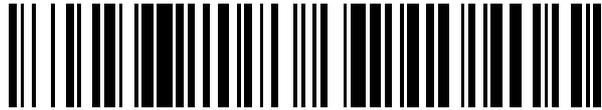


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 572 653**

51 Int. Cl.:

H02K 1/14 (2006.01)

H02K 21/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.09.2010 E 10754938 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.04.2016 EP 2481142**

54 Título: **Dispositivo de estator y máquina eléctrica**

30 Prioridad:

21.09.2009 DK 200970119
21.09.2009 US 244281 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.06.2016

73 Titular/es:

HÖGANÄS AB (100.0%)
Bruksgatan 35
263 83 Höganäs, SE

72 Inventor/es:

ATKINSON, GLYNN JAMES;
JACK, ALAN G. y
MECROW, BARRIE

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 572 653 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

Dispositivo de estator y máquina eléctrica

Campo de la invención

5 Esta invención se refiere en general a máquinas eléctricas. Más particularmente, la invención se refiere a una máquina de flujo transversal trifásica rotativa o linealmente móvil con una estructura de rotor o motor de imanes permanentes. Este tipo de máquina podría utilizarse como motor o generador dependiendo del área de aplicación. Una máquina linealmente móvil también puede considerarse como una máquina lineal, una máquina transversalmente móvil o una máquina de movimiento de traslación.

Antecedentes de la invención

10 La topología de máquina de flujo transversal (TFM) es un ejemplo de una máquina de polos modulados. Se sabe que tiene una serie de ventajas sobre las máquinas convencionales. El diseño básico de un estator de flujo radial de un solo lado se caracteriza por un solo devanado de fase sencillo paralelo al entrehierro y con una sección de culata más o menos en forma de U que rodea el devanado y que expone dos filas paralelas principales de dientes frente al entrehierro. La disposición fase múltiple del estado de la técnica se caracteriza por el apilamiento de unidades de
15 una sola fase magnéticamente separadas perpendiculares a la dirección de movimiento del rotor o motor. Las fases estén entonces desplazadas eléctrica y magnéticamente en 120 grados para una disposición trifásica con el fin de suavizar la operación y producir una fuerza o par de torsión más o menos uniforme independiente de la posición del rotor o motor. Obsérvese aquí que el ángulo mencionado se da en grados eléctricos, lo que es equivalente a grados mecánicos dividido por el número de pares de polos magnéticos.

20 Un motor cilíndrico utiliza un estator y un rotor concéntricos y el movimiento se considera entonces como rotacional o como una rotación sin fin. Una máquina lineal utiliza un movimiento de traslación que normalmente no es un patrón de movimiento cerrado, sino que puede ser un movimiento hacia atrás y hacia adelante a lo largo de una "línea". La máquina o mecanismo impulsor lineal tiene un motor en vez de un rotor. El circuito magnético puede disponerse según los mismos principios magnéticos básicos tanto en el rotor como en el motor, sin embargo, diferirán las
25 geometrías.

Un ejemplo de una disposición de rotor o motor eficiente es el uso de los llamados imanes enterrados combinados con secciones o piezas de polo magnético dulce para permitir que el flujo de imán permanente concentre el flujo o sea flexible en una dirección transversal al movimiento, como se describe, por ejemplo, en la solicitud de patente WO2007/024184 de Jack y otros.

30 El documento WO2007/024184 revela una máquina eléctrica rotativa que incluye una primera sección de núcleo de estator que es sustancialmente circular y que incluye una pluralidad de dientes, una segunda sección de núcleo de estator que es sustancialmente circular y que incluye una pluralidad de dientes, una bobina dispuesta entre la primera y segunda secciones de núcleo de estator circulares y un rotor que incluye una pluralidad de imanes permanentes. La primera sección de núcleo de estator, la segunda sección de núcleo de estator, la bobina y el rotor rodean un eje geométrico común, y la pluralidad de dientes de la primera sección de núcleo de estator y la segunda
35 sección de núcleo de estator están dispuestos para sobresalir hacia el rotor. Además, los dientes de la segunda sección de núcleo de estator están circunferencialmente desplazados con respecto a los dientes de la primera sección de núcleo de estator, y los imanes permanentes del rotor están separados en la dirección circunferencial uno de otro por secciones de polos que se extienden axialmente fabricadas de material magnético dulce.

40 El apilamiento de las secciones de fase de estator individuales está basado normalmente en una separación magnética física entre las secciones de fase individuales para reducir el acoplamiento magnético entre las fases que posiblemente pueda tener el efecto de reducir el flujo efectivo en el entrehierro durante la operación.

45 Es deseable en algunas aplicaciones proporcionen una máquina que sea tan geoméricamente compacta como sea posible para encajar en un espacio limitado dado y que sea capaz de tener un alto rendimiento específico en volumen expresado, por ejemplo, como par por volumen [Nm/m^3].

Un esquema convencional de accionamiento sinusoidal o trapezoidal trifásico con un desfase de 120 grados equilibrado no acopla magnéticamente en su totalidad el núcleo durante los ciclos temporales de operación y, por lo tanto, una parte importante del volumen total de núcleo de estator se utiliza constantemente de manera ineficiente.

50 Por lo tanto, la técnica anterior revela la sintonización de un conjunto de tres unidades de fase en órdenes de fase 0° , 120° y 240° .

Sigue siendo un problema optimizar los números o valores de rendimiento, tales como par por volumen y/o par por corriente.

El documento EP 1005136 revela una máquina de flujo transversal que tiene fases combinadas. El documento EP 1005136 revela un dispositivo de estator según el preámbulo de la reivindicación 1. Sin embargo, sigue siendo

deseable proporcionar una construcción más sencilla de una máquina eléctrica de este tipo.

El documento DE 100 50 352 revela una máquina eléctrica para el accionamiento de frenos de disco.

Sumario

5 Se revelan un dispositivo de estator para una máquina eléctrica tal como se define en la reivindicación 1 y una máquina eléctrica que comprende dicho dispositivo de estator y un dispositivo móvil, tal como se define en la reivindicación 10.

10 Cada fase del dispositivo de estator está formada por dos secciones de núcleo de estator en los que los dientes de una primera sección de núcleo de estator de una primera de dos fases vecinas y los dientes correspondientes de una segunda sección de núcleo de estator de una segunda de las dos fases vecinas se forman como un conjunto común de dientes que proporciona una trayectoria de flujo magnética compartida por ambas fases vecinas.

15 Por lo tanto, los dientes de fases vecinas funcionan magnéticamente como un conjunto común de dientes que son comunes a las dos fases vecinas/adyacentes, y que son compartidos magnéticamente por las dos fases vecinas/adyacentes. El dispositivo móvil y el dispositivo de estator tienen cada uno una construcción sencilla que implica unas pocas partes. Cada una de las partes del dispositivo móvil tiene una forma geométrica sencilla, permitiendo de este modo una construcción eficiente y económica.

20 Los dientes de la primera sección de núcleo de estator de la primera de las dos fases vecinas se encuentran situados en las mismas posiciones (a lo largo de la dirección perpendicular a la dirección de movimiento del dispositivo móvil) que los dientes correspondientes de la segunda sección de núcleo de estator de la segunda de las dos fases vecinas, es decir, los dientes de las secciones de núcleo de estator adyacentes de las fases vecinas están alineados entre ellos en la dirección perpendicular a la dirección de movimiento del dispositivo móvil. La primera sección de núcleo de estator de una primera fase y una segunda sección de núcleo de estator de una segunda fase pueden estar formadas como dos unidades separadas dispuestas espalda con espalda, por ejemplo apoyándose entre ellas, o pueden estar formadas como una sola unidad, formando así una sección de núcleo de estator común a las fases vecinas.

25 En consecuencia, es una ventaja que las fases se combinen para compartir magnéticamente una sección de núcleo de estator durante la operación, ya que esto hace que una parte significativa del volumen total del núcleo de estator se utilice constantemente de manera eficiente.

Es una ventaja que se mejore el ciclo de trabajo de magnetización, dado que se comparten trayectorias de flujo entre las fases vecinas.

30 Es una ventaja que el dispositivo de estator pueda funcionar como una máquina de flujo transversal de un solo lado, dado que así se mejora el rendimiento específico en volumen y peso. De este modo, pueden mejorarse los números de rendimiento para, por ejemplo, par por volumen y/o par por corriente.

35 Es una ventaja que se pueda reducir la anchura geométrica de la máquina en una dirección perpendicular a la dirección de movimiento, dado que una sección de separación magnética entre las fases da como resultado una anchura geométrica más grande.

Además, es una ventaja que una máquina eléctrica rotativa pueda comprender imanes permanentes con una longitud total axialmente más corta que en un dispositivo de estator convencional con fases separadas. Es una ventaja adicional que los imanes permanentes axialmente más cortos darán como resultado un menor coste.

40 Cuando la sección de estator común de fases vecinas se forma como una sola unidad, se requiere un número reducido de componentes para el dispositivo de estator, dado que una sección de núcleo de estator se comparte entre dos o más fases. En dispositivos de estator de la técnica anterior, cada fase tiene su propio conjunto separado de secciones de núcleo de estator.

Además, es una ventaja que haya un nivel mayor de integración de los componentes, ya que así el dispositivo de estator puede ser más robusto y puede ser más fácil de fabricar.

45 Un conjunto de dientes se define como un grupo de dientes, tales como una pluralidad de dientes.

Dado que las fases están dispuestas lado con lado en una dirección perpendicular a la dirección de movimiento del dispositivo móvil, la dirección será axial en una máquina rotativa.

Un dispositivo móvil puede ser un rotor en un dispositivo rotativamente móvil o un motor en un dispositivo linealmente móvil.

50 En algunas realizaciones, la sección de núcleo de estator es una estructura magnética dulce. Es una ventaja que la utilización mejorada de una estructura magnética dulce provoque un rendimiento mejorado por volumen. En una realización, las secciones de núcleo de estator están hechas de polvo magnético dulce. Al fabricar las secciones de

núcleo de estator a partir de polvo magnético dulce puede simplificarse la fabricación del dispositivo de estator y puede ser más eficiente la concentración de flujo magnético, utilizando la ventaja de trayectorias de flujo tridimensionales eficaces.

5 Cada sección de núcleo de estator puede comprender una sección posterior de núcleo de estator y un conjunto de dientes que se extienden desde la sección de núcleo de estator, en donde la sección posterior de núcleo de estator conecta los dientes y proporciona una trayectoria de flujo entre dientes vecinos en la dirección de movimiento. Una sección de núcleo de estator puede comprender además una sección de culata que proporciona una trayectoria de flujo en la dirección lateral hacia otra sección de núcleo de estator que comprende otro de los conjuntos de dientes de la misma fase.

10 En algunas realizaciones, el dispositivo de estator comprende una única sección de culata que conecta las secciones de núcleo de estator de todas las fases. En una máquina rotativa, el puente de flujo puede ser una sección de culata de estator dispuesta concéntricamente con las secciones primera y segunda de núcleo de estator. Mediante la disposición de tal sección de núcleo de estator puede facilitarse y ser más rentable el proceso de fabricación de las partes del conjunto de estator y el proceso de montaje del conjunto de estator.

