



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 314 050**

51 Int. Cl.:  
**H02K 21/22** (2006.01)  
**H02K 1/27** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02721611 .8**  
96 Fecha de presentación : **29.03.2002**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1490952**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **29.12.2004**

54 Título: **Motor eléctrico que tiene grupos de estator y rotor magnéticamente aislados.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.03.2009**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.03.2009**

73 Titular/es:  
**MATRA MANUFACTURING & SERVICES S.A.S.**  
**4, rue de Presbourg**  
**75116 Paris, FR**

72 Inventor/es: **Maslov, Boris y**  
**Pyntikov, Alexander**

74 Agente: **Buceta Facorro, Luis**

ES 2 314 050 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Motor eléctrico que tiene grupos de estator y rotor magnéticamente aislados.

## 5 Sector de la técnica

La presente invención se refiere a motores eléctricos giratorios, más en particular a motores que tienen elementos de anillo anulares primero y segundo dispuestos de manera concéntrica alrededor de un eje de rotación y separados entre sí mediante un entrehierro axial, comprendiendo ambos elementos grupos de estructuras magnéticamente aisladas, teniendo los grupos de uno de los elementos imanes permanentes fijados al mismo y comprendiendo el otro de los elementos polos de electroimán enrollados.

## Estado de la técnica

Los motores de corriente continua tienen versatilidad en una amplia gama de aplicaciones. La disponibilidad de una fuente de alimentación de batería para dispositivos equipados con motores CC facilita un aspecto de transportabilidad que no se encuentra fácilmente en accionamientos de motor CA. Los controles electrónicos, tales como sistemas basados en microcontroladores y microprocesadores, se han vuelto habituales para una amplia variedad de aplicaciones funcionales. A medida que ha progresado el desarrollo de la batería, y que la versatilidad de los controles electrónicos se han expandido, el reto de proporcionar accionamientos de motor de corriente continua eficaces para vehículos, como una alternativa viable a los motores de combustión, se ha vuelto más transcendental. La patente estadounidense 5.164.623 de Shkondin es un ejemplo de una implementación propuesta en la que un motor se monta sobre la rueda de un vehículo, para accionar directamente el vehículo. La patente propone que una disposición de este tipo puede aplicarse en coches eléctricos, bicicletas, sillas de ruedas y similares.

La activación controlada electrónicamente de devanados de motores de corriente continua, ofrece la perspectiva de una gestión más flexible de las características del motor. El uso de imanes permanentes junto con tales devanados es ventajoso a la hora de limitar el consumo de corriente. La patente estadounidense 4.754.207 de Heidelberg *et al.*, describe un motor de corriente continua que tiene un rotor compuesto por un anillo continuo de una pluralidad de imanes permanentes que alternan sucesivamente en polaridad. El estator, que comprende una pluralidad de polos de electroimán conmutables electrónicamente, está separado circunferencialmente de los imanes del rotor por un entrehierro radial. Varios electroimanes del estator adyacentes forman un grupo de fase. Las partes de base entrantes de polos de electroimán adyacentes en cada grupo, están en contacto entre sí con el área de superficie, para formar una trayectoria de flujo magnético continua. El circuito electromagnético se rompe en puntos de transición entre grupos adyacentes de electroimanes. Los sensores detectan la posición rotacional relativa entre los elementos de rotor y estator, para controlar la conmutación electrónica de los devanados de electroimán individuales. Los electroimanes que pertenecen a un grupo común, se conmutan de manera simultánea, con un medio de conmutación electrónica común por grupo. Los devanados de los electroimanes en grupos adyacentes, tienen fases diferentes y se conmutan en momentos diferentes.

Resulta preocupante en cuanto a la implementación de activación conmutada de los devanados del estator, evitar consecuencias desfavorables tales como irregularidades en el giro. Por ejemplo, la conmutación simultánea de todos los devanados de fase del motor, puede provocar un par de salida pulsatoria. Se puede obtener una atenuación de estos efectos, con éxito variable, conmutando apropiadamente todas las fases en momentos diferentes, o conmutando de manera simultánea ciertas combinaciones de devanados que se distribuyen simétricamente alrededor de la periferia del estator y manteniendo ciertas relaciones posicionales con los polos de imán permanente del rotor. Sin embargo, la conmutación de devanados adyacentes en momentos diferentes, conlleva efectos perjudiciales, si los devanados están enlazados a una trayectoria de circuito magnético continua, puesto que los cambios de flujo debidos a la activación cambiada del devanado de un polo tienen efecto en el flujo de un polo adyacente.

Heidelberg *et al.* mitigaron este problema hasta cierto punto, agrupando pluralidades de polos del estator en trayectorias de circuito magnético separadas. La discontinuidad de la trayectoria de circuito magnético entre grupos adyacentes tiene como efecto un aislamiento del flujo magnético, reduciendo así la interferencia de flujo magnético a modo de transformador entre grupos. Sin embargo, cuando todos los polos de un grupo, están enrollados y se conmutan simultáneamente, puede existir todavía un efecto de ondulación del par. Heidelberg *et al.* proporcionan modificaciones en las que algunos polos de un grupo, no están enrollados y/o la estructura de polo de todos los polos de un grupo no tienen una configuración uniforme, impidiendo así los efectos de ondulación del par y la interferencia de flujo entre polos adyacentes. Modificaciones de este tipo sacrifican características del par y capacidad de potencia. Si están enrollados menos polos, la capacidad de generación de flujo se reduce. Los polos no enrollados no contribuyen al par y pueden interactuar de manera negativa con imanes permanentes de rotor. Las modificaciones de configuración de polos no uniformes en Heidelberg *et al.* se acoplan con devanados de polos no uniformes. Tales configuraciones complican el proceso de fabricación y comprometen la eficacia del motor.

Se conoce la necesidad de un motor mejorado susceptible de una fabricación simplificada y capaz de características funcionales flexibles eficaces. En el entorno particular de accionamientos de vehículo, es muy deseable lograr un buen funcionamiento en una amplia gama de velocidades, manteniendo al mismo tiempo una capacidad de salida del par elevada con un mínimo consumo de energía. Tal accionamiento de motor de vehículo debe proporcionar ventajosamente una accesibilidad directa a los diversos componentes estructurales para sustituir piezas con el mínimo

inconveniente. La solicitud de patente estadounidense en tramitación relacionada junto con la presente, incorpora polos de electroimán como estructuras magnéticas aisladas configuradas en un anillo anular delgado para proporcionar efectos ventajosos. Con esta disposición, el flujo puede concentrarse, prácticamente sin pérdida o efectos perjudiciales de interferencia de transformador en los núcleos de electroimán, en comparación con realizaciones de la técnica anterior. Aunque se logran mejoras en las características del par de y en la eficacia, con la estructura de la solicitud de patente identificada en tramitación junto con la presente, continúa siendo un objetivo mejoras adicionales.

Además, el documento WO 03/030333 A2, que entra dentro del art. 54 (3) CPE, describe un motor eléctrico giratorio que comprende un rotor que tiene una pluralidad de elementos de imán permanentes, dispuestos en una configuración de anillo anular alrededor de un eje de rotación, alternando sucesivamente los elementos de imán en polaridad magnética a lo largo de una superficie anular interna, y un estator espaciado del rotor mediante un entrehierro radial. El estator incluye una pluralidad de segmentos de núcleo magnético que tienen respectivas bobinas enrolladas sobre los mismos para formar devanados de estator, los segmentos de núcleo están separados de un contacto directo entre sí y dispuestos a lo largo del entrehierro radial. Cada segmento de estator comprende un par de polos alineados entre sí en una dirección paralela al eje de rotación. De este modo el estator comprende un primer conjunto de polos del estator en alineación radial y un segundo grupo, desplazado axialmente, de polos del estator en alineación radial.

### Objeto de la invención

La presente invención logra las necesidades descritas anteriormente y proporciona ventajas adicionales. Un motor eléctrico giratorio comprende elementos de rotor y de estator configurados cada uno como anillos anulares y concéntricos uno respecto a otro alrededor de un eje de rotación. Cualquiera de los elementos de rotor o de estator está formado por grupos de pares de polos de electroimán, estando distribuidos los grupos de manera sustancialmente equidistante a lo largo de la extensión angular del anillo anular, comprendiendo cada uno de los grupos de material magnético, magnéticamente aislado, y separado de los demás grupos. El otro elemento comprende una pluralidad de grupos de polos de imán permanente distribuidos de manera sustancialmente equidistante con polaridad magnética alternante a lo largo de la extensión angular del entrehierro radial formado entre los elementos. Los grupos de polos de imán permanente comprenden cada uno de una trayectoria de retorno magnético común que está separada y aislada magnéticamente de grupos de polos de imán permanente adyacentes. Los polos de cada grupo de pares de polos de electroimán están enrollados, activándose de manera conmutable los devanados conjuntamente para accionar una interacción electromotriz entre el estator y el rotor. Por tanto se proporciona un número par de polos, dos por cada par de polos, para cada grupo de electroimanes. Los polos de cada par de polos están enrollados de forma opuesta para proporcionar polaridades norte/sur opuestas.

