

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 452 532**

51 Int. Cl.:

F16C 32/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2011** **E 11165841 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2014** **EP 2522868**

54 Título: **Procedimiento para hacer funcionar un vibrador trifásico de un cojinete magnético alimentado por convertidor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.04.2014

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**DENK, JOACHIM;
KÖPKEN, HANS-GEORG;
STOIBER, DIETMAR y
VIERING, FRANK**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 452 532 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

Procedimiento para hacer funcionar un vibrador trifásico de un cojinete magnético alimentado por convertidor

5 La invención se refiere a un procedimiento para hacer funcionar un vibrador trifásico de un cojinete magnético alimentado por convertidor, cuya bobina situada sobre una armadura de electroimán superior está enlazada, con su primera conexión, con una primera salida del vibrador y cuya bobina situada sobre una armadura de electroimán inferior está enlazada, con su primer conexión, con una segunda salida del vibrador y las dos bobinas, con su respectiva segunda conexión, están enlazadas con una tercera salida del vibrador.

10 Se conoce un cojinete magnético de este tipo alimentado por convertidor del documento DE 10 2007 028 229 B3. Un cojinete magnético de este tipo alimentado por convertidor se ha representado con más detalle en la figura 1. En esta figura 1 se han designado con 2 un cojinete magnético alimentado por convertidor, con 4 un convertidor, con 6 un vibrador, con 8 una armadura de electroimán superior, con 10 una armadura de electroimán inferior, con 12 una bobina de la armadura de electroimán superior 8, con 14 una bobina de la armadura de electroimán inferior 10, con 16 una unidad de alimentación del convertidor 4 y con 18 una red de alimentación. En esta representación la bobina 12 de la armadura de electroimán superior 8 está unida, con una primera conexión 20, a una salida W del vibrador 6, en donde una primera conexión 22 de la bobina 14 de la armadura de electroimán inferior 10 está enlazada con una salida V del vibrador 6. Las segundas conexiones 24 y 26 de las dos bobinas 12 y 14 están unidas entre sí y a una tercera salida U del vibrador 6. El convertidor 4 presenta, aparte del vibrador 6, también una unidad de alimentación 16 que está unida, en el lado de la tensión alterna, a una red de alimentación 18. La unidad de alimentación 16 está enlazada, en el lado de la tensión continua, a conexiones DC+ y DC- en el lado de la tensión continua del vibrador 6. El vibrador 6 puede obtenerse comercialmente como módulo de motor para un aparato convertidor usual en el comercio.

25 Un aparato convertidor de este tipo se utiliza normalmente para activar un motor de corriente continua. Para que un motor de corriente alterna, en especial un motor síncrono, pueda regular de forma correspondientes prefijaciones en el número de revoluciones o par de giro, este módulo de motor presenta una regulación orientada al campo. Es decir, esta regulación presenta dos canales de regulación, precisamente un canal para una llamada componente de corriente orientada al campo, que recibe el nombre en general de componente d de un vector de corriente rotatorio, y un canal para una llamada componente de corriente formadora de par de giro, que en general recibe el nombre de componente q de un vector de corriente rotatorio. Conforme a la citada patente nacional estas dos componentes de corriente, a generar independientemente una de la otra, se utilizan para una activación diferencial de un cojinete magnético. A la componente d se asigna con ello la función de una corriente constante para magnetización previa, en donde a la componente le incumbe el papel de la corriente de control del cojinete magnético, con la que se controla la actuación de fuerzas.

30 De este documento DE 10 2007 028 229 B3 se conoce un modo de funcionamiento del cojinete magnético 2 alimentado por convertidor conforme a la figura 1, que se explica con más detalle con base en las figuras 2 a 4:

35 Conforme a este modo de funcionamiento se congela de tal modo un ángulo de transformación (ángulo de posición del rotor de un motor síncrono) de la regulación orientada al campo del vibrador 6, que para el vibrador 6 se obtiene el estado como si el eje magnético de un motor accionado señalase de forma fija e invariable en una dirección determinada del estator, por ejemplo en la dirección de la fase a la salida U. Mediante este ángulo de transformación (ángulo de posición del rotor) se transforma, durante la regulación orientada al campo del módulo de motor, un sistema α/β perpendicular orientado al estator en un sistema d/q orientado al rotor, que rota con una frecuencia circular de rotor.

