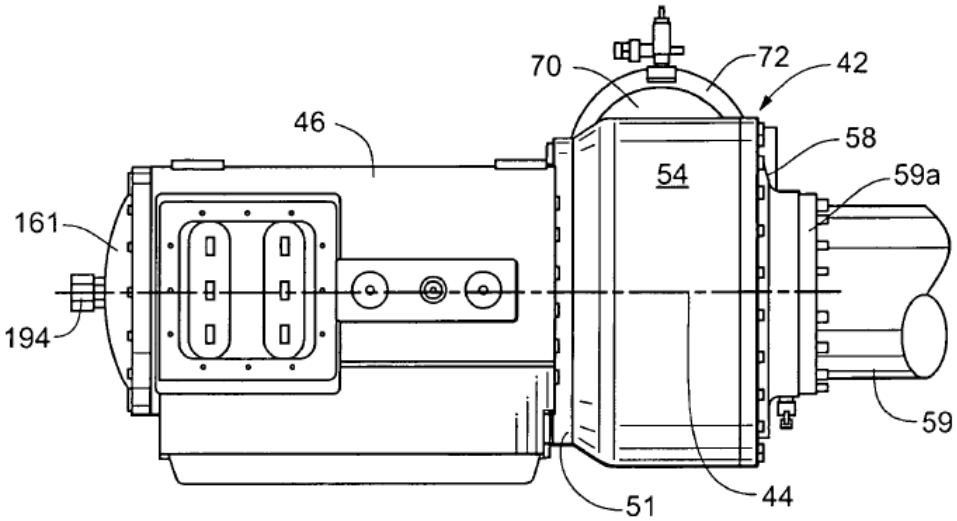


Fig. 6

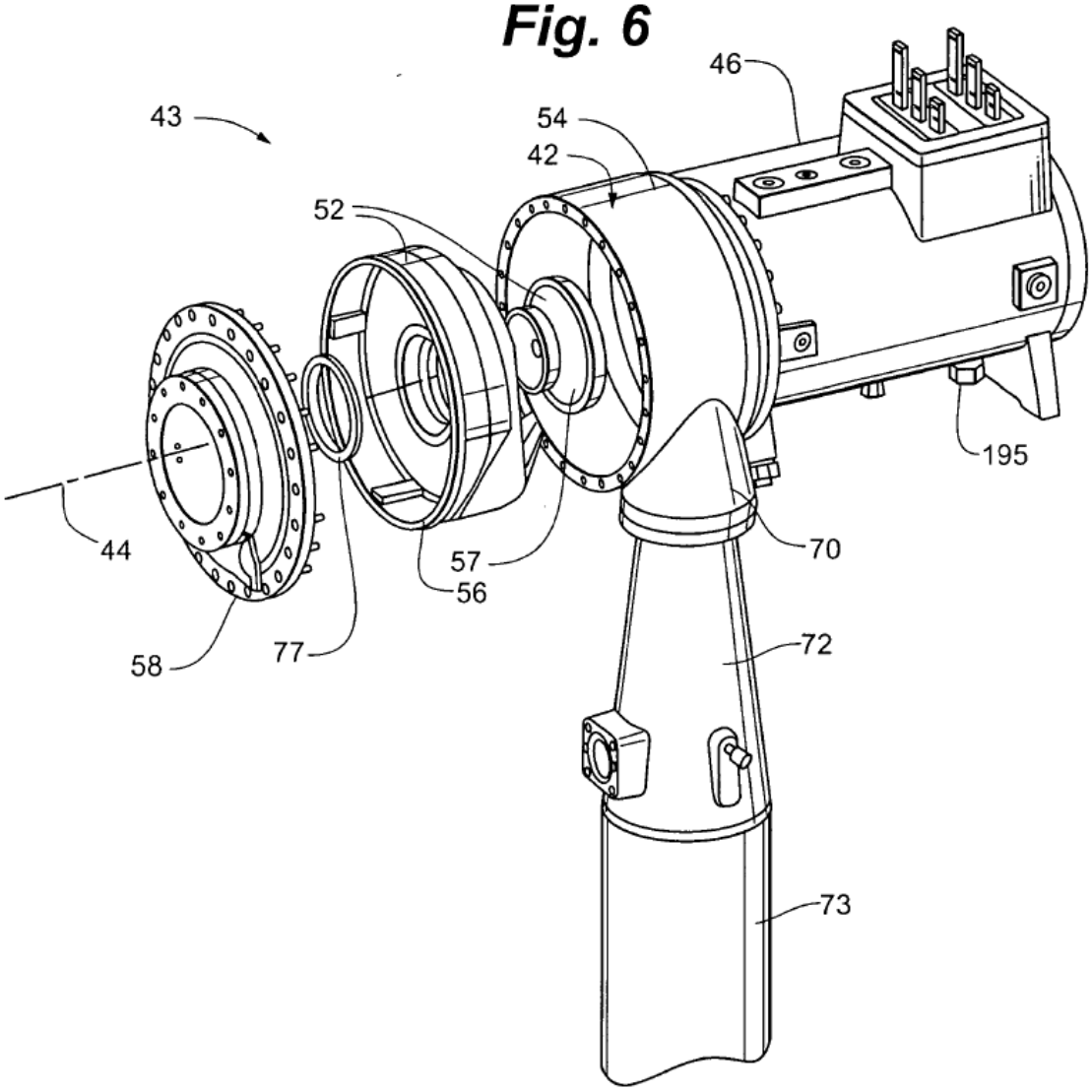


Fig. 7

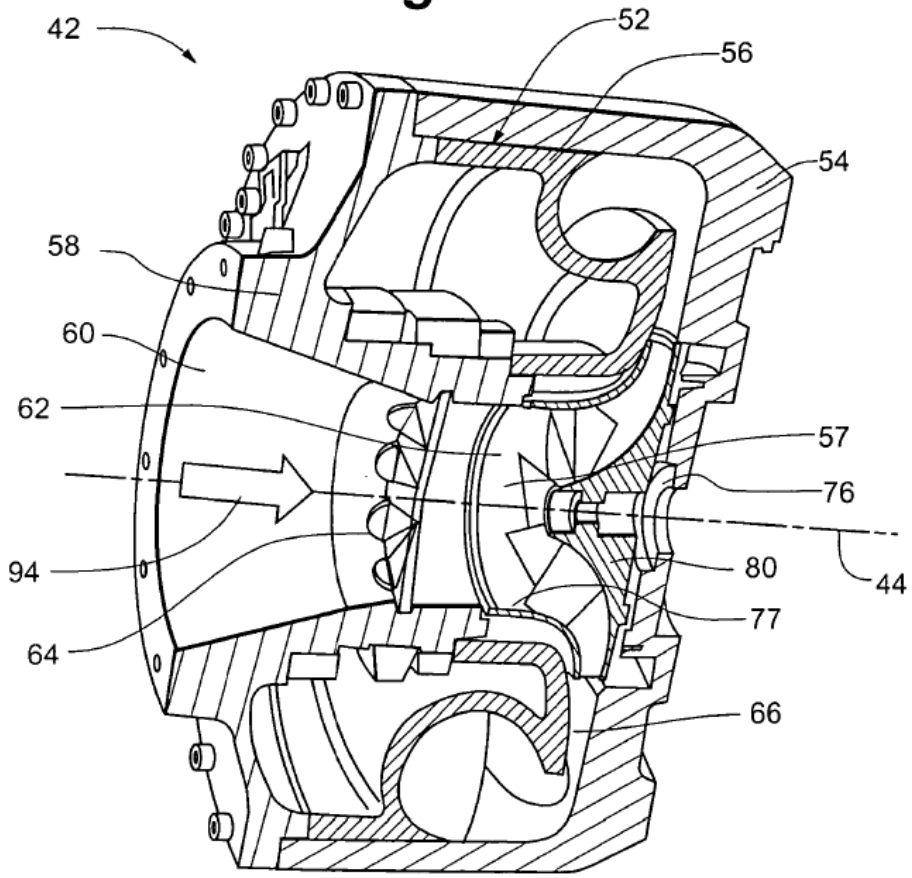