Tal como se describe en la solicitud de patente relacionada, en tramitación junto con la presente, el aislamiento de los grupos de electroimanes permite una concentración individual de flujo en los núcleos magnéticos de los grupos, prácticamente sin pérdida o efectos perjudiciales de interferencia de transformador con otros elementos de electroimán. Pueden conseguirse ventajas funcionales configurando un solo par de polos como un grupo de electroimanes aislado. El aislamiento de la trayectoria magnética del par de polos individual respecto a otro grupo de polos elimina un efecto del transformador de flujo sobre un grupo adyacente cuando se conmuta la activación de los devanados del par de polos. La falta de polos adicionales en los grupos elimina un efecto de este tipo en un grupo.

Sincronizando apropiadamente la activación de devanados conmutada para cada uno de los grupos de pares de polos, se consigue un desarrollo de fuerza electromotriz suave por todo el motor. Una secuencia y fase precisa óptima para conmutación temporizada de grupos de pares de polos particulares depende de la configuración estructural particular de polos electromagnéticos, polos de imán permanente, espaciamiento entre varios polos y otras interrelaciones estructurales. Determinando la secuencia de conmutación temporizada óptima para una configuración de motor específica, puede realizarse una implementación de un esquema de conmutación en función de una posición relativa entre el rotor y el estator. La conmutación puede realizarse mediante un conmutador mecánico o activación electrónica en respuesta a señales generadas por un sensor de posición. En la técnica se conocen bien una amplia variedad de sensores adecuados incluyendo, simplemente a modo de ejemplo, sensores de conmutador de láminas, sensores capacitivos, sensores de efecto Hall, sensores ópticos, y sensores alámbricos de pulsos. La conmutación electrónica controlada por microprocesador proporciona una velocidad ajustable de manera precisa en una estructura de peso ligero. Aunque se conocen bien varios medios de detección de la posición en la técnica, cualquiera de los cuales puede emplearse para generar tales señales, se ha descubierto que es preferible el uso de un resolver. La salida del resolver puede entonces utilizarse por un codificador para codificar señales para la aplicación en un circuito de control basado en un microcontrolador o un microprocesador.

Las realizaciones de la presente invención proporcionan aún más ventajas adicionales. El sistema de propulsión comprende como constituyentes estructurales principales, un subsistema de electroimanes, agrupaciones de imanes permanentes e incluye secciones de anillo de hierro posteriores para las agrupaciones de imanes permanentes. Los imanes permanentes y las partes de anillo forman la parte de rotor del motor, estando situados los imanes permanentes dentro de las secciones de anillo de hierro posteriores.

Son parámetros de interés en el rotor la calidad del imán, la densidad de energía y las características magnéticas generales de la calidad del imán, el tamaño y las dimensiones del imán que pueden ajustar la permanencia y la condición de funcionamiento general del imán cuando forma parte del rotor, la estabilidad de temperatura del imán,

## ES 2 314 050 T3

las etapas de acabado, revestimiento y de procesamiento posterior que se realizan en la fabricación de los imanes para la aplicación pretendida, la estabilidad de la magnetización sobre la superficie curvilínea del imán, uniformidad de la polarización radial del imán, el espacio adyacente entre dos imanes separados, las características mecánicas de los bordes de los imanes, y la trayectoria de flujo de retorno del imán prevista por la sección de anillo posterior.

5 Las secciones de anillo de hierro posteriores son principalmente un medio magnético blando. Pueden fabricarse según varias técnicas a partir de materiales colados, compactados, sinterizados o en polvo así como aceros al silicio laminados ferromagnéticos y magnéticos blandos. Para un funcionamiento óptimo, el hierro posterior debe tener un alto nivel de densidad de flujo de saturación y permeabilidad preferiblemente alrededor de 2,5 T.

10 En una configuración en la que se fijan imanes permanentes a un anillo de hierro posterior continuo, sin excitación aplicada a ninguna de las fases de electroimán, existe un equilibrio. El anillo de hierro continuo experimenta una saturación de flujo magnético completa en las zonas detrás de las zonas en las que hay espacios adyacentes entre dos imanes. Si el anillo se examina con detenimiento, este patrón de saturación de flujo se repite dentro de la masa del anillo. La densidad del flujo de saturación puede ser de 2,0 a 2,3 T. La dimensión y la calidad del material del anillo

15 de hierro pueden modificarse para reducir la intensidad de saturación. Si no hay excitación de electroimán, el patrón de distribución de flujo en el anillo de hierro posterior es estable (no modulado), aunque pueden existir variaciones nominales imperceptibles puesto que puede haber variaciones insignificantes en los valores de densidad de energía de cada imán situado en el subconjunto. Sin embargo, durante los ciclos de excitación de una fase dada del motor, una diferencia de potencial magnético tiende a acumularse entre los polos del electroimán y el correspondiente imán permanente de acoplamiento. Este diferencial de potencial tiende a alterar el patrón de flujo en la correspondiente

20 trayectoria de retorno de segmento del imán. Cuando se localiza este efecto, sólo el segmento correspondiente de la trayectoria de hierro posterior experimentará una reducción imperceptible en la intensidad de la saturación de flujo. Puesto que la corriente de excitación se modula bajo un esquema PWM específico, la reducción en la intensidad de la saturación experimentará el mismo patrón de modulación que la excitación. Sin embargo, esta variación es

25 dependiente de la frecuencia y es proporcional a varios factores clave: 1. la frecuencia de la conmutación de cada fase 2. la frecuencia fundamental del esquema PWM y 3. el factor de trabajo eléctrico cambiante por cada fase. Todos estos efectos contribuyen al desarrollo y a la propagación y modulación de fuertes corrientes parásitas en la trayectoria del hierro y por tanto a un efecto pelicular dentro de la masa del anillo de hierro. Estas corrientes parásitas tienden a propagarse alrededor de la trayectoria del hierro posterior y por tanto afectan negativamente al equilibrio de

30 otros segmentos y por tanto provocan desfases no deseados en las corrientes de excitación de otras fases. El efecto más dominante son las pérdidas de las corrientes parásitas que se provocan en la masa de la trayectoria del hierro. La intensidad de esta pérdida de corriente parásita puede mitigarse aumentando la resistividad eléctrica inherente (o disminuyendo la conductividad eléctrica del material), o cambiando la calidad y geometría o la situación de la trayectoria del hierro posterior, o induciendo barreras en el flujo de las corrientes parásitas. Si predominan las pérdidas, una forma de reducir las corrientes parásitas sería utilizar construcción de acero laminado. Sin embargo, puesto que el

35 anillo de hierro se comparte entre todos los imanes, solamente esto no soluciona enteramente el problema.

Una solución de la presente invención es dividir cada hierro posterior en segmentos (proporcionales al paso de una agrupación de imanes) de modo que hay un entrehierro físico entre los segmentos de hierro posterior de dos agrupaciones de imanes adyacentes. Aunque esto puede reducir el enlace de flujo efectivo entre los dos imanes adyacentes de agrupaciones diferentes (y a su vez en todo el anillo de hierro posterior), esto aísla los efectos de la corriente parásita a lo largo de su trayectoria de propagación. La orientación de estos espacios en el hierro posterior se configuran para conseguir el funcionamiento deseado del diseño.

45 Con el aislamiento adicional de grupos de imanes permanentes, campos de flujo de componentes tanto de estator como de rotor se concentran de este modo y se centran en el entrehierro para una interacción electromotriz óptima. Tal interacción es particularmente eficaz cuando el número de polos en cada uno de los grupos de electroimanes e imanes permanentes es el mismo. El número máximo de grupos puede realizarse empleando dos polos en cada grupo. La interacción entre pares de polos aislados simples del elemento de electroimanes y el elemento de imanes

50 permanentes para todos los grupos a lo largo del entrehierro contribuye a una capacidad de torsión elevada con un funcionamiento eficaz. Tal eficacia acoplada con la activación de devanados electrónicamente conmutada de peso ligero alarga significativamente la vida útil de la batería.

