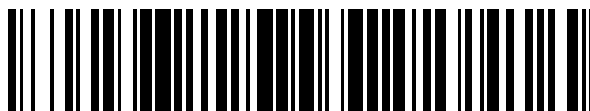


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 777 975**

51 Int. Cl.:

H02P 1/46 (2006.01)

H02P 6/22 (2006.01)

H02P 25/18 (2006.01)

H02K 1/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2014 PCT/EP2014/053817**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.09.2014 WO14135434**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2014 E 14709579 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 2965418**

54 Título: **Motor eléctrico monofásico**

30 Prioridad:

04.03.2013 DE 102013102124

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

06.08.2020

73 Titular/es:

**EBM-PAPST ST. GEORGEN GMBH & CO. KG
(100.0%)**

**Hermann-Papst-Strasse 1
78112 St. Georgen, DE**

72 Inventor/es:

**KARWATH, ARNO y
WINTER, BJOERN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 777 975 T3

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

DESCRIPCIÓN

Motor eléctrico monofásico

5 La invención se refiere a un motor eléctrico monofásico.

10 En los motores trifásicos con un estator y un rotor, la relación entre los polos de estator y los polos de rotor es siempre desigual. Así, por ejemplo, un motor trifásico con seis polos de estator dispuestos a una distancia de 60° unos de otros tiene cuatro polos de rotor dispuestos a una distancia de 90° unos de otros. En este contexto, cada una de las tres fases tiene asignados dos polos de estator situados uno enfrente de otro. De este modo, en todas las posiciones del rotor es posible producir un par mediante al menos dos de las tres fases, dado que cada una de las tres fases tiene situada enfrente una posición diferente, desde el punto de vista magnético, de los polos de rotor. Así pues, en todas las posiciones del rotor es posible un arranque del motor con un gran par.

15 En los motores monofásicos, la cantidad de polos de rotor corresponde a la cantidad de polos de estator. Esto tiene como consecuencia que siempre que cada polo de rotor tenga situado exactamente enfrente un polo de estator no es posible producir un par mediante una aplicación de corriente a la disposición de devanado. Además, por ejemplo, en los ventiladores el rotor adopta con preferencia exactamente esta posición en el estado de reposo, dado que corresponde al estado de menor energía.

20 Para posibilitar a pesar de ello un arranque de tal motor, se conocen ya varios procedimientos.

25 El documento DE 8 702 271 U1 muestra un motor eléctrico en el que están montadas unas plaquitas de hierro magnéticamente suaves en el rotor de tal manera que éste, en un estado sin aplicación de corriente, adopta una posición desde la que es posible un arranque. Esto se denomina también generación de un par auxiliar de reluctancia.

30 El documento DE 3 149 766 A1 muestra un motor eléctrico en el que los polos de estator están configurados de forma asimétrica, de manera que, vista en la dirección periférica, la distancia entre los polos de estator y el rotor disminuye. En este contexto, los polos de rotor del imán del rotor adoptan preferiblemente una posición en la que por término medio están lo más cerca posible del polo de estator. Esto lleva, en un estado sin aplicación de corriente, también a una posición de arranque desde la que es posible una puesta en marcha del motor. Tales motores se emplean a millones en los reproductores de CD y discos duros.

35 Las soluciones mencionadas presuponen un motor en el que no se produzcan ni un par externo elevado ni una fricción demasiado grande, como es el caso por ejemplo de los ventiladores. Por otro lado, no está garantizado que sea posible adoptar con seguridad la posición de arranque. Por lo tanto, el campo de aplicaciones para estas soluciones es limitado.

40 El documento EP 1 094 595 A2 divulga y se ocupa de un dispositivo de regulación para un motor sincrónico de imanes permanentes.

45 El documento DE 10 2005 035 451 B3 muestra un motor eléctrico conmutado electrónicamente con un rotor de imanes permanentes y un estator devanado con un solo ramal de devanado y un circuito electrónico de mando que alimenta una corriente de excitación al ramal de devanado en el funcionamiento bipolar. El ramal de devanado está dividido en dos partes de devanado y entre las dos partes de devanado está prevista una toma, que está conectada mediante un conmutador con un potencial definido del circuito de mando de tal manera que las dos partes de devanado pueden activarse por separado para que, para una puesta en marcha del motor en un sentido de giro predefinido, pueda generarse un campo de estator con una orientación variable, alimentándose corrientes de excitación a ambas partes del devanado bien en el mismo sentido, bien en sentido opuesto. El rotor y/o el estator están configurados con polos asimétricos en virtud de anchuras de polo diferentes de los polos adyacentes, de manera que las dos partes de devanado producen su par máximo con posiciones de rotor diferentes.

Un objetivo de la invención es poner a disposición un nuevo motor eléctrico monofásico.

55 El objetivo se logra mediante un motor eléctrico según la reivindicación 1, que presenta, entre otras cosas: Un estator con una cantidad S de polos de estator, un rotor con un imán de rotor, imán de rotor que presenta una cantidad R de polos de rotor, siendo R igual a S y presentando el rotor o el estator o ambos una asimetría, una disposición monofásica de devanado con una primera conexión de devanado y con una segunda conexión de devanado, pudiéndose mediante la primera conexión de devanado y la segunda conexión de devanado aplicar corriente a una cantidad W de bobinas de la disposición de devanado, una etapa de salida que está configurada para posibilitar una corriente entre la primera conexión de devanado y la segunda conexión de devanado, un primer dispositivo que está configurado para, en cooperación con la etapa de salida, posibilitar una aplicación de corriente a al menos un grupo parcial de las W bobinas, comprendiendo el al menos un grupo parcial más de cero de las W bobinas y menos de W de las W bobinas.

65 Preferiblemente, la asimetría está configurada para, en cada posición del rotor, posibilitar la producción de un par mediante al menos uno de los procesos de aplicación de corriente siguientes

- aplicación de corriente a todas las W bobinas o
- aplicación de corriente a, al menos un, grupo parcial de las bobinas.

5 Preferiblemente están previstos al menos dos grupos parciales.

Preferiblemente, el primer dispositivo presenta una tercera conexión de devanado y un conmutador, para posibilitar una corriente entre la primera conexión de devanado o la segunda conexión de devanado por una parte y la tercera conexión de devanado por otra parte.

10 Según la invención, la cantidad de bobinas entre la primera conexión de devanado y la tercera conexión de devanado es diferente de la cantidad de bobinas entre la tercera conexión de devanado y la segunda conexión de devanado.

15 Preferiblemente, la disposición de devanado presenta una pluralidad de ramales parciales paralelos entre sí, y el primer dispositivo presenta un conmutador que está configurado para, en el estado no conductor, impedir una corriente a través de una primera parte de los ramales parciales, pero no impedir una corriente a través de los demás ramales parciales.

20 Preferiblemente, el rotor presenta una asimetría producida por el hecho de que los R polos de rotor presentan al menos parcialmente una extensión angular diferente unos con respecto a otros.

25 Preferiblemente, el rotor presenta una asimetría producida por el hecho de que la distancia angular del centro magnético de un polo de rotor al centro magnético de un polo de rotor adyacente es al menos parcialmente diferente de $360^\circ/R$.

Preferiblemente, el rotor presenta una asimetría producida por una magnetización asimétrica del imán de rotor.

30 Preferiblemente, el rotor presenta una asimetría conseguida mediante una disposición asimétrica de diferentes materiales en la zona del rotor, teniendo los diferentes materiales diferentes propiedades magnéticas. Preferiblemente, el estator presenta una asimetría producida por el hecho de que la distancia angular de los polos de estator adyacentes es al menos parcialmente diferente de $360^\circ/S$, siendo preferiblemente $S = 2$.

Preferiblemente, el al menos un grupo parcial comprende al menos una de las W bobinas y como máximo W-1 bobinas.

35 Preferiblemente, $W = S$.

Preferiblemente, la etapa de salida presenta un circuito de puente integral, para posibilitar una aplicación de corriente a la disposición de devanado entre la primera conexión de devanado y la segunda conexión de devanado en ambos sentidos.

40 Preferiblemente el imán de rotor presenta polos de rotor de imán permanente o polos de rotor producidos por electromagnetismo, teniendo asignado cada polo de rotor, en el caso de los polos de rotor producidos por electromagnetismo, un devanado al que se aplica corriente durante el funcionamiento.

45 El objetivo se logra mediante un procedimiento según la reivindicación 11 para aplicar corriente a un motor eléctrico con un estator con S polos de estator, con un rotor con R polos de rotor, siendo R igual a S, con una disposición monofásica de devanado con una primera conexión de devanado y con una segunda conexión de devanado, estando conectadas eléctricamente W bobinas entre la primera conexión de devanado y la segunda conexión de devanado, con una etapa de salida que está configurada para posibilitar una corriente entre la primera conexión de devanado y la segunda conexión de devanado, con un primer dispositivo que está configurado para, en cooperación con la etapa de salida, posibilitar una aplicación de corriente a al menos un grupo parcial de las W bobinas, comprendiendo el al menos un grupo parcial más de cero de las W bobinas y menos de W de las W bobinas, procedimiento que presenta las siguientes operaciones:

- 55
- A) la etapa de salida se activa en un primer estado del motor eléctrico de tal manera que se aplica corriente a todas las W bobinas mediante la primera conexión de devanado y la segunda conexión de devanado;
 - B) la etapa de salida se activa en un segundo estado del motor eléctrico de tal manera que se aplica corriente solo al, al menos un, grupo parcial de las W bobinas.

60 Según la invención se detecta la velocidad del motor eléctrico y se cambia del primer estado del motor eléctrico al segundo estado cuando la velocidad del motor eléctrico se halla por debajo de una velocidad mínima predefinida.

Según la invención, al arrancar el motor se cambia al segundo estado y a continuación se cambia al primer estado.

65 Preferiblemente, en el primer estado se predefine el sentido de la aplicación de corriente entre la primera conexión de devanado y la segunda conexión de devanado dependiendo de la posición del rotor.

De los ejemplos de realización que están descritos a continuación y representados en los dibujos y que en modo alguno han de entenderse como una limitación de la invención, así como de las reivindicaciones subordinadas, se desprenden otros detalles y perfeccionamientos ventajosos de la invención. Se muestran:

- 5
Figura 1 una representación esquemática de un motor eléctrico monofásico 10 con seis polos de estator,
Figura 2 un esquema de conexiones de un circuito para hacer funcionar el motor 10 de la Figura 1,
10 Figura 3 una medición de la tensión inducida del motor 10 de la Figura 1,
Figura 4 una vista de un detalle de la Figura 3,
Figura 5 una etapa de salida para el motor 10 de la Figura 1 con dos bobinas,
15 Figura 6 una etapa de salida para el motor 10 de la Figura 1 con dos bobinas,
Figura 7 una etapa de salida para el motor 10 de la Figura 1 con dos bobinas,
20 Figura 8 una etapa de salida para el motor 10 de la Figura 1 con dos ramales,
Figura 9 una etapa de salida para el motor 10 de la Figura 1 con cuatro bobinas, que están conectadas en serie,
Figura 10 una etapa de salida para el motor 10 de la Figura 1 con cuatro bobinas, que están conectadas en serie,
25 Figura 11 una etapa de salida para el motor 10 de la Figura 1 con cuatro bobinas, que están conectadas en paralelo en dos ramas,
Figura 12 una etapa de salida para el motor 10 de la Figura 1 con cuatro bobinas, que están conectadas en paralelo en dos ramas,
30 Figura 13 un rotor de cuatro polos del motor 10 de la Figura 1, en el que los polos de rotor tienen dos extensiones angulares diferentes,
35 Figura 14 un rotor de cuatro polos del motor 10 de la Figura 1, en el que los polos de rotor tienen tres extensiones angulares diferentes,
Figura 15 un rotor 40 de cuatro polos, en el que entre los polos de rotor están previstas unas zonas neutras con extensiones angulares diferentes,
40 Figura 16 un rotor 40 para el motor 10 de la Figura 1 con polos de rotor sesgados,
Figura 17 un estator asimétrico de seis polos para el motor 10 de la Figura 1,
45 Figura 18 un estator asimétrico bipolar para el motor 10 de la Figura 1,
Figura 19 mediciones comparativas de la constante de tensión k_E ,
Figura 20 mediciones comparativas del par de detención,
50 Figura 21 mediciones comparativas de la constante de tensión k_E ,
Figura 22 mediciones comparativas del par de detención,
55 Figura 23 una medición de la corriente a través de la etapa de salida del motor 10 de la Figura 1 sin corrección de la señal de posición de rotor,
Figura 24 una medición de la corriente a través de la etapa de salida del motor 10 de la Figura 1 con una señal de posición de rotor mejorada,
60 Figura 25 una variante para devanar un estator de seis polos del motor 10 de la Figura 1,
Figura 26 una etapa de salida para el motor 10 de la Figura 1 con una conexión de devanado en la zona de una bobina,
65 Figura 27 un diagrama de flujo de un procedimiento de arranque para el motor 10 de la Figura 1, y

Figura 28 un imán de rotor producido mediante electromagnetismo.

5 La Figura 1 muestra un motor eléctrico 10 con un estator 20 y con un rotor 40. El estator 20 tiene asignada una disposición 30 de devanado y tiene seis polos 21 a 26 de estator. El rotor 40 tiene un imán 40' de rotor con, también, seis polos 41 a 46 de rotor, que preferiblemente están configurados como polos 41 a 46 de rotor de imán permanente.

10 La disposición 30 de devanado tiene seis bobinas 31 a 36 conectadas en serie, que están conectadas en serie o eléctricamente entre una primera conexión 11 de devanado y una segunda conexión 12 de devanado. Los polos 21 a 26 de estator tienen asignada respectivamente una de las bobinas 31 a 36, estando las bobinas 31 a 36 devanadas de tal manera que, en caso de una aplicación de corriente, en los polos 21 a 26 de estator adyacentes se suceden en cada caso alternadamente un polo norte, luego un polo sur, luego de nuevo un polo norte, etc., dado que los polos 41 a 46 de rotor también cambian en cada caso alternadamente el sentido. La disposición 30 de devanado comienza –
15 partiendo de la primera conexión 11 de devanado– en el polo 21 de estator, se extiende desde éste al polo 24 de estator y a continuación a los polos 25, 26, 22 y 23 de estator y desde éstos a la segunda conexión 12 de devanado. Así pues, es posible aplicar corriente a las bobinas 31 a 36 mediante la primera conexión 11 de devanado y la segunda conexión 12 de devanado.

20 En la disposición 30 de devanado está prevista, entre los polos de estator 24 y 25, una tercera conexión 13 de devanado, que también puede denominarse toma.

25 La Figura 2 muestra un esquema de conexiones correspondiente para el motor 10 de la Figura 1. Está representada la disposición 30 de devanado con las seis bobinas 31 a 36 y con la primera conexión 11 de devanado, la segunda conexión 12 de devanado y la tercera conexión 13 de devanado, así como un dispositivo 70 de mando y una etapa 50 de salida para influir en la corriente a través de la disposición 30 de devanado.

Están previstas una primera línea 57 (+U_B) y una segunda línea 58 (GND o potencial de referencia), para alimentar a la etapa 50 de salida una tensión +U_B de alimentación, por ejemplo desde una fuente 71 de tensión continua.

