

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 637 071**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

H02J 9/04 (2006.01)

F03B 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.03.2011 PCT/EP2011/054438**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.09.2011 WO11117293**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2011 E 11710761 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.05.2017 EP 2550451**

54 Título: **Dispositivo de accionamiento de paso con posibilidad de funcionamiento en caso de emergencia para un aerogenerador o una instalación hidroeléctrica**

30 Prioridad:

23.03.2010 DE 102010016105

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

10.10.2017

73 Titular/es:

**MOOG UNNA GMBH (100.0%)
Max-Born-Strasse 1
59423 Unna, DE**

72 Inventor/es:

**THEOPOLD, TOBIAS y
KAUKE, LARS**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 637 071 T3

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

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de accionamiento de paso con posibilidad de funcionamiento en caso de emergencia para un aerogenerador o una instalación hidroeléctrica

5

Estado de la técnica

La presente invención se refiere a un dispositivo de accionamiento de paso con posibilidad de funcionamiento en caso de emergencia para la graduación de un paso de pala del rotor de un aerogenerador o una instalación hidroeléctrica.

10

Los dispositivos genéricos sirven para la modificación de un ángulo de ataque (paso) de una pala de rotor con respecto a un medio de aire o agua que fluye para accionar un dispositivo de generación de energía, en particular, un generador de corriente.

15

Del estado de la técnica se conoce el empleo de motores asíncronos (ASM) de CC y CA cuya velocidad de rotación de se puede controlar en sistemas de accionamiento electromecánicos para la graduación de la pala del rotor de un rotor de un aerogenerador o una instalación hidroeléctrica. Se emplean máquinas de CC, ya que hacen posible una marcha de emergencia de la pala del rotor a un paso de embanderado también en el caso de un fallo de un sistema electrónico de control y de potencia, encargándose un bloque acumulador o de batería del suministro de tensión continua en caso de fallo de la alimentación eléctrica. Las máquinas de CA se emplean a menudo, ya que casi no requieren mantenimiento, son económicas y pueden poner a disposición altas potencias de par de fuerzas. Por lo general se usan motores asíncronos como máquinas de CA, cuya velocidad de rotación se puede controlar casi siempre mediante un sistema electrónico de potencia, comprendiendo por norma general un equipo rectificador y uno inverteor, así como un equipo de regulación para el control por PWM de los bobinados del motor. Para un funcionamiento de emergencia, en muchos casos están previstos accionamientos de CC alternativos, que pueden llevar a cabo una marcha de emergencia mediante una fuente de tensión continua en caso de fallo de la alimentación eléctrica.

20

25

Una regulación de la velocidad de rotación por norma general se lleva a cabo sobre la base de datos de medición de sensores de velocidad de rotación o de posición. En caso de un fallo de sensor se pueden desplazar los ASM en funcionamiento V/f (regulación de frecuencia/tensión) de forma controlada a una posición segura, en particular, en paso de embanderado. En el caso de tipos de motor tanto de CC como de CA es posible llevar a cabo un shuntado para hacer posible altas velocidades de rotación también en el caso de tensiones de circuito intermedio de tensión continua reducidas. Un funcionamiento de shuntado significa que en el caso de un aumento de velocidad de rotación se debilita la intensidad del campo magnético accionador, manteniéndose constante la corriente. A este respecto, el par de fuerzas que se puede liberar también se reduce, ya que el par de fuerzas se genera como producto del campo magnético y la corriente.

30

35

En el documento DE 103 35 575 A1 se describe un dispositivo de accionamiento de paso para un funcionamiento de emergencia, en el que un acumulador de energía se alimenta mediante un rectificador de un convertidor de frecuencia. La alimentación tiene lugar de manera conmutable por una resistencia de carga. En el caso de funcionamiento de emergencia, el circuito intermedio puede recibir corriente por un diodo de desacoplamiento, presentando el acumulador de energía una capacidad muy alta, de modo que la magnitud de la tensión nominal de circuito intermedio de funcionamiento normal en caso de funcionamiento de emergencia se mantiene durante un cierto tiempo, en particular varios segundos. Como motor de paso se usa un motor trifásico habitual.

40

45

El documento US 2009/0155075 A1 describe un dispositivo de accionamiento de paso, en el que en caso de mal funcionamiento de un control de inverteor del motor de paso conectado a la red se puede conmutar entre el control de inverteor conectado a la red y un control de inverteor de funcionamiento de emergencia sin cortes. A este respecto está prevista una unidad de regulación vectorial orientada a campo para la regulación de velocidad de rotación sin sensores.

50

Del estado de la técnica resultan algunas desventajas: Los motores de CC son muy caros y requieren mucho mantenimiento. Debido a su reducida densidad de potencia, su momento de inercia por lo general es alto. Por ello, estos motores no son adecuados para aplicaciones dinámicas, como una regulación de pala individual continua en el funcionamiento con inversión. Las máquinas de CA tienen la desventaja de que el momento máximo teórico disminuye de manera cuadrática con la tensión. Dado que la tensión U_{TK} de circuito intermedio en caso de fallo es baja, inferior a 400 voltios, se deben concebir para una tensión reducida y obligan a una alta continuidad de corriente, que debe poner a disposición el inverteor.

55

Estas desventajas se resuelven mediante un dispositivo según la reivindicación 1 independiente. Los perfeccionamientos ventajosos son objeto de las reivindicaciones dependientes.

60

Descripción de la invención

De acuerdo con la invención, se propone un dispositivo de accionamiento de paso con posibilidad de funcionamiento en caso de emergencia para la graduación de una pala de rotor de un aerogenerador o una instalación hidroeléctrica

65

que comprende al menos un equipo inverter y un motor de accionamiento de corriente trifásica. El motor de accionamiento de corriente trifásica está realizado como motor síncrono IPM (*Interior Permanent Magnet*) de corriente trifásica excitado por imán permanente. Un motor síncrono IPM con un inducido dotado de un imán permanente, cuyos imanes están enterrados en el interior del inducido, en caso de una tensión decreciente de circuito intermedio, por ejemplo, con un fallo de una o dos fases de red de un suministro de red de corriente trifásica, un defecto de una rama de un rectificador o inverter o en caso de un funcionamiento de emergencia por una fuente de tensión continua de funcionamiento de emergencia de circuito intermedio, puede alcanzar un par de fuerzas más grande que un motor síncrono convencional comparable con inducido de bobinas móviles alimentado con corriente continua o inducido SPM (inducido de imán permanente unido a superficie (*Surface Attached Permanent Magnet*)). Por lo tanto, puede lograrse un alto par de fuerzas en el caso de tensión de suministro decreciente, en particular en caso de fallo y garantizarse una rápida marcha de emergencia o graduación del rotor en caso de fallo. Por ello se mejora claramente la robustez del dispositivo de graduación de pala de rotor y se aumenta la seguridad de la instalación energética.

De acuerdo con la invención, para un funcionamiento de emergencia se conmuta un equipo acumulador de energía de tensión continua esencialmente de inmediato en un circuito intermedio de tensión continua entre un equipo rectificador y el equipo inversor para el suministro de energía al menos a corto plazo del motor síncrono, de modo que el motor síncrono IPM también en el caso de una tensión de circuito intermedio V_{ZK} que desciende se puede hacer funcionar regulando la velocidad de rotación al menos a corto plazo. Por lo tanto, al menos en caso de funcionamiento de emergencia, el equipo acumulador de energía puede alimentar directamente energía CC al circuito intermedio entre el equipo rectificador y el inverter, y el motor síncrono se puede hacer funcionar regulando la velocidad de rotación siempre que el equipo acumulador de energía pueda suministrar energía.

Aparte de esto, de acuerdo con la invención el equipo acumulador de energía de tensión continua puede estar conectado al circuito intermedio por una unidad de acoplamiento, en particular una unidad de acoplamiento basada en diodos para la supresión de picos de tensión molestos. Una unidad de acoplamiento se encarga de que las pérdidas de conmutación se puedan cubrir por los condensadores internos ZK y no por el equipo acumulador de energía, ya que esto presenta ventajas con respecto a la CEM (exigencias de compatibilidad electromagnética) y al rendimiento. A este respecto, la unidad de acoplamiento hace posible un desacoplamiento del equipo acumulador de energía y del circuito intermedio en una magnitud de tensión de V_f , teniendo lugar un acoplamiento, es decir, la continuidad de corriente solo en caso de una diferencia entre V_{ZK} y tensión del equipo acumulador de energía, en caso de que se ajuste una diferencia de tensión mayor que V_f . Gracias a la unidad de acoplamiento basada en diodos, el equipo acumulador de energía no se somete a carga por marcas rizadas de corriente, mientras la tensión de circuito intermedio no descienda más allá de un valor V_f específico de componente de la unidad de acoplamiento. Como alternativa, o de manera adicional, la unidad de acoplamiento comprende un circuito de inductancia para atenuar interferencias de alta frecuencia y nivelar la corriente, de modo que el equipo acumulador de energía se puede cargar y descargar de manera suave. También se puede intercalar un circuito de diodos Zener o un circuito comparable, por ejemplo, uno o varios diodos Zener en conexión en serie, cuya tensión Zener V_z , por ejemplo, puede corresponder a la tensión V_f . Preferentemente, una combinación de los elementos componentes anteriormente mencionados está comprendida en una unidad de acoplamiento pasiva.

La invención se basa en un concepto de sistema que aúna distintas ventajas. Un dispositivo de accionamiento de paso ventajoso comprende tres componentes clave: Una máquina sincrónica con inducido de un imán permanente, que presenta imanes enterrados, y que sirve como motor de accionamiento de paso, una unidad de inverter como servo-convertidor de frecuencia y, por último, un equipo acumulador de energía de tensión continua como acumulador de energía de reserva, constituido de manera ventajosa por condensadores de alta capacitancia. El equipo acumulador de energía de tensión continua se acopla directamente en el circuito intermedio entre la unidad de rectificador y la unidad de inverter, sin que, por ejemplo, se tengan que emplear diodos de desacoplamiento conocidos por el estado de la técnica. Esto significa que el nivel de tensión de circuito intermedio V_{ZK} , equipo de convertidor de frecuencia y equipo acumulador de energía nominalmente es idéntico.

