

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 389 818**

51 Int. Cl.:  
**F16H 49/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09712378 .0**  
96 Fecha de presentación: **20.02.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2255107**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **01.12.2010**

54 Título: **Engranajes magnéticos variables**

30 Prioridad:  
**21.02.2008 GB 0803119**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**02.11.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**02.11.2012**

73 Titular/es:  
**MAGNOMATICS LIMITED (100.0%)**  
**Park House Bernard Road**  
**Sheffield S2 5BQ, GB**

72 Inventor/es:  
**RENS, JAN JOZEF y**  
**ATALLAH, KAIS**

74 Agente/Representante:  
**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 389 818 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

Engranajes magnéticos variables

### **Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a engranajes magnéticos, y en particular al control de la relación de engranaje de engranajes magnéticos.

### **Antecedentes de la invención**

10 Se conocen engranajes magnéticos en los que los rotores de entrada y salida están provistos de respectivos conjuntos de pares de polos magnéticos en diferentes separaciones, y un conjunto de piezas polares ferromagnéticas está dispuesto entre los rotores de entrada y de salida para modular el campo magnético y para permitir que el rotor de entrada accione el rotor de salida con una relación de engranaje que depende de la relación de las distancias de los dos conjuntos de polos magnéticos y la separación de las piezas polares.

### **Sumario de la Invención**

La presente invención proporciona un engranaje magnético según la reivindicación 1.

Los elementos móviles pueden comprender rotores o, en un sistema lineal, traductores.

15 La presente invención también proporciona un sistema de generación de potencia que comprende un elemento de entrada, un generador, y un engranaje magnético que acopla el elemento de entrada al generador, en el que el engranaje magnético es un engranaje de acuerdo con la invención.

20 La presente invención también proporciona un sistema de tren de potencia que comprende un motor primario, una carga, y un engranaje magnético que acopla el motor primario a la carga, en el que el engranaje magnético es un engranaje de acuerdo con la invención.

### **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es una sección esquemática a través de un sistema de engranaje magnético rotatorio conocido;

La figura 2 es una sección longitudinal a través del sistema de engranaje de la figura 1;

25 La figura 3 es una vista en sección transversal de un acoplamiento motriz de acuerdo con una primera realización de la invención;

La figura 4 es una sección longitudinal a través del acoplamiento motriz de la figura 3;

La figura 5 es una sección longitudinal a través de un acoplamiento motriz de acuerdo con una segunda realización de la invención;

30 La figura 6 es una sección longitudinal a través de un acoplamiento motriz de acuerdo con una realización adicional de la invención;

La figura 7 es una sección transversal a través de un acoplamiento motriz de acuerdo con una realización adicional de la invención;

La figura 8 es una sección longitudinal esquemática a través de un sistema de generación de potencia de acuerdo con una realización adicional de la invención;

35 La figura 9 es una sección longitudinal esquemática a través de un sistema de generación de potencia de acuerdo con una realización adicional de la invención;

La figura 10 es una sección transversal esquemática a través de un acoplamiento motriz de acuerdo con una realización adicional de la invención;

La figura 11 es una sección longitudinal esquemática a través de la unidad de acoplamiento de la figura 10;

40 La figura 12 es una sección longitudinal esquemática a través de un tren motriz del vehículo no de acuerdo con una realización adicional de la invención; y

La figura 13 es un diagrama funcional del tren motriz de la figura 12.

45 Haciendo referencia a las figuras 1 y 2, un engranaje rotativo magnético 100 conocido comprende un primer rotor o rotor interior 102, un segundo rotor 104 o rotor exterior que tiene un eje común de rotación con el primer rotor 102, y una serie de piezas polares 106 de material ferromagnético soportado entre los rotores 102, 104. El primer rotor 102

comprende un soporte 108 que lleva un primer conjunto de imanes permanentes 110, dispuestos con sus polos norte y sur en sus extremos radialmente interior y exterior, y orientados con polaridad alterna, por lo que cada uno de los imanes 110 tiene sus polos orientados en el dirección opuesta a los imanes en cada lado del mismo. En esta realización, el primer rotor 102 comprende ocho imanes permanentes, o cuatro pares de polos, dispuestos para producir un campo magnético espacialmente variable. El segundo rotor 104 comprende un soporte 112 que lleva un segundo conjunto de imanes permanentes 114, de nuevo dispuestos con sus polos enfrentados radialmente hacia el interior y hacia el exterior, y con alternancia de polaridad. El segundo rotor 104 comprende 46 imanes permanentes o 23 pares de polos dispuestos para producir un campo espacialmente variable. El primer y segundo conjuntos de imanes permanentes, por lo tanto, incluyen diferentes números de imanes. En consecuencia, sin ningún tipo de modulación de los campos magnéticos que producen, habría poco o ningún acoplamiento magnético útil o interacción entre los dos conjuntos de imanes permanentes 110 y 114, de tal manera que la rotación de un rotor no causaría la rotación del otro rotor.

Las piezas polares 106, que están soportadas en un soporte cilíndrico no magnético 116, se utilizan para controlar la forma en que interactúan los campos de los imanes permanentes 110 y 114. Las piezas polares 106 modulan los campos magnéticos de los imanes permanentes 110 y 114, de modo que interactúan en la medida en que la rotación de un rotor induce la rotación del otro rotor de una forma engranada. El número de piezas polares se elige para que sea igual a la suma del número de pares de polos de los dos conjuntos de imanes permanentes. La rotación del rotor 102 a una primera velocidad  $\omega_1$  inducirá la rotación del segundo rotor 104 a una velocidad  $\omega_2$ , donde  $\omega_1 > \omega_2$ . La relación entre las velocidades de rotación  $\omega_1$  y  $\omega_2$ , es decir, la relación de engranaje del acoplamiento, es igual a la relación entre el número de pares de polos de los imanes 110 y 114 sobre el primer y segundo rotores 102, 104. El engranaje puede funcionar en sentido inverso, de modo que la rotación del segundo rotor 104 provocará la rotación del primer rotor a una velocidad mayor.

Haciendo referencia a las figuras 3 y 4, en una primera realización de la invención, un engranaje magnético 200 comprende tres rotores coaxiales: un rotor interior cilíndrico 202 que lleva un primer conjunto de imanes 210 que proporciona un primer conjunto de pares de polos magnéticos, un rotor exterior cilíndrico 204 que lleva un segundo conjunto de imanes 214 que proporciona un segundo conjunto de pares de polos, y un tercer rotor cilíndrico 216 situado radialmente entre los rotores interior y exterior 202, 204, que lleva el conjunto de piezas polares 206. Los imanes 210, 214 y las piezas polares 206 están separados como en el acoplamiento de la figura 1. Con referencia a la figura 4, el rotor interior 202 está soportado en un eje de entrada 220 para que pueda girar con el mismo, y el rotor exterior 204 está soportado en un eje de salida 222 para que pueda girar con el mismo. El rotor de la pieza polar 216 está soportado de forma giratoria sobre el eje de entrada 220 mediante un cojinete 224. El tercer rotor 216 es, por lo tanto, giratorio con relación a, e independientemente de los rotores interior y exterior 202, 204. Un motor motriz 230 está conectado de manera conducida mediante una transmisión mecánica 231 a la pieza polar del rotor 216 de manera que pueda girar el rotor de la pieza polar 216 a una velocidad que pueda ser controlada y variarse para controlar la relación de engranaje del engranaje. Si el motor motriz 230 está apagado o se mantiene estacionario, entonces el rotor de la pieza polar 216 se mantiene estacionario y el acoplamiento funciona como el acoplamiento de la figura 1.

La ecuación que rige las velocidades en el engranaje magnético 200 es:

$$\omega_i p_i + \omega_o p_o = \omega_p n_p \quad (1)$$

Con  $\omega_1$ ,  $p_i$  la velocidad y el número de pares de polos magnéticos en el rotor 202 interior

$\omega_o$ ,  $p_o$  la velocidad y el número de pares de polos magnéticos en el rotor exterior 204

$\omega_p$ ,  $n_p$  la velocidad del rotor de la pieza polar 216 y el número de piezas polares 206.

Cuando las piezas polares 206 se mantienen estacionarias ( $\omega_p = 0$ ), la relación entre las velocidades del rotor interior 202 y rotor exterior 204 es

$$\omega_i = -\frac{p_o}{p_i} \omega_o \quad (2)$$

45

lo que resulta en una proporción de transmisión fija, como en el engranaje de la técnica anterior de la figura 1.

Cuando la velocidad de las piezas polares 206 se controla y es variable en un rango de velocidades, la relación entre las velocidades de los rotores interior y exterior y el rotor de la pieza polar es

$$\omega_i = -\frac{p_o}{p_i} \omega_o + \frac{n_p}{p_i} \omega_p \quad (3)$$

Por lo tanto, la relación de engranaje entre el rotor interior 202 y el rotor exterior 204 se puede ajustar mediante el ajuste de la velocidad del rotor de la pieza polar 216.