40 Este ángulo de cojinete de rotor se necesita de nuevo también para la transformación inversa. Este ángulo de transformación (ángulo de posición de rotor) se modifica durante una rotación del rotor, por lo que el ángulo de posición del rotor variable recibe también el nombre de ángulo de campo giratorio.

45 En el modo de funcionamiento del vibrador 6 como unidad de alimentación para un cojinete magnético, este ángulo de transformación está congelado de tal modo, que el eje formador de flujo señala de forma fija e invariable en la dirección de la fase a la salida U del vibrador trifásico. Es decir, el ángulo de transformación está prefijado constantemente en cero grados.

50 En esta fijación del ángulo de transformación la componente d i_d fluye después a partes iguales en los conductores de fase a las salidas V y W. De este modo la corriente de fase i_u en la fase a la salida U del vibrador trifásico (figura 2) es el doble de grande que la corriente i_d . Los sentidos de flecha en la figura 2 indican en qué sentido debe valorarse una corriente como positiva. La componente de corriente q i_q fluye por el contrario, desde la fase en la salida W, directamente a la fase en la salida V del vibrador trifásico, en donde la fase en la salida U de este vibrador trifásico no queda afectada (figura 3). En la figura 4 se ha representado la adición de las componentes de corriente d y q i_d y i_q con modulación completa del cojinete magnético alimentado por convertidor.

5 Para la carga térmica del vibrador 6 es decisiva la corriente efectiva. Por corriente efectiva puede entenderse aquella corriente continua, que generaría una potencia térmica equivalente en una resistencia imaginaria de 1 ohmio. Debido a que el vibrador 6 entrega tres corrientes de fase, una corriente continua sustitutoria correspondiente actúa en tres resistencias en cada caso con 1 ohmio. En funcionamiento con $i_d = 10$ A, desde la salida U del vibrador 6 una corriente $i_u = 20$ A y en las salidas V y W del vibrador 6 en cada caso una corriente $i_v = 10$ A e $i_w = 10$ A. Se obtiene una corriente efectiva de 14, 14 A_{eff}.

10 En el caso de los cojinetes magnéticos se determina en general la modulación completa de tal modo que, en el caso de modulación completa, el flujo magnético (número de amperios-vueltas) por ejemplo en la bobina 12 de la armadura de electroimán superior del cojinete magnético 2 precisamente desaparece, mientras que en la bobina 14 de la armadura de electroimán inferior de este cojinete magnético se duplica con relación a un flujo magnético básico (figura 4). En el caso de modulación completa del cojinete magnético, la corriente efectiva con los valores de corriente ya indicados presenta un valor de 16,33 A_{eff}. Es decir, el valor efectivo varía entre los estados magnetización previa y modulación completa sólo mínimamente (figura 11). Conforme a este modo de funcionamiento conocido la corriente de magnetización previa (componente de corriente d), conforme al procedimiento operativo conocido (documento DE 10 2007 028 229 B3), se estampa en la fase en la salida U del vibrador 6.

20 Según la carga de corriente efectiva del vibrador 6, la velocidad de la variación de corriente es una particularidad importante de una activación del cojinete magnético. Cuanto más rápidamente pueda variar el cojinete magnético la corriente de control y de este modo la fuerza, mejor podrá reaccionar ante una solicitud de fuerza dinámica, como por ejemplo un desequilibrio o una carga exterior que actúe repentinamente.

25 La velocidad de la variación de corriente es proporcional a la diferencia de tensión, que puede aplicarse a las dos conexiones 22 y 20 de las dos bobinas 14 y 12 del cojinete magnético 2 alimentado por convertidor. El vibrador 6 puede aplicar como diferencia de tensión máxima, a voluntad a sus salidas U, V y W, la tensión de circuito intermedio U_{ZK} aplicada a sus conexiones DC+ y DC- en el lado de la tensión continua. La tensión de circuito intermedio U_{ZK} es ofrecida por un condensador de circuito intermedio 28 del convertidor 4, que por ello recibe también el nombre de convertidor de circuito intermedio. En el caso de una tensión de circuito intermedio U_{ZK} se trata de una tensión de red rectificadora, que se genera mediante la unidad de alimentación 16. En el caso del control del cojinete magnético conforme al documento DE 10 2007 028 229 B3 la corriente de control (componente de corriente i_q del vibrador) fluye entre las salidas V y W del vibrador trifásico 6. La variación más rápida de esta corriente de control se consigue cuando el vibrador 6 se activa de tal modo que su salida W está unida al potencial de referencia del circuito intermedio de tensión y su salida V a un potencial positivo del circuito intermedio de tensión del convertidor 4. Conforme este control la tensión de circuito intermedio U_{ZK} está aplicada a las salidas V y W del vibrador trifásico 6, y de este modo está aplicada a las dos bobinas 12 y 14 del cojinete magnético 2 alimentado por convertidor (figura 5). Si se supone que las dos bobinas 12 y 14 de este cojinete magnético 2 tienen en cada caso una inductividad L, se obtiene la velocidad de aumento de corriente conforme a la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{U_{ZK}}{2 \cdot L}$$