Aunque la presente invención tiene aplicabilidad útil en diversas aplicaciones de accionamientos de motor, es ventajosamente apropiado para un accionamiento de vehículo en el que el rotor está estructurado para rodear el estator, estando fijado el rotor a una carcasa para una sujeción directa a la rueda del vehículo. El rotor anular está por tanto a una distancia radial sustancial del eje de rotación. La carcasa del rotor está articulada para su rotación alrededor de un árbol estacionario en el eje de rotación a través de cojinetes. En una realización en la que el rotor comprende imanes permanentes, pueden distribuirse un número elevado de grupos de imanes permanentes de manera sustancialmente

60 uniforme a lo largo del anillo anular, fijado a un anillo de material no magnético como el aluminio. Cuando un microprocesador programado tiene la capacidad de generar una tasa de señales de conmutación extremadamente alta, está disponible un amplio intervalo de velocidades de vehículo y pares de torsión sin necesidad de cambiar el engranaje de transmisión. Los grupos de electroimanes separados forman un anillo de estator anular relativamente delgado que está espaciado del eje de rotación por una distancia radial, que preferiblemente es sustancialmente mayor que la dimensión radial entre limitaciones de diámetro interno y externo del anillo de estator. Los grupos separados de electroimanes se fijan de modo que puedan desmontarse elementos de placa que también se fijan al árbol estacionario. Se ha descubierto que la configuración de la presente invención, en la que los polos de electroimán forman estructuras magnéticas aisladas formadas en un anillo anular delgado, proporciona efectos adicionales ventajosos. Con esta disposición, el

65

## ES 2 314 050 T3

flujo puede concentrarse, sin prácticamente pérdida o efectos perjudiciales de interferencia de transformador, en el entrehierro radial para una interacción óptima con el rotor de imán permanente. Como resultado, está disponible un par extremadamente alto con una gran eficacia que alarga significativamente la vida útil de la batería.

5 La estructura del estator de la presente invención proporciona una ventaja adicional en cuanto a que se facilita el acceso y la sustitución de un grupo de estator individual. Así, si un grupo de devanado de estator particular se daña, por ejemplo, por un fallo en la estructura de polos o devanado, el grupo de estator individual puede sustituirse sin retirar o sustituir la unidad de estator completa. Como una ventaja relacionada se ha descubierto que utilizar un número elevado de grupos de rotor y grupos de estator de pares de polos simples permite al motor continuar funcionando de manera satisfactoria incluso si falla la activación de un grupo de polos de electroimán particular.

Una ventaja adicional de la presente invención es que, en gran medida, las dimensiones y los espacios entre polos de las caras de los polos del estator y del rotor son relativamente independientes entre sí. Un esquema de activación conmutada temporizada puede programarse para su optimización en una configuración estructural particular. En la realización del accionamiento de vehículo preferida, descrita anteriormente, se utiliza un número impar de grupos de estator. Los polos del estator tienen caras de polo en el entrehierro que son de extensión angular sustancialmente uniforme. Las caras de polo del rotor de imán permanente tienen una extensión dimensional angular sustancialmente igual en el entrehierro, que es diferente de la dimensión de cara de polo del estator. La distancia angular entre los centros de las caras de polo en cada grupo del estator es sustancialmente uniforme por toda la periferia del estator y difiere de la distancia angular entre los centros de las caras de polo del estator de grupos adyacentes. La distancia angular entre los centros de las caras de polo de cada grupo estator también es diferente a la distancia angular entre los centros de polos de imán permanente adyacentes del rotor. Los espacios entre las caras de polo del estator adyacentes en cada grupo son sustancialmente iguales para todos los grupos y diferentes de espacios entre grupos del estator adyacentes. Las caras de polo del rotor están separadas de manera sustancialmente uniforme mediante espacios, tanto dentro como entre grupos, preferiblemente siendo los espacios entre las caras de polo del rotor adyacentes, diferentes de los espacios entre caras de polo del estator adyacentes en un grupo estator.

Ventajas adicionales de la presente invención se apreciarán fácilmente por aquellos expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción detallada, en la que sólo se muestra y se describe la realización preferida de la invención, simplemente a modo de ilustración del mejor modo contemplado de llevar a cabo la invención. Como se apreciará, la invención es capaz de otras realizaciones diferentes, y varios de sus detalles pueden modificarse. Por consiguiente, los dibujos y la descripción han de considerarse de naturaleza ilustrativa, y no restrictiva.

### Descripción de las figuras

35 La presente invención se ilustra a modo de ejemplo, y no de manera limitativa, en las figuras del dibujo que acompaña y en el que números de referencia iguales se refieren a elementos similares y en el que:

40 La figura 1 es un diagrama en planta de una distribución del estator y el rotor de una realización preferida del motor de la presente invención.

La figura 2 es un diagrama en perspectiva tridimensional de la estructura de polos del estator y el rotor de la realización de la figura 1.

45 La figura 3 es un diagrama en sección detallado parcial que ilustra la estructura del motor de la invención, en particular adecuada para su uso en el accionamiento de una rueda de vehículo.

La figura 4 es una vista en despiece ordenado de la estructura del motor mostrada parcialmente en sección en la figura 3.

50 La figura 5 es una vista externa en perspectiva de una carcasa de cubo de rueda ensamblada que encierra el motor según la presente invención.

55 La figura 6 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de control para accionar el motor de la presente invención.

La figura 7 es un diagrama en planta de una distribución del estator y el rotor de otra realización del motor de la presente invención.

60 La figura 8 es una vista en planta esquemática de una realización alternativa de la presente invención en la que el rotor comprende grupos de electroimanes separados de pares de polos que rodean a través de un entrehierro radial un estator de imán permanente.

### Descripción detallada de la invención

65 La figura 1 es un diagrama en planta de una distribución del estator y el rotor de una realización preferida del motor de la presente invención. El elemento (10) de rotor es una estructura de anillo anular que tiene dieciséis imanes (12) permanentes distribuidos de manera sustancialmente uniforme. Los imanes permanentes están divididos en

ocho grupos de pares de polos norte/sur, los imanes permanentes de cada grupo están unidos mediante material (14) magnéticamente permeable, que sirve como una trayectoria de retorno magnético entre los polos (12) magnéticos permanentes adyacentes. Los grupos de imanes permanentes forman cada uno un circuito magnético que está aislado de grupos adyacentes. La placa (16) trasera cilíndrica, de material no magnéticamente permeable tal como aluminio, une los grupos de imanes permanentes para formar el anillo anular. Los imanes permanentes son polos de rotor que alternan en polaridad magnética a lo largo de la periferia interna del anillo anular. El rotor rodea un elemento (20) de estator, estando separados los elementos de rotor y estator por un entrehierro radial. El estator (20) comprende siete elementos o grupos de polos (22) de construcción uniforme, que están distribuidos de manera uniforme a lo largo del entrehierro. Cada grupo del estator comprende una estructura (24) magnética generalmente en forma de “u” que tiene dos caras (26) de polo en el entrehierro. Cada estructura de grupo de estator está separada, y aislada magnéticamente, de grupos adyacentes. Los brazos de los polos están enrollados con devanados (28). Los devanados de cada grupo de estator están conectados entre sí para activarse simultáneamente cuando se conectan a una fuente CC de activación. Los devanados están configurados para proporcionar polaridades norte/sur opuestas a los polos de cada par de polos, formando de este modo un electroimán. La inversión de la polaridad de activación provoca la inversión de las polaridades magnéticas del par de polos. Una conmutación temporizada apropiadamente de la activación del devanado del estator a lo largo del entrehierro radial provoca una generación de fuerza electromotriz mediante la interacción de fuerzas magnéticas entre el estator y el rotor a través del entrehierro.

Los polos del rotor de imán permanente son todos de extensión angular uniforme a lo largo del entrehierro y están separados entre sí mediante espacios angulares de extensión uniforme. Por tanto, los espacios entre polos de grupos adyacentes de imanes permanentes tienen la misma dimensión que los espacios entre polos de imán permanente en los grupos. En función de estas relaciones de uniformidad, las dimensiones reales de las caras de polo del rotor y los espacios entre las mismas son variables y pueden optimizarse según el entorno de aplicación. Ha de entenderse que puede emplearse cualquier número par de grupos y polos del rotor, mostrándose la disposición en la figura 1 simplemente con fines ilustrativos. Las caras de polo del estator tienen todas una extensión angular uniforme, preferiblemente de una dimensión diferente que la de la cara de polo angular del rotor.