Se apreciará que el engranaje puede funcionar en sentido inverso, con el eje 222 que forma el eje de entrada, el rotor exterior 204 que forma el rotor de entrada, el eje 220 que forma el eje de salida, y el rotor interior 202 que forma el rotor de salida. En efecto, tal como puede verse en la ecuación (1), cualquiera de los rotores se puede utilizar para controlar la relación de engranaje entre los otros dos rotores, y, por lo tanto, dos cualesquiera de los rotores se pueden seleccionar como los rotores de entrada y salida con el tercero actuando como el rotor de control de la relación de engranaje.

Haciendo referencia a la figura 5, en una segunda realización de la invención, la separación de los rotores, los polos magnéticos y las piezas polares es la misma que en la primera realización, y las partes correspondientes se indican con los mismos números de referencia aumentados en 100. La diferencia es que en esta realización, mientras que el rotor exterior 304 está de nuevo conectado directamente al eje de salida 322, el rotor de la pieza polar 316 está conectado mediante una transmisión mecánica en forma de dientes motrices 317 al eje de entrada 320, y el rotor interior 302 está conectado directamente al eje de salida del motor eléctrico 330. Por lo tanto, en esta realización, el rotor interior 302 forma la relación de engranaje del rotor de control, y el rotor de la pieza polar 316 y el rotor exterior 304 forman los rotores de entrada y salida.

Con referencia a la figura 6, en una tercera realización de la invención, la separación de los rotores, los polos magnéticos y las piezas polares es de nuevo la misma que en la primera realización, y las partes correspondientes se indican con los mismos números de referencia como en la figura 5 aumentados de nuevo en 100. En esta realización, el rotor interior 402 y el rotor de la pieza polar 416 forma los rotores de entrada y salida y están conectados a los ejes de entrada y salida de 420, 422, y el rotor exterior 404 está acoplado mediante una transmisión mecánica 431 al motor 430 y forma la relación de engranaje del rotor de control.

El uso de un motor eléctrico y una transmisión mecánica en las realizaciones de las figuras 4 a 6 son ejemplos de cómo la velocidad del rotor de control de la relación de engranaje puede controlarse, y se apreciará que otros métodos pueden ser utilizados.

Refiriéndose a la figura 7, en una cuarta realización de la invención, el rotor interior 502 con su conjunto asociado de imanes 510, y el rotor de la pieza polar 516 que lleva las piezas polares 506 forman los rotores de entrada y salida, y el rotor exterior 504 forma el rotor de control la relación de engranaje, como en la realización de la figura 6. Sin embargo, en este caso, el rotor exterior 504 es accionado por una máquina eléctrica de imán permanente. Para este fin, el rotor exterior 504 incluye una matriz de imanes interiores 514 que cooperan con las piezas polares 506 y los imanes en el rotor interior 502 para proporcionar el engranaje, y una matriz de imanes exteriores 515 que forman parte de la máquina eléctrica de imán permanente. Un estator 540 se proporciona radialmente fuera del rotor exterior 514, y comprende una serie de bobinas 542 enrolladas en núcleos ferromagnéticos 544. La corriente que fluye en estas bobinas se puede activar para controlar el par motor aplicado al rotor exterior 504 a través de la matriz externa de imanes 515. Esto permite controlar la velocidad de rotación del rotor exterior 504, y por lo tanto, variar y controlar la relación de engranaje del engranaje.

En esta realización, la matriz de imanes exteriores 515 tiene un número diferente de polos que la matriz de imanes interiores 514. Es una ventaja tener las dos matrices porque el engranaje y el motor eléctrico se pueden ajustar independientemente entre sí. Sin embargo, la matriz de imanes exteriores 515 podría tener el mismo número de polos que la matriz interior 514. En este caso, es posible combinar ambas matrices de imanes en una sola matriz de imanes, que puede mantenerse en una estructura de soporte no magnética.

Refiriéndose a la figura 8, una realización adicional de la invención comprende un sistema generador de turbina eólica. El sistema comprende un rotor de la turbina 650 que tiene un número de palas 652 dispuestas para ser giradas por el viento a velocidad variable. El rotor de la turbina 650 está conectado a través de una transmisión mecánica 654 al rotor de entrada 602 de un acoplamiento magnético 600 de relación de engranaje variable que corresponde al de la figura 7 con las partes correspondientes indicadas por los mismos números de referencia aumentados en 100. El rotor de salida 616, del acoplamiento, que es el rotor de la pieza polar, está conectado a un generador eléctrico de velocidad constante 656 que está directamente conectado a la red eléctrica trifásica 658. Las bobinas 642 de la máquina eléctrica están conectadas a la red eléctrica a través de un sistema de control 660 que incluye un convertidor electrónico de potencia. El sistema de control 660 está dispuesto para controlar la velocidad del rotor exterior 604, para cambiar la relación de engranaje del engranaje variable 600, de modo que la velocidad variable del rotor de entrada 602 siempre coincide con la velocidad constante del rotor de salida 616. El par que debe aplicarse al rotor exterior 604 mediante la máquina eléctrica 642, 615 se rige por la torsión en las palas, y está siempre en una dirección idéntica que no depende de la velocidad del viento. La velocidad y la dirección en la que el rotor exterior 604 es girado por la máquina eléctrica 642, 615 varía como una función de la velocidad del viento. El sistema de control 660 está así dispuesto para tomar la potencia de la red 658 para hacer que la máquina eléctrica funcione como un motor cuando se acciona el rotor exterior 614, controlando relación de engranaje, en la misma dirección que el par, o para proporcionar potencia a la red para hacer funcionar la máquina eléctrica como un generador cuando se acciona el rotor exterior 614 en la dirección opuesta al par. La máquina eléctrica, por lo tanto, actúa como un motor/generador bajo el control del sistema de control 660. El sistema de control incluye sensores de

velocidad dispuestos para detectar la velocidad de cada uno de los rotores 602 y 604 para que pueda proporcionar el control de la velocidad requerida.

5 A la velocidad del viento nominal de la turbina eólica, la relación de engranaje requerida entre la velocidad de las palas y la velocidad del generador principal 656 es igual a la relación de engranaje nominal del tren motriz, que resulta de la combinación del engranaje fijo y del engranaje variable, con un rotor exterior estacionario 604. A esta velocidad del viento, el motor/generador 642, 615 se controla para aplicar un par en el rotor exterior 604 y para mantener estacionario el rotor exterior 604, y no hay flujo de potencia entre el motor/generador y el engranaje variable.

10 A bajas velocidades del viento, la relación de engranaje requerida entre la velocidad de las palas 652 y la velocidad constante del generador principal 656 es mayor que la relación de engranaje nominal del tren motriz. Por lo tanto, el motor/generador 615/642 se acciona para girar el rotor exterior 604 del engranaje variable para ajustar la relación de engranaje global, mientras que la dirección del par que aplica el motor/generador sobre el rotor exterior 604 se mantiene sin cambios. Por lo tanto, la potencia se toma de la red 658 en la máquina eléctrica 615, 642, es decir, la máquina eléctrica 615, 642 en el engranaje variable 600 funciona como un motor. Esta potencia fluye entonces a través del generador eléctrico principal 656 de vuelta a la red 658. La alimentación a través del generador eléctrico principal 656 es mayor que la potencia total generada. A altas velocidades del viento, la relación de engranaje requerida entre la velocidad de las palas 652 y la velocidad constante del generador principal 656 es más pequeña que la relación de engranaje nominal del tren motriz. El motor/generador 615/642 se acciona para girar el rotor exterior 604 del engranaje variable para ajustar la relación de engranaje global en una dirección que es opuesta a la dirección de rotación a bajas velocidades de viento, mientras que la dirección del par que el motor/generador aplica al rotor exterior 604 se mantiene sin cambios. Por lo tanto, la máquina eléctrica 615, 642 funciona como un generador. Parte de la potencia eólica disponible fluye a través del engranaje variable 600 y su máquina eléctrica a la red, y el resto de la potencia disponible fluye a través del generador eléctrico principal 656. La alimentación a través del generador principal 656 es, por lo tanto, menor que la potencia total generada.

25 Debido a la potencia pico (alta velocidad del viento), el motor/generador 615, 642 funciona como un generador y, por lo tanto, asiste al generador eléctrico principal, el generador eléctrico principal 656 puede ser más pequeño y más barato.

30 Esta disposición permite a un generador de velocidad constante eléctrica 656 para ser conectado directamente a la red 658, mientras que las palas 652 puede operar a una velocidad que maximiza la captación de potencia. Por lo tanto no hay necesidad de la electrónica de potencia entre el generador eléctrico 656 y la red eléctrica 658.

35 La potencia necesaria para controlar el engranaje variable 600 depende de la velocidad del viento, pero es generalmente no mayor del 25% de la potencia que se genera por la turbina completa 650. La electrónica de potencia 660 en todo el sistema es, por lo tanto, mucho más pequeña que la que se requeriría si no se utilizara un engranaje variable. Además, debido a la mayor parte de la potencia no pasa por la electrónica de potencia, el rendimiento es elevado.

