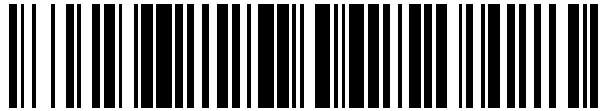


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 777 794**

51 Int. Cl.:

**H02K 3/04** (2006.01)

**H02K 21/24** (2006.01)

**H02K 3/47** (2006.01)

**H02K 16/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.08.2009 PCT/US2009/054049**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.02.2010 WO10019951**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.08.2009 E 09807419 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2020 EP 2327137**

54 Título: **Motor regenerativo y bobina**

30 Prioridad:

**15.08.2008 US 188994 P**

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

**06.08.2020**

73 Titular/es:

**MILLENNIAL RESEARCH CORPORATION  
(100.0%)  
610 W. Needles Avenue  
Bixby, Oklahoma 74008, US**

72 Inventor/es:

**PALMER, DENIS;  
PALMER, ROBERT;  
RIDDOCH, DAMIAN;  
BUTLER, EDWARD y  
PALMER, CHARLES**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 777 794 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 regenerativo y bobina

**5 Antecedentes de la invención**

1. Campo de la invención

10 La presente invención se refiere en general a motores eléctricos y, más particularmente, a un motor regenerativo con una bobina novedosa.

2. Descripción de la técnica relacionada

15 En los motores convencionales, el hierro, alrededor del cual se enrolla un alambre de cobre, se usa para transmitir el flujo desde donde se crea a partir de los devanados de cobre hasta donde se necesita para ser utilizado en la zona de interfaz rotor/estátor.

20 El documento US 5,723,933 describe un motor de corriente continua que tiene un entrehierro cilíndrico y un estátor libre de hierro. El documento US 7,250,704 B1 describe una bobina eléctrica para un motor o generador eléctrico que se basa en un alambre plano. El documento US 4,427,907 describe una armadura tipo panqueque para una máquina dinamoeléctrica. El documento US 4,760,294 describe un motor lineal con bobinas controladas independientemente. El documento WO 2008/014112 A2 describe un motor eléctrico multifásico con un estátor que tiene una pluralidad de bobinas de alambre que rodean un núcleo no magnetizable, y un rotor con imanes permanentes integrados en el mismo. El documento US 5,514,923 describe un motor de corriente continua multifásico que utiliza imanes permanentes en el rotor y bobinas de núcleo de aire enrolladas en el estátor.

**Sumario de la invención**

30 La presente invención proporciona un motor regenerativo de acuerdo con la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes especifican realizaciones adicionales.

35 El motor de acuerdo con la presente invención es un motor eléctrico altamente eficiente que puede realizarse en varias configuraciones, que incluyen un motor estándar, un motor de cubo, un motor lineal u otra configuración de motor. Como dispositivo regenerativo, el motor también puede actuar como un generador eléctrico a tiempo parcial o completo.

40 En los motores regenerativos, las bobinas y los núcleos son elementos importantes del diseño. Los núcleos en las bobinas contienen materiales mínimos o nulos a base de hierro, dependiendo de la realización y los requisitos de rendimiento del diseño, y se usan para producir flujo magnético en el punto de uso en lugar de transmitirse a través de hierro o laminados de hierro desde un punto de creación a un punto de uso. Como la invención contiene bobinas discretas en la mayoría de las realizaciones, no todas las bobinas deben usarse como bobinas de motor de tiempo completo o bobinas de generador. Algunas aplicaciones pueden requerir el uso simultáneo de algunas bobinas como bobinas de motor y otras como bobinas generadoras. Por ejemplo, una parte de las bobinas del generador se puede usar como un transformador de potencia para producir una tensión requerida única o corriente para una carga dada en lugar de usar un transformador independiente u otro dispositivo de regulación de estado sólido. Como segundo ejemplo, el motor puede operar usando algunas o todas las bobinas para accionar una carga y luego un operador puede indicar que el motor actúe como generador, usando algunas o todas las bobinas para el frenado regenerativo, como en una aplicación de vehículo eléctrico. Las bobinas también se pueden desactivar de forma individual o colectiva según sea necesario para aumentar o disminuir gradualmente la salida del par motor o la entrada del generador.

50 En las configuraciones de motor de acuerdo con la invención, las bobinas se controlan mediante un sistema de temporización eléctrica, que introduce energía eléctrica en las bobinas de forma alternante cíclica +/- y -/+. La temporización se puede ajustar retrasando o avanzando el punto en el que la entrada eléctrica cambia de +/- a -/+ y de -/+ a +/- . El ajuste de la temporización puede afectar tanto el par como la velocidad. El tiempo óptimo da como resultado una mayor eficiencia en relación con la temporización subóptima.

60 En las configuraciones de generador, las bobinas se pueden usar para accionar una carga, usualmente a través de un dispositivo de rectificación de potencia que convierte la corriente alterna en corriente continua.

En realizaciones en las que el motor se usa como motor y generador a tiempo parcial, el circuito es preferentemente capaz de conmutar entre el trayecto del circuito de conmutación de potencia de la bobina y el trayecto del circuito de salida del rectificador.

65 En una configuración de motor estándar en la que el estátor es estacionario y el rotor gira, el motor de acuerdo con

la presente invención es un motor eléctrico que 1) contiene uno o más estátores estacionarios, cada uno de los cuales tiene óptimamente un rotor en cada lado de cada estátor con un solo rotor entre cada segmento del estátor, 2) de manera óptima, un trayecto de derivación fuera del rotor en cada extremo de la pila del estátor/rotor, 3) uno o más imanes en los rotores dispuestos como se describe en la presente descripción de la invención, 4) una o más bobinas en los estátores dispuestos como se describe en la presente descripción de la invención, 5) circuitos de control de motor internos o externos, 6) opcionalmente incluye un conjunto de engranajes epicicloidales dentro de uno o más de los rotores, y 7) opcionalmente incluye un mecanismo de bloqueo o embrague para bloquear el engranaje anular del conjunto de engranajes epicicloidales en relación con la carcasa del motor o los estátores.

5

En una configuración de motor de cubo, el motor de acuerdo con la presente invención es un motor eléctrico que 1) se conecta a un eje o eje estacionario o en movimiento, 2) contiene uno o más estátores de rotores optimizados para un rendimiento máximo basado en imanes permanentes en el rotor y bobinas en el estátor utilizando un mínimo de material de núcleo a base de hierro, 3) circuitos de control del motor internos o externos, 4) se conecta a la red de almacenamiento de energía interna o externa, 5) opcionalmente incluye un sistema para recibir instrucciones de control remoto, 6) opcionalmente incluye un sistema para enviar actualizaciones de estado remotas a un ordenador de control central, 7) opcionalmente incluye un conjunto de engranajes epicicloidales internos, 8) opcionalmente incluye un bloqueo o mecanismo de embrague para bloquear el husillo a la salida del motor.

10

15

20

La presente invención se puede realizar en otras configuraciones de motor, que incluyen, pero no se limitan a motores tipo panqueque. Las bobinas accionan o son accionadas por imanes permanentes.

25

Por consiguiente, en un aspecto de la presente invención, se proporciona un motor compuesto por un estátor y un rotor. El estátor tiene una agrupación de bobinas dispuestas en su interior. El rotor tiene una agrupación de imanes dispuestos en el mismo. Cada una de las bobinas incluye un primer devanado de alambre enrollado alrededor de un núcleo, y el alambre tiene una sección transversal no circular.

30

Preferentemente, el alambre es un alambre aplanado. Preferentemente, cada una de las bobinas incluye además un segundo devanado de alambre envuelto alrededor del núcleo. Preferentemente, el primer y segundo devanados están formados por un solo alambre, y el primer y segundo devanados están orientados uno frente al otro. Los devanados se pueden formar en una primera placa de circuito impreso en forma de espiral.

35

El motor tiene una pluralidad de módulos de bobina y cada una de las bobinas está dispuesta en cada uno de los módulos de bobina.

40

Preferentemente, el núcleo es un núcleo sustancialmente libre de hierro. El núcleo puede ser un núcleo de aire.

Preferentemente, el núcleo tiene una forma que generalmente coincide con una forma de sección transversal del imán. Preferentemente, el núcleo no es circular.

45

El núcleo puede estar compuesto por un alambre de calibre. Alternativamente, el núcleo está compuesto de acero delgado con una ranura.

El motor puede ser un motor de cubo. El motor es un motor regenerativo, y cada una de las bobinas se puede regular por separado. El motor puede incluir un conjunto de engranajes epicicloidales.

50

En una realización, el estátor tiene una agrupación de bobinas dispuestas en el estátor, y el rotor tiene una agrupación de imanes dispuestos en el rotor. Cada una de las bobinas tiene un devanado de alambre enrollado alrededor de un núcleo, cada uno de los imanes tiene una primera cara polar, una segunda cara polar y una porción intermedia entre la primera cara polar y la segunda cara polar. La primera cara polar es más estrecha que la porción intermedia.

55

Preferentemente, la segunda cara polar es más estrecha que la porción intermedia. Preferentemente, el imán tiene un primer escalón formado adyacente a la primera cara polar. El imán puede tener además un segundo escalón formado adyacente a la segunda cara polar. El primer y segundo escalones pueden ser escalones en forma de tarta. Alternativamente, el imán puede tener un borde en ángulo formado adyacente a la primera cara polar.

60

La agrupación de imanes se puede disponer circunferencialmente alrededor de un eje del rotor. En esta realización, el imán tiene un extremo interno dispuesto cerca del eje del motor y un extremo externo dispuesto alejado del eje del motor. El extremo interno del imán es preferentemente más estrecho que el extremo externo del imán. Preferentemente, el extremo interno de la primera cara polar del imán es más estrecho que el extremo externo de la primera cara polar del imán. Cada uno de los imanes puede estar compuesto por dos o más piezas de imanes apiladas una encima de la otra. Preferentemente, el núcleo tiene una forma que generalmente coincide con una forma de la primera cara polar del imán.

65

De acuerdo con una realización, el núcleo tiene una primera cara polar, una segunda cara polar y una porción intermedia entre la primera y la segunda caras polares. En esta realización, la porción intermedia tiene una anchura reducida en comparación con la primera y segunda caras polares.

5 De acuerdo con la invención, cada uno de los imanes tiene una anchura, una longitud y una altura. El núcleo tiene una anchura, una longitud y una altura. Cada uno de los imanes está distanciado de los imanes adyacentes por una distancia entre imanes, y la distancia entre imanes no es menor que la anchura del imán.

10 Además, la distancia entre imanes no es mayor que la longitud del imán. El motor tiene además un segundo rotor que tiene una agrupación de imanes dispuestos en el segundo rotor. El imán del primer rotor está distanciado de uno adyacente de los imanes del segundo rotor por un espacio de imán, y la distancia entre imanes no es menor que el espacio de imán.

15 La anchura del núcleo no es menor que la anchura del imán. La altura del imán no es menor que la altura del núcleo.

Otras áreas de aplicabilidad de la presente invención se harán evidentes a partir de la descripción detallada proporcionada a continuación.

## 20 Breve descripción de los dibujos

Los objetos y características anteriores y otros de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción de realizaciones preferentes proporcionada conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que:

25 La Figura 1 es una vista en perspectiva de una realización de un motor de acuerdo con la presente invención. La Figura 2 es una vista en despiece ordenado parcial del motor de la Figura 1.

La Figura 3A es una vista ampliada del módulo de bobina del estátor del motor de la Figura 1; y la Figura 3B es otra vista ampliada del módulo de bobina de la Figura 3A desde una dirección diferente.

30 La Figura 4 es una vista en perspectiva de una variante de la bobina de acuerdo con la presente invención, en la que la bobina está formada por un devanado de un alambre aplanado enrollado alrededor de un núcleo de aire circular.

La Figura 5 es una vista en perspectiva de otra variante de la bobina de acuerdo con la presente invención, en la que la bobina comprende dos conjuntos de devanados uno al lado del otro de un alambre aplanado enrollado alrededor de un núcleo de aire circular, con los devanados orientados opuestos entre sí.

35 La Figura 6 es una vista en perspectiva de otra variante de la bobina de acuerdo con la presente invención, en la que la bobina comprende dos conjuntos de devanados uno al lado del otro de un alambre aplanado enrollado alrededor de un núcleo de aire circular, con los devanados orientados en la misma dirección.

La Figura 7 es una vista en perspectiva de otra variante de la bobina de acuerdo con la presente invención, en la que la bobina comprende un devanado de un alambre aplanado enrollado alrededor de un núcleo de aire generalmente rectangular.

40 La Figura 8 es una vista en perspectiva de otra variante de la bobina de acuerdo con la presente invención, en la que la bobina se forma superponiendo una pluralidad de placas de circuito impreso.

La Figura 9 es una vista en perspectiva de una variante del núcleo de acuerdo con la presente invención, en la que el núcleo está formado por una serie de alambres de calibre pequeño.

45 La Figura 10 es una vista en perspectiva de otra variante del núcleo de acuerdo con la presente invención, en el que el núcleo está hecho de acero delgado con hendiduras.

La Figura 11 es una vista en perspectiva de otra variante del núcleo de acuerdo con la presente invención, en la que el núcleo tiene una anchura reducida en la porción intermedia.

50 La Figura 12A es una vista en perspectiva de una variante del imán de acuerdo con la presente invención, en la que el imán tiene un escalón en forma de tarta en el extremo estrecho en la parte superior:

La Figura 12B es una vista en perspectiva de otra variante del imán, en la que el imán tiene dos escalones en forma de tarta en el extremo estrecho en la parte superior e inferior, respectivamente; la Figura 12C es una vista en perspectiva de otra variante del imán, en la que el imán se compone de dos piezas apiladas una encima de la otra, cada una teniendo escalones en forma de tarta; y la Figura 12D es una vista en perspectiva de otra variante del imán con superficie en ángulo.

55 La Figura 13 muestra las reglas de diseño preferidas para un rendimiento óptimo de acuerdo con la presente invención.

La Figura 14 muestra una placa de derivación para un motor eléctrico de acuerdo con la presente invención.

60 La Figura 15 muestra un ejemplo de un motor de cubo de tipo rueda y llanta de acuerdo con la presente invención.

La Figura 16 muestra un ejemplo de un motor de configuración estándar de alta densidad de acuerdo con la presente invención.

La Figura 17 muestra un ejemplo de un motor con un conjunto de engranajes epicicloidales de acuerdo con la presente invención.

65 La Figura 18 muestra un ejemplo de un motor de transmisión de alta densidad de acuerdo con la presente

invención.

La Figura 19 muestra un ejemplo de un rotor de motor estándar de acuerdo con la presente invención.

La Figura 20 muestra otro ejemplo de un rotor de motor estándar de acuerdo con la presente invención.

La Figura 21 muestra un ejemplo de un estátor de un motor de acuerdo con la presente invención.

5 La Figura 22 muestra el estátor de la Figura 21, con algunos módulos de bobina omitidos con fines ilustrativos.

La Figura 23 muestra otro ejemplo de un rotor de un motor de cubo de acuerdo con la presente invención.

La Figura 24 muestra otro ejemplo de un rotor de un motor de cubo de acuerdo con la presente invención.

La Figura 25 muestra otro ejemplo de un estátor de un motor de cubo de acuerdo con la presente invención.

10 La Figura 26 muestra otro ejemplo de un estátor de un motor de acuerdo con la presente invención, con rayos.

La Figura 27 muestra una tabla del número de fases en una relación dada de imanes a bobinas.

### Descripción detallada de la invención

15 Se muestra en las Figuras 1 y 2 es un motor 10 que comprende un estátor 20 intercalado entre un par de rotores 50. La Figura 2 es una vista en despiece ordenado parcial del motor 10. El motor 10 mostrado en las Figuras 1 y 2 utiliza una única configuración de rotor-estátor-rotor. El estátor 20 tiene uno o más disposiciones de bobinas 31. Cada uno de los rotores 50 tiene uno o más disposiciones de imanes 60. El diseño puede escalarse para incluir menos o más imanes 60 por sección de rotor 50 o menos o más bobinas 31 por estátor sección 20. En el caso de  
20 un motor de inducción, el rotor 50 contendrá una agrupación de bobinas en lugar de imanes.

El número de secciones de estátor-rotor frente a los espesores de estátor y rotor se puede optimizar para obtener el mejor rendimiento frente al costo según lo requiera una aplicación dada. Se puede lograr el mejor rendimiento cuando el espesor del estátor 20 no excede el doble del espesor de los imanes 60 en un rotor 50 dado. Es posible  
25 usar diferentes espesores de rotores 50 y estátors 20 y diferentes espesores individuales para cualquier rotor 50 o estátor 20. Puede ser óptimo usar un rotor 50 más grueso en cada extremo axial del motor 10.

Una "sección de estátor-rotor" en un motor rotativo (o generador) se define como un rotor 50 posicionado axialmente seguido de un estátor 20 posicionado axialmente seguido de un rotor 50 posicionado axialmente. Una  
30 "pila de estátor-rotor" se define como un rotor 50 seguido de un estátor 20 seguido de un rotor 50 seguido de un estátor 20 seguido de un rotor 50 en un patrón repetitivo en el que cada extremo de la pila es preferentemente un rotor 50 ("rotor final"), preferentemente configurado con un trayecto de derivación magnética 70 en los extremos axialmente exteriores de la pila. Las secciones del rotor del estátor en la pila se cuentan por el número de estátors  
35 20 en la pila.