Fig. 8

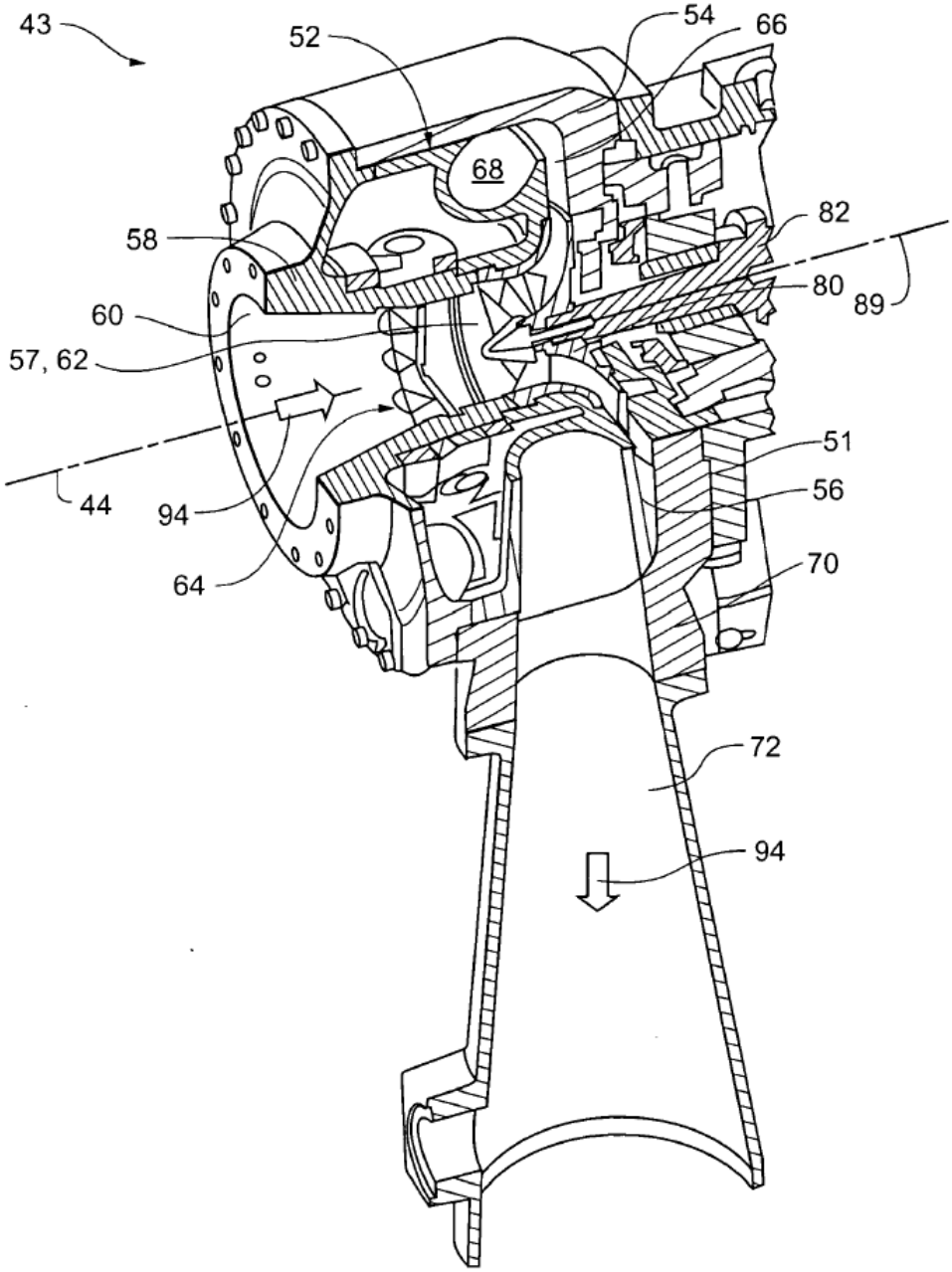


Fig. 9

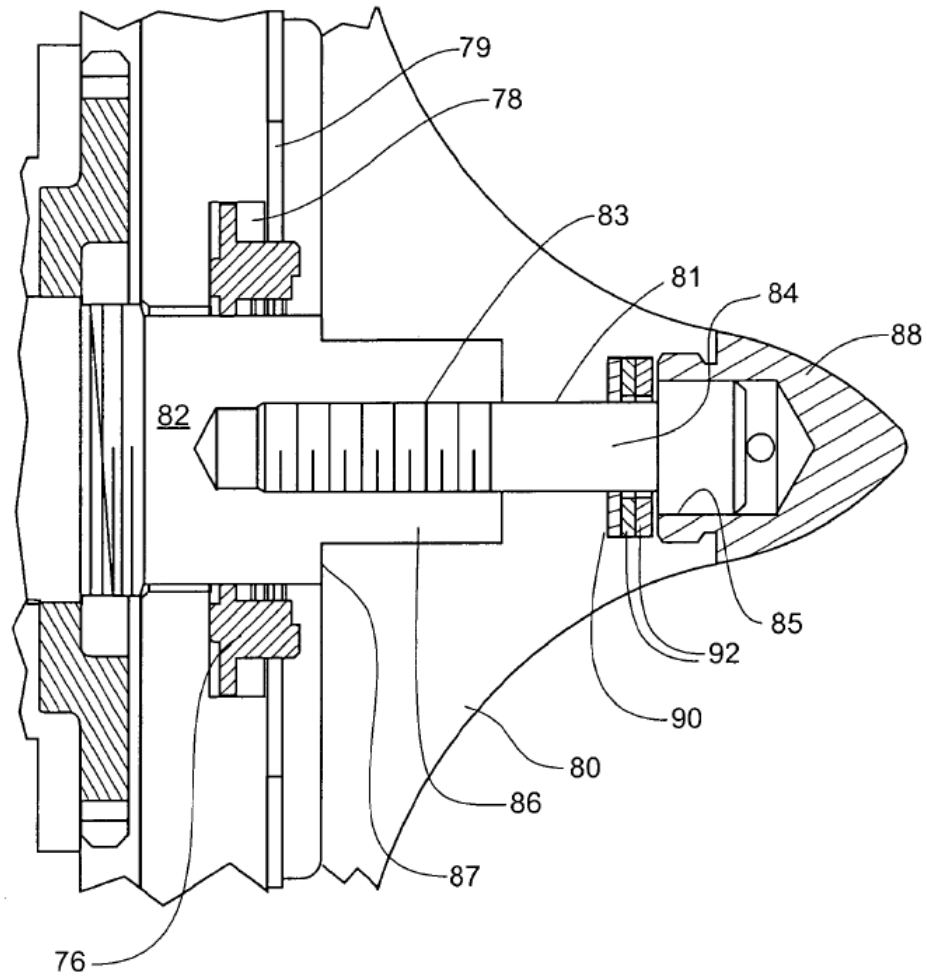


Fig. 10