15 La sección de núcleo de estator puede así fabricarse de manera que solamente comprenda un pequeño número de piezas, y permitir que cada diente de un conjunto de dientes se comuniquen magnéticamente con más de un diente de otro de los conjuntos de dientes de la misma fase.

20 El dispositivo de estator es un estator trifásico. Un número impar de fases es ventajoso porque la suma instantánea de las corrientes es cero, lo que significa que el número de cables de alimentación hacia la máquina se reduce en uno, y el número de dispositivos de conmutación necesarios en el convertidor se reduce en dos. El número mínimo de fases impares y múltiples es, por tanto, tres.

25 En algunas realizaciones, la máquina eléctrica es una máquina rotativa. El dispositivo móvil es un rotor. En este caso, la primera sección de núcleo de estator, la segunda sección de núcleo de estator, la bobina y el rotor pueden rodear un eje geométrico común. En una máquina rotativa, la dirección lateral es una dirección axial de la máquina, y la dirección de movimiento es una dirección circunferencial de la máquina.

30 Los imanes permanentes en el dispositivo móvil están separados en la dirección de movimiento uno respecto del otro unas secciones de polos que se extienden lateralmente en forma de varillas rectilíneas. Las secciones de polos pueden estar hechas de un polvo magnético dulce. Los imanes permanentes pueden imantarse en la dirección de movimiento y con orientación alterna. En general, los imanes permanentes también pueden ser varillas rectilíneas alargadas en la dirección lateral; las varillas se pueden extender a través de la extensión lateral del entrehierro activo.

En algunas realizaciones la máquina eléctrica es una máquina de polos modulados, tal como una máquina de flujo transversal.

35 En máquinas convencionales, las bobinas forman explícitamente la estructura de múltiples polos del campo magnético, y la función del núcleo magnético es sólo hacer que este campo multipolar se vincule con el imán y/u otras bobinas.

40 En una máquina de polos modulados, es el circuito magnético el que forma el campo magnético multipolar a partir de un campo de polos mucho menor, usualmente dos campos, producido por la bobina. En una máquina de polos modulados, los imanes usualmente forman el campo multipolar de emparejamiento de forma explícita, pero es posible hacer que el circuito magnético forme campos multipolares de un único imán.

La máquina de polos modulados tiene una trayectoria de flujo tridimensional (3D) que utiliza trayectorias de flujo magnético en la dirección transversal tanto en el estator como en el dispositivo móvil, por ejemplo en la dirección axial en una máquina rotativa, en la que el dispositivo móvil es un rotor. Las trayectorias de flujo tridimensionales son particularmente adecuadas cuando se utiliza el estator de fases combinadas.

45 Así, en algunas realizaciones, el dispositivo de estator y/o el dispositivo móvil comprenden una trayectoria de flujo tridimensional (3D) que incluye una componente de trayectoria de flujo en la dirección transversal con respecto a la dirección de movimiento.

50 El beneficio de tener la modulación es que cada polo ve toda la fuerza magnetomotriz (MMF) de la de la bobina, de modo que a medida que aumenta el número de polos, la intensidad de campo magnético (MMF/metro) se eleva con él sin ningún cambio en la bobina. Esto puede ser comparado con una máquina convencional en la que, a medida que aumenta el número polos, también lo hace el número de bobinas y, por lo tanto, cada bobina es cada vez más pequeña. Sin embargo, el paso geométrico polar también cae con el número de polos, de modo que, a medida que aumenta el número de polos, la intensidad de campo magnético es más o menos constante en una máquina convencional, dado que la reducción de MMF/bobina equilibra la reducción del paso geométrico polar.

55 El diseño natural para una máquina de polos modulados es de un alto número de polos. Esto puede hacer posible

una carga eléctrica muy alta, es decir, la intensidad de campo magnético, con requisitos modestos para el volumen del conductor requerido.

Así, una máquina de polos modulados mostrará su mayor ventaja en circunstancias en las que el número de polos es alto y es baja la posible carga eléctrica usando bobinas convencionales.

- 5 En algunas realizaciones la máquina de polos modulados comprende una disposición o extensión de polos garra. Para máquinas de polos modulada, tomando como fija una geometría que forma el par de fuerzas a partir de una superficie circunferencial/axial, es decir, una máquina de campo radial, el campo se puede llevar radialmente a través del entrehierro con el circuito magnético, circunferencialmente en un paso geométrico polar, lo que puede realizarse en el estator o el rotor, o parcialmente en ambos, y axialmente en ambas direcciones para encerrar la bobina. Si el circuito axial está cerrado en el estator alrededor de la bobina, se produce la disposición de polo garra.

- 10 Una disposición o extensión de polos garra se puede utilizar junto con las fases combinadas, pero la extensión de garra axial deberá limitarse o ser pequeña con el fin de no causar fugas. Puede ocurrir una fuga cuando las garras se solapan entre ellas, ya que estas caras de solapamiento pueden proporcionar una trayectoria no deseada para el flujo de fuga. Incluso si las garras se extienden solamente hasta la mitad de la anchura axial de fase, éstas pueden llegar muy cerca y pueden causar una gran cantidad de fugas magnéticas no deseadas, por lo que sólo deben utilizarse garras pequeñas o menores cuando se utilizan fases combinadas. Por lo tanto, es posible utilizar garras menores, definidas como polos semigarra, para ajustar el área de punta de polo, pero las garras pueden no ser capaces de superponerse axialmente, dado que el desfase de las fases combinadas obstaculiza la extensión libre de garras a través de la extensión axial de los estatores.

20 Breve descripción de los dibujos

Los objetos, características y ventajas anteriores y/o adicionales de la presente invención se aclararán adicionalmente mediante la siguiente descripción detallada ilustrativa y no limitativa de realizaciones de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 muestra ejemplos de una máquina y dispositivo de estator de la técnica anterior con fases separadas.

- 25 La figura 2 muestra un ejemplo alternativo de una sección transversal de una máquina trifásica con fases separadas.

La figura 3 muestra un ejemplo alternativo de un diagrama fasorial de flujo magnético de una máquina trifásica con fases separadas

La figura 4 muestra un ejemplo alternativo de una disposición de estator de una máquina trifásica con fases separadas que muestra un estator desde la dirección normal al plano de entrehierro.

- 30 La figura 5 muestra una realización de un dispositivo de estator con fases magnéticamente combinadas.

La figura 6 muestra una sección transversal de una realización de una máquina trifásica con fases magnéticamente combinadas.

La figura 7 muestra un diagrama fasorial de flujo magnético de una realización de una máquina trifásica con fases magnéticamente combinadas.

- 35 La figura 8 muestra una realización de una disposición de estator de una máquina trifásica con fases magnéticamente combinadas que muestra un estator desde la dirección normal al plano de entrehierro.

La figura 9 muestra una realización de la estructura de una máquina trifásica con fases magnéticamente combinadas.

- 40 La figura 10a muestra una realización de la estructura de una máquina trifásica linealmente móvil. La figura 10b muestra un ejemplo alternativo de una estructura de una máquina trifásica linealmente móvil.

La figura 11 muestra realizaciones de la estructura de máquinas trifásica con fases magnéticamente combinadas y polos semigarra.

La figura 12 muestra un ejemplo de trayectorias de flujo en el dispositivo de estator y en el dispositivo móvil.

Descripción detallada

- 45 En la siguiente descripción, se hace referencia a las figuras adjuntas que muestran a modo de ilustración cómo puede ser practicada la invención.

Las figuras 1-4 muestran ejemplos alternativos de una máquina trifásica con fases separadas que puede denominarse máquina de polos modulados con fases separadas (SPMPM).

Las figuras 1a)-1b) muestran un ejemplo de una máquina trifásica radial. Una máquina eléctrica rotativa comprende

un conjunto de estator y un rotor. Para los fines de la presente descripción, los números de referencia primados con ' se refieren en general a una característica de una primera fase, con " a una característica correspondiente de una segunda fase y con "" a una característica correspondiente de una tercera fase, mientras que los números de referencia sin prima se refieren a las características correspondientes de todas las fases. Se muestran tres conjuntos de estator 10', 10", 10"", y cada conjunto de estator comprende una primera sección 14 de núcleo de estator, una segunda sección 16 de núcleo de estator, una sección 18 de culata de estator y una bobina 20. Se muestran tres rotores 12', 12", 12"", y cada rotor 12 comprende imanes permanentes 22 y secciones 24 de polos. Se muestra un eje 50 sobre el que está montado el rotor. Cada sección 14, 16 de núcleo de estator es de forma esencialmente circular e incluye una pluralidad de dientes 26 que se extienden radialmente. Los dientes están dispuestos para extenderse hacia el rotor 12 con el fin de formar una trayectoria de flujo de circuito cerrado con el rotor 12.

Cada una de las secciones de fase, es decir, máquinas de una sola fase, se muestra incluyendo su propio rotor, es decir, cada sección de fase se corresponde completamente con una máquina de una sola fase.

La figura 1c) muestra un ejemplo de separación espacial entre fases según la técnica anterior. En la figura se muestra la primera sección 14', 14", 14"" de núcleo de estator de cada fase. La separación espacial en este ejemplo se refiere a los dientes 26 de la sección de núcleo de estator de una fase que están desplazados circunferencialmente con respecto a los dientes de la sección de núcleo de estator de las otras fases

El ejemplo esquemático de un dispositivo de estator con fases separadas en la figura 1d) muestra tres fases separadas, la fase 1 del conjunto 10' de estator, la fase 2 del conjunto 10" de estator y la fase 3 del conjunto 10"" de estator. Cada unidad básica o unidad de fase comprende una sola bobina o núcleo 20, una primera sección 14 de núcleo de estator, una segunda sección 16 de núcleo de estator y una sección 18 de culata de estator. Esta unidad de fase crea un par de torsión unidireccional pero pulsante.

La figura 2 muestra una sección transversal de una máquina de polos modulados con fases separadas (SPMPM). La fase 1 se indica por A, la sección 14' de núcleo de estator y el conjunto 10' de estator, la fase 2 se indica por B, la sección 14" de núcleo de estator y el conjunto 10" de estator, y la fase 3 se indica por C, la sección 14"" de núcleo de estator y el conjunto 10"" de estator. Se muestran para cada unidad de fase la primera sección 14 de núcleo de estator, la segunda sección 16 de núcleo de estator, y la sección 18 de culata de estator. Se ve el rotor 12 y se ve el entrehierro 30 entre el rotor y cada uno de los conjuntos 10', 10", 10"" de estator. Se ve la trayectoria de flujo magnético, Ψ , para cada una de las fases, Ψ_A para la fase A, Ψ_B para la fase B y Ψ_C para la fase C. Se muestra también el valor de los flujos separados, + o -, en el entrehierro 30.