Una "sección de rotor estátor" en un motor lineal (o generador) se define como un rotor 50 colocado y alineado linealmente junto a un estátor 20 colocado y alineado linealmente seguido de un rotor 50 colocado y alineado linealmente, siendo el estátor 20 usado para describir el componente estacionario y el rotor 50 usado para describir  
40 la parte móvil, aunque ambas partes se pueden configurar para moverse según sea necesario. El rotor 50 o el estátor 20 pueden contener las bobinas 31 o los imanes 60 según sea necesario. Una "pila de estátor-rotor" en un motor lineal se define como un rotor 50 colocado al lado de un estátor 20 seguido de un rotor 50 colocado al lado de un estátor 20 seguido de un rotor 50 en un patrón repetitivo en el que cada extremo de la pila es preferentemente un rotor 50 ("rotor final"), preferentemente configurado con un trayecto de derivación magnética 70 en los extremos axialmente  
45 externos de la pila. Las secciones del rotor del estátor en la pila se cuentan por el número de estátors 20 en la pila.

Cada una de las realizaciones descritas en la presente memoria se pueden configurar como un motor, un generador o un motor y generador a tiempo parcial, o un motor parcial y un generador parcial según lo determinado por el número de bobinas 31 utilizadas como bobinas de accionamiento o bobinas de generador, observando que  
50 cualquiera de las bobinas 31 puede estar configurada para cambiar según sea necesario del generador a los modos operativos del motor.

En la realización ilustrada en las Figuras 1 y 2, el estátor 20 tiene una pluralidad de módulos de bobina 30. Como se aprecia mejor en la Figura 3, cada uno de los módulos de bobina 30 tiene una bobina 31. La bobina 31 está compuesta por un par de devanados 32 alrededor de un núcleo 34. Alternativamente, la bobina el módulo 30 puede tener un solo devanado 32 o puede tener más de dos devanados 32. En la realización ilustrada, el núcleo 34 tiene una forma no circular. Como se muestra en las Figuras 4, 5, 6, 8, 9 y 10, el núcleo 34 se puede formar en forma circular. El devanado 32 está formado preferentemente por un alambre 33 con una buena conductividad, tal como  
60 cobre. El alambre 33 está preferentemente aislado.

En la realización ilustrada en la Figura 4, el alambre 33 está aplanado y enrollado alrededor del núcleo 34 que tiene una forma circular. El uso del alambre aplanado 33 puede ayudar a minimizar los entrehierros, optimizar el patrón de flujo magnético y aumentar la integridad del devanado 32. De lo contrario, el alambre 33 puede ser no circular en forma de sección transversal.

65

En la realización como se ilustra en la Figura 5, la bobina 31 está formada por dos devanados uno al lado del otro 32 del alambre aplanado 33. El alambre aplanado 33 se enrolla continuamente desde el lado central hacia el exterior para formar un devanado 32, y luego el mismo alambre 33 se enrolla nuevamente desde el lado central hacia el exterior para formar un devanado separado 32 de modo que dos devanados 32 formados por el único alambre 33 están dispuestos uno al lado del otro en el mismo núcleo 34. Debido a que los dos devanados 32 están formados por el mismo alambre 33, ambos extremos del alambre 33 están dispuestos en el exterior de los devanados 32. Estos devanados uno al lado del otro pueden repetirse una y otra vez en el mismo núcleo 34 en grupos de un número par de devanados 32 de modo que ambos extremos del alambre 33 siempre puedan ubicarse en el lado central o en el exterior de los devanados 32. En la Figura 5, los dos devanados 32 están orientados uno frente al otro. La orientación opuesta promueve una creación óptima de flujo magnético a través de la bobina. Alternativamente, los dos devanados 32 pueden estar orientados en la misma dirección que se muestra en la Figura 6.

Aunque se prefieren números pares de devanados 32, también se pueden usar números impares de devanados 32 si el diseñador desea tener un extremo de alambre central y un extremo de alambre externo. Sin embargo, dejar que un solo alambre cruce del lado central al exterior de los devanados 32 puede distorsionar el campo de flujo magnético inducido y reducir el rendimiento y la eficiencia de la bobina.

En la realización como se ilustra en la Figura 7, la bobina 31 está formada por un devanado 32 de un alambre aplanado 33 enrollado alrededor de un núcleo rectangular 34. Como se aprecia en la Figura 5 o 6, dos o más devanados 32 pueden estar dispuestos uno al lado del otro. Además, el núcleo 34 puede ser no circular y no rectangular.

En las Figuras 4, 5, 6 y 7, no quedan alambres en la cara del devanado 32. El alambre 33 está enrollado de modo que ambos extremos del alambre 33, en los que necesitan conectarse a una fuente de alimentación, se encuentran en el exterior del devanado 32. Alternativamente, ambos extremos de los alambres 33 se pueden ubicar en el mismo lado interno de la bobina 32 (u otra ubicación conveniente). Preferentemente, cada devanado 32 está diseñado para que funcione como una bobina independiente, incluso si se incluye en una cadena paralela o en serie de devanados adicionales.

En las Figuras 4, 5, 6 y 7, el alambre 33 está enrollado de tal manera que su superficie plana más grande está orientada en una dirección perpendicular a un eje de la bobina 31. Sin embargo, también es posible que el alambre 33 esté enrollado de tal manera que su superficie plana más grande esté orientada en una dirección paralela al eje de la bobina 31.

Los devanados individuales 32 pueden estar unidos entre sí con un aislante o agente de unión apropiado para evitar el movimiento o brindar a la bobina 31 una integridad estructural general. Las bobinas 31 pueden estar encapsuladas en otro material, como plástico, o pueden estar intercaladas entre otros materiales delgados para una integridad estructural adicional.

En la realización como se ilustra en la Figura 8, la bobina 31 puede estar formada por una pluralidad de placas de circuito impreso 35. Cada una de las placas de circuito impreso 35 tiene un trayecto de conductor 33a impreso en la misma en forma de espiral alrededor del núcleo 34 para formar un devanado 32. Por consiguiente, la pluralidad de placas de circuito impreso 35 están en capas para formar una pluralidad de devanados 32. Alternativamente, la bobina 31 puede estar compuesta de una única placa de circuito impreso 35 para formar un único devanado 32. El trayecto conductor impreso 33a puede tener una forma circular u otra forma concéntrica, que generalmente coincide con la forma del núcleo 34, que a su vez generalmente coincide con la forma del imán 60.

Como se muestra en las Figuras 4, 5 y 6, las bobinas 31 pueden estar enrolladas alrededor de una forma de núcleo circular, o como se muestra en las Figuras 3A, 3B y 7, las bobinas 31 pueden estar enrolladas alrededor de una forma no circular. Las bobinas 31 están compuestas preferentemente de un buen conductor tal como el cobre. Los devanados 32 están compuestos preferentemente de alambre aislado 33. El alambre 33 puede ser circular o no circular en forma de sección transversal. Como se muestra en las Figuras 4, 5 y 6, un alambre aplanado es particularmente eficaz. Como se muestra en la Figura 8, los devanados 32 pueden estar formados por múltiples placas de circuito en capas 35 con formas circulares, espirales u otras formas concéntricas que generalmente coinciden con la forma del núcleo 34, que generalmente coincide con la forma del imán 60.

Como se aprecia mejor en la Figura 2, la forma de la sección transversal del núcleo 34 es similar o exactamente igual a la forma de la sección transversal normal o enfrentada de los imanes 60 del rotor 50. El tamaño de la sección transversal del núcleo 34 también es similar o igual al tamaño de la sección transversal normal o enfrentada de los imanes 60. Este diseño del núcleo permite un enfoque máximo del flujo magnético perpendicular hacia los imanes 60 del rotor 50 mientras se minimiza cualquier resistencia (y por lo tanto pérdida) al flujo.

Como se aprecia mejor en las Figuras 2 y 3, el estátor 20 está compuesto por una agrupación de bobinas 31. Se utilizan tres categorías de estátor; un estátor integrado en el que las bobinas 31 y el estátor 20 se unen como una sola unidad o módulo, un estátor parcialmente integrado en el que algunas de las bobinas 31 se unen como una

sola unidad o módulo, y un estátor unificado en el que las bobinas individuales 31 se usan de forma separada ya sea expuestas o encapsuladas para facilitar el reemplazo individual de las bobinas para un diseño completamente modular con una sola bobina 31 como unidad básica del diseño modular.

5 Se pueden unir múltiples estátors 20 juntos usando estructuras de soporte alineadas axialmente y módulos de bobina 30 o grupos de bobinas 31 se pueden unir en la dirección axial. Las bobinas individuales 31 dentro del estátor 20 pueden conectarse en paralelo o en serie o en combinaciones en paralelo/en serie según sea necesario para un uso óptimo de la corriente y la tensión disponibles de una fuente de alimentación disponible. La interfaz electrónica con las bobinas del estátor 31 se puede configurar para cambiar las bobinas 31 en paralelo y en serie  
10 o combinaciones en paralelo y en serie de combinaciones independientes, en serie, en paralelo o en paralelo/en serie según sea necesario bajo demanda.

Puede ser ventajoso en algunos diseños crear un trayecto de flujo de acero desde una bobina 31 a la siguiente bobina 31 dentro del estátor 20 en un trayecto que no se cruza excesivamente cerca del trayecto del imán. En diseños de alta velocidad, esta opción no es deseable.  
15

Los núcleos 34 utilizados en la presente invención pueden hacerse en múltiples configuraciones y a partir de múltiples materiales. En una realización como se muestra en la Figura 9, el núcleo 34 puede estar formado por una serie de alambres de calibre pequeño 34a, que son preferentemente alambres de acero duro de un diámetro muy pequeño. La distancia entre los alambres de calibre 34a es preferentemente menor que el diámetro del alambre de calibre 34a para un mejor rendimiento. Se obtiene una separación óptima cuando cada alambre de calibre 34a está separado del adyacente por la misma distancia de separación que es igual al diámetro del alambre de calibre 34a. Sin embargo, también puede ser posible una variedad de distancias de separación entre los alambres de calibre individuales 34a. Una separación más amplia podría ser apropiada para diseños de mayor RPM y menor eficiencia. Los alambres de calibre 34a pueden orientarse para un efecto de enfoque direccional opcional del flujo magnético a través de la bobina 31.  
20  
25

En la realización como se muestra en la Figura 10, el núcleo 34 está hecho de acero delgado 34b con uno o más cortes pequeños o hendiduras 34c. El acero delgado 34b puede ser acero duro con una anchura de unas pocas milésimas de pulgada. La orientación del acero delgado 34b y las ranuras 34c se pueden seleccionar para un efecto de enfoque direccional opcional del flujo magnético a través de la bobina 31. Las ranuras 34c evitan que el flujo magnético induzca una corriente que viaja alrededor del núcleo 34.  
30

En la realización como se ilustra en la Figura 11, el núcleo 34 tiene una primera cara polar 3d, una segunda cara polar 37, y una porción intermedia 38 entre la primera y segunda caras polares 36, 37 a lo largo de un eje central 2. La porción intermedia 38 tiene una anchura reducida que la primera y segunda caras polares 36, 37. Esta configuración mantiene la anchura del núcleo en las caras polares 36, 37 mientras aumenta el área de bobinado y el número de espiras en la porción intermedia 38. Por consiguiente, el flujo aumenta en las caras polares.  
35

El núcleo 34 de la presente invención usa preferentemente poco o nada de hierro. En el caso de que se use un poco de hierro, es preferente usar acero duro lo menos posible para enfocar las líneas de fuerza según sea necesario. Sin embargo, el hierro blando también se puede usar con cierta pérdida de eficiencia. La presente invención ha sido sometida a pruebas con alambre de piano de calibre pequeño, material de cuña axialmente segmentado y muy delgado, tubos y formas sólidas. En los motores convencionales, los núcleos de hierro se utilizan para transmitir el flujo desde donde se crea a partir de los devanados de cobre hasta donde se necesita para ser utilizado en la zona de interfaz rotor/estátor. En la presente invención, el flujo no necesita transmitirse desde un punto de creación hasta un punto de uso porque el flujo se crea justo donde se necesita para ser utilizado.  
40  
45

Para un núcleo 34 más barato o más fácil de producir, un diseñador no puede utilizar ningún material del núcleo (tal vez un núcleo no ferroso para el devanado de la bobina que se puede quitar o no después del devanado), un tubo, o una fina capa de limaduras de hierro encerradas en un aglutinante, idealmente sometidas a un campo magnético antes de la configuración del aglutinante.  
50

Se puede obtener una alta eficiencia con un diseño de núcleo materialmente optimizado de menor velocidad. Sin embargo, en el caso de operaciones de alta velocidad, se puede usar un núcleo de aire (sin núcleo) o una cantidad menor de acero duro.  
55

Aunque los diseños de núcleos más eficientes se muestran en las realizaciones aquí presentadas, la presente invención también contempla diseños de núcleos menos eficientes, por los cuales hay una variedad de razones para considerar, incluyendo los costos de fabricación, la reducción del retroceso de pico eléctrico a través de circuitos de potencia.  
60

Los rotores 50 están diseñados con una o más disposiciones de imanes 60 contenidos dentro del rotor 50. Las Figuras 12A a 12D muestran variantes del imán 60. El imán 60 tiene un extremo interno 61 para disponer cerca del eje central 1 del motor 10 y un extremo externo 62 para disponer lejos del eje central 1 del motor 10. El imán  
65

60 también tiene una superficie superior 63 y una superficie inferior 64. Cuando el imán 60 está montado en el rotor 50, la superficie superior 63 está orientada hacia el estátor 20. En otras palabras, la superficie superior 63 funciona como un extremo polar.

5 En la realización ilustrada en la Figura 12A, el imán 60 tiene dos escalones en forma de tarta 63a formados adyacentes a la cara polar superior 63 en ambos lados de la misma, de modo que la cara polar superior 63 es más estrecha en el extremo interior 61 que en el extremo exterior 62. La realización ilustrada en la Figura 12B es diferente de la mostrada en la Figura 12A en que el imán 60 tiene además dos escalones en forma de tarta 64a formados en la cara polar inferior 64 en ambos lados de la misma, de modo que la cara polar inferior 64 también es más estrecha en el extremo interior 61 que en el extremo exterior 62. La realización ilustrada en la Figura 12C es diferente de la mostrada en la Figura 12B en que el imán 60 está formado por dos mitades 60a y 60b apiladas una encima de la otra. Los dos elementos 60a y 60b se atraen entre sí y ayudan a mantenerse mutuamente en su lugar en el rotor 50. En la realización ilustrada en la Figura 12D, hay cuatro bordes periféricos en ángulo 63b adyacentes a la cara polar superior 63 y hay cuatro bordes periféricos en ángulo 64b adyacente a la cara polar inferior 64. La cara polar superior 63 y la cara polar inferior 64 son más estrechas en el extremo interno 61 que en el extremo externo 62.

20 El propósito de las configuraciones anteriores es enfocar las líneas de fuerza magnética o el flujo magnético. El imán 60 es un buen conductor de flujo. La porción ancha del imán 60 dispuesta entre las dos caras polares 63 y 64 crea más líneas de fuerza. El imán estrecho o el material del imán en la superficie superior y/o las superficies inferiores 63 y 64, en los polos, hacen que las líneas de fuerza se contraigan y se enfoquen a una concentración más alta en la(s) superficie(s) más estrecha(s) del polo.

25 La configuración escalonada como se ilustra en las Figuras 12A reduce el área de la superficie superior 63 o la cara polar que otra parte del imán 60. Por consiguiente, esta configuración ayuda a concentrar los campos magnéticos y aumentar la intensidad del campo en la superficie superior estrecha 63 que funciona como un extremo polar. Por lo tanto, la configuración de la Figura 12A es preferente cuando el imán 60 está incorporado en un rotor extremo dispuesto en el extremo más externo, con un estátor en un solo lado.

30 La configuración escalonada como se ilustra en las Figuras 12B y 12C o la configuración en ángulo como se ilustra en la Figura 12D reduce las áreas de la cara polar superior 63 y la cara polar inferior 64 que otras partes del imán 60. Por consiguiente, esta configuración ayuda a concentrar los campos magnéticos y aumentar la resistencia del campo en la superficie inferior estrecha 64, así como en la superficie superior estrecha 63, ambas funcionan como extremos polares. Por lo tanto, las configuraciones de las Figuras 12B a 12D son preferentes cuando el imán 60 está incorporado en un rotor central interpuesto entre estátors.

40 Esencialmente, la forma óptima del imán es que el área del polo es más estrecha que la porción intermedia. En cualquiera de las realizaciones, el imán 60 no necesita ser un imán sólido. El imán 60 se puede construir a partir de cualquier cantidad de piezas de imán más pequeñas o más delgadas apiladas para hacer la forma final compuesta. La configuración escalonada o en ángulo se puede obtener mecanizando o fundiendo el imán 60. Se prefiere el proceso de fundición.

45 Los imanes 60 pueden tener cualquier forma, pero preferentemente tienen dos superficies planas paralelas (caras polares) orientadas hacia el estátor 20. Las polaridades de los imanes 60 son preferentemente norte-sur-norte-sur en configuraciones alternas. Esto se traduce en un diseño preferido usando siempre un número par de imanes 60. La separación preferida consiste en usar la anchura del punto más cercano entre los imanes 60 como igual a la anchura de la parte más ancha de los imanes 60, aunque las configuraciones más cercanas y más lejanas también trabajan con eficiencias variables. Las formas de imán convenientes incluyen cilindros o discos, cuadrados o rectángulos prismáticos y formas de tarta prismáticas truncadas con arcos internos y externos.