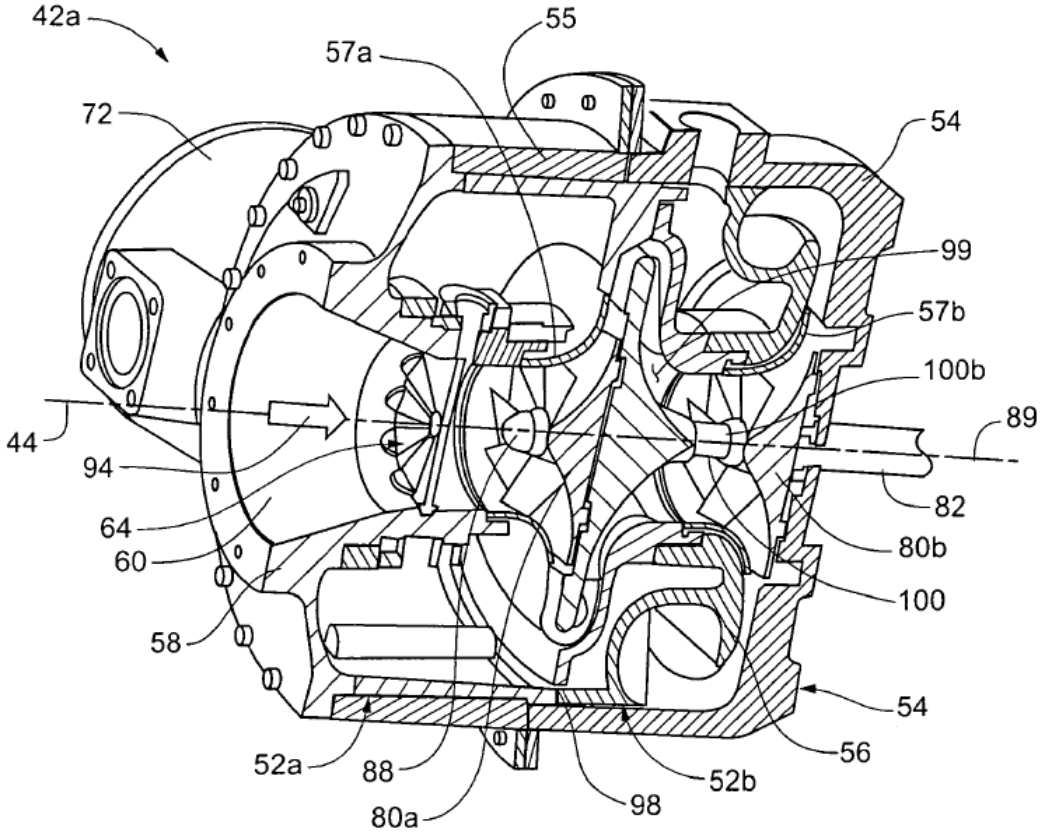

42a
55
57a
72
54
99
57b
100b
89
44
94
82
64
80b
60
100
58
54
56
52a
88
52b
98
80a

