

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 762 195**

51 Int. Cl.:

**H02K 55/02** (2006.01)

**H02P 9/00** (2006.01)

**H02K 9/24** (2006.01)

**H02K 3/28** (2006.01)

**H02K 55/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.08.2012 PCT/EP2012/066083**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.03.2013 WO13034419**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.08.2012 E 12748686 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2019 EP 2737607**

54 Título: **Máquina superconductora y procedimiento para operar la misma**

30 Prioridad:

**08.09.2011 DE 102011082365**

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

**22.05.2020**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Straße 1  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**FRAUENHOFER, JOACHIM;  
GRUNDMANN, JÖRN;  
HARTIG, RAINER;  
KUMMETH, PETER y  
VAN HASSELT, PETER**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 762 195 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**

Máquina superconductor y procedimiento para operar la misma

5 La presente invención hace referencia a un generador en una red independiente, como máquina superconductor, el cual comprende como componentes un estator y un rotor que puede rotar con respecto al estator, donde en al menos un componente, en particular en el rotor, está proporcionada al menos una bobina superconductor para generar al menos dos polos magnéticos, la cual se enfría mediante un dispositivo de refrigeración. Además, la invención hace referencia a un procedimiento para operar una máquina superconductor de esa clase.

10 Las máquinas superconductoras que para generar los campos magnéticos en los polos, como bobinas de excitación, comprenden bobinas superconductoras, en particular compuestas por un material superconductor de alta temperatura, ya son conocidas por el estado del arte. En las máquinas eléctricas de esa clase, la bobina superconductor debe refrigerarse de forma activa mediante un dispositivo de refrigeración, en particular que presenta al menos una cabeza de refrigeración. Si la temperatura de la bobina superconductor aumenta por sobre su temperatura de funcionamiento, no puede alcanzarse la corriente de excitación nominal para el funcionamiento de la máquina superconductor.

15 Las máquinas superconductoras de esa clase, en particular máquinas síncronas superconductoras a alta temperatura, se utilizan en el funcionamiento de generador también como fuentes de energía en una red independiente, por ejemplo en un buque. Se presenta aquí el problema, como después de una falla, por ejemplo de una avería de la unidad de refrigeración, de que en principio el funcionamiento de la red de corriente puede mantenerse o restablecerse de forma limitada, puesto que en particular en el caso de una falla de la unidad de refrigeración de la bobina superconductor se produce un calentamiento del bobinado de excitación, de manera que el funcionamiento ya no es posible con corriente nominal.

20 Para solucionar este problema se ha propuesto poner a disposición un suministro de corriente de emergencia, por ejemplo un equipo auxiliar diesel adicional, el cual, antes del (nuevo) funcionamiento deseado propiamente dicho, también por un periodo más prolongado, pone a disposición potencia para equipos auxiliares para la refrigeración de la bobina superconductor, como bobinado de excitación. De este modo, sin embargo, se necesita un dispositivo generador adicional, el cual es costoso, y máquinas superconductoras, en particular máquinas síncronas superconductoras a alta temperatura, de lo cual resulta una elección poco atractiva para generar energía en una red independiente.

Por la solicitud US 3 743 875 se conoce por ejemplo una máquina síncrona superconductor.

30 Por la solicitud US 2010/0283318 A1 se conoce un sistema de distribución de energía para un buque, con dos accionamientos.

El objeto de la presente invención consiste por lo tanto en proporcionar una posibilidad para aumentar la seguridad de funcionamiento y para el tratamiento de fallas en máquinas superconductoras utilizadas como generadores en una red independiente, la cual esté mejorada a este respecto.

35 Para solucionar dicho objeto, en un generador de la clase mencionada en la introducción, según la reivindicación 1, se prevé que

- en el respectivamente otro componente, en particular en el estator, en el bobinado del inducido, para cada fase, estén proporcionados al menos dos elementos de bobinado que se extienden de forma paralela, lo cuales, mediante al menos un medio de conmutación, pueden conectarse selectivamente en serie o de forma paralela.