50 La Figura 13 muestra de mejor manera las reglas de diseño preferidas para un rendimiento óptimo. El imán 60 tiene una anchura W, una longitud L y una altura HM. La longitud L es una dimensión del imán 60 medida entre las caras polares 63 y 64. El núcleo 34 tiene una anchura C, una longitud LC y una altura HC. La longitud LC es una dimensión del núcleo 34 medida entre las caras polares 36 y 37. Un intervalo de imán medido entre imanes adyacentes 60 dispuestos en el mismo rotor 50 se denota como A. Un espacio de imán entre imanes 60 dispuestos en rotores adyacentes 50 medido a lo largo de la dirección del eje 2 se denota como B. La placa de derivación tiene un espesor H.

Las reglas de diseño de acuerdo con la presente invención son las siguientes:

60  $W \leq A$ , óptimamente  $W = A$   
 $L \geq A$ , óptimamente  $L > A$   
 $B \leq A$   
 $C \geq W$ , óptimamente  $C = W$   
 65  $L > B$



HM≥HC

- Además, LC está preferentemente lo más cerca posible de B de modo que un espacio intermedio entre la bobina 31 y el imán 60 medido a lo largo de la dirección del eje 2 puede ser lo más pequeño posible. H debe ser lo suficientemente grande como para transferir un flujo sustancial de bobina a bobina. Cualquier violación de las reglas anteriores da como resultado una pérdida de eficiencia, pero no necesariamente una falta de funcionalidad.
- Como se muestra mejor en la Figura 13, los imanes 60 están orientados uno frente al otro (norte orientado hacia el sur y sur orientado hacia el norte) a lo largo de un paralelo axial. Los imanes 60 en un rotor 50 están alineados con los imanes 60 en el siguiente rotor 50 de esta manera. En un solo rotor 50 alrededor del círculo que incluye el centro de cada imán 60, los imanes 60 están dispuestos opuestos entre sí, como también se aprecia en la Figura 14.
- En las realizaciones preferentes, los imanes 60 están orientados con las superficies polarizadas (caras polares) alineadas normalmente al eje del rotor. En un ejemplo comparativo, que no es parte de la invención reivindicada, los imanes 60 pueden alinearse a lo largo de un radial. Este ejemplo comparativo puede requerir una segunda agrupación concéntrica de bobinas 31, los primeros centros de agrupación de bobinas alineados con los extremos externos de los imanes 60 y los segundos centros de agrupación de bobinas alineados con los extremos internos de los imanes 60.
- En otro ejemplo comparativo, que no es parte de la invención reivindicada, los imanes 60 se pueden orientar a lo largo de la dirección del círculo descrito por los centros de los imanes 60, orientados de norte a norte o de norte a sur repetidamente alrededor del círculo.
- En otras realizaciones, los imanes 60 se pueden orientar uno frente al otro (norte orientado hacia el norte y sur orientado hacia el sur). En estas realizaciones, el diseño de la bobina tiene que ser alterado para un rendimiento óptimo para invertir la dirección del devanado en el centro del eje de la bobina como se muestra en la Figura 6.
- En la Figura 14 se muestra una placa de derivación 70. La placa de derivación se usa para proporcionar un trayecto de conducción de flujo desde un imán 60 hasta el siguiente imán 60. La mitad del flujo se conduce hacia la derecha de cada imán 60 y la mitad a la izquierda de cada imán 60 en la Figura 14. La placa de derivación 70 se usa en cada extremo de la pila del estátor/rotor. Se pueden usar placas de derivación adicionales 70 cada ciertos grupos de estátor/rotor según sea necesario. La placa de derivación 70 puede estar hecha de una pieza contigua de material o de piezas separadas de material según sea necesario, aunque se prefiere una sola pieza contigua.
- La explicación anterior puede extrapolarse a configuraciones de un motor orientadas radialmente. Dichas configuraciones orientadas radialmente no son parte de la invención reivindicada.
- La Figura 15 muestra un ejemplo del motor 10 de acuerdo con la presente invención, que se realiza como un motor de cubo de tipo rueda y llanta. El motor 10 contiene una llanta 11, dos placas de derivación en cada extremo de la pila del estátor/rotor, varios estatores y rotores, cada uno con bobinas rectangulares 31 e imanes 60 en disposiciones radiales, rodamientos, ejes y otros componentes de soporte según sea necesario. Este diseño particular ilustrado en la Figura 15 no es modular, excepto en el sentido de que cada parte de la pila del estátor/rotor se puede ver como un módulo, sin embargo, el diseño se puede implementar con componentes modulares como con todos los diseños de alta densidad mostrados.
- Como se muestra en las Figuras 2, 14 y 15, en cada extremo de la pila del estátor-rotor, hay un trayecto de derivación magnética o placa de derivación 70. La placa de derivación 70 está compuesta de un material que puede conducir el flujo magnético. El flujo de los imanes del rotor 60 puede cerrar el circuito de flujo magnético a través de la placa de derivación 70, permitiendo que el circuito de flujo pase de un polo sur al siguiente polo norte al siguiente polo sur, etc., como se aprecia mejor en la Figura 14. El motor 10 se puede construir sin una o ambas placas de derivación 70, pero el rendimiento se ve afectado negativamente sin la presencia de trayectos de derivación 70. La principal restricción de diseño para un rendimiento óptimo de la placa de derivación es un área de sección transversal igual a la mitad del área de sección transversal de uno de los imanes 60.
- En algunas realizaciones, la placa de derivación 70 puede estar ranurada o constituida por segmentos discretos. Cada ranura o interfaz de segmento está alineada exactamente a la mitad entre los imanes 60. La ranura o interfaz realiza un cambio brusco conveniente de las líneas de fuerza del imán que se pueden usar con sensores magnéticos, como dispositivos de efecto Hall, para indicar a los controladores del motor cuándo cambie los pulsos a la bobina 31 de +/- a -/+ entre los dos alambres de la bobina. La misma señal se puede usar como base de un punto de inicio para un retraso temporizado para la conmutación de h- a -/+ entre los dos alambres de la bobina, suponiendo que se desea un retraso (o avance) temporizado.
- La Figura 16 muestra un ejemplo del motor 10 de acuerdo con la presente invención, que se realiza como un motor estándar de alta densidad. Un "motor estándar" se define como un motor con un estátor estacionario y un rotor

giratorio o un grupo estacionario de estatores y un grupo giratorio de rotores configurados en una pila de estator/rotor. El motor estándar utiliza los elementos descritos anteriormente: estator(es), rotor(es), bobinas, imanes permanentes, sensores de posición, circuitos de activación de bobinas y/o circuitos de rectificación y consideraciones de diseño como se enumeraron anteriormente. En la Figura 16, los rotores 50 contienen imanes rectangulares 60, y los estatores 20 contienen bobinas rectangulares 31 y núcleos 34 (ocultos en la pila). Los estatores 20 son estacionarios y los rotores 50 giran para accionar el eje central 1.

Las Figuras 17 y 18 muestran ejemplos del motor 10 de acuerdo con la presente invención, que se realiza con un conjunto de engranajes epicicloidales 80. La configuración del conjunto de engranajes epicicloidales 80 se aprecia mejor en la Figura 18. Los rotores 50 se pueden colocar concéntricamente fuera del engranaje anular 82 o lado a lado con la corona 82. El procedimiento de fijación puede variar y el rotor se puede unir indirecta o directamente a la corona 82, ya sea al lado o fuera del engranaje anular 82.

En el conjunto de engranajes epicicloidales 80, un eje de entrada del motor 10 acciona un engranaje solar 81, un engranaje anular 82 es accionado por rotores de motor 50. y el portador de engranaje planetario 84 acciona un eje de salida. El motor 10 usa opcionalmente un embrague u otro dispositivo de bloqueo para limitar o bloquear el movimiento del engranaje anular 82 (o rotor 50 adjunto) en relación con la carcasa del motor (no mostrada). El rotor 50 es impulsado por la entrada de energía desde el estator 20, de modo que la velocidad del engranaje anular 82 puede controlarse en relación con o diferente de la velocidad del eje de entrada, lo que resulta en la capacidad de alterar la relación de engranaje en relación con el eje de salida. Esta relación de engranaje, basada en la energía agregada al engranaje anular 82 del rotor accionado 50 da como resultado una relación variable de velocidad de eje de entrada a salida infinitamente variable de 1:1 a la relación del conjunto de engranajes epicicloidales 80. A diferencia de una transmisión mecánica regular, La transmisión eléctrica variable agrega par motor a través de una o más secciones del estator/rotor.

En la Figura 17, tres rotores 50 accionan dos estatores 20 alrededor del conjunto de engranajes epicicloidales central 80. Los dos estatores 20 contendrían 24 módulos de bobina encapsulada 30 cada uno, sin embargo, solo se muestra un módulo de bobina encapsulada 30 por estator.

En la Figura 18, se usa el mismo conjunto de engranajes epicicloidales 80 que el usado en la Figura 17. La diferencia clave entre las dos realizaciones mostradas en las Figuras 17 y 18 es la anchura de las secciones de estator y rotor. La anchura de las secciones de estator y rotor de la Figura 17 es más gruesa que la anchura de las secciones de estator y rotor de la Figura 18. Por ejemplo, en la Figura 17, cada rotor 50 puede tener 1,5 pulgadas (3,81 cm) de espesor y cada sección del estator/rotor tiene 3 pulgadas (7,62 cm) de espesor, incluido el rotor 50 de 1,5 pulgadas (3,81 cm) de espesor, mientras que en la Figura 18 cada sección del estator-rotor puede tener 0,76 pulgadas (1,93 cm) de espesor. Sin embargo, se pueden usar otros espesores más grandes o más pequeños, dependiendo del rendimiento deseado.

La Figura 19 muestra un ejemplo del rotor 50 del motor 10 de acuerdo con la presente invención, que se realiza como un rotor de motor estándar. En esta realización, el rotor 50 tiene 40 orificios de imán 52 separados uniformemente cerca de la periferia exterior del rotor 50. En este caso, el rotor 50 se muestra con un orificio central 54 en el centro del rotor 50 como podría usarse en una aplicación de transmisión. En una aplicación de motor estándar sin transmisión, el orificio central 54 podría ser mucho más pequeño de lo que se muestra, según sea necesario para unirlo a un eje, un collar de eje u otro sistema de fijación del eje. El rotor 50 se puede diseñar con cualquier número par de orificios de imán 52, cada uno de los cuales debe tener una forma similar en una agrupación radial. Los imanes 60 pueden ser redondos, cuadrados, en forma de tarta, rectangulares o cualquier otra forma conveniente, sin embargo, se prefiere la forma de tarta truncada como se aprecia mejor en la Figura 2.

La Figura 20 muestra otro ejemplo del rotor 50 del motor 10 de acuerdo con la presente invención, que se realiza como un rotor de motor estándar. En esta realización, el rotor 50 tiene una cavidad circular 56 para recibir la placa de derivación 70 (no mostrada en la Figura 20), que aumenta la eficiencia del motor al proporcionar un trayecto de conducción de flujo magnético para cada imán 60 para conducir la mitad de su flujo al siguiente imán 60 en la agrupación radial a cada lado. El rotor 50 en cada extremo de la pila del estator/rotor está configurado preferentemente con la cavidad circular 56 para la placa de derivación 70, que debería estar diseñada con un material magnéticamente conductor.

Las Figuras 21 y 22 muestran un ejemplo del estator 20 del motor 10 de acuerdo con la presente invención. En la Figura 21, hay dos estatores 20, cada uno compuesto por una agrupación radial de módulos de bobina encapsulada 30 y brazos de soporte 22 como podrían usarse en un diseño modular. Cada agrupación radial de módulos de bobina encapsulada 30 representa una sección del estator. En la Figura 22, algunos de los módulos de bobina encapsulada 30 en uno de los dos estatores 20 se omiten con fines ilustrativos.

La Figura 23 muestra otro ejemplo del rotor 50 del motor 10 de acuerdo con la presente invención, que se realiza como un motor de cubo. En esta realización, se muestra el rotor 50 del motor de cubo 10 tal como se usaría en una aplicación de tipo automotriz.

5 La Figura 24 muestra otro ejemplo del rotor 50 del motor 10 de acuerdo con la presente invención, que también se realiza como un motor de cubo. En esta realización, el rotor 50 del motor de cubo 10 se muestra como un rotor de diente de engranaje con dientes 58. En la vista de la izquierda, el rotor 50 muestra orificios de imán 52 para imanes rectangulares 60 (no mostrados). Los semicírculos adicionales 52a en las cuatro esquinas de cada orificio de imán 52 se usan por conveniencia en un proceso de fabricación particular, pero estos semicírculos 52a no son necesarios para que el diseño sea funcional. En la vista de la derecha, el rotor 50 muestra una cavidad de derivación 56 para la placa de derivación 70 (no mostrada).

10 La Figura 25 muestra otro ejemplo del estátor 20 del motor 10 de acuerdo con la presente invención, que se realiza como un motor de cubo. En la Figura 25. Los orificios rectangulares internos 24 para recibir los módulos de bobina 30 (no mostrados) se muestran a modo de ilustración.

15 La Figura 26 muestra otro ejemplo del estátor 20 del motor 10 de acuerdo con la presente invención. En esta realización, el estátor 20 tiene rayos 21. Los orificios adicionales 23 sirven para reducir el peso.

20 En una realización de motor, un circuito que controla la temporización de los pulsos conmuta (o dispara) los pulsos en la orientación correcta de la bobina 31 con respecto al imán 60 para un rendimiento óptimo del motor. La temporización de la conmutación puede controlarse de varias maneras, que incluyen, entre otras, cepillos, detección de la posición del imán a través de una o más bobinas, el uso de un dispositivo de efecto Hall o sensores ópticos.

25 Dado que la temporización avanza demasiado, la bobina 31 puede empujar o tirar de los imanes 60 con una fuerza neta opuesta a la dirección de movimiento deseada del motor 10. Esto reduce el rendimiento y desperdicia la potencia. Lo mismo es cierto si la temporización se retrasa demasiado.

Las realizaciones del generador que se basan únicamente en la rectificación no necesitan detectar la orientación relativa del imán/bobina relativa.

30 El motor regenerativo de acuerdo con la presente invención puede diseñarse con una variedad de fases. Cada fase puede utilizar temporización independiente de pulsos eléctricos. Por lo general, se ubica una serie de bobinas de tal manera que la primera bobina 31 dispara, luego la segunda, luego la tercera, etc., hasta que 3 bobinas 31 se han disparado en un motor trifásico o 4 bobinas 31 se han disparado en un motor de 4 fases, etc. Una vez que se ha alcanzado el número de bobinas 31 que coinciden con el número de fases del motor K), las siguientes bobinas 31 de la serie están cansadas al mismo tiempo que las bobinas individuales 31 corresponden a las primeras bobinas 31 en las series repetitivas. Por ejemplo, en un motor trifásico con 9 bobinas, las bobinas 1,4, 7  
35 disparan primero, las bobinas 2, 5, 8 disparan y finalmente las bobinas 3, 6, 9 disparan, después de lo cual el proceso se repite.

40 El número de fases se determina en el proceso de diseño determinando o seleccionando el número de imanes 60 y bobinas 31. Los ángulos entre los imanes 60 y las bobinas 31 se usan para determinar el número de fases. Se pueden desarrollar gráficos o tablas para simplificar el proceso, como el gráfico que se muestra en la Figura 27. La Figura 27 muestra una tabla del número de fases en una proporción dada de imanes 60 a bobinas 31. Esta tabla se puede usar como una tabla de consulta para determinar el número de fases que tendrá un diseño de motor o generador dado en una relación dada.  
45

50 Dependiendo del tipo de agrupaciones de estatores y rotores de imanes en relación con las bobinas, cada bobina 31 interactúa con 4 imanes 60 a la vez, dos a cada lado de la bobina como se puede apreciar en la Figura 13 (siempre que haya un rotor opuesto 50 en cada lado de la bobina 31 en realizaciones en las que una bobina 31 no tiene un rotor 50 en ambos lados, la bobina 31 interactúa con la mitad del número de imanes 60 a la vez). En realizaciones con disposiciones concéntricas de imanes 60 y bobinas 31, una bobina individual puede interactuar con un mayor número de imanes 60.

55 La presente invención puede realizarse en varios tipos de motores como se explica más adelante.

**Ejemplo 1: Motor regenerativo estándar**

60 Como se aprecia en la Figura 1, por ejemplo, un motor estándar es un motor con un estátor estacionario y un rotor giratorio o un grupo estacionario de estatores y un grupo giratorio de grupos configurados en una pila de estátor-rotor. El motor estándar utiliza los elementos descritos anteriormente: estátor(es), rotor(es), bobinas, imanes permanentes, sensores de posición, circuitos de activación de bobinas y/o circuitos de rectificación y consideraciones de diseño como se enumeraron anteriormente.