40 Se entenderá por parte de los expertos en la técnica que el motor/generador 642, 615 no necesita estar conectado a la red a través de un controlador 660, sino que se puede conectar a una alimentación de potencia externa separada. Esta disposición podría, por ejemplo, ser utilizada en sistemas de generación de potencia que funcionan en funcionamiento aislado, donde la red está ausente en el inicio de la operación, de tal manera que, se requiere, por ejemplo, una batería adicional o una alimentación de potencia independiente para hacer funcionar la máquina eléctrica 615, 642 en el arranque. Para sistemas de generación de potencia más pequeños, la máquina eléctrica 615, 642 podría estar conectada a una alimentación de potencia separada en una operación continua.

45 Con referencia a la figura 9, una realización adicional de la invención es también un sistema generador de turbina eólica similar al de la figura 8, con las partes correspondientes indicadas con los mismos números de referencia aumentados en 100. En este caso, el rotor exterior 704 sólo tiene un conjunto de imanes 714 y el rotor exterior 704 está conectado al eje de salida 722 mediante un acoplamiento variable 760 que controla la velocidad del rotor exterior 704 dependiente de la velocidad del eje de salida 722. El acoplamiento 760 tiene al menos uno de sus rotores 760a conectado al rotor exterior 704 y uno de sus rotores 760B conectado al eje de salida 722. El sistema también requiere sensores de velocidad para detectar la velocidad del eje de salida o el eje de entrada para controlar el acoplamiento variable 760 apropiadamente y aplicar la retroalimentación adecuada.

50 El acoplamiento está dispuesto de modo que una diferencia de velocidad entre sus dos rotores 760a y 760b resulta en el par entre estos rotores, siguiendo una relación proporcional:

$$T = k (om_a - om_b)$$

donde

55  $om_a$ , es la velocidad del rotor 760a del acoplamiento que está conectado al rotor exterior 704 del engranaje variable,

$\omega_b$  es la velocidad del rotor 760b del acoplamiento que está conectado al eje de salida 722, y

$k$  es una característica del acoplamiento.

5 El acoplamiento está también dispuesto de modo que la constante proporcional  $k$  se puede variar, de tal manera que el par entre los rotores se puede variar para una diferencia de velocidad dada entre los rotores 760a y 760b. Por ejemplo, esto podría lograrse en un acoplamiento de corriente parásita alterando el hueco de aire mecánico entre los rotores 760a y 760b.

10 El rotor de salida del engranaje variable 716 está conectado al generador principal 756 y se controla para funcionar a una velocidad constante, mientras que la entrada del rotor 702 opera a una velocidad que es una función de la velocidad del viento. Por lo tanto, la velocidad del rotor exterior del engranaje variable, y por lo tanto la diferencia de las velocidades entre los rotores 760a y 760b del acoplamiento, dependen de la velocidad del viento. Además, el par que se requiere en el rotor exterior 704 del engranaje variable se rige por el par en las palas 750, que es dependiente de la velocidad del viento.

15 El sistema de control tiene como objetivo encontrar un valor  $k$  para cada velocidad del viento, para el que la diferencia de velocidad entre los rotores del acoplamiento 760a y 760b genera el par requerido en el rotor exterior del engranaje variable. El generador 756, por lo tanto, funciona a una velocidad aproximadamente constante. El acoplamiento 760 puede ser un acoplamiento de corriente inducida con un hueco de aire ajustable, o un convertidor de par hidrodinámico con álabes ajustables en el estator, por ejemplo. Este acoplamiento realimenta potencia para mantener el rotor de salida 716 a una velocidad aproximadamente constante.

20 Este sistema no requiere la máquina eléctrica y electrónica de potencia de la realización de la figura 8 para accionar el rotor exterior del engranaje variable. En su lugar, el acoplamiento actúa como un mecanismo de retroalimentación, que reacciona a un cambio en la velocidad del generador principal mediante la aplicación de par sobre el rotor exterior del engranaje variable.

25 La realización del engranaje variable que se utiliza en las figuras 8 y 9 sólo muestra un ejemplo de la integración de la invención en un sistema de generación de potencia. Cualquiera de las realizaciones que se muestran previamente en las figuras 3 a 7, o la realización mostrada en la figura 10, se puede utilizar en el sistema de la figura 8.

30 Se entenderá por los expertos en la técnica que, aunque las realizaciones que se muestran en las figuras 8 y 9 se describen con referencia a la generación de potencia a partir de potencia eólica, otras alimentaciones de potencia puede ser utilizadas para aplicar par sobre el eje de entrada principal para la generación de potencia, tales como combustibles fósiles en motores de combustión interna y externa, potencia hidráulica en generadores de ondas, potencia térmica, etc. Asimismo, se comprenderá por los expertos en la técnica que la realización no se limita a la generación de potencia, sino que puede utilizarse en cualquier sistema de transmisión de potencia donde la velocidad de rotación del elemento accionado debe desacoplarse de la velocidad de rotación del elemento motriz. Por ejemplo, el tren motriz de una locomotora o un buque que es accionado por un motor diesel podría emplear una disposición tal como se muestra en la figura 8 ó 9. En esta aplicación, el motor diesel funcionaría a una velocidad constante, mientras que el eje de salida gira a una velocidad que es función de la velocidad del vehículo. La disposición proporcionaría la ventaja sobre un sistema de transmisión directa de que el motor diesel puede funcionar a su velocidad constante más óptima, y sólo una fracción de la potencia de salida total debe ser controlada para proporcionar una salida de velocidad variable.

40 Haciendo referencia a las figuras 10 y 11, una realización adicional de la invención comprende un engranaje magnético con la misma topología básica que el de la figura 5. De nuevo, partes similares se indican con los mismos números de referencia aumentados en 500 que las de la figura 5. El rotor exterior 804 está conectado a un eje de entrada/salida 822 y el rotor de la pieza polar 816 está conectado al otro eje de entrada/salida 820, extendiéndose estos dos ejes 820, 822 a través de los extremos opuestos de una carcasa exterior que forma un estator 840. El rotor de la pieza polar 816 es en forma de un cilindro cerrado y el rotor interior 802 está soportado de manera giratoria sobre cojinetes en el interior del rotor interior. El rotor interior 802, por lo tanto, no puede ser accionado mecánicamente, sino que es accionado magnéticamente mediante las bobinas 842 enrolladas sobre núcleos 844 en el estator 840. Como la separación de los polos magnéticos del rotor interior 802 y las bobinas del estator 842 es varias veces mayor que la separación de los polos magnéticos del rotor exterior 804 y las piezas polares, las bobinas se pueden utilizar para accionar el rotor interior 802 sin interferir significativamente con, o interferencia desde, el rotor exterior 804. El rotor exterior 804 en esta topología no lleva ningún respaldo de hierro, ya que esto impediría que el flujo de los imanes interiores 810 llegara a las bobinas del estator 842. Por lo tanto, es beneficioso disponer los imanes exteriores en una matriz de Halbach.

55 Haciendo referencia a las figuras 12 y 13, en una realización adicional que no forma parte de la invención, un motor de combustión interna (IC) reducido 901 está conectado a un rotor, en este caso el rotor interior 902 de una transmisión continuamente variable (CVT) en forma de un engranaje magnético de relación variable 900, mientras que los otros dos rotores 904, 916 están cada uno acoplado a un motor/generador, MG1, y MG2, respectivamente. Ambos del motor/generadores MG1, MG2 están relacionados con un paquete de baterías de alta tensión 960 a través de un convertidor electrónico de potencia 962.

El primer motor/generador MG1 está integrado dentro del engranaje variable 900 y está dispuesto para accionar el rotor exterior 904 del engranaje variable. El eje de salida 922 está acoplado al rotor de la pieza polar 916 a través de una unidad reductora adicional 964. El segundo motor/generador está dispuesto para almacenar potencia del motor de combustión interna en el paquete de baterías 960 cuando la salida de potencia total del motor de combustión interna no está siendo utilizado, y tomar la potencia de la batería 960 para proporcionar un par adicional al eje de salida cuando el motor de combustión interna no está produciendo suficiente potencia para las necesidades del vehículo.

