

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 225**

51 Int. Cl.:

H02P 1/18	(2006.01) F02B 39/10	(2006.01)
H02P 25/02	(2006.01) H02P 6/18	(2006.01)
H02P 6/06	(2006.01) H02P 6/28	(2006.01)
H02P 27/06	(2006.01) H02P 6/15	(2006.01)
F02B 37/10	(2006.01) H02P 25/03	(2006.01)
H02K 21/16	(2006.01) H02P 6/10	(2006.01)
H02K 1/27	(2006.01) H02P 9/02	(2006.01)
H02P 6/14	(2006.01)	
H02K 21/12	(2006.01)	
F01N 5/04	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.06.2011 PCT/GB2011/000937**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2011 WO11161408**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.06.2011 E 11740965 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2019 EP 2586124**

54 Título: **Controlador**

30 Prioridad:

22.06.2010 GB 201010443

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

16.04.2020

73 Titular/es:

**AERISTECH CONTROL TECHNOLOGIES LIMITED
(100.0%)
Unit G, Princes Drive Industrial Estate
Kenilworth, Warwickshire CV8 2FD, GB**

72 Inventor/es:

**RICHARDS, BRYN, GEOFFREY, RODDICK;
HU, WENSHAN;
TEJPAL, RITISH y
PALMER, MARTIN**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 754 225 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

Controlador

5 Esta presente invención se refiere a un controlador eléctrico para motores eléctricos. En particular, la invención se refiere a un sistema para mejorar el control y la operación de motores de Corriente Alterna, en los que los imanes permanentes o electroimanes excitados de manera estacionaria se mueven en la presencia de bobinados eléctricos estacionarios. Estos motores se denominarán de manera colectiva como motores (aunque algunos pueden sustituir a electroimanes excitados de manera estacionaria para imanes permanentes) de Corriente Alterna de imán permanente (PMAC). Los motores de PMAC pueden hallarse, por ejemplo, en turbocompresores híbridos de alta velocidad u otros dispositivos eléctricos de alta velocidad.

15 Los motores de PMAC convencionales utilizan el movimiento de imanes permanentes en la presencia de bobinados eléctricos de manera estacionaria. Los bobinados de estator deben excitarse por una corriente eléctrica oscilante o intermitente (es decir, CA o PWM) para ejercer una fuerza electromotriz en los imanes a medida que los imanes giran o se trasladan con relación a los bobinados. Tales motores se describen típicamente como motores de imán permanente de corriente alterna sin escobillas o motores síncronos de imán permanente (PMSM). Es importante observar que tales motores son distintos de motores de imán permanente de corriente continua sin escobillas que tienen una construcción y metodología de control diferente.

20 Los motores de imán permanente de CA sin escobillas se encuentran entre los tipos de motores mecánicamente más sencillos, compactos y eficientes. Sin embargo, a través de toda la historia de los motores eléctricos, las realizaciones prácticas han incorporado normalmente características de diseño que comprenden simplicidad, compacidad, y eficiencia para impartir características de operación favorables que simplifican la tarea de control del motor. Ejemplos de compromisos incluyen:

1. debilitación de campo para limitar la velocidad de las propiedades inherentes del motor;
2. imanes helicoidales para mejorar el par torsión de inicio y capacidad de predicción a bajas velocidades;
3. electroimanes en lugar de imanes permanentes permiten que el par torsión de motor se ajuste por la señal de corriente continua que alimenta los electroimanes;
4. una distribución de bobinados de estator elegidos de tal manera para suavizar la salida del par torsión emitido del motor dada una entrada de corriente alterna suave (oscilante);
5. espacio de aire variable (especialmente en motores de tipo 'flujo axial') para permitir que se ajuste el motor constante (relación entre entrada de corriente y salida de par torsión) por medios mecánicos; y
6. el uso de imanes más débiles o materiales excitados de manera pasiva (metálicos) para reducir la sensibilidad del motor a la forma de la señal de corriente alterna de entrada.

35 Los motores eléctricos normalmente operan a velocidades por debajo de 200 Hz (por ejemplo, coches eléctricos = 20 Hz a 100 Hz, motores de arranque automotriz = 30 Hz a 50 Hz, generadores de estación de alimentación de RU = 50 Hz, motores de bomba típicos = 50 Hz, electrodomésticos = 10 Hz a 50 Hz, transportadores y poleas = 1 Hz a 50 Hz).

45 Las aplicaciones de alta velocidad tiene típicamente han favorecido el enfoque de diseño número 7 de la lista anterior: el uso de materiales excitados de manera pasiva. Ejemplos incluyen: JR Bumby, E Spooner y M Jagiela, "Solid Rotor Induction Machines for use in Electrically-Assisted Turbochargers", Proceedings of the XVII International Conference on Electric Machines (ICEM), 2006; y S Calverly, "High-speed switched reluctance machine for automotive turbo-generators", Mag. Soc. Seminar on Motors and Actuators for Automotive Applications, 2002.

50 La incorporación de las características de diseño anteriores se añade significativamente al tamaño, peso, coste y eficiencia energética de los motores. Adicionalmente, para cualquier diseño elegido, el tamaño de motor, peso y coste son típicamente proporcionales a la salida de par torsión. Los motores que operan a velocidades superiores pueden entregar potencia equivalente a par torsión inferior, por lo que el equipo y las transmisiones a menudo están especificadas para acomodar motores de velocidad superior cuando sea posible. Sin embargo, las velocidades superiores tienden a exacerbar los desafíos asociados con el control de motor.

55 Un área de aplicación de interés particular es la turbomaquinaria. Estos dispositivos, que operan sobre gas a velocidades que alcanzan la barrera del sonido, giran a velocidades superiores a 1.500 Hz. Las turbomáquinas son bien conocidas en el sector aeroespacial y en la generación de energía de gas natural, pero cada vez se hallan más en motores automotrices (turbocompresores), procesos industriales (compresores y sistemas de recuperación de calor), electrodomésticos (aspiradores), y calefacción y ventilación de edificios. La popularidad creciente de las turbo máquinas en comparación a bombas de desplazamiento fijo y cámaras de expansión ha creado una demanda adicional para motores de alta velocidad y proporciona la perspectiva de reducción o eliminación del coste de transmisiones de alta relación si pueden suministrarse motores de velocidad superior. De interés particular para la presente invención es la electrificación del turbocompresor automotriz, que es el objeto de una patente anterior (B Richards, "Turbocharger concept", Patente de RU n.º 0624599.7, 2006).

Las turbomáquinas requieren velocidades de operación superiores a 1.500 Hz, y algunas aplicaciones automotrices requieren velocidades superiores a 2.500 Hz. Las velocidades de motor típicas por debajo de 200 Hz no son adecuadas para esta aplicación. Los compromisos de diseño que usan imanes más débiles o materiales magnetizados de manera pasiva pueden conseguir velocidades que alcanzan 1.500 Hz, pero estos tienen densidad de potencial relativamente baja. Un turbo compresor típico 20 kW es aproximadamente de 15 cm x 15 cm x 10 cm en forma y requiere aproximadamente 1,6 Nm de entrada de par torsión en estado estático. Un motor eléctrico excitado de manera pasiva típica que opera a la misma velocidad podría suministrar el par torsión requerido de un motor suficientemente grande. Pero un motor de este tipo tendría una inercia de rotor grande. Como el motor aumenta adicionalmente en tamaño para proporcionar el par torsión de exceso para superar su propia inercia durante la aceleración transitoria, la inercia del motor aumenta en proporción al par torsión adicional producido, que proporciona rendimientos decrecientes. En contraste, un motor con imanes permanentes intensos puede conseguir 10 veces el par torsión a partir del mismo volumen, permitiendo que el motor sea más pequeño (en el orden de 10 cm x 10 cm x 10 cm para 2 Nm) mientras que aún proporciona suficiente par torsión para aceleración. Sigue quedando un problema de gestión de la corriente de controlador.

Debido a las ventajas de diseño anteriormente descritas y las aplicaciones emergentes para máquinas de alta velocidad, ha habido una tendencia global en las tres décadas pasadas hacia motores que son incluso más difíciles de controlar. Esta tendencia ha coincidido con, y depende de, la mejora extendida de la electrónica y los ordenadores que posibilita estrategias de control cada vez más sofisticadas.

Los motores de imán permanente sin escobillas convencionales en general son cualquiera del tipo de CC o CA. Los motores de CC sin escobillas aceptan entrada de tensión 'desigual' y suavizan el flujo de corriente internamente por la inductancia y resistencia de los bobinados del motor. Los motores de CA sin escobillas (también denominados motores síncronos) requieren una corriente suave, sinusoidal (o casi sinusoidal) para que sea impartida por el controlador. No hay diseñado nada para aceptar formas de onda 'desigual' de entrada de corriente.

El enfoque convencional para controlar un motor de imán permanente sin escobillas es modulación de anchura de pulso (PWM). Un ejemplo de este enfoque (relacionado específicamente con PMAC) se muestra en el documento EP 2.159.909. Este documento utiliza PWM rápida para simular una entrada de tensión de onda seno suave para el motor. Esto permite control de posición preciso y operación del motor suave (especialmente a bajas velocidades).

Los motores de imán permanente de CC sin escobillas también usan PWM para controlar la amplitud y fase de la tensión de entrada del motor. La distinción principal entre una máquina de imán permanente de CC sin escobillas y de CA sin escobillas requiere adicionalmente que su controlador de PWM sintetice una señal sinusoidal, mientras que la CC permite que la salida de PWM sea una forma de onda de tensión 'desigual'. En cualquier caso (CC o CA), PWM genera una señal de control de motor de amplitud y frecuencia fijas y aplica la señal en cada comunicación. El suministro de la señal requerida, por ejemplo 'desigual' (CC) o sinusoidal (CA), se consigue variando el número y duración de pulsos suministrados al motor. Esto conlleva en general proporcionar varios pulsos por conmutación del motor para intentar aproximar la entrada de forma de onda ideal requerida para el motor usado. La amplitud global (o tensión) suministrada por la PWM por lo tanto se controla variando el número y duración de pulsos suministrados al motor para cualquier fase dada.

Sin embargo, el uso de un controlador de PWM es intensivo en cálculo y necesita que el controlador opere a una frecuencia al menos de 10 veces (típicamente 100 veces o más) en exceso de la frecuencia rotacional del motor. Esto significa, por ejemplo, que un compresor de turbocompresor automotriz 20 requeriría un controlador con al menos frecuencia de operación interna de 15.000 Hz. Esto está al alcance de circuitos de lógica de baja potencia, pero se acerca a los límites de lo que puede conseguirse con circuitería electrónica de alta potencia de hoy en día.

OSHIHIKO NOGUCHI ET AL: "220,000-r/min, 2-kW PM motor drive for Turbocharger" desvela un mecanismo de motor síncrono de imán permanente de ultra alta velocidad, que está embebido en un turbocompresor de un motor de combustión interna. El mecanismo eléctrico hace posible mejorar la potencia de salida del turbocompresor en un modo de motorización y recuperar la energía de combustión del escape de gas en un modo de regeneración. Se realizaron simulaciones y experimentos informáticos para examinar diversas características de operación de un prototipo. Los datos experimentales demuestran operación de 220.000-r/min a potencia de salida de inversor de 2,2-kW, de acuerdo con los resultados de simulación y que proporciona la factibilidad del sistema propuesto.

