

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 932**

51 Int. Cl.:

H02K 1/12 (2006.01)
H02K 1/06 (2006.01)
H02K 1/20 (2006.01)
H02K 21/12 (2006.01)
H02K 16/02 (2006.01)
F03D 9/00 (2006.01)
B63H 23/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.09.2005 E 05255846 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.07.2015 EP 1641101**

54 Título: **Máquina eléctrica con estator de doble cara**

30 Prioridad:

27.09.2004 US 951335

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

30.09.2015

73 Titular/es:

GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US

72 Inventor/es:

JANSEN, PATRICK LEE;
CARL, RALPH JAMES JR.,;
FOGARTY, JAMES MICHAEL;
LYONS, JAMES PATRICK y
QU, RONGHAI

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 546 932 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

Máquina eléctrica con estator de doble cara

La presente invención se refiere, en general, a generadores de turbinas eólicas y a motores de propulsión de buques.

5 El viento normalmente se considera una forma de energía solar causada por un calentamiento desigual de la atmósfera por el sol, las irregularidades de la superficie de la tierra, y la rotación de la tierra. Los patrones de flujo del viento se ven modificados por el terreno de la tierra, los cuerpos de agua y la vegetación. Los términos energía eólica o potencia eólica describen el procedimiento por el cual se utiliza el viento para generar energía mecánica o electricidad.

10 Normalmente, las turbinas eólicas se utilizan para convertir la energía cinética del viento en energía mecánica. Esta energía mecánica puede utilizarse para tareas específicas (tales como moler grano o bombear agua) o un generador puede convertir esta energía mecánica en electricidad. Una turbina eólica por lo general incluye un mecanismo aerodinámico para convertir el movimiento del aire en un movimiento mecánico, que a continuación se convierte en energía eléctrica con un generador. La potencia de salida del generador es proporcional al cubo de la velocidad del viento. A medida que la velocidad del viento se duplica, la capacidad de los generadores eólicos aumenta casi ocho veces.

15 La mayoría de las turbinas eólicas disponibles en el mercado utilizan trenes motrices con engranajes para conectar las palas de la turbina a los generadores eólicos. El viento hace girar las palas de turbina, que giran un eje, que avanza hacia el interior de una caja de engranajes y a continuación se conecta a un generador eólico y produce electricidad. La unidad impulsora con engranajes tiene como objetivo aumentar la velocidad del movimiento mecánico. El inconveniente de una unidad impulsora con engranajes es que reduce la fiabilidad de la turbina eólica y aumenta el ruido y el coste de la turbina eólica.

20 Algunas turbinas eólicas que utilizan generadores de accionamiento directo también están disponibles comercialmente. Los grandes diámetros de los generadores de accionamiento directo presentan grandes desafíos de transporte y de montaje, tanto en las fábricas como en los lugares de instalación de turbinas eólicas. A medida que la industria de turbinas eólicas avanza y la tecnología mejora, serán necesarias mayores potencias nominales para continuar con la tendencia a la baja en el coste de la energía. Se prevé que las potencias nominales estándar para las turbinas terrestres serán de 3 MW o más en los próximos años, y se prevé que para las turbinas marinas sea de 5 MW o más.

25 Para que las turbinas eólicas puedan evolucionar a potencias nominales superiores, los enfoques convencionales normalmente incluyen un aumento del diámetro o de la longitud axial (pila) del generador de accionamiento directo. El aumento del diámetro resulta preferible desde un punto de vista puramente electromagnético del generador, pero no resulta atractivo desde el punto de vista del transporte, configuración, y montaje del mismo, especialmente para las turbinas terrestres. El aumento de la longitud axial de los generadores, siempre que se mantenga el diámetro por debajo de 4 metros aproximadamente, alivia el problema de transporte por tierra, pero resulta en estructuras complejas y costosas con longitudes axiales largas. En el documento US 2002/047418 se desvela una máquina síncrona de rotores múltiples.

Por tanto, es deseable proporcionar turbinas eólicas rentables con potencias nominales aumentadas y diámetros reducidos.

30 Brevemente, de acuerdo con la presente invención, se proporciona una máquina síncrona eléctrica de acuerdo con la reivindicación 1 adjunta.

Brevemente, de acuerdo con una realización de la presente invención, se proporciona un generador de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 6 adjunta.

35 Brevemente, de acuerdo con otra realización de la presente invención, se proporciona un motor de propulsión de buques de acuerdo con la reivindicación 7 adjunta.

Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor al leer la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales los mismos caracteres representan las mismas partes en todos los dibujos, en lo que:

40 La Fig. 1 ilustra una vista en sección de una turbina eólica que comprende un generador de doble cara de accionamiento directo ejemplar;

La Fig. 2 ilustra una vista en sección del generador ejemplar de la Fig. 1 con un estator de doble cara y un rotor;

La Fig. 3 ilustra una vista en sección tridimensional del estator de doble cara de la Fig. 2;

La Fig. 4 ilustra una representación esquemática del rotor de la Fig. 2;

La Fig. 5 ilustra una realización ejemplar con tuberías de refrigeración líquida en la disposición de la Fig. 2;

La Fig. 6 ilustra una realización ejemplar que tiene agujeros para refrigeración por aire forzado en la disposición de la Fig. 2; y

5 La Fig. 7 ilustra una vista en sección de una unidad de propulsor para buques, que comprende un motor de doble cara de propulsión para buques ejemplar.