Si MG1 y MG2 no están excitados, el tren motriz se convierte en una transmisión con una relación de engranaje fija  $g_r$ . Si la fuerza de tracción requerida a la salida de la transmisión es  $P_d(\Omega_d, T_d)$ , idealmente, el motor de combustión interna debe funcionar en su punto más bajo consumo de combustible ( $\Omega_s T_s$ ), tal que  $\Omega_s T_s = P_d$ . El par correspondiente y la velocidad a la salida de la transmisión con la relación de engranaje fija son  $(\Omega_s/g_r, g_r T_s)$ . Sin embargo, es probable que no coincida con la velocidad de tracción deseada  $\Omega_d$  y el par  $T_d$ . Sin embargo, si  $T_d > T_s g_r$ , entonces  $\Omega_d < \Omega_s/g_r$ , y el déficit de par se puede satisfacer mediante la operación de MG2 como un motor, tomando la potencia de la batería de almacenamiento de potencia. Para obtener la velocidad de tracción deseada sin variar el punto del motor de combustión interna, el funcionamiento de MG1 puede cambiar la relación de engranaje de tal manera que la velocidad resultante del accionamiento de salida coincide con  $\Omega_d$ . Esto requiere que MG1 funcione como un generador, suministrando potencia eléctrica a la batería. Si la pérdida en el sistema eléctrico es despreciable, entonces la potencia consumida por MG2 es igual a la potencia suministrada por MG1. Por lo tanto, la potencia neta es cero, y la batería no se carga ni tampoco se descarga. Por lo tanto, una combinación arbitraria de par de tracción y velocidad se puede satisfacer dentro de la envolvente de funcionamiento disponible del motor de combustión interna mediante el control de manera independiente de la velocidad de MG1 y la velocidad MG2 de tal manera que el motor de combustión interna siempre funciona en su punto más eficiente. Si la fuerza de tracción requerida es diferente de la potencia del motor de combustión interna, una estrategia de control similar se puede emplear, con la batería que se carga o se descarga en función de si la potencia demandada es menor o mayor que la salida de combustión interna.

La realización del engranaje variable que se utiliza en la figura 12 sólo muestra un ejemplo de la integración de la invención en el tren motriz de un vehículo híbrido. Cualquiera de las realizaciones que se muestran previamente en las figuras 3 a 10 puede ser utilizada en el sistema de la figura 12.

Aunque en cada una de las realizaciones descritas anteriormente, cada uno de los imanes permanentes es un dipolo simple con un polo norte y un polo sur, se apreciará que, mientras que el posicionamiento de los polos magnéticos es crítico para el funcionamiento de cada realización, cualquier disposición de pares de polos puede proporcionarse por un número de diferentes disposiciones de los imanes, es decir, bloques de material magnetizado. Por ejemplo, más de un par de polos puede proporcionarse mediante un único bloque magnetizado.

En las realizaciones descritas anteriormente, los tres rotores son todos cilíndricos, separados radialmente entre sí. Sin embargo, se apreciará que pueden ser planos y estar separados a lo largo de su eje común de rotación, con los imanes que proporcionan flujo en una dirección axial. Además, las realizaciones también pueden disponerse para operar de una manera lineal, en la que se utiliza un traductor para controlar la relación de engranaje entre los dos otros traductores.

**REIVINDICACIONES**

1. Engranaje magnético, que comprende: un primer elemento móvil (502) que tiene un primer conjunto de polos magnéticos (510), un segundo elemento móvil (504) que tiene un segundo conjunto de polos magnéticos (514), y un tercer elemento móvil (516) que tiene un conjunto de piezas polares (506); en el que el primer y segundo elementos (502, 504) tienen polos magnéticos (510, 514) en diferentes separaciones y las piezas polares (506) están dispuestas para modular el campo magnético que actúa entre los polos magnéticos (510, 514), y caracterizado por medios de control dispuestos para controlar la rotación de uno de los elementos (504) para variar la relación de engranaje entre los otros dos elementos (502, 516), en el que los medios de control comprenden una máquina eléctrica que comprende una pluralidad de bobinas y una pluralidad de imanes motrices (515) que tienen un conjunto de polos magnéticos, en el que los imanes motrices (515) están montados en uno de los elementos.
2. Engranaje magnético según la reivindicación 1, en el que los imanes motrices (515) están montados en uno del primer y segundo elementos.
3. Engranaje magnético según la reivindicación 2, en el que los polos magnéticos de los imanes motrices (515) comprenden el primer o segundo conjuntos de polos magnéticos.
4. Engranaje magnético según la reivindicación 2, en el que los polos magnéticos de los imanes motrices (515) comprenden un tercer conjunto de polos magnéticos separados del primer y segundo conjuntos de polos magnéticos.
5. Engranaje magnético según la reivindicación 4, en el que el tercer conjunto de polos magnéticos tiene un número diferente de polos del otro conjunto de polos magnéticos en el mismo elemento.
6. Engranaje magnético según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que la máquina eléctrica puede actuar como un motor y como un generador.
7. Engranaje magnético según la reivindicación 6, en el que los medios de control están dispuestos para controlar la máquina eléctrica para controlar la velocidad de dicho uno de los elementos mediante la aplicación de un par de frenado cuando la máquina está actuando como un generador y un par motriz cuando la máquina actúa como un motor.
8. Engranaje magnético según cualquier reivindicación anterior, en el que los medios de control están dispuestos para controlar la relación de engranaje del engranaje para controlar la velocidad de uno de los elementos a un valor objetivo.
9. Engranaje magnético según la reivindicación 8, en el que el valor objetivo es un valor constante.
10. Sistema de generación de potencia que comprende un elemento de entrada (602), un generador (656), y un engranaje magnético (600) que acopla el elemento de entrada (602) al generador (656), en el que el engranaje magnético (600) es un engranaje de acuerdo a cualquier reivindicación anterior.
11. Sistema de generación de potencia según la reivindicación 10, en el que el generador (656) está conectado a un suministro de electricidad (658), y los medios de control son operables en un primer modo en el que están dispuestos para tomar la potencia de la alimentación para controlar la relación de engranaje, y un segundo modo en el que están dispuestos para controlar la potencia transmitida desde el elemento de entrada (602) a la alimentación para controlar la relación de engranaje.
12. Sistema de generación de potencia según la reivindicación 10, en el que los medios de control están dispuestos para controlar la velocidad del generador para que se mantenga sustancialmente constante.
13. Sistema de generación de potencia según la reivindicación 10, en el que el generador (656) está conectado a una alimentación de electricidad (658) y los medios de control utilizan un mecanismo de retroalimentación entre la salida y el rotor del engranaje variable (600) que está controlado para variar la relación de engranaje, donde el mecanismo de retroalimentación imparte un par controlable entre los componentes a los que están conectados para controlar sus velocidades de rotación.
14. Sistema de tren de potencia que comprende un motor primario, una carga, y un engranaje magnético que acopla el motor primario a la carga, en el que el engranaje magnético es un engranaje según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
15. Sistema de tren de potencia según la reivindicación 14, en el que los medios de control son operables en un primer modo, en el que están dispuestos para tomar la potencia de una alimentación de potencia para controlar la relación de engranaje, y un segundo modo en el que están dispuestos para controlar la potencia transmitida desde el elemento de entrada a una alimentación de potencia para controlar la relación de engranaje.
16. Sistema de tren de potencia según la reivindicación 15, en el que los medios de control están dispuestos para controlar la velocidad de la carga (616) cuando la velocidad del motor primario (650) es sustancialmente constante.

17. Sistema de tren de potencia según la reivindicación 14, en el que un mecanismo de retroalimentación se utiliza entre el eje del engranaje magnético cuya velocidad va a ser controlada y el rotor del engranaje magnético que se utiliza para controlar la relación de engranaje, donde el mecanismo de retroalimentación imparte un par controlable entre los componentes a los que está conectado para controlar sus velocidades de rotación.