Los elementos (24) del estator están fijados, de una manera que se describe de forma más completa posteriormente, a una estructura de soporte no magnéticamente permeable, de modo que los elementos de estator forman una configuración de anillo anular. Los polos dentro de cada grupo del estator están separados por espacios radiales que son uniformes para todos los grupos del estator. La extensión de estos espacios es diferente del espaciamiento entre polos de grupos del estator adyacentes. Los espacios entre polos del estator y los espaciamentos de los grupos son diferentes cada uno de los espacios entre polos angulares del rotor. La extensión radial de la estructura anular del estator, es decir, la distancia entre diámetros interno y externo, es sustancialmente inferior a la distancia entre el eje de rotación central y el diámetro interno del estator. Esta dimensión de estator radial relativamente estrecha proporciona una concentración favorable de flujo dentro de cada estructura de elemento de estator centrada en el entrehierro. En virtud de esta configuración, y de la ausencia de efectos de flujo de transformador disperso de grupos de polos del estator adyacentes, puede obtenerse de manera eficaz una salida de par alta.

Las relaciones de dimensión relativamente independientes entre los polos del estator y del rotor permiten flexibilidad a la hora de ajustar el número de polos y las dimensiones. Aunque se prefiere un número impar de grupos de polos del estator para posibilitar un rendimiento óptimo, este número no está limitado en ningún caso a siete, tal como se muestra con fines ilustrativos. De manera similar, cada grupo de polos del estator puede comprender una pluralidad de pares de polos que comparten una estructura magnéticamente permeable aislada común, preferiblemente con un número par de polos en cada grupo. En un entorno de funcionamiento en el que es deseable obtener un control preciso sobre un intervalo de velocidad amplio, puede implementarse un gran número de polos del estator y del rotor. Tal implementación puede coordinarse con las capacidades de control del sistema de control que va a usarse, ajustándose también el número de grupos del estator separados de manera correspondiente. Aunque el motor puede soportar una variedad de aplicaciones específicas, la invención tiene utilidad particularmente ventajosa para accionar un vehículo, en el que la estructura del motor está alojada dentro de una rueda. Los elementos de rotor y estator concéntricos en tal entorno están ubicados en la llanta de la rueda, a una distancia radial sustancial del eje de rotación. El gran diámetro de la llanta proporciona amplio espacio para albergar una gran pluralidad de polos del rotor y del estator individuales, facilitando así la flexibilidad del control.

La figura 2 es una vista en perspectiva de un conjunto de rotor y estator de la realización del motor de la figura 1. El rotor anular, que incluye una placa (16) trasera cilíndrica que soporta los grupos de imanes permanentes, está encerrado por un elemento (30) de alojamiento anular, que puede estar hecho de aluminio u otro material no magnéticamente permeable. Dentro de esta estructura de rotor cilíndrica están fijados rígidamente los grupos del estator mediante dos placas (32), de las que sólo una se muestra en el dibujo. Cada placa (32) tiene una configuración circular rígida que tiene un diámetro externo y una parte recortada circular en su centro que forma un diámetro interno. El diámetro interno está dimensionado para ajustarse al árbol (34) estacionario y para fijarse a un elemento de árbol. A lo largo de la periferia de la placa, la placa está dotada de orificios espaciados de manera apropiada para coincidir con correspondientes orificios de paso en los elementos de estator. Cada una de las placas (32) está fijada al árbol (34) y están espaciadas entre sí de manera apropiada para fijarse a, y para intercalar a modo de sándwich, las estructuras (24) de polos de los elementos de estator en cada lado axial del mismo a través de los orificios coincidentes. Las placas pueden extraerse selectivamente para facilitar el acceso y la sustitución de un elemento de estator individual que pueda resultar dañado o que requiera reparación, sin tener que sustituir toda la unidad. Puesto que cada uno de los elementos de estator puede hacerse intercambiable, el mantenimiento del estator es una cuestión relativamente simple de insertar

## ES 2 314 050 T3

un elemento de estator de repuesto en la posición coincidente apropiada entre las placas y conectar los extremos de los devanados.

La figura 3 es un diagrama en sección más detallado que ilustra la estructura del motor de esta realización de la invención, particularmente adecuada para su uso en el accionamiento de una rueda de vehículo de un automóvil, motocicleta, bicicleta, o similar. El árbol (34) estacionario, las placas (32), las estructuras (24) del estator y los devanados (28), están contenidos dentro de la carcasa (40), a la que están fijados la placa (14) trasera de rotor anular y los imanes (12) permanentes. La carcasa (40) está articulada al árbol a cada lado de las placas (32) a través de casquillos (36) y cojinetes (38). Por tanto la carcasa (40) forma partes laterales de una rueda de vehículo que gira, accionada por el rotor, alrededor del árbol (34). El elemento (30) de alojamiento anular está fijado de manera rígida a la carcasa (40) y al rotor, y funciona como una llanta para ajustar un neumático de un vehículo. La figura 4 es una vista en despiece ordenado de la estructura del motor de la figura 3, mientras que la figura 5 es una vista exterior en perspectiva tridimensional de la parte de cubo de rueda ensamblada. Las partes (42) de conector se proporcionan para ilustrar el uso del motor en un entorno de tipo bicicleta cada una de las partes (42) de conector pueden fijarse a una parte respectiva de una horquilla de bicicleta. Las figuras del dibujo también ejemplifican el uso de diversas arandelas estándar, elementos de tuerca y perno para ensamblar diversos elementos. Ha de entenderse que puede emplearse cualquier medio apropiado ampliamente conocido en la técnica para ensamblar los diversos elementos.

La figura 6 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de control para accionar el motor de la invención de la realización de la figura 1. Se proporciona una corriente de activación para los devanados (20) del electroimán del estator individuales mediante una fuente (50) de alimentación de batería. Aunque la activación por conmutación de los devanados de estator puede implementarse usando una disposición de conmutador mecánica ampliamente conocida, los circuitos de conmutación electrónicos han pasado a ser muy habituales y proporcionan ventajas de control superiores. Es preferible, por lo tanto, conectar devanados (20) del estator a la batería (50) a través del circuito (52) de conmutación. El circuito (52) de conmutación puede comprender cualquier circuito electrónico bidireccional controlado ampliamente conocido que pueda suministrar activación de batería, conmutable en polaridad, de manera individual a los devanados del motor, bajo el control del controlador (54). El controlador (54) preferiblemente comprende un microcontrolador, un microprocesador o similar que puede programarse para aplicar señales de control temporizadas apropiadamente al circuito (52) de conmutación según señales de retroalimentación generadas en respuesta al movimiento relativo entre estator y rotor. Se conocen en la técnica varios sensores de posición que pueden producir señales de retroalimentación del motor para su utilización por el controlador. El resolver (56) está acoplado para girar con el rotor (10) y genera señales que indican la posición angular del rotor. Estas señales se codifican por el codificador (58) de manera apropiada para su uso por el controlador. El controlador puede programarse para emitir señales de control temporizadas de manera óptima que han de coincidir con las señales de codificador recibidas, basándose en la configuración dimensional específica de los elementos de estator. La programación puede tener en cuenta por tanto el número de polos del estator y del rotor, el número de agrupamientos del estator, las dimensiones de los polos del estator y del rotor y las dimensiones de los diversos espacios en la estructura del motor. Se ha descubierto que el par motor y las características de velocidad superiores obtenidas por la estructura anteriormente descrita que opera en el modo conmutado electrónicamente programado de manera óptima posibilitan un funcionamiento satisfactorio incluso si uno o más grupos de elementos de estator individuales no pueden funcionar. Por tanto un vehículo en tal circunstancia puede seguir utilizándose hasta que sea conveniente sustituir una parte de los elementos del estator.

La figura 7 es un diagrama en planta de una distribución de estator y rotor de otra realización del motor de la presente invención. Cuatro grupos (22) del estator están formados cada uno por separado por material (24) magnéticamente permeable aislado para formar cuatro polos (26) sobresalientes que tienen devanados sobre los mismos cuando se activan para formar polos magnéticos de polaridad alternante. El rotor comprende cuatro grupos de imanes permanentes. Cada grupo contiene cuatro imanes (12) permanentes fijados en polaridad magnética alternante de manera sucesiva a material (14) magnéticamente permeable. La trayectoria magnética de cada grupo rotor está aislada respecto a grupos del rotor adyacentes. En esta realización, tanto el rotor como el estator comprenden cuatro grupos de polos dando un total de dieciséis polos. Esta disposición contrasta por tanto con la realización de la figura 1, en la que están configurados un número impar de grupos del estator y un número par de grupos del rotor. Además, en la figura 7 el espaciado entre polos de grupos del estator adyacentes tiene una dimensión más similar al espaciado entre polos adyacentes dentro de un grupo del estator que en el caso de la figura 1. Estas diferencias son variables y se ajustan para adaptarse a los requisitos esperados del entorno particular en el que va a aplicarse el motor. El motor de la figura 7 puede incorporarse estructuralmente dentro de una rueda de vehículo del modo ilustrado en las figuras 2 a 5.