En caso de fallo del suministro de red, el equipo acumulador de energía de tensión continua por norma general no puede mantener el alto nivel de tensión de circuito intermedio de 560 V CC, de modo que la tensión continua V_{ZK} puede bajar en función del consumo de energía del accionamiento de paso y de la capacidad de acumulación a valores de hasta 100 V. En esta situación, la velocidad de rotación de los motores síncronos SPM (*Surface Permanent Magnet*) convencionales solo se puede regular de manera insuficiente y entre estrechos límites, su par de fuerzas disminuye mucho y el peligro de una avería del accionamiento de paso es alto.

En general, los motores síncronos tienen la ventaja de que el par de parada depende en exclusiva de la corriente del motor que está a disposición y no presenta ninguna dependencia de la tensión que está a disposición, como, por ejemplo, en el caso de máquinas de excitación mixta o asíncronas. De acuerdo con la invención, el motor síncrono es un motor síncrono IPM (imanes permanentes interiores, *Interior Permanent Magnets*) con imanes de rotor enterrados en el interior. Un motor síncrono IPM presenta una reluctancia alta, de modo que presenta propiedades similares a un motor de reluctancia. A este respecto, la característica de reluctancia por los imanes enterrados conlleva dos ventajas: La potencia máxima de la máquina en el caso de tensión de circuito intermedio reducida es mayor que la de una máquina equipada con imanes superficiales. Además, el efecto de reluctancia de la máquina se puede usar para

regular la máquina sin sensores para velocidades de rotación bajas con grandes reservas de par de fuerzas. En el caso de un fallo del codificador rotatorio, la pala por lo tanto se puede seguir desplazando de manera segura al paso de embanderado.

5 Esta ventaja se hace posible por las siguientes propiedades del motor IPM: los motores síncronos IPM presentan una clara diferencia entre la inductancia longitudinal L_d y la inductancia transversal L_q , valiendo por norma general $L_q > L_d$. L_d y la corriente I_d que la atraviesa describen la componente que forma el campo del campo magnético y L_q así como I_q , la componente que forma el par de fuerzas. Por esta diferencia, un motor IPM, como está representado en la figura 6, es perfectamente adecuado para poner a disposición pares de fuerzas más altos en el caso de
10 velocidades de rotación menores y en el caso de una tensión reducida, así como para regularse sin sensores.

En el caso de una construcción IPM, los imanes permanentes se introducen en escotaduras de un inducido, como está representado en la figura 5. Por lo tanto, se puede conseguir un entrehierro mecánico pequeño, lo que lleva a una mayor influencia sobre el valor de inductancia del bobinado del estátor. Debido a la disposición de imanes
15 permanentes, el entrehierro efectivo en dirección al eje del flujo de rotor (dirección d) es más grande que en la dirección q , por lo que se presenta una bajada de la inductancia en dirección d en comparación con la inductancia en el eje transversal q . Esta asimetría de la máquina ($L_d < L_q$) provoca un par de reluctancia adicional y hace posible la ventaja anteriormente mencionada.

20 El dispositivo de acuerdo con la invención, así como los perfeccionamientos ventajosos descritos a continuación y las características de sistema anteriores tienen la siguiente finalidad:

- Aumento del rendimiento del sistema:

25

- La energía que se genera en caso de invertir la marcha no se transforma como hasta ahora por un cortador de freno (resistencia de freno) en calor, sino que se puede acumular en la unidad de acumulador de energía, preferentemente en una disposición de condensadores.

30

- Por la característica especial de un motor síncrono, en particular de un motor síncrono IPM (*Integrated Permanent Magnets*) se puede minimizar el consumo de corriente del motor en caso de correspondiente carga.

35

- Por la limitación de la corriente de entrada de circuito intermedio se pueden recoger máximos de carga necesarios por la energía acumulada en la unidad de acumulador de energía. El esfuerzo máximo del anillo colector y de la red baja. Las pérdidas de potencia se reducen, se protege el anillo colector del rotor.

40

- Por un momento de inercia reducido del motor síncrono, condicionado por la construcción, se pueden reducir pérdidas al acelerar y frenar el accionamiento.

- Aumento de la seguridad del sistema:

45

- Por la posibilidad de una regulación sin sensores del motor síncrono al menos en funcionamiento de emergencia, incluso en caso de una velocidad de rotación muy pequeña, el dispositivo de accionamiento de paso en caso de fallo de un codificador rotatorio puede llevar a cabo de manera autárquica una marcha regulada al paso de embanderado seguro.

50

- Los máximos necesarios de potencia / par de fuerzas en el lado de salida también pueden ponerse a disposición en caso de fallo del suministro de tensión por parte de la red.

55

- En caso de producirse un fallo de la unidad acumuladora de energía, se puede asegurar la funcionalidad de freno a pesar de ello por una unidad ventajosa de resistencia de frenado de emergencia. Se puede seguir llevando a cabo una marcha de emergencia regulada al paso de embanderado.

En resumen, la invención hace posible al menos un funcionamiento de emergencia mediante el control de la velocidad de rotación del dispositivo de accionamiento de paso en caso de una tensión de circuito intermedio V_{zk} decreciente con par de fuerzas alto, mejorando el equipo acumulador de energía de tensión continua como compensador de energía el rendimiento, y disminuyendo una transmisión de corriente por el anillo colector del rotor.

60 De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso, el motor síncrono IPM puede estar concebido para un intervalo de velocidad de rotación alto de 300 a 3000 rpm, debiendo poderse alcanzar un rendimiento óptimo en el intervalo de velocidad de rotación inferior, en particular en el intervalo de una velocidad de rotación nominal de 500 rpm. En particular, en caso de una marcha de emergencia se puede usar una velocidad de rotación de 2500 rpm o superior para desplazar la pala del rotor en poco tiempo a un paso de embanderado. Cuando se aprovecha el par de reluctancia de un motor síncrono IPM por una regulación modificada correspondientemente del equipo inversor, entonces el motor IPM
65 con la misma tensión de circuito intermedio posee un mayor intervalo de velocidad de rotación - par de fuerzas que un motor síncrono comparable con imanes dispuestos en la superficie (SPM - *Surface Permanent Magnet*). Esta propiedad

de un gran intervalo de velocidad - giro de par de fuerzas en particular es ventajosa para el uso como accionamiento de pala de rotor, ya que durante la marcha de emergencia a corto plazo se tienen que poner a disposición reservas de potencia grandes, es decir, momentos máximos se deben poner a disposición en el caso de altas velocidades de rotación. La posibilidad de un funcionamiento de shuntado abierta por un motor síncrono IPM permite aprovechar un gran intervalo de par de fuerzas/velocidad de rotación, incluso cuando la tensión de circuito intermedio del equipo acumulador de energía, en particular de una disposición de condensadores, haya bajado a un valor reducido (a hasta 100-200 V CC). Gracias a la posibilidad de aprovechamiento de un gran intervalo de tensión, la capacidad de acumulación del equipo acumulador de energía se puede calcular más baja que en caso de emplear un motor de accionamiento de paso convencional. Por otro lado, resulta posible concebir el motor síncrono IPM con un par de fuerzas muy grande. Una constante de par de fuerzas grande significa que el motor síncrono IPM permite un alto rendimiento de par de fuerzas en el caso de una continuidad de corriente dada. Hasta ahora, la magnitud de esta constante estaba limitada, ya que un aumento de la constante de par de fuerzas influye directamente en la velocidad de rotación máxima. Cuando, por ejemplo, se amplía en el caso de un motor SPM (*Surface Permanent Magnet*) convencional la constante de par de fuerzas en un 40 %, entonces la velocidad de rotación máxima posible baja en aproximadamente un 40 % debido a la mayor tensión inducida. En el caso del empleo propuesto de un motor IPM, sin embargo, hasta el 30 % del par de fuerzas proviene del denominado par de reluctancia, que no tiene influencia sobre la tensión inducida. Cuando se quiere aumentar la constante de par de fuerzas como en el ejemplo de arriba, por ejemplo, en un 40 %, se reduce la velocidad de rotación máxima solo en un 28 %. Por ello es evidente que el empleo del motor IPM permite minimizar el consumo de corriente en caso de un correspondiente par y garantiza que se alcancen los valores objetivo de potencia ($M_{\text{máx}}$ a $N_{\text{máx}}$) deseados.

De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso, el equipo acumulador de energía de tensión continua puede ser una disposición de condensadores de alta capacitancia. La disposición de condensadores esencialmente puede estar conectada directamente en el circuito intermedio, de modo que toda la tensión de circuito intermedio se encuentra en los condensadores. Durante un desplazamiento de una pala del rotor se generan típicamente constantes procesos de inversión, es decir, procesos frecuentes de inversión del sentido de rotación del motor síncrono, generándose máximos de tensión y energía regenerativa retroalimentada o energía de frenado. Una disposición de condensadores de alta capacitancia es capaz de recoger la energía regenerativa o máximos de tensión, de modo que no debe de ser eliminada como hasta ahora por una resistencia de frenado y transformarse en calor. Esto aumenta el rendimiento del sistema y sirve para minimizar la energía. Además, los condensadores están a disposición para breves máximos de potencia del accionamiento de pala del rotor, minimizan por tanto la continuidad de corriente de la red y en consecuencia descargan el anillo colector del sistema, que transmite energía de la góndola fija al eje del rotor movido.

En este contexto, de acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso se puede concebir el equipo acumulador de energía de tensión continua para una tensión de circuito intermedio V_{ZK} de 100 V CC a 600 V CC. El equipo acumulador de energía eléctrico en el dispositivo de accionamiento de paso tiene los siguientes objetivos:

1. Poner a disposición la energía para, en caso de un fallo del suministro por parte de la red, llevar a cabo una marcha de emergencia regulada por el inverter (intervalo de tiempo de hasta 20 s);
2. Alimentar máximos de potencia a corto plazo (intervalo de tiempo por encima de 4 s, al menos 3 s);
3. Acumular toda la energía que se presenta al frenar el accionamiento de paso. (proceso de inversión).