TOSHIHIKO NOGUCHI ET AL: "220,000-r/min, 2-kW Permanent Magnet Motor Drive for Turbocharger" desvela un motor de PM de 1,5-kW, 150.000-r/min PM alimentado por una fuente de alimentación de 12V, que es aplicable a un supercompresor de automóvil. El motor está diseñado específicamente para mejorar su eficiencia por encima del 97 % (excluyendo una pérdida mecánica) y para elevar su densidad de potencia a 13 W/cm³ al mismo tiempo. La factibilidad del diseño se confirma a través de pruebas experimentales, usando un motor de prototipo.

TOSHIHIKO NOGUCHI ET AL: "1.5-kW, 150.000-r/min ultra high-speed PM motor fed by 12-V power supply for automotive supercharger" desvela un motor PM de 1,5-kW, 150.000-r/min alimentado por una fuente de alimentación de 12-V, que es aplicable a un supercompresor de automóvil. El motor está diseñado específicamente para mejorar su eficiencia por encima del 97 % (excluyendo una pérdida mecánica) y para elevar su densidad de potencia a 13

W/cm³ al mismo tiempo. La factibilidad del diseño se confirma a través de pruebas experimentales, usando un motor de prototipo.

5 TAKAHASHI I ET AL: "A SUPER HIGH SPEED PM MOTOR DRIVE SYSTEM BY A QUASI-CURRENT SOURCE
 10 INVERTER" desvela un motor de PM montado en superficie (imán permanente) con las calificaciones de 5 kW y
 180000 RPM para aplicaciones de accionamiento de súper alta velocidad tales como herramientas máquina. Se usa
 un espacio de aire mucho mayor, en comparación con el de los motores PM existentes, para reducir las ondas de
 ranura y por lo tanto la pérdida de corriente parásita redundante en el manguito metálico que retiene los imanes
 permanentes; de otra manera, esto sería objetable a tales velocidades altas. Se suministra el motor a partir de un
 15 cuasi inversor de fuente de corriente con la corriente CC controlada por un interruptor y operado a un factor de
 potencia casi unitario mediante el uso de un control sin sensor de posición sencillo, para mejorar la eficiencia del
 motor. Se presentan resultados analíticos que muestran la onda de ranura que reduce el efecto de aumento de la
 longitud de espacio de aire. Para investigar las pérdidas del manguito, se fabricaron y ensayaron varios motores con
 diferentes manguitos. Se proporcionan los resultados de experimentos típicos en estos prototipos, que muestran que
 puede logarse un motor con eficiencia de más del 90 % al par torsión calificado sobre una amplia gama de
 velocidades

20 El documento EP 2 102 469 A1 desvela un sistema de inducción forzada para un motor que comprende un
 compresor para aumentar la presión de gas en el motor y una turbina dispuesta para accionarse por el gas de
 escape del motor. Un generador está dispuesto para accionarse por la turbina y un motor está dispuesto para
 accionar el compresor, en el que el generador y el motor están eléctricamente conectados. Un medio de control
 eléctrico está dispuesto para recibir la señal eléctrica emitida por dicho generador durante la operación y para aplicar
 una señal de control de CA a dicho motor eléctrico, mediante la cual el compresor se acciona al menos en parte por
 un par torsión de salida de la turbina mediante la conexión eléctrica entre ellos. Preferentemente el compresor/motor
 25 y turbina/generador son unidades separadas con el controlador que puede controlar la velocidad del compresor
 independientemente. Adicionalmente el controlador puede controlar el almacenamiento de energía del generador y
 de un generador de cigüeñal. Preferentemente el motor/generador es un imán permanente de tipo sin escobillas que
 tiene cojinetes hidrodinámicos. El sistema es preferentemente adecuado para aplicaciones donde se requiere un
 arranque rápido de un motor de CI como para motores de dos tiempos y vehículos híbridos.

30 El documento US 5 541 484 A desvela un circuito de reconstrucción de corriente de fase para reconstruir una
 pluralidad de formas de onda de corriente de fase para un motor de corriente continua sin escobillas que tiene una
 pluralidad de bobinados de fase, en el que el circuito opera igualmente bien a todos los rangos de tensión de motor.
 El circuito está comprendido de una pluralidad de amplificadores diferenciales para detectar y amplificar las
 35 fluctuaciones de señal de tensión de la tensión de señal detectada a través de una pluralidad de resistencias de
 detección que muestran una caída de tensión baja independientemente de una tensión de operación de motor
 empleada; una pluralidad de conmutadores analógicos para sincronizar de manera selectiva las tensiones de señal
 amplificadas con temporización de fase apropiada para reconstruir las formas de onda de corriente de fase; y una
 pluralidad de amplificadores de salida para amplificar las formas de onda de corriente de fase reconstruidas.

40 El documento JP 3 317000 B2 desvela un circuito de detección de posición de rotor que realiza la detección en
 posición siempre precisa de un rotor sin que se vea influenciado por la frecuencia rotacional o cambio de carga de
 un motor de CC sin escobillas. CONSTITUCIÓN: La posición del polo magnético de un rotor se detecta para cambiar
 las tensiones entre las líneas de fuerzas electromotrices de contrarias Vu, Vv, y Vw generadas en las tensiones de
 45 terminal en los terminales de bobinado de una armadura de estator mediante control de interruptor de PWM para
 comparar las tensiones entre líneas. Con respecto a la salida del medio de detección de posición de dicho rotor, se
 requiere que se mantenga el borde en un punto opcional con la salida de un medio para detectar la interrupción en
 un control de interruptor de PWM, un medio de selección de fase abierta, que selecciona la salida de la interrupción
 en el medio de detección, de acuerdo con la fase abierta de la tensión de terminal, y el medio de selección de fase
 50 abierta. Además, se añade un medio de amplificación entre el medio de conversión de tensión interlínea del medio
 de detección de posición del rotor y un medio de comparación. Además, el medio de conversión de tensión interlínea
 está constituido por un amplificador de aislamiento, y también se añaden dos medios de conversión de tensión
 interlínea y un circuito de adición y amplificación.

55 El documento US 4 401 934 A desvela un sistema de control para un motor de imán permanente accionado por un
 inversor conmutado de línea de múltiples fases con integradores para integrar la contra EMF de cada fase del motor
 para su uso al generar señales de control de sistema para una lógica de puerta de inversor usando un generador de
 control de ángulo de sincronización y disparo conectado a las salidas de los integradores. Un rectificador de onda
 60 completa de precisión proporciona una señal de realimentación de control de velocidad a un rectificador de retardo
 de fase mediante un circuito de compensación de ganancia y bucle y a los integradores para control adaptativo de la
 atenuación de frecuencias bajas por los integradores como una función de velocidad de motor, mediante lo cual a
 medida que aumenta la velocidad de motor, se aumenta la atenuación de componentes de baja frecuencia por los
 integradores al desplazamiento de la ganancia de los integradores a frecuencias bajas espurias. Aunque la
 atenuación puede ser una función lineal continua de la velocidad, se emplea un conmutador para proporcionar un
 65 cambio de paso en la atenuación al 40 % de la velocidad.

Un controlador que puede realizarse por la invención de la presente solicitud que se describirá a continuación produce formas de onda 'desiguales' de corriente y requiere (o corresponde a) un motor con un diseño atípico.

El motor propuesto es del tipo de imán permanente sin escobillas, con propiedades que son diferentes a cualquiera de un motor de imán permanente de CA sin escobillas o CC sin escobillas. Las propiedades de este motor son conocidas en la técnica, pero esta selección y combinación de propiedades es inusual. Específicamente, este motor tiene propiedades que mejoran su capacidad para aceptar formas de onda 'desiguales' de corriente (o, en el caso de un generador, su tendencia a producir formas de onda 'desiguales') y puede usarse de una manera ventajosa con los controladores que se incorporan en la presente invención. Sus propiedades son:

- a. imanes de rotor compuestos de materiales con propiedades de imán permanente fuertes y conformados de tal manera para tener espesor constante a través de la dimensión angular que corresponde a rotación de eje y distribuidos alrededor del rotor sin espacios (todas las características de diseño las cuales provocan que el campo electromagnético experimentado por los bobinados cerca del borde de los imanes sea similar en intensidad al campo electromagnético experimentado cerca del medio de los imanes);
- b. un número de dientes (elementos metálicos alrededor de los cuales están enrollados los bobinados del estator), que son divisibles por el número de conexiones de fase eléctrica proporcionadas por el motor y un patrón de bobinado de manera que cualquier colección de bobinados conectados en serie o en paralelo que constituye una fase serán sometidos en cualquier lugar a un campo electromagnético idéntico (que varía a través de la rotación del eje pero en cualquier lugar y en todo el momento equivalente entre sí) que surge de los imanes del motor (de modo que todos los bobinados en una fase son complementarios y no sirven para contrarrestarse entre sí, en cualquier ángulo rotacional del eje);
- c. un número de imanes ('polos') elegidos de manera que puede implementarse b);
- d. espesor angular de imán (longitud de arco) y paso de bobinado (número de dientes abarcados por un único bucle de bobinado) elegidos de modo que el ángulo de rotación del rotor a través del cual pasa una interfaz entre imágenes adyacentes de polaridad opuesta dentro de la longitud de un bucle de bobinado coincide de manera precisa con el ángulo de fase (proporción del periodo de oscilación) a través del cual el controlador mantendrá corriente máxima a través de ese bucle de bobinado; y
- e. inductancia de bobinado mínima conseguida por una preferencia hacia los bucles de alambre individuales que forman los bobinados que están conectados en paralelo en lugar de en serie hasta el alcance permitido por otras consideraciones tales como las especificaciones de corriente y tensión a las que debe adaptarse el motor (en reconocimiento del hecho de que mayor inductancia interna tenderá a suavizar y retardar las señales producidas por el controlador, siendo el alcance de tal transformación una función de la velocidad del motor y por lo tanto difícil de adaptar en el controlador).

Estas características, aunque conocidas individualmente en un sentido académico, no se cree que se usen en combinación en motores eléctricos típicos, comercialmente construidos, ni que el impacto de estas características de diseño en el controlador se consideren o entiendan de manera amplia. De hecho, la fusión dentro de una organización tanto del diseño del motor como del control del motor es atípica en la industria. Se apreciará también que esta combinación de características puede usarse para crear un generador con características que impactan en el diseño del controlador del generador. En particular, el generador proporcionará una salida que conduce a sí mismo a rectificación de CC.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un controlador que pueda proporcionar accionamiento de alta velocidad eléctrica usando electrónica de alimentación. El enfoque de control descrito en este punto es sustancialmente diferente del enfoque de modulación de anchura de pulso convencional, que sintetiza una forma de onda completa de un proceso de conmutación. Un controlador de modulación de anchura de pulso requeriría una carga de salida con alta inductancia, para suavizar los pulsos sucesivos en una forma de onda alterna. Un motor de CC sin escobillas, con una entrada de tensión de onda cuadrada requeriría análogamente alta inductancia. Este requisito de alta inductancia puede también ser una limitación en el rendimiento del motor, especialmente a alta velocidad mecánica y eléctrica.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 1. De acuerdo con el segundo, tercer y cuarto aspectos de la presente invención se proporciona un motor de imán permanente de acuerdo con la reivindicación 3, la reivindicación 4 o la reivindicación 5. De acuerdo con un quinto aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de inducción forzada para un motor de combustión interna que comprende un sistema de control de acuerdo con el primer aspecto. De acuerdo con un sexto aspecto de la presente invención se proporciona un sistema de inducción forzada para un motor de combustión interna de acuerdo con la reivindicación 9. Y de acuerdo con un séptimo aspecto de la presente invención se proporciona un generador de imán permanente que comprende un sistema de control de acuerdo con el primer aspecto. Se definen características opcionales y preferidas de los aspectos en sus respectivas reivindicaciones dependientes.