5

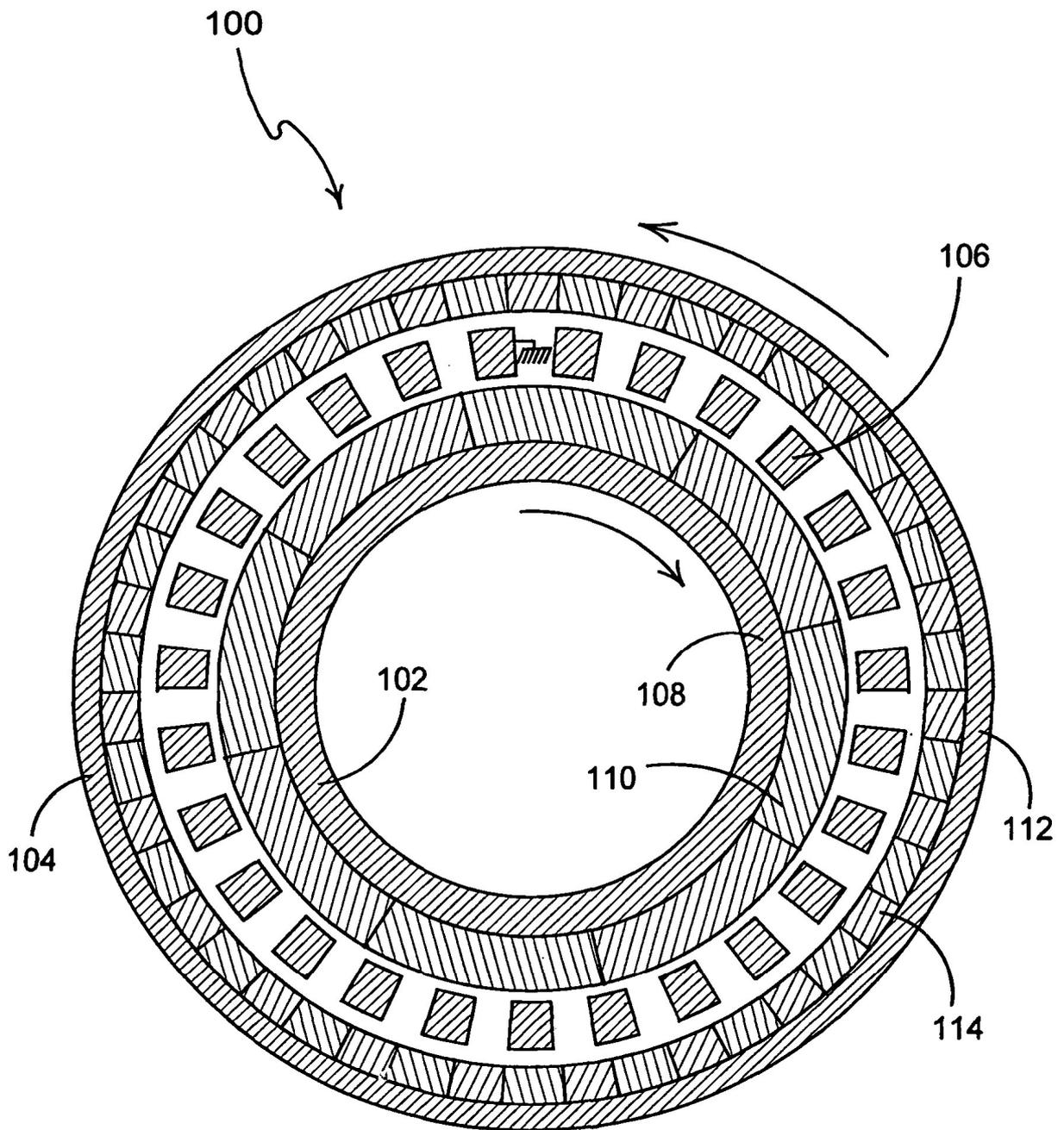


FIGURA 1

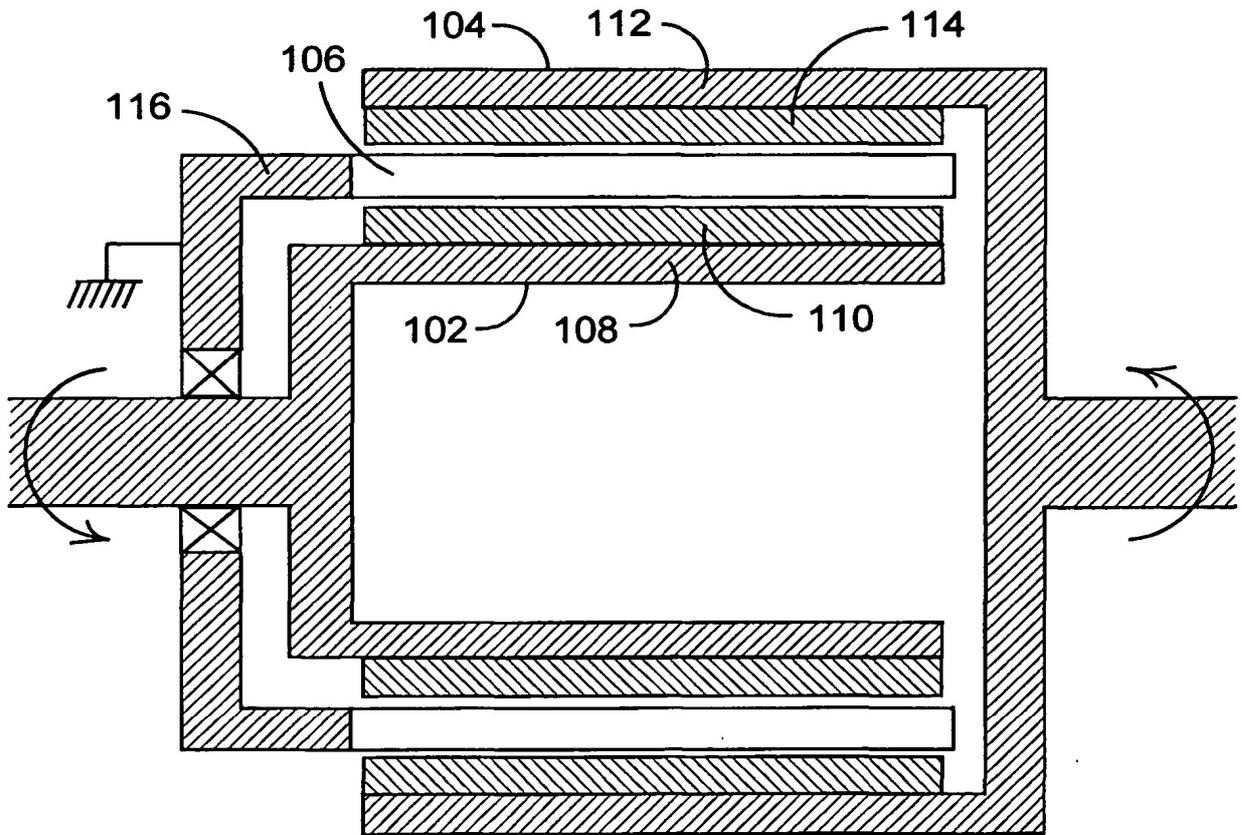


FIGURA 2

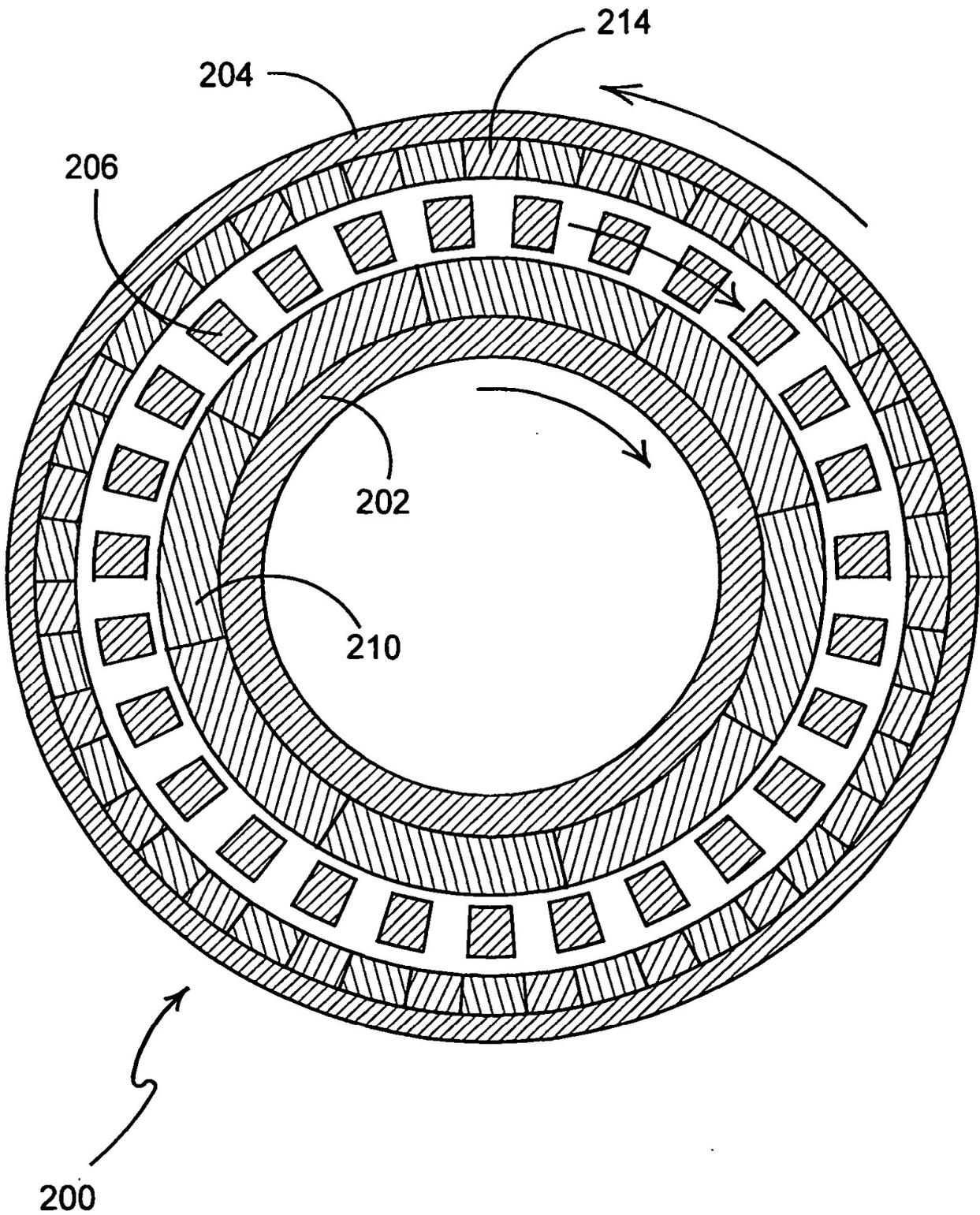


FIGURA 3