La figura 3 muestra un diagrama fasorial de flujo magnético de las unidades de fase separadas. El desplazamiento de las unidades de fase es de 120° . El flujo magnético de la fase 1 se indica por Ψ_A , el flujo magnético de la fase 2 se indica por Ψ_B y el flujo magnético de la fase 3 se indica por Ψ_C .

La figura 4 muestra un ejemplo del desplazamiento de las unidades de fase, la fase A, la fase B y la fase C, con respecto al polo del rotor. La referencia de polo del rotor está indicada por el rectángulo 121 de puntos a través de la fase A, la fase B y la fase C. Se muestran los dientes 26 y las bobinas 20 de las unidades de fase. Los dientes 26 son parte de las secciones de núcleo de estator, como se ve en la figura 1b). Se ven los desplazamientos de 120° entre las unidades de fase y éstos se indican por la posición de los números 0° , 120° , 240° y 360° .

Cada una de estas unidades de fase tiene dos conjuntos de dientes 26 de armadura, como se ve en la figura 1b), en donde la primera sección 14 de núcleo de estator incluye un conjunto de dientes y la segunda sección 16 de núcleo de estator incluye el otro conjunto de dientes. Un conjunto emana del lado izquierdo de la bobina 20 y tiene un polo norte cuando se excita con una cierta dirección de la corriente de armadura y el otro conjunto emana del lado derecho de la bobina 20 y tiene un polo sur cuando es excitado por la misma dirección de corriente.

Cuando se usan múltiples unidades de fase que están separadas entre ellas axialmente, esto significa que los dientes en el lado derecho de la unidad más a la izquierda están en estrecha proximidad con los dientes del lado izquierdo de la unidad de fase siguiente y así sucesivamente para cada una de las unidades con lados enfrentados.

Sin embargo, esta estrecha proximidad no es beneficiosa para las elecciones más obvias del desplazamiento angular de los dientes.

Las figuras 5-9 muestran realizaciones de una máquina trifásica con fases combinadas, que se puede denominar máquina de polos modulados con fases combinadas (CPMPM)

La máquina de fases combinadas comprende un conjunto 10 de estator, como se ve en la figura 5 y en la figura 6, y un dispositivo móvil 12, por ejemplo un rotor, como se ve en la figura 6. En las figuras 5, 6 y 8, los números de referencia con ' se refieren a una característica de una primera fase, con " a una característica de una segunda fase y con "" a una característica de una tercera fase.

La figura 5 muestra que el conjunto 10 de estator comprende tres fases, la fase 1, la fase 2 y la fase 3. La fase 1 y la fase 3 pueden designarse como fases periféricas y la fase 2 puede designarse como fase interna. Cada fase comprende una sola bobina o núcleo 20, al que se le puede suministrar diferentes tensiones de operación, por

ejemplo de onda sinusoidal o cuadrada. Cada fase comprende además una primera sección 14 de núcleo de estator y una segunda sección 16 de núcleo de estator. Como se ve en la figura, la primera sección 14" de núcleo de estator de la fase 2 y la segunda sección 16' de núcleo de estator de la fase 1 están formadas como una sola unidad. Del mismo modo, la primera sección 14''' de núcleo de estator de la fase 3 y la segunda sección 16" de núcleo de estator de la fase 2 están formadas como una sola unidad. Además, la primera sección 14' de núcleo de estator de la fase 1 es una sola unidad que no está compartida con ninguna otra fase, e igualmente la segunda sección 16''' de núcleo de estator de la fase 3 es una sola unidad. De este modo, existen cuatro unidades solas, en donde dos de las dos unidades solas están compartidas cada una de ellas entre dos fases diferentes. El conjunto 10 de estator comprende una sección 18 de culata de estator, la cual es común para, y está compartida con, todas las fases. La sección de culata de estator está dispuesta para proporcionar una trayectoria de flujo magnético entre las secciones de núcleo de estator, actuando así como un puente de flujo. El material utilizado para la sección de culata de estator puede ser polvo magnético dulce con el fin de facilitar el montaje del estator y proporcionar una transición de reluctancia relativamente baja entre una primera y una segunda sección de núcleo de estator.

En la figura 5 no se muestra un dispositivo móvil, pero un dispositivo móvil se configuraría para estar dispuesto en la parte superior de la figura, de modo que el dispositivo móvil esté cerca de las bobinas 20.

La figura 6 muestra una sección transversal de la máquina trifásica de polos modulados con fases combinadas (CPMPM). El conjunto 10 de estator comprende la fase 1 indicada por A, la fase 2 indicada por B y la fase 3 indicada por C. La primera sección 14 de núcleo de estator y la segunda sección 16 de núcleo de estator se muestran para cada unidad de fase. La sección 18 de culata de estator es compartida por, y es común a, las tres fases. Se muestra un dispositivo móvil 12, que puede ser un rotor o motor, y el dispositivo móvil comprende secciones de imanes permanentes y secciones de polos (no mostradas), que pueden fabricarse de un material magnético dulce. Las secciones de polos están dispuestas entre los imanes permanentes, separando así los imanes permanentes unos de otros. Se revela más información sobre las secciones de polos, los imanes permanentes y el flujo en el documento WO2007/024184.

Si el dispositivo móvil 12 es un rotor, el rotor 12 puede estar dispuesto sobre un eje o árbol (no mostrado), y posicionados en el centro del conjunto 10 de estator o, si el rotor es un tipo de rotor exterior, alrededor del conjunto de estator. Si el dispositivo móvil 12 es un motor, el dispositivo puede ser un dispositivo plano lineal que no tiene nada dentro o fuera como rotor, sino que, en lugar de ello, el motor se mueve sólo arriba y abajo o hacia la derecha o hacia la izquierda. También se muestra en la figura 6 un entrehierro 30 entre el conjunto 10 de estator común y el dispositivo móvil 12. El dispositivo móvil 12, por ejemplo el rotor, está dispuesto para interacción con las tres secciones de fase, es decir, el rotor se puede extender en la dirección axial con el fin de interactuar con las tres secciones de fase. La máquina eléctrica puede comprender secciones de fase radiales o secciones de fase axiales o una combinación. Cada una de las secciones del núcleo de estator, 14', 16', 14'', 16'', 14''' y 16''', puede ser esencialmente de forma circular e incluir una pluralidad de dientes que se extienden radialmente, como se ve en la figura 8. Los dientes están dispuestos para extenderse hacia el dispositivo móvil 12, por ejemplo el rotor, con el fin de formar una trayectoria de flujo de circuito cerrado con el rotor 12. Los dientes pueden extenderse hacia dentro y hacia un rotor interior, o el rotor puede estar dispuesto fuera de las secciones 14, 16 de núcleo de estator, por lo que en cambio los dientes deberán disponerse para extenderse radialmente hacia el exterior en lugar. Se ve la trayectoria de flujo magnético Ψ para cada una de las fases, Ψ_A para la fase A, Ψ_B para la fase B y Ψ_C para la fase C. También se muestran los valores de los flujos combinados en el entrehierro 30.

Las secciones primera 14 y segunda 16 de núcleo de estator pueden estar desplazadas axialmente una con relación a la otra y pueden ser dispuestas alrededor de un eje común. Cada bobina 20 puede estar dispuesta entre la primera 14 y la segunda 16 sección de núcleo de estator. La ventaja de disponer la bobina 20 de esta manera es que se ve toda la MMF (fuerza magnetomotriz) por cada polo y, por tanto, esto da como resultado una alta carga eléctrica y un alto rendimiento para un tamaño y/o coste dados. La sección 18 de culata de estator puede estar dispuesto concéntricamente con la primera 14 y la segunda 16 sección de núcleo de estator. La sección 18 de culata de estator puede ser sustancialmente de una anchura, en la dirección axial, que se corresponda con la anchura del conjunto de la primera 14 y la segunda 16 sección de núcleo de estator y la bobina 20, con el fin de disponerse como un puente de flujo entre la primera 14 y la segunda 16 sección de núcleo de estator. Al hacer la sección 18 de culata de estator de polvo magnético dulce, la eficiencia de la trayectoria de flujo tridimensional que va desde la primera 14 y la segunda 16 sección de núcleo de estator se aumenta con respecto a una realización en la que la sección 18 de culata de estator se fabrica con laminados. Además, una de las secciones primera 14 y segunda 16 de núcleo de estator puede desplazarse rotativamente con respecto a la otra de la primera 14 y la segunda 16 sección de núcleo de estator. Este desplazamiento da como resultado que los dientes, véase la figura 8, de una de la primera 14 y la segunda 16 sección de núcleo de estator están posicionados en una posición circunferencial diferente de la posición circunferencial de los dientes de la otra de la primera 14 o la segunda 16 sección de núcleo de estator. Cada diente de una de entre la primera 14 o la segunda 16 sección de núcleo de estator puede estar situado, en la dirección circunferencial, en el medio del hueco entre dos dientes de la otra de la primera 14 o la segunda 16 sección de núcleo de estator.

El concepto de desplazar los dientes de una de la primera 14 o la segunda 16 sección de núcleo de estator con respecto a los dientes de la otra sección de núcleo de estator es ventajoso con el fin de hacer un uso eficaz del diseño anteriormente descrito y más eficaz del dispositivo móvil.

La figura 8 muestra el desplazamiento de las unidades de fase combinadas, fase A, fase B y fase C, con respecto al polo del dispositivo móvil, por ejemplo el polo del rotor. La referencia 121 de polo de rotor está indicada por el rectángulo de puntos a través de la fase A, la fase B y la fase C. Se muestra la bobina 20 de cada una de las unidades de fase. Cada fase, A, B, C, comprende una primera sección de núcleo de estator (no mostrada) y una segunda sección de núcleo de estator (no mostrada), y las secciones de núcleo de estator comprenden dientes. Como se ha visto en la figura 5, la primera sección 14" de núcleo de estator de la fase 2, que se corresponde aquí con la fase B, y la segunda sección 16' de núcleo de estator de la fase 1, que se corresponde aquí con la fase A, están formadas como una sola unidad. Por lo tanto, los dientes 27 son compartidos por las fases A y B. Del mismo modo, la primera sección 14 de núcleo de estator de la fase 3, que se corresponde aquí con la fase C, y la segunda sección 16" de núcleo de estator de la fase 2, que se corresponde aquí con la fase B, están formadas como una sola unidad y, por lo tanto, los dientes 28 son compartidos por las fases B y C. Además, la primera sección 14' de núcleo de estator de la fase 1, que se corresponde aquí con la fase A, es una sola unidad, y los dientes 26' no son compartido por dos fases. Asimismo, la segunda sección 16"" de núcleo de estator de la fase 3, que se corresponde aquí con la fase C, es una sola unidad, y los dientes 26"" no son compartidos por dos fases. Por lo tanto, hay cuatro unidades individuales, en donde dos de las unidades individuales están compartidas cada una de ellas por dos fases distintas, con lo que cada uno de los dientes del conjunto de dientes 27 y 28 es compartido por dos fases diferentes. Los desplazamientos entre las fases se ven y se indican por la posición de los números 0°, 150°, 270° y 60°, respectivamente, que se describen en más detalle a continuación.