30 Entre la primera línea 57 y la primera conexión 11 de devanado está previsto un conmutador 51, y entre la primera conexión 11 de devanado y la segunda línea 58 está previsto un conmutador 52.

35 Entre la primera línea 57 y la segunda conexión 12 de devanado está previsto un conmutador 53, y entre la segunda conexión 12 de devanado y la segunda línea 58 está previsto un conmutador 54.

40 La disposición con los cuatro conmutadores 51, 52, 53 y 54 se denomina también circuito de puente integral o puente H (inglés: *full bridge circuit*, *H bridge*). En este contexto, la disposición 30 de devanado forma la rama de puente del circuito de puente integral. Entre la tercera conexión 13 de devanado y la segunda línea 58 está previsto un conmutador 56.

45 La línea 58 está conectada a una línea 59 mediante un, así llamado, resistor 60 de base, y por consiguiente los conmutadores 52, 54, 56 están conectados a la línea 58 indirectamente mediante la línea 59. El resistor 60 es habitualmente de baja impedancia y puede estar previsto adicionalmente o como alternativa en la línea 57, o suprimirse por completo.

Un dispositivo 70 de mando tiene cinco líneas piloto 61, 62, 63, 64 y 66, mediante las cuales está conectado a los cinco conmutadores 51 a 54 y 56, para conmutar éstos de forma que sean conductores o no conductores.

50 Como conmutadores 51, 52, 53, 54, 56 y 55 (véanse la Figura 6 y la Figura 7) se utilizan preferiblemente conmutadores controlables, más preferiblemente conmutadores de semiconductores como MOSFET, IGBT (*Isolated Gate Bipolar Transistor*), transistores bipolares, siempre que no se indique otra cosa. Para los conmutadores 55, 56 pueden utilizarse también por ejemplo relés.

55 Los conmutadores superiores 51, 53, 55 se denominan también conmutadores *high side* (inglés: *high side switch*) y los conmutadores inferiores 52, 54, 56 conmutadores *low side* (inglés: *low side switch*).

60 Preferiblemente, los conmutadores 51 a 56 tienen asignado respectivamente un diodo de marcha libre (véase la Figura 26), para impedir una corriente a través de los conmutadores en sentido opuesto, como la que puede aparecer por ejemplo debido a la tensión inducida en caso de estar los conmutadores 51 a 56 conmutados de forma que no sean conductores y estar el rotor 40 en rotación. En este contexto, también es posible como alternativa que esté previsto un diodo de marcha libre solo en los conmutadores 51, 52, 53, 54, y el conmutador 56 puede ser sin diodo de marcha libre, dado que la aplicación de corriente mediante el conmutador 56 puede limitarse al proceso de arranque, de manera que no se presenta aún una gran tensión inducida.

65 En el rotor 40 está dispuesto preferiblemente un sensor 67 de posición de rotor (por ejemplo sensor de efecto Hall o sensor MR (magnetorresistivo) o codificador) para determinar la posición del rotor, y el sensor 67 de posición de rotor

está conectado al dispositivo 70 de mando mediante una línea 68.

El dispositivo 70 de mando está conectado a la línea 59 mediante una línea 72, para medir el potencial en el resistor 60 de base.

5
Funcionamiento

En el funcionamiento normal, o sea cuando el rotor 40 gira y preferiblemente ha alcanzado una velocidad mínima, se aplica corriente a la disposición 30 de devanado mediante el circuito 51, 52, 53, 54 de puente integral.

10
Con este fin se conmutan por ejemplo alternadamente bien en un primer estado Z1 los conmutadores 51 y 54 de forma que sean conductores, bien en un segundo estado Z2 los conmutadores 53 y 52 de forma que sean conductores.

15
En el primer estado Z1 fluye una corriente de la primera línea 57, a través del conmutador 51, la conexión 11 de devanado, la disposición 30 de devanado, la segunda conexión 12 de devanado, el conmutador 54, la línea 59 y el resistor 60 de base, a la segunda línea 58.

20
En el segundo estado Z2, la corriente fluye de la tensión 57 de servicio, a través del conmutador 53, la segunda conexión 12 de devanado, la disposición 30 de devanado, la primera conexión 11 de devanado, el conmutador 52, la línea 59 y el resistor 60 de base, a masa 58.

En el primer estado Z1 y el segundo estado Z2, los demás conmutadores están conmutados de forma que no sean conductores.

25
Dependiendo de la posición del rotor 40, se cambia de uno a otro entre el primer estado Z1 y el segundo estado Z2, para así accionar el rotor 40. En este contexto, la posición del rotor se detecta mediante el sensor 67 de posición de rotor. Sin embargo, la detección puede realizarse también sin sensor.

30
La activación descrita para la aplicación normal de corriente a la etapa 50 de salida durante el funcionamiento es ejemplar y el experto en la técnica conoce un gran número de posibilidades de activación para etapas de salida, o sea por ejemplo también una activación sincronizada de al menos una parte de los conmutadores 51 a 54 o una conmutación de bloque.

35
El resistor 60 de base sirve para medir la corriente a través de la etapa 50 de salida, para que el dispositivo 70 de mando pueda detectar una sobrecorriente mediante la línea 72.

40
El dispositivo 70 de mando controla los conmutadores 51 a 53, para accionar o en caso dado también frenar el motor 10. En este contexto es posible por ejemplo un control de velocidad, una regulación de velocidad, un control de potencia, una regulación de potencia, etc.

Dado que la conmutación se realiza mediante conmutadores (aquí 51 a 54) y no mediante escobillas conmutadoras, el motor se denomina también motor sin escobillas o de conmutación electrónica.

45
Arranque del motor

En el arranque del motor 10 de la Figura 2 es posible que el rotor 40 tenga una posición desfavorable, en la que una aplicación de corriente a la disposición 30 de devanado mediante los conmutadores 51, 54 o 53, 52 no produzca ningún par o produzca solo un par muy pequeño.

50
Mediante la tercera conexión 13 de devanado es posible conmutar en un tercer estado Z3 los conmutadores 51 y 56 de forma que sean conductores, de manera que fluya una corriente de la primera línea 57, a través del conmutador 51, la primera conexión 11 de devanado, las bobinas 31 y 32, la tercera conexión 13 de devanado, el conmutador 56, la línea 59, el resistor 60 de base, a la segunda línea 58. Así pues, la aplicación de corriente se realiza mediante un primer grupo parcial TG1 de las bobinas 31 a 36, que solo comprende las bobinas 31 y 32.

55
También es posible, en un cuarto estado Z4, conmutar los conmutadores 53 y 56 de forma que sean conductores, de manera que fluya una corriente de la primera línea 57, a través del conmutador 53, la segunda conexión 12 de devanado, las bobinas 36, 35, 34, 33, la tercera conexión 13 de devanado, el conmutador 56, la línea 59, el resistor 60 de base, a la segunda línea 58. Así pues, la aplicación de corriente se realiza mediante un segundo grupo parcial TG2 de las bobinas 31 a 36, que solo comprende las bobinas 33 y 36.

Por lo tanto, en este ejemplo de realización, los grupos parciales TG1, TG2 no contienen bobinas comunes, sino que se aplica corriente a bobinas en cada caso diferentes.

65
Para el par (interior) magnético M_i del motor 10 se aplica

$$M_i = k_m I \quad (1)$$

con

5 k_m = constante de par (denominada también acoplamiento inductivo)
 I = corriente de devanado a través del devanado 30

Para el par real (inglés: *output torque*) M , se ha de tener en cuenta además el momento de fricción M_R de acción negativa.

10 Para la tensión (interior) inducida U_i (inglés: *induced voltage*) en la disposición 30 de devanado se aplica

$$U_i = k_m \omega = k_m 2 \pi n/60 \quad (2)$$

15 con

$\omega = \omega$ = velocidad angular
 n = velocidad en min^{-1}

20 La tensión aplicada U (*armature voltage*) en las conexiones 11, 12 de devanado resulta, con la etapa de salida bloqueada o con transistores 51, 52, 53, 54, 56 de etapa de salida no conductores, para

$$U = I R + U_i$$

25 con

R = resistencia de la disposición 30 de devanado.

30 En este contexto, la constante de par k_m depende de la posición ϕ del rotor 40, o sea $k_m = k_m(\phi)$. En lugar de la constante de par k_m , también se considera frecuentemente la constante de tensión k_E , que es proporcional a k_m y a veces se denomina también K_e .

35 Como se desprende de las ecuaciones (1) y (2), la constante de par k_m establece tanto la proporcionalidad entre el par M_i y la corriente de devanado I como la proporcionalidad entre la tensión inducida U_i y la velocidad angular ω . Por lo tanto, es posible por ejemplo determinar la constante de par k_m mediante un accionamiento externo del rotor 40 con una velocidad angular ω constante y una medición simultánea de la tensión inducida U_i , y el curso de la curva determinada es proporcional o idéntico al curso del par magnético M_i .

40 La Figura 3 muestra una medición de la tensión inducida U_i a lo largo de una rotación completa del rotor 40 de $\phi = 0 \dots 360^\circ$.

45 La curva 201 muestra la tensión inducida U_i medida entre la primera conexión 11 de devanado y la segunda conexión 12 de devanado. Puede verse que la curva 201 tiene seis pasos por cero, y cuando el motor se queda parado en una posición del rotor en la que la curva 201 tiene un paso por cero no es posible producir un par mediante una aplicación de corriente entre la primera conexión 11 de devanado y la segunda conexión 12 de devanado.

50 La curva 202 muestra la tensión inducida U_i inducida entre la primera conexión 11 de devanado y la tercera conexión 13 de devanado en las bobinas 31, 32 (grupo parcial TG1). La curva 202 tiene una menor amplitud que la curva 201, dado que solo está sumada la señal de las dos bobinas 31, 32 y no la señal de todas las seis bobinas 31 a 36 como en la curva 201. Puede verse que los pasos por cero de la curva 202 aparecen en posiciones del rotor distintas a las de los pasos por cero de la curva 201.

55 La curva 203 muestra la tensión inducida U_i inducida entre la segunda conexión 12 de devanado y la tercera conexión 13 de devanado en las bobinas 33 a 36 (grupo parcial TG2). La curva 203 tiene una menor amplitud que la curva 201 y una mayor amplitud que la curva 202, dado que la señal es la suma de las cuatro bobinas 33 a 36. Puede verse que los pasos por cero de la curva 203 aparecen en posiciones del rotor distintas a las de los pasos por cero de las curvas 201 y 202.

La Figura 4 muestra un detalle de la Figura 3 con el intervalo angular de 0° a aproximadamente 150° .

60 La curva 201, que reproduce la tensión inducida U_i entre la primera conexión 11 de devanado y la segunda conexión 12 de devanado, tiene en 60° un paso por cero, estando el ángulo de 60° identificado mediante la línea vertical 210, y estando el paso por cero en 120° identificado mediante la línea vertical 215. En los puntos 210 y 215 no es posible producir un par mediante una aplicación de corriente entre las conexiones 11 y 12 de devanado, dado que el curso de la constante de par k_m corresponde al curso de la tensión inducida U_i y éstos tienen respectivamente un paso por

65 cero.

Sin embargo, la curva 202 tiene el paso por cero en un punto 213 (en aproximadamente 62°) que está situado detrás del punto 210, y en el punto 210 la curva 202 aún tiene un valor negativo, que está identificado como una línea horizontal 211.

5 La curva 203 tiene el paso por cero antes del punto 210, en el punto 214 (en aproximadamente 57°), y en el punto 210 la curva 203 ha crecido ya a la zona positiva, estando el valor identificado con una línea horizontal 212.

10 Gracias a que las curvas 202, 203 son diferentes de cero en el punto 210, en este punto es posible producir un par bien mediante las bobinas 31, 32 (grupo parcial TG1) asignadas a la curva 202, bien mediante las bobinas 33 a 36 (grupo parcial TG2) asignadas a la curva 203.

15 En el punto 215, que corresponde a una posición del rotor de 120°, la curva 202 ha tenido ya un paso por cero en un ángulo menor, en el punto 218, y ha decrecido a un valor negativo, que está identificado mediante una línea horizontal 216.

La curva 203 tiene el paso por cero apenas detrás del punto 215, en el punto 219, y la curva 203 se halla en el punto 215 ligeramente en la zona positiva.

20 Como puede verse, el par que puede lograrse en el punto 215 mediante las curvas 202, 203 es menor que en el punto 210 y mediante una aplicación de corriente a las bobinas 31, 32 asignadas a la curva 202 puede producirse un par mayor que mediante las bobinas 33 a 36 asignadas a la curva 203.

25 En los pasos por cero 213, 218 de la curva 202, las otras curvas 201, 203 son en cada caso positivas o negativas y, en los pasos por cero 214, 219 de la curva 203, las otras curvas 201, 202 son en cada caso positivas o negativas, o sea distintas de cero.

Como resultado de ello, es posible producir un par en cualquier posición phi del rotor.

30 Una vez presentado el principio de manera fundamental, a continuación se tratan detalles y variantes.

Tipo de motor

35 La solución propuesta, con la que puede producirse un par en cualquier posición del rotor, depende en principio del tipo de motor. Pueden utilizarse por ejemplo rotores interiores, rotores exteriores o rotores de discos.

40 El estator 20 puede presentar un núcleo de estator (inglés: *stator core*), como se muestra por ejemplo en la Figura 1, pero también puede realizarse sin núcleo de estator y esto se denomina también devanado con núcleo de aire. El núcleo de estator está configurado preferiblemente como paquete de estator o paquete de chapas de estator, pero también son posibles otras variantes.

La cantidad S de polos 21, 22, etc. de estator es preferiblemente par y es $S = 2, 4, 6, 8, \dots$ o $2 * N$ con $N = 1, 2, 3, \dots$

45 La cantidad R de polos 41, 42, etc. de rotor corresponde preferiblemente a la cantidad S de polos 21, 22, etc. de estator.

50 Preferiblemente, el rotor 40 es un rotor 40 de imanes permanentes con polos 41, 42, etc. de rotor de imanes permanentes o un imán permanente 40' de rotor. Sin embargo, también es posible por ejemplo utilizar un motor con polos 41, 42, etc. de rotor producidos mediante electromagnetismo, en los que por ejemplo cada polo 41, 42, etc. de rotor presenta un devanado, representado en la Figura 28, al que durante el funcionamiento se le aplica corriente mediante una fuente 49 de tensión y que por ejemplo está arrollado alrededor de un paquete de chapas. La fuente 49 de tensión puede estar dispuesta en el rotor 40, pero no ha de estar forzosamente dispuesta en el rotor 40. En el caso de una disposición externa puede realizarse una conexión eléctrica por ejemplo mediante contactos deslizantes u otros contactos que posibiliten una conducción eléctrica a pesar del movimiento de giro del rotor. Preferiblemente, la aplicación de corriente al rotor 40 se realiza de tal manera que los imanes 41, 42, etc. de rotor produzcan durante el funcionamiento siempre un campo magnético en el mismo sentido, de manera que puedan emplearse como imanes permanentes 41, 42, etc. de rotor.

60 En el ejemplo de realización de la Figura 1, el estator 20 tiene seis ranuras en las que está repartida la disposición de devanado. Por lo tanto, un motor de este tipo se denomina también de 6 ranuras/de 6 polos.