La figura 8 es una vista en planta esquemática de una realización en la que el rotor comprende grupos de electroimanes de pares de polos separados que rodean a través de un entrehierro radial un estator de imanes permanentes que tiene una trayectoria magnética discontinua para formar grupos aislados de polos. Esta realización es por lo demás estructural y funcionalmente igual que la de la figura 1 y puede implementarse estructuralmente en un entorno de rueda del modo ilustrado en las figuras 2 a 5.

En esta memoria descriptiva se muestran y describen únicamente realizaciones preferidas de la invención y sólo algunos ejemplos de su versatilidad. Por ejemplo, como puede apreciarse, el motor de la invención puede utilizarse en una amplia gama de aplicaciones además de accionamientos de vehículos. Aunque en la implementación de un accionamiento de vehículo se prefiere que el rotor rodee el estator, ventajosamente pueden encontrar utilidad otras aplicaciones con el estator rodeando el rotor. Por tanto, entra dentro de las previsiones de la invención que cada

5 elemento anular interno y externo pueda comprender o bien el estator o bien el rotor y pueda comprender o bien el grupo de electroimanes o bien el grupo de imanes permanentes. Aunque se han ilustrado polos sobresalientes enrollados, también pueden proporcionarse en su lugar devanados en una estructura ranurada no sobresaliente. Ha de entenderse que las conexiones reales entre los devanados individuales y la unidad de control conmutada en cualquiera de estas disposiciones no se ha ilustrado ya que tales disposiciones forman parte claramente del conocimiento del experto en la técnica.

10 Ha de apreciarse también que secuencias particulares de activación de los electroimanes pueden variar en función de diversas consideraciones. La activación de los electroimanes puede conmutarse secuencialmente a lo largo de la periferia del entrehierro o en un orden diferente. Grupos de electroimanes pueden activarse todos en todo momento, aunque conmutarse en momentos programados individualmente. A la inversa, pueden activarse y desactivarse los electroimanes individuales a intervalos predeterminados inducidos secuencialmente, inducidos aleatoriamente, o inducidos no secuencialmente.

15 Aunque la presente invención se ha ejemplificado en la presente memoria en el contexto de un motor de corriente continua, un experto en la técnica apreciará que los principios descritos son aplicables a motores de corriente alterna de tipo síncrono y motores que tienen elementos enrollados que pueden activarse mediante una variedad de formas de onda de pulsos. Por tanto, la fuente de potencia eléctrica para accionar el motor no está limitada a una batería, sino que puede incluir, por ejemplo, una fuente de corriente alterna. Tal fuente de corriente alterna puede convertirse en corriente continua o alimentación mediante formas de onda de pulsos o puede usarse sin tal conversión para accionar el motor como un motor síncrono de corriente alterna.

#### 25 **Referencias citadas en la memoria**

Esta lista de referencias citadas por el solicitante se dirige únicamente a ayudar al lector y no forma parte del documento de patente europea. Incluso si se ha procurado el mayor cuidado en su concepción, no se pueden excluir errores u omisiones y el OEB declina toda responsabilidad a este respecto.

#### 30 **Documentos de patente mencionados en la memoria**

- US 5164623 A, Shkondin (0002)
- WO 03030333 A2 (0007)
- US 4754207 A, Heidelberg (0003)

35

40

45

50

55

60

65

# ES 2 314 050 T3

## REIVINDICACIONES

1. Motor eléctrico giratorio que tiene un estator y un rotor, comprendiendo el motor:

5 elementos de anillo anulares primero y segundo dispuestos de manera concéntrica alrededor de un eje de rotación y separados entre sí mediante un entrehierro radial;

10 en el que dicho primer elemento comprende grupos de polos (22) de electroimán, estando los grupos distribuidos de manera sustancialmente equidistante a lo largo de su anillo (14) anular, comprendiendo cada uno de los grupos material magnético aislado y separado magnética y eléctricamente de los demás grupos;

15 en el que cada grupo de polos (22) de electroimán comprende devanados (28) que se activan de manera conmutable para accionar una interacción electromotriz entre los elementos primero y segundo, según un esquema preestablecido de excitación secuencial, no secuencial o aleatoria;

**caracterizado** porque

20 dicho segundo elemento comprende una pluralidad de grupos de polos (12) de imán permanente distribuidos de manera sustancialmente equidistante con polaridad magnética alternante en cada grupo, teniendo cada grupo de polos (12) de imán permanente una trayectoria de retorno magnético común que está aislada y separada de la trayectoria de retorno magnético de grupos de imanes permanentes adyacentes; y

25 los imanes (12) permanentes en cada grupo de polos de imán permanente en el rotor están separados entre sí por un espacio uniforme angular y se alternan en polaridad magnética a lo largo de la periferia interna del anillo anular.

2. Motor eléctrico giratorio según la reivindicación 1, en el que el rotor (10) rodea el estator (20).

30 3. Motor eléctrico giratorio según la reivindicación 1 ó 2, en el que el estator (20) comprende dicho primer elemento de anillo anular y el rotor (10) comprende dicho segundo elemento (14) de anillo anular.

35 4. Motor eléctrico giratorio según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el estator (20) anular comprende un límite interno a una primera distancia radial del eje de rotación y un límite externo a una segunda distancia radial del eje de rotación, y la distancia radial entre los límites interno y externo es inferior a dicha primera distancia radial.

40 5. Motor eléctrico giratorio según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el estator (20) comprende dicho segundo elemento de anillo anular y el rotor (10) comprende dicho primer elemento (14) de anillo anular.

45 6. Motor eléctrico giratorio según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dichos grupos de polos (22) de electroimán están espaciados entre sí mediante una distancia angular que es diferente del espaciado entre grupos de imanes permanentes adyacentes.

50 7. Motor eléctrico giratorio según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el número de grupos de imanes permanentes es un número par y el número de grupos de electroimanes es un número impar.

55 8. Motor eléctrico giratorio según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que todos los grupos contienen el mismo número de polos (12, 22) magnéticos.

60 9. Motor eléctrico giratorio según una de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende además un sensor de posición del rotor, en el que se generan señales para conmutar la activación los devanados (28) en respuesta al sensor.

65 10. Motor eléctrico giratorio según la reivindicación 9, en el que dicho sensor de posición comprende un resolver (56);

y dicho motor comprende además un codificador (58) para generar dichas señales.

11. Motor eléctrico giratorio según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que los polos (12) del rotor en los grupos del rotor tienen caras de polo separadas por espacios de manera sustancialmente uniforme para todos los grupos, siendo los espacios sustancialmente iguales a los espacios entre caras (26) de polo de grupos adyacentes.

12. Motor eléctrico giratorio según una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que la distancia angular entre polos (22) de cada grupo del estator es sustancialmente uniforme por toda la periferia del estator (20) y difiere de la distancia angular entre polos (22) del estator de grupos adyacentes.