Fig. 11

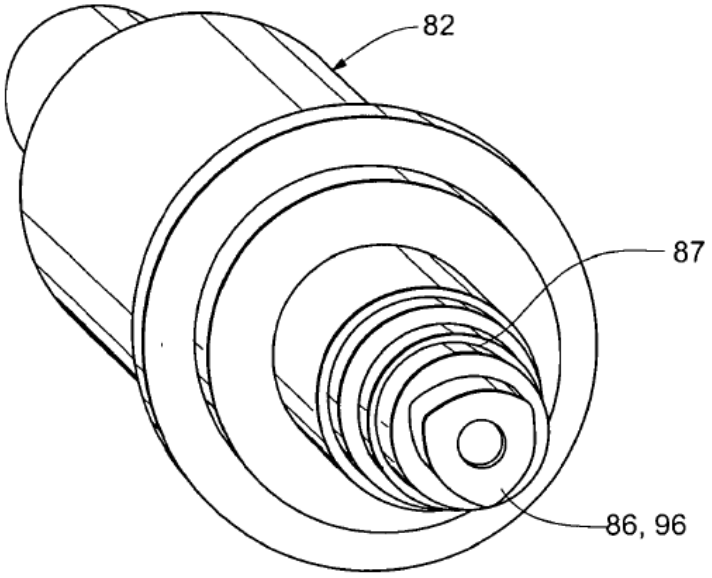


Fig. 12

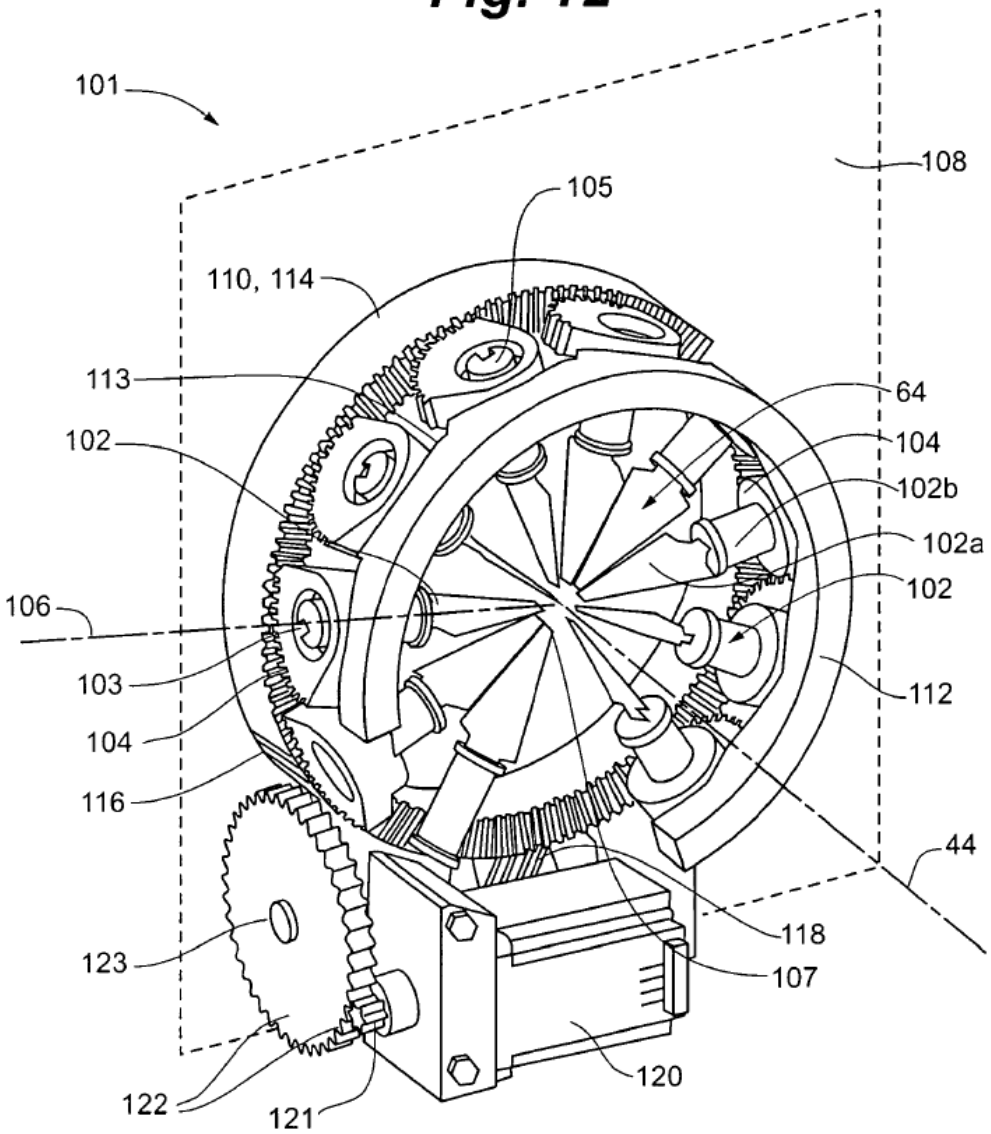

101
108
105
110, 114
113
64
102
104
102b
102a
102
106
103
112
104
116
44
118
123
107
120
122
121