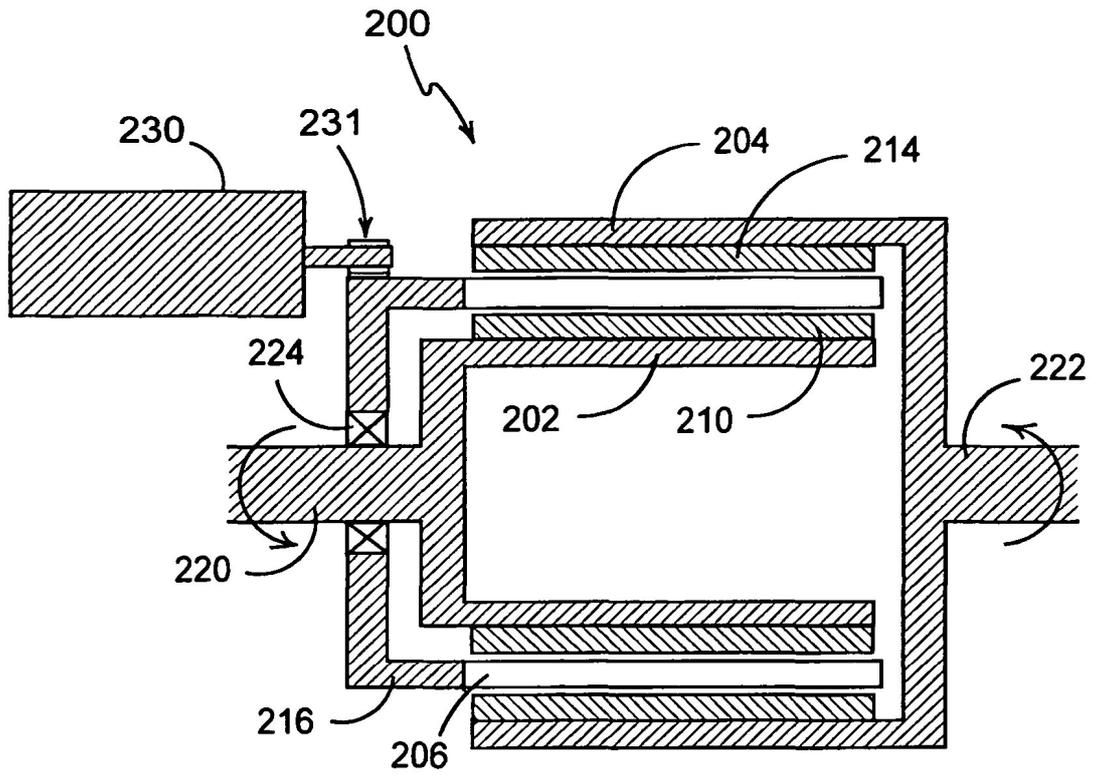


FIGURA 4

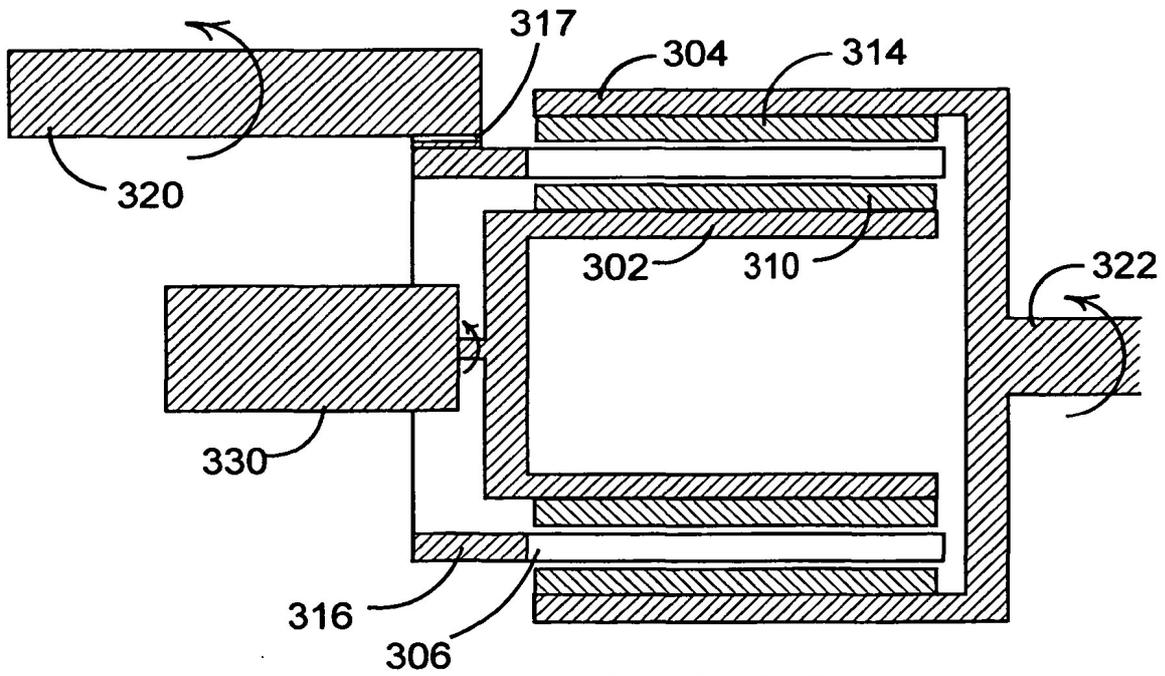


FIGURA 5

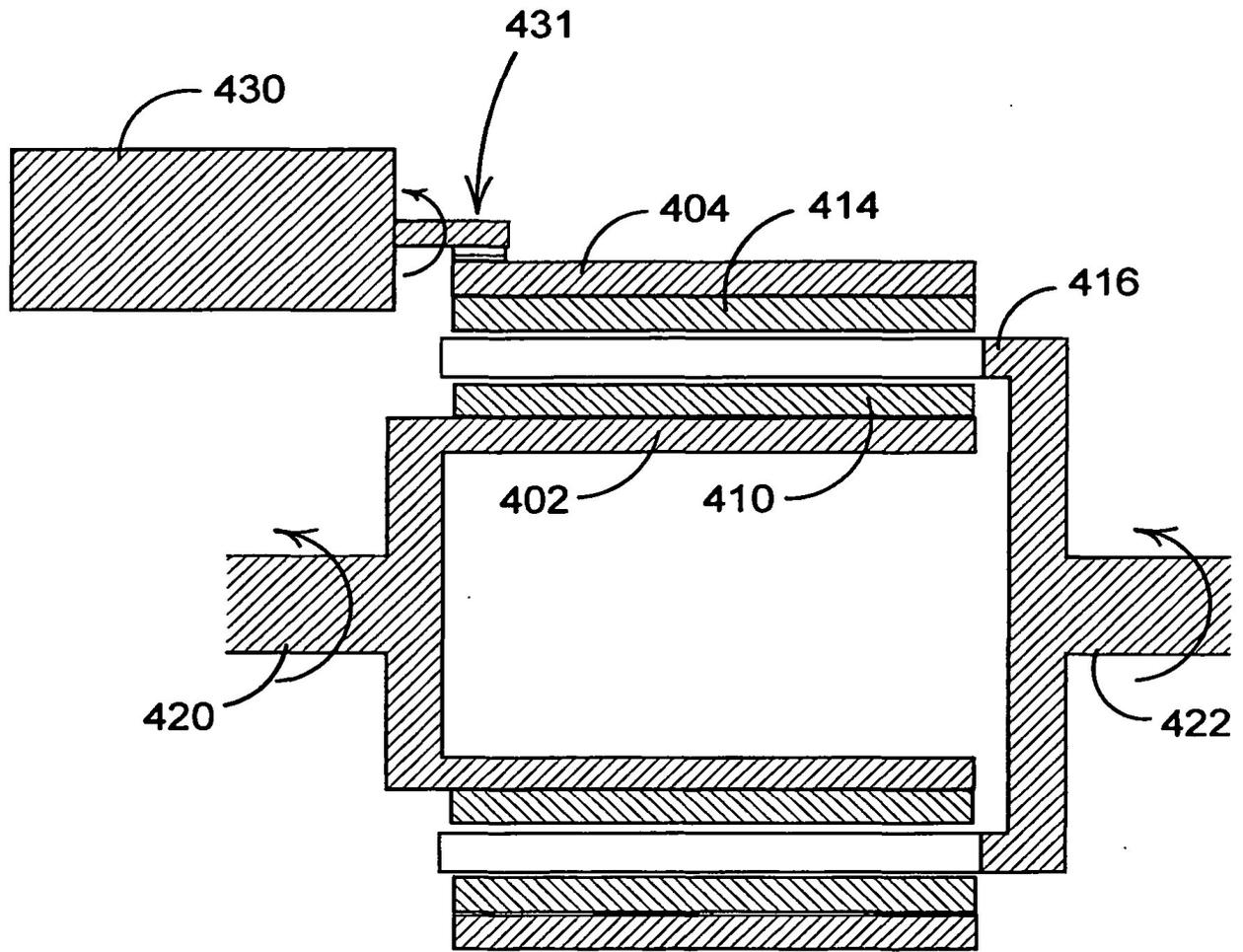


FIGURA 6

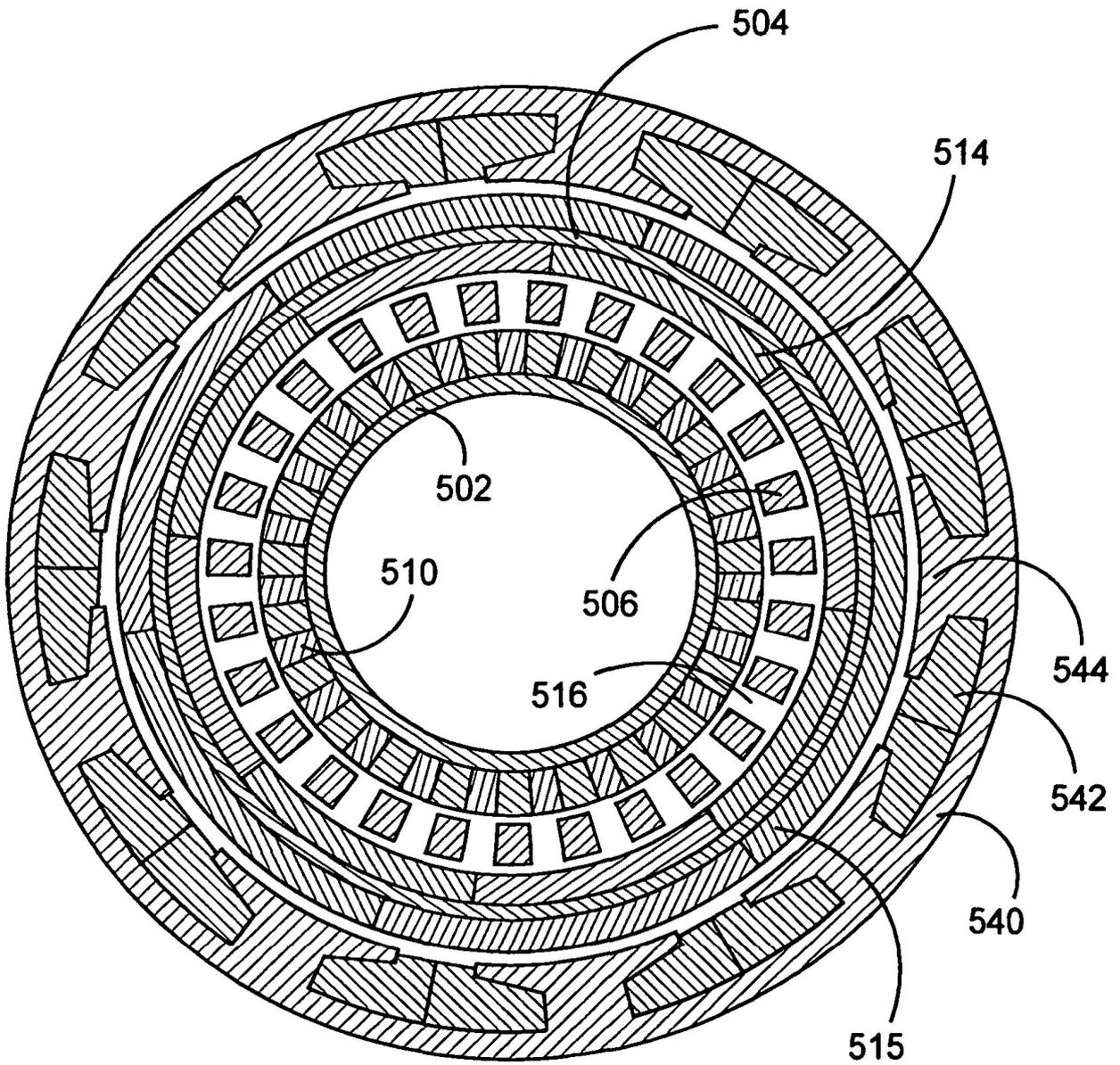