De este modo a la variación de corriente, que es accionada por la tensión U_{ZK} , se oponen las dos inductancias L de las dos bobinas 12 y 14 conectadas en serie del cojinete magnético.

40 La invención se ha impuesto la tarea de perfeccionar de tal modo el procedimiento operativo del cojinete magnético alimentado por convertidor, que la corriente efectiva se reduzca de forma fundamental y se consiga una velocidad de aumento de corriente lo más elevada posible.

Esta tarea es resuelta conforme a la invención con las particularidades características del procedimiento para hacer funcionar un vibrador trifásico de un cojinete magnético alimentado por convertidor conforme a la reivindicación 1.

45 El procedimiento conforme a la invención para hacer funcionar un vibrador trifásico de un cojinete magnético alimentado por convertidor está caracterizado porque se estampan una corriente de control variable del cojinete magnético en una salida y una corriente constante de magnetización previa del cojinete magnético como diferencia entre las corrientes en otras dos salidas. Mediante este modo de funcionamiento del vibrador trifásico es diferente entre ellas el sentido de corriente de la componente de corriente d en las fases de las salidas V y W del vibrador. Al mismo tiempo se estampa la componente de corriente q en la fase de la salida U del convertidor, desde donde ésta se divide a partes iguales entre las fases de las salidas V y W del vibrador trifásico. Por medio de esto la componente de corriente q aparece en estas dos fases de las salidas V y W del vibrador trifásico con el mismo signo.

5 Mediante esta distribución de corriente se adicionan las componentes de corriente d y q en la fase de la salida V del vibrador trifásico, mientras que se extinguen mutuamente en la fase de la salida W del vibrador trifásico. Debido a que frente al control de corriente conocido el sentido de la componente d está invertido en la fase de la salida W del vibrador trifásico U mediante la distribución de corriente conforme a la invención, y en la fase de la salida U del vibrador trifásico ya no fluye ninguna componente de corriente, se reduce considerablemente la corriente efectiva y, de este modo, la carga de corriente efectiva del convertidor trifásico. Mediante la alimentación de la componente de corriente q en la fase de la salida U del vibrador, ésta se divide entre las otras dos fases de las salidas V y W del vibrador trifásico en partes iguales. En cooperación con la componente d se refuerza el flujo magnético en la fase de la salida V del convertidor trifásico, mientras que se reduce en la fase de la salida W del vibrador trifásico. En el caso de modulación completa del cojinete magnético no se produce ninguna diferencia, con respecto a la distribución de corriente conocida de un vibrador trifásico de un cojinete magnético alimentado por convertidor.

De este modo no se produce ninguna variación en una acción de fuerza deseada, sino una descarga del vibrador de este convertidor que alimenta el cojinete magnético, en la parte predominante del margen de funcionamiento.

15 Mediante la adjudicación conforme a la invención de la corriente d (corriente de magnetización previa del cojinete magnético) y de la corriente q (corriente de control del cojinete magnético), el ángulo de transformación de la regulación orientada al campo del vibrador del cojinete magnético alimentado por convertidor está congelado de tal modo, que para este vibrador se obtiene el estado como si el eje magnético señalase de forma fija e invariable en una dirección determinada del sistema de coordenadas orientado al estator. Con relación a la adjudicación de corriente conocida, este eje magnético está girado 90°. Con relación al procedimiento conocido para hacer funcionar un vibrador trifásico de un cojinete magnético alimentado por convertidor, el ángulo de transformación se prefija en lugar de constantemente a 0° ahora constantemente a 90°.

Para explicar ulteriormente la invención se hace referencia al dibujo, en el que se explica esquemáticamente el procedimiento conforme a la invención para hacer funcionar un vibrador trifásico de un cojinete magnético alimentado por convertidor.