La presente invención incluye diferentes realizaciones para generadores y motores de doble cara que son particularmente útiles para turbinas eólicas y unidades de propulsión de buques de accionamiento directo, pero que también pueden utilizarse con unidades de accionamiento con engranajes. Las diferentes configuraciones descritas a continuación en el presente documento se basan en máquinas eléctricas síncronas de doble cara, y flujo radial. Aunque se describen y se muestran máquinas de imanes permanentes (IP) con el propósito de ilustración, 10 alternativamente pueden utilizarse otras máquinas eléctricas, tales como máquinas de campo enrollado, y la excitación de campo puede llevarse a cabo mediante bobinas conductoras que porten corriente. Estas configuraciones contribuyen a lograr turbinas eólicas rentables con mayores potencias nominales (> 2,0 MW), y resultan especialmente ventajosas para las aplicaciones terrestres, en las que el diámetro exterior puede verse restringido por las limitaciones de transporte.

Con referencia a las figuras, la Fig. 1 es una representación esquemática de una vista en sección de una turbina 10 eólica con una realización ejemplar de un generador IP 12 de doble cara de accionamiento directo. El generador IP 12 de la turbina 10 eólica incluye al menos dos espacios de flujo de aire concéntricos (no mostrados en la Fig. 1 y analizados más adelante en referencia a la Fig. 2), convirtiendo eficazmente de este modo el generador IP 12 en dos 20 generadores concéntricos. Por lo tanto, los expertos en la técnica apreciarán que para la misma cubierta total definida por el diámetro exterior y por la longitud axial, el generador IP 12 puede producir una potencia de salida considerablemente mayor que un generador de una sola cara. En la práctica, por tanto, un generador de una sola cara de 2 MW podrá reemplazarse con un generador de doble cara capaz de producir 3-3,6 MW para el mismo diámetro y longitud axial totales. De manera equivalente, un generador IP de una sola cara de 3 MW que tenga un diámetro de 6 metros podrá reemplazarse con un generador de doble cara con la misma longitud axial y un diámetro de sólo 4,3 metros, permitiendo de ese modo el transporte terrestre de todo el generador como una unidad.

Una realización ejemplar de la turbina 10 eólica, tal como se muestra en la Fig. 1, incluye un rotor 14 en el generador 12. El rotor 14 incluye un núcleo 16 de rotor exterior con unos imanes 18 permanentes exteriores, o alternativamente unas bobinas de excitación, y un núcleo 20 interior de rotor con unos imanes 22 permanentes interiores o bobinas de 30 excitación. El generador 12 también incluye un estator 24 de doble cara con una cara 26 exterior de estator que tiene unos enrollamientos 28 exteriores de estator, y una cara 30 interior de estator que tiene unos enrollamientos 32 interiores de estator. En funcionamiento, la salida de potencia del estator 24 de doble cara está alimentada y controlada por una unidad de conversión de potencia (no mostrada) capaz de una conversión de potencia completa. El estator 24 está conectado a un bastidor 34 estacionario, que está montado adicionalmente en un bastidor 36 35 principal. El bastidor principal está montado adicionalmente en una torre 38 a través de un sistema convencional de accionamiento de cojinete de orientación y engranajes (no mostrado). En un ejemplo más específico, un canal 40 de refrigeración puede estar dispuesto entre la cara 26 exterior de estator y la cara 30 interior de estator. A continuación se describen en el presente documento características más detalladas del generador 12, con referencia a la Fig. 2.

La turbina 10 eólica tal como se muestra en la Fig. 1, incluye también unas palas 42 de rotor 42 conectadas a un cubo 44 de palas de rotor que tiene una cubierta 49 de cubo de rotor. El cubo 44 de palas de rotor está conectado con el rotor 14 de generador a través de un tubo 46 de torsión de rotor. El rotor 14 (rotor del generador) está conectado al bastidor 52 giratorio. Una cubierta 50 de góndola normalmente protege del medio ambiente los componentes del interior de la góndola. El cubo 44 de palas de rotor está montado adicionalmente en una brida 54 45 sobre el tubo 46 de torsión de rotación principal. Un cubo 56 estacionario conecta el tubo de torsión de rotor al bastidor 36 principal a través de un conjunto de cojinete. Aunque se ilustran dos cojinetes principales, el cojinete 58 delantero principal y el cojinete 60 trasero principal, son posibles configuraciones de rodamientos alternativas, incluyendo un único rodamiento principal. El acceso al cubo 44 de palas de rotor se obtiene a través de cualquiera de las bocas de acceso en los bastidores giratorio y estacionario (es decir, entre el generador IP 12 y el conjunto 56 de cojinete principal), u opcionalmente a través del cubo estacionario principal y el conjunto 56 de cojinete. Los 50 expertos en la técnica apreciarán que los diámetros del cojinete principal y del eje pueden estar dimensionados en consecuencia con el medio de acceso al cubo; por ejemplo, unos cojinetes principales de mayor diámetro (alrededor de 1,5 metros o más, por ejemplo) facilitarán el acceso al cubo. El uso de cojinetes de bajo coste con un pequeño diámetro inferior o igual a 1,0 metros, por ejemplo, probablemente requerirá acceder al cubo a través de bocas de acceso.