65 **Ejemplo 2: Diseño estándar para motor regenerativo modificado para incluir un conjunto de engranajes epicicloidales para una transmisión eléctrica infinitamente variable**

Como se aprecia en las Figuras 17 y 18, por ejemplo, un motor regenerativo puede modificarse para incluir un conjunto de engranajes epicicloidales con el eje de entrada del motor que acciona el engranaje solar, el engranaje anular, accionado por rotores de motor, y el portador de engranaje planetario que acciona el eje de salida. El motor utiliza opcionalmente un embrague u otro dispositivo de bloqueo para limitar o bloquear el movimiento del engranaje anular (o rotor conectado) en relación con la carcasa del motor. Los rotores se pueden colocar concéntricamente fuera del engranaje anular o lado a lado con el engranaje anular. El procedimiento de fijación puede variar y el rotor dentado se puede fijar indirecta o directamente al engranaje anular, ya sea al lado o fuera del engranaje anular.

La transmisión eléctrica variable utiliza los elementos descritos anteriormente: estátor(es), rotor(es), bobinas, imanes permanentes, sensores de posición, circuitos de activación de bobinas y/o circuitos de rectificación y consideraciones de diseño como se enumeraron anteriormente.

### 15 **Ejemplo 3: Motor de cubo regenerativo autónomo**

Las realizaciones preferentes están destinadas a aplicaciones automotrices o de deportes motorizados. El motor de cubo está unido a los espárragos de los pernos que generalmente sobresalen a través del rotor del freno. El motor de cubo puede girar en relación con el husillo, más rápido o más lento, según sea necesario. El par del motor se genera cuando uno o más rotores que contienen una agrupación de imanes alternativos de norte a sur están sujetos a fuerzas de empuje y tracción alternativas generadas en un estátor compuesto por múltiples bobinas planas.

En este ejemplo, estos elementos se combinan con el fin de capturar energía de manera regenerativa o basada en el generador, ya sea por una acción de frenado o una acción generativa intencional desde velocidades relativas más altas del husillo hasta velocidades del motor, y almacenar la energía capturada en un dispositivo de almacenamiento interno, cuya energía se puede utilizar posteriormente para complementar o reemplazar la energía del eje para una aceleración o velocidad crucero más rápida y más eficiente (dentro de las limitaciones del dispositivo de almacenamiento de energía).

En la realización autónoma, la electrónica del controlador del motor y un almacenamiento mínimo de energía están contenidos dentro del motor. Las señales de control pueden transferirse por control remoto o a través del husillo.

En realizaciones alternativas, el motor puede aceptar señales de potencia y control a través del husillo o a través de anillos colectores o discos o usar un dispositivo de control remoto para comunicar señales de accionamiento.

Opcionalmente, según sea necesario para una aplicación específica, el motor de cubo tiene uno o más dispositivos de bloqueo que pueden evitar o limitar la rotación relativa del motor de cubo con respecto al husillo. El dispositivo de bloqueo tomaría la forma de un embrague deslizante superior, un embrague de múltiples discos o un mecanismo de solenoide/retén.

La capacidad del motor de cubo para girar a velocidades relativas al husillo o eje de entrada permite que la rueda motriz gire a velocidades relativas al eje de entrada del motor, permitiendo que el motor de cubo agregue potencia al eje de entrada o tome energía del eje de entrada. Esto permite que el motor actúe en un modo de conducción, un modo de carga de regeneración o como en un modo de deslizamiento controlado.

### 50 **Ejemplo 4: Motor de cubo con husillo estacionario**

El Ejemplo 4 es el mismo que el Ejemplo 3, excepto que en esta realización el husillo o eje es estacionario. El rotor del motor de cubo gira alrededor del eje estacionario. Esta realización permite que los alambres de señal de alimentación y control pasen a través del husillo (incluido un husillo hueco, un husillo sólido con múltiples trayectos eléctricos aislados o una ranura en el husillo). En esta realización, la electrónica de control del motor y/o la fuente de energía pueden ubicarse dentro del motor de cubo o fuera del motor de cubo.

### 55 **Ejemplo 5: Motor de cubo con sistema de engranajes epicicloidales internos**

En este ejemplo, el área central del motor de cubo contiene un sistema de engranajes epicicloidales. El husillo de entrada del motor se conecta al engranaje solar del sistema de engranajes. Los rotores del motor se conectan al engranaje anular del sistema de engranajes. El transportador de engranajes planetarios se conecta a la carcasa giratoria del motor de cubo, que a su vez acciona el neumático, el rodillo, la rueda dentada, los dientes externos del engranaje, etc.

Opcionalmente, para algunas aplicaciones puede ser apropiado incluir un mecanismo de bloqueo para bloquear el sistema de engranajes de manera que el eje de entrada gire directamente la rueda, el diente de engranaje, etc. El sistema de bloqueo puede estar compuesto por un embrague deslizante superior, un disco embrague, un

mecanismo de solenoide/retén, etc.

La presencia del sistema de engranajes epicicloidales permite que la rueda motriz gire a velocidades relativas al eje de entrada del motor, permitiendo que el motor de cubo agregue potencia al eje de entrada o tome potencia del eje de entrada. Esto permite que el motor actúe en un modo de conducción, un modo de carga de regeneración o como en un modo de deslizamiento controlado. A diferencia de la primera realización que no tiene un sistema de engranajes, la presencia del sistema de engranajes en esta realización permite un aumento de par definido desde el eje de entrada a la rueda motriz, lo que puede ser especialmente útil en situaciones de subida o arranque.

10 **Ejemplo 6: Motor lineal, que no forma parte de la invención reivindicada**

Un motor lineal contiene los siguientes elementos: 1) un rotor lineal que contiene una o más disposiciones lineales de imanes o bobinas, 2) un estátor lineal que contiene una o más disposiciones lineales de bobinas, 3) un procedimiento de detección relativa de la bobina hasta la posición del imán como se describió anteriormente para las bobinas accionadas (excluidas en una realización de generador lineal), 4) un procedimiento para restringir o limitar el trayecto de movimiento, que puede incluir alguna forma de rodamiento lineal o disposición de buje que permite que el rotor y el estátor se puedan mover uno con respecto al otro en un trayecto predefinido, 5) opcionalmente un sistema de limitación de recorrido (muelles, topes duros, parachoques elastoméricos, imanes, amortiguadores o combinaciones de estos elementos), y 6) opcionalmente un sistema de embrague o frenado.

20 **Ejemplo 6a: Motor de posicionamiento lineal, que no forma parte de la invención reivindicada**

Se obtiene un motor de posicionamiento lineal cuando un motor lineal como se describe en el Ejemplo 6 se combina con un codificador de posición absoluto o incremental de cualquier tipo (óptico, magnético, etc.) y un sistema de retroalimentación de circuito cerrado. El motor de posicionamiento lineal no experimenta atracción magnética del rotor al estátor cuando las bobinas no están energizadas. Esto significa que los documentos del motor no tienen tendencia a encajar en una posición diferente a la última posición relativa de (el/los) estátor(es) y rotor(es) donde el motor se detuvo por última vez (a menos que haya fuerzas externas). Como tal, si el sistema de retroalimentación de circuito cerrado detecta cualquier inicio de movimiento desde la última posición de reposo, puede energizar las bobinas para reposicionar y mantener el motor en la posición original.

**Ejemplo 7: Motor tipo panqueque**

Un motor tipo panqueque se define como un motor delgado (o generador) en el que el diámetro del motor es mayor que el espesor del motor. Una realización de motor tipo panqueque del Diseño de Bobina y Motor Regenerativo es idéntica al diseño de motor estándar con la limitación del diámetro a las proporciones dimensionales de anchura de envoltente. El diseño regenerativo del motor y la bobina es particularmente adecuado para aplicaciones de motores tipo panqueque debido a las delgadas secciones del estátor/rotor en las que se basa la invención.

40 **Ejemplo 8: Motor de posicionamiento rotativo**

Se obtiene una realización de motor de posicionamiento rotativo cada vez que cualquiera de las realizaciones de motor rotativo descritas en la presente memoria se utiliza con un sensor de posicionamiento absoluto o incremental de cualquier tipo (óptico, magnético, etc.) y se combina con un sistema de retroalimentación de circuito cerrado. El motor de posicionamiento giratorio no experimenta atracción magnética del rotor al estátor cuando las bobinas no están energizadas. Esto significa que el motor no tiene una tendencia a encajar en una posición que no sea la última posición relativa del estátor(es) y rotor(es) en la que el motor se detuvo por última vez (a menos que haya fuerzas externas). Como tal, si el sistema de retroalimentación de circuito cerrado detecta cualquier inicio de movimiento desde la última posición de reposo, puede energizar las bobinas para reposicionar y mantener el motor en la posición original.

**Ejemplo 9: Motor de copa**

Se puede diseñar una realización de motor de copa 1) usando el imán/bobina alineado radialmente o elementos de estátor/rotor de bobina/bobina como se describió anteriormente (no forma parte de la invención reivindicada) o 2) secciones de estátor/rotor que usan una sección central hueca.

**Ejemplo 10: Módulos magnéticos**

Las bobinas y núcleos descritos en la presente memoria pueden existir en una variedad de configuraciones. En una realización, las bobinas se encapsulan dentro de otro material ya sea dentro de una o más láminas delgadas de material o completamente encapsuladas en un polímero u otro material de encapsulación. En la realización encapsulada, los módulos de bobina encapsulada pueden incluir opcionalmente un sistema de control eléctrico para energizar la bobina en función de una señal de temporización o recuento, o para rectificar la energía generada, o con un circuito de activación y un circuito rectificador con conmutación de trayecto de circuito, según corresponda.

En algunas realizaciones, el mejor rendimiento se genera si la energía se introduce en la bobina durante parte de un ciclo de trabajo y luego se extrae de la bobina durante otra parte del ciclo de trabajo. Esto es útil si un diseñador desea ingresar energía para crear el campo y luego capturar energía de los campos colapsantes para aumentar la eficiencia, de forma similar a la forma en que un muelle comprimido almacena energía potencial que posteriormente puede liberarse.

Los módulos magnéticos pueden existir con una o más bobinas en unidades independientes o como parte de un conjunto más grande. Los módulos magnéticos pueden ser fracciones de un estátor o de todo el estátor. Los módulos magnéticos pueden incluir bobinas o bobinas y electrónica para controlar o derivar la energía de las bobinas.

**Ejemplo 11: Motor de propulsión lineal (trenes, etc.), que no forma parte de la invención reivindicada**

Los principios descritos en el motor lineal pueden extrapolarse fácilmente a un sistema de propulsión para una variedad de vehículos eléctricos basados en pistas. Un ejemplo usa imanes permanentes alternantes en una pista y bobinas en un vehículo usando las interacciones lineales de empujar-tirar el rotor/estátor descritas anteriormente. Otro ejemplo usa imanes permanentes en el vehículo y bobinas en las pistas.

**Ejemplo 12: Dispositivo de proyectil, que no forma parte de la invención reivindicada**

Los mismos conceptos para el Motor de Propulsión Lineal pueden extrapolarse más para lanzar vehículos u objetos desde una pista como un proyectil. Los ejemplos basados en proyectiles pueden utilizar el diseño de bobina descrito en la presente memoria en disposiciones de bobinas bidimensionales o tridimensionales configurados alrededor de un tubo en una o más disposiciones lineales alrededor de imanes permanentes o proyectiles magnéticos inducidos.

**Ejemplo 13: Dispositivos de solenoide, que no forman parte de la invención reivindicada**

En un ejemplo de solenoide del Diseño de Bobina y Motor Regenerativo y, las bobinas y los imanes (posiblemente un imán y una bobina) están configurados para funcionar como un solenoide. La bobina se energiza para mover el imán. La bobina se puede energizar o desenergizar (en presencia de gravedad, un muelle, gas comprimido u otro sistema de movimiento de retorno) para devolver el solenoide hasta la posición inicial.

En todas las realizaciones descritas anteriormente, opcionalmente, los circuitos de activación de la bobina o de recolección de energía pueden incluirse dentro de los motores o incluirse por separado de los motores y cablearse a las bobinas dentro del motor. Con frecuencia es conveniente incluir la electrónica dentro del centro de un motor de cubo o integrarla en los módulos magnéticos de un motor estándar, motor de transmisión o similar.

Todas las realizaciones descritas en la presente memoria también se pueden configurar opcionalmente con los circuitos de activación de bobinas, los circuitos de recolección de energía de la bobina, los circuitos de activación/recolección a tiempo parcial o los circuitos de conmutación de activación/recolección bajo demanda.

En realizaciones modulares, una o más de las bobinas se pueden hacer como un módulo autónomo. Este diseño modular facilita el montaje y el mantenimiento de modo que, si un módulo de bobina falla, se puede reemplazar con un desmontaje mínimo del motor, en algunos casos sin siquiera detener el motor. También es concebible hacer una sección completa del estátor de la bobina como un módulo para un reemplazo fácil, aunque podría ser aconsejable permitir que el estátor sea al menos divisible en dos secciones para minimizar el desmontaje. Si bien los rotores también pueden ser divisibles en secciones de módulos discretos como una realización contemplada o una alteración de las realizaciones, las ventajas de hacerlo son menos claras.

**Ejemplo Alternativo 1: Trayectos de flujo radial (trayecto de flujo de bobina magnética en radiales en lugar de paralelos axiales), que no forman parte de la invención reivindicada**

Este ejemplo es similar al motor de copa sin la sección central hueca.

**Ejemplo Alternativo 2: Múltiples disposiciones concéntricas de bobinas e imanes**

En aplicaciones en las que se desean relaciones adicionales de potencia a volumen, los estatores y rotores se pueden configurar como se describe en las realizaciones anteriores, pero con una o más disposiciones concéntricas adicionales de imanes y bobinas en rotores y estatores. Las bobinas y los imanes pueden alinearse radialmente o escalonarse de una agrupación concéntrica a una agrupación concéntrica.

**Ejemplo Alternativo 3: Múltiples líneas de bobinas en imanes para motor lineal, que no forman parte de la invención reivindicada**

Este ejemplo es similar al Ejemplo Alternativo 2 para motores rotativos, se pueden usar disposiciones lineales alineadas o escalonadas de imanes y bobinas en rotores y estatores lineales para un rendimiento adicional.

**Ejemplo Alternativo 4: Múltiples disposiciones concéntricas de bobinas e imanes II**

5

Esta realización es similar al Ejemplo Alternativo 2, excepto que una o más de las secciones del estátor/rotor pueden configurarse en orientaciones axiales y, dentro del mismo dispositivo, una o más secciones del estátor/rotor pueden configurarse en la orientación radial, posiblemente en una configuración alternante.

10

**REIVINDICACIONES**

**1.** Un motor regenerativo (10) que comprende:

- 5 un estátor (20) que tiene una agrupación de bobinas (31) dispuestas en dicho estátor (20) en una pluralidad de módulos de bobina (30), en el que cada una de dichas bobinas (31) comprende un primer devanado (32) de alambre (33) enrollado alrededor de un núcleo (34) que tiene una primera cara polar (36) y una segunda cara polar (37) dispuestas perpendicularmente a una dirección axial definida por un eje central (1) del motor (10), y en el que cada una de dichas bobinas (31) se regulan por separado;
- 10 un primer rotor (50) que tiene una agrupación con un número par de imanes (60) dispuestos en dicho primer rotor (50) en configuraciones alternadas norte-sur;
- un segundo rotor (50) que tiene una agrupación de imanes (60) dispuestos en el segundo rotor (50); y un sistema de temporización eléctrica, que introduce energía eléctrica en las bobinas (31) en una forma alternante cíclica +/- y -/+;
- 15 en el que cada uno de los imanes (60) tiene un extremo interno dispuesto cerca del eje central (1) del motor (10), un extremo externo dispuesto lejos del eje central (1) del motor (10), una superficie superior (63) orientada hacia el estátor (20) y que forma una primera cara polar del imán (60), y una superficie inferior (64) que forma una segunda cara polar del imán (60),
- 20 en el que cada uno de los imanes (60) tiene una anchura (W) medida a lo largo de una dirección periférica en la parte más ancha de los imanes (60), una longitud (L) medida entre las caras polares (63, 64) del imán (60) y a lo largo de la dirección axial, y una altura (HM) medida a lo largo de una dirección radial, en el que en la dirección periférica cada uno de los imanes (60) está distanciado de los imanes adyacentes (60) por una distancia entre imanes (A) medida en el punto más cercano entre los imanes (60), en el que la distancia entre imanes (A) no es menor que la anchura (W) del imán (60), y en el que la distancia entre imanes (A) no es mayor que la longitud (L) del imán (60); en el que los imanes (60) del primer rotor (50) están distanciados de los adyacentes de los imanes (60) del segundo rotor (50) por un espacio de imán (B) medido en la dirección axial, en el que la distancia entre imanes (A) no es menor que el espacio de imán (B); y
- 30 un sistema de temporización eléctrica, que introduce energía eléctrica en las bobinas de forma alternante cíclica +/- y -/+;
- en el que el núcleo (34) tiene una forma y tamaño en sección transversal similar a una forma y tamaño en sección transversal de los imanes (60), un anchura (C) a lo largo de la dirección periférica, una longitud (LC) a lo largo de la dirección axial, y una altura (HC) a lo largo de la dirección radial, en el que la anchura (C) del núcleo (34) no es menor que la anchura (W) del imán (60), en el que la altura (HM) del imán (60) no es menor que la altura (HC) del núcleo (34), y en el que dicho alambre tiene una sección transversal no circular.
- 35
- 40 **2.** El motor (10) según la reivindicación 1, en el que dicho alambre (33) comprende un alambre aplanado (33).
- 3.** El motor (10) según la reivindicación 1, en el que cada una de dichas bobinas (31) además comprende un segundo devanado (32) de alambre (33) enrollado alrededor de dicho núcleo (34), particularmente en el que dichos primer y segundo devanados (32) están formados por un solo alambre (33), y en el que dichos primer y segundo devanados (32) están orientados opuestos entre sí.
- 45
- 4.** El motor (10) según la reivindicación 1, en el que dicho núcleo (34) comprende un núcleo sustancialmente libre de hierro, un núcleo de aire, un alambre de calibre o acero delgado (34b) con una ranura (34c).
- 50 **5.** El motor (10) según la reivindicación 1, en el que dicho núcleo (34) no es circular.
- 6.** El motor (10) según la reivindicación 1, en el que dicho primer devanado (32) está formado en una primera placa de circuito impreso (35) en forma de espiral, particularmente en el que dicha bobina (31) además comprende un segundo devanado (32) de alambre (33), y en el que dicho segundo devanado está formado en una segunda placa de circuito impreso (35) en forma de espiral.
- 55
- 7.** El motor (10) según la reivindicación 1, en el que dicho motor (10) comprende un motor de cubo.
- 8.** El motor (10) según la reivindicación 1, que además comprende: un conjunto de engranajes epicicloidales (80) que comprende un engranaje solar (81), un engranaje planetario, un portador de engranaje planetario (84) y un engranaje anular (82); en el que dicho engranaje solar (81) recibe una fuerza de rotación desde una primera entrada; en el que dicho engranaje planetario rodea dicho engranaje solar (81) y engrana con dicho engranaje solar (81) y dicho engranaje anular (82); en el que dicho portador de engranaje planetario (84) está conectado a dicho engranaje planetario de tal manera que dicho engranaje planetario transfiere una energía de rotación a dicho portador de engranaje planetario (84); y en el que dicho engranaje anular (82) comprende
- 60
- 65



dicho rotor (50).