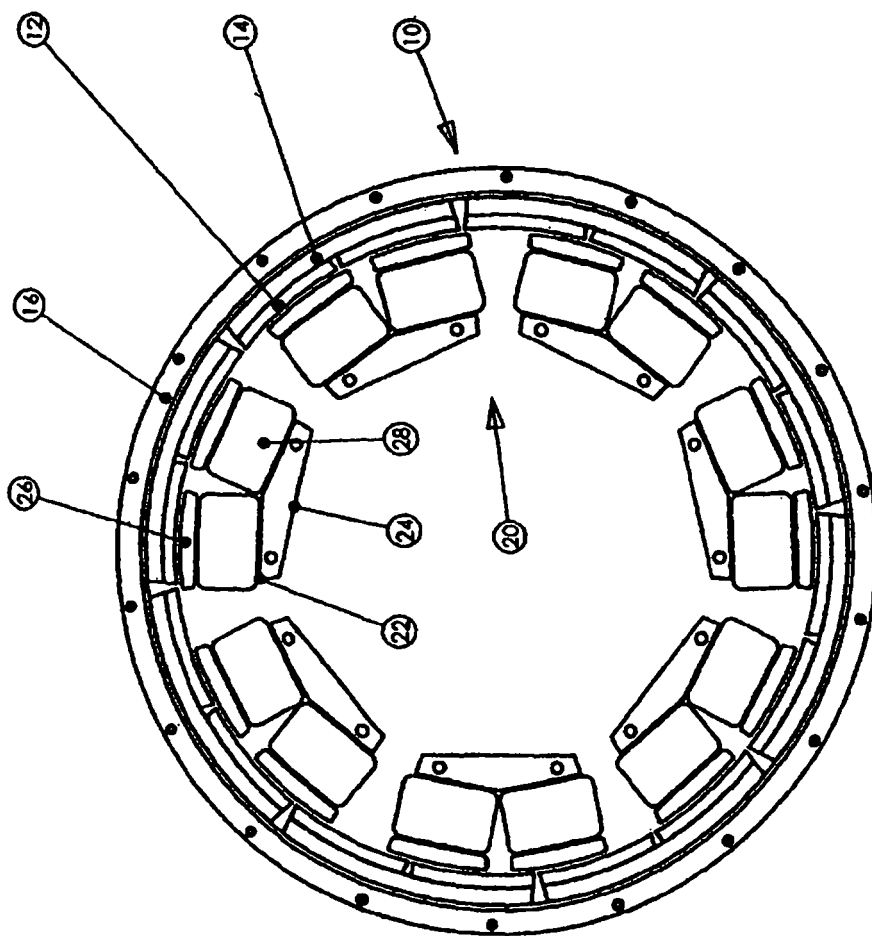


Figura 1

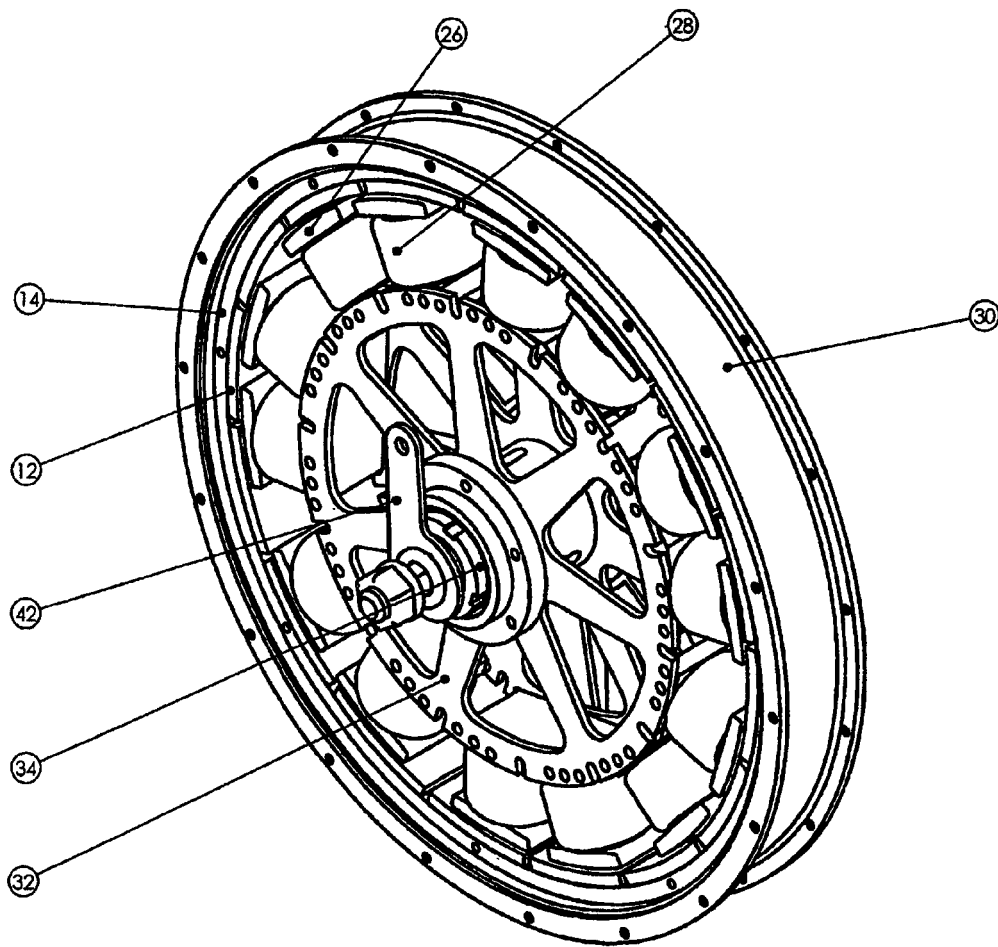
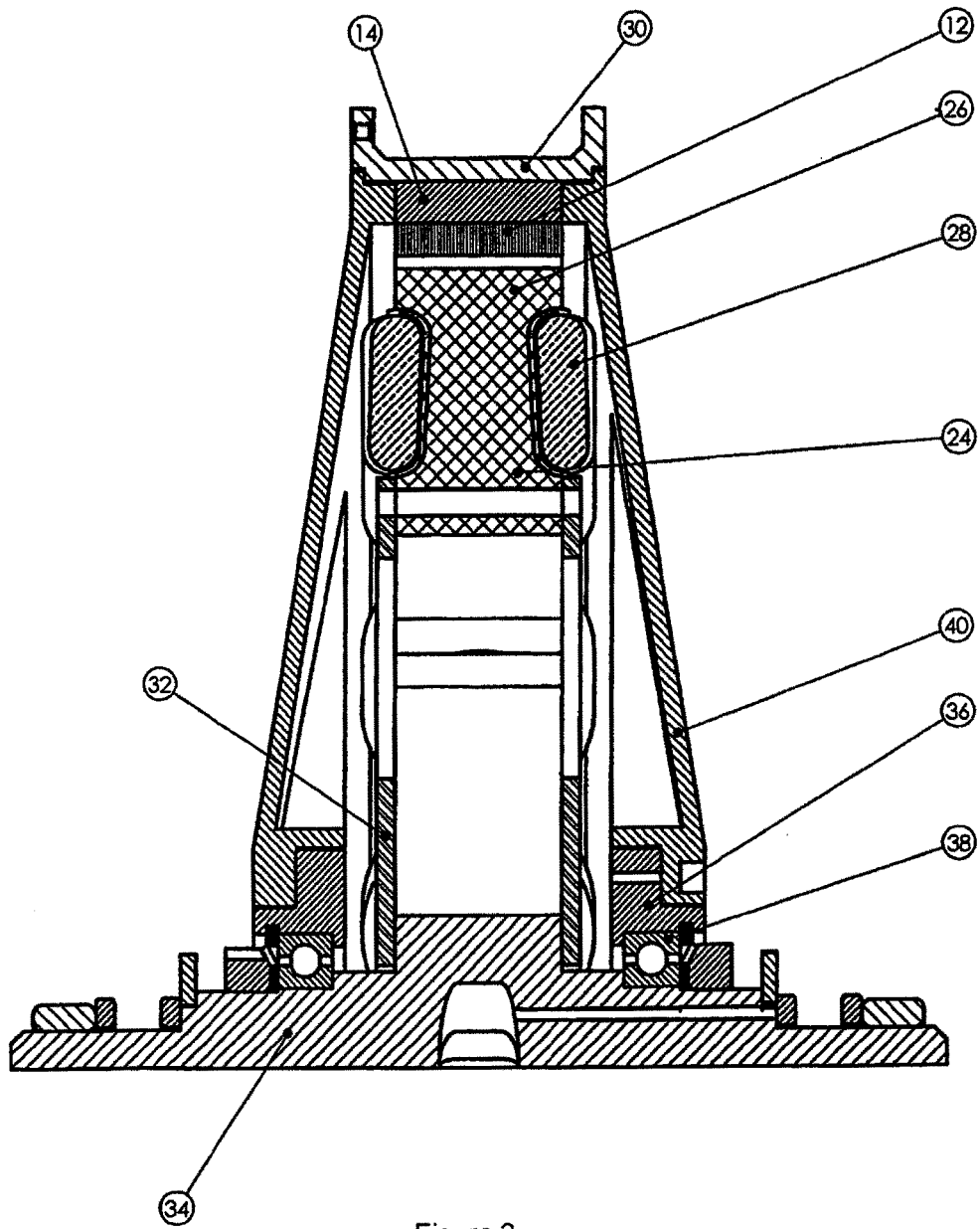