Como se define en la reivindicación 1, el sistema de control del primer aspecto comprende medios para suministrar/extraer corriente de excitación a diferentes bobinados del motor/generador en cualquier momento dado, en el que la amplitud de la corriente de excitación es independientemente variable de la aplicación/extracción de la

corriente de excitación a/desde los bobinados.

En un ejemplo relacionado pero no reivindicado, el medio de suministro comprende un bucle de realimentación de suministro de corriente de excitación para proporcionar la amplitud de corriente (que corresponde a una 'corriente agregada') a los bobinados del motor, y un bucle de realimentación de conmutación separado de la corriente del bucle de realimentación de suministro de corriente de excitación para controlar la temporización y duración de una corriente de excitación suministrada a los bobinados del motor. Dicha corriente de excitación puede ser una corriente agregada. El bucle de realimentación de suministro de corriente puede comprender una entrada para representar una velocidad de motor objetivo, y un medio para proporcionar la amplitud de corriente en respuesta a la velocidad objetivo del motor y la señal de la velocidad de motor. El bucle de realimentación de suministro de corriente puede comprender adicionalmente un bucle de realimentación de regulación para regular la amplitud de corriente.

En ejemplos relacionados pero no reivindicados, puede proporcionarse un medio, que puede estar en forma de un sensor, para proporcionar una señal indicativa de la velocidad de motor y/o la posición angular del motor. La indicación de posición angular puede ser una medición desigual o cuantificada, no necesariamente una medición angular precisa. Este medio puede ser una señal de conmutación o corriente indicativa de la corriente inducida en los bobinados del motor. El bucle de realimentación de conmutación puede ser operativo para el control de la temporización y duración de los pulsos de corriente a los bobinados del motor en dependencia de la señal de la posición angular. El movimiento del motor genera una contra EMF en cada bobinado de fase que corresponde a una señal de posición. El bucle de realimentación de conmutación proporciona un pulso de corriente a un bobinado de fase dado cuando la amplitud de la contra EMF detectada para el correspondiente bobinado de fase es mayor que la contra EMF detectada con respecto a los otros de la pluralidad de bobinados de fase. El bucle de realimentación de conmutación puede comprender un filtro para filtrar la contra EMF detectada para suavizar la señal y/o para facilitar la sincronización entre el suministro de la corriente a dicho bobinado dado y la señal de posición angular. El filtro puede ser operativo para introducir un desplazamiento de fase a la contra EMF detectada para facilitar dicha sincronización. El motor puede comprender tres bobinados de fase a 120 grados con relación al desplazamiento angular. También para facilitar la sincronización entre el suministro de corriente y el sensor de posición angular, la contra EMF usada para detectar la posición de motor puede no medirse de bobinados de fase individuales sino de combinaciones de los mismos (por ejemplo, la suma o diferencia de contra EMF a través de dos bobinados de fase), que puede conllevar un desplazamiento de fase conocido de la contra EMF presente en una fase individual

En un ejemplo no reivindicado, el sensor para proporcionar una señal indicativa de la velocidad de motor y/o la posición angular del motor puede ser un sensor de efecto Hall o un sensor óptico asociado con un eje de salida del motor.

En un ejemplo no reivindicado adicional, se proporciona un sistema de control para un motor eléctrico de corriente alterna, comprendiendo el sistema de control un circuito de conmutación operativo para controlar una temporización y duración de corriente suministrada al motor eléctrico, y una fuente de alimentación para suministrar corriente al motor, en el que el circuito de conmutación es operativamente independiente de la fuente de alimentación.

De acuerdo con la presente invención se proporciona además aún un motor de imán permanente que comprende un sistema de control como se define en el primer aspecto, en el que el motor incluye una pluralidad de imanes permanentes dispuestos alrededor de un rotor tal como para proporcionar una carcasa magnética continua sin espacios entre los imanes. Puede apreciarse que los imanes permanentes utilizados por un motor de este tipo pueden ser cualquier material magnetizado donde el control del motor no se basa en la capacidad para variar la intensidad magnética. El motor puede comprender una pluralidad de bobinados dispuestos alrededor de la superficie magnética en un número de intervalos de manera que cada intervalo puede dársele energía por un único pulso de corriente.

Adicionalmente, una disposición ideal para el motor del imán permanente proporciona que el número de intervalos dispuestos alrededor de la circunferencia del motor, dividido por el número de imanes dispuestos alrededor del rotor del motor es un múltiplo del número de fases de la corriente. Puede apreciarse que el número de bobinados del motor puede adaptarse para conseguir esta relación.

De acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación no reivindicado también se proporciona adicionalmente un sistema de inducción forzada para un motor de combustión interna que comprende un sistema de control como se ha descrito anteriormente. Tal sistema de inducción forzada puede ser un supercompresor o puede ser un turbocompresor. En un ejemplo ejemplar de la divulgación, el sistema de inducción forzada es para un motor de combustión interna, en el que el sistema comprende un compresor, una turbina, un generador, un motor eléctrico y un sistema de control. En dicho ejemplo, el compresor actúa para aumentar la presión de gas en el motor y está mecánicamente desacoplado de la turbina que está dispuesta para accionarse por el gas de escape del motor y para accionar un generador conectado eléctricamente al motor eléctrico. A su vez, el compresor se acciona por el motor eléctrico y por lo tanto se acciona el compresor, al menos en parte, por el par torsión de salida de la turbina mediante la conexión eléctrica. En este, el motor eléctrico se controla por el sistema de control anteriormente descrito.

En un ejemplo no reivindicado adicional de la presente divulgación, se proporciona un generador para generar

potencia eléctrica, comprendiendo el generador: un rotor que tiene una pluralidad de imanes permanentes distribuidos de manera equitativa y continua alrededor del motor; un estator que tiene una pluralidad de bobinados, en el que la rotación del rotor con relación a los bobinados del estator genera una pluralidad de formas de onda cuadrada desplazadas en fase; y un circuito de control, en el que el circuito de control comprende un circuito de conmutación dispuesto para extraer corriente de los bobinados del estator, controlando dicho circuito de control la temporización y duración de extracción de la corriente de los bobinados independientemente de la rotación del rotor.

En un ejemplo no reivindicado alternativo o adicional, se proporciona un generador de imán permanente que incluye una pluralidad de imanes permanentes en contacto entre sí sin espacios entre los imanes tal como para proporcionar una carcasa de imán permanente continua. Un generador de imán permanente de este tipo puede comprender una pluralidad de bobinados de fase dispuestos en un número de ranuras alrededor de la circunferencia de la carcasa del generador o imán permanente de manera que cada bobinado de fase puede dársele energía de manera complementaria por una única corriente de excitación y no servir para contrarrestarse entre sí. Adicionalmente, dicho generador puede estar dispuesto de manera que la pluralidad de bobinados de fase están dispuestos individualmente en las ranuras en paralelo y de manera que el número de intervalos dividido por el número de imanes es un múltiplo del número de fases de la corriente de excitación.

Las realizaciones de la invención son ventajosas en que proporcionan la variación de la velocidad de motor (par torsión) independientemente de la conmutación. Esto se efectúa suministrando una corriente agregada al motor independientemente a la conmutación que dirige esa corriente al bobinado o bobinados de fase de motor apropiados. La corriente agregada puede regularse usando un enfoque de PWM, y puede haber un requisito para la inductancia entre el controlador de suministro de corriente y el controlador de conmutación para suavizar esa salida de PWM. Sin embargo, la frecuencia del controlador de suministro de corriente de PWM y la inductancia que puede requerirse para regular la salida del controlador de suministro de corriente son parámetros que son esencialmente independientes de la inductancia y velocidad rotacional del motor. Esto significa que la frecuencia de la señal de PWM no necesita ser superior a la frecuencia de operación del motor, como en disposiciones de la técnica anterior. El controlador de conmutación, que se sitúa entre el controlador de suministro de corriente y el motor, no implementa PWM. En su lugar, el controlador de conmutación simplemente dirige la corriente al bobinado correcto de acuerdo con la posición angular del motor. Debido a que el controlador de conmutación no implementa PWM, su diseño es relativamente sencillo y puede conseguir altas velocidades de operación de motor. También puesto que el controlador de conmutación no implementa PWM, el motor no necesita mostrar alta inductancia y por lo tanto se mejora su eficiencia (especialmente a altas velocidades eléctricas/mecánicas). Esto significa que son posibles velocidades de motor superiores sin la necesidad de que se proporcione un controlador electrónico de alta potencia integrado para la conmutación y también para regular la corriente total en una única etapa.

La invención se describirá adicionalmente ahora a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1a es un diagrama de forma de onda de un motor convencional;

La Figura 1 b representa la estructura del motor convencional de la Figura 1a;

La Figura 1c es un diagrama de forma de onda para un motor convencional alternativo;

La Figura 2a es un diagrama de forma de onda de un motor que puede utilizarse en las realizaciones de la presente invención;

La Figura 2b representa la estructura del motor de la Figura 2a

La Figura 3 es un diagrama de circuito de bloque funcional de un circuito de control que realiza la presente invención;

La Figura 4 es un diagrama de bloques que muestra un detalle del circuito de la Figura 3;

La Figura 5a es un diagrama de forma de onda que muestra una contra EMF ideal en un motor trifásico (en concreto a, b, y c) utilizado en una realización de la presente invención;

La Figura 5b es una contra EMF de fase a fase derivada de la medición de la contra EMF total a través de dos fases (a y b, b y c, a y c);

La Figura 5c es un diagrama de forma de onda filtrada de la forma de onda de fase a fase de la Figura 5b;

La Figura 6 es un diagrama de circuito de un filtro paso bajo que puede usarse en el circuito de control que incorpora la presente invención;

La Figura 7a es una salida binaria de tres operaciones de comparación que actúan en las señales de contra EMF de fase a fase (por ejemplo, $C1 = 1$ cuando $V_a - b > V_b - c$);

La Figura 7b es un diagrama de forma de onda de la conmutación de la corriente a las fases individuales que puede derivarse por el circuito de control que incorpora la presente invención;

La Figura 8a es un diagrama de forma de onda de corrientes de fase generadas cuando se utiliza el motor de la Figura 2b como un generador;

La Figura 8b es un diagrama de forma de onda de las corrientes de fase rectificadas mostradas en la Figura 8a; y

La Figura 8c es un diagrama de forma de onda de la corriente de fase rectificada de un generador convencional.