- 5      **9.** El motor (10) según la reivindicación 1, que además comprende una placa de derivación (70) colocada en un extremo de una pila del estátor (20) y el primer y segundo rotores (50) están configurados para proporcionar un trayecto de conducción de flujo desde un primer imán de los imanes (60) hasta un segundo imán adyacente de los imanes (60).

10

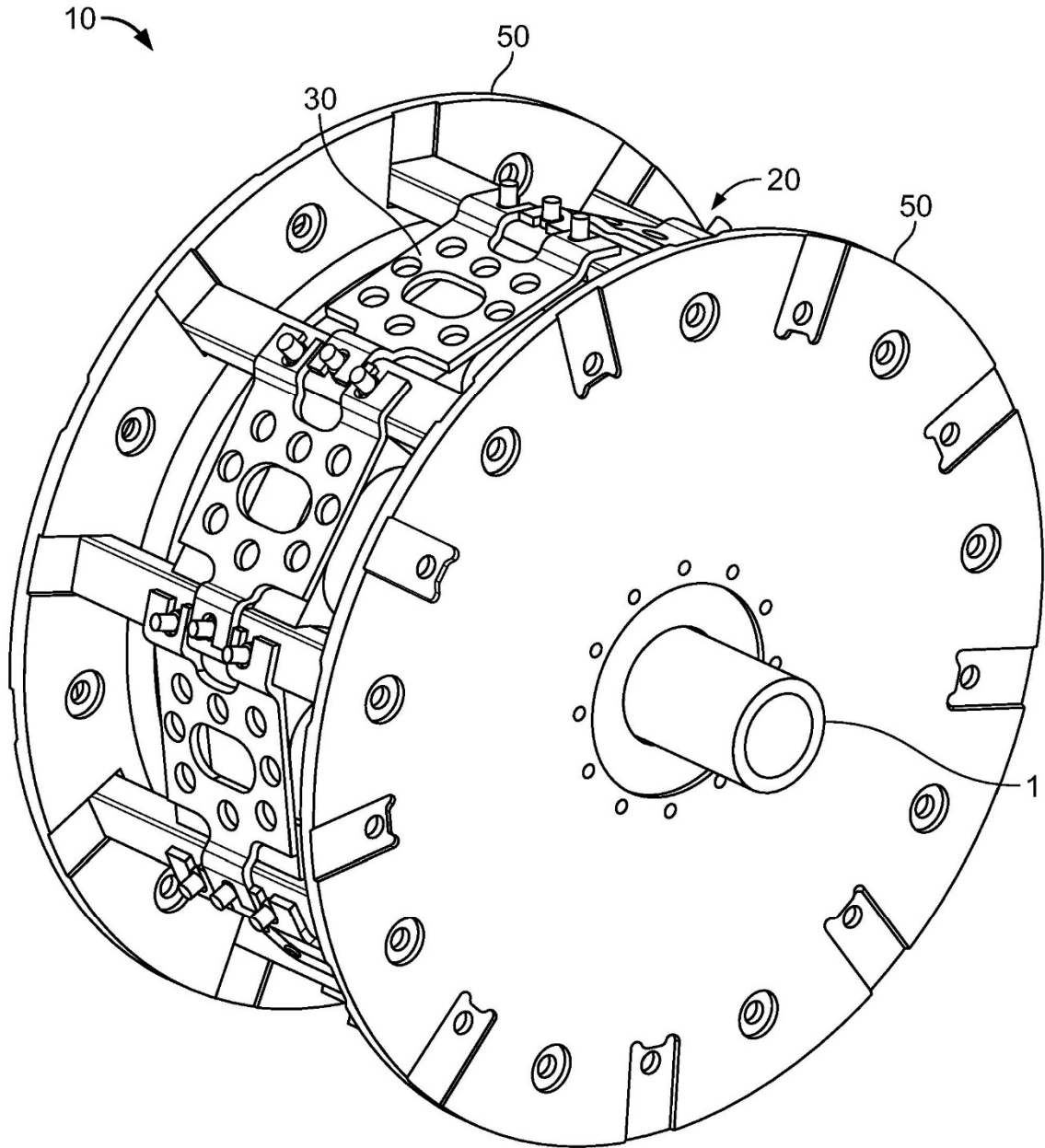


FIG. 1

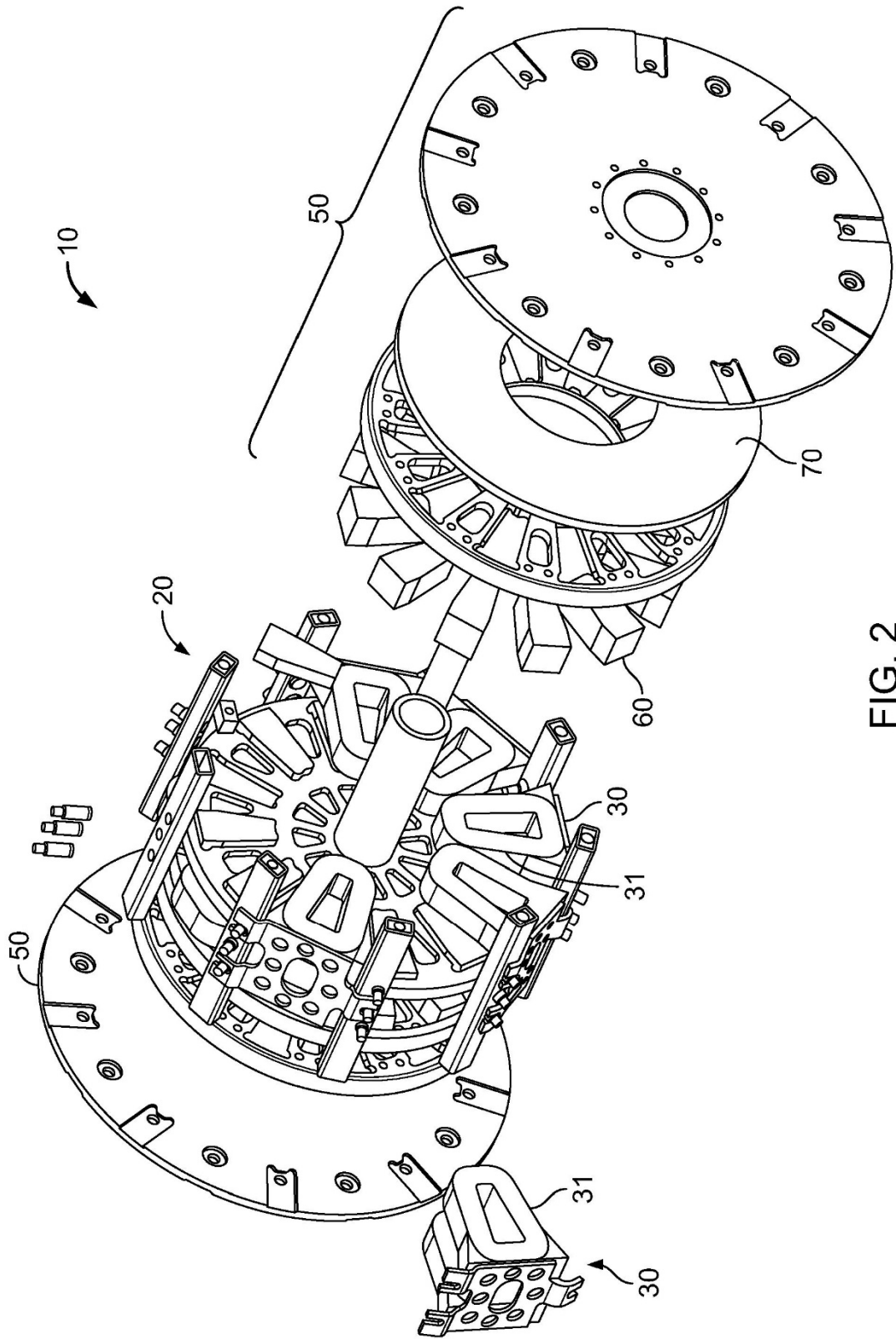


FIG. 2

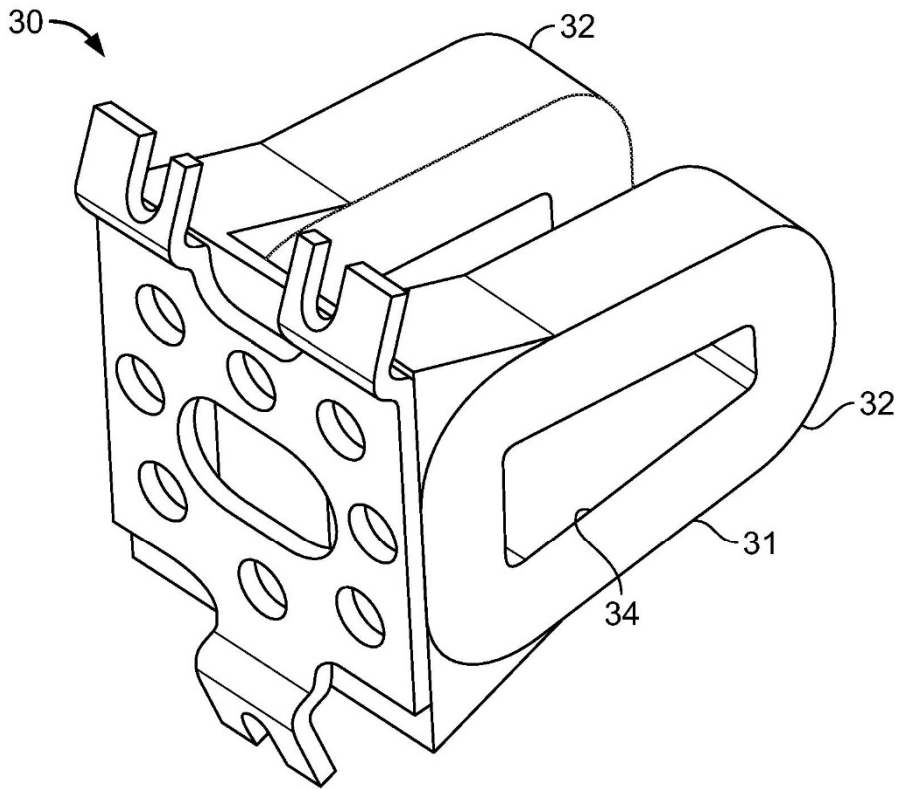


FIG. 3A

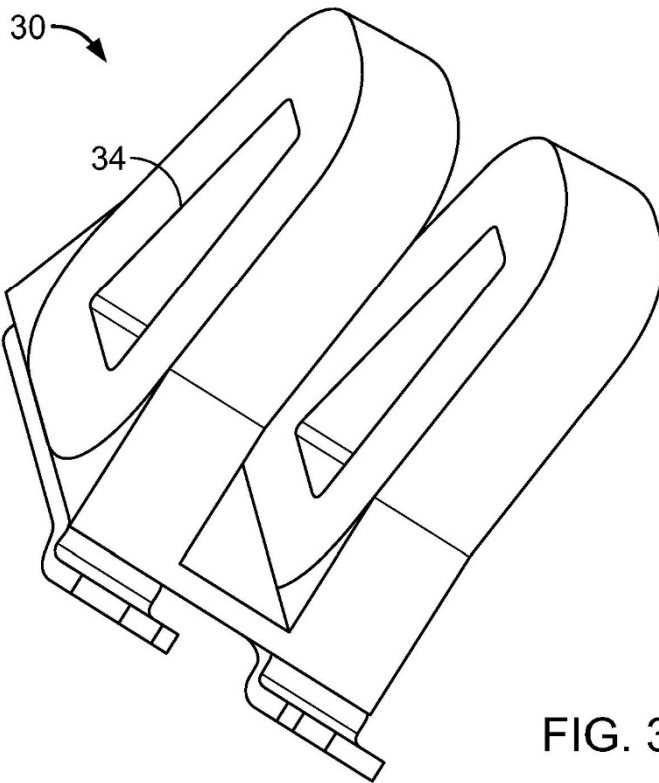


FIG. 3B

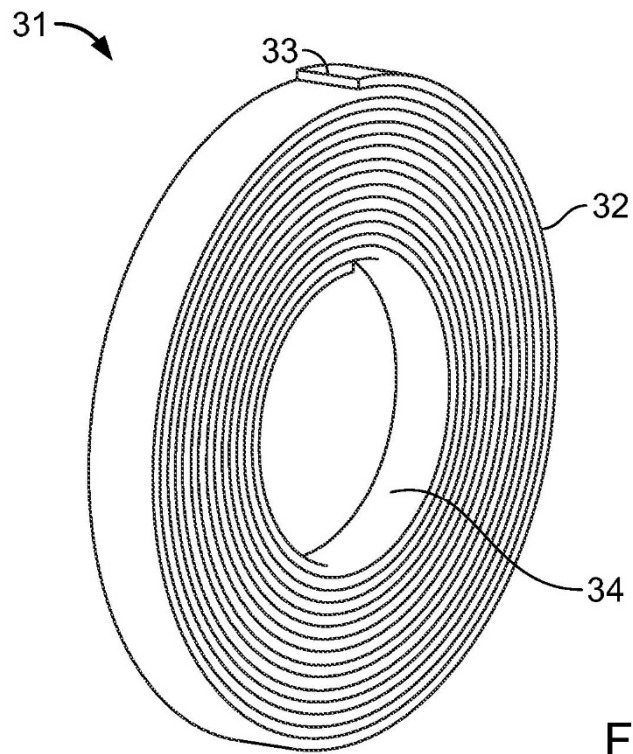


FIG. 4

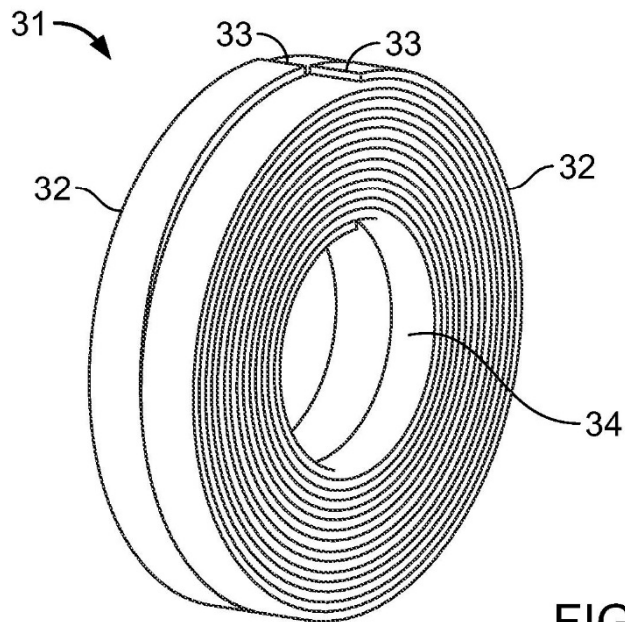


FIG. 5