Disposición de devanado y modo de conexión para la aplicación de corriente parcial a las bobinas

65 Las Figuras 5 a 7 y la Figura 26 muestran distintas variantes para el modo de conexión de un motor monofásico de un solo ramal con dos polos. Las dos bobinas 31, 32 tienen la primera conexión 11 de devanado y la segunda conexión 12 de devanado. La primera conexión 11 de devanado está conectada mediante el conmutador 51 hacia la primera línea 57 y mediante el conmutador 52 hacia la segunda línea 58. La segunda conexión 12 de devanado está conectada

mediante el conmutador 53 hacia la primera 57 y mediante el conmutador 54 hacia la segunda línea 58, formando los conmutadores 51 a 54 un circuito de puente integral. Entre las bobinas 31, 32 está dispuesta la tercera conexión 13 de devanado.

5 En la Figura 5, la tercera conexión 13 de devanado está conectada mediante el conmutador 56 hacia la segunda línea 58. Por medio del conmutador 56 puede fluir una corriente a través del conmutador 51, la bobina 31 (grupo parcial TG1) y el conmutador 56, o fluir una corriente a través del conmutador 53, la bobina 32 (grupo parcial TG2) y el conmutador 56. La disposición del conmutador 56 hacia la segunda línea 58 tiene la ventaja de que los correspondientes conmutadores de semiconductores y circuitos de excitación son frecuentemente más favorables que
10 en el caso de los conmutadores que se emplean entre la primera línea 57 y una conexión 11, 12, 13 de devanado.

En la Figura 6, la tercera conexión 13 de devanado está conectada mediante un conmutador 55 hacia la primera línea 57. Por medio del conmutador 55 puede fluir una corriente a través del conmutador 55, la bobina 31 (grupo parcial TG1) y el conmutador 52, o puede fluir una corriente a través del conmutador 55, la bobina 32 (grupo parcial TG2) y el conmutador 54.
15

En la Figura 7, la tercera conexión 13 de devanado está conectada tanto mediante el conmutador 55 hacia la tensión 57 de servicio como mediante el conmutador 56 hacia masa 58. Esto hace posible aplicar corriente a las bobinas 31, 32 individualmente en ambos sentidos. Esto puede ser necesario por ejemplo cuando el uso previsto no permite en absoluto un giro en el sentido incorrecto. En los casos en los que esto no sea crítico, como por ejemplo en un ventilador, la utilización de dos conmutadores 55, 56 en la tercera conexión 13 de devanado lleva no obstante a gastos adicionales innecesarios.
20

La Figura 26 corresponde al circuito de la Figura 5, no estando la conexión 13 de devanado dispuesta exactamente entre las dos bobinas 31, 32, sino dentro de la primera bobina 31. Por lo tanto, en principio es posible en todos los ejemplos de realización disponer la conexión 13 de devanado también dentro de una bobina 31, 32, y en el presente ejemplo es posible aplicar corriente a dos tercios de la bobina 31 aplicando corriente entre las conexiones 11, 13 de devanado y aplicar corriente a un tercio de la bobina 31 y a toda la bobina 32 aplicando corriente entre las conexiones 13, 12 de devanado. Esto da como resultado los siguientes grupos parciales posibles:
25

$$\begin{aligned} \text{TG1} &= (2/3 \text{ de la bobina } 31) \\ \text{TG2} &= (\text{bobina } 32 \text{ y } 1/3 \text{ de la bobina } 31) \end{aligned}$$

La Figura 8 muestra una disposición monofásica de devanado de dos ramales para un estator con dos polos de estator, en la que un primer ramal comprende las bobinas 31, 32 y un segundo ramal comprende las bobinas 33, 34. Cada uno de los ramales puede conectarse solo en una dirección de la línea 57 (UB) hacia la línea 58 (GND). Una aplicación de corriente al ramal con las bobinas 31, 32 actúa exactamente de forma opuesta a una aplicación de corriente al ramal con las bobinas 33, 34, como está señalado mediante los puntos negros junto a las bobinas 31, 32, 33, 34. Las bobinas 31, 32 tienen las conexiones 11, 12 de devanado, y las bobinas 33, 34 tienen las conexiones 11, 12' de devanado. La conexión 12 de devanado está conectada mediante un conmutador 52 hacia la línea 58 (GND), y la conexión 12' de devanado está conectada mediante un conmutador 54 hacia la línea 58 (GND). Los dos ramales están configurados preferiblemente como un devanado bifilar, pero también puede devanarse sucesivamente.
30

Entre las bobinas 31, 32 del primer ramal está prevista una tercera conexión 13 de devanado, que está conectada mediante un conmutador 56 hacia la línea 58 (GND), para posibilitar en el arranque una aplicación de corriente a la bobina 31. Esto da como resultado las siguientes posibilidades para la aplicación de corriente:
35

Primer ramal = (bobina 31, bobina 32)
Segundo ramal = (bobina 33, bobina 34)
Grupo parcial TG1 = (bobina 31)

40 Durante el funcionamiento normal, o sea tras la puesta en marcha del motor 10, la aplicación de corriente se realiza alternadamente mediante los conmutadores 52 y 54.

Tal disposición es naturalmente también posible con una mayor cantidad S de polos de estator, por ejemplo con S = 4, 6, 8, 10, etc.
45

Las Figuras 9 a 12 muestran –no de forma definitiva– distintas variantes para el modo de conexión de un motor monofásico con cuatro polos. Las cuatro bobinas 31 a 34 tienen una primera conexión 11 de devanado y una segunda conexión 12 de devanado. Las conexiones 11 y 12 de devanado están conectadas mediante un circuito de puente integral con los conmutadores 51, 52, 53, 54 entre la primera línea 57 y la segunda línea 58.
50

En la Figura 9 y la Figura 10, las cuatro bobinas 31 a 34 están conectadas en serie.

En la Figura 9, la tercera conexión 13 de devanado puede conectarse mediante el conmutador 56 hacia la segunda línea 58.
55

En la Figura 10 están previstas entre las bobinas 31 y 32 una conexión 13A de devanado, entre las bobinas 32 y 33 una conexión 13B de devanado y entre las bobinas 33 y 34 una conexión 13C de devanado. Las conexiones 13A, 13B y 13C de devanado pueden conectarse respectivamente mediante un conmutador 56A, 56B, 56C hacia la segunda línea 58. La previsión de tres conmutadores adicionales 56A, 56B, 56C es más cara que una variante con solo un conmutador 56, pero permite la utilización de un rotor 40 o de un imán 40' de rotor con menos asimetría, dado que mediante el cableado es posible influir de forma más variable en determinados polos de rotor. Es posible por ejemplo una aplicación de corriente a los siguientes grupos parciales de las bobinas 31 a 36:

TG1 = (31)
 TG2 = (31, 32)
 TG3 = (31, 32, 33)
 TG4 = (34)
 TG5 = (34, 33)
 TG6 = (34, 33, 32)

En este contexto, al menos una parte de las bobinas 31 a 36 está presente en varios de los grupos parciales TG1 a TG6.

En esta variante es posible prever adicionalmente en las conexiones 13A, 13B, 13C de devanado unos conmutadores 55A, 55B, 55C –no representados– para posibilitar un cableado hacia la primera línea 57. De este modo, las bobinas 31 a 36 pueden activarse con aún más variantes, y en una disposición de devanado así conectada es suficiente la asimetría en un solo polo de rotor para poder producir un par en cualquier posición del rotor.

En la Figura 11 y la Figura 12, las bobinas 31 y 32 están conectadas en serie entre las conexiones 11, 12 de devanado, y las bobinas 33, 34 también están conectadas en serie entre las conexiones 11, 12 de devanado, de manera que las bobinas 31, 32 están conectadas en paralelo con respecto a las bobinas 33, 34.

En la Figura 11 está prevista entre las bobinas 31, 32 la tercera conexión 13 de devanado y ésta puede conectarse mediante el conmutador 56 hacia la segunda línea 58. De este modo es posible en el arranque aplicar corriente a una de las bobinas 31 (grupo parcial TG1, a través de los conmutadores 51, 56) o 32 (grupo parcial TG2, a través de los conmutadores 53, 56).

En la Figura 12 se muestra otra posibilidad, para aplicar corriente solo a una parte de las bobinas 31 a 34. En el ramal parcial (la rama) con las bobinas 33, 34 está previsto un conmutador 69 entre la primera conexión 11 de devanado y la bobina 33 y, mediante este conmutador 69, es posible excluir de la aplicación de corriente en el arranque el ramal parcial con las bobinas 33, 34. Para tal variante es ventajoso que al menos una parte de las bobinas estén conectadas en paralelo. Así pues, existe un grupo parcial TG1 = (31, 32). Una desventaja de esta solución es que durante la aplicación de corriente en el funcionamiento normal a través de las conexiones 11, 12 de devanado fluye constantemente una corriente por el conmutador 69. Esto causa pérdidas y en caso dado son necesarios un conmutador 69 caro con poca resistencia y/o una buena refrigeración. Sin embargo, dado que el conmutador 69 no se conmuta durante el funcionamiento normal, es posible por ejemplo utilizar un relé. El conmutador 69 puede también disponerse entre las bobinas 33, 34 o entre la bobina 34 y la segunda conexión 12 de devanado o en una de las bobinas 33, 34. Además, es posible separar la conexión 11 de devanado para las dos ramas 31, 32 o 33, 34 y prever para cada rama de devanado un conmutador 51 y 52, o por ejemplo en una disposición de devanado con tres ramales parciales paralelos configurar mediante el conmutador 69 bien solo un ramal parcial o bien dos ramales parciales de forma desconectable. También es posible prever adicionalmente una tercera conexión de devanado, con el fin de tener más posibilidades para aplicar corriente a grupos parciales de las bobinas.

Producción de la asimetría

En el caso de un estator 20 simétrico y un rotor 40 simétrico tampoco es posible producir un par mediante una aplicación de corriente a una parte o a un grupo parcial de las bobinas 21 a 26, dado que en cada una de las bobinas 31 a 36 se induce exactamente la misma tensión U_i .

Por lo tanto, bien en el estator 20, bien en el rotor 40, bien en ambos, ha de existir una asimetría, de manera que la tensión inducida –en el funcionamiento normal– en las distintas bobinas 31, 32, etc. sea al menos parcialmente diferente entre éstas.

Asimetría en el rotor

Puede lograrse una asimetría haciendo que la extensión angular de al menos uno de los polos 41 a 46 de rotor sea diferente de la extensión angular de al menos otro de los polos 41 a 46 de rotor, y por lo tanto que el imán 40' de rotor esté configurado de manera asimétrica. En la Figura 1, por ejemplo los polos 41, 44 de rotor tienen respectivamente una extensión angular de 60°, los polos 42, 45 de rotor una extensión angular de 55° y los polos 43, 46 de rotor una extensión angular de 65°. En esta disposición, la repartición angular de los polos 41, 42, 43 de rotor corresponde a la repartición angular 44, 45, 46. Esto tiene la ventaja de que en cada bisección del rotor 40 hay en ambos lados la misma

cantidad de polos norte-sur o sur-norte. Esto es positivo tanto para el par total del motor 10 como para la producción de ruido. Además, es positivo elegir como en la Figura 1 para la aplicación parcial de corriente a las bobinas 31 a 36 dos polos 21, 24 de estator opuestos, dado que estos dos polos 21, 24 de estator o las bobinas 31, 32 asignadas "ven", desde el punto de vista magnético, los mismos imanes 41 o 44, de manera que el par resultante al aplicar corriente a las bobinas 31, 32 se suma en relación con los polos 41, 44 de rotor.

Las Figuras 13 a 16 muestran a modo de ejemplo distintas formas de realización para rotores 40 de cuatro polos con los cuatro polos 41, 42, 43 y 44 de rotor.

10 En la Figura 13, los polos 41, 43 de rotor opuestos entre sí tienen una extensión angular ϕ_{RM} de, en cada caso, 85° y los polos 42, 44 de rotor tienen respectivamente una extensión angular ϕ_{RM} de 95° .

En la Figura 14, el polo 41 de rotor tiene una extensión angular ϕ_{RM} de 90° , los polos 42, 44 de rotor contiguos a éste tienen una extensión angular ϕ_{RM} de 87° y el polo 43 de rotor del imán 40' de rotor tiene una extensión angular ϕ_{RM} de 96° . La utilización de tres extensiones angulares ϕ_{RM} diferentes ofrece en principio más posibilidades de producir un par en el arranque que en el caso del rotor 40 de la Figura 13, y en un rotor 40 de este tipo es posible producir un par en cualquier posición del rotor con la etapa de salida sencilla según la Figura 9 también con un estator 20 simétrico. Sin embargo, dado que en la bisección de un rotor 40 de este tipo no existe en cada mitad la misma cantidad de material polar magnetizado por igual, esto puede llevar a una tracción radial, lo que no es deseable. Por lo tanto, las diferencias deberían mantenerse lo más pequeñas posible.

En la Figura 15, los polos 41 a 44 de rotor del imán 40' de rotor tienen respectivamente la misma extensión angular $\phi_{RM} = 80^\circ$. Adicionalmente están previstas entre los polos 41 a 44 de rotor en cada caso unas zonas neutras 41A a 44A y mediante su asimetría puede producirse también una asimetría del rotor 40 o del imán 40' de rotor que posibilite un arranque del motor. Con este fin, las zonas intermedias 44A (entre los polos 44 y 41 de rotor) y 43A (entre los polos 43 y 44 de rotor) tienen una extensión angular $\phi_N = 10^\circ$, la zona intermedia 41A (entre los polos 41, 42 de rotor) tiene una extensión angular $\phi_N = 5^\circ$ y la zona intermedia 42A (entre los polos 42 y 43 de rotor) tiene una extensión angular $\phi_N = 15^\circ$. La asimetría se hace evidente al observar los centros magnéticos 41M a 44M de los polos 41 a 44 de rotor. Los centros magnéticos 41M, 44M y 43M tienen respectivamente una distancia angular de 90° o en general de $360^\circ/R$ con $R =$ cantidad de polos de rotor, y el centro magnético 42M está desplazado 5° fuera de la cuadrícula de 90° . De este modo, la distancia angular entre el centro magnético 41M y el centro magnético 42M es de 85° y la distancia angular entre el centro magnético 42M y 43M es de 95° .

La Figura 16 muestra un rotor 40 con cuatro polos 41, 42, 43 y 44 del imán 40' de rotor, con una zona neutra 47 dispuesta axialmente debajo de los polos y preferiblemente con una pista magnética 48 dispuesta axialmente debajo de la zona neutra 47. Los límites polares entre los polos 41, 42, 43 y 44 están respectivamente sesgados, pudiendo verse los límites polares 43Z (entre los polos 43, 44) y 44Z (entre los polos 44 y 41 de rotor) en el lado periférico del imán 40' de rotor y pudiendo verse el límite polar oblicuo 41Z entre los polos 41 y 42 de rotor en el lado interior del rotor 40. En una configuración de este tipo también es útil observar el centro magnético, que por ejemplo está dibujado como 44M en el polo 44 de rotor.

La pista magnética 48 adicional, que puede estar dispuesta de múltiples maneras en relación con los polos 41 a 44, sirve para producir un campo magnético de sensor adecuado para los sensores de posición de rotor, con el fin de posibilitar una buena conmutación. Esto es particularmente importante cuando los polos 41 a 44 tienen extensiones angulares diferentes, véase la descripción relativa a la Figura 23.