Fig. 13

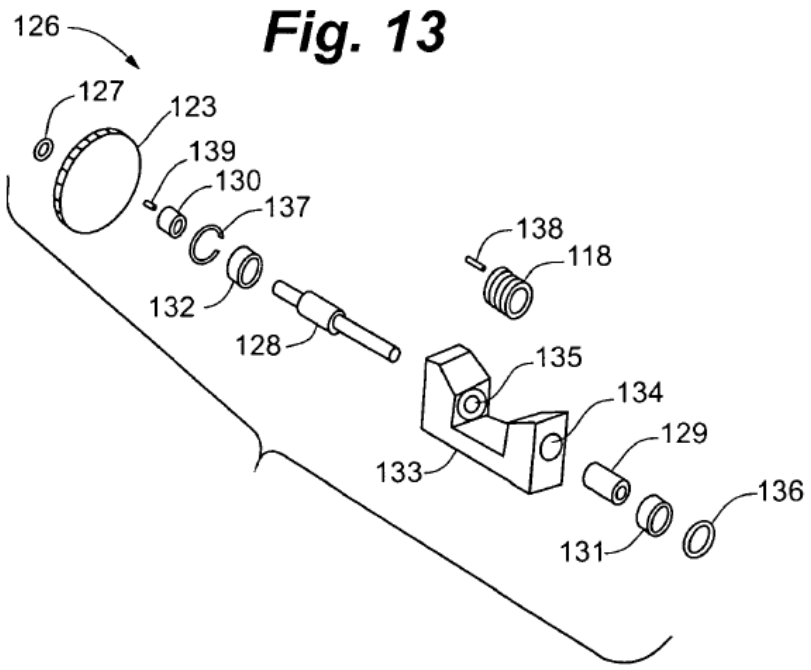

126
127
123
139
130
137
138
118
132
128
135
134
129
133
136
131

Fig. 14

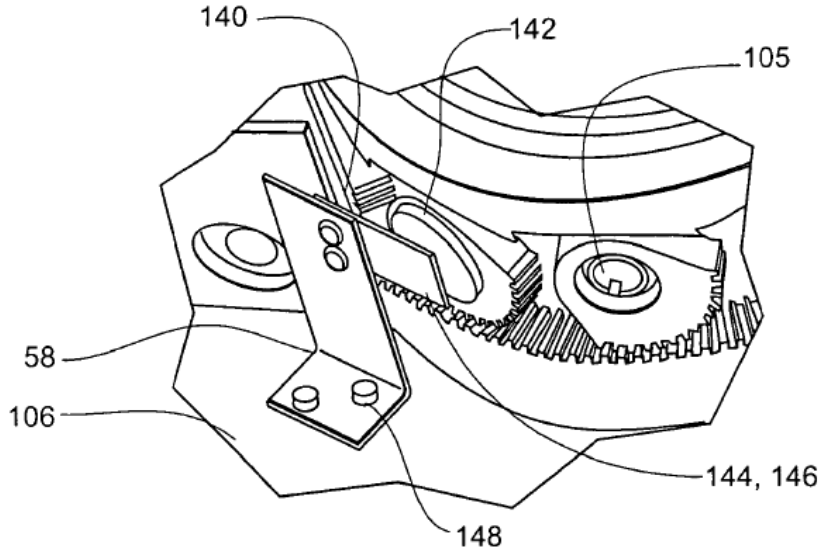

140
142
105
58
106
144, 146
148

Fig. 15

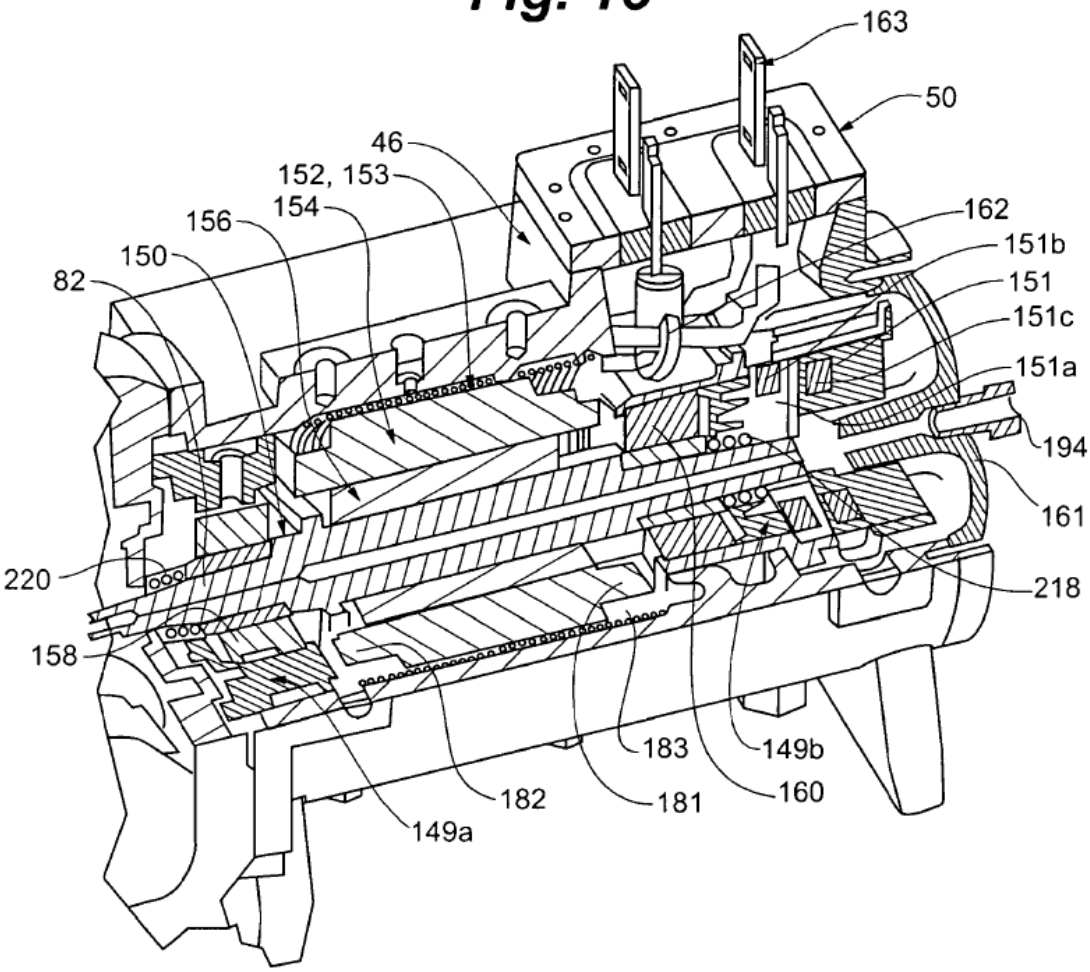

163
50
46
152, 153
154
156
150
82
162
151b
151
151c
151a
194
161
218
220
158
183
149b
182
181
160
149a