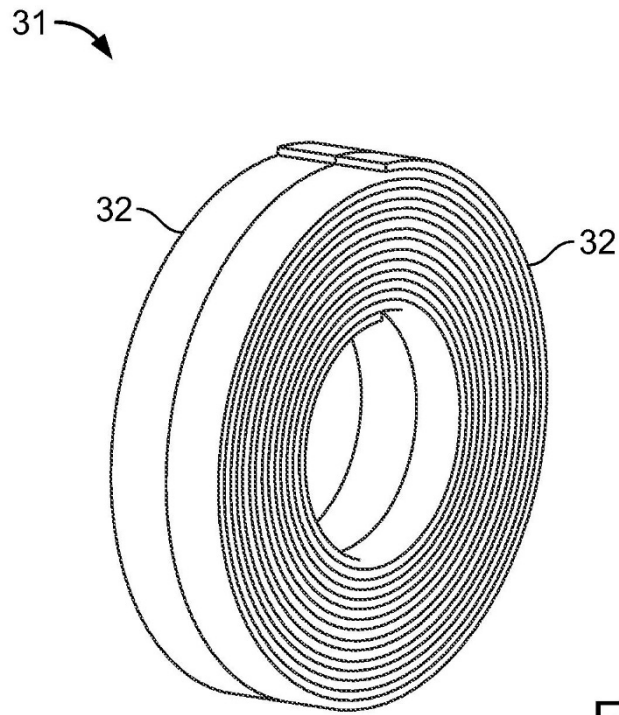


FIG. 6

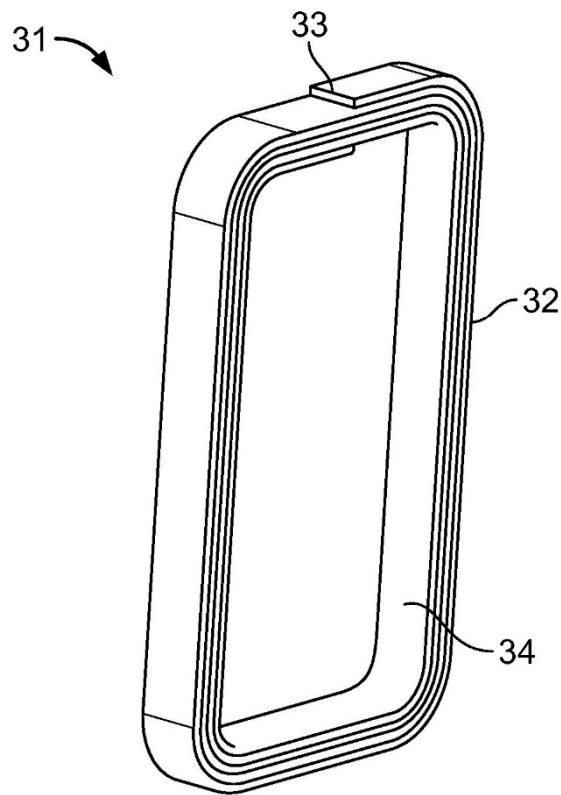


FIG. 7

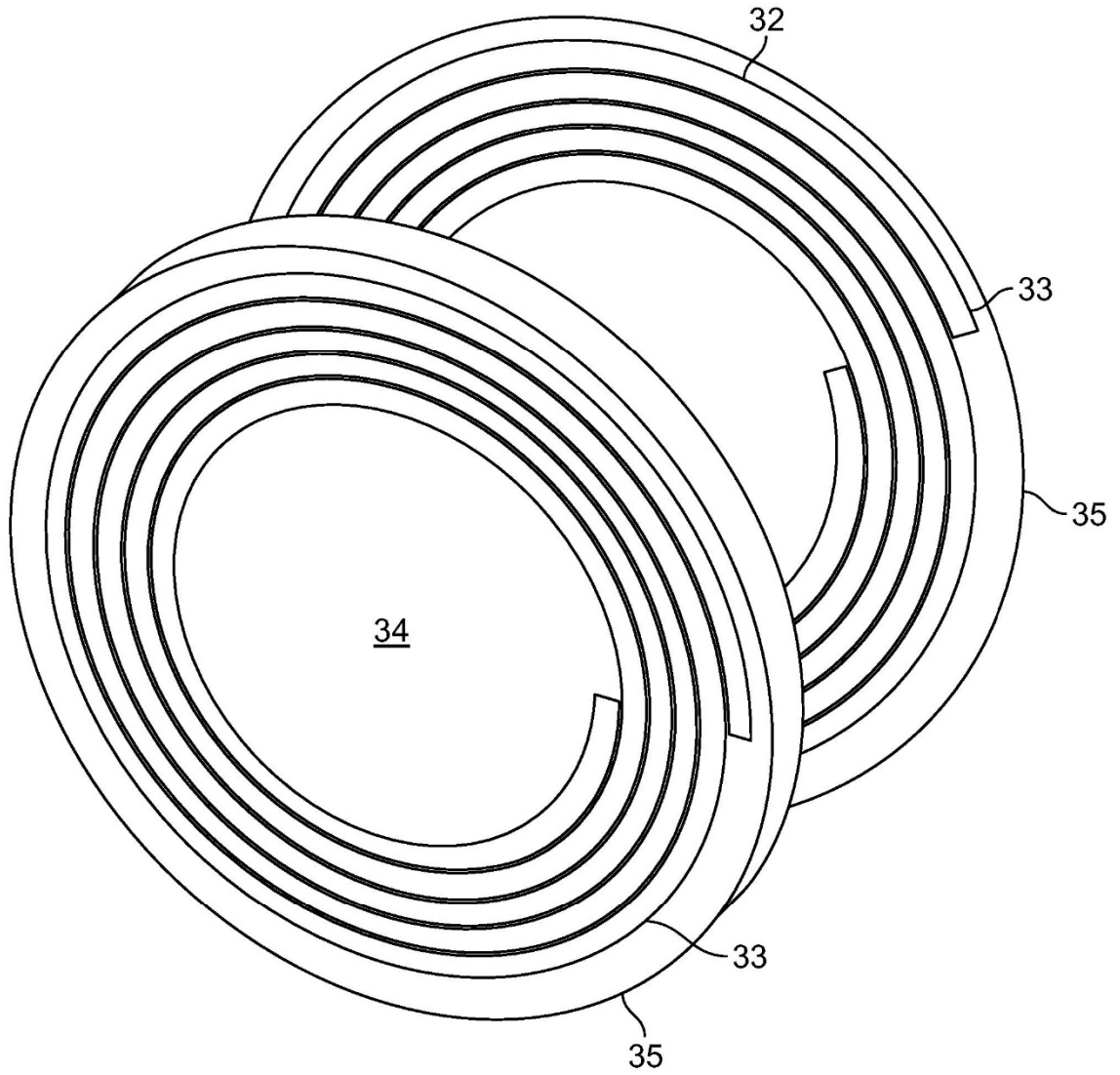


FIG. 8

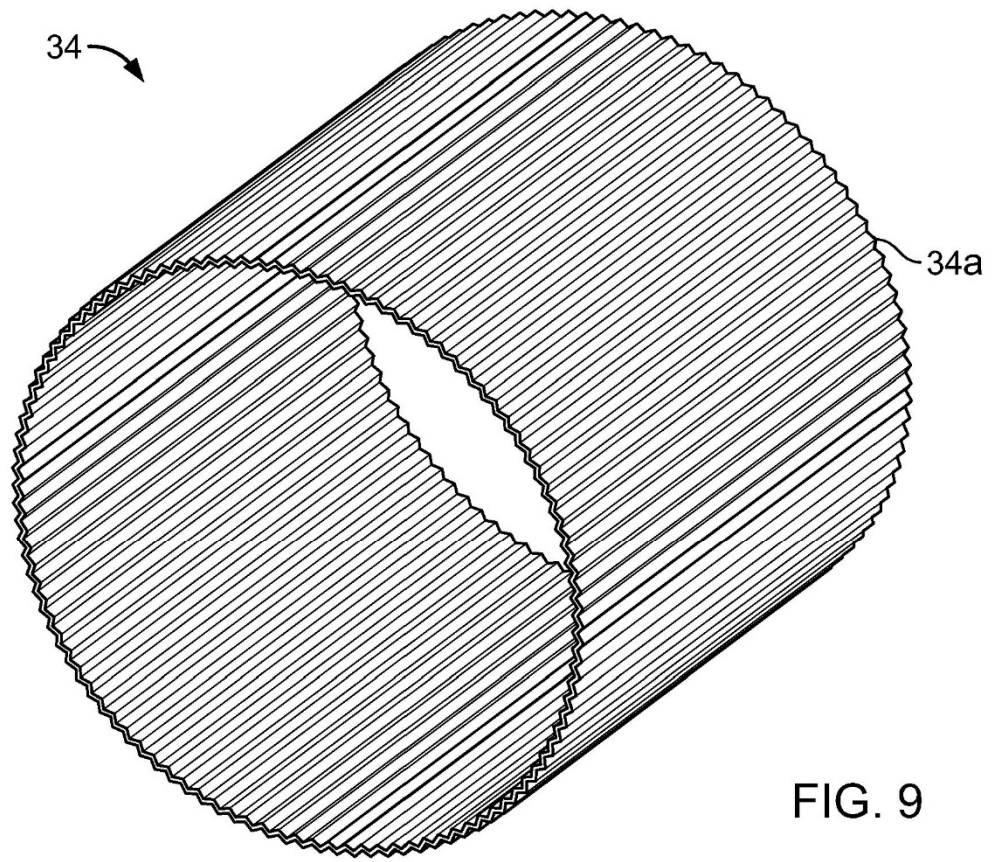


FIG. 9

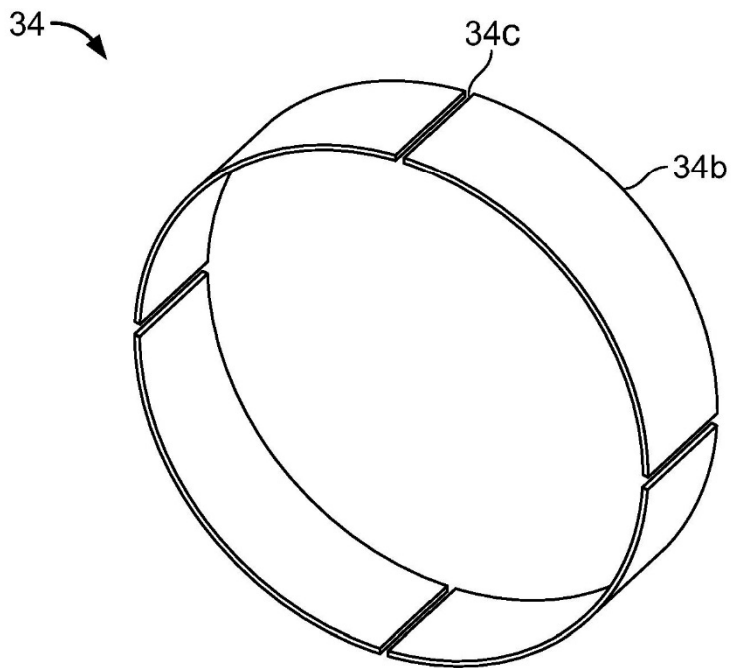


FIG. 10



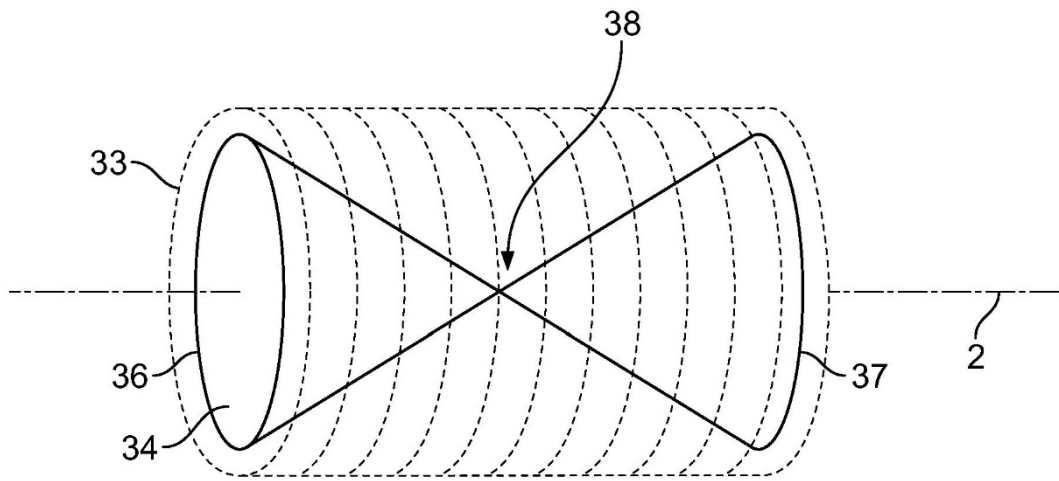


FIG. 11

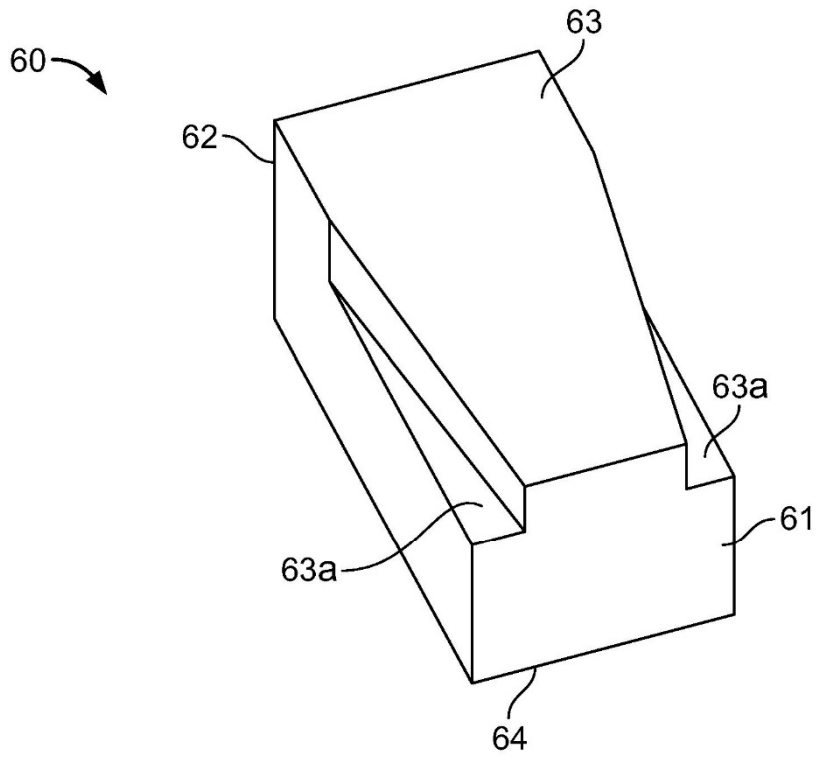


FIG. 12A

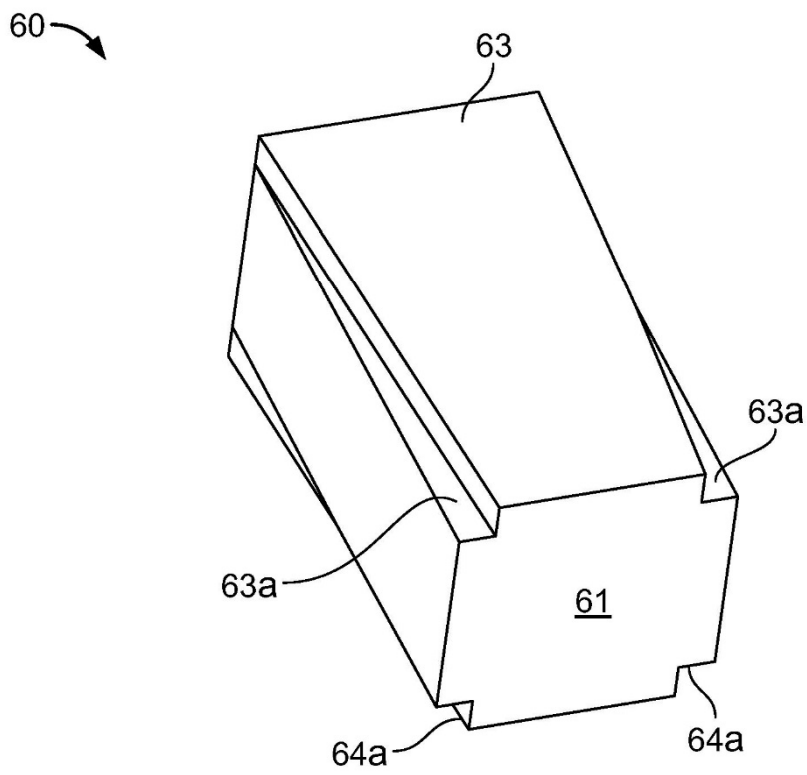


FIG. 12B

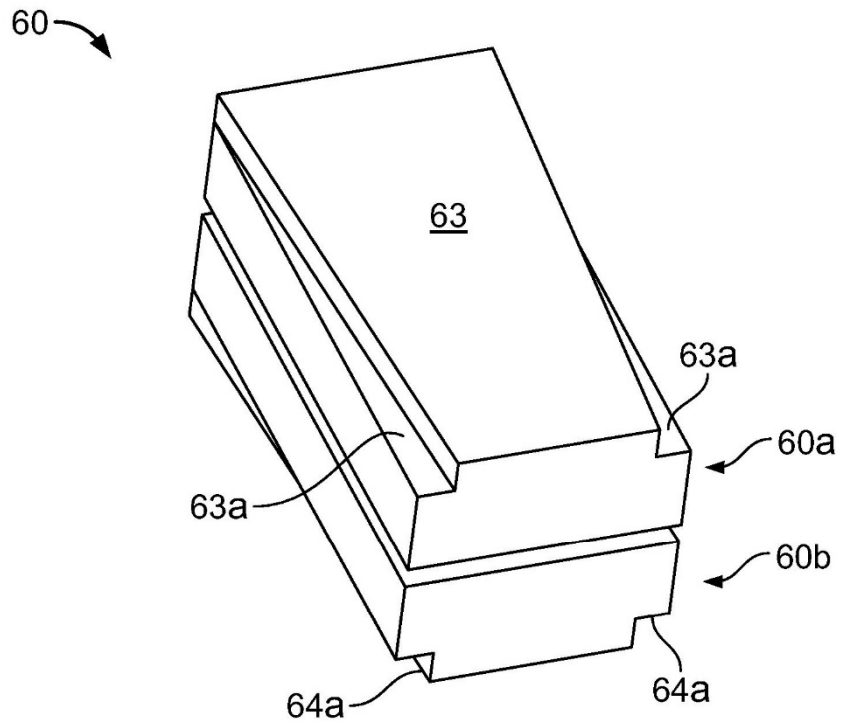


FIG. 12C

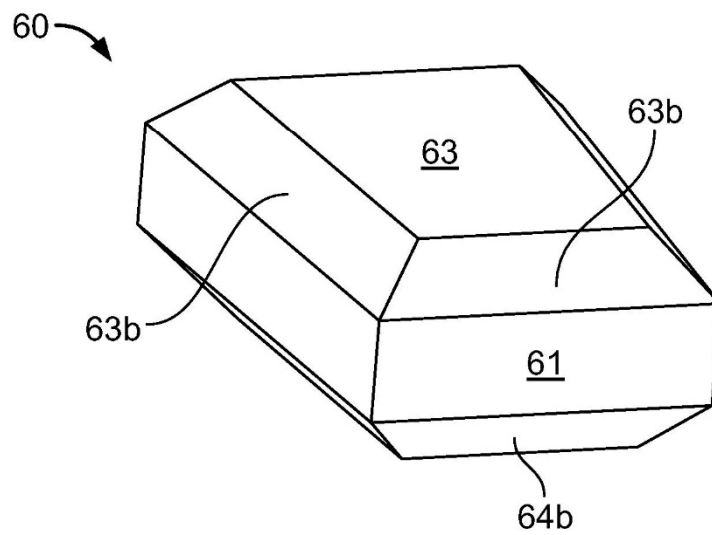


FIG. 12D

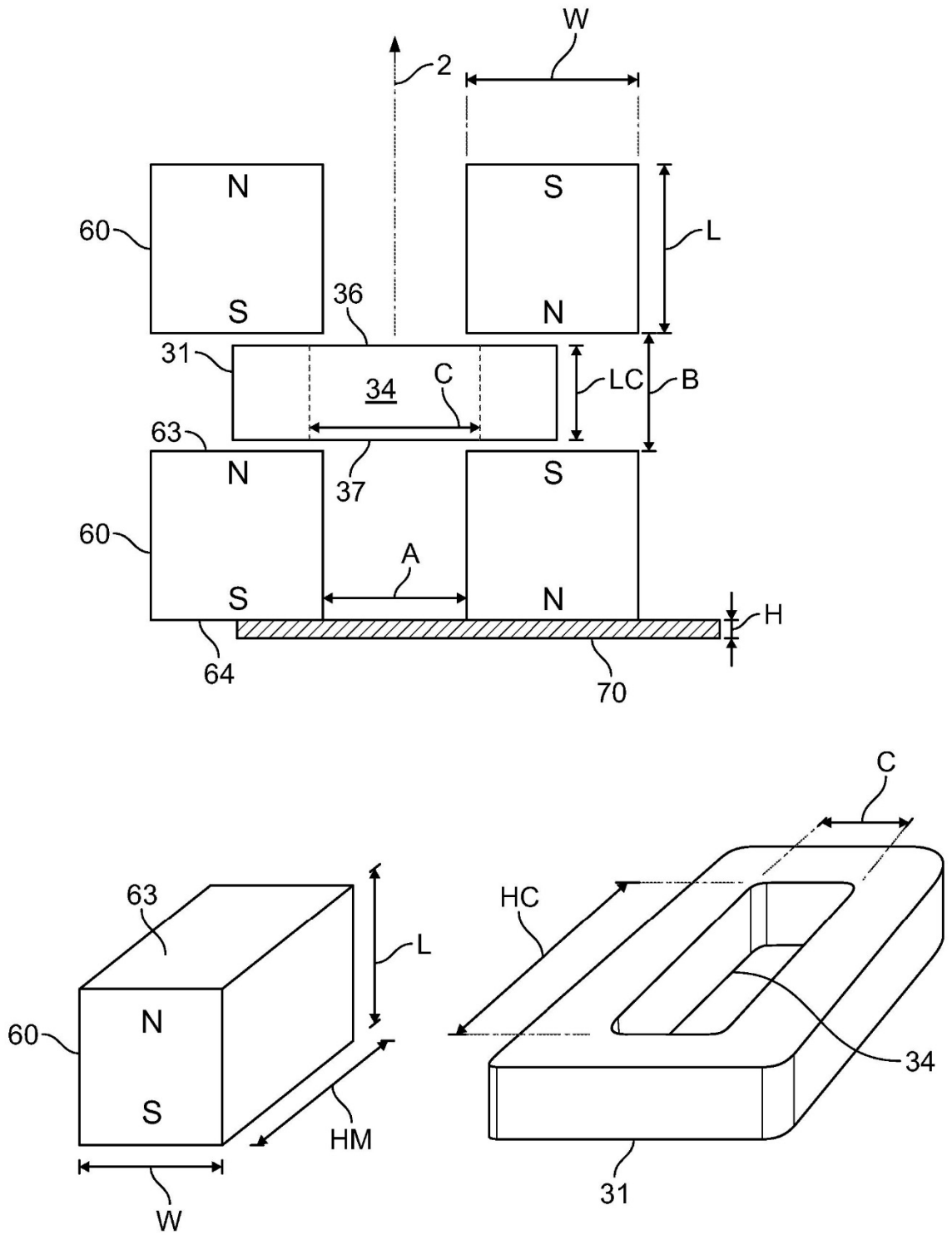


FIG. 13

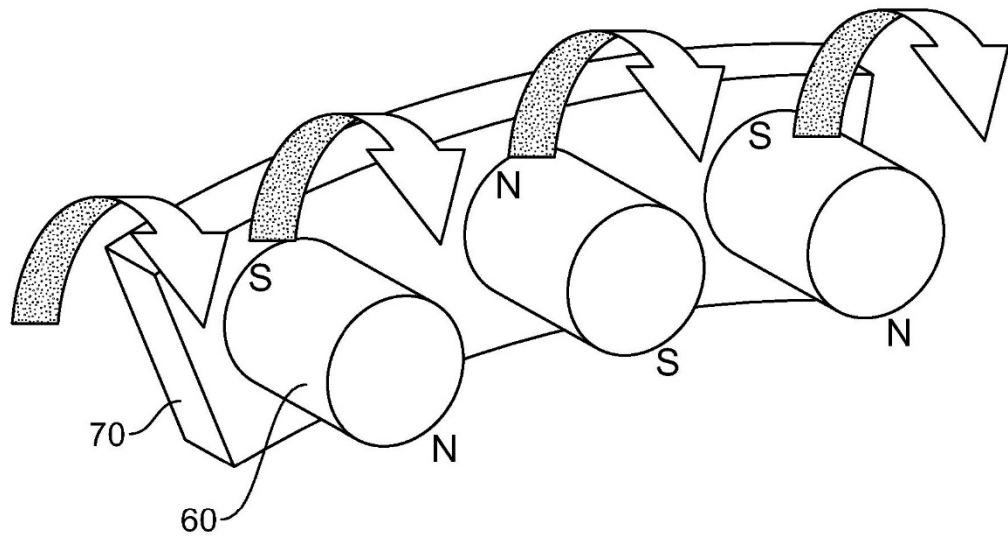


FIG. 14

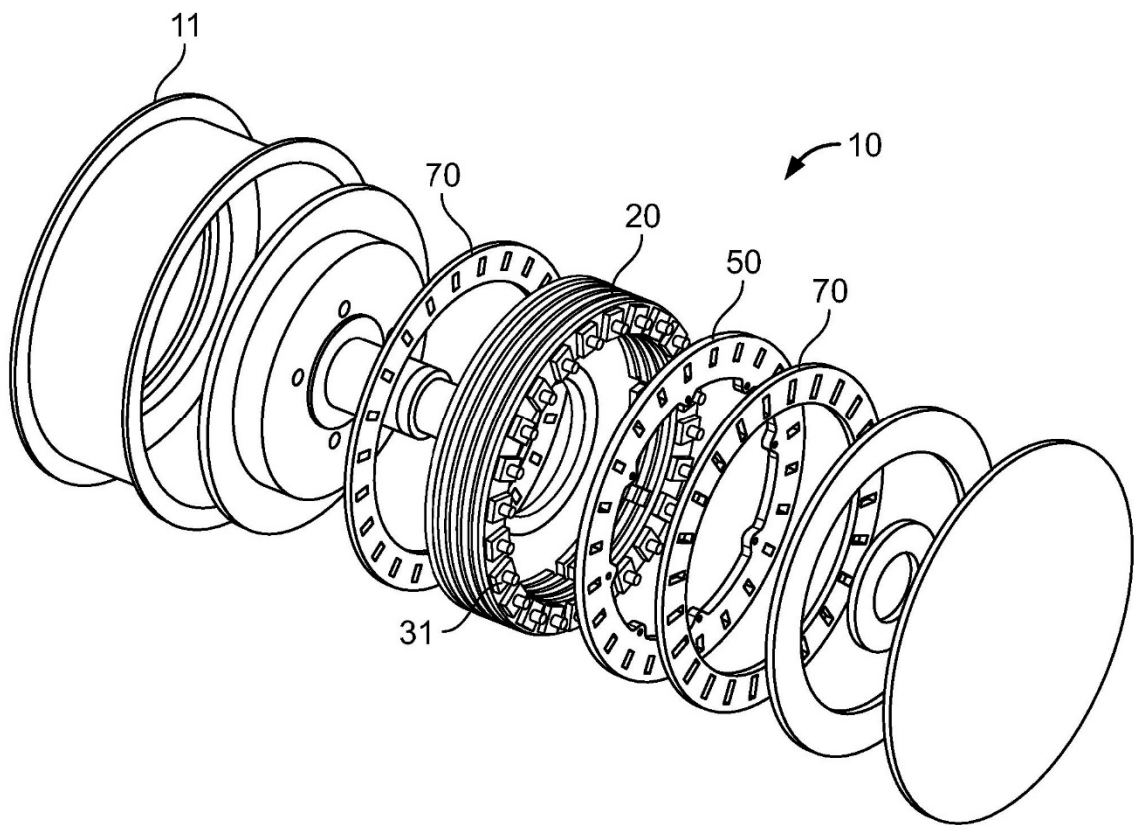


FIG. 15