55 El montaje de la turbina 10 eólica en el lugar de instalación normalmente se lleva a cabo levantando en primer lugar el bastidor principal 36, seguido del generador IP 12 (incluyendo el eje principal y el conjunto 56 de cojinete), y luego la turbina, el cubo 44 de rotor, y las palas 42. La cubierta 50 de góndola se instala como última etapa. La Fig. 2 es una vista detallada del generador IP 12 de la FIG. 1. El generador IP 12, tal como también se ha descrito anteriormente en el presente documento, incluye el rotor 14 con un núcleo 16 exterior de rotor y un núcleo 20 interior de rotor, y el estator 24 con una cara 26 exterior de estator y una cara 30 interior de estator. El núcleo 16 exterior de 60

rotor está invertido con respecto al núcleo 20 interior de rotor. Cada núcleo de rotor tiene unos respectivos imanes permanentes, los imanes 18 exteriores permanentes y los imanes 22 permanentes interiores, o conjuntos de polos de imán permanentes unidos a la cara orientada hacia el estator 24. El estator 24 está dispuesto concéntricamente entre el núcleo 16 exterior de rotor y el núcleo 20 interior de rotor. La cara 26 exterior de estator y la cara 30 interior de estator contribuyen a los al menos dos espacios 62, 64 de flujo de aire concéntricos. El canal 40 de refrigeración separa la cara 26 exterior de estator y la cara 30 interior de estator. En una realización específica, el canal 40 de refrigeración también incluye un soporte 41 de núcleo de estator que está acoplado mecánicamente al bastidor 34 estacionario y proporciona una superficie de montaje y rigidez al estator 24. El soporte 41 de núcleo de estator está fabricado preferentemente con acero o hierro fundido, aunque también puede ser de aluminio o de cualquier otro material estructural común que también sea un buen conductor térmico.

Son posibles múltiples procedimientos de refrigeración del generador IP 12, incluyendo, pero no sin limitación a, refrigeración por aire mediante conductos para el viento, refrigeración por aire forzado mediante sopladores o ventiladores y refrigeración líquida. En una realización específica, tal como se muestra, la refrigeración del generador IP 12 se logra mediante el viento que se hace fluir a través del canal 40 de refrigeración integrado en el soporte 41 de núcleo de estator y el bastidor 34 estacionario, y que refrigera la cara 26 exterior de estator y la cara 30 interior de estator. Las cubiertas con forma aerodinámica en la parte 76 delantera (cono de morro) y la parte 78 trasera del generador IP, adicionalmente a la cubierta 49 de cubo de rotor y la cubierta 50 de góndola de forma aerodinámica (tal como se muestra en la Fig. 1), dirigen el viento que sopla naturalmente para que fluya a través del canal 40 de refrigeración.

La Fig. 3 ilustra una vista ampliada en sección tridimensional del estator 24 de doble cara tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la Fig. 1 y la Fig. 2. En la realización de la Fig. 3, cada una de la cara 26 exterior de estator y la cara 30 interior de estator, tal como se muestran en la Fig. 1, incluye una respectiva pila de laminaciones de núcleo, laminaciones 66 exteriores de núcleo y laminaciones 68 interiores de núcleo. Tal como se ilustra, la pila 66 de laminaciones exteriores de núcleo de estator y la pila 68 de laminaciones interiores de núcleo de estator están térmicamente acopladas al canal 40 de refrigeración a través del soporte 41 de núcleo de estator. En un ejemplo, las laminaciones de estator normalmente están comprimidas y montadas sobre el soporte 41 de núcleo de estator. Son posibles diversos procedimientos bien conocidos para la fijación de la pila 66, 68 de laminaciones de núcleo a una superficie 74 del soporte 41 de núcleo de estator, incluyendo una construcción de bastidor empernado. Unos respectivos enrollamientos 70, 72 de estator están insertados en las ranuras formadas entre los dientes de la pila de núcleo de estator. Los enrollamientos pueden ser de cualquier tipo y configuración común a las máquinas eléctricas de corriente alterna polifásica. En un ejemplo específico, los enrollamientos son bobinas concentradas, cada una de las cuales rodea un diente de estator individual. Cada bobina está conectada a una fase de la máquina, formando al menos un conjunto de 3 fases de enrollamientos equilibrados. Los enrollamientos dentados típicos presentan $\frac{1}{2}$ ranuras por polo por fase; por ejemplo, 64 polos, 3 fases, y 96 ranuras (bobinas) por cara de estator. Existen muchas otras posibilidades, tales como enrollamientos con $\frac{2}{5}$ ranuras por polo por fase; por ejemplo, 80 polos, 3 fases, y 96 ranuras (bobinas) por cara de estator. También son posibles enrollamientos más convencionales, tales como enrollamientos imbricados distribuidos de dos capas.

La Fig. 4 ilustra una representación esquemática del rotor 14 tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la Fig. 1 y la Fig. 2. El rotor 14 tiene un núcleo 16 exterior de rotor y un núcleo 20 interior de rotor, y sus respectivos imanes permanentes (18 y 22), unidos al bastidor 52 giratorio. Tal como se ilustra, los imanes 18 y 22 permanentes asociados con los núcleos exterior e interior de rotor pueden estar alineados o, alternativamente, angularmente desplazados, es decir, pueden estar configurados para estar descentrados, para reducir significativamente la pulsación de par neta causada por los armónicos de rizado y de enrollamiento con sólo una pequeña reducción en la capacidad de par o en la eficiencia neta del generador. La Fig. 4 también ilustra un canal 39 de paso de aire para permitir el flujo de aire al canal 40 de refrigeración en el estator (véase la Fig. 3), dispuesto entre el núcleo 16 exterior de rotor y el núcleo 20 interior de rotor, y separado de los mismos.