La asimetría en el rotor 40 o en el imán 40' de rotor puede producirse también utilizando materiales magnéticos diferentes o una asimetría en la magnetización del imán permanente 40' de rotor.

50 Asimetría en el estator

Una asimetría del estator 20 de la Figura 1 puede lograrse por ejemplo haciendo que al menos uno de los polos 21 a 26 esté dispuesto algo girado, de manera que tenga una distancia angular en relación con al menos uno de los demás polos 21 a 26 de estator que sea distinta de 60° o un múltiplo de ésta. Naturalmente, aquí son posibles también variantes.

La Figura 17 muestra un estator 20 con seis polos 21 a 26 de estator, de los cuales los polos 21 y 24 de estator están configurados ligeramente girados en el sentido de las agujas del reloj en relación con los polos 22, 23, 25, 26 de estator. El ángulo entre los polos 21, 22 y los polos 24, 25 es respectivamente de 65° , el ángulo entre los polos 22, 23 y los polos 25, 26 es respectivamente de 60° y el ángulo entre los polos 23, 24 y 26, 21 es respectivamente de 55° .

La Figura 18 muestra una asimetría en un estator 20 bipolar. En este contexto, los dos polos no están dispuestos exactamente a una distancia angular ϕ_s de 180° ($360^\circ / S$ con $S = 2$), sino por ejemplo a una distancia angular $\phi_s = 175^\circ$ (o 185° visto desde el lado opuesto). La distancia angular $\Delta\phi_s$ con respecto al ángulo estándar de 180° se elige lo más pequeña posible, dado que lleva a un rendimiento algo peor del motor 10. En particular en un motor bipolar, la asimetría en el estator 20 es ventajosa, porque si en un motor monofásico bipolar se prevé solo una

asimetría en el rotor 40, sigue existiendo una posición del rotor en la que las dos bobinas 31, 32 de los dos polos 21, 22 de estator tienen simultáneamente un paso por cero, concretamente cuando el centro de cada polo 41, 42 de rotor está situado exactamente enfrente de uno de los polos 21, 22 de estator.

5 Ventajas en relación con un motor monofásico con par auxiliar de reluctancia

En la repartición de polos de rotor según la Figura 1 (65°, 60°, 55°, 65°, 60°, 55°) se determinó que la constante de tensión kE en relación con un rotor 40 con polos de rotor simétricos y estator simétrico está reducida en aproximadamente un dos por ciento.

10 Ésta es sin embargo una pérdida menor que en un motor con un corte de reluctancia para producir un par auxiliar de reluctancia, en el que por lo tanto el entrehierro entre el polo de estator y el imán 40' de rotor aumenta respectivamente en una dirección en la dirección periférica, porque el tamaño del entrehierro influye en el flujo magnético entre el rotor y el estator y por lo tanto también en la constante de tensión kE. Así pues, el motor según la invención puede proporcionar más potencia que un motor monofásico correspondiente con par auxiliar de reluctancia, y el rendimiento es mejor.

20 El par de detención (inglés: *cogging torque*) del motor monofásico según la invención está considerablemente reducido en relación con un motor monofásico convencional con par auxiliar de reluctancia. Esto es comprensible, dado que un motor con par auxiliar de reluctancia está configurado precisamente para que el rotor se enclave en una posición de rotor adecuada para el arranque. Las mediciones han dado como resultado una reducción del par de detención de entre un 50% y un 90% en relación con un motor con par auxiliar de reluctancia. Esto tiene la gran ventaja de que también se producen menos ruidos del motor, dado que un menor par de detención hace que el ruido del motor sea menor.

25 Los motores monofásicos cuya posición de arranque se fija mediante un par auxiliar de reluctancia presuponen un uso en el que no se produzcan un par externo elevado ni una fricción demasiado grande, por lo tanto, por ejemplo el uso en un ventilador o un motor para un reproductor de CD. En el motor monofásico según la invención son posibles usos adicionales en los que también pueden actuar pares externos medianos o en los que aparezca una mayor fricción, como por ejemplo en las bombas de líquidos. Así, el campo de aplicación posible del motor según la invención es mayor que en un motor monofásico con par auxiliar de reluctancia, pero menor que en un motor trifásico.

Ventajas en relación con un motor trifásico

35 A modo de ejemplo se comparan las ventajas en cuanto al coste en el caso de la utilización de una disposición monofásica 30 de devanado, con una tercera conexión 13 de devanado y con un conmutador 56 según la Figura 2, con un motor trifásico con circuito de puente integral.

40 Un circuito de puente integral para un motor trifásico tiene tres conmutadores superiores (conmutadores *high side*) (conectados hacia la tensión de servicio) y tres conmutadores inferiores (conmutadores *low side*) (conectados hacia masa).

45 El circuito de puente integral para el motor monofásico de la Figura 2 tiene en cambio solo dos conmutadores superiores 51, 53 y dos conmutadores inferiores 52, 54. Adicionalmente está previsto un conmutador inferior 56 para la tercera conexión de devanado. Así pues, se suprime por una parte un conmutador superior y en caso dado un elemento de excitación asignado. Además, para el conmutador inferior 56 puede utilizarse un tipo más sencillo y favorable con una mayor resistencia interior, dado que el conmutador 56 se utiliza solo durante el arranque y, por lo tanto, la energía disipada o la producción de calor por parte del conmutador 56 no son críticas.

50 Además, en el caso de un motor con sensores de posición de rotor (por ejemplo sensores de efecto Hall), son necesarios tres sensores de posición de rotor en el motor trifásico y en cambio solo uno en el motor monofásico. Sin embargo, en ambos casos también es posible un control de motor sin sensores.

55 Un cálculo en varios ventiladores de alta potencia de la solicitante ha dado como resultado que es posible una reducción de coste muy grande para el accionamiento (motor y electrónica) del orden de un 10%.

60 Otra ventaja del motor monofásico según la invención es que en principio pueden utilizarse los mismos núcleos de estator o paquetes de chapas que en el motor trifásico sin par auxiliar de reluctancia. De este modo es posible utilizar la misma herramienta de estampado y corte tanto para un estator trifásico como para un estator monofásico, por ejemplo, con una cantidad S de polos de estator de $S = 6, 12, 18$, etc.

Sin embargo, también pueden elegirse variantes puramente monofásicas con $S = 2, 4, 8$, etc.

Mediciones comparativas con distintos tipos de motor

65 Se llevaron a cabo mediciones del par de detención y de la constante de tensión kE, que es proporcional a k_M . Las

curvas determinadas para la constante de tensión kE se refieren respectivamente a la señal de una bobina.

Se estudiaron los siguientes tipos de motor

Denominación	S	R	Altura paquete de chapas	Diámetro exterior paquete de chapas	Particularidades
M231	4	4	14 mm	54 mm	monofásico, sin par auxiliar de reluctancia, sesgado
M232	6	6	14 mm	54 mm	monofásico, con par auxiliar de reluctancia
M233	6	6	15 mm	56 mm	monofásico, con par auxiliar de reluctancia
M234	6	4	14 mm	54 mm	trifásico, sin par auxiliar de reluctancia

5 La Figura 19 muestra la medición de la constante de tensión kE para los motores M231 y M232, respectivamente en una rotación del rotor a lo largo de la extensión de dos polos de rotor.

10 La curva M231A muestra la constante de tensión kE para un motor M231 según la invención, no presentando éste ningún par auxiliar de reluctancia. Por lo tanto, la curva M231A es considerablemente simétrica alrededor de un máximo central.

15 La curva M232A muestra la constante de tensión kE para un motor monofásico conocido con par auxiliar de reluctancia. Puede verse bien que la curva M232A crece en cada caso de izquierda a derecha y no alcanza su máximo hasta llegar a la zona derecha.

En esta medición se determinó que la superficie bajo la curva M231A es aproximadamente un 3% mayor que la superficie bajo la curva M232A, y esto lleva a un rendimiento algo mayor.

20 La curva M231A se midió con un motor de 4 ranuras ($S = 4$) y la curva M232A con un motor de 6 ranuras ($S = 6$). Se supone que la superficie bajo la curva M231A en relación con la superficie bajo la curva M232A sería porcentualmente incluso algo mayor si se llevase a cabo una comparación con un motor de 6 ranuras.

25 La Figura 20 muestra una medición del par de detención para los motores M231, M232 y M234, respectivamente en una rotación del rotor a lo largo de la extensión de dos polos de rotor.

30 La curva M232B muestra el motor monofásico M232 con par auxiliar de reluctancia, y el par de detención es correspondientemente muy grande. La curva M231B muestra el par de detención para el motor monofásico M232 según la invención (aquí sin par auxiliar de reluctancia), y el par de detención está reducido en un 87% en relación con la curva M232B. El curso vacilante de la curva M231B se debe presumiblemente a que se utilizó otro equipo de medición para la medición.

35 Con fines de comparación está dibujada además una curva M234B, que muestra el par de detención del motor trifásico M234 sin par auxiliar de reluctancia. Como resultado, con la curva M231B correspondiente al motor M231 según la invención puede lograrse un par de detención que es considerablemente menor que el de un motor monofásico con par auxiliar de reluctancia como los existentes hasta ahora y que es comparable al par de detención de un motor trifásico. Esto lleva a una considerable reducción del ruido en relación con el motor monofásico conocido.

40 La Figura 21 muestra la medición de la constante de tensión kE para los motores M231 y M233, respectivamente en una rotación del rotor a lo largo de la extensión de dos polos de rotor.

La curva M231A muestra la constante de tensión kE para un motor M231 según la invención, no presentando éste ningún par auxiliar de reluctancia. Por lo tanto, la curva M231A es considerablemente simétrica alrededor de un máximo central.

45 La curva M233A muestra la constante de tensión kE para el motor monofásico M233 con par auxiliar de reluctancia, como el empleado actualmente en gran número por la solicitante.

50 Es cierto que los motores M231 y M233 tienen un diámetro exterior ligeramente diferente y una altura del paquete de chapas ligeramente diferente. Sin embargo, el motor M233 tiene una cabeza de devanado menor y por lo tanto una altura axial comparable de la totalidad del estator, y por consiguiente ambos motores M231, M233 pueden emplearse para los mismos usos.

En la curva M233A puede verse que el estator correspondiente tiene un par auxiliar de reluctancia debido a un entrehierro que disminuye en la dirección periférica, dado que la curva M233A crece en la zona superior y no alcanza

el máximo hasta llegar al lado derecho.

En esta medición se determinó que la superficie bajo la curva M231A es aproximadamente un 1,6% mayor que la superficie bajo la curva M233A, de manera que el motor M231A según la invención tiene un mayor rendimiento.

5 La Figura 22 muestra una medición del par de detención para los motores M231, M233. La curva M233B muestra el par de detención del motor M233, y la curva M231B el par de detención del motor M231 según la invención.

10 El motor M231 según la invención alcanza, con un rendimiento comparable, una reducción del par de detención de un 80,2% y esto lleva a un motor considerablemente menos ruidoso.

Mejoramiento de la detección de posición del rotor

15 La Figura 23 muestra una medición de la corriente a través de la etapa 50 de salida de la Figura 2, medida en el resistor 60 de base. La señal 240A muestra la corriente medida. Ésta es muy irregular y esto puede atribuirse a que el sensor 67 de posición de rotor (véase la Figura 2) determina la posición del rotor por medio de los polos asimétricos 41 a 46 de rotor de la Figura 1. Dependiendo de que un polo de rotor sea actualmente mayor, menor o correspondiente a $360^\circ/R$, la conmutación se realiza demasiado pronto, demasiado tarde o correctamente y de este modo la corriente alcanza frecuentemente demasiado pronto o demasiado tarde su máximo. Es cierto que el motor funciona, pero el
20 rendimiento es malo.

Por lo tanto, en el rotor 40 de la Figura 16 se previó una pista magnética simétrica 48 adicional y se dispuso ésta en relación con el sensor 67 de posición de rotor de tal manera que éste puede detectar la pista magnética 48 adicional.

25 La Figura 24 muestra la señal 241 del sensor 67 de posición de rotor de la Figura 2 y, en virtud de la pista magnética simétrica 48 adicional, esta señal es también simétrica. El mando 70 de motor puede llevar a cabo la conmutación sobre la base de la señal 241, y la corriente 240B resultante es considerablemente mejor que la corriente 240A de la Figura 23. De este modo se aumenta el rendimiento del motor 10.

30 Como alternativa, también es posible optimizar la conmutación mediante el dispositivo 70 de mando de la Figura 2 haciendo que éste mida por ejemplo a velocidad constante la extensión angular de los distintos polos, que es proporcional al tiempo entre los cambios de polo. A continuación, el dispositivo 70 de mando puede determinar a la velocidad actual mediante un contador de tiempo, partiendo del último cambio de polo, cuándo ha de realizarse la siguiente conmutación.

35 Resumen de procedimientos de arranque

Dado que mediante una aplicación de corriente a toda la disposición 30 de devanado o mediante una aplicación de corriente a un primer grupo parcial TG1 (por ejemplo, bobinas 31, 32 en la Figura 1) y en caso dado también a otros grupos parciales TG2 (por ejemplo bobinas 33 a 36 en la Figura 1) etc. de la disposición 30 de devanado es posible producir un par, también es posible un arranque del motor.

Procedimiento de arranque 1

45 Una variante sencilla para arrancar el motor 10 consiste en mover el rotor 40, mediante una primera aplicación de corriente al primer grupo parcial TG1 de la disposición 30 de devanado, a una primera posición predefinida RS1 del rotor en relación con el primer grupo parcial TG1 de la disposición 30 de devanado y, partiendo de esta posición RS1 del rotor, arrancar el motor 10 mediante una segunda aplicación de corriente a toda la disposición 30 de devanado o a un segundo grupo parcial TG2. El sentido de la segunda aplicación de corriente y en caso dado también de la primera aplicación de corriente se realiza, en caso de utilizar un sensor 67 de posición de rotor (véase la Figura 2), preferiblemente en función de la señal del sensor 67 de posición de rotor.

Una vez realizado satisfactoriamente el arranque puede cambiarse al servicio monofásico normal.

55 Procedimiento de arranque 2

Otra variante para arrancar el motor 10 consiste en, dependiendo de la posición del rotor o dependiendo de la señal del sensor 67 de posición de rotor,

- 60
- en primer lugar llevar a cabo una primera aplicación de corriente a toda la disposición 30 de devanado y comprobar si el motor ha arrancado. En caso negativo
 - llevar a cabo una segunda aplicación de corriente al primer grupo parcial TG1 de la disposición 30 de devanado y comprobar si ha arrancado el motor 10,
 - llevar a cabo una tercera aplicación de corriente al segundo grupo parcial TG2 de la disposición 30 de devanado y comprobar si ha arrancado el motor 10,
 - llevar a cabo una aplicación adicional de corriente a los otros grupos parciales de la disposición 30 de devanado y
- 65

comprobar si ha arrancado el motor 10.

Un arranque realizado satisfactoriamente puede reconocerse por ejemplo en la aparición de cambios de la señal del sensor de posición de rotor. Una vez realizado satisfactoriamente el arranque puede cambiarse al servicio monofásico normal.

Tanto el sentido de la primera aplicación de corriente a la totalidad de la disposición 30 de devanado, como la selección del primer grupo parcial TG1 en el caso de varios posibles grupos parciales, se realizan preferiblemente en función de la señal del sensor 67 de posición de rotor (véase la Figura 2).