Así, puede usarse un único conjunto de dientes para compartir fases secuenciales en lugar de utilizar unidades de fase separadas. La selección de la orientación apropiada de cada conjunto de dientes puede proporcionar un beneficio significativo. Si, por ejemplo, se proporciona una máquina trifásica con tres bobinas dispuestas axialmente, esto da cuatro conjuntos de dientes, uno en cada extremo, y un conjunto entre las fases 1 y 2 y otro conjunto entre las fases 2 y 3; véase la figura 8. La elección del ángulo no es intuitiva, pero deberá ser 0°, 150°, 270° y 60° para cada uno de los cuatro conjuntos de dientes tomados de un extremo al otro.

Los conjuntos centrales de los dientes tienen una anchura axial diferente de la de los conjuntos de dientes en los extremos, como se ve en la figura 8, lo cual proporciona un ligero ajuste en anchura axial para hacer un conjunto verdaderamente equilibrado de enlaces de flujo y pares entre las tres fases.

Se muestra en la figura 9 un ejemplo de la estructura de una máquina trifásica rotativa con fases combinadas. La figura 9 muestra un dispositivo 10 de estator y un dispositivo móvil 12 con la forma de un rotor. Los números de referencia con ' se refieren a una característica de una primera fase, con " a una característica de una segunda fase y con "" a una característica de una tercera fase. El dispositivo 10 de estator comprende tres fases, en donde cada fase comprende una bobina 20, una primera sección 14 de núcleo de estator y una segunda sección 16 de núcleo de estator. Se muestra un rotor 12 que encierra el dispositivo 10 de estator. El rotor 12 comprende unos imanes permanentes 22 y unas secciones 24 de polos que se extienden a lo largo de todo el dispositivo 10 de estator. Puede disponerse un eje sobre el que está montado el estator (no mostrado). Cada sección 14, 16 de núcleo de estator es esencialmente de forma circular e incluye una sección posterior 29 de núcleo de estator y una pluralidad de dientes que se extienden radialmente y que se prolongan desde la sección posterior de núcleo de estator. Los dientes están dispuestos para extenderse hacia fuera en dirección al rotor 12 para formar una trayectoria de flujo de circuito cerrado con el rotor 12. La sección posterior 29 de núcleo de estator conecta los dientes en la dirección circunferencial. Las secciones de núcleos de estator comprenden además una sección 23 de culata que se extiende axialmente desde la sección posterior 29 de núcleo de estator hacia la sección de núcleo de estator vecina con el fin de proporcionar un puente de flujo axial.

La segunda sección 16' de núcleo de estator de la fase 1 y la primera sección 14" de núcleo de estator de la fase 2 se disponen como una unidad, es decir, como una sección de núcleo de estator combinada, con lo cual la fase 1 y fase 2 comparten una sección de núcleo de estator. Por lo tanto, los dientes 27 de la unidad de fase combinada están dispuestos para ser compartidos entre la fase 1 y la fase 2, con lo cual el conjunto de dientes de la primera sección 14" de estator de la fase 2 y el conjunto de dientes de la segunda sección 16' de núcleo de estator de la fase 1 se forman como una unidad. Los dientes 28 de la unidad de fase combinada están dispuestos para ser compartidos entre la fase 2 y la fase 3, con lo que el conjunto de dientes de la primera sección 14"" de estator de la fase 3 y el conjunto de dientes de la segunda sección 16" de núcleo de estator de la fase 2 se forman como una unidad. Los dientes 26 en cada extremo del dispositivo 10 de estator no se comparten entre dos fases y, por lo tanto, los dientes 26' pertenecen sólo a la fase 1 y los dientes 26"" pertenecen sólo a la fase 3. Además, los dientes 26' y 26"" de las fases periféricas 1 y 3 definen la extensión axial de la región de entrehierro activa del estator que se extiende axialmente entre los bordes periféricos de los dientes 26' y 26"", respectivamente. Los imanes permanentes 22 y las secciones 24 de polos se extienden axialmente a través de toda la región de entrehierro activo, es decir, entre los bordes axialmente exteriores de las superficies de los dientes 26' y 26"" enfrentados al rotor.

Se muestra en la figura 10a) una realización de la estructura de una máquina trifásica linealmente móvil con fases combinadas. La figura 10b) muestra un ejemplo alternativo de una máquina linealmente móvil. La figura 10a) muestra un dispositivo 10 de estator y un dispositivo móvil 12 con la forma de un motor adaptado para moverse lineal o transversalmente a lo largo del dispositivo de estator. Los números de referencia con ' se refieren a una característica de una primera fase, con " a una característica de una segunda fase y con "" a una característica de una tercera fase. El dispositivo 10 de estator comprende tres fases, en donde cada fase comprende una bobina 20,

una primera sección 14 de núcleo de estator y una segunda sección 16 de núcleo de estator. El motor 12 comprende unos imanes permanentes 22 y unas secciones 24 de polos que se extienden a lo largo de todo el dispositivo 10 de estator. Cada sección 14, 16 de núcleo de estator tiene forma esencialmente lineal e incluye una pluralidad de dientes que se extienden linealmente. Los dientes están dispuestos para extenderse hacia el motor 12 con el fin de formar una trayectoria de flujo de circuito cerrado con el motor 12. La segunda sección 16' de núcleo de estator de la fase 1 y la primera sección 14" de núcleo de estator de la fase 2 se disponen como una unidad, es decir, como una sección de núcleo de estator combinada, con lo cual la fase 1 y la fase 2 comparten una sección de núcleo de estator. Por lo tanto, los dientes 27 de la unidad de fase combinada están dispuestos para ser compartidos entre la fase 1 y la fase 2, con lo que el conjunto de dientes de la primera sección 14" de estator de la fase 2 y el conjunto de dientes de la segunda sección 16' de núcleo de estator de la fase 1 se forman como una unidad. Los dientes 28 de la unidad de fase combinada están dispuestos para ser compartidos entre la fase 2 y la fase 3, con lo que el conjunto de dientes de la primera sección 14"" de estator de la fase 3 y el conjunto de dientes de la segunda sección 16" de núcleo de estator de la fase 2 se forman como una unidad. Los conjuntos de dientes 26 en cada uno de los dos extremos del dispositivo 10 de estator no se comparten entre dos fases y, por lo tanto, los dientes 26' pertenecen sólo a la fase 1 y los dientes 26"" pertenecen únicamente a la fase 3.

En la figura 10b) las tres fases están separadas y, por lo tanto, las secciones primera 14 y segunda 16 de núcleo de estator no se comparten entre ninguna de las fases. Por lo tanto, sólo hay conjuntos de dientes separados 26, es decir, los dientes que pertenecen a una sola fase, en la máquina de la figura 10b).

Se muestran en la figura 11 realizaciones de la estructura de las máquinas trifásicas con fases combinadas y polos semigarra. Las figuras 11a) y 11b) muestran un dispositivo 10 de estator y un dispositivo móvil 12. En la figura 11a) el dispositivo móvil 12 es un rotor, que se muestra encerrando el dispositivo 10 de estator, y en la figura 11b) el dispositivo móvil 12 es un motor adaptado para moverse lineal o transversalmente a lo largo del dispositivo de estator. Los números de referencia con ' se refieren a una característica de una primera fase, con " a una característica de una segunda fase y con "" a una característica de una tercera fase. El dispositivo 10 de estator comprende tres fases, en donde cada fase comprende una bobina 20, una primera sección 14 de núcleo de estator y una segunda sección 16 de núcleo de estator. El dispositivo móvil 12 comprende imanes permanentes 22 y secciones 24 de polos que se extienden a lo largo de todo el dispositivo 10 de estator. Cada sección 14, 16 de núcleo de estator incluye una pluralidad de dientes extendidos. Los dientes están dispuestos para extenderse hacia el dispositivo móvil 12 para formar una trayectoria de flujo de circuito cerrado con el dispositivo móvil 12. La segunda sección 16' de núcleo de estator de la fase 1 y la primera sección 14" del núcleo de estator de la fase 2 se disponen como una unidad, es decir, como una sección de núcleo de estator combinada, en con lo que la fase 1 y la fase 2 comparten una sección de núcleo de estator. Así, los dientes 27 de la unidad de fase combinada están dispuestos para ser compartidos entre la fase 1 y la fase 2, con lo que el conjunto de dientes de la primera sección 14"" de estator de la fase 2 y el conjunto de dientes de la segunda sección 16' de núcleo de estator de la fase 1 se forman como una unidad. El conjunto de dientes 28 de la unidad de fase combinada están dispuestos para ser compartidos entre la fase 2 y la fase 3, con lo que el conjunto de dientes de la primera sección 14"" de núcleo de estator de la fase 3 y el conjunto de los dientes de la segunda sección 16" de núcleo de estator de la fase 2 están formadas como una unidad. El conjunto de dientes 26 en cada extremo del dispositivo 10 de estator no se comparte entre dos fases y, por lo tanto, el conjunto de dientes 26' pertenece sólo a la fase 1 y los dientes 26"" pertenece solamente a la fase 3. Además, las máquinas de fases combinadas de las figuras 11a) y 11b) comprenden polos semigarra 40 que son extensiones cortas de los dientes en el conjunto de dientes 26', 27, 28 y 26"" que se solapan con las bobinas 20. Los polos semigarra son polos garra cortos, pequeños o menores, es decir, polos garra que no se extienden a lo largo de toda la anchura axial de una fase, sino que sólo se extienden a lo largo de una pequeña parte de la anchura axial, con lo que se evitan o se reducen las fugas magnéticas. Las figuras 11a) y 11b) muestran que los polos semigarra 40 se disponen integrados con los dientes. Los conjuntos de dientes 27 y 28, que están cada uno de ellos compartidos entre dos fases comprenden los polos semigarra en ambos extremos de los dientes, es decir, junto a las bobinas 20, mientras que los conjuntos de dientes 26' y 26"", que no se comparten entre dos fases, sino que sólo pertenecen a una fase, solamente comprenden los polos semigarra en el extremo de los dientes adyacente a las bobinas respectivas 20' y 20"".

Se puede realizar una mejora de 30% en el par en comparación con máquinas de la técnica anterior cuando se utilizan los mismos imanes, la misma fuerza magnetomotriz de estator, la misma ánima y la misma anchura de entrehierro.

Se puede crear un par más grande y más suave cuando se emplean unidades de múltiples fases que se desplazan mecánica y eléctricamente en posición angular, en lugar de emplear una sola fase. Por ejemplo, una máquina trifásica puede tener las unidades de fase desplazadas mecánicamente 1/3 del paso geométrico de un par de polos, o 120 grados de ángulo eléctrico, y las corrientes de fase separadas por el mismo ángulo en el tiempo, a la vez que se hace uso de una sola estructura de dispositivo móvil, por ejemplo una estructura de rotor, que se extiende a través o alrededor de los tres estatores.

Se puede obtener un efecto similar mediante tres unidades de estator todas alineadas en posición circunferencial, pero alimentadas con corrientes que están separadas 120 grados en el tiempo para actuar en combinación con tres secciones del dispositivo móvil, por ejemplo secciones de rotor, una para cada fase, que están desplazadas y separadas circunferencialmente en 120 grados.