Figura 2



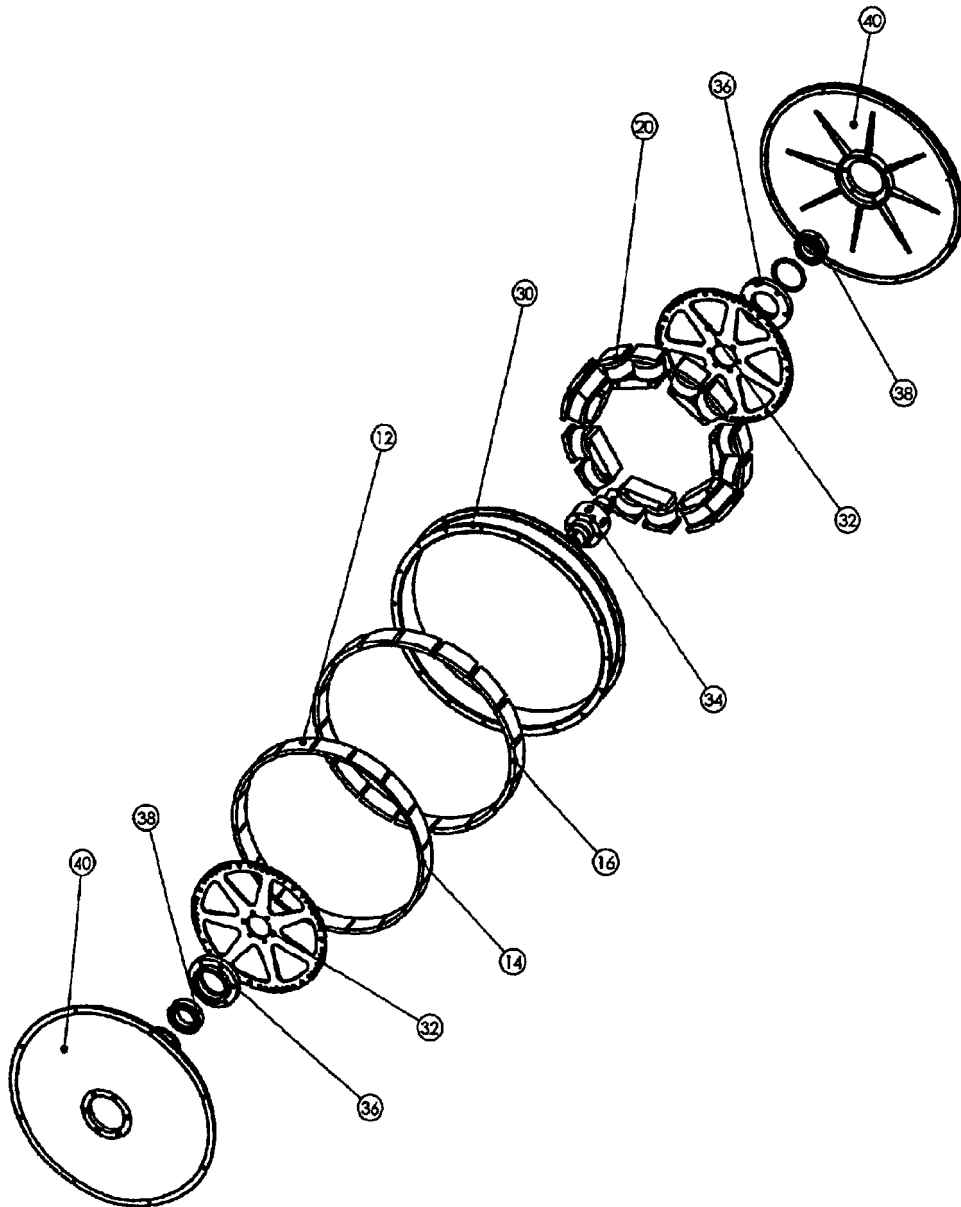


Figura 4

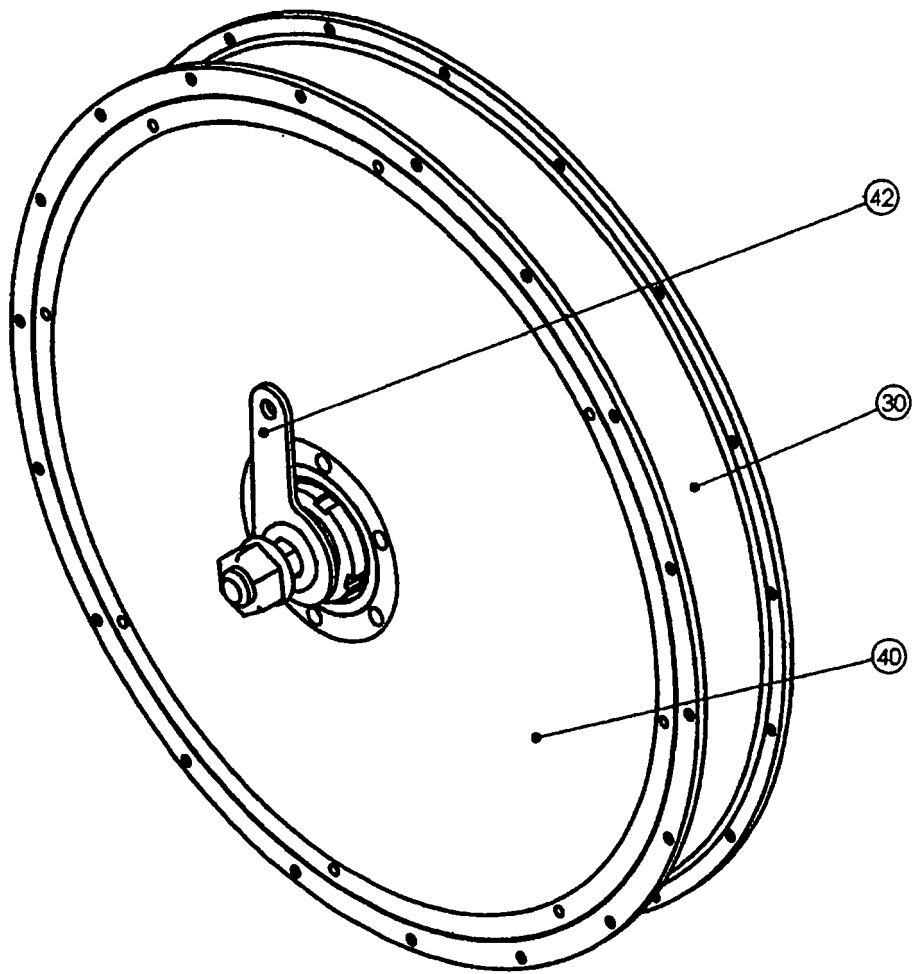


Figura 5