40 De este modo, a continuación, para una mejor exposición, con frecuencia se parte del hecho de que en correspondencia con la conformación habitual, el bobinado de excitación con la bobina superconductor está colocada en el rotor (máquina de polo interior). Esto significa que el estator, en este caso, es el inducido con el bobinado del inducido. Sin embargo, la presente invención puede aplicarse también en la conformación inversa, de manera que los polos con las bobinas superconductoras, por tanto, el bobinado de excitación, están colocados en el estator y, por tanto, el bobinado del inducido (situado en el rotor) se considera en cuanto a la conexión diferente (máquina de polo exterior). Además, el rotor puede estar diseñado como rotor interno o como rotor externo, eventualmente también como una forma intermedia. Se utilizan asimismo los términos corrientes, donde un arrollamiento de fase describe uno o una pluralidad de elementos de bobinado de un bobinado que están asociados a una fase determinada; un elemento de bobinado forma parte de un bobinado, cuyas espiras o bobinas están conectadas unas con otras de forma permanente. Además, con el término bobinado del inducido se denomina aquel bobinado que durante el funcionamiento recibe potencia activa desde la red eléctrica externa y/o potencia reactiva, o libera hacia la misma potencia activa y/o potencia reactiva.

5 Por lo tanto, según la invención, se propone realizar los bobinados del inducido, en los cuales la energía se genera para la red independiente, por tanto en particular los bobinados del estator, varias veces de forma paralela en una pluralidad de elementos de bobinado, donde los mismos pueden conectarse mediante un medio de conmutación, por tanto en particular mediante un dispositivo de conmutación, de forma paralela o en serie. Esto se realiza del mismo modo para cada fase, donde generalmente se utiliza un bobinado completo trifásico. Si los elementos de bobinado están conectados en serie, la potencia, con la misma corriente de excitación, se genera con una tensión más elevada y con una corriente más reducida que en el caso de una conexión paralela de los elementos de bobinado. Para mantener limitada la inversión en cuanto a la técnica de conmutación, de manera ventajosa, puede preverse de este modo que esté proporcionado un número par, en particular respectivamente de forma exacta dos elementos de bobinado paralelos para cada fase. En este ejemplo, una conexión en serie de los elementos de bobinado, en el caso de la corriente de excitación nominal, permitiría una tensión generada de forma doble. Con ello, dependiendo de la parte de hierro dulce en el área de la bobina superconductora, por tanto, en el área del bobinado de excitación, ya en el caso de una corriente de excitación que asciende aproximadamente a la mitad de la corriente de excitación nominal, es posible generar la tensión nominal normal. De este modo, sin embargo, puede generarse la mitad de la potencia nominal de la máquina, puesto que sólo la mitad de la corriente puede circular en los elementos de bobinado parcial conectados en serie. Con esto, la invención permite efectuar una reducción de la corriente de excitación y, a pesar de ello, poder continuar abasteciendo de energía a la red independiente. Una corriente de excitación más reducida puede realizarse también en particular en el caso de temperaturas marcadamente más elevadas.

20 En general esto significa que en el caso de una utilización de  $n$  elementos de bobinado paralelos por fase en el bobinado del inducido, en particular por tanto en el estator, en el caso de una conexión en serie, ya aproximadamente en el caso de un  $n$ -ésimo de la excitación nominal, puede generarse la tensión nominal completa con una potencia que se ubica en un  $n$ -ésimo de la potencia nominal, donde la corriente en los elementos de bobinado asciende igualmente sólo a un  $n$ -ésimo de la corriente nominal.

25 Un bobinado de esa clase, que puede conmutarse en cuanto a la tensión, con los elementos de bobinado que se extienden de forma paralela, puede realizarse con una inversión relativamente reducida, porque de todos modos se utilizan elementos de bobinado con frecuencia paralelos, para realizar los bobinados que generan potencia. Se necesita el medio de conmutación que, en un caso sencillo, puede realizarse mediante bornes en una caja de conexiones de la máquina superconductora, los cuales pueden reconectarse después de forma manual. Sin embargo, se considera preferente realizar los medios de conmutación en particular mediante interruptores que puedan accionarse, por ejemplo relés.

35 La ventaja de la presente invención reside por tanto en el hecho de que, de ese modo, la máquina puede alcanzar la potencia nominal completa ya en el caso de una corriente de excitación reducida, donde una corriente de excitación reducida de esa clase puede admitirse en el caso de temperaturas considerablemente más elevadas de la bobina superconductora. Por lo tanto, por ejemplo también en el caso de una falla del dispositivo de refrigeración, esto significa que la máquina superconductora puede continuar funcionando en un modo de funcionamiento de emergencia con una corriente de excitación reducida, por un periodo más prolongado, y que puede proporcionar la tensión nominal como tensión nominal de la red independiente, donde por ejemplo en el caso de dos elementos de bobinado conectados en serie, en el modo de funcionamiento de emergencia, se dispone aún de la mitad de la potencia nominal, la cual en un caso ideal no sólo puede abastecer a los dispositivos auxiliares para la máquina superconductora, sino además también a otras partes de la red independiente. De este modo, la inversión para las medidas técnicas relativas a la conmutación es reducida en cuanto a su realización.