25 La figura 1 muestra un esquema de conexiones sustitutorio de un cojinete magnético alimentado por convertidor según el estado de la técnica,

la figura 2 muestra la distribución de una componente d entre dos bobinas del cojinete magnético según la figura 1, en

30 la figura 3 se ha representado adicionalmente la distribución de una componente de corriente q con relación a la distribución de la componente d conforme a la figura 2,

la figura 4 muestra una distribución resultante de componentes de corriente, que se obtiene de las distribuciones de componentes d y q de la figura 3,

la figura 5 muestra una puesta en funcionamiento del circuito intermedio del convertidor del cojinete magnético para una velocidad máxima de aumento de corriente de la corriente de control,

35 la figura 6 muestra la distribución de la componente d entre dos bobinas del cojinete magnético según la figura 1, según el procedimiento conforme a la invención, en

la figura 7 se ha representado la distribución de la componente q que se ajusta según el procedimiento conforme a la invención, en donde en

la figura 8 se ha representado la distribución de las componentes d y q de las figuras 6 y 7 conjuntamente,

40 la figura 9 muestra una distribución de componentes de corriente resultantes, que se obtiene de las distribuciones de componentes de corriente d y q de las figuras 6 y 7, respectivamente de la figura 8,

la figura 10 muestra una puesta en funcionamiento del circuito intermedio del convertidor del cojinete magnético para una velocidad máxima de aumento de corriente de la corriente de control, como consecuencia del procedimiento conforme a la invención, y

45 la figura 11 muestra en un diagrama en cada caso un desarrollo de una corriente efectiva a través del grado de modulación, que se obtiene en el caso de la adjudicación conocida y de la que es conforme a la invención de las componentes de corriente d y q, en las bobinas de un cojinete magnético alimentado por convertidor según la figura 1.

Mediante la prefijación conforme a la invención en 90° del ángulo de transformación de una regulación orientada al campo del vibrador trifásico 6 del convertidor 4, que alimenta un cojinete magnético 2, se obtiene la distribución de la componente de corriente d (corriente de magnetización previa del cojinete magnético) de forma correspondiente a la representación en la figura 6. Mediante el ángulo de transformación conforme a la invención se estampa la componente de corriente d i_d como corriente constante de magnetización previa en las fases de las salidas V y W del vibrador trifásico 6. Por medio de esto están mutuamente enfrentados los sentidos de corriente en las fases de las salidas V y W del vibrador trifásico 6 de la componente de corriente d i_d . Mediante la prefijación conforme a la invención del ángulo de transformación de la regulación orientada al campo del vibrador trifásico 6 en 90° se estampa al mismo tiempo la componente de corriente q i_q como corriente de control en la fase de la salida U del vibrador trifásico 6, desde donde ésta componente de corriente q i_q se divide a partes iguales entre las dos fases de las salidas V y W del vibrador trifásico (figura 7). En la figura 8 se han representado conjuntamente las distribuciones de las componentes de corriente d y q i_d e i_q , en donde en la figura 9 puede verse una distribución de corriente resultante con modulación completa. Una comparación entre las figuras 4 y 9 muestra que, en el caso de modulación completa del cojinete magnético 2 alimentado por convertidor, se obtiene la misma diferencia de la distribución de corriente entre las dos bobinas 12 y 14 del cojinete magnético 2. Es decir, en el caso de modulación completa no se produce ninguna diferencia en el caso de carga de corriente efectiva del convertidor trifásico 6. Esto lo muestra además el diagrama en la figura 1, en el que en cada caso se han representado la corriente efectiva i_{effA} conforme al procedimiento conocido y la corriente efectiva i_{effN} según el procedimiento conforme a la invención, a través del grado de modulación del cojinete magnético 2. Si el grado de modulación es cero, se obtiene aproximadamente una reducción a la mitad de la carga de corriente efectiva del vibrador trifásico 6.