La Figura 27 muestra un diagrama de flujo para llevar a cabo el procedimiento de arranque 2.

La rutina comienza en la operación S300, y en S302 se pone a cero la variable CHANGE_HALL, para indicar que no ha tenido lugar ningún cambio de la señal de posición de rotor. La variable de estado STATE_NEW se pone en el valor STATE_1_2, para indicar que se ha de aplicar corriente a la totalidad de la disposición 30 de devanado mediante las conexiones principales 11, 12 de devanado (véase por ejemplo la Figura 1). Una variable de estado STATE_OLD se pone en el valor STATE_4, para indicar que la última acción realizada ha sido una aplicación corriente al grupo parcial TG2, no teniendo ésta que haber tenido lugar realmente (inicialización de las variables). A continuación se salta a S304 y en este subprograma se lleva a cabo una conmutación (COMMUT_HALL) mediante las conexiones 11, 12 de devanado en función de la señal de posición de rotor, o sea que se aplica corriente a la totalidad de la disposición de devanado.

Siempre que el rotor 40 gire y se tenga lugar regularmente un cambio de las señales de posición de rotor, el motor permanece en el subprograma S304.

Después de cada conmutación del motor se mide el espacio de tiempo T_LAST_COMMUT a partir de esta conmutación y, si este espacio de tiempo sobrepasa un espacio de tiempo máximo T_MAX, se aplica corriente bien al grupo parcial TG1, bien al grupo parcial TG2. Con este fin se evalúa la variable STATE_OLD y, si ésta corresponde al valor STATE_4, se salta a S326. En S326 se ponen la variable STATE_NEW en el valor STATE_3 y la variable CHANGE_HALL en el valor cero. A continuación, se salta a S328 y en esta subrutina se realiza una aplicación de corriente al grupo parcial TG1, designándose el estado como STATE_3. En la conmutación en S328 también se mide el espacio de tiempo T_LAST_COMMUT desde la última conmutación y, si se sobrepasa un espacio de tiempo máximo T_MAX, se realiza un salto a S332. En S332 se pone la variable STATE_OLD en el valor STATE_OLD, para indicar que el último estado era el estado STATE_3. La variable STATE_NEW se pone en el valor STATE_1_2 y la variable CHANGE_HALL se pone a cero, para indicar que no ha tenido lugar ningún cambio de la señal de posición de rotor. A continuación, se salta de vuelta a S304.

Si, por el contrario, en S328 ha tenido lugar un cambio de la señal de posición de rotor (HALL_CHANGE) antes de transcurrir el espacio de tiempo máximo T_MAX, se salta a S330 y en ésta se ponen la variable STATE_OLD en el valor STATE_3, la variable STATE_NEW en el valor STATE_1_2 y la variable CHANGE_HALL en el valor 1, para indicar que ha tenido lugar un cambio de la señal de posición de rotor. A continuación, se salta a S304.

Si, por el contrario, la variable STATE_OLD tenía en S304 el valor STATE_3, al sobrepasarse el espacio de tiempo máximo T_MAX desde la última conmutación COMMUT_HALL se salta a S306. En S306 se ponen la variable STATE_NEW en el valor STATE_4 y la variable CHANGE_HALL en el valor cero. A continuación, se salta a S308. En la rutina S308, el motor tiene el estado STATE_4 y se realiza una conmutación COMMUT_TG2 del grupo parcial TG2. Se mide el espacio de tiempo T_LAST_COMMUT desde la última conmutación COMMUT_TG2 y, si se sobrepasa un espacio de tiempo máximo T_MAX, se salta a S312. En S312 se ponen la variable STATE_OLD en el valor STATE_4, la variable STATE_NEW en el valor STATE_1_2 y la variable CHANGE_HALL en el valor cero, y se salta a S304.

Si, por el contrario, ha tenido lugar un cambio de la señal de posición de rotor (HALL_CHANGE) antes de alcanzar el espacio de tiempo máximo T_MAX, se salta de S308 a S310 y en ésta se ponen la variable STATE_OLD en el valor STATE_4, la variable STATE_NEW en el valor STATE_1_2 y la variable CHANGE_HALL en el valor 1, y se salta a S304.

En el arranque del motor o durante la marcha se comprueba después de cada conmutación si dentro de un espacio de tiempo máximo T_MAX tiene lugar el siguiente cambio de la señal de posición de rotor y, si no es éste el caso, bien se lleva a cabo un cambio al estado STATE_3 con conmutación del grupo parcial TG1, bien se lleva a cabo un cambio al estado STATE_4, en el que tiene lugar una aplicación de corriente al grupo parcial TG2, seleccionándose partiendo del estado STATE_1_2 siempre alternadamente el estado STATE_3 o el estado STATE_4. La aplicación de corriente al grupo parcial TG1 o TG2 hace que el rotor se mueva a una posición desde la que puede realizarse un arranque mediante el estado STATE_1_2.

Son posibles muchas variaciones y, así, es posible por ejemplo saltar como alternativa del estado STATE_1_2 al estado STATE_3 y a continuación al estado STATE_4 hasta que el rotor gire y se realice un salto de vuelta al estado STATE_1_2 en S304.

Naturalmente, en el marco de la presente invención son posibles muchas variaciones y modificaciones.

- 5 Así, en lugar de un circuito de puente integral puede utilizarse también un circuito de puente sencillo, que posibilite solo una aplicación de corriente a la bobina 31, 32, etc. en un sentido, y también puede realizarse un devanado bifilar en el que cada una de las bobinas en un polo de estator tenga asignado un sentido de aplicación de corriente, de manera que en total con S polos de estator estén presentes 2 S bobinas. También pueden estar devanados solo una parte de los polos de estator.
- 10 Adicionalmente puede preverse un par auxiliar de reluctancia, para por ejemplo alcanzar más frecuentemente una posición de arranque desde la que lograr un arranque mediante una aplicación de corriente entre la primera conexión 11 de devanado y la segunda conexión 12 de devanado, pudiendo este par auxiliar de reluctancia estar configurado más débil que en un motor que dependa forzosamente de una orientación correspondiente del rotor para el arranque mediante el par auxiliar de reluctancia.

15

REIVINDICACIONES

1. Motor eléctrico (10), que presenta:

5 un estator (20) con una cantidad S de polos (21, 22, 23, 24, 25, 26) de estator,
 un rotor (40) con un imán (40') de rotor, imán (40') de rotor que presenta una cantidad R de polos (41, 42, 43, 44,
 45, 46) de rotor, siendo R igual a S y presentando el rotor (40) o el estator (20) o ambos una asimetría,
 una disposición monofásica (30) de devanado con una primera conexión (11) de devanado y con una segunda
 10 conexión (12) de devanado, pudiéndose mediante la primera conexión (11) de devanado y la segunda conexión
 (12) de devanado aplicar corriente a una cantidad W de bobinas de la disposición de devanado,
 una etapa (50) de salida que está configurada para posibilitar una corriente entre la primera conexión (11) de
 devanado y la segunda conexión (12) de devanado,
 estando previsto un primer dispositivo (13, 13A, 13B, 13C, 69) que comprende conmutadores (55, 56), que está
 15 configurado para, en cooperación con la etapa de salida, posibilitar una aplicación de corriente a un grupo parcial
 (TG1, TG2) de más de cero de las W bobinas y menos de W de las W bobinas, estando previsto además un medio
 para determinar la velocidad, con el fin de detectar la velocidad del motor eléctrico (10), y en el que se cambia de
 un primer estado (STATE_1_2) del motor eléctrico (10) a un segundo estado (STATE_3, STATE_4) cuando la
 velocidad del motor eléctrico (10) en el arranque del motor está por debajo de una velocidad mínima predefinida o
 es cero,
 20 activándose la etapa (50) de salida en el primer estado (STATE_1_2) del motor eléctrico (10) de tal manera que
 se aplica corriente a todas las W bobinas mediante la primera conexión (11) de devanado y la segunda conexión
 (12) de devanado y activándose la etapa (50) de salida en el segundo estado (STATE_3, STATE_4) de tal manera
 que se aplica corriente a solo uno de los grupos parciales (TG1, TG2) de las W bobinas, caracterizado por que la
 cantidad de bobinas (TG1) entre la primera conexión (11) de devanado y una tercera conexión (13, 13A, 13B, 13C)
 25 de devanado es diferente de la cantidad de bobinas (TG2) entre la tercera conexión (13, 13A, 13B, 13C) de
 devanado y la segunda conexión (12) de devanado.

2. Motor eléctrico (10) según la reivindicación 1,

30 en el que la asimetría está configurada para, en cada posición del rotor (40), posibilitar la producción de un par
 mediante al menos uno de los procesos de aplicación de corriente siguientes

- aplicación de corriente a todas las W bobinas o
- aplicación de corriente al, al menos un, grupo parcial (TG1, TG2) de las bobinas.

35 3. Motor eléctrico (10) según la reivindicación 1 o 2, en el que están previstos al menos dos grupos parciales (TG1,
 TG2).

4. Motor eléctrico según una de las reivindicaciones precedentes, en el que el primer dispositivo (13; 13A, 13B, 13C,
 55, 56) presenta la tercera conexión (13; 13A, 13B, 13C) de devanado y el conmutador (55, 56), para posibilitar una
 40 corriente entre la primera conexión (11) de devanado o la segunda conexión (12) de devanado por una parte y la
 tercera conexión (13; 13A, 13B, 13C) de devanado por otra parte.

5. Motor eléctrico según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la disposición (30) de devanado presenta
 una pluralidad de ramales parciales (31, 32; 33, 34) paralelos entre sí, y en el que el primer dispositivo (69) presenta
 45 un conmutador (89) que está configurado para, en el estado no conductor, impedir una corriente a través de una
 primera parte de los ramales parciales, pero no impedir una corriente a través de los demás ramales parciales.

6. Motor eléctrico según una de las reivindicaciones precedentes, en el que el rotor (40) presenta una asimetría
 producida por el hecho de que los R polos (41, 42, 43, 44, 45, 46) de rotor presentan al menos parcialmente una
 50 extensión angular (ϕ_{RM}) diferente unos con respecto a otros.

7. Motor eléctrico según una de las reivindicaciones precedentes, en el que el rotor (40) presenta una asimetría
 producida por el hecho de que la distancia angular del centro magnético de un polo (41 a 46) de rotor al centro
 magnético de un polo (41 a 46) de rotor adyacente es al menos parcialmente diferente de $360^\circ/R$.
 55

8. Motor eléctrico según una de las reivindicaciones precedentes, en el que $W = S$.

9. Motor eléctrico según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa (50) de salida presenta un circuito
 de puente integral, para posibilitar una aplicación de corriente a la disposición (30) de devanado entre la primera
 60 conexión (11) de devanado y la segunda conexión (12) de devanado en ambos sentidos.

10. Motor eléctrico según una de las reivindicaciones precedentes, en el que el imán (40') de rotor presenta polos (41,
 42, 43, 44, 45, 46) de rotor de imán permanente o polos (41, 42, 43, 44, 45, 46) de rotor producidos por
 65 electromagnetismo, teniendo asignado cada polo (41, 42, 43, 44, 45, 46) de rotor, en el caso de los polos (41, 42, 43,
 44, 45, 46) de rotor producidos por electromagnetismo, un devanado al que se aplica corriente durante el
 funcionamiento.

11. Procedimiento para aplicar corriente a un motor eléctrico (10) según una de las reivindicaciones 1 a 10 precedentes, con las siguientes operaciones:

5 A) la etapa (50) de salida se activa en un primer estado (STATE_1_2) del motor eléctrico (10) de tal manera que se aplica corriente a todas las W bobinas mediante la primera conexión (11) de devanado y la segunda conexión (12) de devanado;

 B) la etapa (50) de salida se activa en un segundo estado (STATE_3, STATE_4) del motor eléctrico (10) de tal manera que se aplica corriente solo al, al menos un, grupo parcial (TG1, TG2) de las W bobinas,

10 en donde se detecta la velocidad del motor eléctrico (10) y en el que, en el arranque del motor, se cambia del primer estado (STATE_1_2) del motor eléctrico (10) al segundo estado (STATE_3, STATE_4) cuando la velocidad del motor eléctrico (10) está por debajo de una velocidad mínima predefinida o es cero.

15 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que, en el arranque del motor, se cambia al segundo estado (STATE_3, STATE_4) y a continuación se cambia al primer estado (STATE_3, STATE_4).

20 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 11 o 12, en el que, en el primer estado (STATE_1_2), el sentido de la aplicación de corriente entre la primera conexión (11) de devanado y la segunda conexión (12) de devanado se predefine en función de la posición del rotor (40).