Hasta ahora se habían concebido los equipos acumuladores de energía conocidos, preferentemente disposiciones de condensadores, solo para el objetivo mencionado en 1. A este respecto se trataba en exclusiva de acumuladores de energía pasivos, es decir, baterías o acumuladores que solamente se activaban durante la marcha de emergencia para cumplir con el objetivo mencionado en 1. El nivel de tensión de estos equipos acumuladores de energía conocidos por norma general es inferior al nivel de circuito intermedio nominal de aproximadamente 560 V CC, por lo que se protegen mediante un diodo de desacoplamiento de una carga indeseada debida al circuito intermedio, y a menudo no se conectan al circuito intermedio hasta el funcionamiento de emergencia. Además, el equipo acumulador de energía conocido requiere a menudo una unidad de carga separada para la carga de mantenimiento y conservación de la disposición de acumulador de reserva.

Aparte de esto, existen equipos acumuladores de energía en los que se lleva a cabo un acoplamiento directo de la disposición de condensadores en el circuito intermedio para encargarse de los objetivos mencionados en 2. y 3. que, sin embargo, no cumplen el objetivo mencionado en 1. A este respecto, las disposiciones de condensadores de manera explícita se conciben para una tensión de circuito intermedio reducida de aproximadamente 100 V.

Como características especiales del equipo acumulador de energía ventajoso, en particular de la disposición de condensadores propuesta en comparación con el estado de la técnica anterior se deben mencionar las siguientes:

- La tensión nominal del equipo acumulador de energía corresponde a la tensión de circuito intermedio V_{ZK} habitual, en particular, aproximadamente 560 V;

- El equipo acumulador de energía se une casi directamente con el circuito intermedio;
- La energía regenerativa es captada principalmente por el equipo acumulador de energía. La tensión de circuito intermedio aumenta de manera correspondiente, por lo que se puede prescindir de una resistencia de freno;
- En caso de fallo del suministro de tensión por parte de la red, la tensión del equipo acumulador de energía y con ello también la tensión del circuito intermedio puede bajar de un valor inicial de 560 V CC a 150 V CC;
- Al permitirse esta caída de tensión durante la marcha de emergencia, se puede minimizar la capacitancia de la disposición de condensadores, ya que en caso de tensiones mayores se puede acumular más energía en condensadores menores. En comparación con el anterior diseño de “baja tensión”, la capacitancia de la disposición de condensadores puede resultar hasta 50 veces más baja, por lo que se puede alcanzar un ahorro de costes muy alto. La exigencia de capacitancia reducida hace posible un uso alternativo de tecnologías de condensador económicas para la disposición de condensadores y se traduce en una reducción de los costes para el dispositivo de accionamiento de paso.

De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso, la unidad de acoplamiento puede comprender para el aumento de la capacitancia de un condensador de circuito intermedio al menos otro condensador de circuito intermedio. De esta manera, la unidad de acoplamiento preferentemente se puede ampliar con otros condensadores de circuito intermedio, que están conectados entre las líneas de CC del circuito intermedio, por lo que el condensador de circuito intermedio interno se puede ampliar con condensadores adecuados en consonancia para reducir adicionalmente fluctuaciones de tensión del circuito intermedio.

De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso, la unidad de acoplamiento puede comprender un medio de control y un medio de conmutación, por lo que se puede conmutar al menos una corriente I_G de carga del circuito intermedio de tensión continua al equipo acumulador de tensión continua. La unidad de acoplamiento de este perfeccionamiento comprende componentes activos, que pueden estar conectados en cualquier combinación posible con los componentes pasivos anteriormente mencionados y que pueden conmutar al menos la corriente de carga I_G . El medio de conmutación puede ser un medio de conmutación electromecánico tal como un telerruptor o un relé, o un medio de conmutación semiconductor electrónico tal como IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), Power-FET o similares. El medio de control puede ser un circuito de control electrónico, FPGA, microcontrolador o similares. El medio de control puede recibir órdenes de conmutación de un equipo de vigilancia y control externo y activar, es decir, encender el medio de conmutación, por ejemplo, en caso de emergencia, en caso de tensión de circuito intermedio decreciente, al arrancar el motor de accionamiento, fallo de la alimentación eléctrica, defecto del equipo rectificador o similares y, por ejemplo, desactivar el medio de conmutación en caso de funcionamiento normal o durante intervalos de carga especiales del motor IPM, en los que aparecen altos impulsos de corriente en el circuito intermedio. Una carga controlada del dispositivo acumulador de energía y/o un consumo controlado de energía regenerativa del circuito intermedio es posible gracias a una activación concreta del medio de conmutación. El medio de control en principio puede activar el medio de conmutación de dos posibles formas distintas: por un lado, por un procedimiento de regulación, por ejemplo, un circuito de regulación cerrado para la regulación de la corriente de carga I_G mediante conceptos de regulación similares a PWM o similares. Por otro lado, por una activación/desactivación estática del medio de conmutación a base de señales de control externas, por ejemplo, por un equipo de control de motor de paso de orden superior. Mediante el primer procedimiento de regulación mencionado (regulación a corriente constante o tensión constante del circuito intermedio) se puede hacer posible un control de carga del equipo acumulador de energía. En el marco de la segunda posibilidad mencionada, el medio de conmutación se puede activar, es decir, cerrarse, en cuanto la energía regenerativa vuelve a fluir desde el acumulador de energía al circuito intermedio.

El control del medio de conmutación puede tener lugar de manera similar al caso de un control convencional de un cortador IGBT en un inverter. De esta manera, la energía regenerativa se puede acumular en el acumulador de energía y, después de acabar la fase regenerativa (por ejemplo, del accionamiento por generadores del motor IPM), la energía se puede volver a alimentar al motor. El medio de conmutación puede estar activado durante el arranque del inverter. El medio de conmutación, por lo tanto, puede hacer posible y respaldar un arranque del motor con limitación de corriente por una precarga del circuito intermedio. Durante el proceso de precarga se puede cerrar el medio de conmutación y en el funcionamiento normal el acumulador de energía se puede volver a cargar. Por lo tanto, se puede lograr un acoplamiento o desacoplamiento conmutable del equipo acumulador de energía y del circuito intermedio, de modo que el equipo acumulador de energía esté protegido de máximos de corriente que pueden aparecer durante el funcionamiento del motor. Esto hace posible una mayor vida útil del equipo acumulador de energía y una capacidad de marcha de emergencia mejorada.

De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso, puede estar conectada en paralela al medio de conmutación una rama de puente que comprende un diodo de acoplamiento para la alimentación del circuito intermedio de tensión continua con una corriente I_M de alimentación, de modo que una corriente I_M de alimentación puede fluir de manera independiente del estado de conmutación del medio de conmutación. Con ello, siempre que la tensión V_{ZK} del circuito intermedio sea más pequeña que la del equipo acumulador de energía, V_B , puede tener lugar una alimentación del circuito intermedio con energía del equipo acumulador de energía de manera puramente pasiva sin

la activación del medio de conmutación, de modo que la seguridad de funcionamiento y la capacidad de marcha de emergencia de todo el dispositivo aumenta sin ser necesaria una intervención activa. El medio de control puede controlar de manera activa una carga del equipo acumulador de energía controlando la corriente I_G ; el suministro de emergencia del circuito intermedio tiene lugar de manera independiente de la posición de conmutación del medio de conmutación.

De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso, al menos el medio de conmutación puede ser un medio de conmutación de semiconductor y estar integrado en una carcasa de un módulo de potencia de semiconductor junto con medios de conmutación de semiconductor del equipo inverter y/o diodos de puente de semiconductor del equipo rectificador, preferentemente en una carcasa de IPM (*Integrated Power Modul*). Los IPM convencionales, en particular DIP-IPM (*Dual Inline Package IPMs*) comprenden, aparte de componentes semiconductores de potencia para equipo inverter y/o equipo rectificador, medios de conmutación de semiconductor individuales, por ejemplo, para un cortador de freno, pudiéndose usar estos medios de conmutación de semiconductor al menos parcialmente como medios de conmutación de semiconductor para una unidad de acoplamiento activa. Por lo tanto, se puede lograr una estructura compacta y económica.

De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso, el equipo inverter puede comprender una unidad de regulación vectorial orientada a campo para la regulación de velocidad de rotación sin sensores del motor síncrono, que puede ejecutar una regulación de velocidad de rotación al menos en un modo de funcionamiento y preferentemente en un intervalo bajo de velocidad de rotación del motor síncrono de 300 a 700 rpm, en particular, para una velocidad de rotación nominal de 500 rpm. Sin embargo, se debe garantizar que en caso de funcionamiento de emergencia se pueda alcanzar sin el uso de sensores una graduación rápida con una velocidad de rotación alta de más de 1500 rpm, en particular alrededor de 2500 rpm. Una unidad de regulación vectorial, en particular en caso de fallo de una regulación basada en sensores, por ejemplo, en el caso de un fallo de un sensor de velocidad de rotación o ángulo de rotación, puede asumir una regulación de velocidad de rotación del motor IPM. En principio, la regulación de velocidad de rotación sin sensores puede llevar a cabo la regulación del motor síncrono en todos los modos de funcionamiento, es decir, en caso del funcionamiento normal exento de perturbaciones, en caso de aparecer defectos (funcionamiento defectuoso) o en caso de un funcionamiento de emergencia. Preferentemente, la regulación sin sensores se usará al menos en caso de un funcionamiento defectuoso, en el que, por ejemplo, fallan uno o varios sensores de velocidad de rotación o ángulo de rotación de una regulación respaldada por sensores, falla al menos una fase de red o al conmutar entre funcionamiento de suministro de red y propia, etc. Además, la regulación sin sensores puede regular una graduación rápida de la pala del rotor a un paso de embanderado en el caso de un funcionamiento de emergencia con alta carga de viento, fallo del suministro de tensión, etc.