La Fig. 5 y la Fig. 6 ilustran dos realizaciones ejemplares específicas para refrigerar el generador IP 12 de la Fig. 1 y la Fig. 2. En la realización ilustrada de la Fig. 5, el generador IP 12 incluye una tubería 80 de refrigeración líquida a modo de canal de refrigeración colocada adyacente a al menos una de la cara 26 exterior de estator y la cara 30 interior de estator. La tubería 80 de refrigeración líquida puede estar colocada adyacente a cualquiera de las bobinas o dientes de la cara exterior o interior de estator. La tubería 80 de refrigeración líquida utiliza un líquido para refrigerar la cara 26 exterior de estator y / o la cara 30 interior de estator. En un ejemplo, la tubería 80 de refrigeración líquida, está colocada en la parte inferior de las ranuras de ambas caras, o en cualquiera de las caras, del estator 24. El líquido utilizado es normalmente al menos uno de agua glicolada y agua desionizada, pero puede utilizarse cualquier otro líquido comúnmente utilizado para la refrigeración de máquinas eléctricas. La tubería 80 de refrigeración líquida puede ser de cualquier material utilizado para la fabricación de tuberías de refrigeración, por ejemplo, aluminio, cobre, acero inoxidable o cualquier combinación de los mismos, y puede utilizar cualquier otro material usado comúnmente para la refrigeración de máquinas eléctricas. La tubería 80 de refrigeración líquida puede estar conectada a través de una variedad de conexiones en serie y en paralelo con uno o varios circuitos. Un intercambiador de calor (no mostrado) puede utilizarse para transferir el calor absorbido en el líquido de refrigeración al aire ambiente. La refrigeración líquida es ventajosa ya que proporciona una máquina más compacta que puede estar totalmente cerrada para su protección con respecto al medio ambiente. En particular, en los ejemplos de refrigeración líquida anteriormente descritos, el espesor neto del núcleo del estator se ve reducido en comparación

con un diseño de refrigeración por aire. Por lo tanto, permite aumentar el diámetro de la cámara 64 interior de aire (Fig. 2), permitiendo así una mayor capacidad de potencia del generador IP 12 para un mismo diámetro exterior y longitud axial totales.

5 En otro ejemplo tal como se muestra en la Fig. 6, la refrigeración en el generador IP 12 se consigue proporcionando una pluralidad de agujeros 82 axiales en el estator 24. La pluralidad de agujeros 82 axiales puede estar situada en diversas ubicaciones tales como, por ejemplo, en la parte inferior de las ranuras de estator (entre los enrollamientos de estator y el núcleo, tal como se ilustra), en la parte posterior de los yugos del estator cerca del bastidor, en los dientes del estator, o incluso entre las bobinas de estator individuales. La pluralidad de agujeros 82 axiales también puede estar perforada en las laminaciones del núcleo del estator o existir simplemente en los espacios entre las bobinas, o entre las bobinas y las laminaciones del núcleo. El flujo de aire puede fluir en la misma dirección 84 por 10 ambas caras de estator, tal como se ilustra, o puede fluir hacia abajo por un estator y de vuelta hacia el otro. Unos agujeros 85 de escape pueden estar proporcionados en el bastidor giratorio para un flujo de aire unidireccional. En otro ejemplo más, puede utilizarse un soplador (no mostrado) para forzar el aire a velocidades sustancialmente altas a través de la pluralidad de orificios 82 axiales. En este ejemplo, el aire fluye desde el aire ambiente proporcionando una configuración abierta y ventilada. Otra realización ejemplar incluye un intercambiador de calor para formar una 15 configuración cerrada de aire forzado.

El generador 12 de doble cara tal como se ha descrito anteriormente en diferentes realizaciones, ofrece varias ventajas sobre los generadores de una sola cara para turbinas eólicas. Las ventajas más significativas incluyen una 20 reducción en la masa del bastidor para una potencia nominal dada, y / o, alternativamente, un aumento de la potencia nominal con un generador que encaje dentro de una envuelta de transporte dada. Las ventajas adicionales incluyen, por ejemplo, que las fuerzas magnéticas radiales en los dos huecos de aire concéntricos actúan en direcciones opuestas, cancelando así o al menos reduciendo en gran medida la fuerza magnética radial neta en cada posición circunferencial a lo largo del hueco. Esto reduce la deflexión radial del estator, y también reduce la vibración y el ruido.

25 Aunque las realizaciones de la presente invención se han descrito principalmente en términos de turbinas eólicas, los conceptos resultan adicionalmente útiles en otras aplicaciones, siendo un ejemplo los motores de propulsión para buque. La Fig. 7 ilustra una vista en sección de una unidad 710 de propulsor de buques, que comprende un motor 712 de propulsión de doble cara de buques ejemplar, una hélice 734, un conjunto 736 de montura y cojinete, y un conjunto 738 de bastidor. El motor 712 de propulsión de buques comprende un rotor 714, que incluye un núcleo 716 30 exterior de rotor con imanes 718 permanentes exteriores y un núcleo 720 interior de rotor con imanes 722 permanentes interiores. El motor 712 también incluye un estator 724 de doble cara que tiene una cara 726 exterior de estator con un enrollamiento 728 exterior de estator, y una cara 730 interior de estator con unos enrollamientos 732 interiores de estator. El al menos un estator de doble cara está dispuesto concéntricamente entre el núcleo de rotor interno y el núcleo de rotor externo del motor de propulsión de buques. Muchos de los detalles específicos de construcción del rotor son similares a las realizaciones de turbina eólica, y no se repiten en el presente documento. 35

REIVINDICACIONES

1. Una máquina eléctrica síncrona, que comprende:

al menos un rotor (14) con un núcleo (20) interior de rotor y un núcleo (16) exterior de rotor, comprendiendo cada uno imanes permanentes; y

5 al menos un estator (24) de doble cara con una cara (30) interior de estator que comprende un enrollamiento (72) interior de estator, y una cara (26) exterior de estator, separada, que comprende un enrollamiento (70) exterior de estator,

en la que el al menos un estator (24) de doble cara está dispuesto concéntricamente entre el núcleo (20) de rotor interior y el núcleo (16) de rotor exterior de la máquina eléctrica,

10 comprendiendo adicionalmente dicha máquina eléctrica síncrona al menos un canal (40) de refrigeración que separa la cara (30) interior de estator y la cara (26) exterior de estator.