Fig. 16

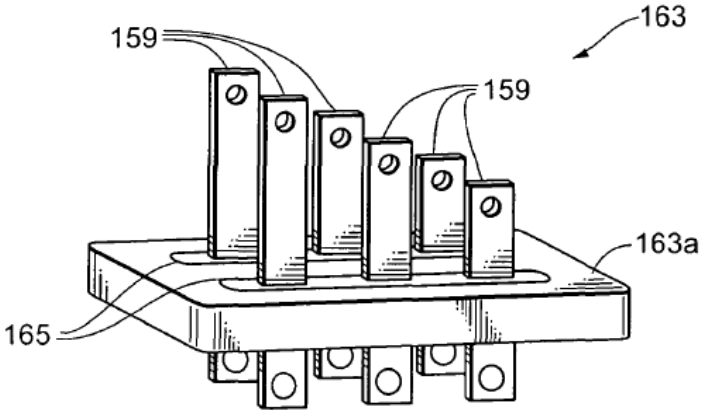


Fig. 17

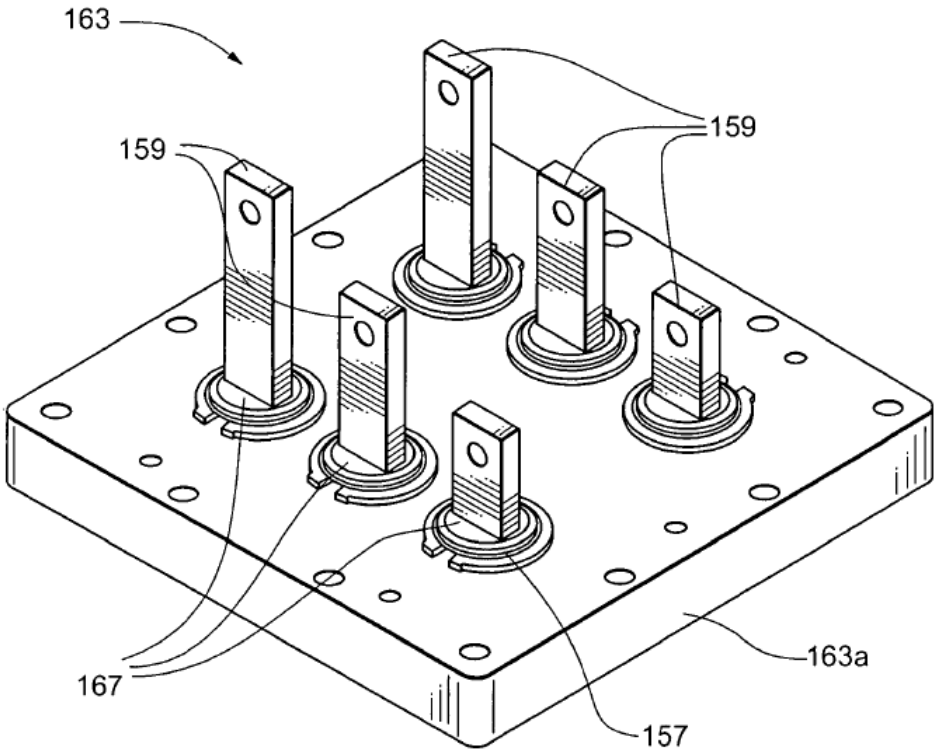


Fig. 18

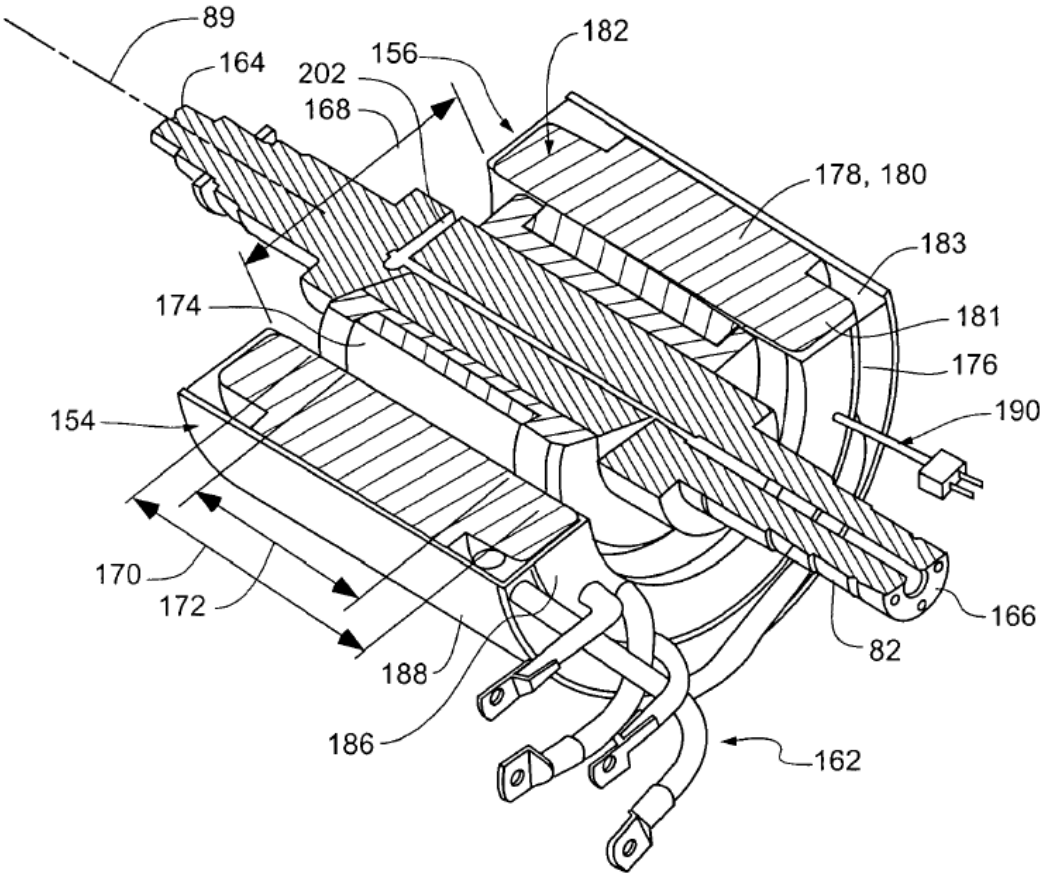

89
164
202
156
182
168
178, 180
183
174
181
176
154
190
170
172
166
82
188
186
162