En general se entiende por una regulación vectorial un movimiento del vector espacial (en inglés, *space vector*), que rota con el árbol del rotor. Se basa fundamentalmente en un retroacoplamiento de un bucle de regulación del motor, así como una transformación consecutiva de las corrientes de estátor medidas. Mediante la denominada transformación d/q, en el caso de la regulación vectorial, el par de fuerzas solo se regula por la componente q de la corriente de estátor y la componente d se aproxima a cero en el caso de la máquina sincrónica de corriente trifásica excitada por imanes permanentes. Cuando en el caso del motor síncrono el flujo de estátor y la corriente de estátor son paralelos en el campo D-Q (por transformación d/q del sistema de 3 fases) en rotación, entonces el par de fuerzas es igual a cero. En el caso de un vector espacial que se encuentra en ángulo recto, en cambio se genera un par de fuerzas máximo. En este caso, el flujo excitador y las ampere-vueltas del inducido se encuentran de manera perpendicular entre sí, de forma similar al caso de la máquina de corriente continua. Por lo tanto, este es el estado pretendido de la regulación. De manera convencional, para la regulación al máximo del vector espacial en ángulo recto se necesita un circuito de regulación con retroacoplamiento que indica la situación del armazón polar. Este retroacoplamiento a menudo se ha llevado a cabo mediante sensores de velocidad de rotación, por ejemplo, codificadores (resolutores, sensores incrementales y de valores absolutos ópticos o sensores inductivos). La regulación propuesta sin sensores se puede realizar en el caso de conmutación en bloque (control de motor por PWM) midiendo de nuevo la contratensión inducida en el motor. Este retroacoplamiento tiene cada vez más desventajas en el caso de motores SPM convencionales, en particular, en el caso de pequeñas velocidades, sin embargo, se puede emplear, en particular en el caso de motores IPM, de manera muy ventajosa, como se explica a continuación:

El equipo inverter puede disponer de un software de regulación adaptado de un microcontrolador que regula los procesos de inversión (inversión del sentido de rotación), que por un lado permite regular el motor síncrono, preferentemente el motor síncrono IPM sin sensores, como también aprovechar el par de reluctancia durante el funcionamiento normal para aumentar el rendimiento del motor. Además, la unidad de regulación vectorial puede ser capaz de compensar la tensión que baja durante la marcha de emergencia de valores superiores a 500 V, en particular 560 V, a valores inferiores a 300 V, en particular, 200 V mediante un correspondiente shuntado, para seguir poniendo a disposición en el lado de salida la potencia máxima necesaria. Un motor síncrono, en particular un motor síncrono IPM tiene de por sí inductancias L_d y L_q de diferentes tamaños y posee un así llamado par de reluctancia. Las diferentes inductancias se pueden usar para hacer funcionar el motor sin sensores, incluso en el caso de velocidades de rotación pequeñas. En el caso de tipos de máquinas tradicionales, esto solo es posible para grandes velocidades de rotación. A este respecto, a la corriente nominal se superpone una corriente de inyección sinusoidal, por cuya medición un observador familiarizado con la técnica de regulación de accionamientos es capaz de estimar la velocidad de rotación actual. Para el tipo de regulación sin sensores descrito, el motor síncrono IPM aquí descrito es especialmente

adecuado. La regulación de motor que se emplea, implementada en un software del equipo inverteor, de manera preferente puede presentar las siguientes propiedades:

En general existen dos posibilidades de influir en el par de un motor eléctrico:

- flujo magnético
- corriente de motor I_q que forma el par de fuerzas.

En el caso de la regulación de motores de CA existe una relación directa entre el flujo magnético y la así llamada corriente I_d , así como la corriente I_q que forma el par de fuerzas. El consumo de corriente total de la máquina resulta como sigue:

$$I_{abs} = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$$

Minimizar esta cantidad de corriente dependiendo del punto actual de trabajo del motor (M_{act} , n_{act}) (par de fuerzas, velocidad de rotación) es el objetivo de una regulación optimizada en cuanto a pérdidas. En el caso de una regulación de un motor síncrono IPM preferente, este tipo de regulación es especialmente ventajosa por las propiedades condicionadas por la construcción. Para ello es necesaria la destacada posibilidad de un funcionamiento de shuntado de un motor síncrono IPM justo en la aplicación aquí descrita. La velocidad de rotación exigida durante la marcha de emergencia es de dos a tres veces mayor la velocidad de rotación media durante el funcionamiento. Por esta razón, el motor debería estar concebido en particular para pequeñas velocidades de rotación, sin embargo, debe ser capaz de funcionar (al menos durante más de 10 s, preferentemente al menos 20 s) también a una velocidad de rotación de dos a cuatro veces mayor, preferentemente una velocidad de rotación tres veces mayor para poder llevar a cabo una rápida marcha de emergencia. Para estas exigencias, un motor IPM es muy adecuado de manera condicionada por la construcción, ya que presenta una fijación robusta de los imanes enterrados y, por lo tanto, hace posible altas velocidades de rotación de embalamiento, y el circuito magnético es robusto contra apariciones de desimantación tanto en funcionamiento de shuntado como en el intervalo de sobrecarga. Por una gran diferencia entre la inductancia q y d se puede llevar a cabo una regulación sin sensores del motor también en caso de velocidades de rotación pequeñas. Para ello, en el intervalo de velocidades de rotación pequeñas se aplica una así llamada señal de inyección a la corriente del motor, que permite a un observador familiarizado con la técnica de regulación detectar la posición del rotor actual debido a la asimetría magnética condicionada por la construcción. Por la posibilidad de una regulación sin sensores, el accionamiento de paso se puede regular incluso en caso de fallo de un sensor de velocidad de rotación al menos en una marcha de emergencia y desplazarse, bajo influencia de carga total, al así llamado paso de embanderado.

De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso y posteriormente al ejemplo de realización anterior, el equipo inverteor puede comprender una unidad de regulación de sensores convencional que está unida con uno o varios sensores de velocidad de rotación mecánicos (codificadores) para la regulación de velocidad de rotación del motor síncrono, y comprender una unidad de conmutación de regulación que puede conmutar entre la unidad de regulación de sensores para una regulación de velocidad de rotación en funcionamiento normal y la unidad de regulación vectorial para una regulación de velocidad de rotación en funcionamiento de emergencia. La unidad de regulación de sensores regula los procesos de conmutación de PWM del equipo inverteor según las velocidades de rotación medidas del sensor de velocidad de rotación, y puede encargarse, como unidad de regulación de paso adicional, de controlar el motor síncrono preferentemente en funcionamiento normal. La unidad de conmutación de regulación puede llevar a cabo de manera autárquica o a petición la conmutación de la regulación de motor entre unidad convencional, activa en funcionamiento normal, de regulación de sensores y unidad de regulación vectorial. Esto significa que cuando durante el funcionamiento normal se genera un fallo de un sensor, este fallo se comunica a la regulación de orden superior, es decir, a la unidad de conmutación de regulación, y tiene lugar una conmutación automática a un funcionamiento sin sensores.

De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso, el equipo rectificador puede comprender una unidad de control de corriente para la limitación de la corriente de red acogida y/o para la carga regulada por corriente del equipo acumulador de energía de tensión continua del condensador de circuito intermedio y el equipo inverteor, pudiendo regular la unidad de control de corriente en funcionamiento normal la tensión de circuito intermedio V_{ZK} a un valor que se puede ajustar previamente. Un puente de entrada completamente controlado del equipo rectificador puede encargarse de que la corriente de entrada, en particular en el caso de un equipo acumulador de energía de tensión continua descargado, se pueda limitar a un valor máximo permitido, pudiendo limitarse en el caso de la carga del equipo acumulador de energía la continuidad de corriente para evitar un caso de sobrecarga. La unidad de control de corriente puede cumplir las siguientes funciones y objetivos:

- carga regulada por corriente de todo el circuito intermedio (inverteor, circuito intermedio CC y equipo acumulador de energía) a una tensión de circuito intermedio V_{ZK} nominal de, en particular, 560 V;

- limitación del consumo de corriente máximo de la red a un valor ajustable: $I_{m\acute{a}x} = K_2 \cdot I_{Nom}$ con $K_2 = 1...2$;
- la tensión de circuito intermedio V_{ZK} se puede regular con ayuda del circuito de precarga a un valor ajustable;

5 • cuando se llega a una sobrecarga de la unidad de control de corriente, temporalmente se puede activar una unidad de resistencia de freno de emergencia ventajosa.

10 De acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso, en el circuito intermedio de tensión continua puede estar unida, de manera que se puede conectar, una unidad de resistencia de freno de emergencia para la desviación de energía eléctrica para un frenado rápido del motor síncrono, pudiendo conectarse, en particular en el caso de una tensión de circuito intermedio V_{ZK} aumentada, la unidad de resistencia de freno. Por ello, en el caso de un equipo acumulador de energía defectuoso o un defecto en una unidad de control de corriente se puede seguir llevando a cabo una marcha de emergencia respaldada por la red, inclusive proceso de frenado.

15 Figuras

Otras ventajas resultan de la presente descripción de las figuras. En las figuras se representan ejemplos de realización de la invención. Las figuras, la descripción y las reivindicaciones contienen numerosas características en combinación. El experto en la materia también contemplará las características de manera adecuada individualmente y las agrupará en otras combinaciones razonables.

Muestran:

25 la **figura 1** un primer ejemplo de realización de un dispositivo de accionamiento de paso de acuerdo con la invención;

la **figura 2** un segundo ejemplo de realización de un dispositivo de accionamiento de paso de acuerdo con la invención;

30 la **figura 3** una primera hasta cuarta unidad de acoplamiento de un ejemplo de realización de un dispositivo de accionamiento de paso de acuerdo con la invención;

la **figura 4** una unidad de acoplamiento activa de un ejemplo de realización de un dispositivo de accionamiento de paso de acuerdo con la invención;

35 la **figura 5** un diagrama esquemático de una estructura de rotor de un motor síncrono IPM para un ejemplo de realización de un dispositivo de accionamiento de paso de acuerdo con la invención;

40 la **figura 6** un diagrama diferencial de par de fuerzas/velocidad de rotación entre motores síncronos IPM/SPM comparables.

Formas de realización de la invención

45 En las figuras, los componentes iguales o del mismo tipo están numerados con las mismas referencias. Los siguientes cuadros de conexiones sirven para una ilustración esquemática, de esta manera, por ejemplo, una línea de unión significa una unión eléctrica de dos equipos eléctricos y comprende por norma general al menos una línea de ida y una de retorno. Los símbolos de conmutación no solo representan componentes individuales, sino también grupos de conmutación que pueden comprender uno o varios componentes.