Como se ha mencionado, una máquina de polos modulados en tres fases separadas de la técnica anterior tiene tres fases con 120° de desplazamiento entre cada fase, como se ve en figura 3. Cada fase consta de dos conjuntos de dientes, desplazados 180° , que forman un conjunto de polos norte y un conjunto de polos sur. La máquina trifásica consta de seis conjuntos de dientes (en tres pares) más tres bobinas. Cada fase se separa de la fase adyacente una pequeña distancia o entrehierro, véase la figura 2, para asegurar un acoplamiento magnético mínimo entre fases.

5 Cuando las fases se combinan en lugar de separarlas, como se ve en las figuras 5, 6 y 8, los dientes adyacentes tienen entonces una trayectoria de flujo compartida, como se ve en figura 6. La fusión de dientes adyacentes puede dar como resultado una máquina con cuatro conjuntos de dientes y tres bobinas, véase la figura 8, y con un dispositivo móvil común, por ejemplo, un rotor, que se extiende por el ancho axial completo de la máquina. Cada conjunto de dientes deberá ser colocado en un cierto ángulo y recoger una cierta cantidad de flujo para asegurar una operación trifásica equilibrada, en donde cada bobina enlaza flujo de una magnitud igual y en un ángulo de fase de 0° , 120° y 240° , respectivamente, véase la figura 7.

Para el cálculo de las condiciones bajo las cuales resulta un conjunto trifásico equilibrado de flujos de bobina, la máquina de polos modulados con fases combinadas se analiza con los siguientes supuestos:

- 15 - la densidad de flujo del entrehierro es constante en la dirección axial y varía de forma sinusoidal en la dirección circunferencial;
- el flujo que entra en un diente, $\Psi = ba$, donde b es la densidad del flujo de entrehierro y a es el área de la superficie de entrehierro del diente;
- la posición angular del diente (circunferencialmente) determina el ángulo de fase del flujo que entra en el diente;
- 20 - el flujo que se desplaza en la dirección axial a través de la parte posterior del núcleo directamente sobre una bobina es igual al flujo que enlaza la bobina.

En lo siguiente, se hace referencia a los diagramas fasoriales de las figuras 3 y 7.

Una máquina trifásica equilibrada tiene los siguientes vínculos de flujo de bobina:

$$\Psi_A = |\Psi| < 0^\circ$$

25 $\Psi_B = |\Psi| < 120^\circ$

$$\Psi_C = |\Psi| < 240^\circ$$

Los dientes están numerados 1, 2, 3, 4 en la dirección axial, sumando el flujo que entra en cada diente:

$$\Psi_1 = \Psi_A$$

$$\Psi_2 = \Psi_B - \Psi_A$$

30 $\Psi_3 = \Psi_C - \Psi_B$

$$\Psi_4 = -\Psi_C$$

Relacionando el flujo de diente con los tres flujos de bobina equilibrados requeridos, como se muestra en el diagrama fasorial de la figura 7, ello da como resultado los siguientes flujos de dientes:

$$\Psi_1 = |\Psi| < 0^\circ$$

35 $\Psi_2 = |\sqrt{3}\Psi| < 150^\circ$

$$\Psi_3 = |\sqrt{3}\Psi| < 270^\circ$$

$$\Psi_4 = |\Psi| < 60^\circ$$

40 Por tanto, para una máquina trifásica equilibrada, los dientes (1, 2, 3, 4) pueden estar situado en un ángulo de fase de 0° , 150° , 270° , 60° , en donde un ángulo de fase de 360° se corresponde con la distancia de paso geométrico circunferencial entre dientes vecinos. De aquí que el desplazamiento angular de los dientes uno con respecto a otro de los conjuntos de dientes sea de $0^\circ/N$, $150^\circ/N$, $270^\circ/N$, $60^\circ/N$, en donde N es el número de dientes en cada conjunto de dientes. Además, puede asegurarse un área de superficie correcta cuando las anchuras axiales relativas de los dientes en los respectivos conjuntos de dientes son: 1, $\sqrt{3}$, $\sqrt{3}$ y 1, respectivamente. Por lo tanto, los dientes interiores que se comparten entre dos fases vecinas son más anchos en un factor de $\sqrt{3}$ que los dientes periféricos que no son compartidos entre fases, sino que sólo pertenecen a una sola fase.

45 La figura 7 muestra un diagrama fasorial de flujo magnético de las fases combinadas, en donde se muestran los ángulos y la anchura axial de 1 unidad, $\sqrt{3}$ unidades, $\sqrt{3}$ unidades y 1 unidad, respectivamente. También se ven los

flujos magnéticos de las fases combinadas.

La figura 12 muestra un ejemplo de trayectorias de flujo en el dispositivo de estator y en el dispositivo móvil. La máquina de polos modulados tiene una trayectoria de flujo tridimensional (3D) que utiliza trayectorias de flujo en la dirección transversal 'axial' tanto en el estator como en el dispositivo móvil, por ejemplo un rotor. En la figura 12 se ve un dispositivo móvil 12, por ejemplo un rotor, desde una posición exterior radial con respecto al dispositivo 10 de estator, del cual se esbozan tres dientes 26. Se representan las direcciones axial 304 y tangencial 305 del dispositivo móvil/dispositivo de estator. Un número de los imanes permanentes 22 en el dispositivo móvil se muestran como zonas rayadas con las secciones 24 de polos entre ellas. En el boceto los dientes 26 de estator se encuentran en la situación de estar justo enfrente de una sección 24 de polo produciendo la trayectoria principal 300 de flujo magnético como se muestra por las líneas gruesas. Como puede verse, la dirección de flujo a través de los imanes permanentes 22 es principalmente bidimensional, mientras que el flujo a través de las secciones 24 de polos es tridimensional. Además, el flujo magnético se concentra primariamente en las regiones centrales 301 de cada imán permanente 22 entre dos secciones vecinas de polos. Este diseño del dispositivo móvil 12 permite así la concentración del flujo de los imanes permanentes de modo que la superficie del dispositivo móvil 12 orientada hacia un diente 26 de estator puede presentar el flujo magnético total procedente de ambos imanes vecinos permanentes a la superficie del diente. La concentración de flujo puede verse como una función del área de los imanes permanentes orientada hacia cada sección de polo dividida por el área orientada hacia un diente. Estas propiedades de concentración de flujo de cada sección de polo hacen que sea posible utilizar imanes permanentes débiles de bajo coste como imanes permanentes en el dispositivo móvil y hace que sea posible lograr densidades de flujo de entrehierro muy altas. La concentración de flujo puede facilitarse haciendo la sección de polo a base de polvo magnético dulce, lo que permite trayectorias de flujo tridimensionales efectivas, como se ilustra.

A pesar de que no se muestra en la figura 12, hay una trayectoria de flujo tridimensional correspondiente en el dispositivo de estator. Como también se ve en la figura 8, la trayectoria de flujo tridimensional comprende la trayectoria de flujo axial o transversal del dispositivo móvil 12, en el que la trayectoria de flujo es transversal a la dirección de movimiento. Las trayectorias de flujo tridimensionales en el dispositivo de estator y en el dispositivo móvil son particularmente adecuadas cuando se utiliza el estator de fases combinadas.

Son posibles tanto una máquina radial como una máquina axial o una mezcla de axial y radial. En un caso de la versión de flujo axial, las áreas de los dientes que están orientadas hacia el entrehierro pueden formar filas concéntricas con las bobinas o devanados situados entre estas filas. Así, puede diseñarse una versión trifásica con tres conjuntos separados, cada uno de dos filas concéntricas de dientes y una bobina o devanado con una distancia al conjunto de fases más cercano para evitar el acoplamiento magnético. De este modo, la disposición axial de fases combinadas puede combinar dos filas vecinas o adyacentes de dientes de la misma manera que para la versión de flujo de entrehierro radial (véase, por ejemplo, la figura 8).

En general, las estructuras de estator descritas en este documento pueden estar hechas de un polvo magnético dulce, por ejemplo un polvo de hierro sustancialmente puro atomizado con agua o un polvo de hierro esponjoso que tiene partículas con formas irregulares que se han recubierto con un aislamiento eléctrico. En este contexto, el término "sustancialmente puro" significa que el polvo deberá estar sustancialmente libre de inclusiones y que la cantidad de las impurezas O, C y N deberá mantenerse en un mínimo. Los tamaños medios de partícula están generalmente por debajo de 300 µm y por encima de 10 µm.

Sin embargo, puede usarse cualquier polvo de metal o polvo de aleación de metal magnético dulce siempre y cuando las propiedades magnéticas dulces sean suficientes y el polvo sea adecuado para compactación en troquel.

El aislamiento eléctrico de las partículas de polvo puede hacerse de un material inorgánico. Especialmente adecuados son el tipo de aislamiento descrito en el documento US 6348265 (que se incorpora aquí por referencia), que concierne a partículas de un polvo de base que consiste esencialmente en hierro puro que tiene una barrera aislante y una barrera que contiene oxígeno y fósforo. Polvos que tienen partículas aisladas están disponibles como Somaloy®500, Somaloy®550 o Somaloy®700 disponibles de Höganäs AB, Suecia.

En las reivindicaciones del dispositivo que enumeran varios medios, algunos de estos medios pueden materializarse por un mismo elemento de hardware. El mero hecho de que ciertas medidas se enumeren en reivindicaciones subordinadas mutuamente diferentes o se describan en diferentes realizaciones no indica que una combinación de estas medidas no se pueda utilizar con ventaja.