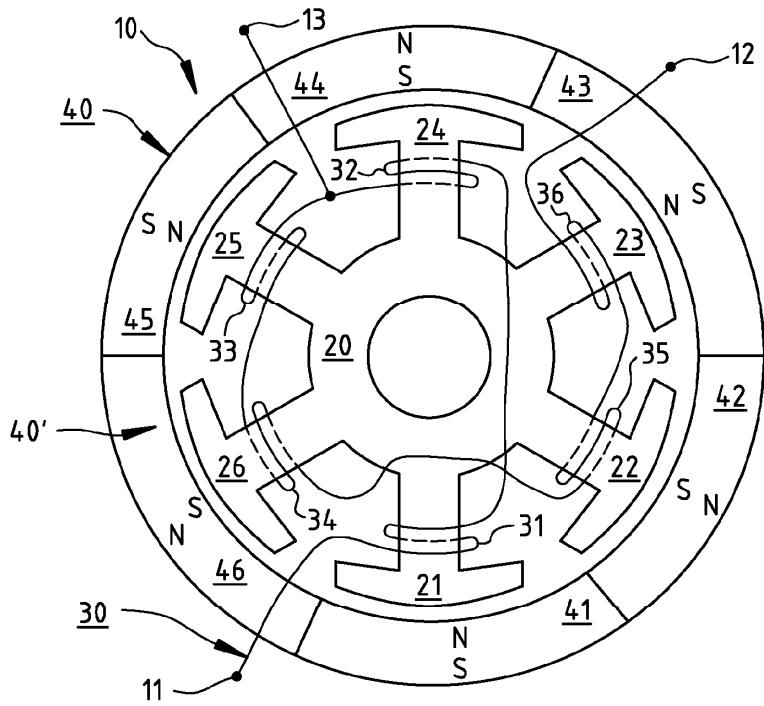


Fig. 1

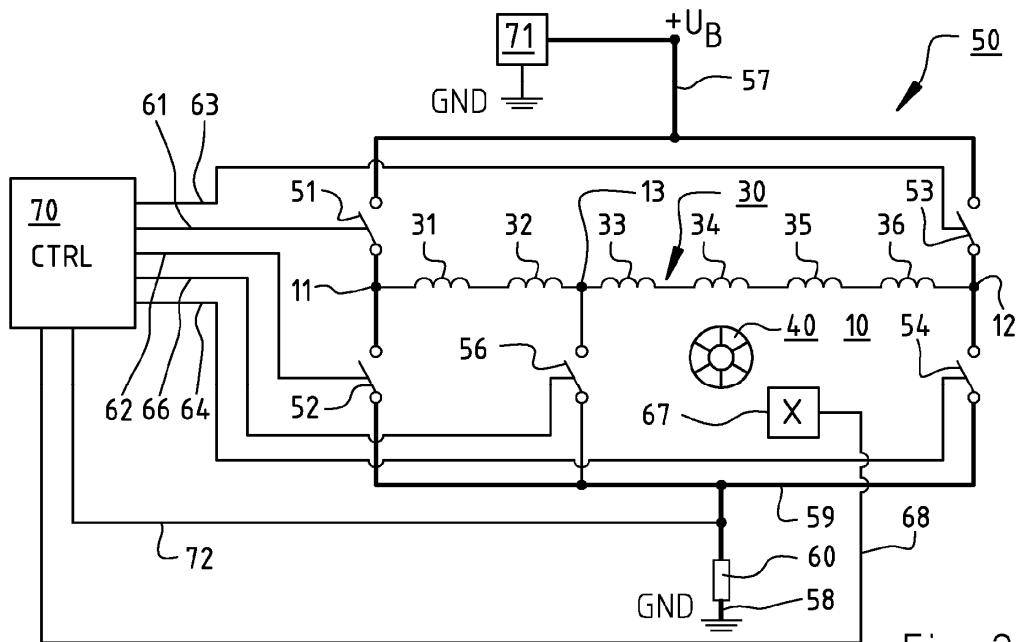


Fig. 2

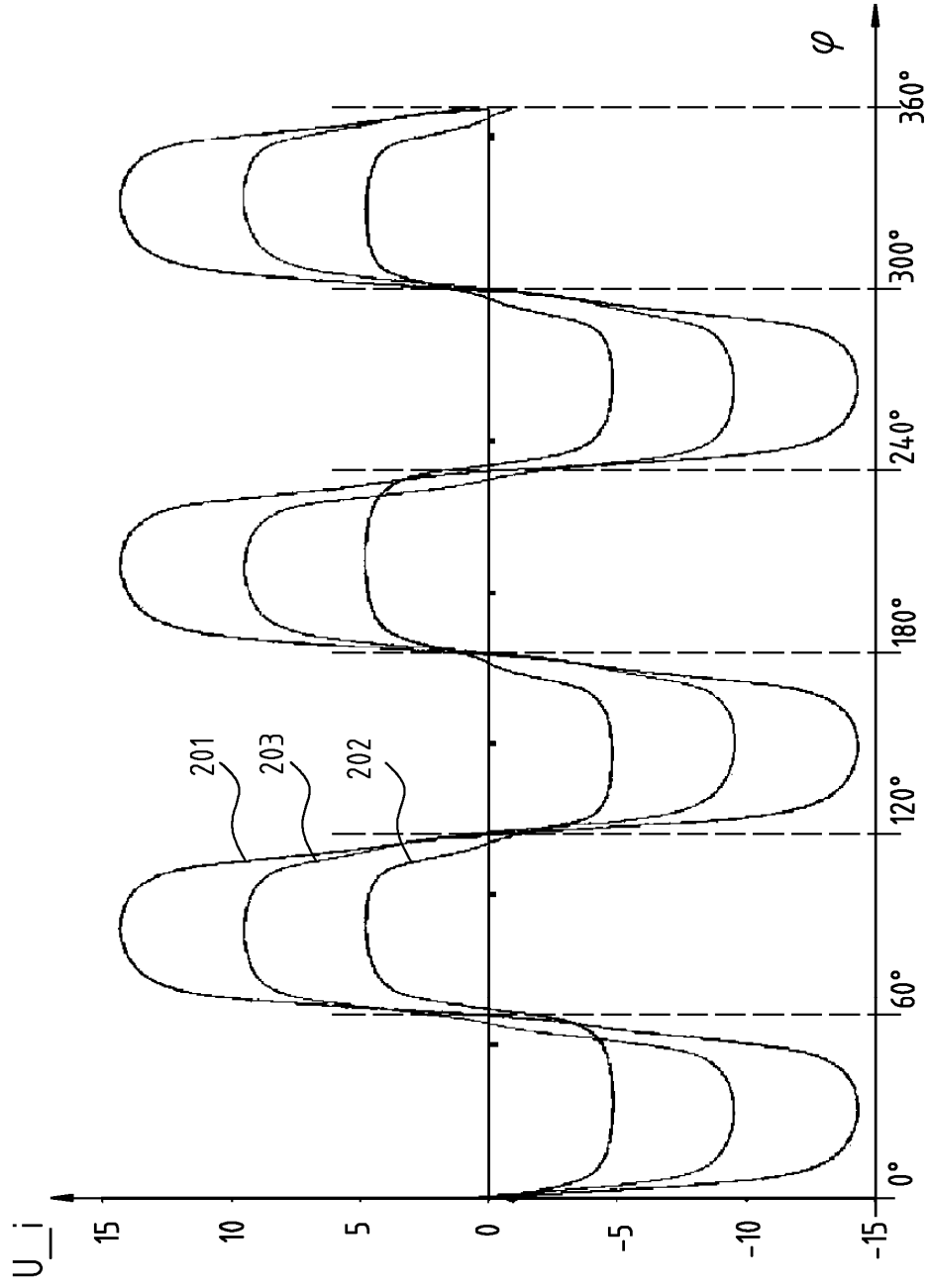


Fig. 3

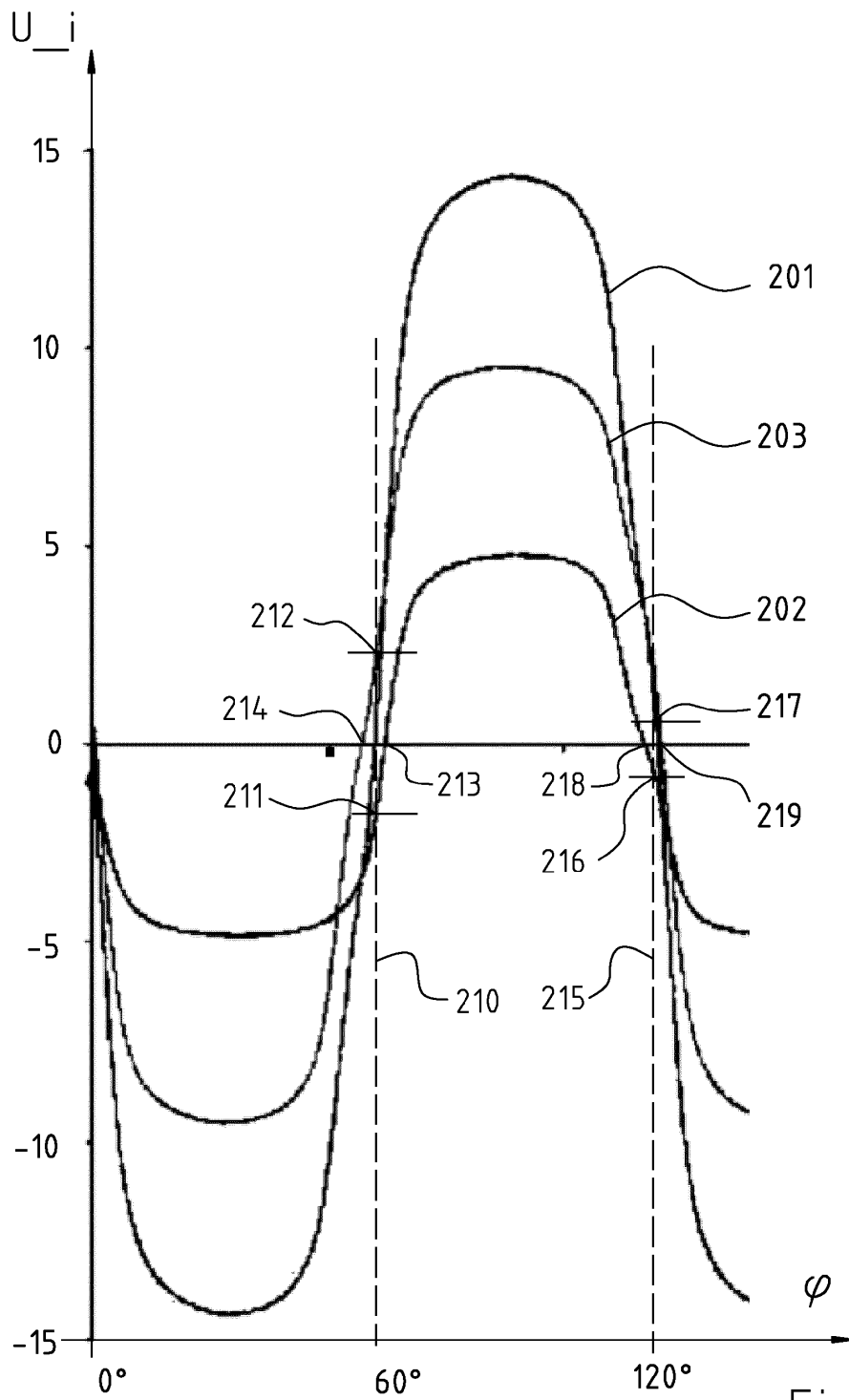


Fig. 4

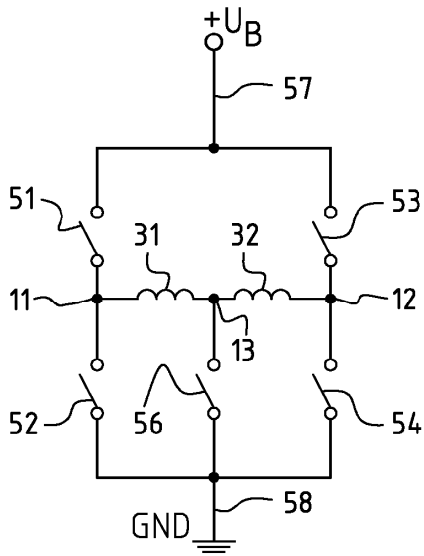


Fig. 5

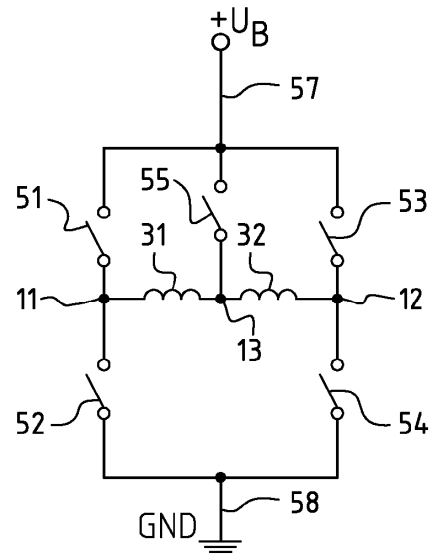


Fig. 6

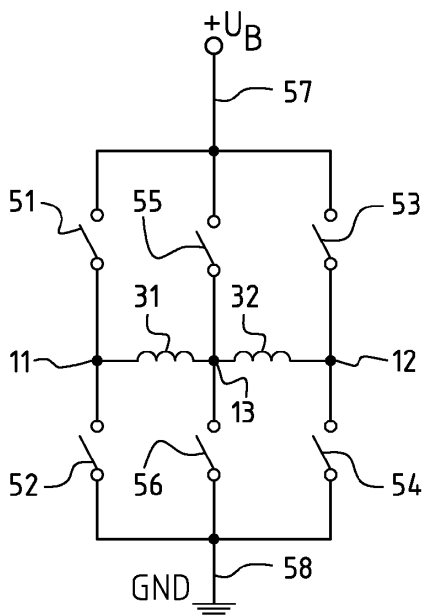


Fig. 7

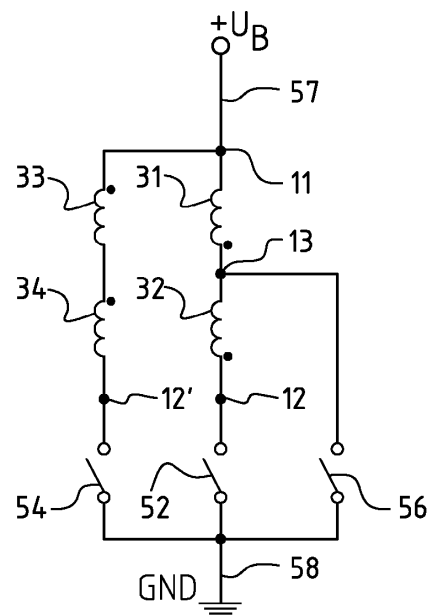


Fig. 8

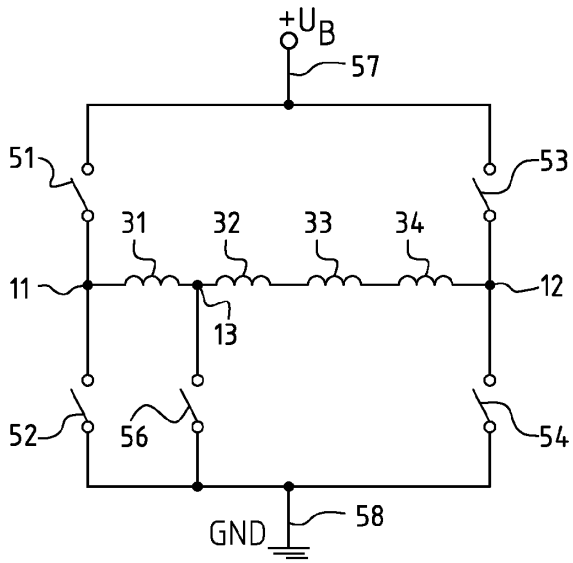


Fig. 9

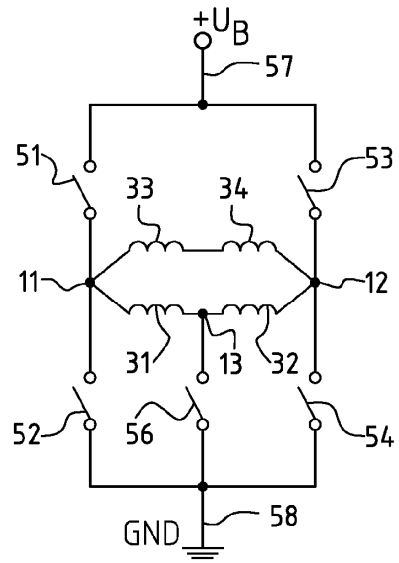