Con relación a la corriente de control (componente de corriente i_q de la regulación orientada al campo del vibrador trifásico 6) del cojinete magnético 2, las dos bobinas 12 y 14 del cojinete magnético 2 alimentado por convertidor hacen contacto en paralelo con las fases de la salida U del vibrador trifásico 6. Para conseguir una variación lo más rápida posible de la componente de corriente i_q formadora del par de giro (corriente de control del cojinete magnético), la salida U del vibrador 6 se pone a potencial de referencia del convertidor 4 y se transconecta la tensión de circuito intermedio U_{ZK} a las dos salidas V y W del vibrador trifásico 6 (figura 10). La velocidad de variación de corriente se obtiene a continuación, debido a que la tensión de circuito intermedio U_{ZK} ya no está transconectada al circuito serie de las dos bobinas 12 y 14 del cojinete magnético 2, sino que está aplicada a cada una de las dos bobinas 12 y 14 del cojinete magnético 2 alimentado por convertidor, conforme a la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{U_{ZK}}{L}$$

De este modo a la variación de corriente, en el procedimiento conforme a la invención para hacer funcionar un vibrador trifásico 6 de un cojinete magnético 2 alimentado por convertidor, ya sólo se opone una inductividad L. Con relación al procedimiento conocido se duplica de este modo la velocidad de aumento de corriente, en el caso del funcionamiento conforme a la invención del vibrador trifásico 6 de un cojinete magnético 2 alimentado por convertidor.

Con la determinación conforme a la invención del ángulo de transformación de la regulación orientada al campo del vibrador trifásico 6 constantemente a 90°, es efectiva en la dirección de la componente de corriente q i_q (corriente de control del cojinete magnético) una pequeña inductividad, mientras que en la dirección de la componente de corriente d i_d (magnetización previa del cojinete magnético) es efectiva una gran inductividad. Es decir, en el caso de la configuración de bobina del cojinete magnético 2 alimentado por convertidor se trata de un devanado de corriente alterna asimétrico. Esto tiene como consecuencia que la inductividad, con la que trabaja el convertidor 4 que alimenta el vibrador 6 del cojinete magnético 2, depende del ángulo de campo giratorio. La asimetría tiene efectos negativos en el comportamiento de funcionamiento. Para resolver este problema se prefijan diferencias amplificaciones de corriente, conforme al estado de la técnica, para las componentes de corriente d y q en los canales de regulación de corriente. A diferencia del estado de la técnica la amplificación proporcional del canal de regulación de corriente de la componente de corriente d i_d se ajusta más grande que la del canal de regulación de corriente de la componente de corriente q i_q . Como relación preferida entre estas dos amplificaciones proporcionales puede elegirse una relación de entre 2:1 y 4:1.

Mediante la distribución conforme a la invención de los componentes de corriente d y q, que se materializa mediante prefijación de un ángulo de transformación (ángulo de posición de rotor de un motor síncrono) de la regulación orientada al campo del vibrador trifásico 6 a 90° constantemente frente a 0° constantemente, conforme al procedimiento conocido, se consigue que la carga de corriente efectiva del vibrador 6 del convertidor 4 que alimenta el cojinete magnético 2 se haga considerablemente más favorable. En el caso de una modulación del 0% se reduce casi a la mitad la carga del vibrador 6. Aparte de esto se consigue que la velocidad de aumento de corriente de la corriente de control del cojinete magnético 2 alimentado por convertidor se duplique, con lo que el cojinete

magnético 2 alimentado por convertidor, que se hace funcionar con el procedimiento conforme a la invención, puede reaccionar de forma bastante más dinámica a variaciones de posición.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para hacer funcionar un vibrador trifásico (6) de un cojinete magnético (2) alimentado por convertidor, cuya bobina (12) situada sobre una armadura de electroimán superior (8) está enlazada, con su primera conexión (20), con una primera salida (W) del vibrador (6) y cuya bobina (14) situada sobre una armadura de electroimán inferior (10) está enlazada, con su primera conexión (22), con una segunda salida (V) del vibrador (6) y las dos bobinas (12, 14), con su respectiva segunda conexión (24, 26), están enlazadas con una tercera salida (U) del vibrador (6), caracterizado porque se estampa una corriente de control variable en la tercera salida (U) del vibrador trifásico (6) y se divide entre las bobinas (12, 14) y las otras salidas (W, V) enlazadas en cada caso con éstas del vibrador trifásico (6), así como se estampa una corriente de magnetización previa constante en la primera salida (W) y la segunda salida (V) del vibrador trifásico (6) y en las bobinas (12, 14) situadas en serie, enlazadas con las mismas, y como consecuencia de ello de la diferencia entre la corriente de control variable y la corriente de magnetización previa constante, en función de su signo, en las bobinas (12, 14) y las dos salidas (W, V) enlazadas con ellas se ajustan unas corrientes de fase (i_w , i_v) correspondientes.
- 10
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque un ángulo de transformación de una regulación orientada al campo del vibrador (6) del cojinete magnético (2) alimentado por convertidor está congelado de tal modo, que el eje formador de flujo señala de forma fija e invariable en la dirección de la fase de la tercera salida (U) de este vibrador (6).
- 20 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque se estampan la corriente de control variable como una componente de corriente q (i_q) y la corriente de magnetización previa constante como una componente de corriente d (i_d) de la regulación orientada al campo en las respectivas salidas (U, V, W) del vibrador (6).
- 25 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque para conseguir una variación lo más rápida posible de la componente de corriente q (i_q) formadora del par de giro, la tercera salida (U) del vibrador (6) se pone a un potencial de referencia de un convertidor (4) y se transconecta una tensión de circuito intermedio (U_{zk}) a las dos salidas (V, W) del vibrador (6).
- 30 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 3 ó 4, caracterizado porque para evitar una asimetría, provocada por la puesta en funcionamiento de las bobinas (12, 14) del cojinete magnético (2) en el vibrador (6), se elige una relación de las amplificaciones proporcionales entre el canal de regulación de corriente de la componente de corriente d (i_d) y el canal de regulación de corriente de la componente de corriente q (i_q) de 2:1 a 4:1.