Fig. 19

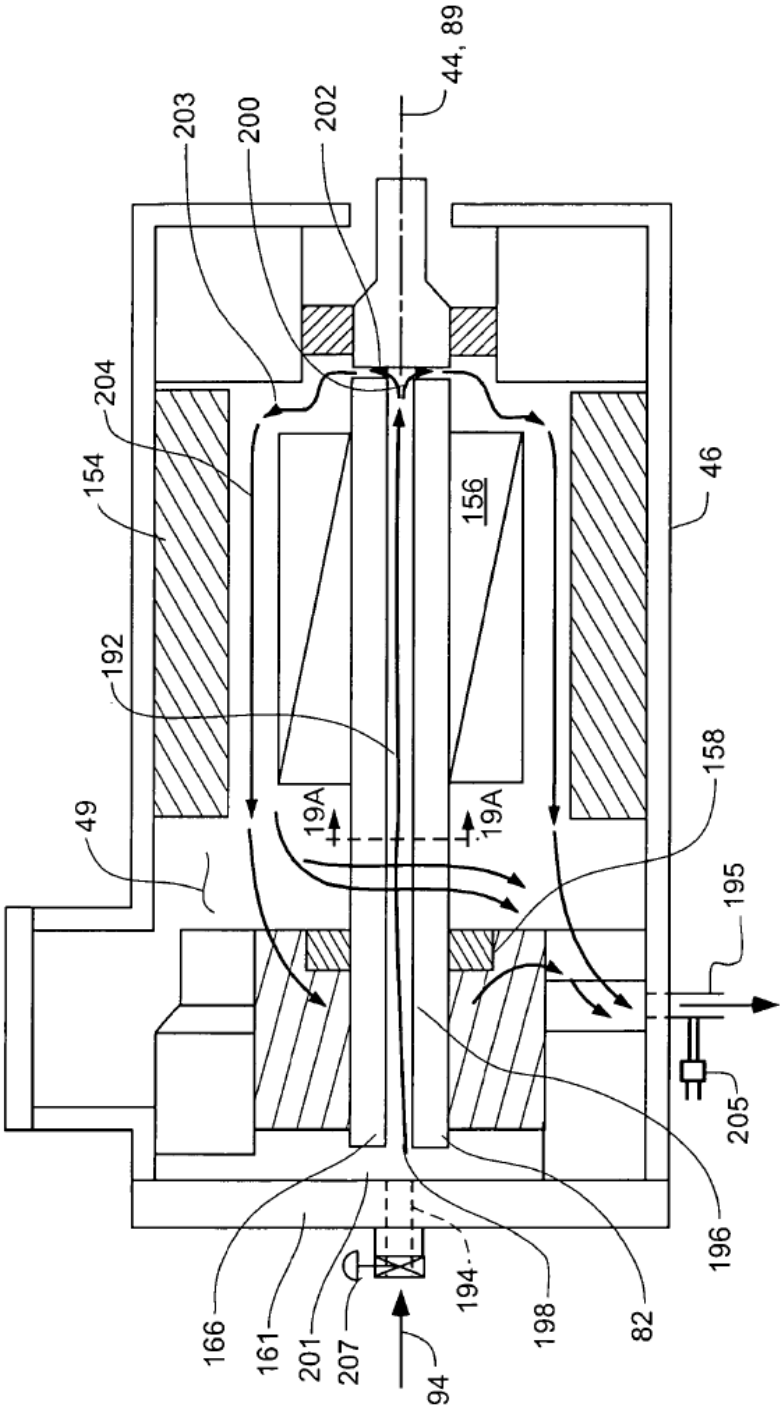

44, 89
203
200
202
204
154
156
46
192
158
49
19A
19A
195
205
196
166
161
201
207
94
194
198
82

Fig. 19A

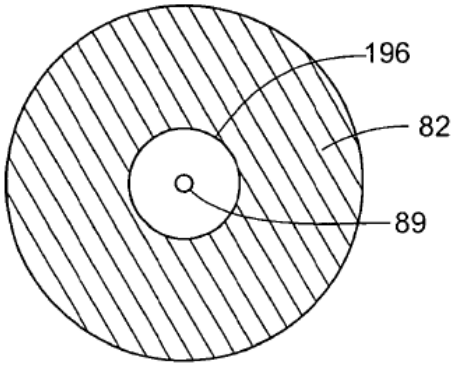


Fig. 19B

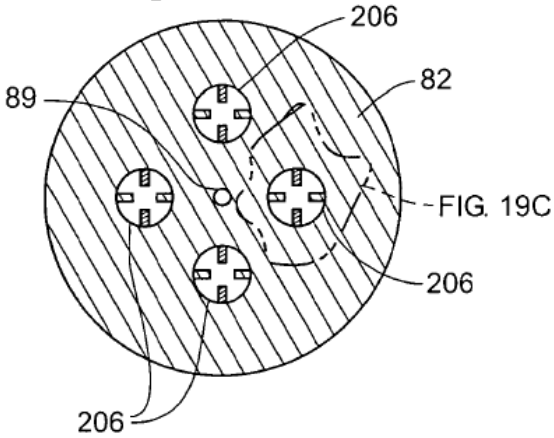


Fig. 19C

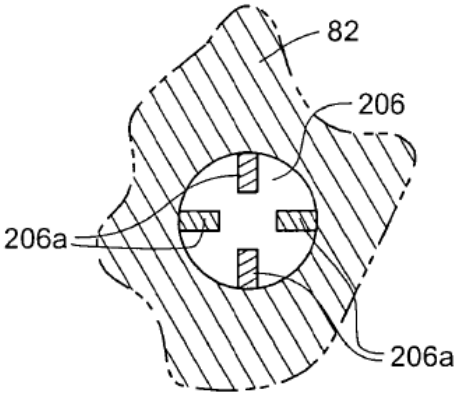


Fig. 20

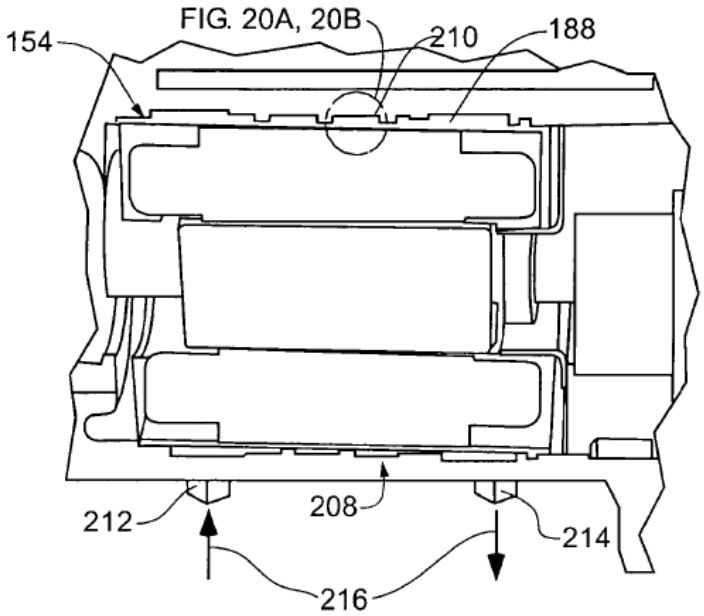


Fig. 20A

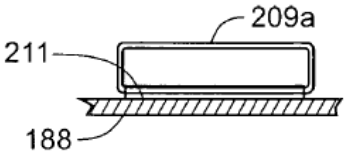
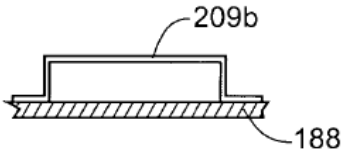


Fig. 20B



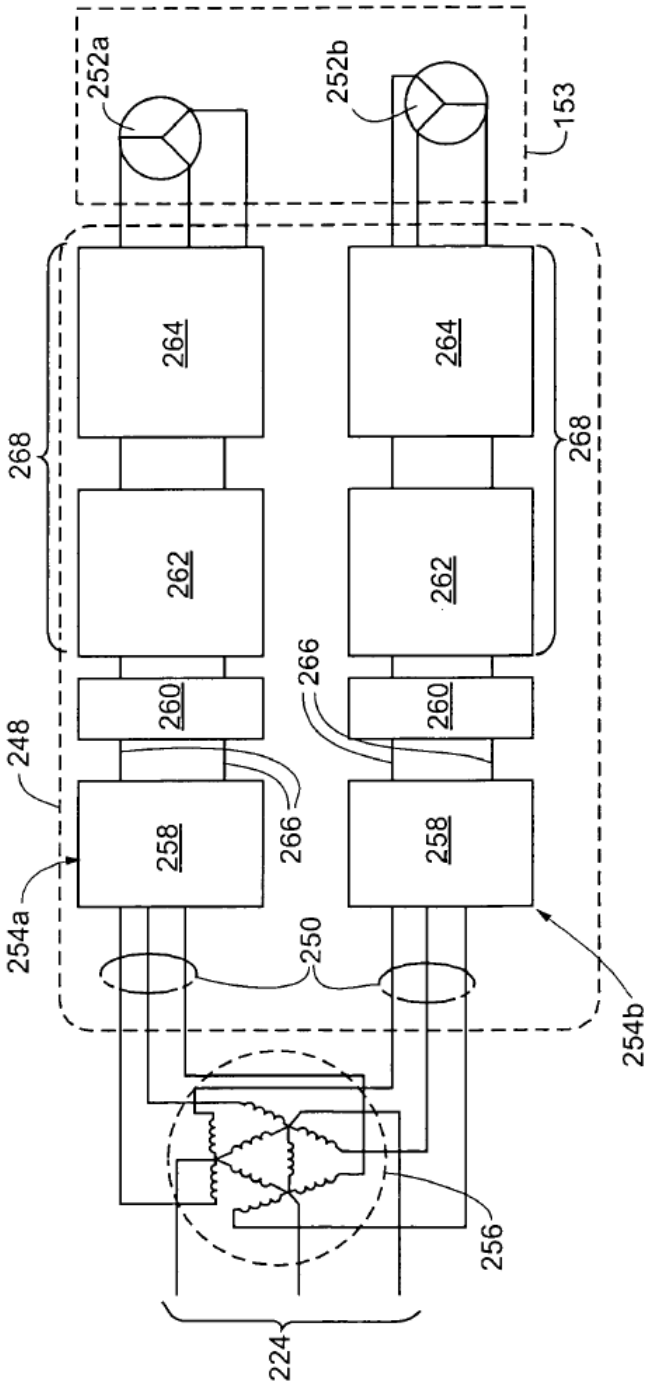

252a
252b
153
264
264
268
268
262
262
260
260
266
266
248
258
258
254a
250
254b
256
224