Fig. 11

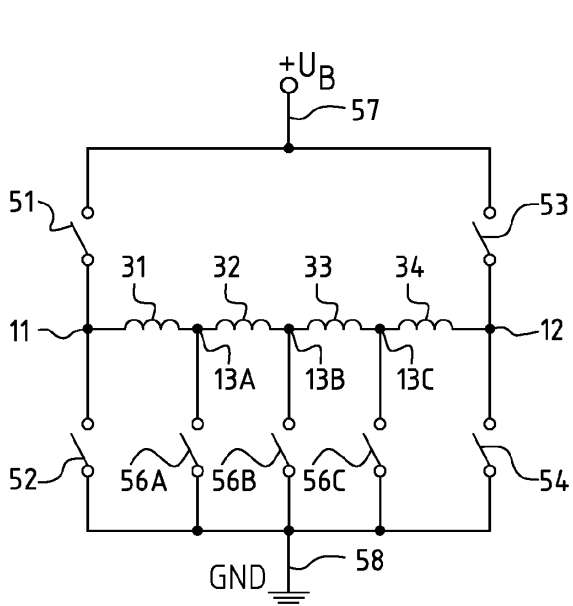


Fig. 10

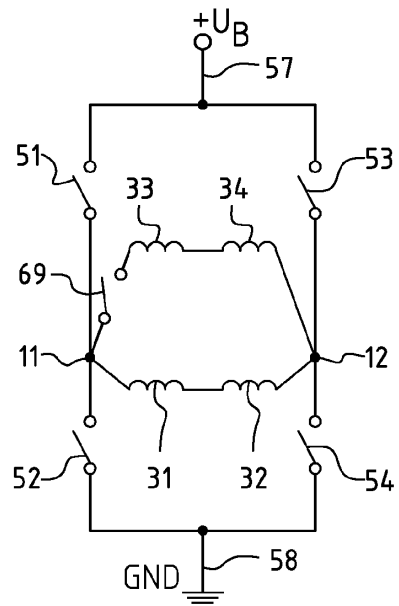


Fig. 12

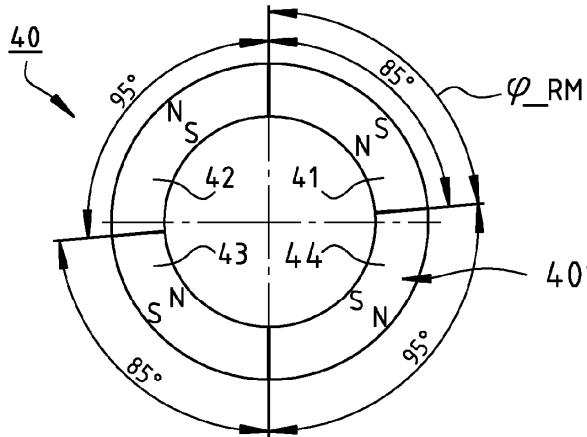


Fig. 13

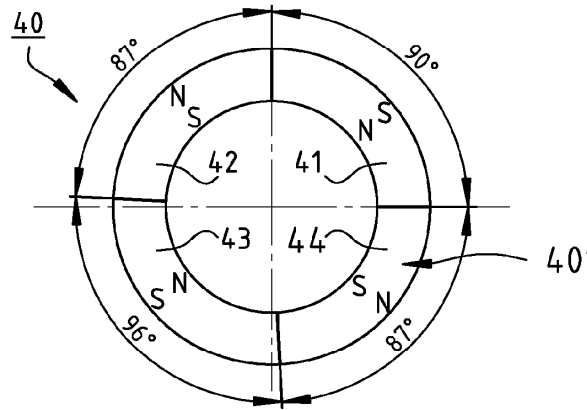


Fig. 14

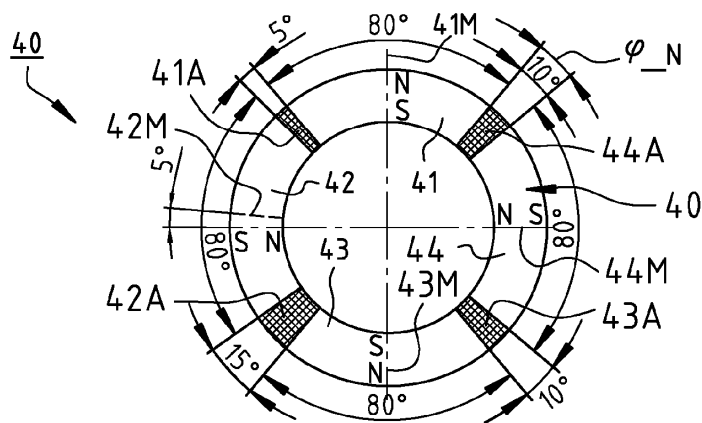


Fig. 15

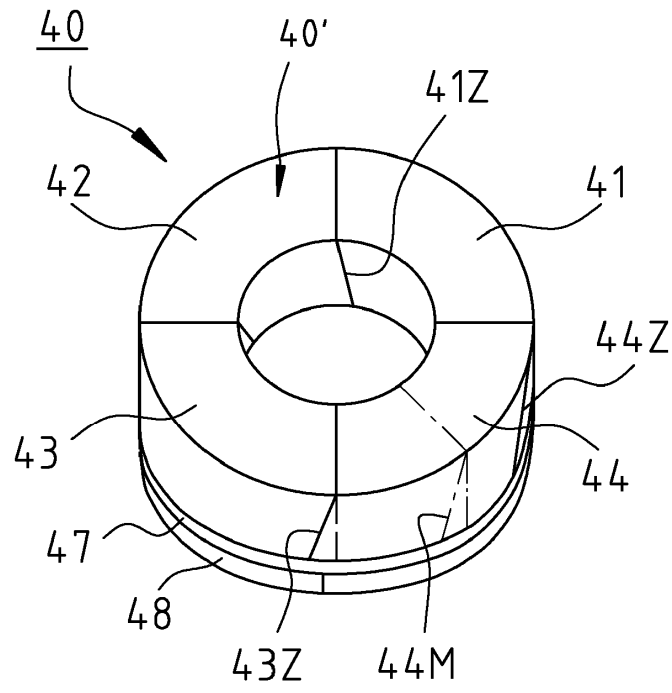


Fig. 16

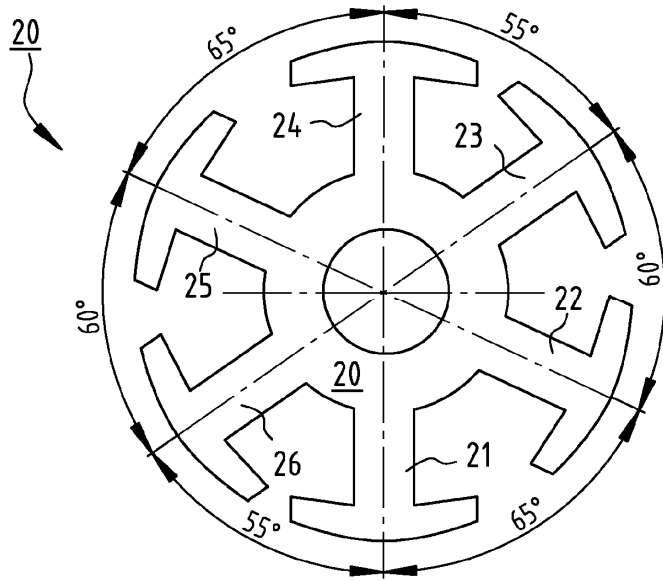


Fig. 17

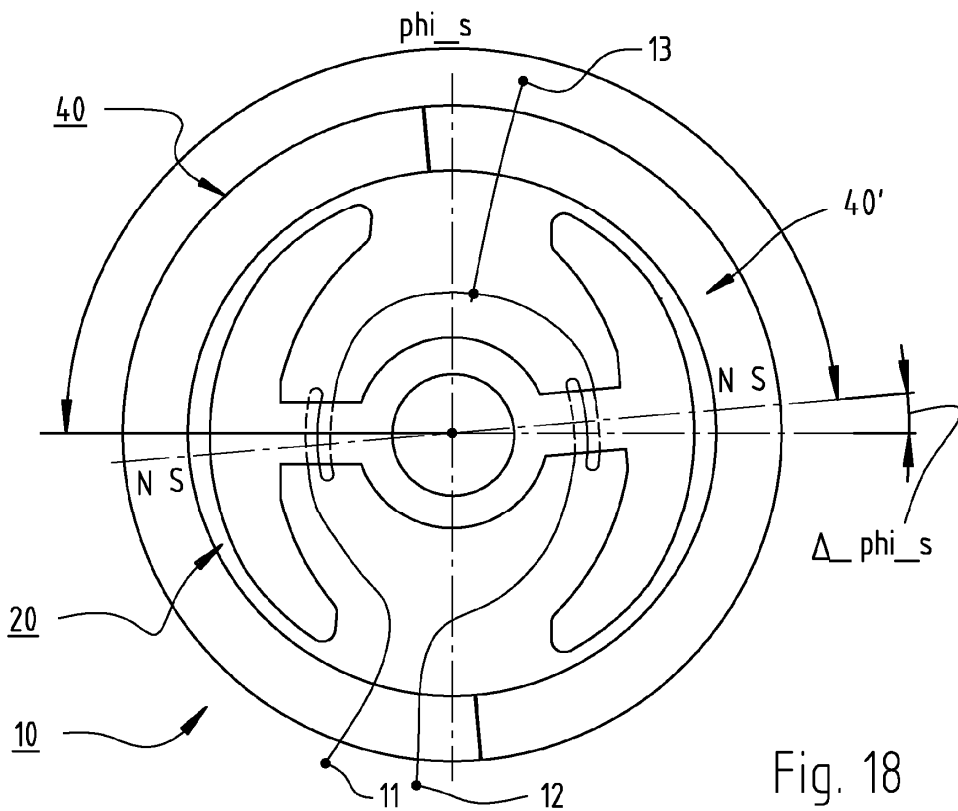


Fig. 18

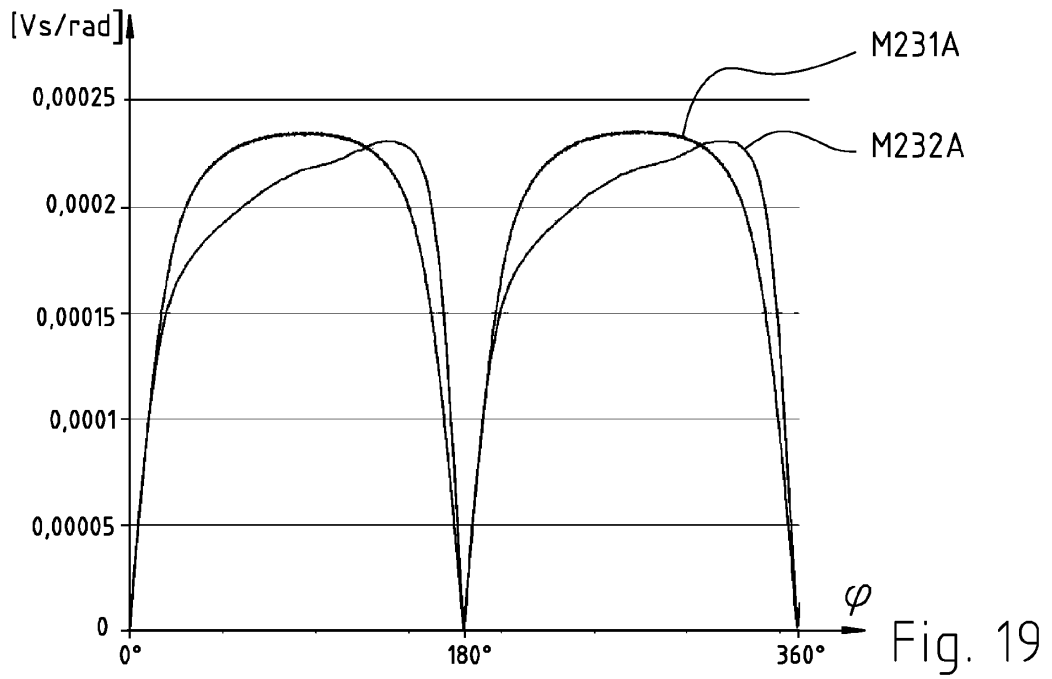