FIG 1

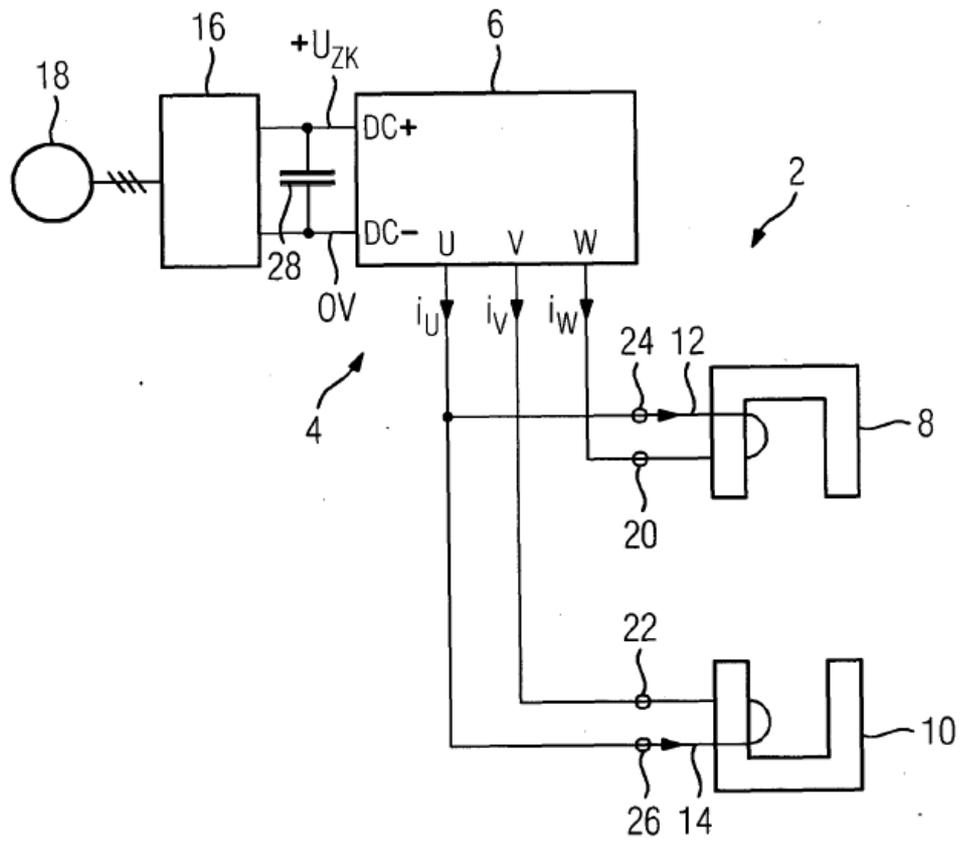


FIG 2

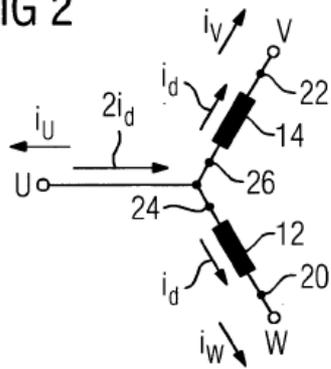


FIG 3

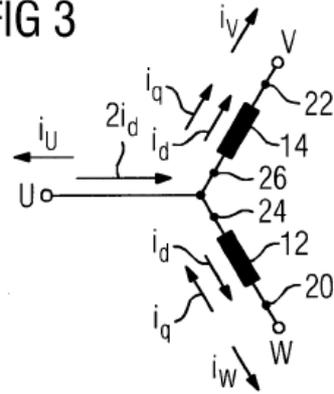


FIG 4

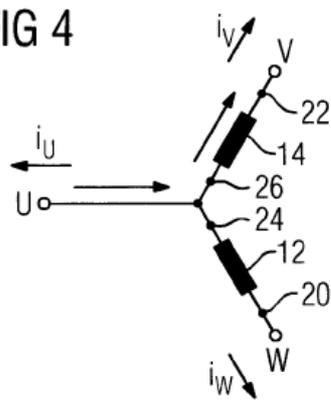


FIG 5

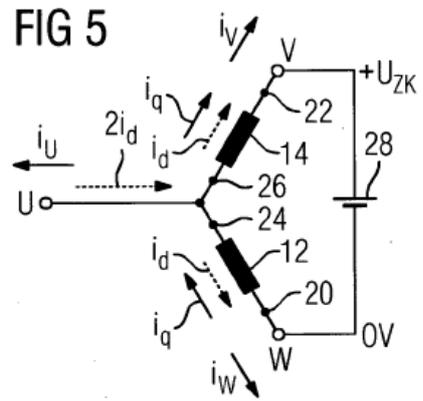


FIG 6