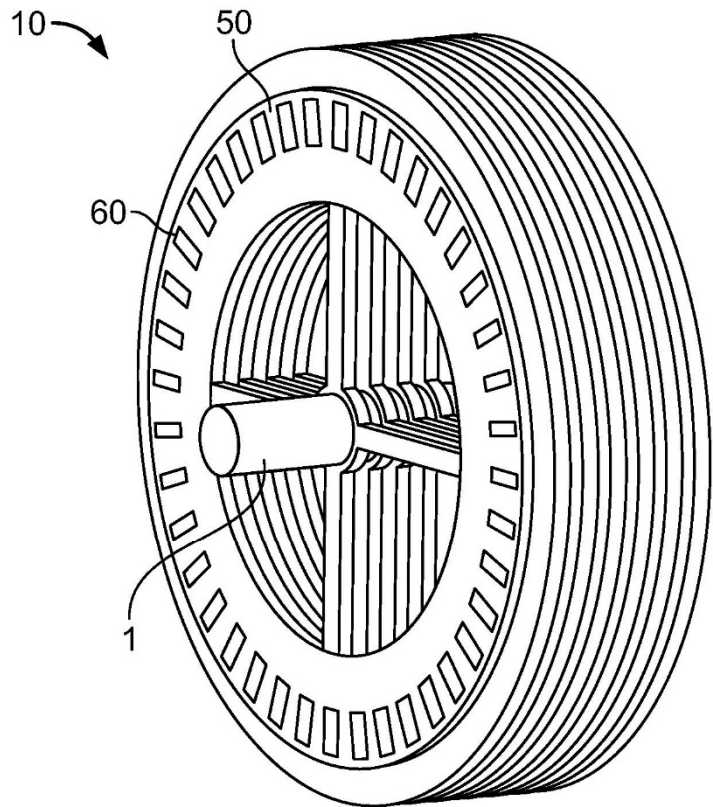


FIG. 16

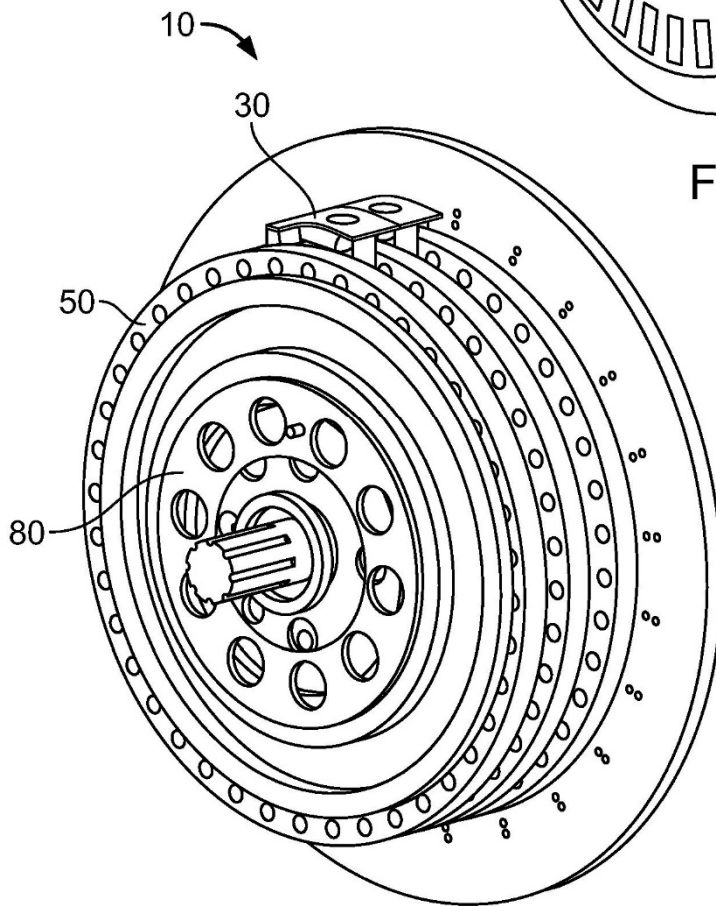


FIG. 17

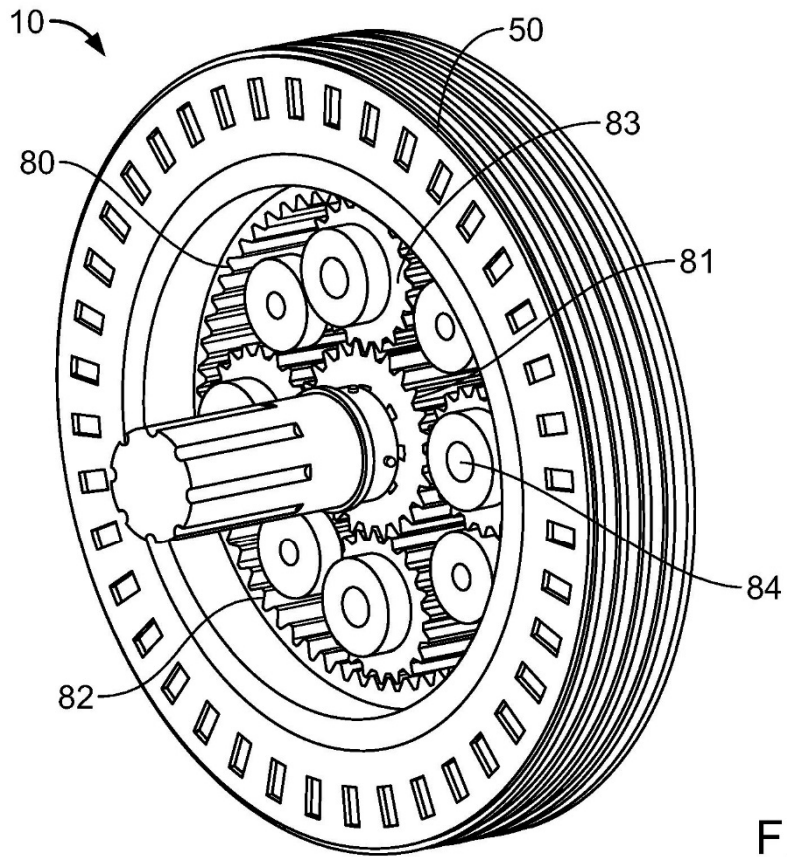


FIG. 18

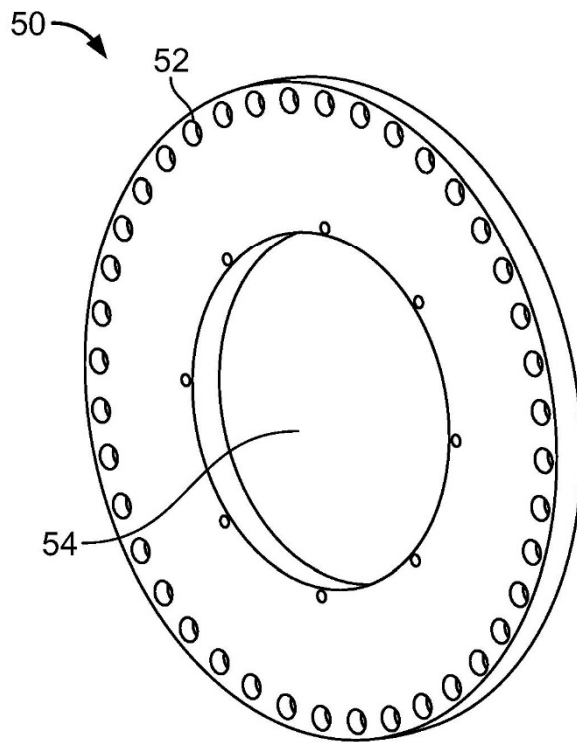


FIG. 19

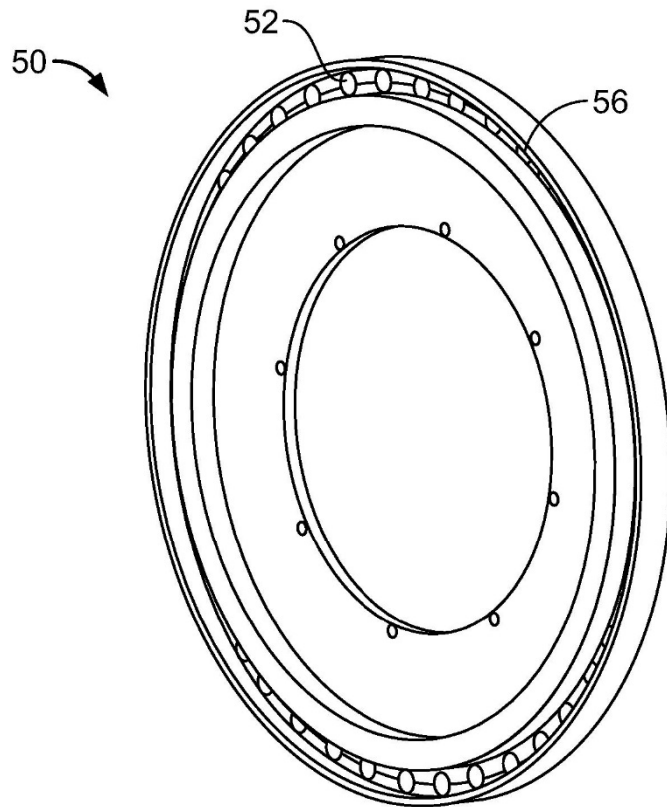


FIG. 20

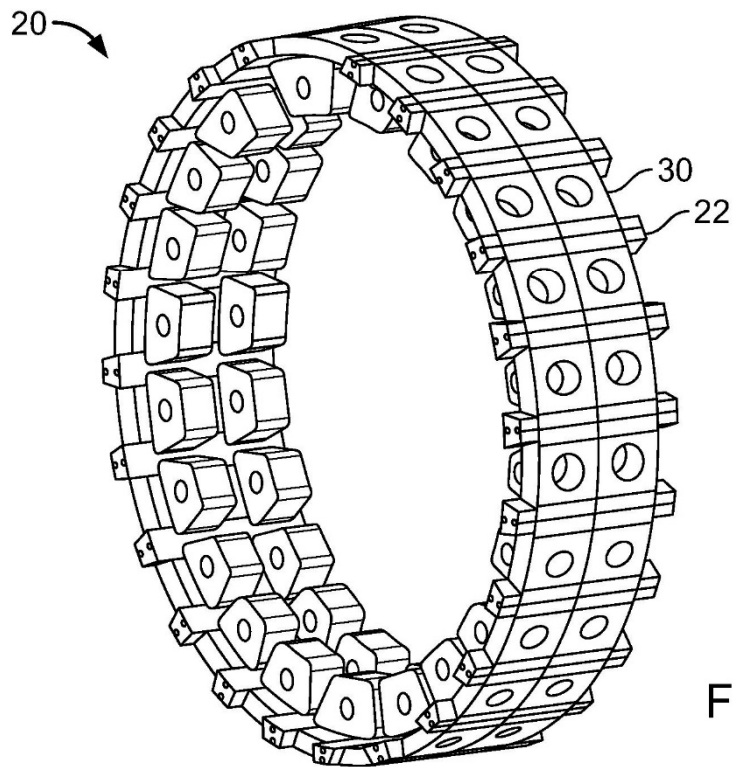


FIG. 21



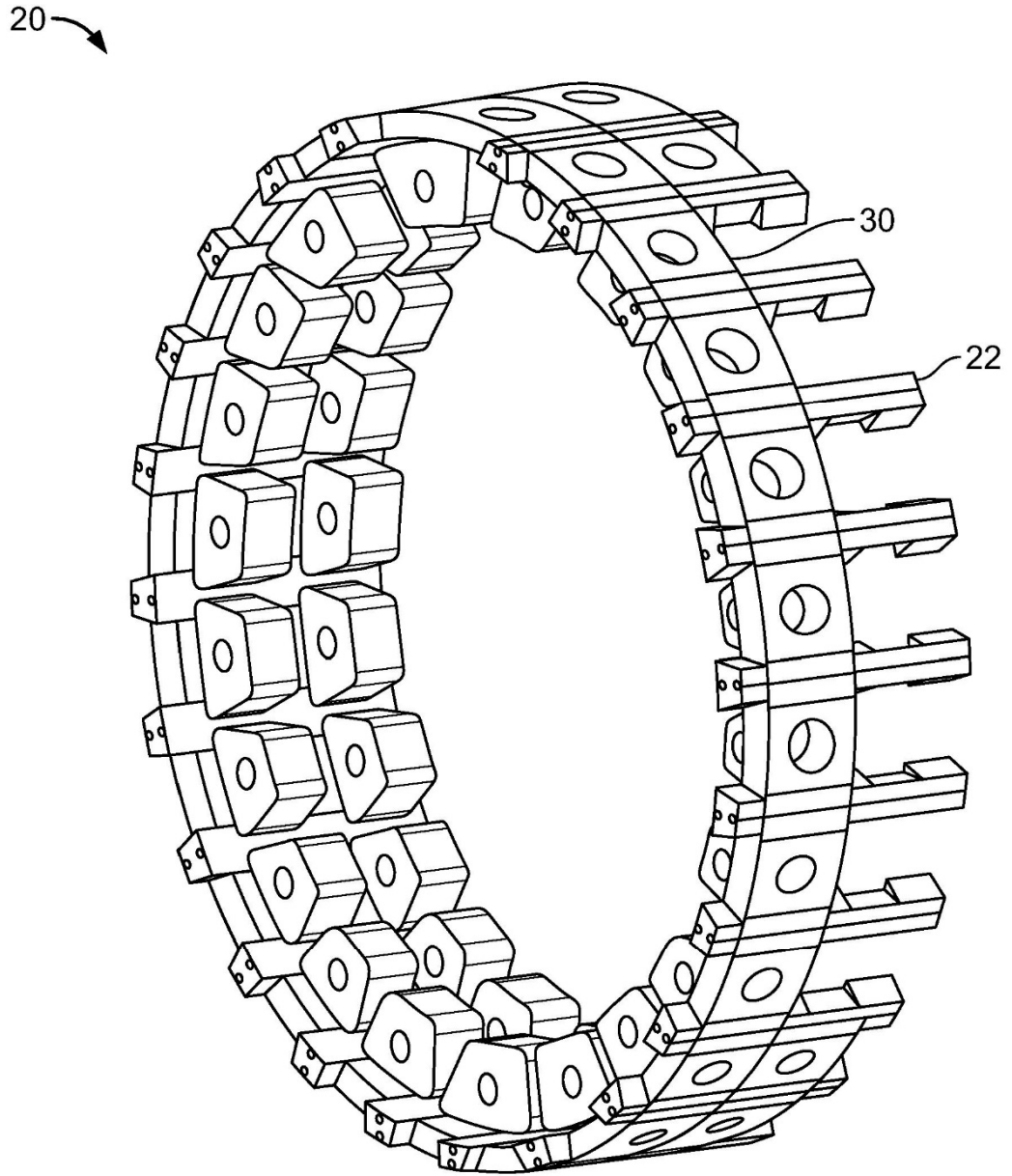


FIG. 22

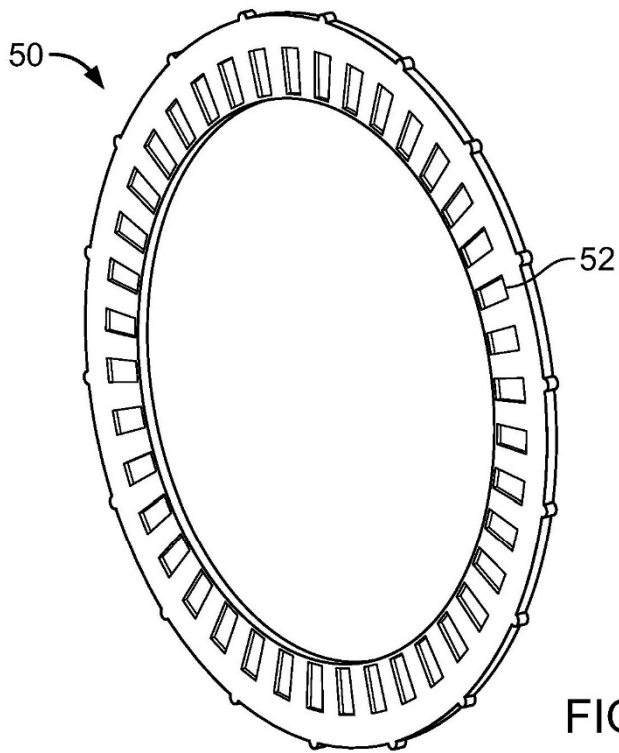


FIG. 23

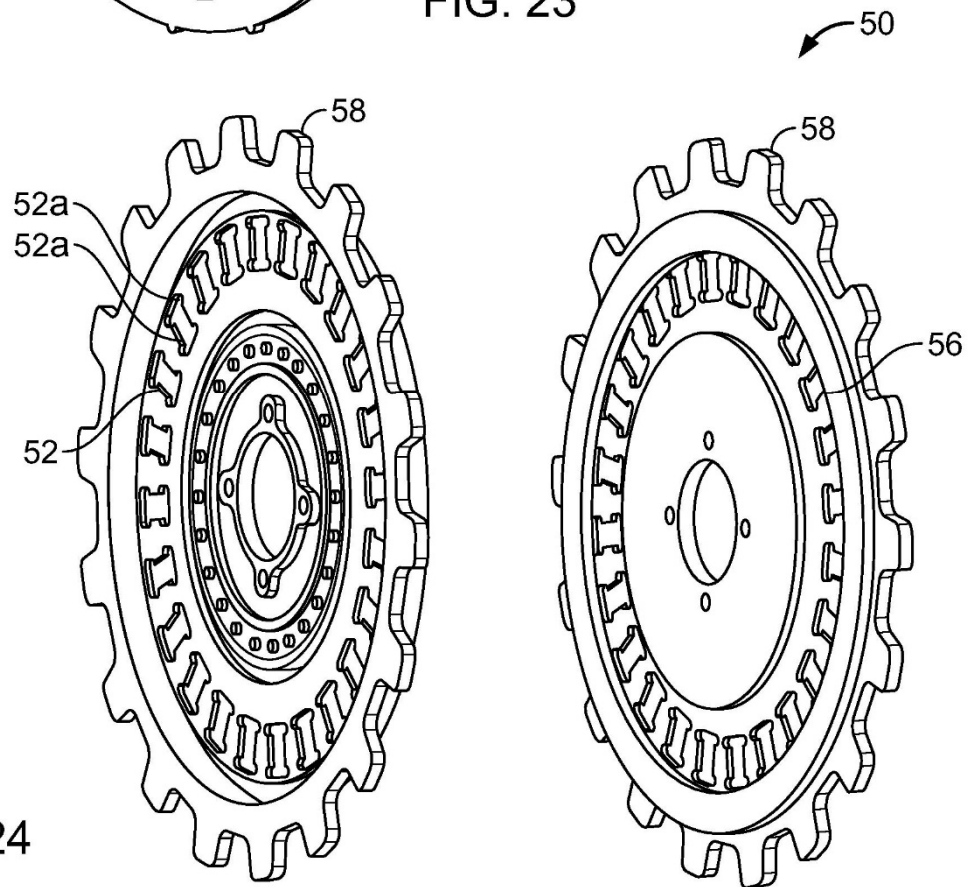


FIG. 24

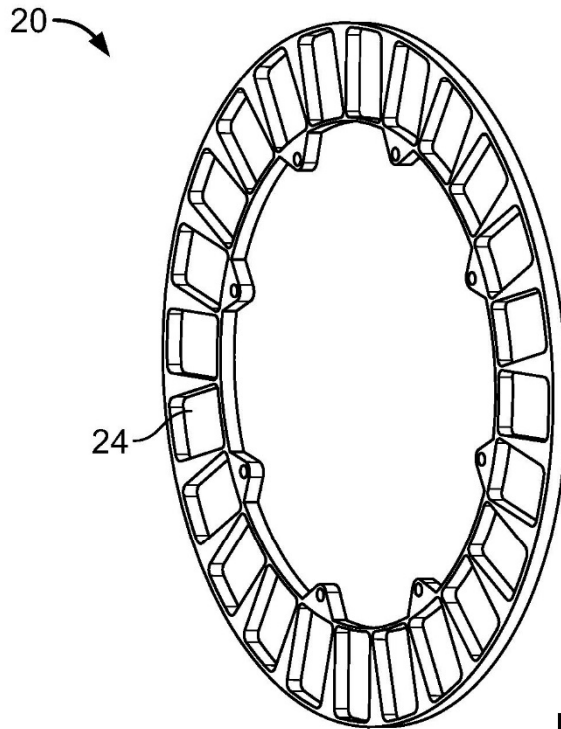


FIG. 25

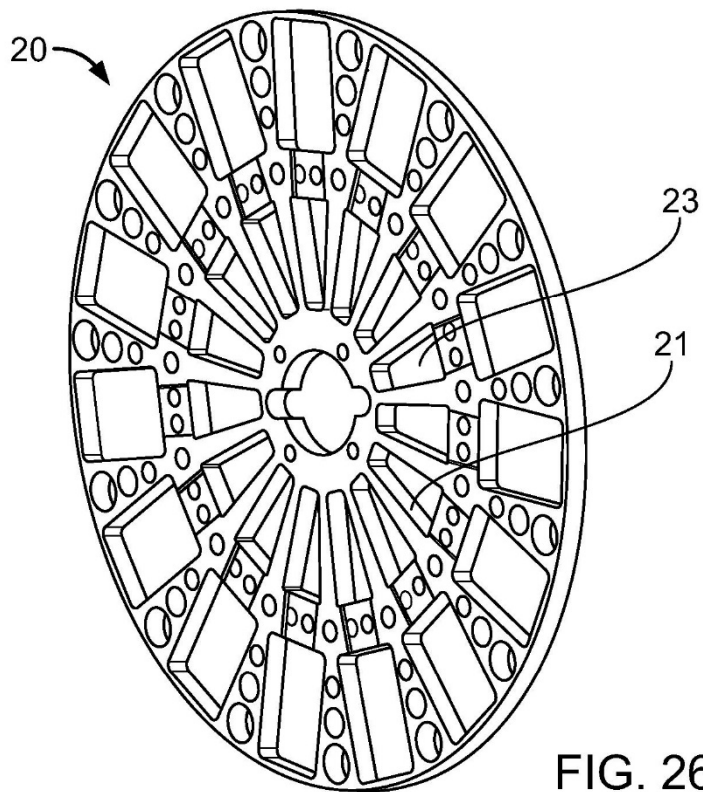


FIG. 26

Proporción de Imanes a Bobinas	Fase	Proporción de Imanes a Bobinas	Fase
1,077	13	1,875	8
1,083	12	1,889	9
1,100	10	1,900	10
1,111	9	1,917	12
1,129	8	1,923	13
1,143	7	2,000	1
1,154	13	2,083	12
1,167	6	2,100	10
1,200	5	2,125	8
1,222	3	2,143	7
1,231	13	2,157	8
1,250	4	2,222	9
1,286	7	2,250	4
1,300	10	2,286	7
1,308	13	2,300	10
1,333	3	2,333	3
1,375	8	2,375	8
1,385	13	2,400	5
1,400	5	2,417	17
1,417	12	2,427	7
1,429	7	2,429	7
1,444	9	2,444	9
1,462	13	2,500	2
1,500	2	2,556	9
1,533	15	2,571	7
1,538	13	2,583	12
1,556	9	2,625	8
1,571	7	2,667	3
1,583	12	2,700	10
1,589	12	2,714	7
1,600	5	2,750	4
1,615	13	2,778	3
1,625	8	2,833	8
1,667	3	2,857	7
1,682	11	2,875	8
1,700	10	2,917	12
1,714	7	3,000	1
1,750	4	3,083	12
1,778	9	3,125	8
1,800	5	3,143	7
1,833	6	3,400	5
1,846	13	3,500	2
1,857	7	4,000	1

FIG. 27