La Figura 1a muestra la corriente ideal 10 que debe suministrarse a cada bobinado de fase en un motor de CA síncrono de la técnica anterior, como se muestra en la Figura 1b, (o a la inversa la corriente generada por el generador de CA síncrono de la técnica anterior). Como se explicará más adelante, de manera ideal una corriente

sinusoidal 10 (con la frecuencia de conmutación 16) es óptima para este tipo de motor de la técnica anterior y se tiene cuidado y esfuerzo para proporcionar una representación 12 lo más cercana posible de un patrón de onda sinusoidal cuando se acciona un motor de la técnica anterior de este tipo. Una técnica comúnmente usada para conseguir esta forma de onda ideal es la Modulación de Anchura de Pulso (PWM). PWM implica proporcionar un número de pulsos de corriente 12 al dispositivo de duración variable. Variando la anchura de pulso promedio y la temporización del pulso (frecuencia de conmutación 14) puede generarse una corriente global que se aproxima a una onda sinusoidal. Se varía la amplitud controlando la anchura de pulso promedio y se controla la conmutación cambiando la temporización de los pulsos. En general, los pulsos de corriente 12 se aplican con múltiples fases, más preferentemente tres fases diferentes que se diferencian en 120 grados.

La Figura 1 b muestra un motor de CA sin escobillas 20 de la técnica anterior con un rotor de imán permanente de cuatro polos 22 que está montado en un eje 24. En este tipo de motor 20, el motor tiene cuatro polos magnéticos espaciados alrededor de su circunferencia. Los polos magnéticos se proporcionan por cuatro imanes permanentes 26, 28, 30, 32 extendidos alrededor de 360 grados; sin embargo, cada imán abarca únicamente 60 grados, separado de sus vecinos en espacio muerto de 30 grados. Los imanes 26, 28, 30, 32 generan naturalmente un campo magnético norte-sur-norte-sur "en bloque" alrededor del motor.

Un ejemplo de cómo están distribuidos los bobinados 34 de las tensiones de 3 fases alrededor de los imanes se muestra en la Figura 1b. Únicamente se ha mostrado un bucle del bobinado 34 por claridad. Puede observarse que el bobinado 34 surge de la ranura 36 adyacente al imán 28, antes de pasar a través de la ranura 36 adyacente al borde del imán 30. Este patrón de bobinado crea campos magnéticos diferentes en los bobinados dependiendo de la posición relativa y dirección del bobinado con relación a los imanes del motor. Puede apreciarse, por supuesto, que variando el patrón de bobinado pueden adaptarse las propiedades del motor.

Los motores convencionales tienen sus bobinados distribuidos para descomponer la excitación activada/desactivada 'en bloques' que podría provocarse naturalmente por los imanes. En este ejemplo de un patrón de bobinado de motor típico, están disponibles 15 ranuras 36 para los bobinados 34 de modo que cada fase de la tensión de entrada está enrollada alrededor de 5 intervalos. Como 5 no es múltiplo del número de polos magnéticos en el rotor (4) es imposible que se exciten todas las 5 bobinas de una fase de la misma manera por todos los imanes al mismo tiempo. En su lugar, las diversas bobinas de la misma fase se excitan por diferentes cantidades a diferentes tiempos. Adicionalmente, las 5 bobinas no están extendidas equitativamente alrededor del estator sino distribuidas en su lugar como se muestra en la Figura 1b. Si esta máquina es un generador, el potencial creado en cada bobina (todos los cuales están conectados en serie para una fase) cambia más o menos independientemente entre sí a medida que se mueve el rotor, y se elige la distribución de las bobinas de manera que el potencial total sube y cae en un patrón casi sinusoidal

En control de CC sin escobillas convencional, se utilizan seis IGBT (A+, A-, B+, B-, C+, C-) tal como se ilustra en la Figura 4 para controlar tanto la conmutación (temporización) como regulación de tensión (cantidad). La regulación de tensión se implementa por Modulación de Anchura de Pulso (PWM) como se muestra en la Figura 1c. Los pulsos 12a de amplitud de tensión constante se suministran al motor y forman una tensión de onda cuadrada 10a. En este caso la amplitud de la tensión 10a se determina por el número de pulsos y su duración o anchura (el ciclo de trabajo). La inductancia y resistencia del motor proporciona una regulación inherente de la corriente. Sin embargo, la inductancia y resistencia del motor reducen la eficiencia y hacen el motor no adecuado para aplicaciones de muy alta velocidad eléctrica/mecánica.

Adicionalmente, para producir una corriente baja relativamente estática de la conmutación activada-desactivada del controlador de PWM requiere que los bobinados 34 del motor sin escobillas de CC muestren alta inductancia. Adicionalmente, para implementar esta clase de control de PWM en los mismos IGBT que la conmutación de control significa que la frecuencia de conmutación 14 de los IGBT debe ser significativamente superior que la frecuencia de conmutación de la conmutación 16 y aún superior en comparación con la velocidad de rotación del eje del motor. Esto hace el método no práctico a altas velocidades eléctricas. Por ejemplo, la frecuencia de conmutación de IGBT en un controlador de motor PWM sería típicamente al menos 10 veces superior a la frecuencia de conmutación para un motor con suficientemente alta inductancia para suavizar la salida de PWM resultante. Adicionalmente, en el tipo de motor sugerido en la realización preferida de la presente invención, que conlleva inductancia muy baja y alta eficiencia, la frecuencia de conmutación de IGBT 14 necesitaría que sea al menos 100 veces superior a la frecuencia de conmutación 16. Con las velocidades de operación altas deseadas de las realizaciones de la presente invención, este enfoque de control no se hace práctico.

A la inversa, el motor 40 empleado por la invención actual usa un diseño de 12 ranuras. Una representación de este motor se muestra en la Figura 2b. En este motor, los cuatro imanes 41-44 abarcan todos los 360 grados del rotor 46 sin ningún espacio muerto, creando una carcasa de imán permanente continua, por lo que el motor es (en general) el 50 % más potente para un tamaño dado en comparación con el motor de 15 ranuras. 12 ranuras 48 y tres fases 50 permiten 4 bobinas o ranuras por fase, que corresponde a los 4 polos magnéticos en el rotor. Por lo tanto cada bobina 50 puede siempre excitarse completamente por los imanes 41-44. Las bobinas 50 en una fase cualquiera se enrollan en el sentido de las agujas del reloj-en el sentido contrario de las agujas del reloj-en el sentido de las agujas del reloj-en el sentido contrario de las agujas del reloj, por lo que se refuerza el campo magnético norte-sur-norte-sur

y acciona la corriente máxima a través del estator (en el caso de un generador) o crea par torsión máximo de una corriente dada (en el caso de un motor). Sin embargo, como un generador de esta máquina suministraría una salida de onda cuadrada con la que es difícil de tratar. De manera similar que un motor 40, la rotación suave del eje 47 requiere una entrada de corriente de onda cuadrada 60 que es difícil de suministrar. Por estas razones, un motor con las características de esta máquina de 12 ranuras descritas en este punto no es una elección conocida en la mayoría de las aplicaciones de la técnica anterior. Si este motor se eligiera por su compactibilidad y eficiencia y a continuación se accionara usando un controlador de PWM de la técnica anterior, el resultado sería salida de motor no suave (variando con el tiempo) y pérdidas eléctricas adicionales, lo que negaría alguno de los beneficios inherentes del motor.

La Figura 2a muestra la corriente 60 que debe impartirse idealmente en cada bobinado de fase 50 para un motor 40 (Figura 2b) diseñado para entrada de onda cuadrada. Además, son necesarios espacios 66 como una función de geometría de estator y para evitar excitación no ideal del rotor cuando los polos magnéticos del rotor no están alineados con el imán permanente que se le ha dado energía por la bobina. Durante estos espacios 66, se imparte corriente por una fase diferente. Los puntos de conmutación relevante 68 entre la aplicación o eliminación de corriente son la temporización de conmutación e idealmente tiene lugar cuando el polo del rotor pasa dentro o fuera de la influencia del imán que se le da energía por los bobinados.

Para conseguir alta velocidad y alta eficiencia, la resistencia e inductancia de los bobinados 50 son mucho menores que en un motor sin escobillas de CC típico, tal como el motor de la técnica anterior de la Figura 1b. En cualquier momento durante la operación del motor, una fase 50 está conectada al positivo (corriente que viaja de entrada), una fase está conectada al negativo (corriente que viaja de salida), y una fase está flotando (sin corriente). Para maximizar el rendimiento del motor, la corriente debería inyectarse a cada fase 50 cuando esa fase muestra la contra EMF máxima en comparación con las otras fases y debería retornar de cada fase cuando esa fase muestra la contra EMF mínima. La temporización de conmutación 68 debe controlarse de manera precisa. Si la contra EMF es ideal, la temporización de conmutación 68 puede obtenerse comparando la tensión trifásica (por ejemplo, cuando una fase muestra la mayor contra EMF, entonces la corriente de fase se 'desconecta').

De manera ideal, la amplitud 62 necesita ser variable de manera independiente con respecto a la frecuencia de conmutación 64. La Figura 3 muestra una realización principal de la presente invención y los detalles del controlador 80 usado. Una característica principal de este controlador 80 es que trata la potencia de manera separada de la conmutación. Este enfoque de control se consigue por una separación lógica entre el control de la corriente agregada 11 82 que fluye al motor 84 y la conmutación de esa corriente i_u, i_v, i_w 86a-c en los conectores de fase del motor 84.

La corriente agregada 82 tiene dos bucles de control de realimentación proporcional-integral (PI) 88, 90 que regulan corriente agregada 82. El bucle interno 88 controla la amplitud de corriente directamente y el bucle externo 90 ajusta la corriente en respuesta al requisito de par torsión (desajuste de velocidad / velocidad objetivo) del motor 84.

El bucle interno 88 comprende un ciclo de trabajo 92 que proporciona la amplitud de la corriente agregada 82 y un regulador (amplitud) 94 que compara la corriente agregada actual 82 a la corriente solicitada por el bucle externo 90. Si la corriente agregada 82 solicitada por el bucle externo 90 es mayor que la corriente agregada suministrada actualmente entonces la corriente se ajusta para adaptar la corriente deseada por el ciclo de trabajo 92. Puede apreciarse que el bucle interno 88 puede considerarse que es un bucle de realimentación de regulación para regular la amplitud de corriente.

El bucle externo 90 también comprende un regulador (velocidad) 94 que compara una velocidad objetivo 96 con la velocidad actual del motor 98 y determina la corriente agregada 82 requerida para acelerar a la velocidad objetivo 96. Se proporciona una comprobación de saturación 100 para asegurar que los requisitos de corriente están dentro de la capacidad del controlador 80 y el motor 84. La velocidad del motor se proporciona por un convertidor F/V 102 que analiza señales de EMF de retorno V_w, V_v, V_u 104 obtenidas del motor y las convierte para determinar la velocidad de motor 98 y la posición angular del motor (y los imanes). Los componentes usados para regular la corriente agregada 82 (los bucles de control de realimentación internos y externos 88, 90) pueden considerarse como un bucle de realimentación de suministro de corriente para proporcionar la amplitud de corriente a los bobinados de motor 84.