Fig. 21

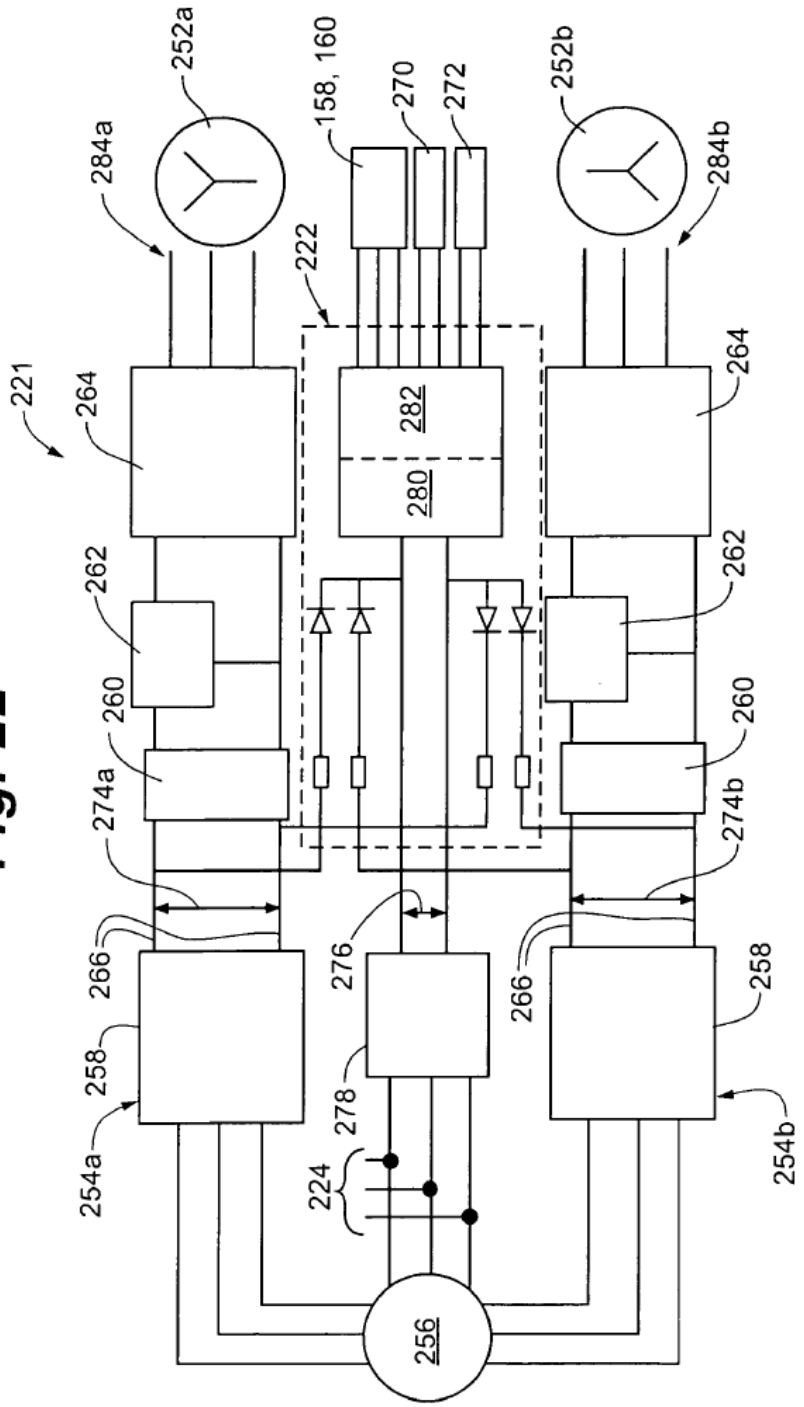
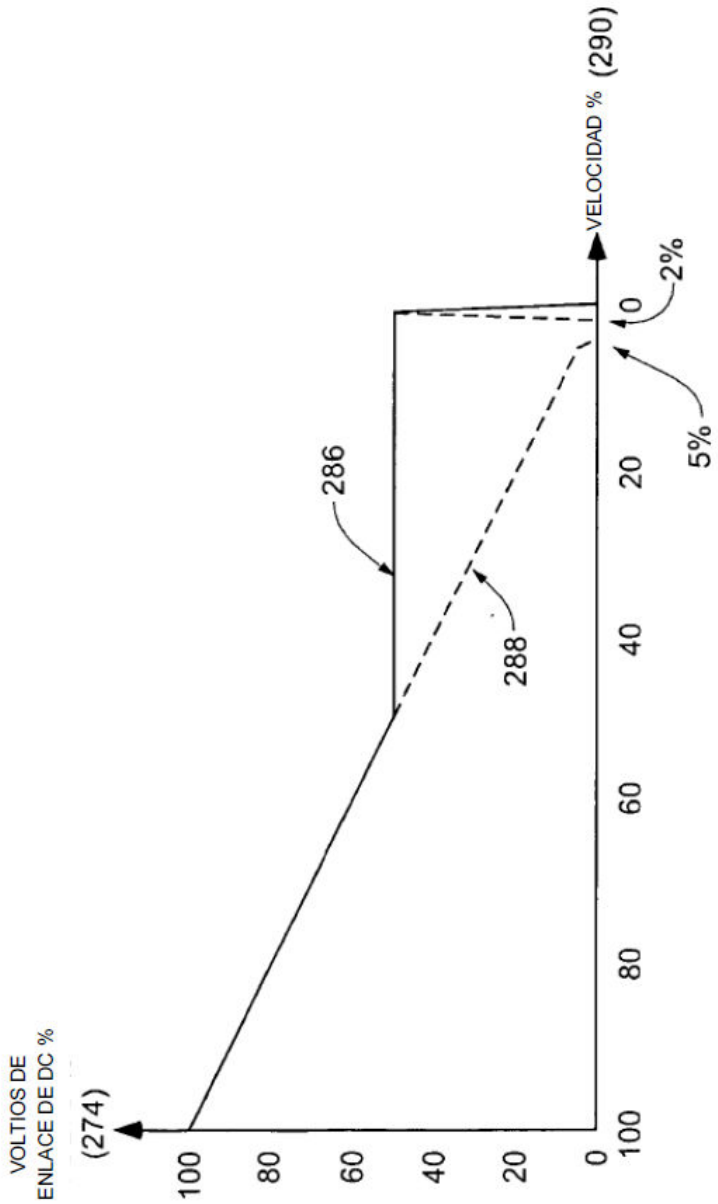

221
222
224
252a
252b
254a
254b
256
258
260
262
264
266
270
272
274a
274b
276
278
280
282
284a
284b
158, 160

Fig. 22

Fig. 23


VOLTIOS DE
ENLACE DE DC %
(274)
100
80
60
40
20
0
100
80
60
40
20
0
VELOCIDAD % (290)
286
288
2%
5%