50 La figura 1 representa un primer ejemplo de realización de un dispositivo 10 de accionamiento de paso de acuerdo con la invención. El dispositivo 10 de accionamiento de paso comprende un motor 12 síncrono, que está concebido como motor IPM, así como un equipo 20 acumulador de energía de tensión continua y un equipo inverter 14, que controla el motor 12 mediante un equipo 64 de regulación de motor por una línea 60 de control de motor por PWM (*Pulse Width Modulation*) para ajustar una graduación de pala de rotor deseada de una pala 48 de rotor.

55 El motor 12 de paso está acoplado por un engranaje 56 de paso para la conversión de velocidad de rotación en el punto de raíz apoyado de la pala 48 de rotor, pudiendo cambiar un funcionamiento regulado del motor 12 de paso el ángulo de ataque (paso) de la pala 48 de rotor de un aerogenerador o una instalación hidroeléctrica. Para la determinación del estado de rotación del motor 12 están unidos un sensor 46 de velocidad de rotación, un sensor 50 de ángulo de rotación así como un sensor 52 de posición final, que puede indicar una posición de tope final de la pala 48 de rotor, por una o varias líneas 72 de sensor, preferentemente por un bus de sensor con el equipo 64 de regulación de motor, por lo que una unidad 32 de regulación de sensor comprendida por el equipo 64 de regulación del motor puede recibir velocidad de rotación y ángulo de rotación del motor 12. El equipo 64 de regulación de motor mediante los datos de sensor puede ejecutar un control en concordancia de fase de un inverter comprendido en el equipo inverter 14 para ajustar un sentido de rotación y una velocidad de rotación deseadas del motor 12. El motor 65 12, además, se puede frenar mediante un freno 54, el freno 54 a su vez se acciona por el equipo 64 de regulación de motor.

En funcionamiento normal, la energía eléctrica se obtiene por una red 64 de suministro, protegiendo un fusible de preconexión F el dispositivo 10 de accionamiento de paso de sobretensión. La tensión de suministro se transmite por un anillo colector del sistema de una góndola fija de un aerogenerador al eje de rotor que gira. Dentro del dispositivo 10 de accionamiento de paso, la corriente alterna de tres fases de 400 V del lado de la red se rectifica mediante un equipo rectificador 16 a una tensión continua del circuito intermedio 18, cuyo valor generalmente es $V_{ZK}=560$ V (400 V*1,41). El equipo rectificador 16 comprende además una unidad 36 de control de corriente, que vigila y limita la continuidad de corriente, de modo que en el caso de arrancar el dispositivo 10 de accionamiento de paso fluye una corriente reducida, en particular para cargar el equipo 20 acumulador de energía y para producir una tensión V_{ZK} de circuito intermedio deseada. En el circuito intermedio 18 está conectado un condensador 26 de circuito intermedio para nivelar la tensión V_{ZK} rectificada del equipo rectificador 16, así como para la desviación de máximos de tensión que se generan por los procesos de conmutación de alta frecuencia del equipo inverter 14, entre los conductores de potencial del circuito intermedio 18. Además, en el circuito intermedio 18 está conectada una unidad 38 de resistencia de freno de manera conmutable por un elemento 62 de conmutación de freno, que puede ser un elemento de conmutación de semiconductor. El equipo 64 de regulación de motor por accionamiento del elemento 62 de conmutación de freno puede conducir corriente del circuito intermedio 18 a la unidad 38 de resistencia de freno, por lo que se puede frenar el circuito intermedio 18 sin energía y el motor 12 de paso por lo tanto de manera eléctrica.

Al menos en funcionamiento de emergencia se puede conectar un equipo 20 acumulador de energía de tensión continua por un contacto de seguridad K_0 y una unidad 24 de acoplamiento en el circuito intermedio 18 de manera inmediata. El contacto de seguridad K_0 y el conmutador Q_1 que se debe accionar manualmente sirven como equipos 66 de conmutación de acumulador de energía que, por ejemplo, en caso de reparación o mantenimiento hacen posible una separación eléctrica del equipo 20 acumulador de energía del circuito intermedio 18. El equipo 20 acumulador de energía comprende una conexión en serie y en paralelo de condensadores en una disposición 22 de condensadores de alta capacitancia, que es capaz de acumular energía en el nivel de potencial V_{ZK} del circuito intermedio 18, pudiendo alimentarse en funcionamiento de emergencia a corto plazo la energía eléctrica acumulada en el circuito intermedio 18 para al menos hacer posible una marcha de emergencia del motor 12. El equipo 20 acumulador de energía está acoplado por una unidad 24 de acoplamiento al circuito intermedio 18, teniendo la unidad 24 de acoplamiento el objetivo de suprimir una continuidad de corriente en caso de ligeras fluctuaciones de tensión entre tensión de circuito intermedio V_{ZK} y tensión del equipo 20 acumulador de energía para proteger el equipo 20 acumulador de energía, pudiéndose recoger las fluctuaciones de tensión por el condensador 26 de circuito intermedio. Por lo tanto, la unidad 24 de acoplamiento sirve para la distribución de objetivos definida entre el equipo 20 acumulador de energía y el condensador 24 de circuito intermedio. El equipo 64 de regulación de motor comprende además una unidad 34 de conmutación de regulación que, en el caso de pasar de un funcionamiento normal a uno de emergencia, puede conmutar entre la unidad 32 de regulación de sensor y una unidad 30 de regulación vectorial orientada a campo. La unidad 30 de regulación vectorial orientada a campo se ocupa de una regulación sin sensores del motor 12 IPM a base de corrientes de motor medidas, por lo que el diseño característico del motor IPM, en particular en intervalos de velocidad de rotación bajos, permite una regulación precisa del comportamiento de accionamiento del accionamiento de paso.

En un funcionamiento de emergencia, por ejemplo, en el caso de fallo de la red 68 de suministro, fallo del equipo rectificador 16, fallo de un sensor 46 de velocidad de rotación, sensor 50 de ángulo de rotación, sensor 52 de posición final, etc., la unidad 34 de conmutación de regulación del equipo 64 de regulación de motor conmuta de un equipo 32 de regulación de sensor a una unidad 30 de regulación vectorial, que efectúa una regulación de la velocidad de rotación del motor 12 IPM a base de corrientes de inyección medidas. En este caso, la energía se conduce desde el equipo 20 acumulador de energía al circuito intermedio 18, pudiendo bajar la tensión V_{ZK} del circuito intermedio 18 hasta debajo de 200 V. Debido a la característica IPM del motor 12 se puede llevar a cabo incluso en el caso de una tensión de circuito intermedio V_{ZK} reducida y en caso de velocidades de rotación bajas un control por PWM orientado a campo, de modo que se puede ocupar al menos un paso de embanderado de la pala 48 del rotor.

En la figura 2 está representado otro ejemplo de realización de un dispositivo 10 de accionamiento de paso de acuerdo con la invención. Esencialmente, el dispositivo 10 de accionamiento de paso representado en la figura 2 corresponde a la forma de realización representada en la figura 1, de modo que en gran parte se prescinde de la descripción de los componentes individuales. El equipo rectificador 16 comprende un rectificador de puente de tres fases para rectificar la tensión de circuito intermedio de tensión continua V_{ZK} del circuito intermedio 18 a partir de la tensión de red de tres fases de la red 68 de suministro. En el circuito intermedio 18 están conectados uno o varios diodos 44 de guía de corriente para evitar un flujo de retorno de corriente del equipo inverter de vuelta al equipo rectificador 16, de modo que los máximos de tensión que aparecen solo se reciben por el condensador 26 de circuito intermedio. El equipo inverter 14 comprende un inverter de tres puentes, que contiene seis elementos de conmutación de semiconductor, preferentemente elementos de conmutación IGBT para transformar la tensión continua V_{ZK} del circuito intermedio 18 en tensión de control modulada por PWM para el funcionamiento reglado por velocidad de rotación del motor 12 síncrono. Los elementos de conmutación de semiconductor del equipo inverter 14 se conectan en concordancia de fase en funcionamiento normal por la unidad 32 de regulación de sensor y en funcionamiento de emergencia por la unidad 30 de regulación vectorial, conmutando la unidad 34 de conmutación de regulación entre estas dos unidades 30, 32 de

regulación al pasar de funcionamiento normal a funcionamiento de emergencia. Sin embargo, también es concebible que la unidad 30 de regulación vectorial tanto en caso de funcionamiento normal como de emergencia se encargue de la regulación de velocidad de rotación.

5 El equipo rectificador 16 comprende una unidad 36 de control de corriente, que puede controlar la magnitud de la corriente que fluye al circuito intermedio 18 y, en particular, al arrancar el dispositivo 10 de accionamiento de paso puede suprimir una continuidad de corriente excesiva, así como ajustar la magnitud de la tensión de circuito intermedio V_{ZK} . Para la medición de la corriente alimentada del equipo rectificador 16 está conectado un equipo 42 de medición de corriente en el circuito intermedio CC 18, que comunica la magnitud de la corriente al equipo 64 de regulación de motor, que a su vez puede inducir el control de la magnitud de la corriente por parte de la unidad 36 de control de corriente.

15 Un equipo 20 acumulador de energía está conectado por un equipo 24 de acoplamiento de manera directa al circuito intermedio 18, no permitiendo el equipo 24 de acoplamiento un intercambio de energía entre el circuito intermedio 18 y el equipo 20 acumulador de energía hasta que sobrepasa una diferencia de potencial V_f predeterminable. En cuanto a estructura, modo de acción y desarrollo en un caso de funcionamiento de emergencia, el ejemplo de realización de la figura 2 corresponde en gran parte al de la figura 1.