El uso de la señal contra EMF generada por los imanes permanentes intensos que se mueven pasados los bobinados en el motor es ventajoso puesto que la contra EMF se manifiesta a sí misma como una variación de oscilación en la resistencia eléctrica aparente a través de cada conexión de fase del bobinado del estator del motor. Esto proporciona una indicación de la posición instantánea del rotor con relación al estator y por lo tanto la temporización apropiada para la excitación eléctrica del estator. Mediante este método, las conexiones de fase del motor llevan la salida del controlador de motor (corriente oscilatoria para excitar los bobinados de estator del motor) así como una de sus entrada (contra EMF para determinar el patrón de conmutación).

Aunque la presente invención utiliza señales de contra EMF para determinar la velocidad y posición del motor, pueden utilizarse maneras alternativas de monitorización del motor y producir señales de referencia. Ejemplos de

alternativas incluyen: el uso de un sensor de posición de rotor externo, más probablemente un tipo óptico o tipo de sensor de interferencia electromagnética (efecto Hall) que responde a marcas o formas (por ejemplo, palas de compresor) en el eje de motor; el uso de un dispositivo de cronometraje interno al controlador, que se calibra o resetea de manera regular (por ejemplo, una vez por rotación de eje de motor) por un sensor desigual; una medición de la corriente de conmutación, o una señal indicativa de la misma, relacionada con la corriente inducida en los bobinados del motor (no la corriente total que va al motor); y el uso de lógica puramente interna y cronometraje que hace las suposiciones acerca de la posición del rotor y la conmutación requerida sin esperar o sin preocuparse que esto pueda caer fuera de la sincronización con la temporización de conmutación óptima verdadera (por ejemplo, el rotor puede 'deslizarse' con relación a la excitación eléctrica).

Este enfoque de dos niveles se implementa para evitar una condición de sobre-corriente, puesto que el motor 84 está diseñado óptimamente para inductancia interna muy baja y por lo tanto es altamente sensible al daño a menos que la corriente 82 esté controlada estrechamente en una escala de tiempo breve. Para controlar la velocidad 96, el sistema de control 80 mide la frecuencia de la contra EMF de motor 104 para conseguir la velocidad de motor 98. Estableciendo el comando actual 90 al bucle interno 88, el sistema de control puede controlar el par torsión. Si el motor 86 necesita acelerar, el controlador 90 aumentará el comando de corriente para aumentar el par torsión.

La conmutación de la corriente agregada 82 se implementa de manera separada y se muestra a la derecha del motor 86. El patrón de conmutación 110 responde de manera pasiva a la posición del motor como se mide rastreando la contra EMF 104 visualizada en los conectores de fase. La realización preferida usa la tensión de fase a fase para medir la contra EMF. Esto conduciría normalmente en la fase a 90 grados con relación a la temporización de conmutación de corriente óptima, basándose en las propiedades de motores típicos (véase a continuación). La realización preferida por lo tanto implementa un filtro paso bajo 112 que produce un desplazamiento de fase de 90 grados en las tensiones de fase a fase medidas. Este filtro de paso bajo 112 elimina adicionalmente errores de la señal de contra EMF 104 y ajusta simultáneamente el ángulo de fase de modo que la temporización es apropiada para su uso como una señal de control de conmutación de corriente.

Una vez que se determina el patrón de conmutación 110, se proporciona al módulo de IGBT 114. La corriente agregada 84 puede a continuación regularse por el módulo de IGBT 114 en el patrón de conmutación requerido 110 para entregar la corriente requerida i_u , i_v , i_w 86a-c al motor 84. Esta combinación de componentes 110, 112 y 114 actúa como un bucle de realimentación de conmutación para controlar la temporización y duración de una corriente de excitación suministrada a los bobinados del motor.

La Figura 4 destaca el ciclo de trabajo 92 y el módulo de IGBT 114. El ciclo de trabajo 92 actúa como una parte de "fuente de corriente de CC/CC" y crea una corriente casi continua de amperaje agregado controlado 82. El ciclo de trabajo tiene dos IGBT 120, 122 y conectando y desconectando los IGBT, la corriente agregada 82 puede regularse. El ciclo de trabajo 92 está conectado al módulo de IGBT 114, que actúa para una señal trifásica como un inversor de seis segmentos. Debido a la frecuencia fundamental alta del motor, este módulo de IGBT 114 únicamente controla la conmutación, y nunca necesita interrumpir el flujo agregado de corriente para controlar la potencia (como lo tendría que hacer en una distribución de control más convencional). La parte del "inversor" toma como entrada una señal de conmutación de un controlador digital (no mostrada) y la corriente agregada 82 producida por el ciclo de trabajo 92.

Como salida, el módulo de IGBT 114 produce señales de corriente de onda cuadrada para accionar el motor PM. La función del módulo de IGBT 114 es para entregar sea cual sea la corriente agregada 82 que está disponible del ciclo de trabajo 92 directamente al motor 84 usando el patrón de conmutación sencillo mostrado en la Figura 2a. Para cada fase de corriente 86a-c, se proporcionan dos IGBT. El patrón de conmutación para la corriente i_u 86a se proporciona por los IGBT 116a, 116b que conectan y desconectan el suministro de la corriente agregada 82 al patrón de conmutación requerido 110. Los IGBT similares 118a, 118b, 120a, 120b realizan la misma función para cada fase adicional de la corriente i_v 86b, i_w 86c. Por lo tanto la corriente suministrada por cada fase puede ser cualquiera de positiva, negativa o cero.

La ventaja primaria de este enfoque es que elimina la necesidad para que los IGBT operen a frecuencias altas no prácticas. También posibilita que el motor 86 se cree con inductancia inferior. Finalmente, este enfoque elimina de los bobinados de fase del motor las perturbaciones que están normalmente asociadas con el control de PWM. Esto hace a las señales contra EMF 104 más limpias y mejora la precisión de temporización de conmutación 110. A velocidades eléctricas altas, la eficiencia del controlador 80 es altamente sensible a la temporización de conmutación 110. Por lo tanto, la característica adicional de eliminación de perturbaciones de los bobinados de fase mejora adicionalmente la eficiencia de este enfoque.

Las señales contra EMF 104 generadas por el motor 86 se muestran en la Figura 5a. Las tres señales de contra EMF 104a, 104b y 104c corresponden a las tres fases de las corrientes de entrada 86a, 86b, 86c. Se idealiza la contra EMF mostrada en la Figura 5a. En realidad la señal de contra EMF 104 a menudo está interrumpida y distorsionada, que hace difícil la determinación de la posición angular del motor y por lo tanto la determinación de la temporización de conmutación. Adicionalmente, en control de motor práctico, la misma conmutación perturba la contra EMF 104 debido a los cambios de corriente de fase rápidos. Esta perturbación puede deformar las formas de las formas de onda de contra EMF, que ya no hace la comparación entre ellas fiable. Adicionalmente, debido a los

aspectos prácticos de bobinado del controlador, medir una única contra EMF 104a es difícil.

En la presente realización, la fiabilidad de la señal de contra EMF se mejora adicionalmente midiendo las tensiones de fase a fase 130 de la contra EMF 104 (permitiendo que el controlador monitorice los mismos alambres que se usan para impartir corriente al motor) como se muestra en la figura 5b. Sin embargo, las tensiones de fase a fase 130 (contra EMF) no están alineadas con las tensiones de fase (contra EMF) 104. Por ejemplo, el punto de cruce de la Fase A y Fase B (marcado como el Punto 1) en la Figura 5a sería el punto de cruce en cero de la Fase A-B (marcado como el Punto 2) en la Figura 5b. Ya que la fase al punto de cruce de fase determina la posición óptima para conmutar la corriente suministrada al motor a la siguiente fase correspondiente, la determinación de esta posición es crítica para asegurar el uso eficiente del motor. La tensión de fase a fase es la diferencia entre dos tensiones de fase, y por lo que la diferencia en fase entre estas dos señales puede calcularse como sigue:

tensión Fase A: $\text{sen}(x)$

tensión Fase B: $\text{sen}(x-\pi/3)$ (desplazamiento de fase de 120 grados en motor de 3 fases)

Fase A a B:

$$\text{sen}(x) - \text{sen}(x-\pi/3) = \text{sqrt}(3)\text{sen}(x+\pi/6)$$

(una forma de onda 30 grados por delante de $\text{sen}(x)$)

La fase al punto de cruce de fase (punto 1 en la figura 5a) ya no está dentro de una posición fácilmente determinada (punto 2 en la figura 5b). Para conseguir una señal fiable, la contra EMF trifásica por lo tanto se filtra antes de que se lleven a cabo las comparaciones. El diseño de filtro de paso bajo 112 se muestra en la Figura 6. La función de transferencia para el filtro 112 es $\frac{50}{0,015s+1}$. Aumentando la velocidad de motor y la frecuencia eléctrica, el comportamiento de este filtro 112 se acerca a una integral pura, y el retardo de tiempo producido por este filtro se acerca a retardo de 90 grados. Una representación de la fase filtrada a la señal de fase 140 se muestra en la Figura 5c.

La Tabla 1 muestra el grado de desplazamiento de fase impartido por el filtro a las diferentes velocidades del motor. Puede observarse que para un intervalo grande de la velocidad de motor (de 200 Hz a 2000 Hz), los desplazamientos de fase están muy cercanos a 90 grados.

Tabla 1. Desplazamiento de fase frente a RPM

Velocidad de motor	Desplazamiento de fase
1000 RPM	64,5 grados
5000 RPM	84,5 grados
10000 RPM	87,27 grados
40000 RPM	89,31 grados
120000 RPM	89,77 grados

Como se ha indicado anteriormente, la temporización de conmutación ideal se obtiene considerando los puntos de cruce entre señales de tensión de fase. Pero el controlador usa señales de tensión de fase a fase filtradas, que son en total 60 grados por detrás de las tensiones de fase (30 grados - 90 grados). Puesto que un evento de conmutación tiene lugar cada 60 grados (véase la Figura 5c), pueden usarse estas tensiones de fase a fase filtradas, aunque el mapeo de qué puntos de cruce están asociados con qué señales de corriente de fase es diferente al mapeo de lo que se aplicaría si se usaran las tensiones de fase.

La Figura 5c muestra las señales de fase a fase filtradas con desplazamiento de fase de 90 grados considerado. Alineado con el Punto 1 y 2 en la Figura 5a y 5b, el punto correspondiente en la Figura 5c se marca como el Punto 3 que es el punto correspondiente entre la Fase B-C y la Fase C-A. La Figura 5c muestra que, a pesar del desplazamiento de fase constante, la temporización de conmutación 110 para conmutación de corriente puede aún determinarse comparando las magnitudes de las tensiones de fase a fase filtradas.