FIGURA 7

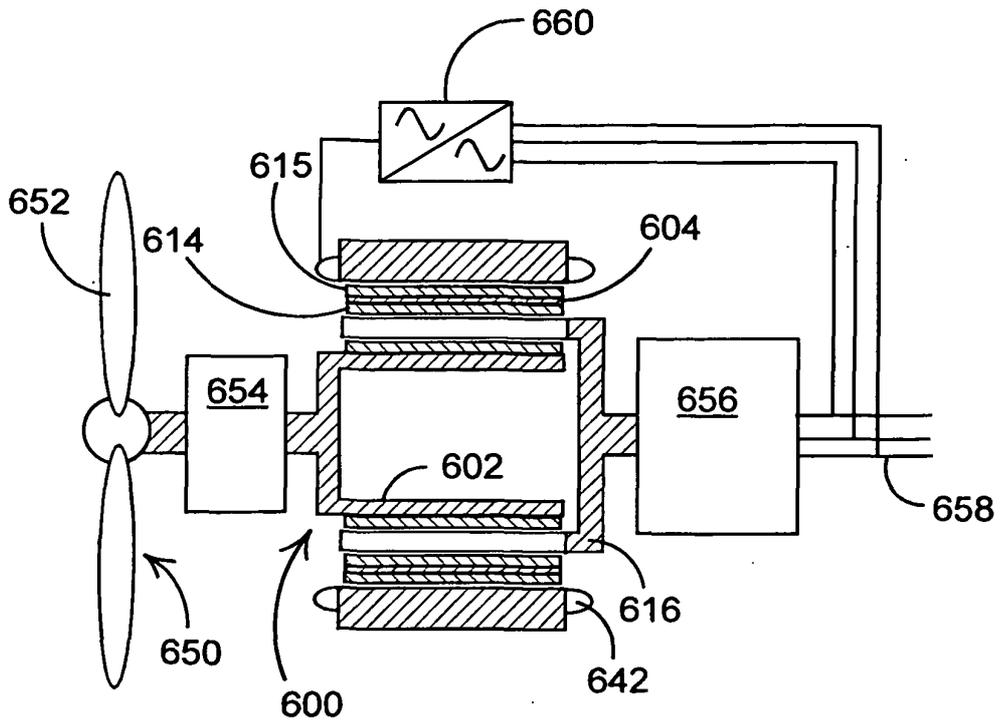


FIGURA 8

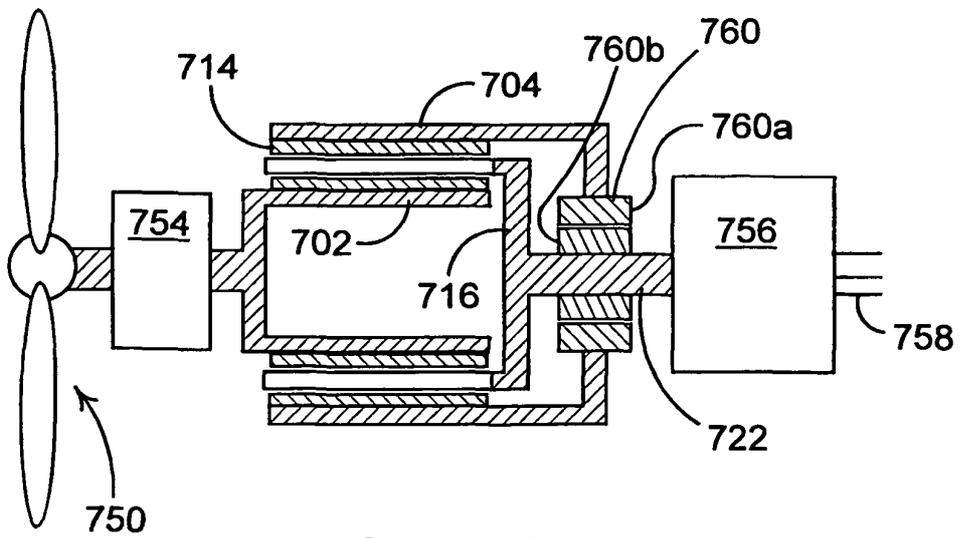


FIGURA 9

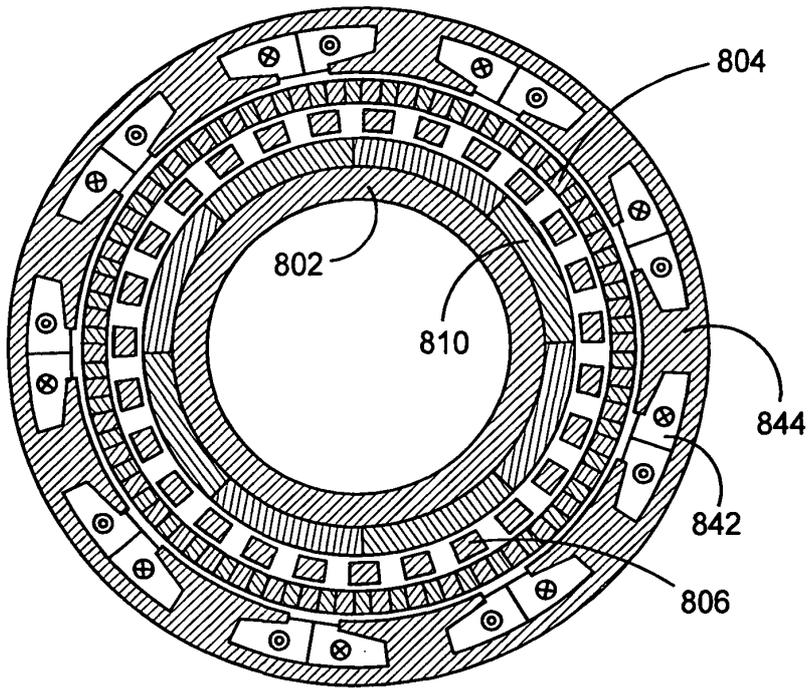