Debe enfatizarse en que el término "comprende/comprendiendo", cuando se utiliza en esta memoria, se emplea para especificar la presencia de características, números enteros, pasos o componentes enunciados, pero no excluye la presencia o adición de una o más de otras características, números enteros, pasos, componentes o grupos de los mismos.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (10) de estator para una máquina eléctrica, comprendiendo la máquina eléctrica dicho dispositivo de estator y un dispositivo móvil (12),
 5 en el que el dispositivo de estator es un dispositivo de estator trifásico que comprende tres fases (10', 10", 10''') dispuestas lado a lado en una dirección lateral, perpendicular a una dirección de movimiento del dispositivo móvil, en el que el dispositivo de estator comprende cuatro conjuntos de dientes (26; 26', 26", 26'''; 27, 28), estando cada diente destinado a sobresalir hacia el dispositivo móvil y comprendiendo una superficie de interfaz destinada a orientarse hacia el dispositivo móvil, en el que los dientes de cada conjunto están distribuidos a lo largo de la
 10 dirección de movimiento, en el que los cuatro conjuntos de dientes comprenden dos conjuntos periféricos y dos conjuntos interiores dispuestos en la dirección lateral entre los conjuntos periféricos, comprendiendo cada conjunto N dientes, siendo N un número entero mayor que 1, y en el que los dientes de los conjuntos interiores (27, 28) son más anchos, en la dirección lateral, que los dientes de los conjuntos periféricos y proporcionan una trayectoria de flujo magnético común compartida por dos fases vecinas; en el que las superficies de interfaz de los dientes de los
 15 conjuntos periféricos (26', 26''') definen una extensión lateral de una región de entrehierro activo entre el dispositivo de estator y el dispositivo móvil; caracterizado por que los dientes de los respectivos conjuntos de dientes están dispuestos circunferencialmente desplazados en ángulos de 0°/N, 150°/N, 270°/N, 60°/N con respecto a los dientes de un primero de los conjuntos de dientes.
2. El dispositivo de estator según la reivindicación 1, en el que el dispositivo de estator comprende una pluralidad de secciones (14, 16) de núcleo de estator, comprendiendo cada sección de núcleo de estator uno de los conjuntos de
 20 dientes.
3. El dispositivo de estator según la reivindicación 2, en el que las secciones de núcleo de estator están hechas de polvo magnético dulce.
4. El dispositivo de estator según una cualquiera de las reivindicaciones 2 y 3, en el que el dispositivo de estator comprende una pluralidad de devanados (20) dispuestos entre secciones respectivas de núcleo de estator.
- 25 5. El dispositivo de estator según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que cada sección de núcleo de estator comprende una sección posterior (29) de núcleo de estator y un conjunto de dientes que se extienden desde la sección posterior de núcleo de estator, y en el que la sección posterior de núcleo de estator conecta los dientes y proporciona una trayectoria de flujo entre dientes vecinos en la dirección de movimiento.
- 30 6. El dispositivo de estator según la reivindicación 5, en el que cada sección de núcleo de estator comprende además una sección (23) de culata que proporciona una trayectoria de flujo en la dirección lateral hacia otra sección de núcleo de estator que comprende otro de los conjuntos de dientes de la misma fase.
- 35 7. El dispositivo de estator según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, en el que los dientes de cada sección de núcleo de estator tienen una anchura respectiva en la dirección perpendicular a la dirección de movimiento del dispositivo móvil, y en el que los dientes de una primera sección de núcleo de estator tienen una anchura diferente con respecto a una anchura de los dientes de una segunda sección de núcleo de estator.
8. Un dispositivo de estator según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, en el que una primera sección de núcleo de estator y una segunda sección de núcleo de estator están formadas como una sola unidad que comprende un conjunto de dientes comunes a las secciones primera y segunda de núcleo de estator.
- 40 9. El dispositivo de estator según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las anchuras laterales de los cuatro conjuntos de dientes son 1 unidad, $\sqrt{3}$ unidades, $\sqrt{3}$ unidades, 1 unidad, respectivamente.
10. Una máquina eléctrica que comprende:
 - un dispositivo (10) de estator como se define en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9; y
 - un dispositivo móvil (12); en la que el dispositivo móvil comprende una pluralidad de imanes permanentes (22)
 45 separados uno de otro en dicha dirección de movimiento por secciones (24) de polos formadas como varillas rectilíneas alargadas en la dirección lateral, proporcionando las varillas una trayectoria de flujo magnético que se extiende a través de la extensión lateral de la región de entrehierro activa.
11. La máquina eléctrica según la reivindicación 10, en la que la máquina eléctrica es una máquina rotativa, y en la que el dispositivo móvil es un rotor.
- 50 12. La máquina eléctrica según la reivindicación 10, en la que el dispositivo móvil es un motor dispuesto para moverse linealmente en la dirección de movimiento del dispositivo móvil.
13. La máquina eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en la que la máquina eléctrica es una máquina de polos modulados.

14. La máquina eléctrica según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, en la que el dispositivo de estator y/o el dispositivo móvil proporcionan una trayectoria de flujo tridimensional (3D) que incluye una componente de trayectoria de flujo en la dirección transversal con respecto a la dirección de movimiento.

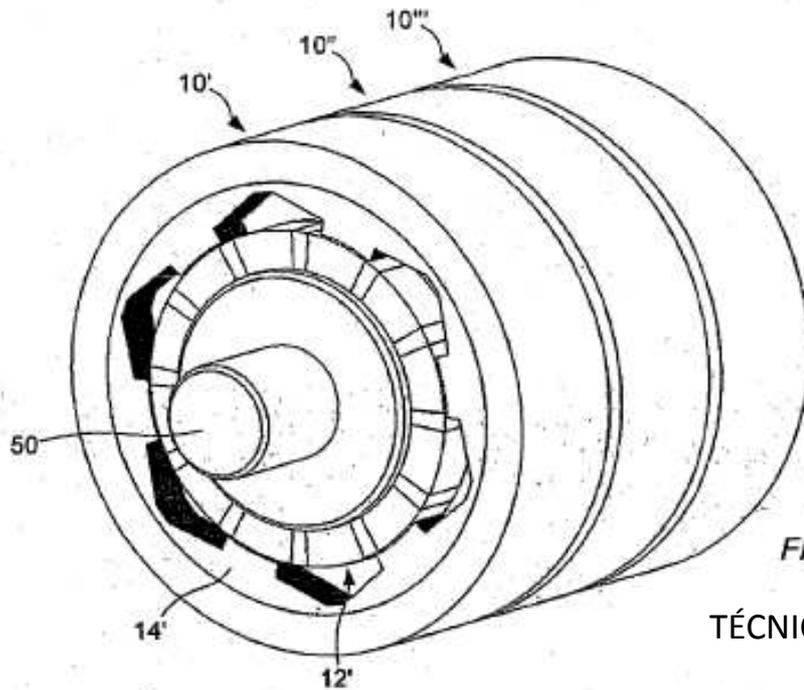


Fig. 1a)

TÉCNICA ANTERIOR

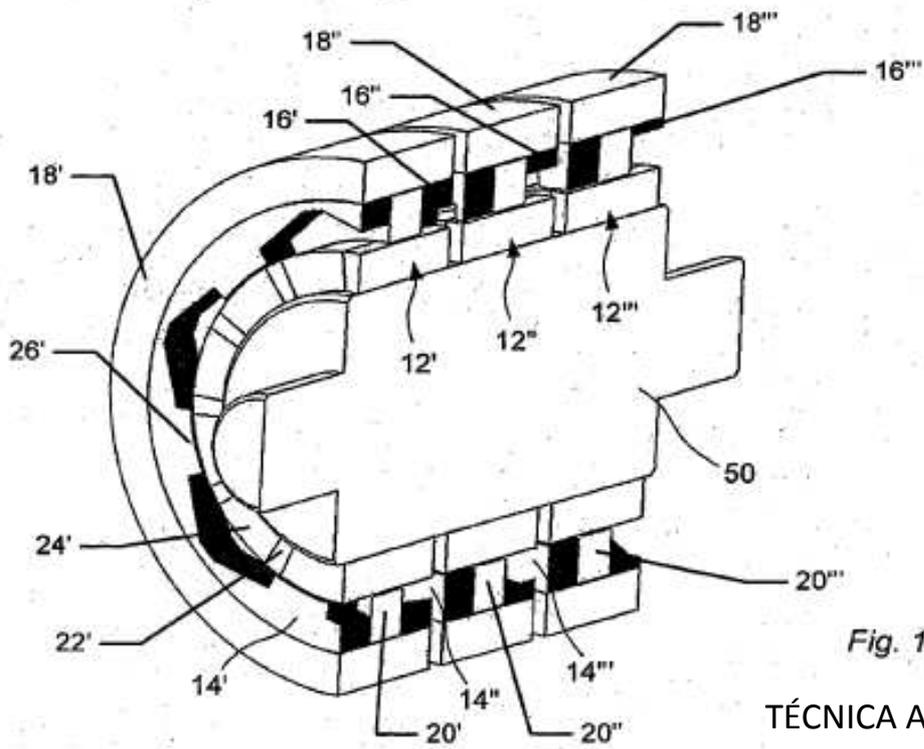


Fig. 1b)

TÉCNICA ANTERIOR

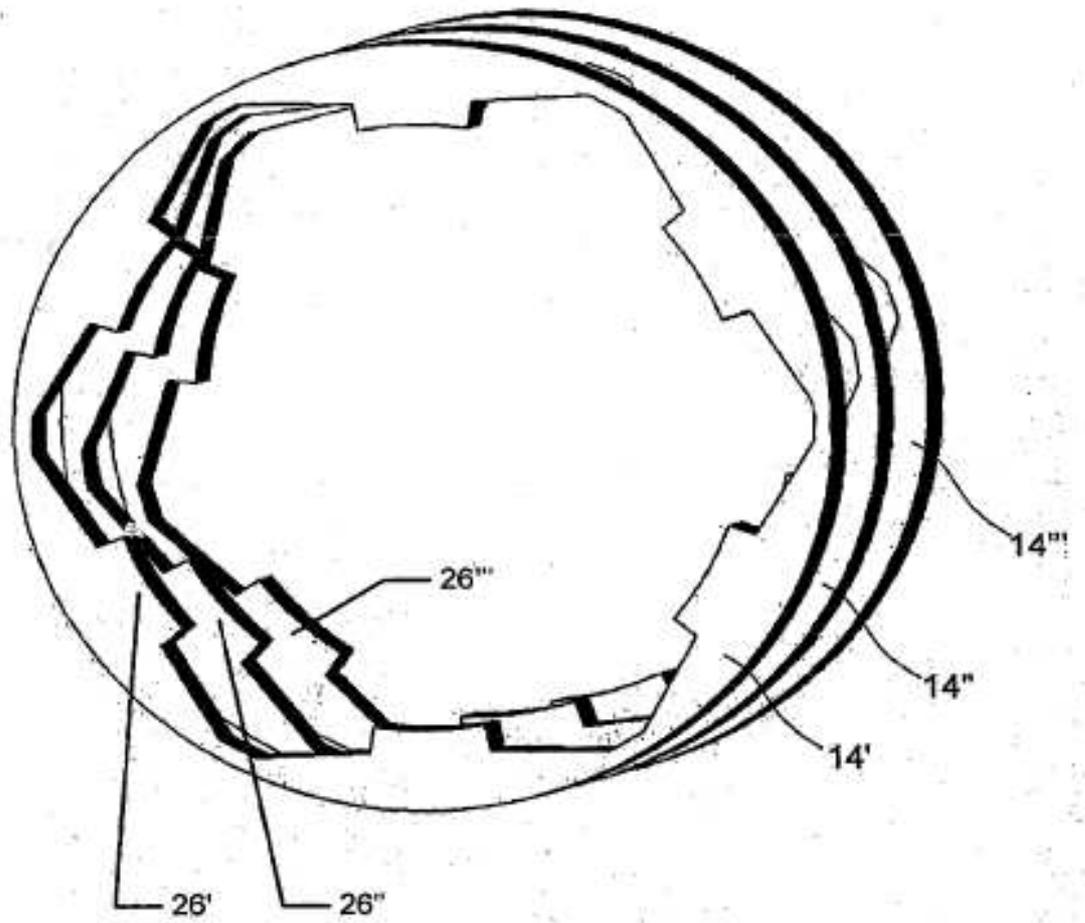


Fig. 1c)