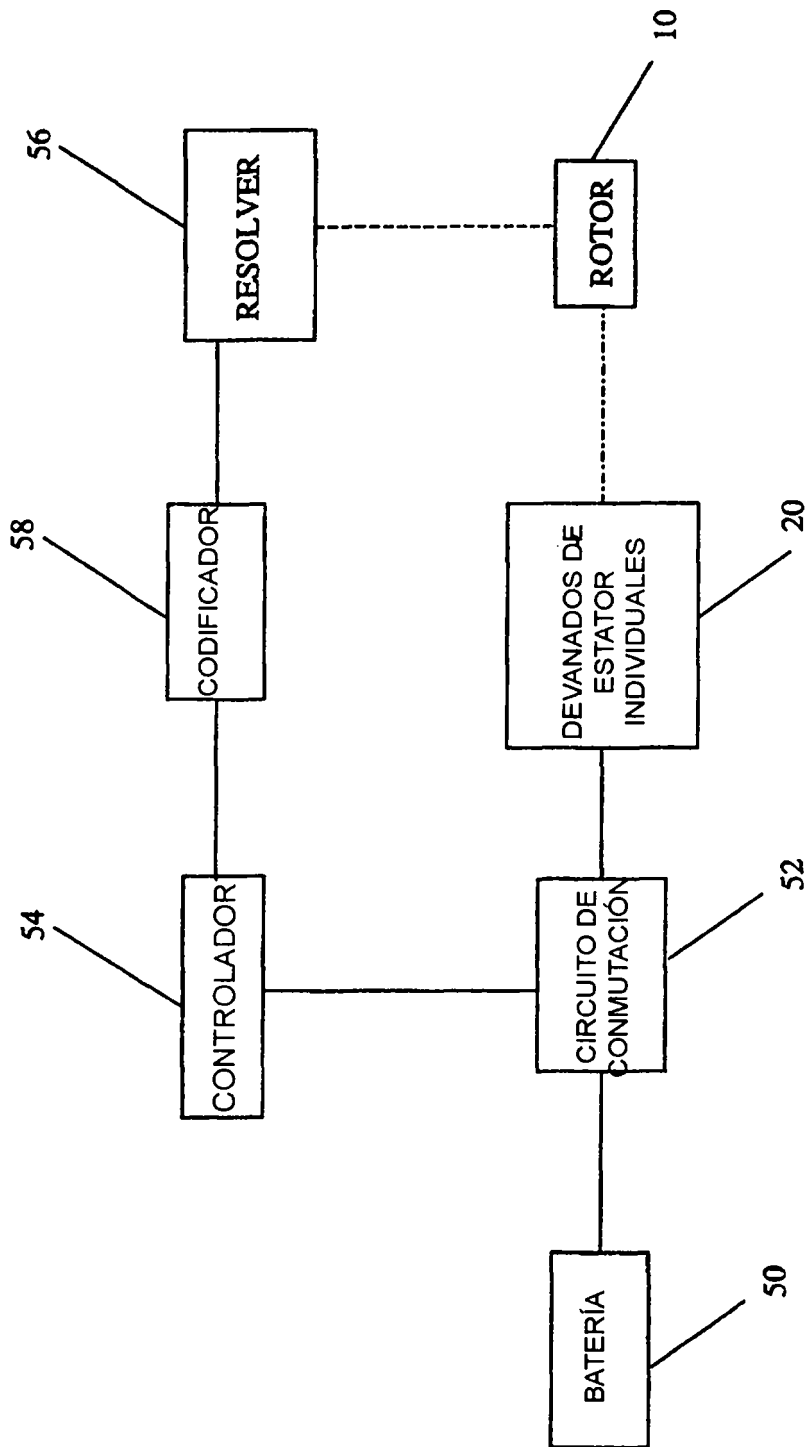


Figura 6

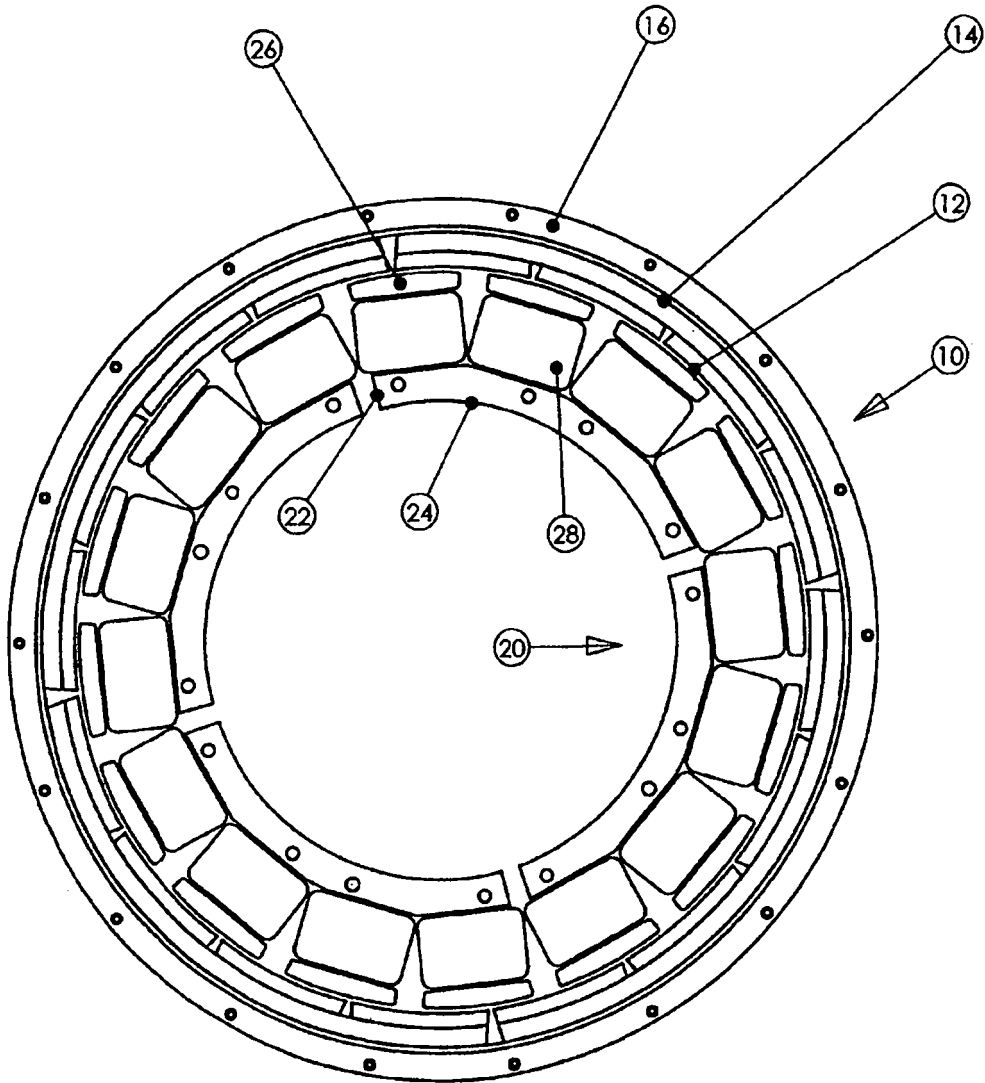
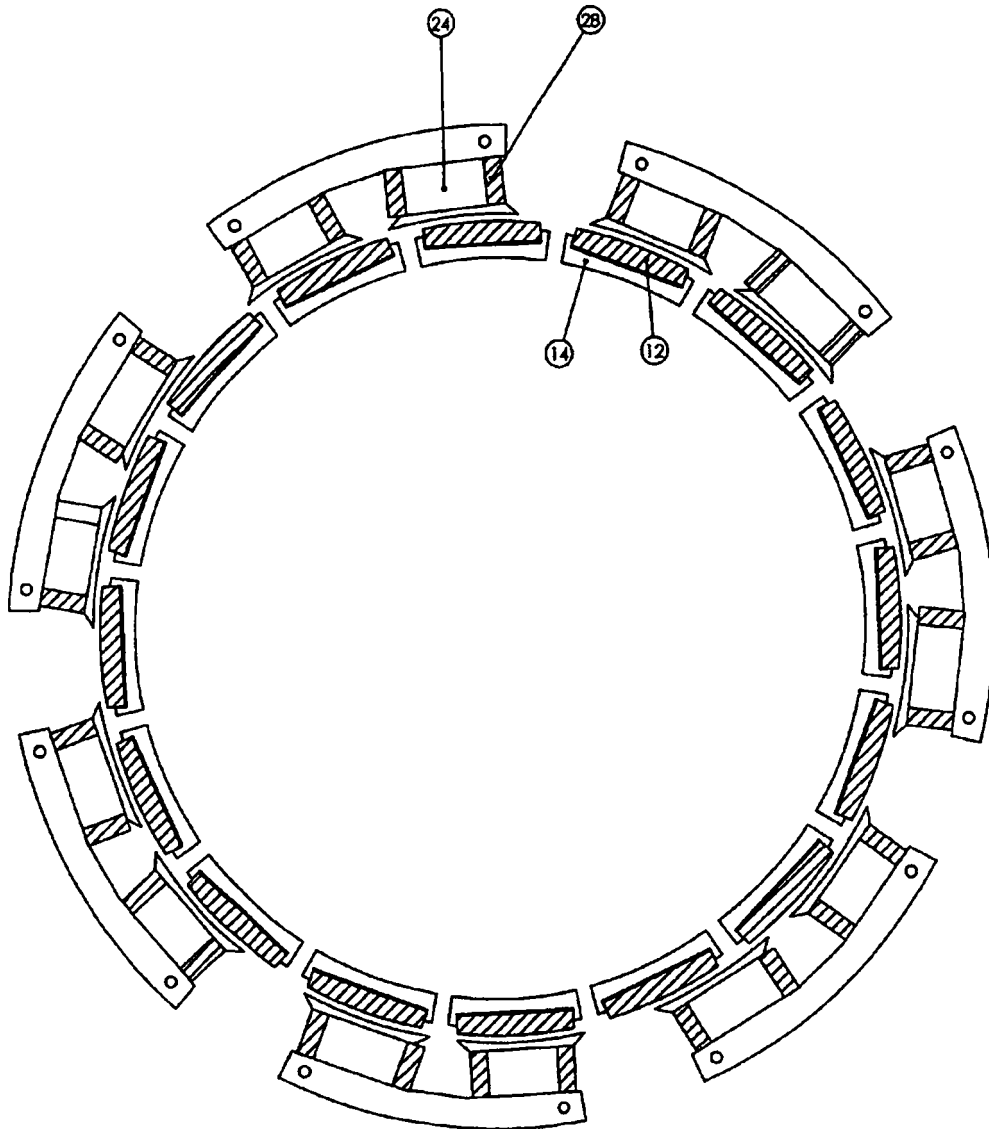


Figura 7



**FIG. 8**