45 En un perfeccionamiento de la presente invención, de manera especialmente ventajosa, puede preverse que la máquina superconductora presente un dispositivo de control que realiza dos modos de funcionamiento, el cual está diseñado para activar el medio de conmutación para una conexión paralela de los elementos de bobinado para un modo de funcionamiento normal, para activar el medio de conmutación para la conexión en serie de los elementos de bobinado y para activar un dispositivo de excitación para la bobina superconductora para reducir una corriente de excitación para un modo de funcionamiento de emergencia, en particular en el caso de una falla del dispositivo de refrigeración.

50 Por lo tanto, mediante el dispositivo de control se ponen a disposición un modo de funcionamiento normal y un modo de funcionamiento de emergencia, donde en el modo de funcionamiento normal se proporciona la potencia nominal habitual en el caso de la tensión nominal, pero en el modo de funcionamiento de emergencia es posible una potencia reducida, puesto que el dispositivo de control, de manera conveniente, está diseñado también para una reducción de la corriente de excitación para la bobina superconductora. La reducción de la corriente de excitación, partiendo de la corriente de excitación nominal que puede tener lugar mediante la activación de un dispositivo de excitación correspondiente, se realiza de manera que se mantiene la tensión nominal (en el caso de una potencia reducida de modo correspondiente, del modo expuesto), por tanto la red independiente puede continuar funcionando mediante la máquina superconductora. En particular puede preverse que el dispositivo de control esté diseñado para una reducción de la corriente de excitación para la bobina superconductora en una parte de la corriente de excitación nominal correspondiente al número de los elementos de bobinado que deben conmutarse, en el modo de

funcionamiento de emergencia. Por tanto, en una variante ventajosa, si se encuentran presentes dos elementos de bobinado por fase, la corriente de excitación puede dividirse a la mitad, de modo que se alcanza la misma tensión nominal y la potencia se encuentra dividida a la mitad.

5 El dispositivo de control puede estar diseñado además para activar el modo de funcionamiento de emergencia en el caso de una falla del dispositivo de refrigeración y/o en el caso de una potencia reducida de un dispositivo de excitación para la bobina superconductora y/o en otros casos de fallos. Los casos de fallos de esa clase pueden determinarse por ejemplo también mediante medios de detección adecuados, por ejemplo sensores como medidores de temperatura, de tensión y de corriente. De este modo, también en el caso de un fallo puede cambiarse de forma completamente automática al modo de funcionamiento de emergencia, el cual entonces, también en el caso de temperaturas más elevadas, aun cuando limitadas, posibilita un funcionamiento posterior de la máquina superconductora como generador en la red independiente.

15 En principio, en la presente invención también es posible que en el caso de un número par de más de dos elementos de bobinado en cada fase, el medio de conmutación esté diseñado también para la conexión paralela parcial y para la conexión en serie parcial de los elementos de bobinado, de manera que siempre los mismos circuitos paralelos estén conectados en serie, así como siempre los mismos circuitos en serie estén conectados de forma paralela. Por lo tanto, es completamente posible realizar diferentes estados de conmutación en los cuales sólo una parte de los elementos de bobinado esté conectada en serie, pero otra parte esté conectada de forma paralela, donde debe prestarse atención a que cada unidad de subcircuito presente la tensión correcta. De manera correspondiente pueden entonces determinarse así corrientes de excitación reducidas, de manera que además se alcanza la tensión nominal. De este modo, por ejemplo son posibles varios modos de funcionamiento de emergencia, en los cuales se encuentran a disposición diferentes potencias reducidas en el caso de la misma tensión nominal.

25 La máquina superconductora puede estar diseñada como una máquina síncrona y/o los bobinados superconductores pueden estar realizados de un material superconductor a alta temperatura. Las máquinas síncronas superconductoras a alta temperatura son adecuadas en particular para el funcionamiento como generador en una red independiente.

Puede preverse además que los arrollamientos de fase de las distintas fases estén conectados en una conexión en estrella o en una conexión en triángulo. Ambas posibilidades son comunes y son posibles también en la presente invención.