TÉCNICA ANTERIOR

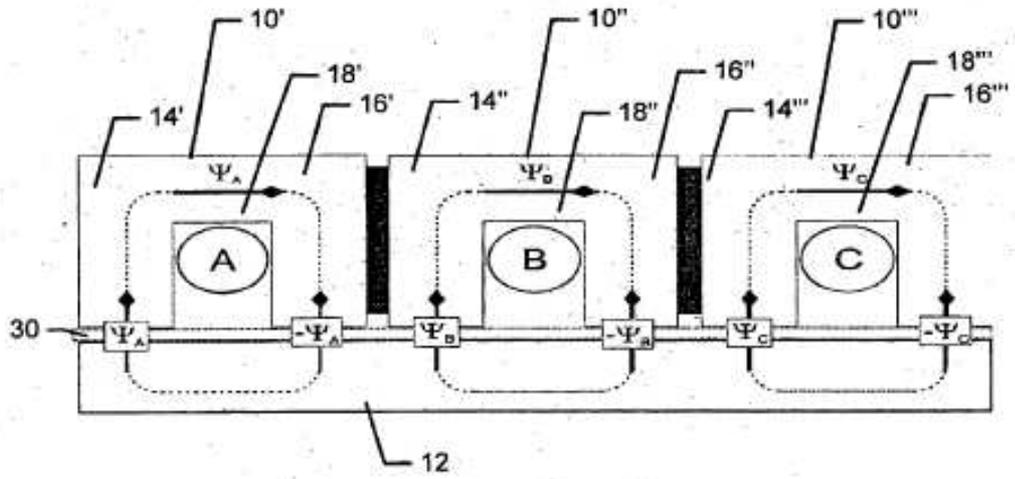
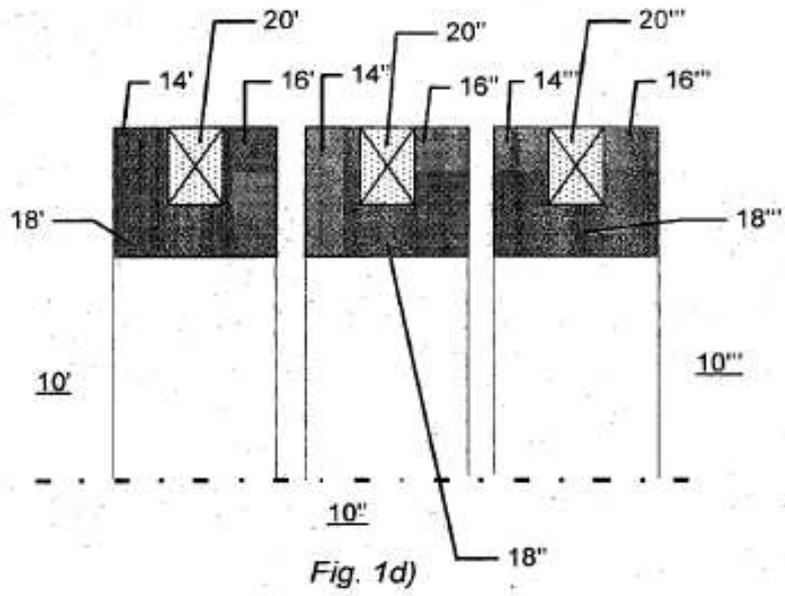