Las tres señales de tensión producidas por el filtro de tensión de fase a fase pueden compararse a continuación usando componentes electrónicos bien conocidos. Los resultados de las comparaciones pueden decodificarse para generar la salida de conmutación, como puede observarse en la Figura 7a. C1 152 son los resultados de comparación entre las Va-b y Vb-c filtradas. C2 154 es para Vb-c y Vc-a. C3 156 es para Vc-a y Va- b. Los seis IGBT 116a, 116b, 118a, 118b, 120a, 120b que controlan el patrón de conmutación de la corriente al motor pueden controlarse completamente y de manera óptima por las señales C1, C2, C3, como se muestra en el gráfico inferior de la Figura 7b. Cuando se conecta la A+ IGBT 116a, la corriente positiva se inyecta en la Fase A 166a. Cuando, A- 166b está conectada, la corriente negativa se inyecta en la fase A 166b. Mediante la comparación entre la forma de onda C1 (152) de la Figura 7a y las formas de onda A+ y A- de la figura 7b, puede observarse que el punto cuando C1 152 conmuta de negativo a positivo tiene lugar a $\pi/6$. Este punto de $\pi/6$ corresponde al punto en el que debe conmutarse IGBT 116a para proporcionar la corriente A+ 116a. De manera similar, el punto en el que C1 va de

positivo a negativo $7\pi/6$ corresponde al punto de conmutación de A- 166b mediante el conmutador 116b.

Por lo tanto el controlador 80 imparte en las conexiones de fase del motor 86a-c señales de corriente oscilatorias cuyas formas de onda están conformadas y extendidas (desplazamiento de fase) de tal manera que la suma de sus valores absolutos son siempre iguales a la señal constante (corriente agregada 82) a partir de la cual están constituidos. Este patrón de conmutación de múltiples fases 110 es la salida del controlador y se envía a los puntos de conexión de fase disponibles en el bobinado del estator del motor. Este controlador 80, que incluye la parte de conmutación, es electrónica, en lugar de mecánica, que mejora la eficiencia y fiabilidad en comparación con frotar o deslizar los conmutadores mecánicos embebidos en el motor y que se mueven potencialmente a alta velocidad.

Puede apreciarse también que el controlador 80 puede usarse para hacer marchar el motor 84 como un generador. En tales realizaciones, el movimiento del rotor del generador con relación al estator provoca que una corriente fluya dentro de los bobinados del estator. El circuito de conmutación en tales realizaciones saca la corriente de los bobinados, creando (en el ejemplo anterior) una señal de potencia trifásica. Cuando el controlador 80 opera el motor 84 como un generador, el controlador 80 continúa para operar de la misma manera como se ha descrito anteriormente, independientemente de la fuente de corriente. Sin embargo, cuando el motor 84 se hace marchar como un generador, la fuente de corriente se invierte esencialmente y de esta manera la dirección del flujo de corriente se invierte también provocando que la corriente fluya fuera del circuito de conmutación y del motor 84. Debido a la disposición del motor o generador, tal salida es una señal o corriente de CC. Variando esta corriente de CC entre puntos de ajuste positivos y negativos, el controlador permite transición rápida y sin interrupciones del motor al generador al motor.

Cuando se hace marchar como un generador dicha señal de potencia puede pasarse a continuación a través de un rectificador para crear una corriente de CC. Ventajosamente, el patrón de conmutación producido por la realización del generador de la presente invención es una serie de formas de onda cuadradas como se muestra en la Figura 8a y similares a aquellas mostradas en la Figura 7a. Como puede observarse a partir de la Figura 8a, el generador (de la forma del motor 40) produce señales de corriente trifásica 180 (comparación entre A y B de la Figura 7b), 182 (comparación entre B y C de la Figura 7b) y 184 (comparación entre C y A de la Figura 7b). Cada una de las tres señales de fase generadas 180, 182, 184, produce una señal que varía de una corriente de fase positiva 180a a una corriente de fase negativa 180e mediante nivel adecuado de corriente de fase neta cero 108c, 180 g y funciones a pasos 180b, 180d, 180f, 180 h entre el positivo, negativo y nivel adecuado cero. Puede apreciarse que la forma exacta de las formas de onda es probable que varíe de esta representación normal idealizada.

El tipo de generador descrito en este punto produce la salida de onda cuadrada 180, 182, 184 de las fases de generador individuales, que, cuando se rectifica a CC, es suave 190 (excepto para los armónicos 192). Una representación de la corriente de CC rectificadas se muestra en la Figura 8b. Los armónicos 192 pueden tener lugar durante el paso de una salida de fase de onda cuadrada 180 a la siguiente 182 (en cada intervalo de función de etapa). Sin embargo, después de que se eliminan los armónicos 192, la señal global 190 es más suave que una señal sinusoidal de 3 fases 194 como se muestra en la Figura 8c. (La señal 190 varía aproximadamente el 0 %, en lugar del 10 % típico de señales sinusoidales de 3 fases rectificadas 194). Esto es deseable, puesto que muchas aplicaciones industriales pueden de manera natural filtrar armónicos pero no pueden tolerar fluctuaciones en bruto provocadas rectificando señales sinusoidales. Adicionalmente, el experto lector apreciará que existen varios métodos para filtrar armónicos de corta duración del tipo producido cuando se rectifica la entrada de onda cuadrada.

Si la máquina está diseñada puramente para operación de generador, entonces el controlador podría simplificarse a un rectificador, en lugar del controlador total descrito en el presente documento. Sea cual sea el método de control usado para el generador, la combinación particular de características descritas en el presente documento creará un generador que le conduce a sí mismo para producir una señal de salida de potencia CC.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control para un motor o generador de imán permanente que incluye tres bobinados de fase individuales, bobinado de fase A, bobinado de fase B y bobinado de fase C a desplazamiento angular relativo de 120
 5 grados que comprende medios para suministrar/extraer una corriente de excitación a los diferentes bobinados del motor/generador en cualquier momento dado, en el que una amplitud de la corriente de excitación es independientemente variable de una temporización y duración de la aplicación/extracción de la corriente de excitación a/desde los bobinados
- 10 en el que el medio de suministro/extracción comprende:
- un bucle de realimentación de suministro de corriente para el suministro/extracción de la corriente de excitación y control de la amplitud de la corriente de excitación en los bobinados de fase; y
 15 un bucle de realimentación de conmutación operativamente independiente del bucle de realimentación de suministro de corriente y operativo para controlar la temporización y duración de la corriente de excitación suministrada a o extraída de los bobinados de fase individuales dependiendo de una posición angular del motor/generador por la generación de un patrón de conmutación (A+, A-, B+, B-, C+, C-)
- 20 en el que la rotación del motor/generador genera una contra EMF en cada bobinado de fase, **caracterizado por** el bucle de realimentación de conmutación que comprende:
- medios para medición de las tensiones de fase a fase (130, Va-b, V b-c, Vc-a) de la contra E MFs, para obtener una primera tensión de fase a fase (Va-b) que corresponde a la diferencia entre la tensión de bobinado de fase A y bobinado de fase B, para obtener una segunda tensión de fase a fase (V b-c) que
 25 corresponde a la diferencia entre tensión del bobinado de fase B y el bobinado de fase C y para obtener una tercera tensión de fase a fase (Vc-a) que corresponde a la diferencia entre tensión de bobinado de fase C y bobinado de fase A;
- un medio de filtro de paso bajo (112) que produce un retardo de tiempo que se acerca a retardo de 90 grados con velocidad creciente para filtrar la primera, segunda y tercera tensiones de fase a fase y para obtener una
 30 correspondiente primera, segunda y tercera señales de fase a fase filtradas (Va-b (filtrada), V b-c (filtrada), Vc-a (filtrada));
- medios de comparación para comparar las tensiones de fase a fase filtradas para obtener un primer resultado de comparación (C1) que corresponde al resultado de la segunda restada de las primeras señales de fase a fase filtradas, un segundo resultado de comparación (C2) que corresponde al resultado de la tercera restada
 35 de las segundas señales de fase a fase filtradas y un tercer resultado de comparación (C3) que corresponde al resultado de la primera restada de las terceras señales de fase a fase filtradas;
- medios de decodificación para generar el patrón de conmutación (A+, A-, B+, B-, C+, C-) basándose en los signos del primer, segundo y tercer resultados de comparación de manera que el bucle de realimentación de conmutación proporciona un pulso de corriente para, o extrae un pulso de corriente desde, un bobinado de
 40 fase dado cuando la amplitud de la contra EMF del correspondiente bobinado de fase es mayor que la contra EMF de las otras dos fases cuando se aumenta la velocidad.
2. Un sistema de control de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el motor o generador de imán permanente comprende un motor o generador eléctrico de imán permanente de baja inductancia.
- 45 3. Un motor de imán permanente que comprende un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2.
4. Un motor de imán permanente que comprende un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 1 o la
 50 reivindicación 2, en el que el motor incluye una pluralidad de imanes permanentes en contacto entre sí sin espacios entre los imanes tal como para proporcionar una carcasa de imán permanente continua.
5. Un motor de imán permanente de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende un sistema de control de acuerdo con una cualquiera de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el motor de imán permanente
 55 comprende adicionalmente una pluralidad de bobinados de fase dispuestos en un número de ranuras alrededor de la circunferencia del motor de manera que cada bobinado de fase puede dársele energía de manera complementaria por una única corriente de excitación y no sirve para contrarrestarse entre sí.
6. Un motor de imán permanente de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la pluralidad de bobinados de fase
 60 están dispuestos individualmente dentro de las ranuras en paralelo.
7. Un motor de imán permanente de acuerdo con la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en el que el número de intervalos dividido por el número de imanes es un múltiplo del número de fases de la corriente
- 65 8. Un sistema de inducción forzada para un motor de combustión interna que comprende un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2.

9. Un sistema de inducción forzada para un motor de combustión interna con un cigüeñal, comprendiendo el sistema:

- 5 un compresor para aumentar la presión de gas en el motor;
 - una turbina mecánicamente desacoplada del compresor y dispuesta para accionarse por el gas de escape del motor;
 - un generador dispuesto para accionarse por la turbina;
 - 10 un motor eléctrico dispuesto para accionar el compresor, en el que el generador y el motor están conectados eléctricamente; y
 - un sistema de control de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2 mediante el cual el compresor se acciona al menos en parte por un par torsión de salida de la turbina mediante la conexión eléctrica.
10. Un generador de imán permanente que comprende un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 1 o la
- 15 reivindicación 2.