30 Junto con la máquina superconductora, la presente invención hace referencia también a un procedimiento según la reivindicación 5, para operar una máquina superconductora según la invención, en la cual en un modo de funcionamiento normal, para generar una potencia nominal, los elementos de bobinado se conectan de forma paralela, y en el caso de un modo de funcionamiento de emergencia, en particular en el caso de una falla del dispositivo de refrigeración, para generar una potencia más reducida que la potencia nominal, los elementos de bobinado se conectan en serie. Todas las explicaciones relativas a la máquina superconductora pueden trasladarse de forma análoga al procedimiento según la invención, el cual realiza el modo de funcionamiento normal y el modo de funcionamiento de emergencia y, con ello, las ventajas de la presente invención.

40 De este modo en particular se prevé que en el modo de funcionamiento de emergencia la bobina superconductora sea operada con una corriente de excitación más reducida que la corriente nominal, en particular de manera que la tensión nominal de la máquina superconductora se genere también en el modo de funcionamiento de emergencia. Por tanto, si por ejemplo se utilizan dos elementos de bobinado por fase, entonces la corriente de excitación puede dividirse por ejemplo a la mitad, para generar la tensión nominal. Además puede preverse que el modo de funcionamiento de emergencia se active en el caso de una falla o de un funcionamiento incorrecto del dispositivo de refrigeración y/o en el caso de una potencia demasiado reducida de un dispositivo de excitación para la bobina superconductora. Lo mencionado puede suceder además también con un dispositivo de control, mediante el cual también puede realizarse de forma automatizada todo el procedimiento según la invención.

Con el procedimiento según la invención, por lo tanto, es posible realizar de forma segura en cuanto a fallos una máquina superconductora que es operada en el funcionamiento de generador en una red independiente, de modo que el modo de funcionamiento de emergencia puede realizarse también a temperaturas de funcionamiento más elevadas, y la máquina superconductora puede continuar funcionando con una potencia reducida.

50 Otras ventajas y particularidades de la presente invención resultan de los siguientes ejemplos de realización descritos a continuación, así como mediante el dibujo. Las figuras muestran:

Figura 1: una representación básica de una máquina según la invención,

Figura 2: la conexión de los elementos de bobinado en una representación básica,

Figura 3: una representación simbólica de una conexión en el modo de funcionamiento normal, y

Figura 4: una representación simbólica de una conexión en el modo de funcionamiento de emergencia.

La figura 1 muestra una representación básica muy simplificada de una máquina superconductora 1 según la invención, la que está realizada en este caso como una máquina síncrona. La misma comprende un rotor 2 que en este caso, para una exposición más sencilla, está representada de dos polos. Para generar el flujo magnético en los polos, el rotor comprende una bobina superconductora 3 como bobinado de excitación, cuyos conductores se componen de un material superconductor, en particular de un material superconductor a alta temperatura. El dispositivo de refrigeración para la bobina superconductora 3 se indica sólo de forma parcial, con la referencia 4. La realización de dispositivos de refrigeración de esa clase es bien conocida por el estado del arte y no debe explicarse aquí en detalle.

El rotor 2, diseñado como rotor interno, está montado de forma giratoria con respecto a un estator 5, el cual presenta una pluralidad de bobinados del estator U, V, W (bobinados del inducido) representados de forma simplificada, de los cuales cada uno se encuentra asociado a una de tres fases. Los bobinados del estator U, V, W presentan respectivamente dos elementos de bobinado 6 que se extienden de forma paralela 6. La conducción concreta de los bobinados, el número de dientes del estator y similares son posibles de diversos modos, en principio conocidos en el estado de arte, los cuales por tanto no necesitan exponerse aquí en detalle. La figura 2 muestra en detalle la conexión concreta de los bobinados del estator U, V, W; concretamente los elementos de bobinado 6, en una representación básica. Para los elementos de bobinado 6 de cada fase está proporcionado respectivamente un medio de conmutación 7 que puede ser activado, mediante el cual los elementos de bobinado 6 pueden conectarse de forma paralela o en serie. Las posibilidades para conformar los medios de conmutación de esa clase son bien conocidas en el estado del arte y, por tanto, no necesitan explicarse en detalle.

La máquina 1 comprende además un dispositivo de control 8 que está diseñado para activar los medios de conmutación 7 y un dispositivo de excitación 9 para generar una corriente de excitación para la bobina superconductora 3.