2. La máquina eléctrica síncrona de la reivindicación 1, en la que el al menos un canal (40) de refrigeración está configurado para utilizar el viento para refrigerar la cara (30) interior de estator y la cara (26) exterior de estator.

15 3. La máquina eléctrica síncrona de la reivindicación 1, en la que el al menos un canal (40) de refrigeración comprende un soporte (41) del núcleo de estator acoplado con un bastidor estacionario (34).

4. La máquina eléctrica síncrona de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente al menos una tubería (800) de refrigeración líquida situada adyacente a al menos una de las caras (30, 26) interior y exterior de estator.

20 5. La máquina eléctrica síncrona de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente una pluralidad de agujeros (82) axiales situados en el al menos un estator (24) de doble cara, y configurados para que el aire de refrigeración fluya a través del estator.

6. Una turbina (12) eólica que comprende la máquina eléctrica síncrona de la reivindicación 1.

7. Un motor (712) de propulsión de buques que comprende la máquina eléctrica síncrona de la reivindicación 1.

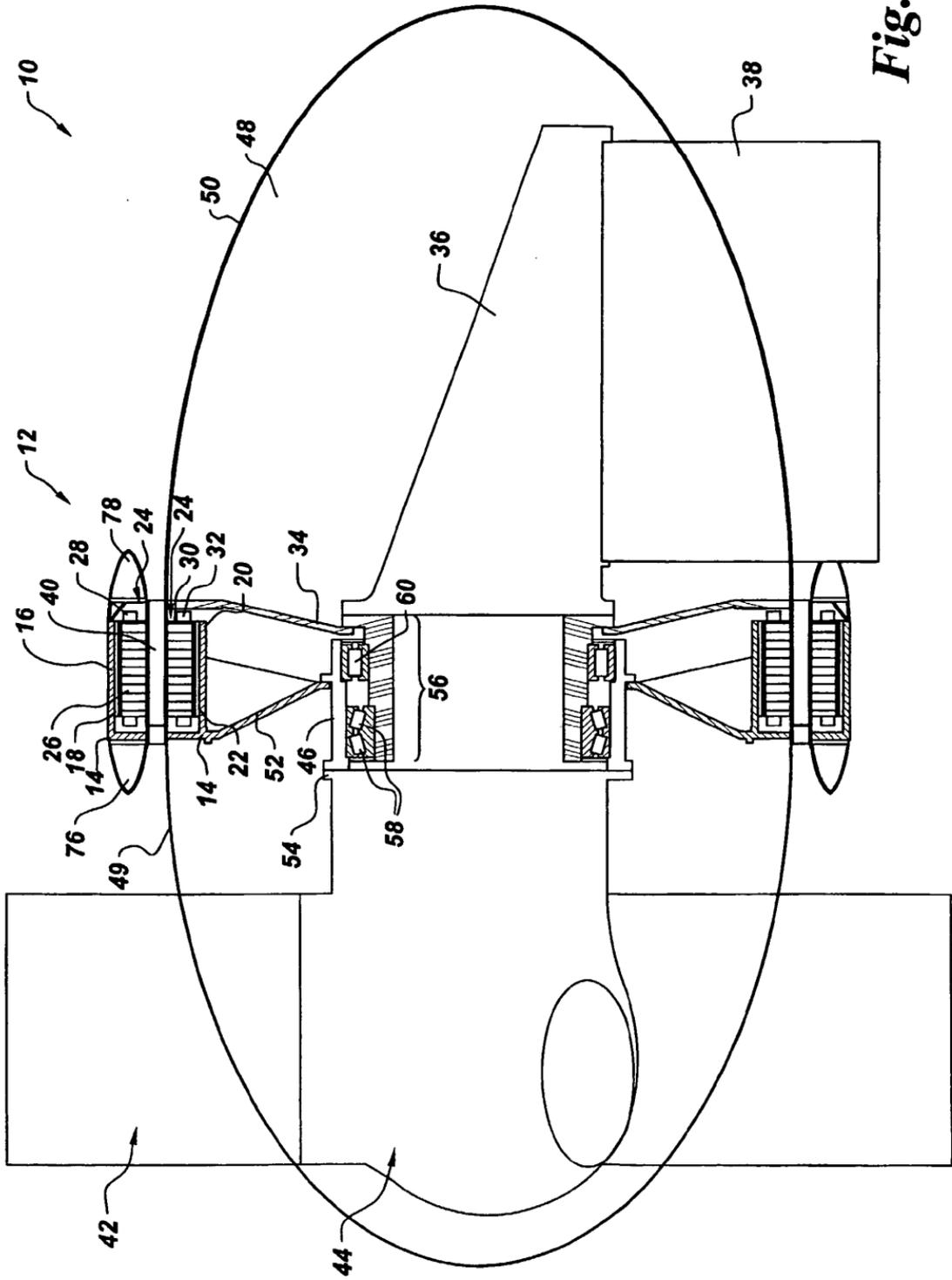


Fig. 1

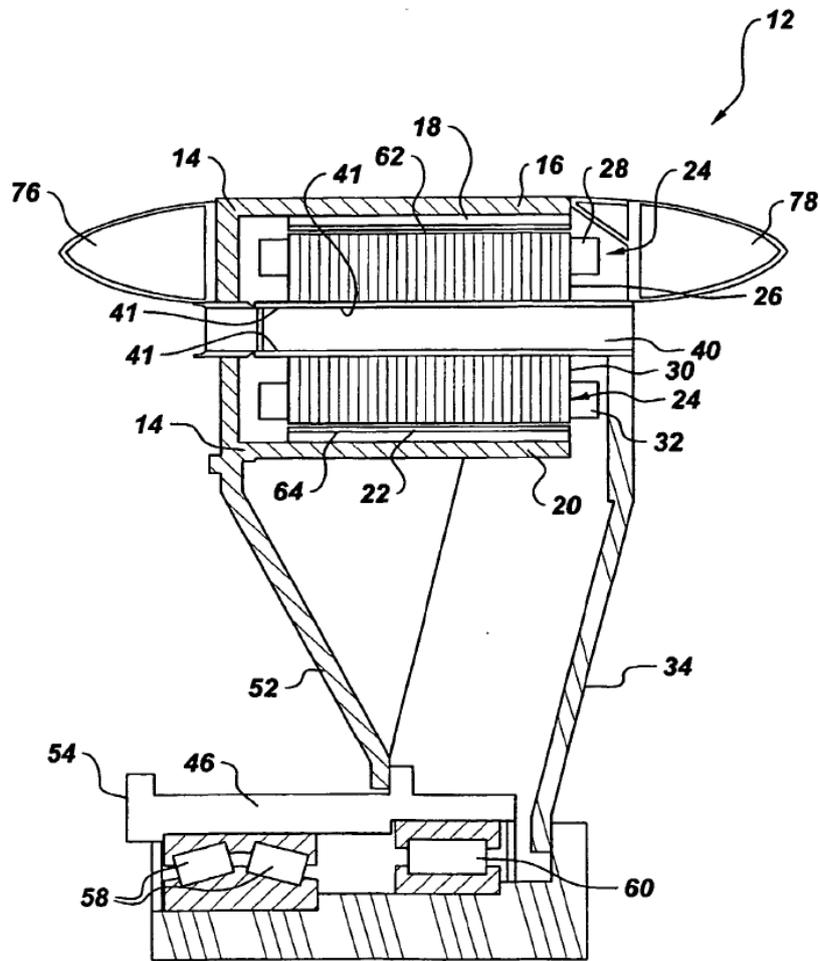


Fig. 2

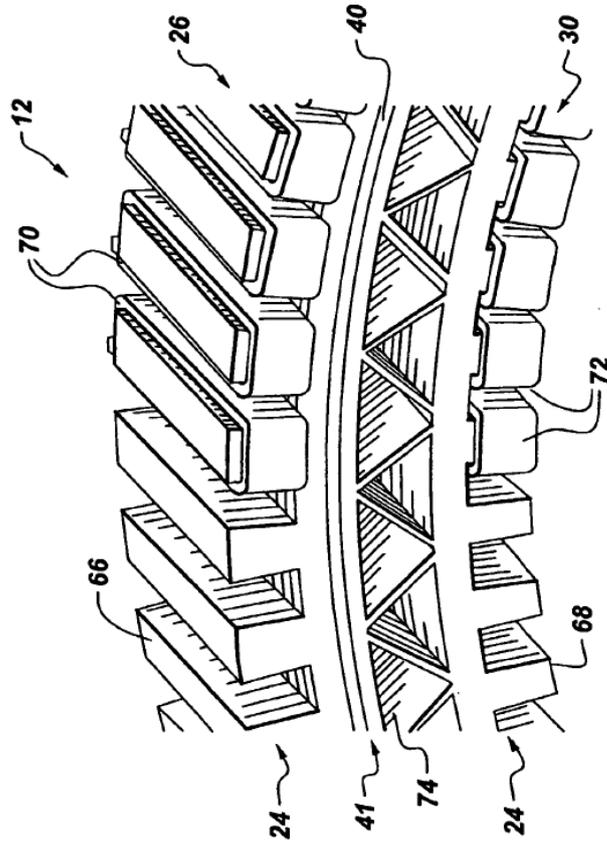


Fig. 3

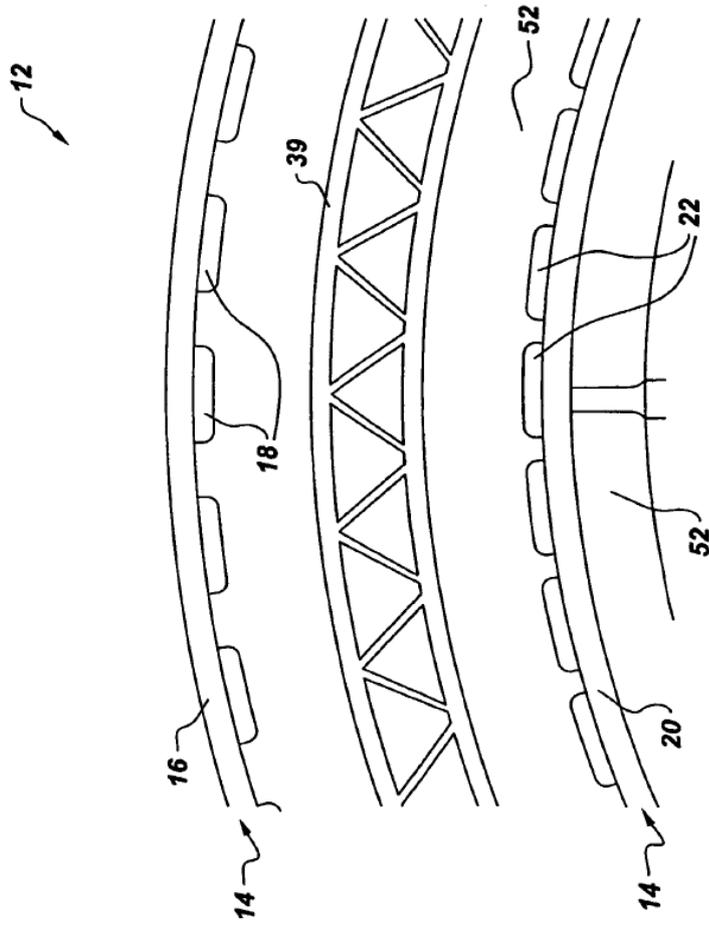


Fig. 4

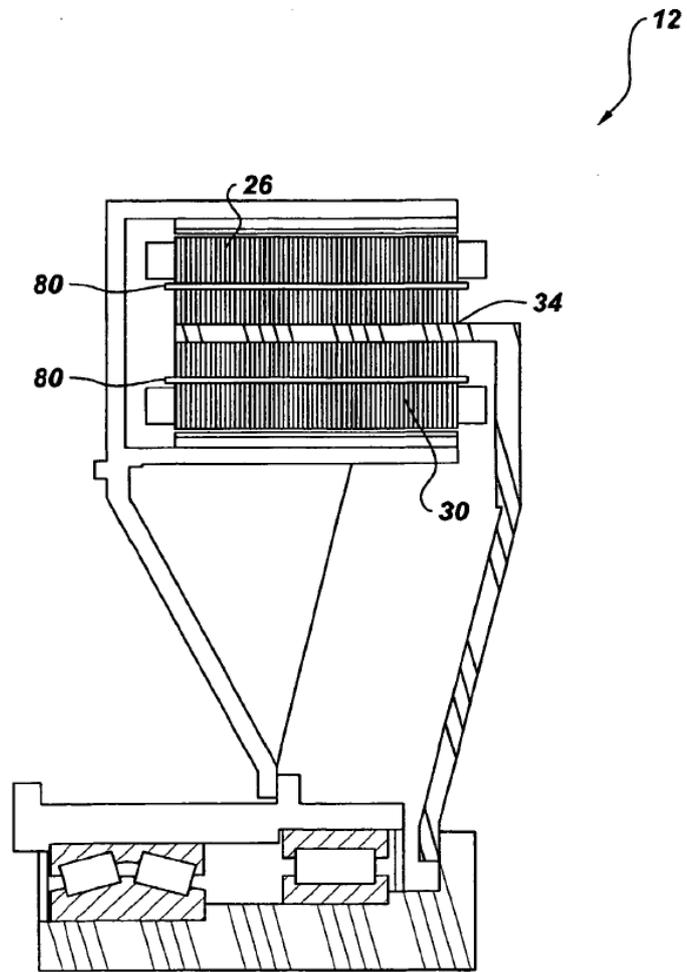


Fig. 5

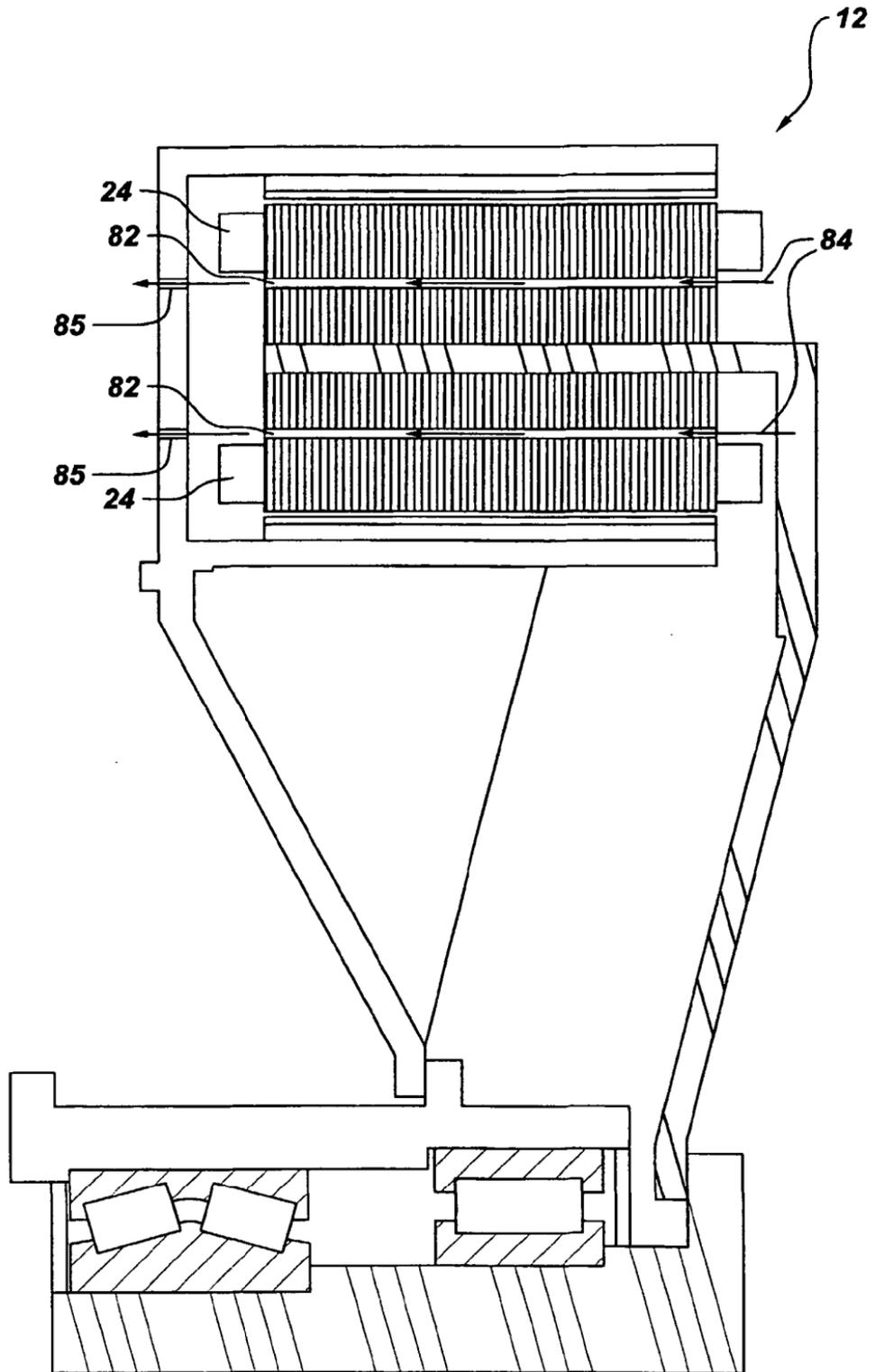


Fig. 6

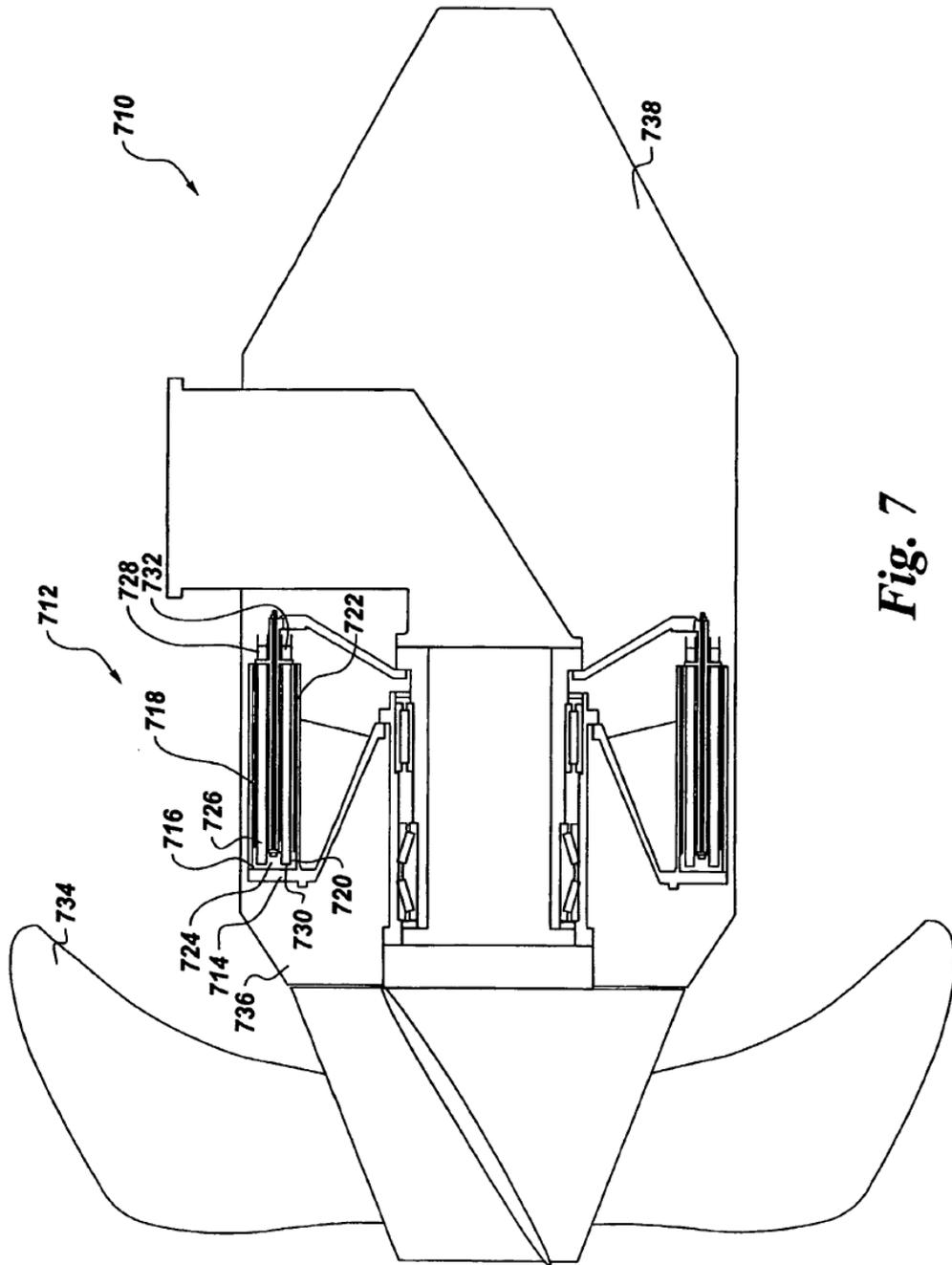


Fig. 7