FIGURA 10

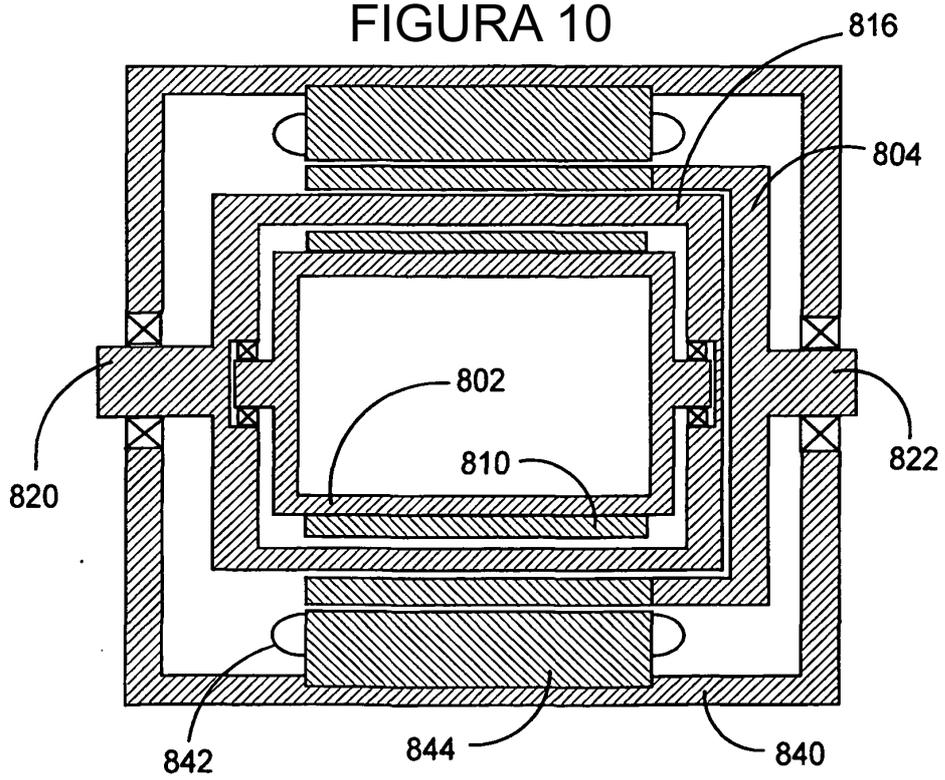


FIGURA 11

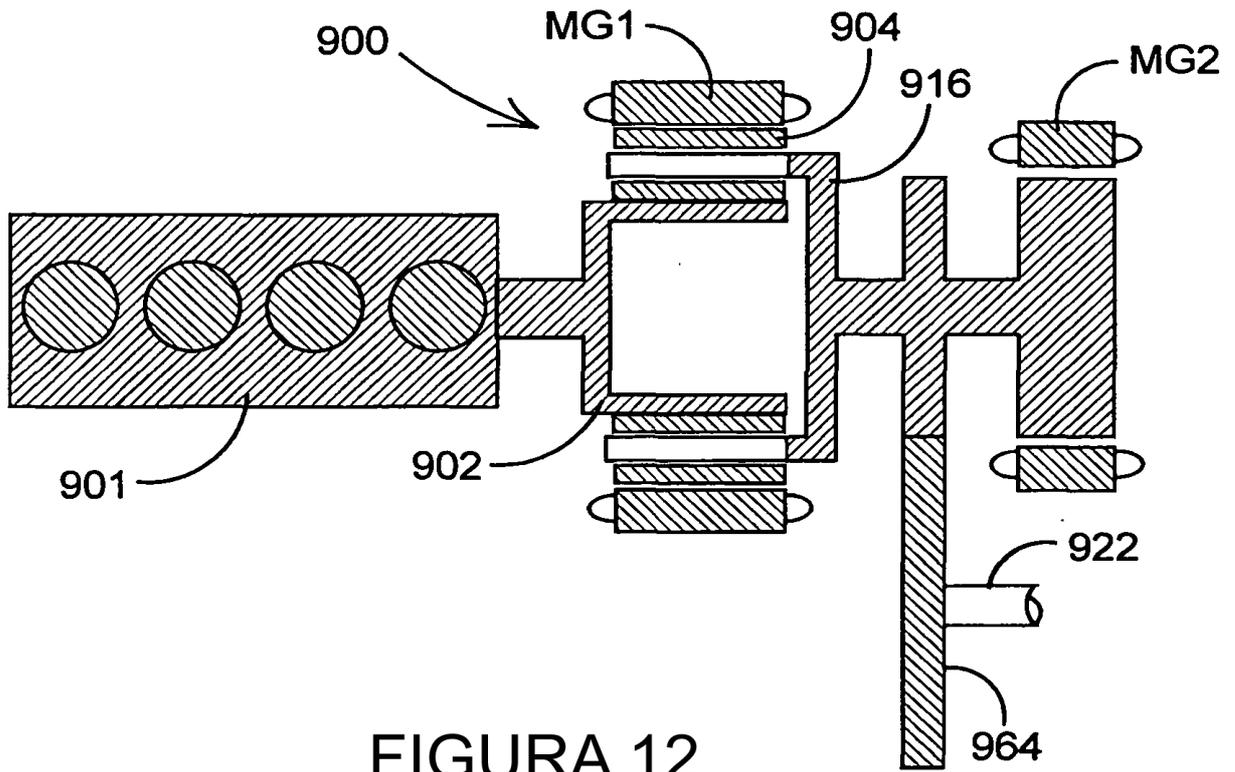


FIGURA 12

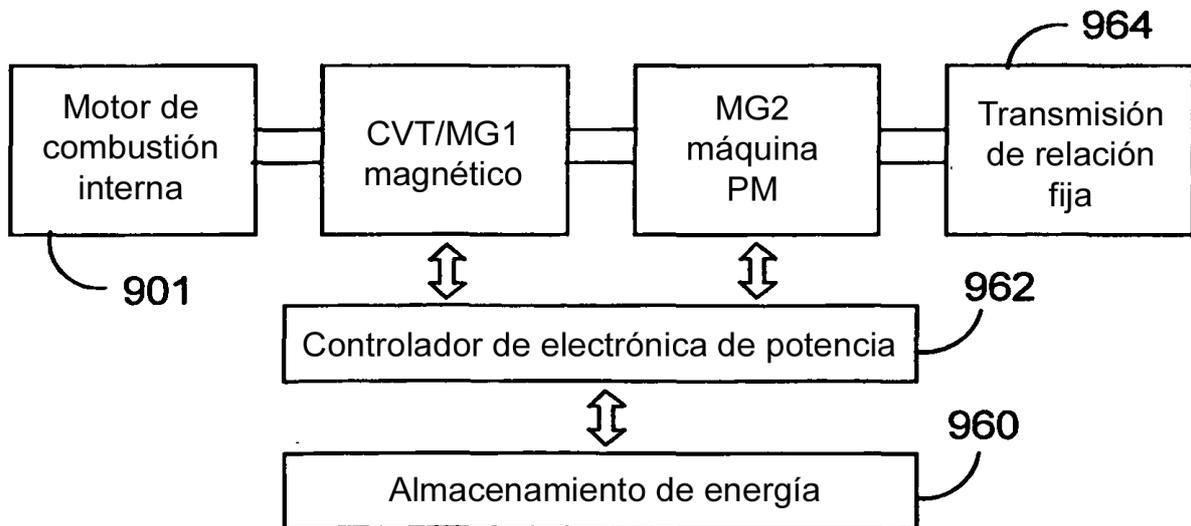


FIGURA 13