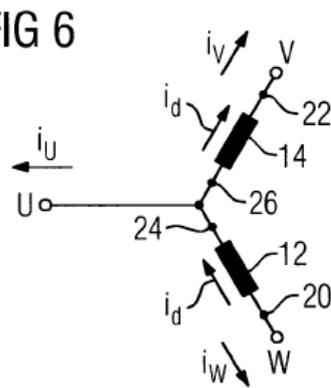


FIG 7

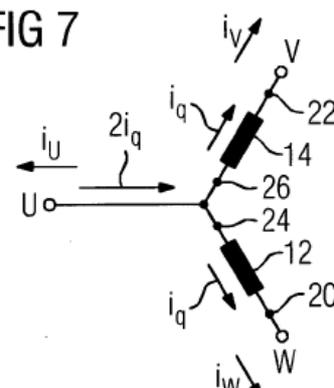


FIG 8

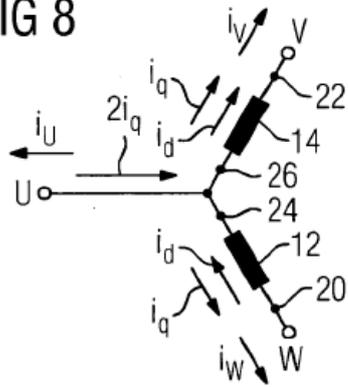


FIG 9

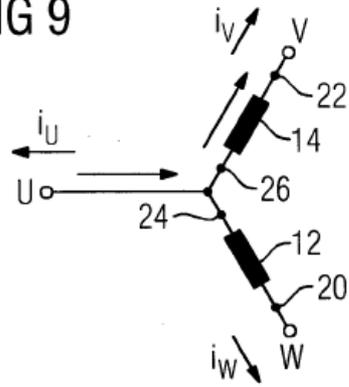


FIG 10

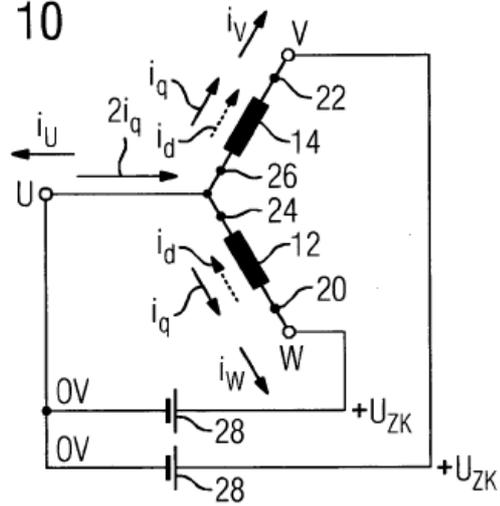


FIG 11