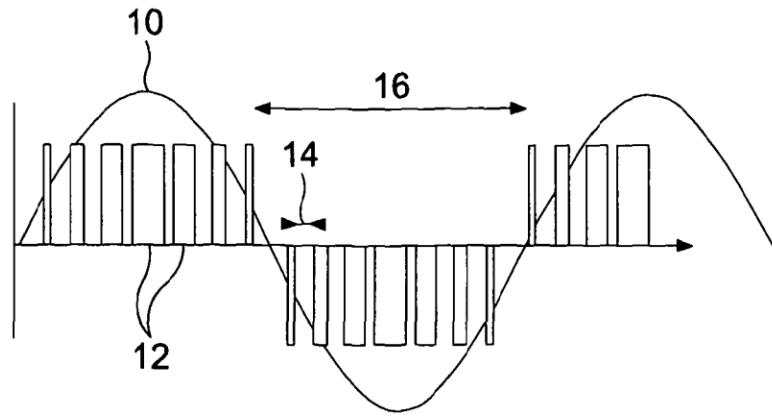


Fig 1a

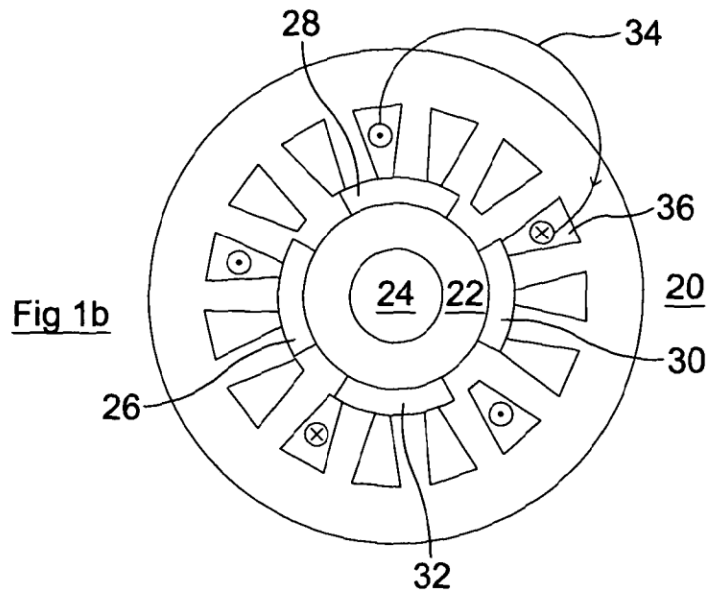


Fig 1b

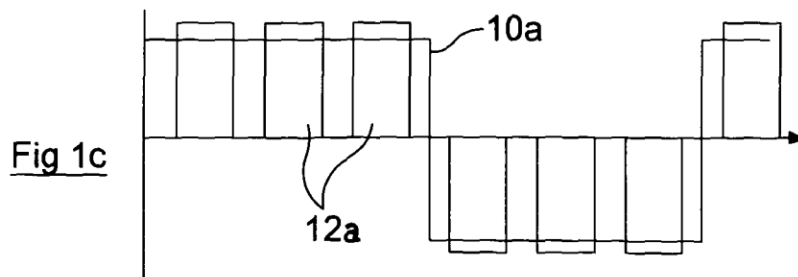


Fig 1c

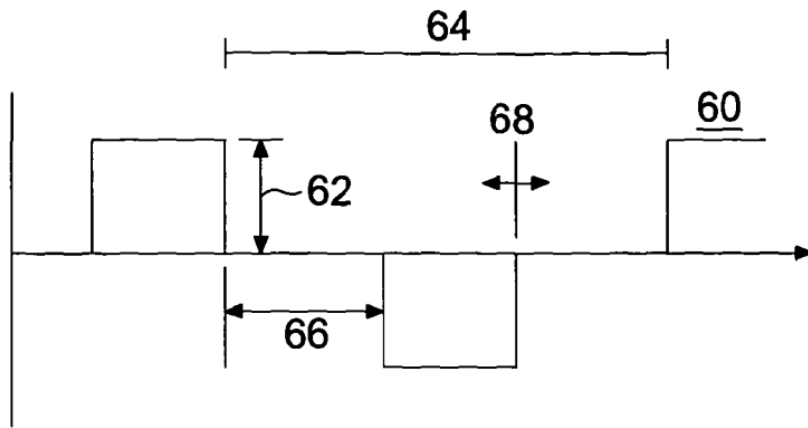


Fig 2a

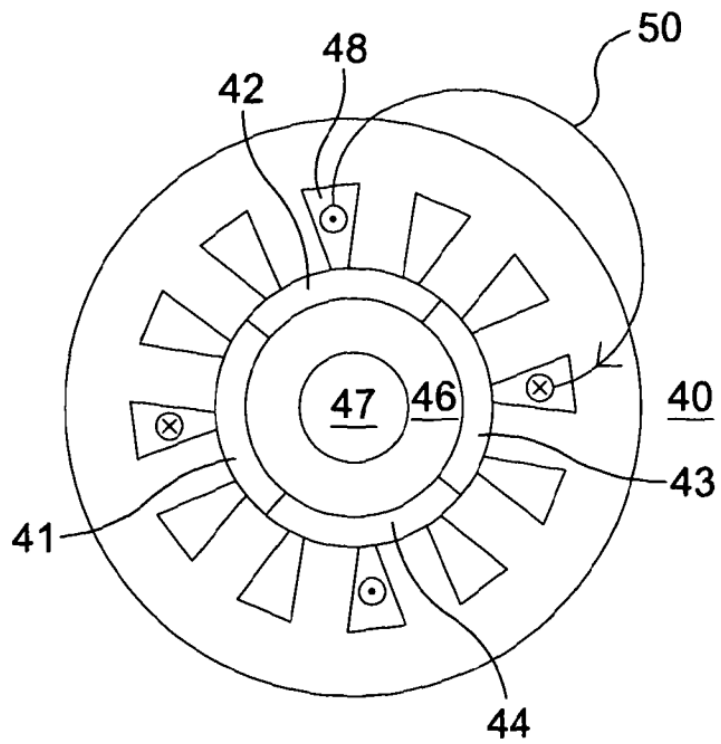


Fig 2b

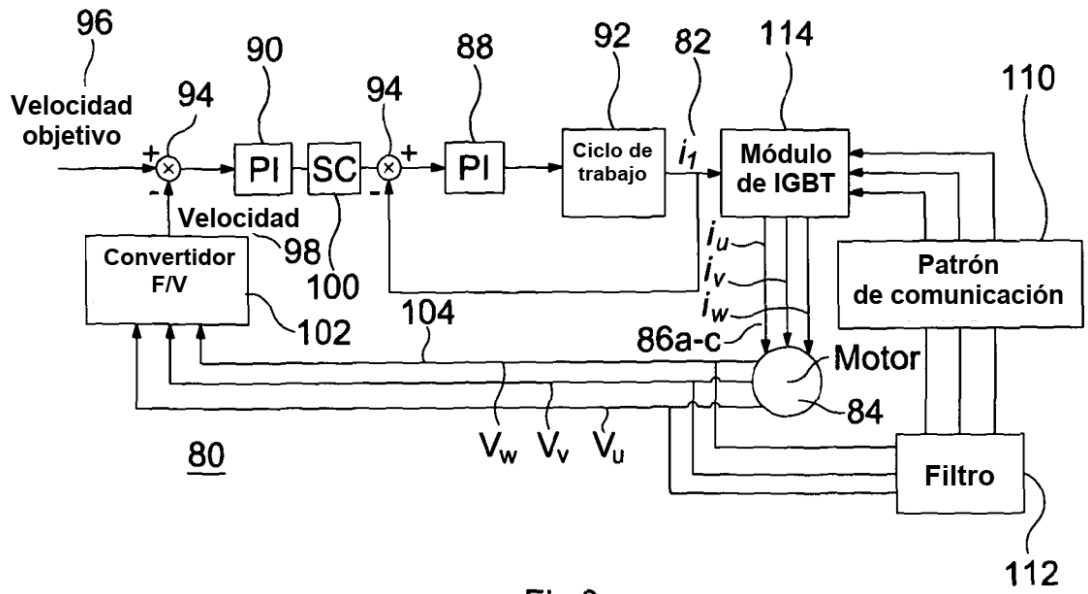


Fig 3

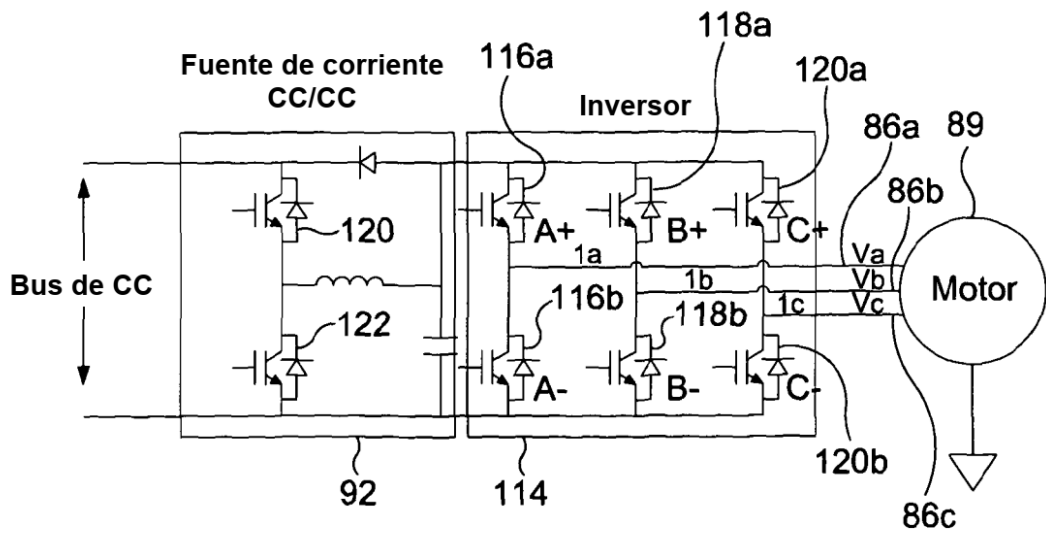


Fig 4

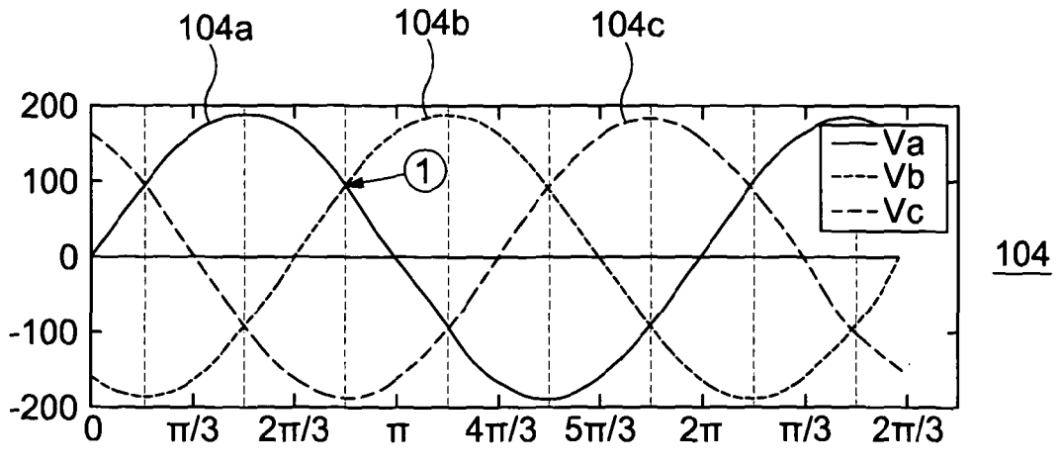


Fig 5a