Fig. 2

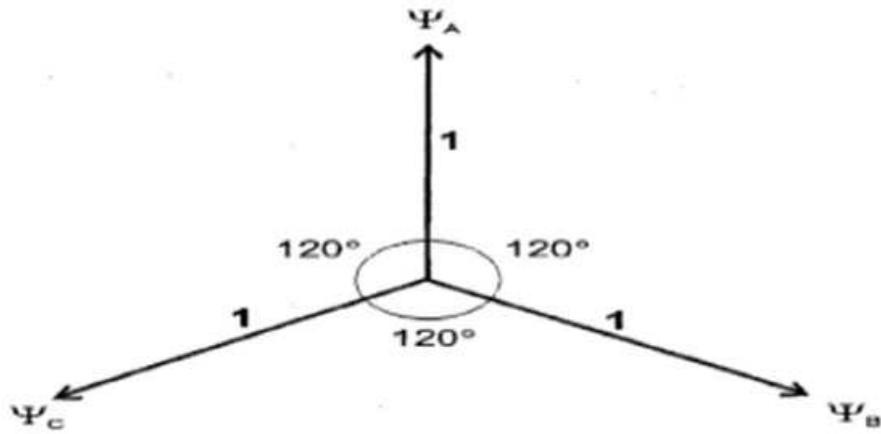


Fig. 3

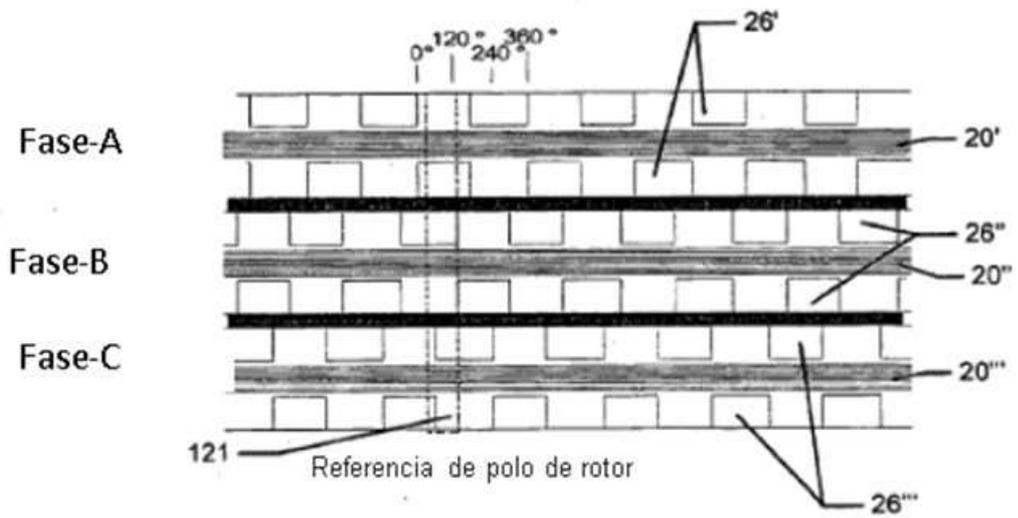


Fig. 4

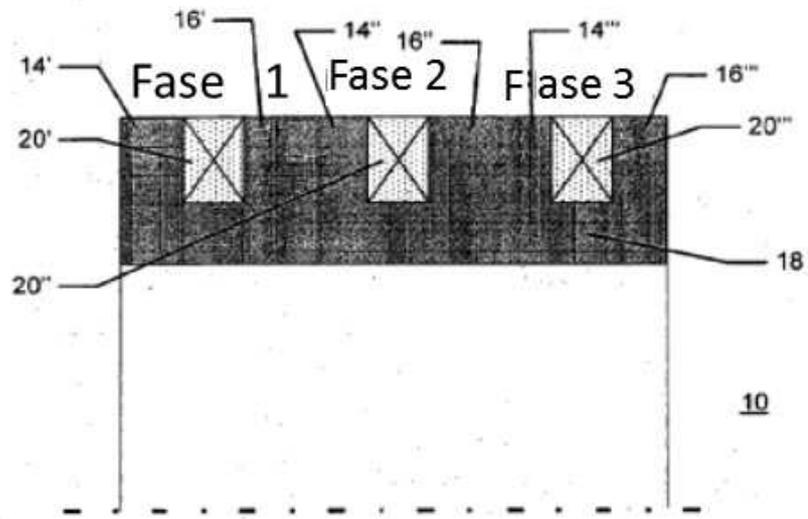


Fig. 5

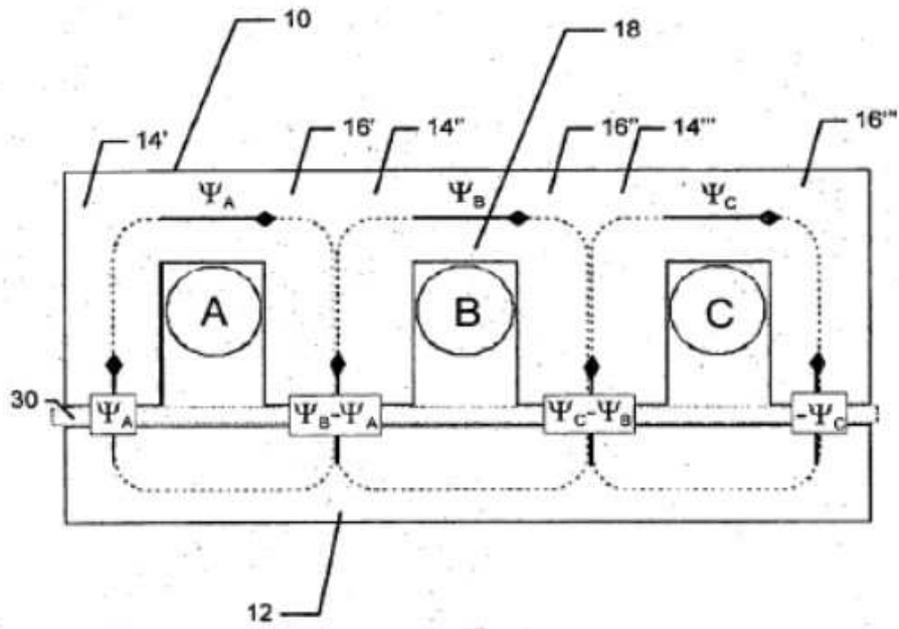


Fig. 6

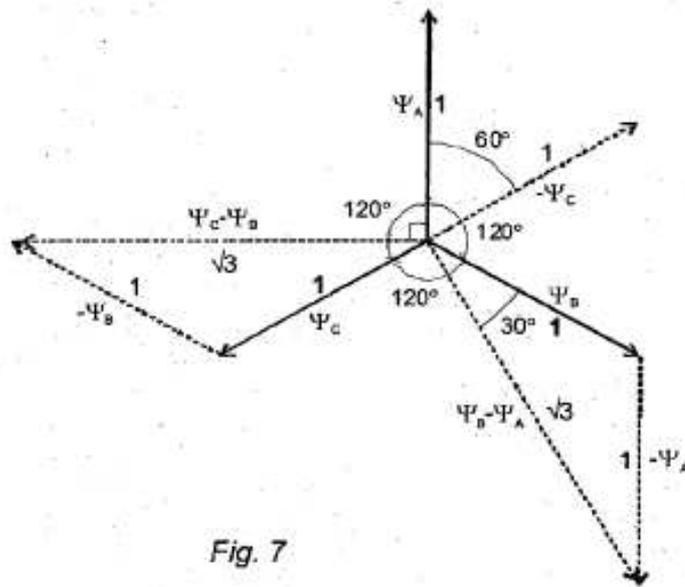


Fig. 7

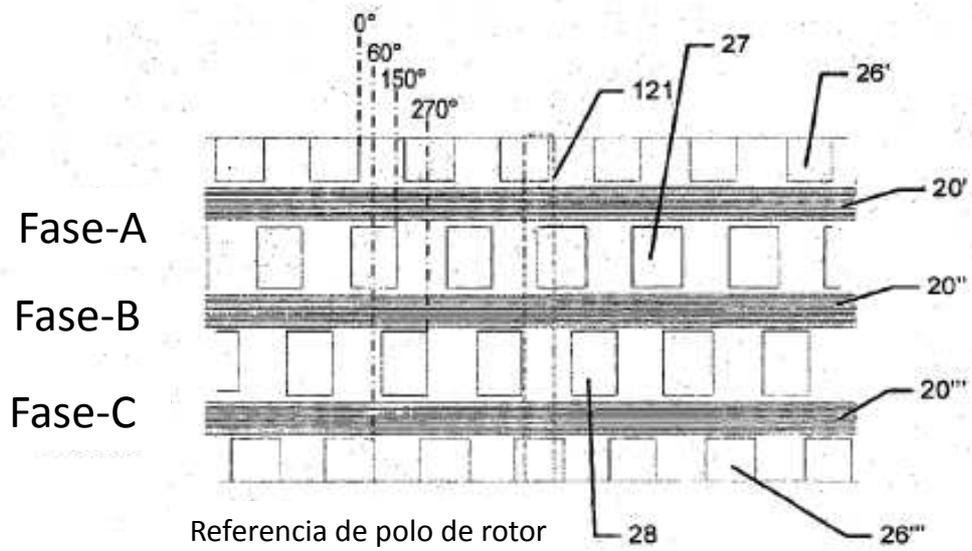


Fig. 8

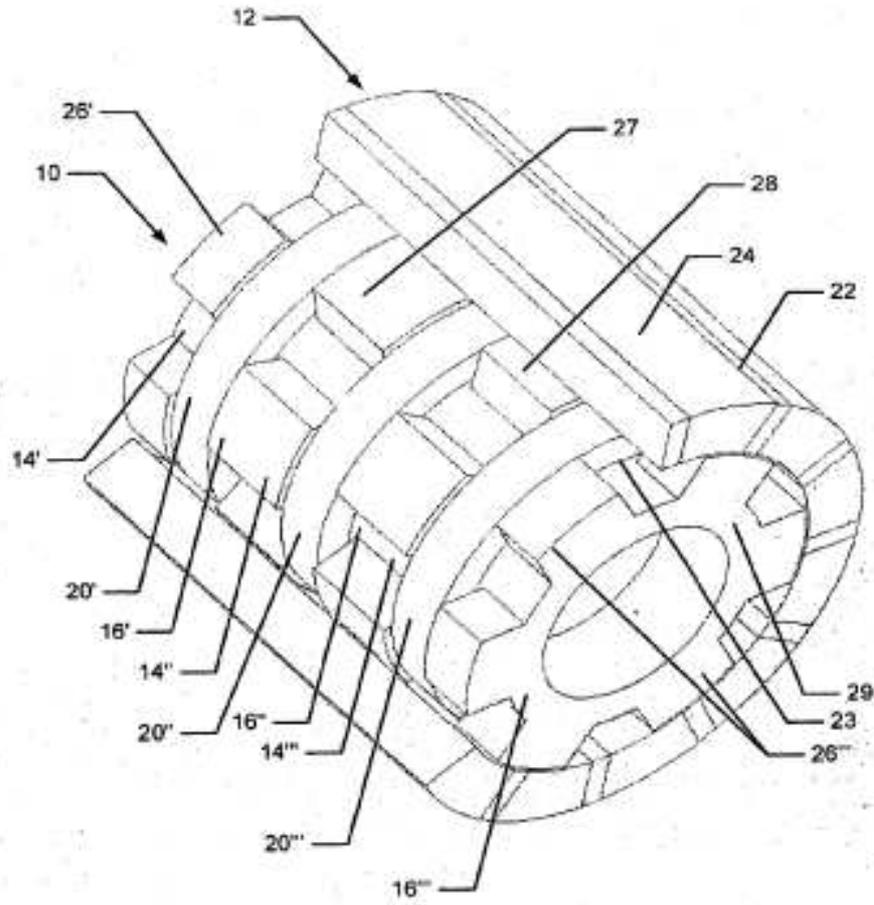
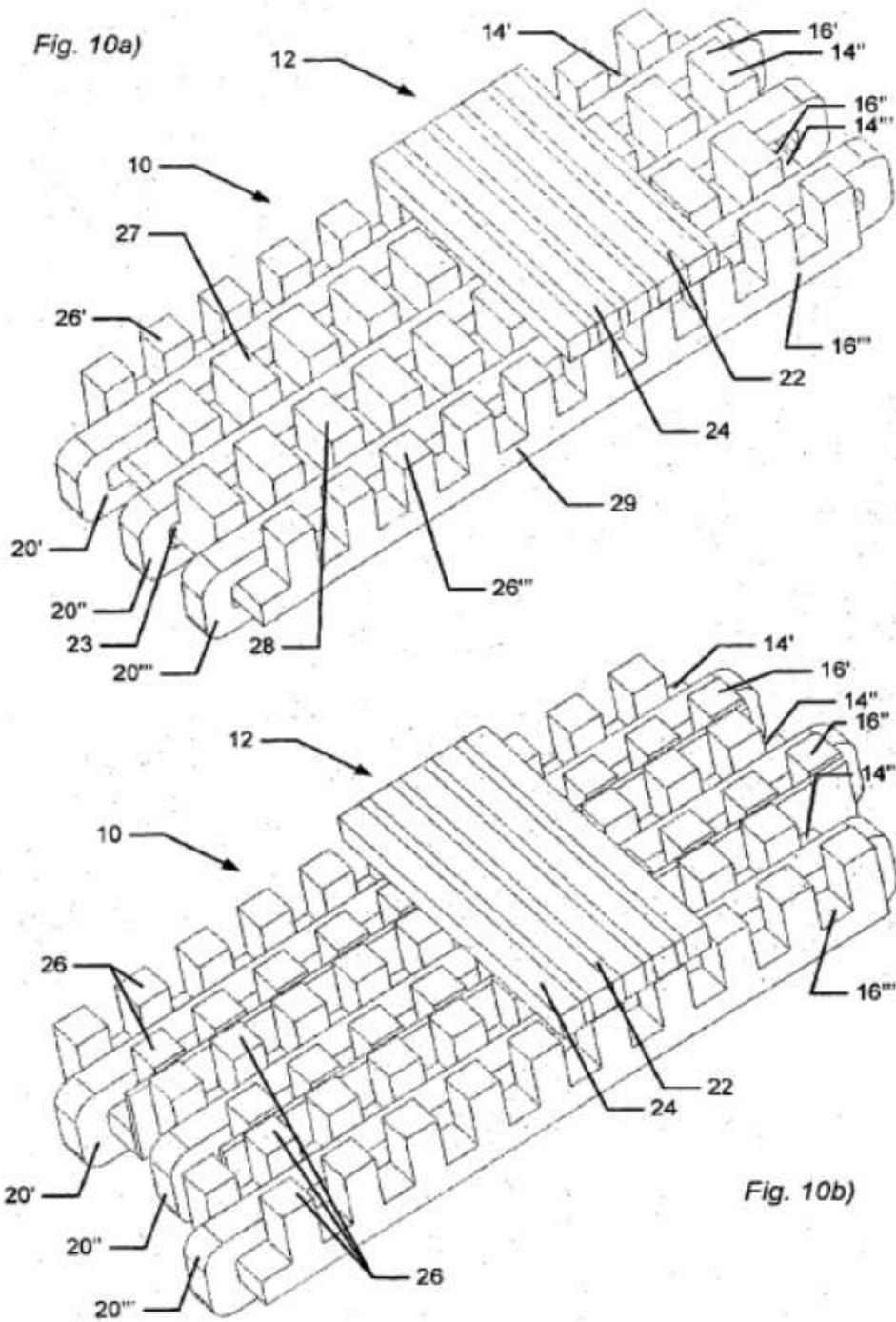


Fig. 9



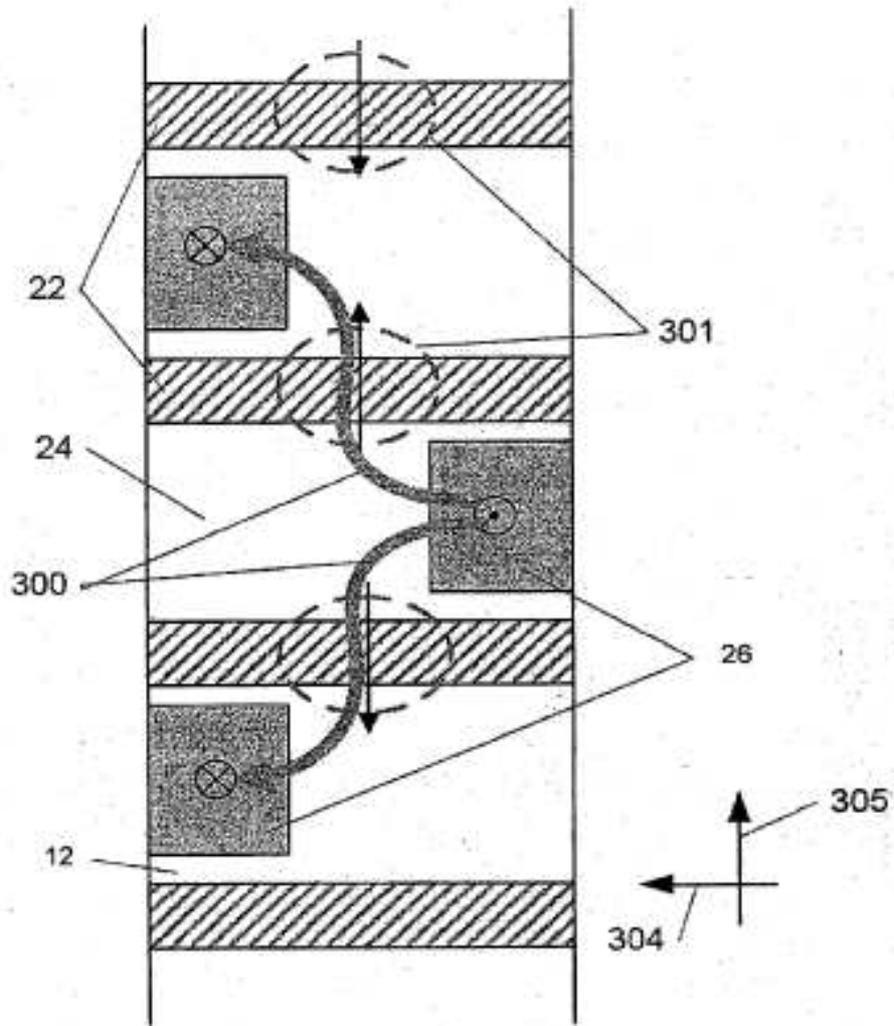


Fig. 12