Fig. 19

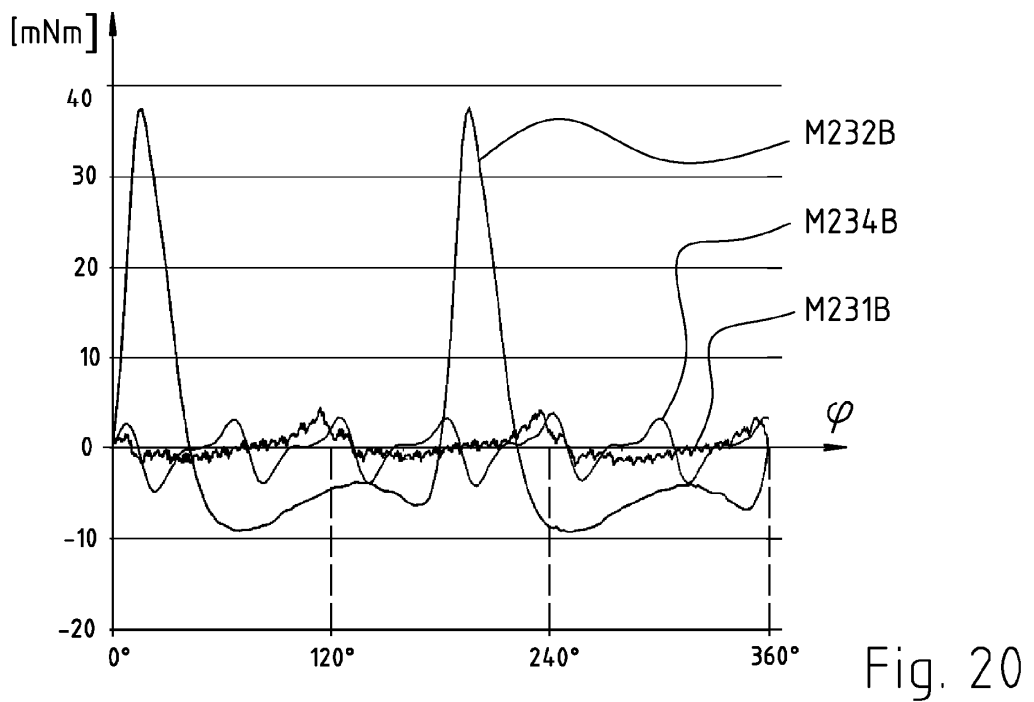


Fig. 20

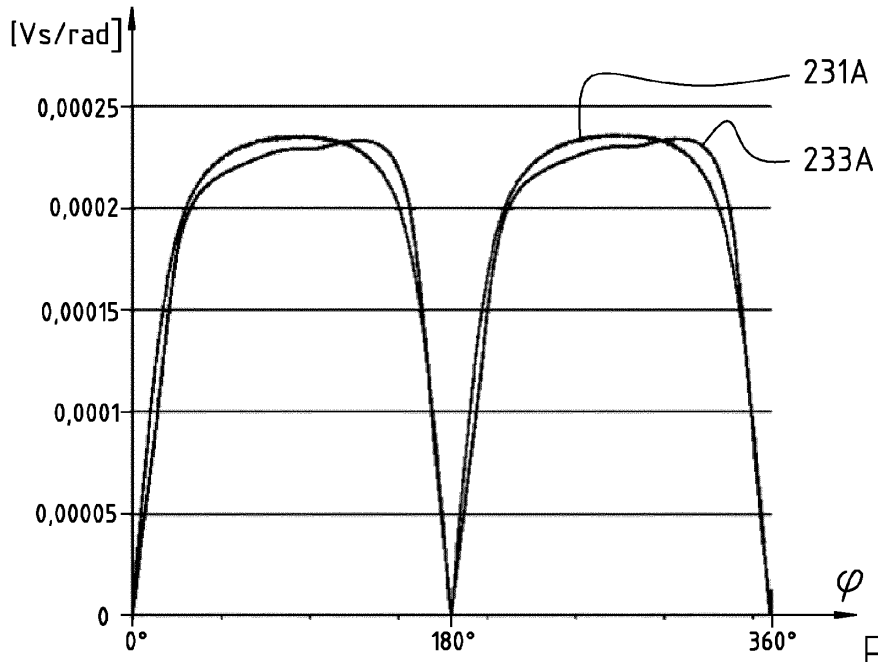


Fig. 21

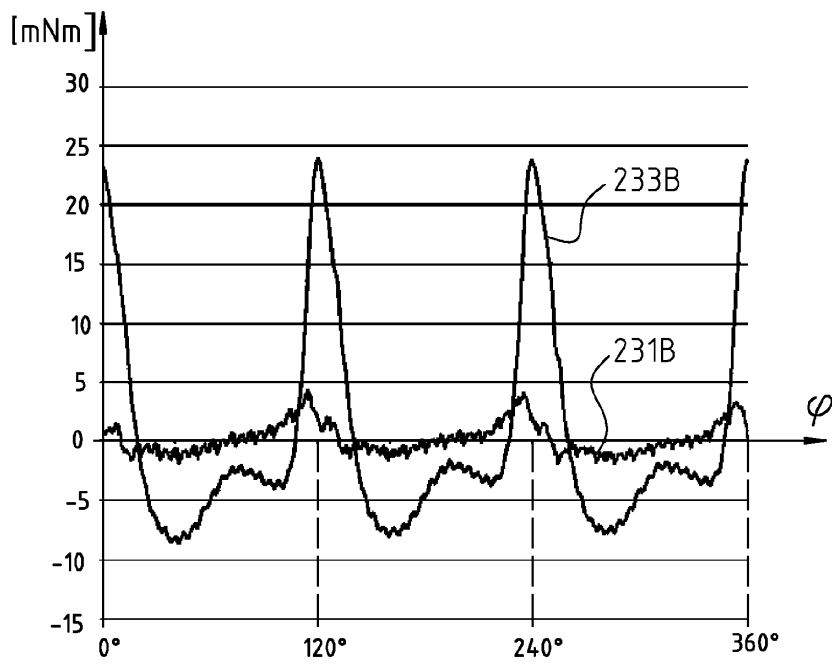


Fig. 22

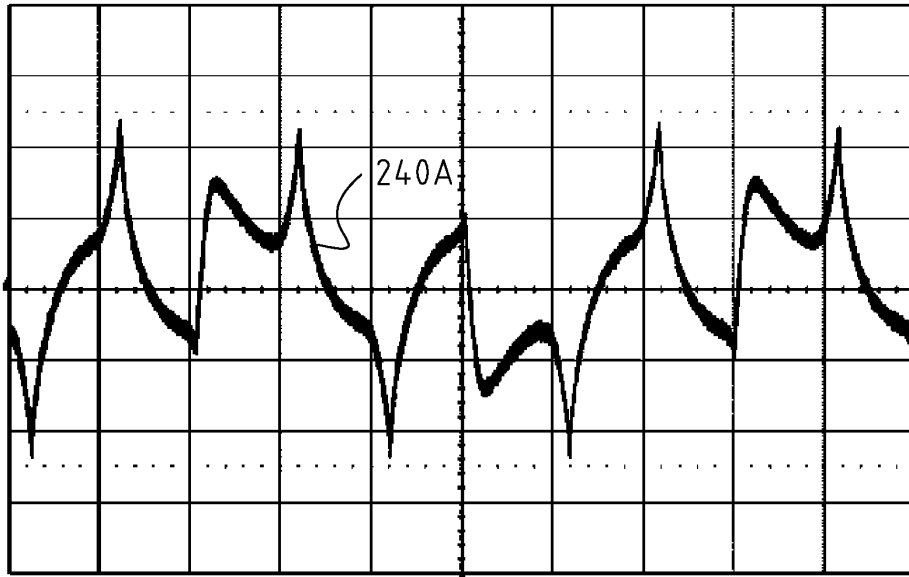


Fig. 23

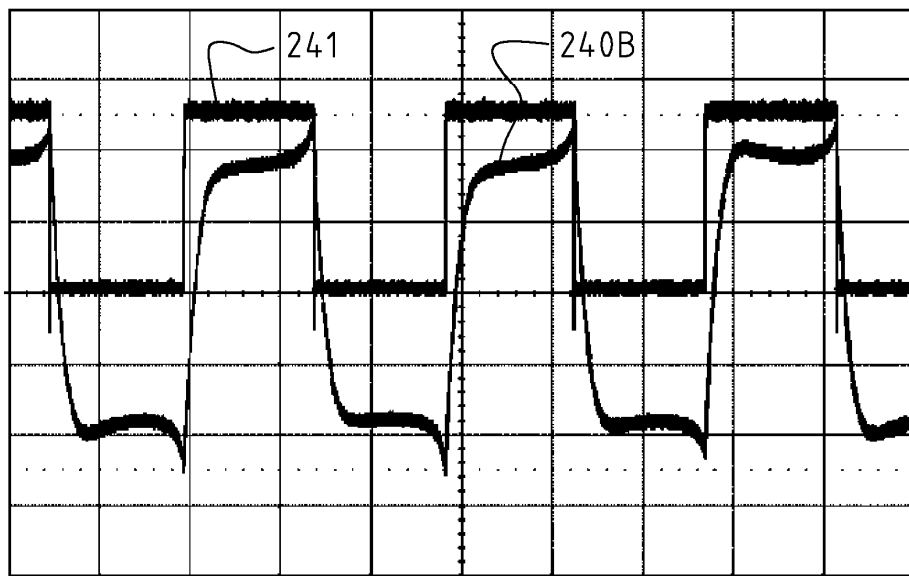


Fig. 24

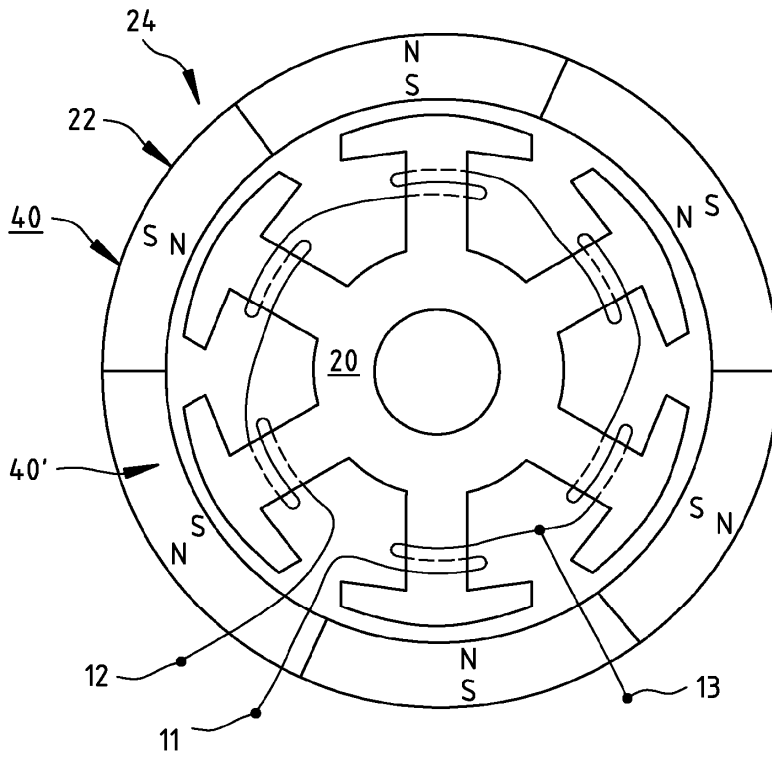


Fig. 25

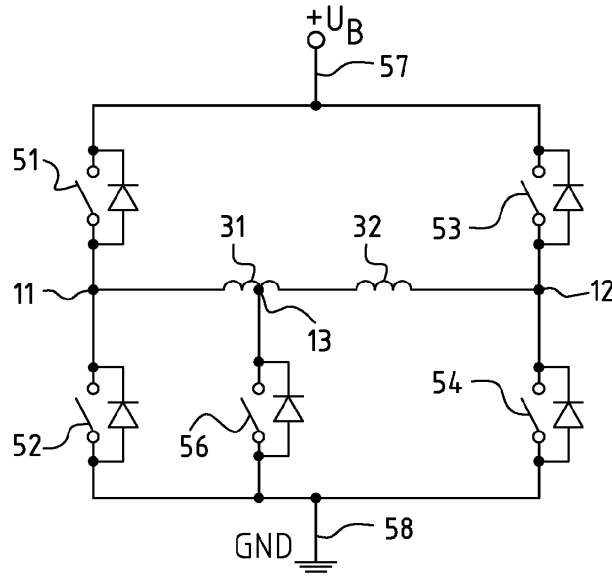


Fig. 26

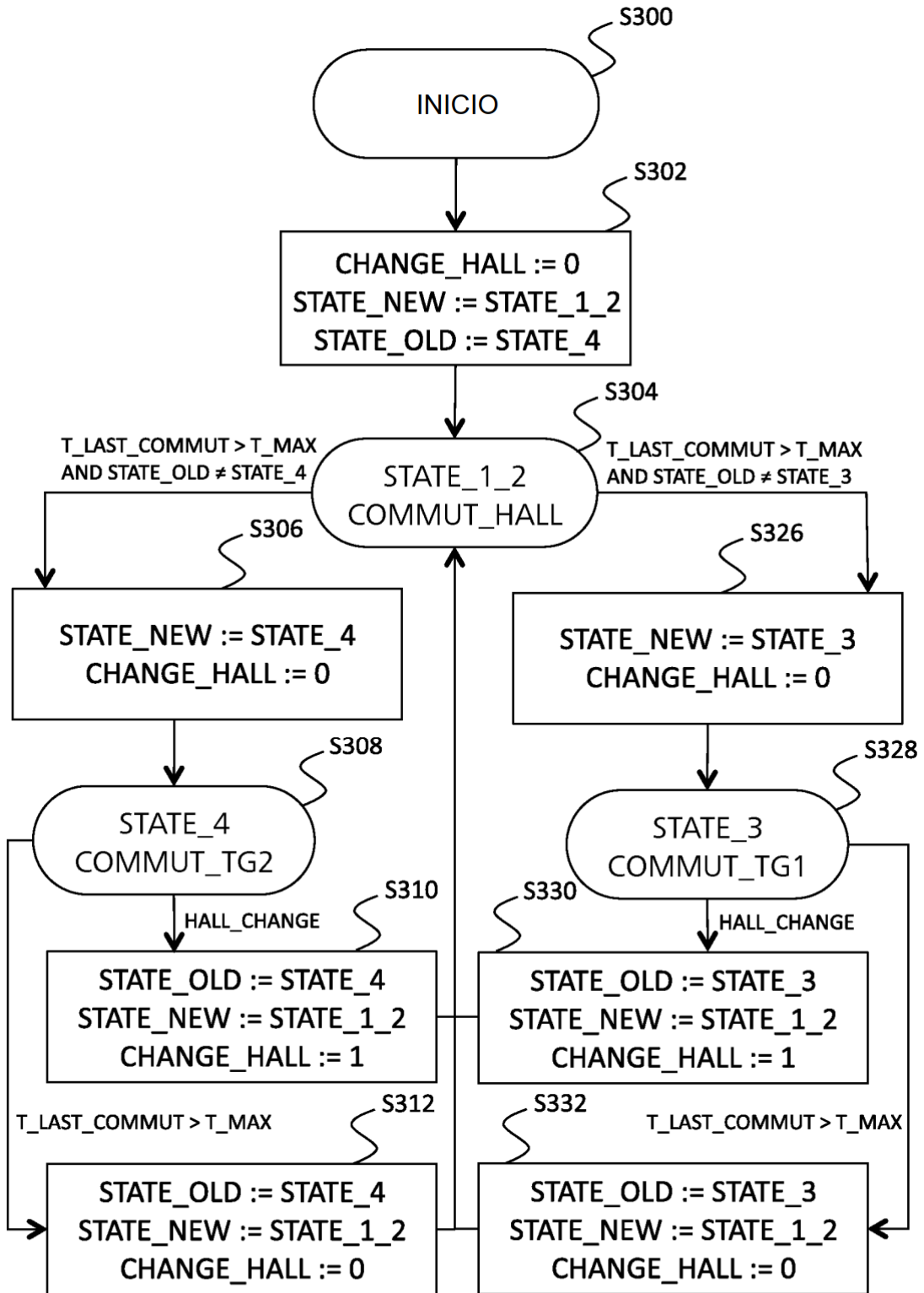


Fig. 27

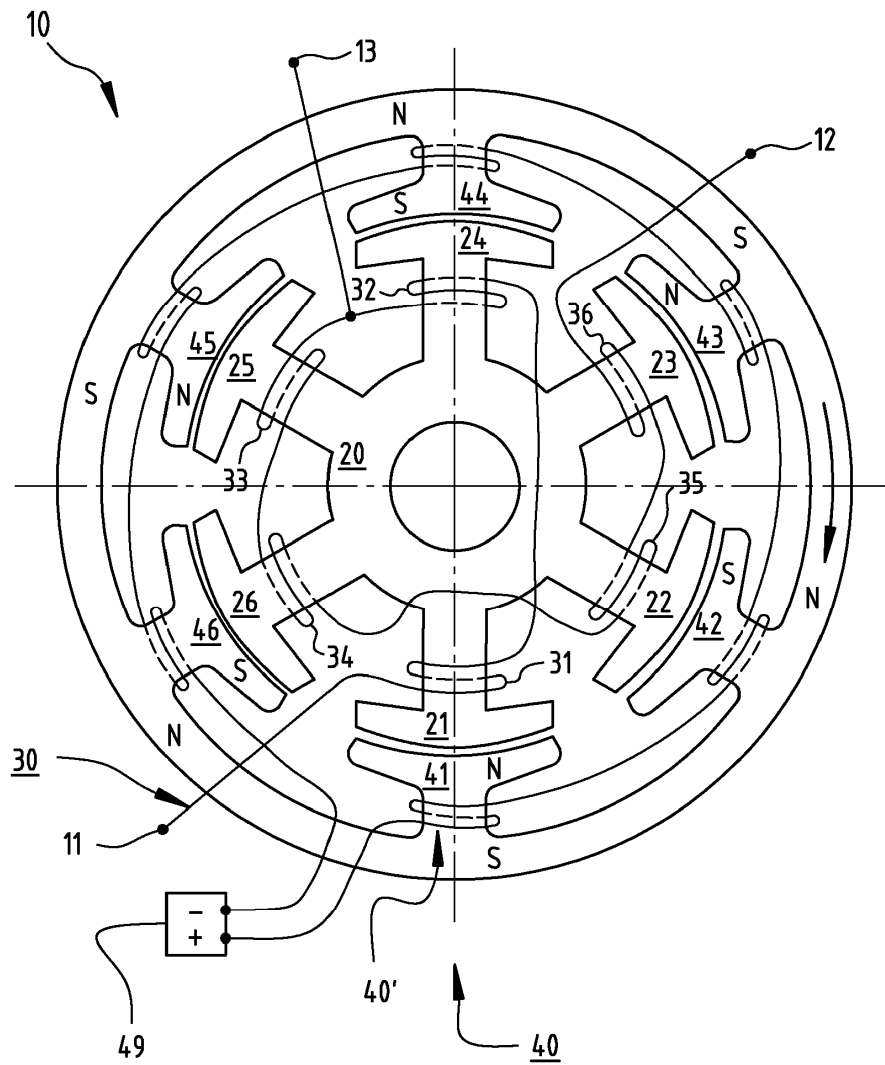


Fig. 28