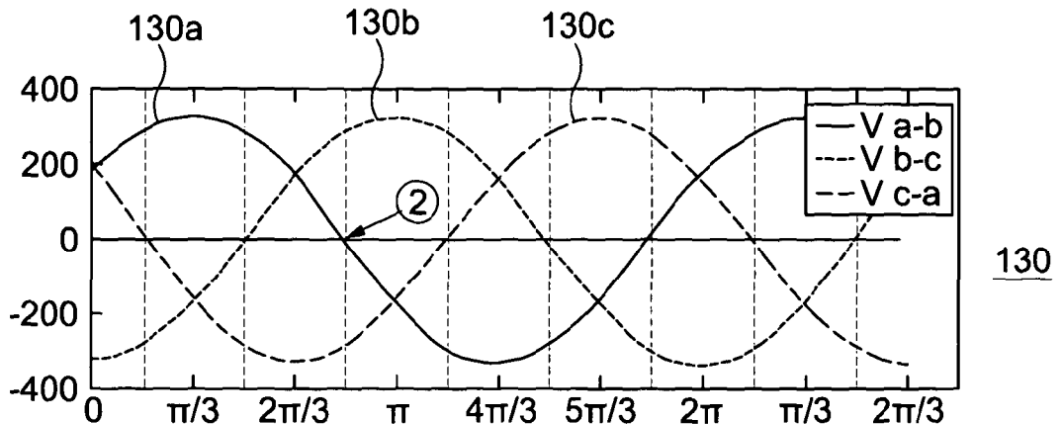


Fig 5b

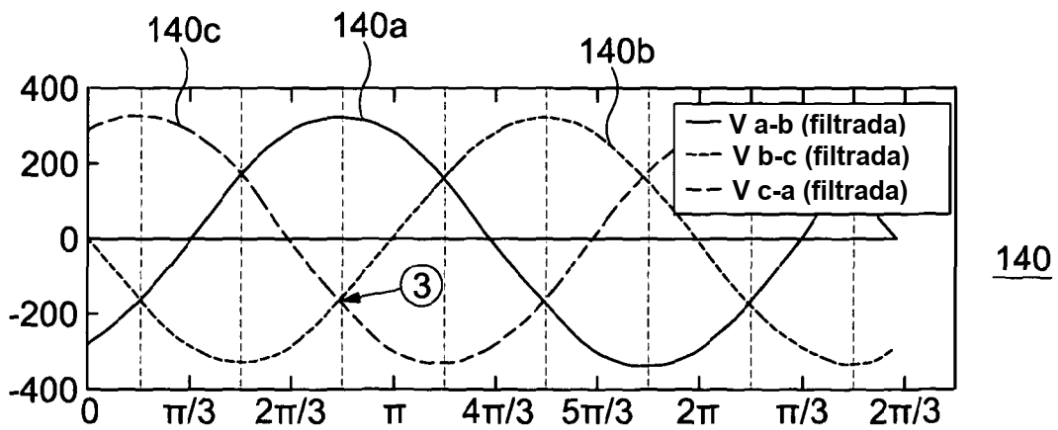


Fig 5c

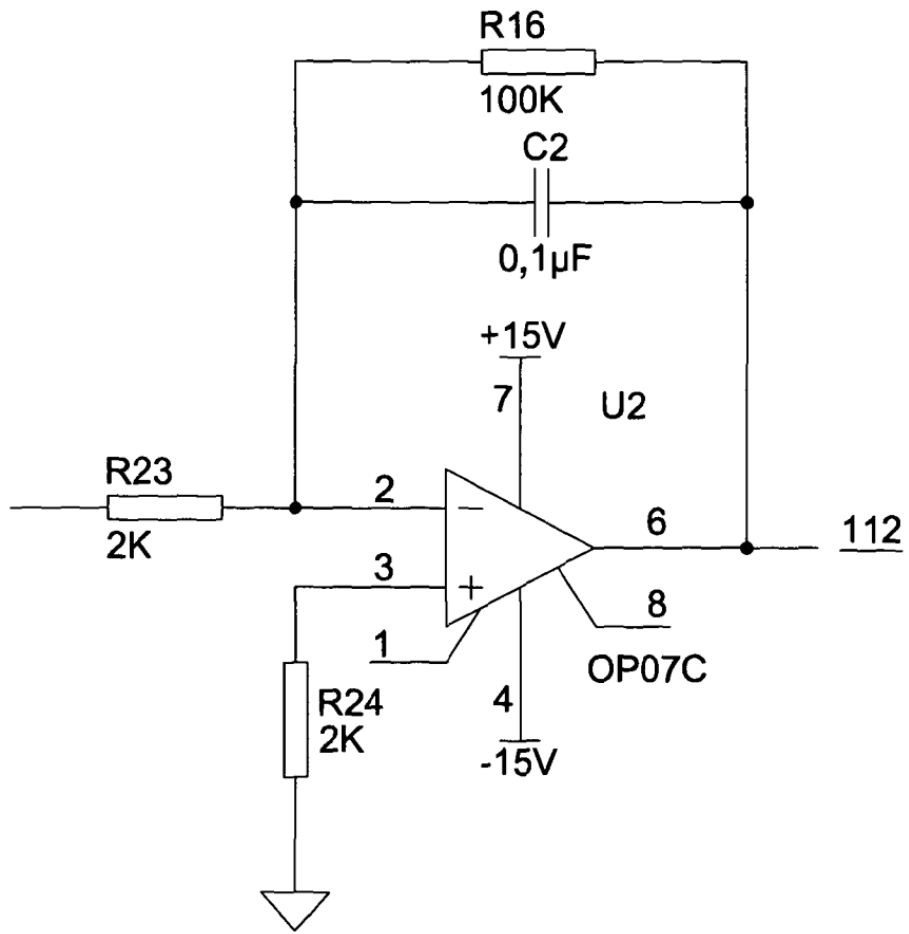


Fig 6

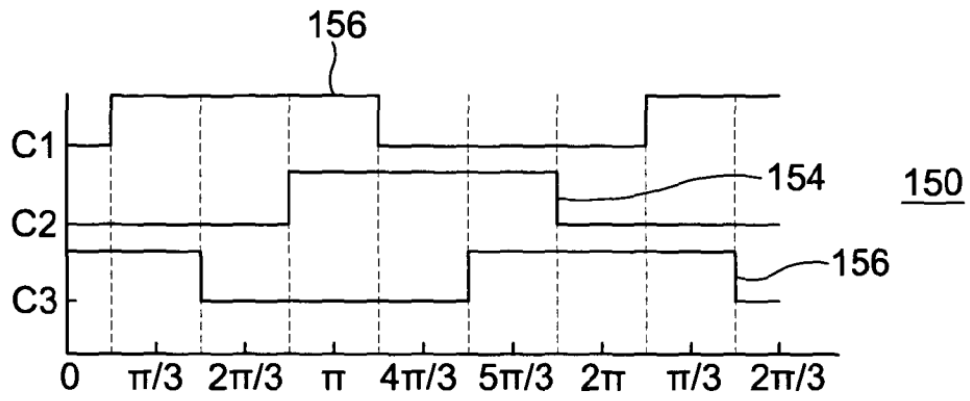


Fig 7a

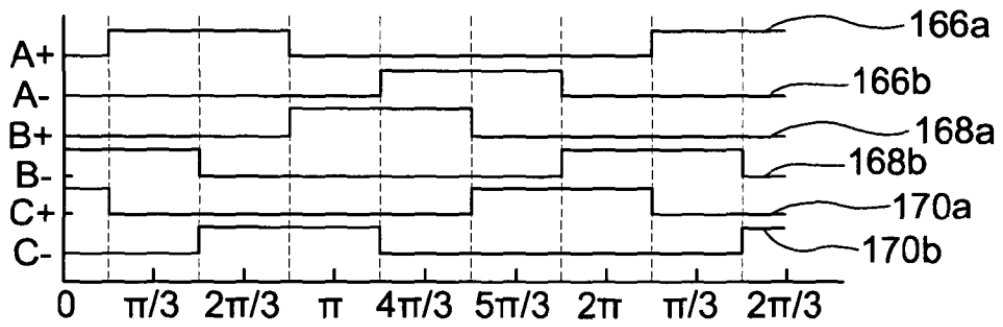


Fig 7b

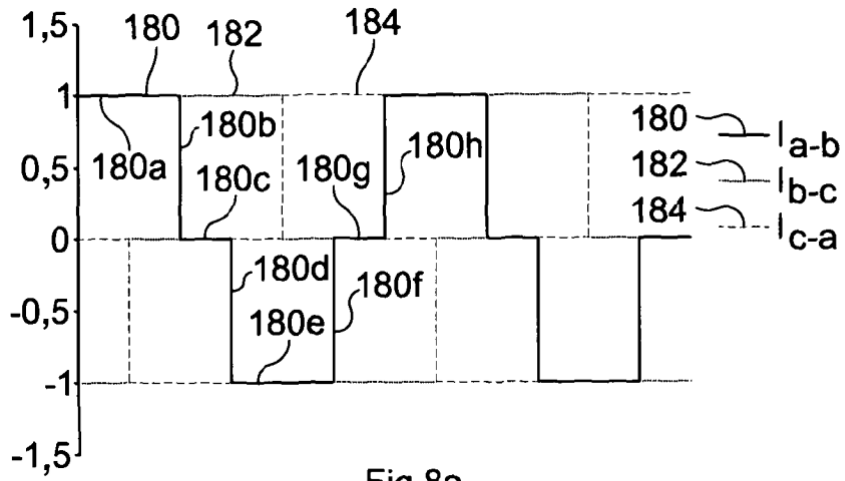


Fig 8a

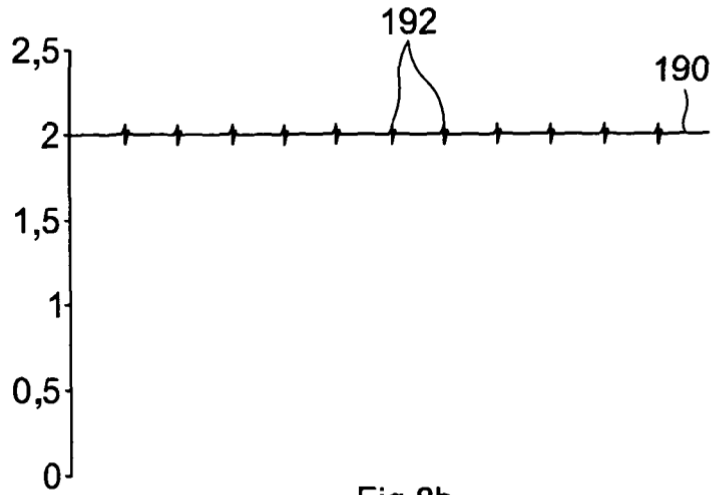


Fig 8b

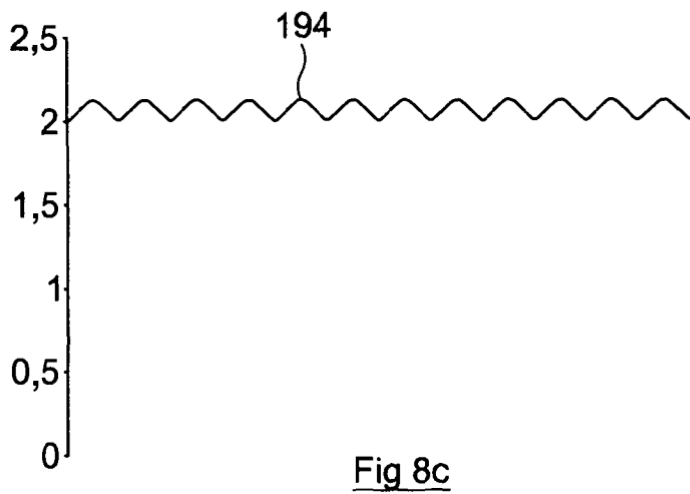


Fig 8c