Si el dispositivo de control 8 recibe ahora la información de que se encuentra presente un funcionamiento incorrecto, lo cual puede tener lugar mediante medios de detección correspondientes, no mostrados aquí en detalle y/o mediante una entrada manual, entonces por ejemplo se encuentra averiado el dispositivo de refrigeración 4 y/o el dispositivo de excitación 9 no puede funcionar a plena potencia, entonces el dispositivo de control 8, desde un modo de funcionamiento normal, en el cual los medios de conmutación 7 están conectados de modo que los elementos de bobinado 6 están conectados de forma paralela y el dispositivo de excitación 9 pone a disposición la corriente de excitación nominal, pasa a un modo de funcionamiento de emergencia, en el cual los medios de conmutación 7 están conectados de modo que los elementos de bobinado 6 están conectados en serie y el dispositivo de excitación 9, en función de la parte de hierro dulce, sólo pone a disposición la mitad de la corriente de excitación nominal como corriente de excitación para la bobina superconductora 3.

Esos dos estados de funcionamiento se representan esquemáticamente en detalle, mediante las figuras 3 y 4. La figura 3 muestra el modo de funcionamiento normal, en el cual los elementos de bobinado 6 están conectados de forma paralela; por tanto están conectados de forma paralela en el punto de la estrella 10. La figura 4 muestra el modo de funcionamiento de emergencia, en el cual los elementos de bobinado 6 están conectados en serie y, por tanto, están acoplados al punto de la estrella 10 como un bobinado completo largo.

Debido a que en el modo de funcionamiento de emergencia se usa la mitad de la corriente de excitación nominal que puede realizarse también a temperaturas más elevadas que la temperatura de funcionamiento habitual de la bobina superconductora 3, mediante la conexión en serie de los elementos de bobinado 6, resulta la misma tensión nominal, pero con la mitad de la potencia máxima, ya que la corriente máxima generada en los elementos de bobinado parcial 6 sólo presenta la mitad de la magnitud.

Si la máquina superconductora 1 funciona por tanto como generador en una red independiente, entonces la máquina superconductora 1, ya con aproximadamente la mitad de la corriente de excitación, puede alcanzar la tensión nominal completa. Esa corriente de excitación reducida puede admitirse en el caso de temperaturas considerablemente más elevadas de la bobina superconductora 3, por tanto también en el caso de una falla del dispositivo de refrigeración 4. No obstante, con la mitad de la potencia se dispone aún de una potencia muy elevada, la cual puede aprovecharse para el funcionamiento de emergencia.

Si bien la invención fue ilustrada y descrita en detalle a través del ejemplo de ejecución preferente, la invención no está limitada por los ejemplos descritos, y el experto puede derivar de éstos otras variaciones, sin abandonar el alcance de protección de la invención, determinada por las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Generador en una red independiente en un buque, el cual comprende como componentes un estator (5) y un rotor (2) que puede rotar con respecto al estator (5),

- donde el generador está diseñado como una máquina superconductora (1) y como una máquina síncrona,

5 - donde en al menos un componente, en particular en el rotor (2), está proporcionada al menos una bobina superconductora (3) para generar al menos dos polos magnéticos, la cual se enfría mediante un dispositivo de refrigeración (4), y

10 - en el respectivamente otro componente, en particular en el estator (5), en el bobinado del inducido, para cada fase, están proporcionados al menos dos elementos de bobinado (6) que se extienden de forma paralela, lo cuales, mediante al menos un medio de conmutación (7), pueden conectarse selectivamente en serie o de forma paralela,

15 y con un dispositivo de control (8) que realiza dos modos de funcionamiento, el cual está diseñado para activar el medio de conmutación (7) para una conexión paralela de los elementos de bobinado (6) para un modo de funcionamiento normal, para activar el medio de conmutación (7) para la conexión en serie de los elementos de bobinado (6) y para activar un dispositivo de excitación (9) para la bobina superconductora (3) para reducir una corriente de excitación para un modo de funcionamiento de emergencia en el caso de una falla del dispositivo de refrigeración (4), donde el dispositivo de control (8) está diseñado para la activación del modo de funcionamiento de emergencia en el caso de una falla del dispositivo de refrigeración (4) y/o en el caso de una potencia demasiado reducida del dispositivo de excitación (9) para la bobina superconductora (3) y/o para una reducción de la corriente de excitación para la bobina superconductora (3), en una parte de la corriente de excitación nominal, correspondiente a un número de los elementos de bobinado (6) conmutados, en el modo de funcionamiento de emergencia.