20 La figura 3 muestra de manera esquemática cuatro ejemplos de realización de una unidad 24 de acoplamiento pasiva, que hace posible un acoplamiento de un equipo 20 acumulador de energía al circuito intermedio 18 de un dispositivo 10 de accionamiento de paso. En algunos casos, en el circuito intermedio 18 está conectado un condensador 26 de circuito intermedio, que puede igualar fluctuaciones de tensión, nivelar la tensión V_{ZK} de circuito intermedio, así como alojar máximos de tensión. El equipo 20 acumulador de energía comprende una disposición 22 de condensadores, que mediante condensadores conectados en serie y/o paralelo hace posible una acumulación de energía de alta capacidad del acumulador de energía de reserva. El equipo 20 acumulador de energía tiene el objetivo de poner a disposición energía para una marcha de funcionamiento de emergencia a corto plazo del motor 12 de accionamiento de paso, acoger energía regenerativa en caso de procesos de inversión, así como poner a disposición energía para máximos de potencia en el caso de altas exigencias de par de fuerzas. La unidad 24 de acoplamiento sirve para suprimir una continuidad de corriente en el caso de ligeras diferencias de tensión entre el circuito intermedio 18 y tensión de condensador interior del equipo 20 acumulador de energía, ya que para igualar estas diferencias de tensión se debe recurrir al condensador 26 de circuito intermedio. Una unidad 24 de acoplamiento de la invención puede contener elementos individuales o una combinación de elementos de las unidades 24 de acoplamiento representadas a continuación.

35 En la figura 3a está representado un primer ejemplo de realización de una unidad 24 de acoplamiento, que comprende dos diodos de potencia de semiconductor interconectados uno con respecto a otro como diodos 40 de acoplamiento con una tensión de valor umbral V_f . Una continuidad de corriente entre el equipo 20 acumulador de energía y circuito intermedio 18 no tiene lugar hasta que la diferencia de potencial supere la tensión V_f de valor umbral de la unidad 24 de acoplamiento. La tensión V_f de valor umbral puede aumentarse de manera discrecional por conexión en serie de varios diodos, de modo que dado el caso de manera ajustable es posible una "división del trabajo" entre condensador 26 de circuito intermedio y equipo 20 acumulador de energía.

45 En la figura 3b está representado un segundo ejemplo de realización de una unidad 24 de acoplamiento, que antes de los diodos 40 de acoplamiento interconectados uno con respecto a otro comprende uno o varios condensadores 28 de circuito intermedio conectados en paralelo entre las barras de potencial del circuito intermedio 30. Los otros condensadores de circuito intermedio 28 aumentan la capacitancia del condensador de circuito intermedio 26, de modo que se hacen posibles una amortiguación de máximos de tensión más altos, una suspensión de ondulación mejorada y una tensión V_{ZK} de circuito intermedio más estable.

50 La figura 3c representa un tercer ejemplo de realización de una unidad 24 de acoplamiento, que comprende un circuito 90 de inductancia. El circuito 90 de inductancia puede comprender una o varias inductancias, por las que puede fluir corriente entre el equipo 20 acumulador de energía de tensión continua y el circuito 18 intermedio de tensión continua. El circuito 90 de inductancia nivela máximos de corriente y atenúa frecuencias superiores, como las que pueden aparecer en caso de procesos de conmutación rápidos del equipo inversor 14, fallo de una fase de red, alternación de carga del motor 12 u otras averías. Por lo tanto, el equipo 20 acumulador de energía se somete constantemente a carga y se protege de fluctuaciones de corriente de alta frecuencia, por lo que aumenta la vida útil.

60 Además, la figura 3d muestra una unidad 24 de acoplamiento, que comprende un circuito 92 de diodos Zener. El circuito 92 de diodos Zener puede comprender uno o varios diodos Zener o componentes comparables que solo permiten que la corriente fluya del equipo 20 acumulador de energía hacia el circuito intermedio 18 cuando la tensión V_{ZK} de circuito intermedio es inferior a la tensión V_B del equipo 20 acumulador de energía de tensión continua por un valor igual a la tensión V_Z de Zener. Debido a la característica particular del diodo Zener, la energía regenerativa del circuito intermedio 18 se traslada al equipo 20 acumulador de energía. Mientras la tensión V_B del acumulador de energía 20 sea más alta en V_Z que la tensión V_{ZK} de circuito intermedio, se podrá liberar la energía contenida en el acumulador 20 de energía al circuito intermedio 18. En funcionamiento, esto significa que la tensión V_B del acumulador 20 de energía puede variar entre $V_{ZK}+V_Z$ y $V_{Bm\acute{a}x}$ (tensión máxima del acumulador 20 de energía).

En la figura 4 está representada una unidad 24 de acoplamiento activa, por la que se puede conectar y desconectar el equipo 20 acumulador de energía del circuito intermedio 18, de modo que el equipo 20 acumulador de energía se puede desacoplar del circuito intermedio 18. La unidad 24 de acoplamiento comprende un medio 94 de control, que está unido con un medio 96 de conmutación, en este caso un transistor de potencia, por ejemplo, IGBT. Además, el medio 94 de control comprende un sensor 100 de corriente para el registro de una corriente I_G de carga, que en estado conectado de circuito intermedio 18 puede fluir al equipo 24 acumulador de energía, así como dos sensores de medición de tensión que pueden registrar la tensión V_B en el lado del equipo 20 acumulador de energía, así como V_{ZK} en el lado del circuito intermedio 18. Finalmente, la unidad 24 de acoplamiento comprende un circuito 90 de inductancia y una rama 102 de puente, que contiene un diodo 40 de acoplamiento y que salva el medio 96 de conmutación, de modo que mientras $U_B > U_{ZK}$, puede fluir corriente I_M del equipo 20 acumulador de energía al circuito intermedio 18. Por la conexión del medio 96 de conmutación por el medio 94 de control puede fluir corriente regenerativa o corriente I_G de carga del circuito intermedio 18 al equipo 20 acumulador de energía. En el caso de que la tensión U_B de circuito intermedio caiga por debajo del nivel de la tensión U_{ZK} del equipo acumulador de energía, el equipo acumulador de energía suministra por el diodo 40 corriente al circuito intermedio 18. El medio 94 de conmutación puede estar unido con un control de orden superior, por ejemplo, con un equipo de control de motor (no representado), y puede recibir órdenes externas para una carga regular y/o controlada del acumulador 20 de energía, para conectar durante el arranque del inverter 14, o para la separación durante el funcionamiento del motor o en caso de determinados intervalos de funcionamiento del motor 12, por ejemplo, durante un funcionamiento de carga elevada o un funcionamiento de alta frecuencia. El medio 94 de control puede activar de manera estática el medio 96 de conmutación, por ejemplo, al recibir una señal externa de conexión o desconexión, o, por ejemplo, llevar a cabo una activación controlada del medio 96 de conmutación por un procedimiento de regulación, por ejemplo, por un circuito de regulación cerrado para la regulación de la corriente de carga I_G .

La figura 5 muestra de manera esquemática la estructura básica de un inducido 74 de imán permanente de una máquina sincrónica IPM. El inducido 74 presenta un eje 80 de inducido y comprende un núcleo 76 laminado de inducido que, de manera correspondiente a la cantidad de imanes 78 ocultos, presenta abombamientos de borne de polo perfilados. El núcleo 76 laminado de inducido está laminado para la supresión de pérdidas de corriente parásita. En el interior del núcleo laminado de inducido están enterrados 4 imanes permanentes 78 respectivamente desplazados en 90° alrededor del eje 80 de inducido, es decir, al contrario que los motores SPM desplazados radialmente hacia dentro. Debido a este modo de construcción, este tipo de motor presenta un efecto de reluctancia pronunciado y es especialmente adecuado para una regulación sin sensores en particular en el intervalo de velocidad de rotación bajo, así como en funcionamiento de shuntado en caso de tensión de circuito intermedio baja, que puede ponerse a disposición por el equipo 20 acumulador de energía.

En la figura 6 está confrontada una curva característica M/U de par de fuerzas/velocidad de rotación de un motor IPM preferente frente a un motor SPM con los mismos datos de potencia. El motor IPM presenta un intervalo de velocidad de rotación nominal más alto con igual consumo de corriente y pares de fuerza M claramente más altos con velocidades de rotación U iguales y, por lo tanto, es claramente superior al motor SPM especialmente en funcionamiento de shuntado. Por lo tanto, en particular en funcionamiento de emergencia, en el caso de una tensión V_{ZK} de circuito intermedio reducida, que se puede poner a disposición por un equipo 20 acumulador de energía, se puede facilitar un par de fuerza M alto para una marcha de emergencia en el caso de velocidades U de rotación altas, pudiendo llevarse a cabo en caso de fallo de sensores de rotación debido al efecto de reluctancia pronunciado una regulación vectorial orientada a campo sin sensores, incluso en caso de velocidades U de rotación bajas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo (10) de accionamiento de paso con posibilidad de funcionamiento en caso de emergencia para la graduación de una pala de rotor de un aerogenerador o una instalación hidroeléctrica, que comprende un equipo inverter (14) y un motor de accionamiento de corriente trifásica, **caracterizado por que** el motor de accionamiento es un motor (12) síncrono IPM (*Interior Permanent Magnet*) de corriente trifásica, y por que tanto en funcionamiento normal como de emergencia un equipo (20) acumulador de energía de tensión continua está acoplado directamente o por una unidad (24) de acoplamiento basada en diodos y/o inductancia pasiva para la supresión de máximos de tensión interferentes en un circuito intermedio (18) de tensión continua entre un equipo rectificador (16) y el equipo inverter (14) para un suministro de energía al menos a corto plazo del motor (12) síncrono IPM, de modo que se ajusta una continuidad de corriente entre el equipo (20) acumulador de energía y el circuito intermedio (18) al menos en caso de una diferencia de tensión mayor que un valor de tensión V_f específico de componente de acoplamiento, por lo que el motor (12) síncrono IPM también se puede hacer funcionar regulando la velocidad de rotación en caso de una tensión U_{zk} de circuito intermedio decreciente, al menos a corto plazo.
- 10 2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el motor (12) síncrono IPM está concebido para un intervalo de velocidad de rotación alto de 300 a 3000 rpm, pudiendo alcanzarse un rendimiento óptimo en el intervalo de velocidad de rotación inferior, en particular alrededor de una velocidad de rotación nominal de 500 rpm.
- 15 3. Dispositivo según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el equipo (20) acumulador de energía de tensión continua es una disposición (22) de condensadores de alta capacitancia.
- 20 4. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 3, **caracterizado por que** el equipo (20) acumulador de energía de tensión continua está concebido para una tensión U_{zk} de circuito intermedio de 100 V CC a 650 V CC.
- 25 5. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la unidad (24) de acoplamiento para el aumento de la capacitancia de un condensador de circuito intermedio (26) comprende al menos otro condensador de circuito intermedio (28).
- 30 6. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la unidad (24) de acoplamiento comprende un medio (94) de control y un medio (96) de conmutación, por lo que se puede conmutar una corriente I_G de carga del circuito (18) intermedio de tensión continua al equipo (20) acumulador de tensión continua, estando conectada en paralelo al medio (96) de conmutación una rama (102) de puente que comprende un diodo (40) de acoplamiento para el suministro al circuito (18) intermedio de tensión continua de una corriente I_M de suministro, de modo que una corriente I_M de suministro puede fluir de manera independiente del estado (96) de conmutación del medio de conmutación.
- 35 7. Dispositivo según la reivindicación 6, **caracterizado por que** al menos el medio (96) de conmutación es un medio de conmutación de semiconductor y está integrado en una carcasa de un módulo de potencia de semiconductor junto con medios de conmutación de semiconductor del equipo inverter (14) y/o diodos de puente de semiconductor del equipo rectificador (16), preferentemente en una carcasa IPM (*Integrated Power Modul*).
- 40 8. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el equipo inverter (14) comprende una unidad (30) de regulación vectorial orientada a campo para la regulación de velocidad de rotación sin sensores del motor (12) síncrono, que puede ejecutar una regulación de velocidad de rotación al menos en un modo de funcionamiento y preferentemente en un intervalo de velocidad de rotación bajo del motor (12) síncrono de 300 a 700 rpm, en particular en un intervalo de velocidad de rotación de 500 rpm.
- 45 9. Dispositivo según la reivindicación 8, **caracterizado por que** el equipo inverter (14) comprende una unidad (32) de regulación de sensor, que está unida con uno o varios sensores (46, 50, 52) de velocidad de rotación/ángulo de rotación/posición mecánicos para la regulación de velocidad de rotación del motor (12) síncrono, y comprende una unidad (34) de conmutación de regulación, que puede conmutar entre la unidad (32) de regulación de sensor para una regulación de velocidad de rotación en funcionamiento normal y la unidad (30) de regulación vectorial para una regulación de velocidad de rotación en funcionamiento de emergencia.
- 50 10. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el equipo rectificador (16) comprende una unidad (36) de control de corriente para la limitación de la corriente de red acogida y/o para
- 55
- 60
- 65