2. Generador en una red independiente en un buque según la reivindicación 1, caracterizado porque un número par, en particular respectivamente dos, de elementos de bobinado (6) paralelos, está proporcionado para cada fase.

25 3. Generador en una red independiente en un buque según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el conductor de la bobina superconductora (3) está realizado de un material superconductor a alta temperatura.

30 4. Generador en una red independiente en un buque según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque arrollamientos de fase de distintas fases están conectados en una conexión en estrella o en una conexión en triángulo.

35 5. Procedimiento para operar un generador en una red independiente en un buque según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual, en un modo de funcionamiento normal, para generar una potencia nominal, los elementos de bobinado (6) se conectan de forma paralela, y en el caso de un modo de funcionamiento de emergencia, en el caso de una falla de la unidad de refrigeración de bobinas superconductoras, para generar una potencia más reducida que la potencia nominal, los elementos de bobinado (6) se conectan en serie y se reduce una corriente de excitación.

40 6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado porque en el caso del modo de funcionamiento de emergencia la bobina superconductora (3) es operada con una corriente de excitación más reducida que la corriente nominal, en particular de manera que la tensión nominal de la máquina superconductora (1) se genera también en el modo de funcionamiento de emergencia.

7. Procedimiento según la reivindicación 5 ó 6, caracterizado porque el modo de funcionamiento de emergencia se activa en el caso de una falla o de un funcionamiento incorrecto del dispositivo de refrigeración (4) y/o en el caso de una potencia demasiado reducida de un dispositivo de excitación (9) para la bobina superconductora (3).

45 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 a 7, caracterizado porque la máquina superconductora (1) es operada en el funcionamiento de generador, en una red independiente.

FIG 1

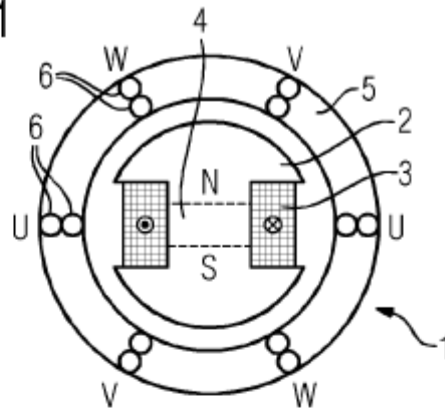


FIG 2

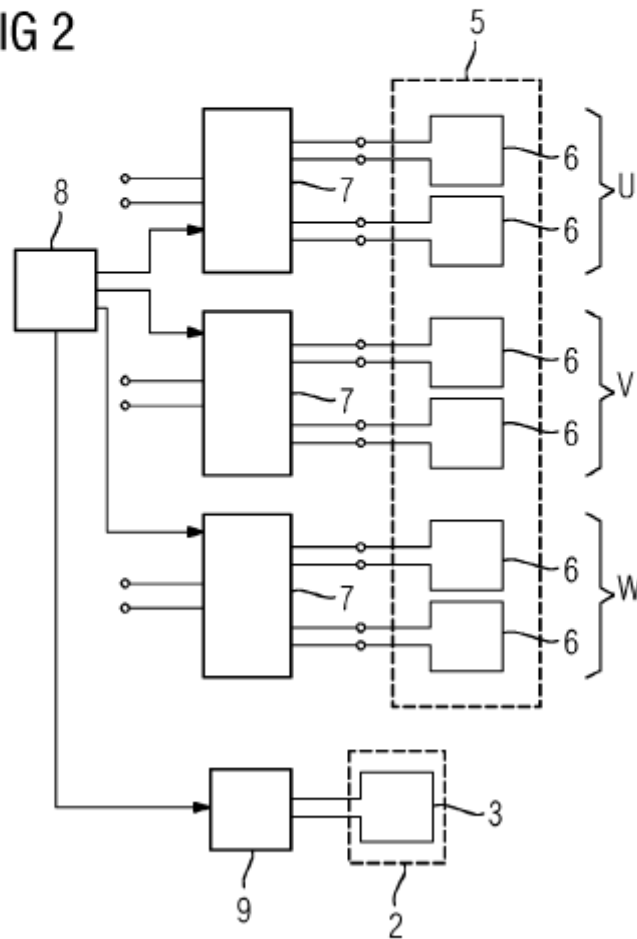


FIG 3

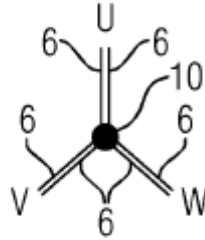


FIG 4