la carga regulada por corriente del equipo (20) acumulador de energía de tensión continua, del condensador (26) de circuito intermedio y del equipo inverter (14), pudiendo regular la unidad (36) de control de corriente en funcionamiento normal la tensión U_{zk} de circuito intermedio a un valor que se puede ajustar previamente.

- 5 11. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** con el circuito (18) intermedio de tensión continua está unida, de manera que se puede conectar, una unidad (38) de resistencia de freno de emergencia para la desviación de energía eléctrica para un frenado rápido del motor (12) síncrono, pudiéndose conectar la unidad (38) de resistencia de freno en particular en el caso de una tensión U_{zk} de circuito intermedio aumentada.

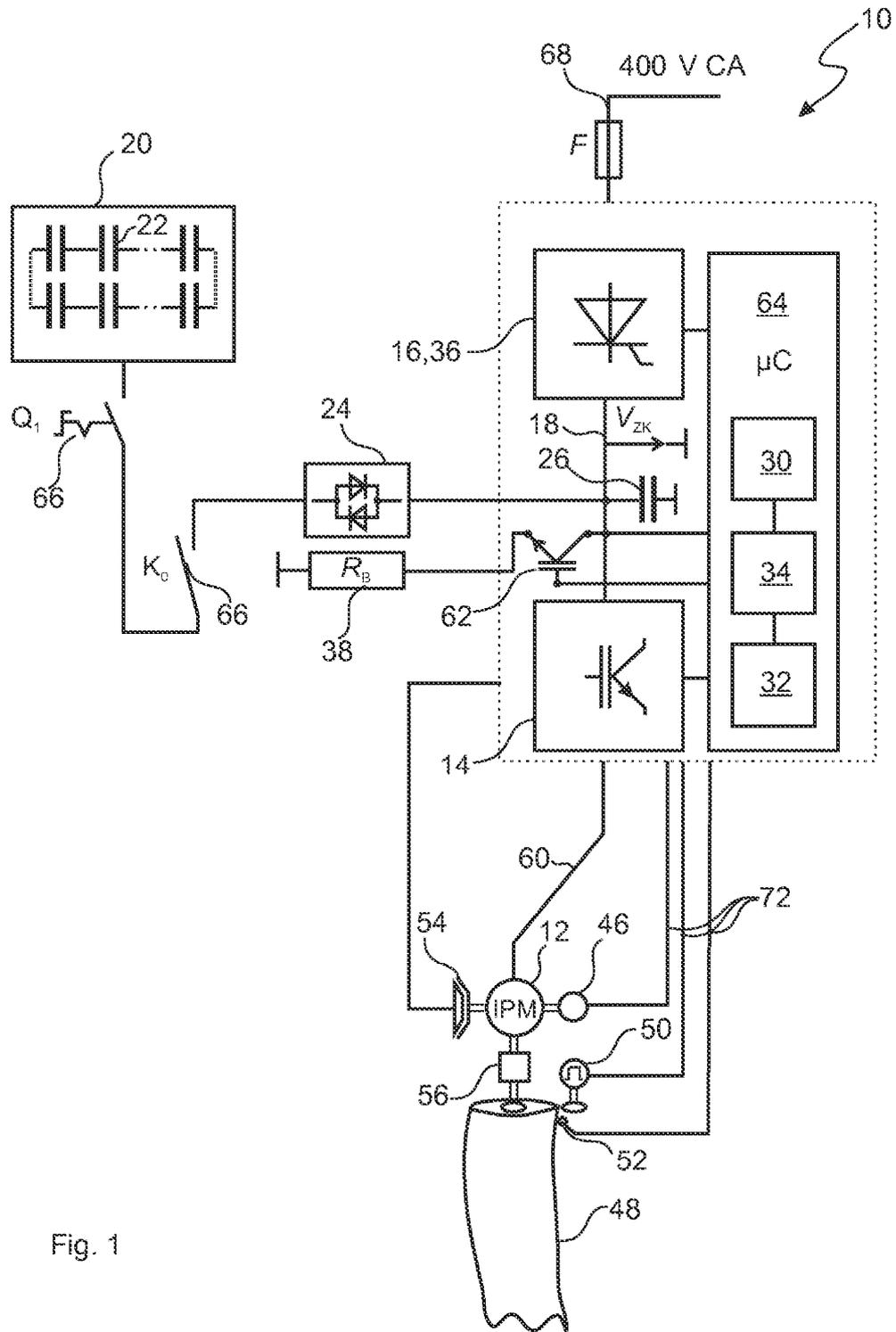


Fig. 1

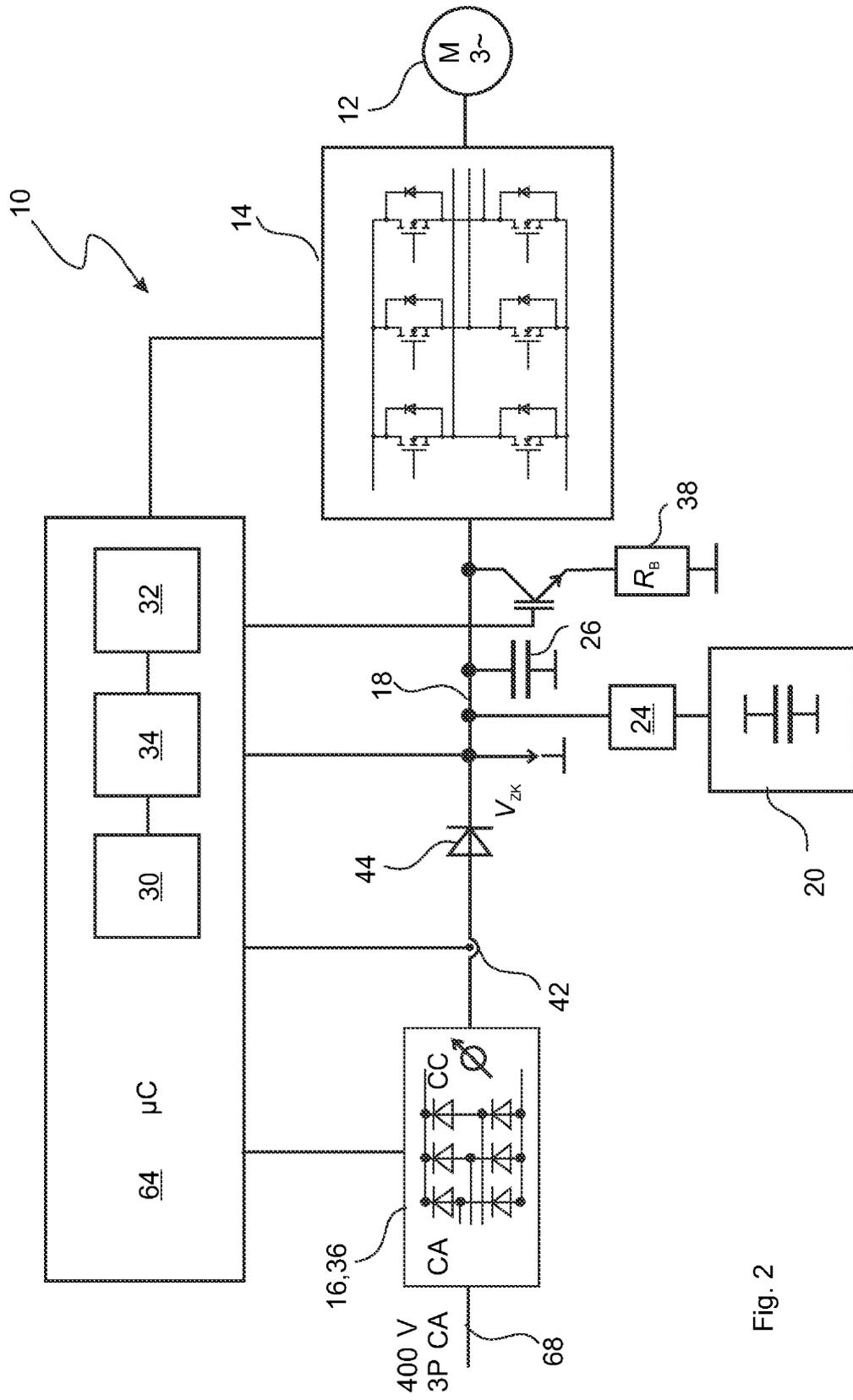


Fig. 2

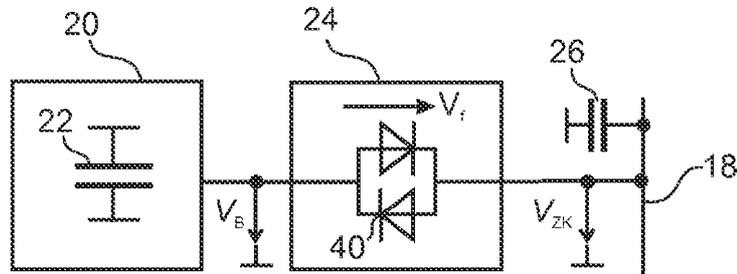


Fig. 3a

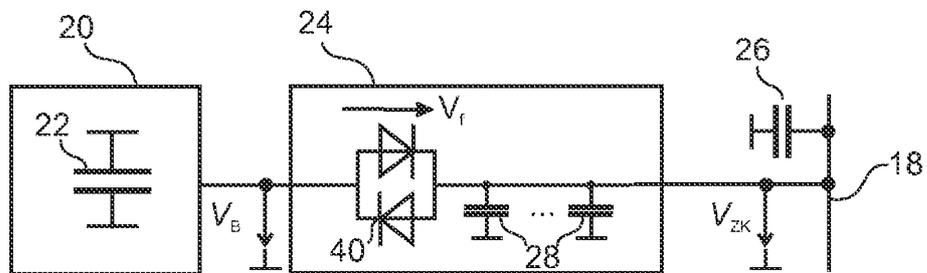


Fig. 3b

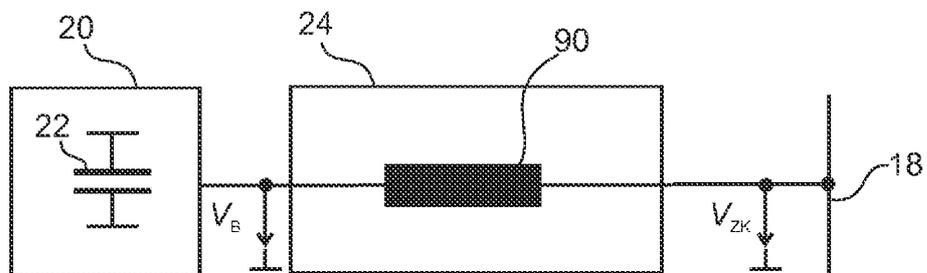


Fig. 3c

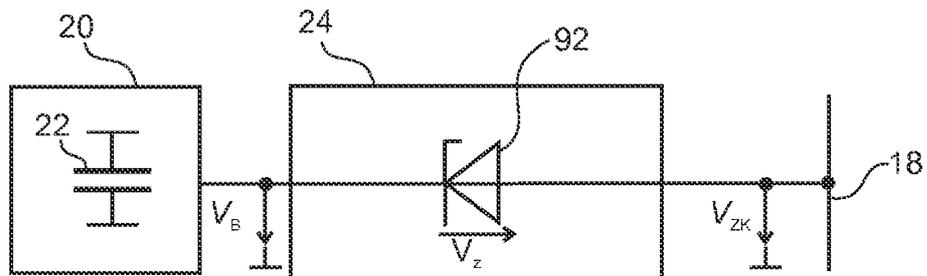


Fig. 3d

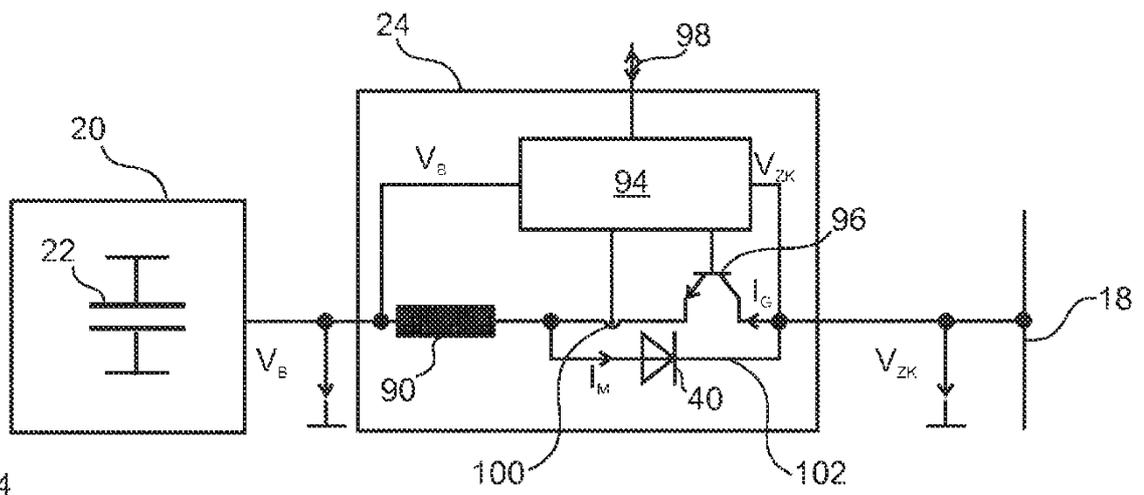


Fig. 4

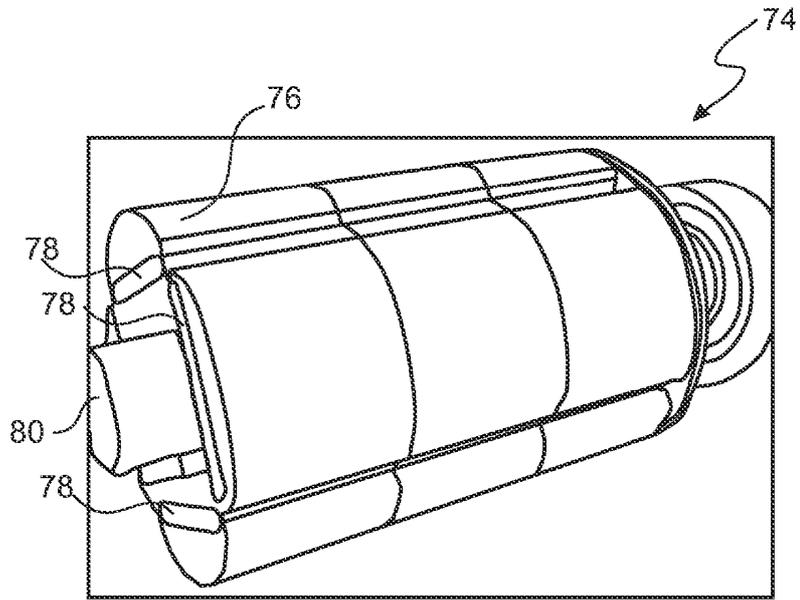


Fig. 5

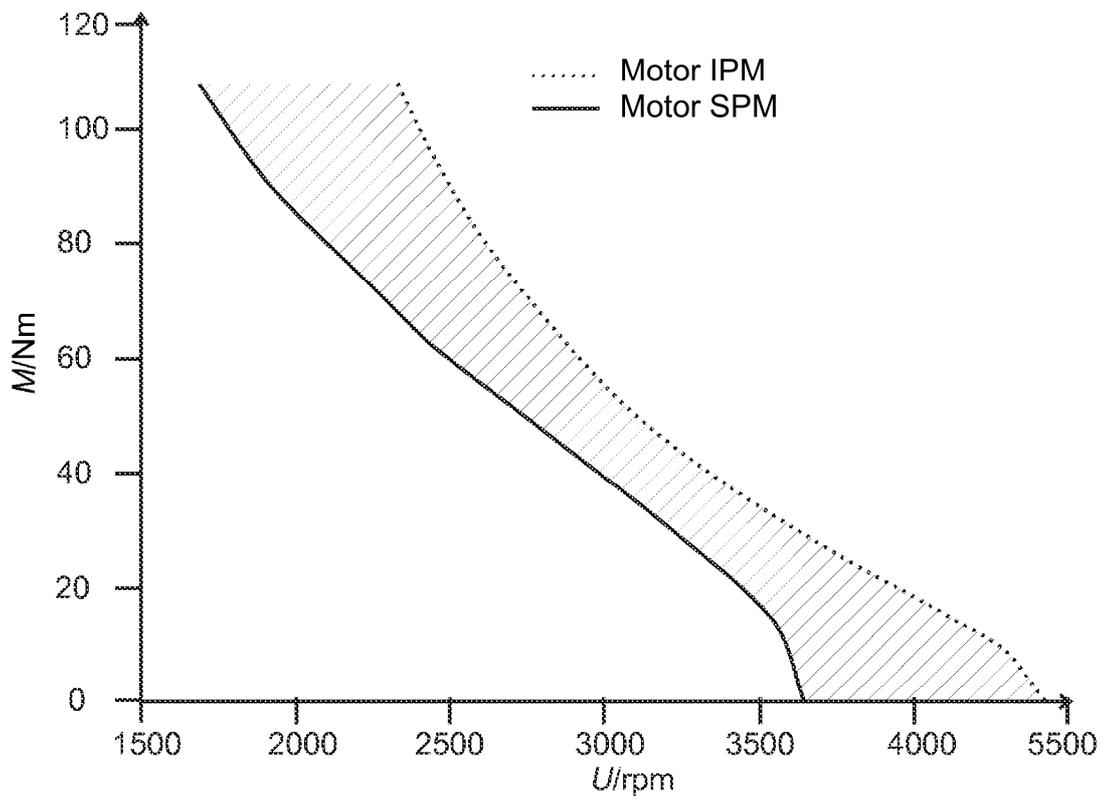


Fig. 6