

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 341**

51 Int. Cl.:
H02P 1/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08003991 .0**
96 Fecha de presentación: **04.03.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **1968181**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.09.2008**

54 Título: **Procedimiento para el restablecimiento de la conexión de un motor de corriente trifásica y circuito eléctrico para la realización del procedimiento**

30 Prioridad:
09.03.2007 DE 102007011510

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
20.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
20.12.2012

73 Titular/es:
ATLAS COPCO ENERGAS GMBH (100.0%)
Schlehenweg 15
50999 Köln, DE

72 Inventor/es:
KERN, ULRICH;
PÖHLER, STEFAN y
SEINSCH, HANS OTTO

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

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).

ES 2 393 341 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el restablecimiento de la conexión de un motor de corriente trifásica y circuito eléctrico para la realización del procedimiento

5 La invención se refiere a un procedimiento para el restablecimiento de la conexión de un motor de corriente trifásica (motor de inducción o motor síncrono) que acciona una máquina de trabajo (por ejemplo, turbo compresor de transmisión) después de una separación del mismo desde una tensión de alimentación y en el caso de presencia de una tensión de campo residual inducida por un campo residual del rotor, así como a un circuito eléctrico para la realización del procedimiento.

10 Muchos accionamientos en diferentes aplicaciones requieren después de una avería de la red de alimentación y de la separación del motor de corriente trifásica desde la tensión de alimentación un restablecimiento de la conexión lo más rápido posible y que implique poca pérdida del número de revoluciones, debiendo impedirse, sin embargo, daños del motor de corriente trifásica, de la máquina accionada por el motor así como de todas las otras partes de construcción de la sección del árbol (embragues, engranajes, etc.) entre la máquina y el motor. En este caso, hay que tener en cuenta que el motor continúa funcionando después de la separación de la tensión de alimentación, siendo inducida a través del campo residual del rotor presente una tensión de campo residual de la frecuencia del número de revoluciones. En virtud del contrapar de la máquina accionada y debido a la fricción, se para el motor. Para motores de corriente trifásica, después de producido el fallo de la red, el restablecimiento de la tensión de alimentación con oposiciones de fases a la tensión de campo residual representa una carga extrema en lo que se refiere a las corrientes de impacto producidas y los momentos de choque. Especialmente en el caso de un momento de inercia de masas alto de la máquina de trabajo, estos momentos de choque introducidos en el lado del motor pueden provocar cargas extremas de oscilación giratoria en toda la sección de accionamiento, de manera que todos los componentes de la sección de accionamiento como motor, embrague y máquina de trabajo deben ser diseñados correspondientemente robustos y, por lo tanto, sobredimensionados para el funcionamiento normal. Un procedimiento de cálculo para la determinación de la solicitación de par de torsión en el caso de una conmutación de la red se conoce a partir del Artículo "Archiv für Elektrotechnik 71, 1988, páginas 399 a 411".

Para evitar un sobredimensionado de los componentes de la sección de trabajo o el empleo de un embrague de resbalamiento adicional, se conoce por la práctica separar el motor en el caso de una avería de la red de alimentación a través de la apertura de un conmutador y a continuación conectarlo de manera controlada con una red de reserva o después de subsanar la avería de nuevo con la red de alimentación a través del cierre del conmutador. Como se representa en el Artículo "ELEKTRIE, Berlín 46, 1992, páginas 456 – 460", se conocen por la práctica procedimientos para la conmutación de corta duración y de larga duración para la nueva impulsión con tensión de un motor de corriente trifásica en presencia de una tensión residual inducida por un campo residual del rotor. Para impedir en el caso de una conmutación de corta duración dentro de típicamente pocos milisegundos una solicitación excesiva del par motor en la sección de accionamiento, se supervisan constantemente las diferencias entre las amplitudes, las frecuencias y los desplazamientos de fases de las tensiones de una red de alimentación y de una red de reserva. Solamente cuando todas las diferencias mantienen límites estrechos, se puede realizar una conmutación a la red de reserva en el caso de una avería de la red de alimentación dentro de pocos milisegundos. Si no se cumplen las condiciones para una conmutación de corta duración, entonces se lleva a cabo una conmutación de larga duración, esperando hasta que el motor de corriente trifásica se haya frenado hasta el punto de que durante la impulsión de la tensión, independientemente de la diferencia de fases de la tensión de alimentación y de la tensión de campo residual, se puede excluir una solicitación excesiva del par motor. El procedimiento de la conmutación de larga duración garantiza, en efecto, momentos de choque moderados, pero tiene el inconveniente de que el número de revoluciones cae tan fuertemente que con ello se interrumpe prácticamente el proceso de trabajo. Por último, en la conmutación de larga duración existe también el peligro de que el restablecimiento de la conexión se realice con un número de revoluciones crítico para torsión o flexión de la sección de accionamiento y se produzcan a través del proceso de conmutación momentos de cambio grandes, que ponen en peligro los componentes en la sección del árbol o incluso se activa la desconexión automática de seguridad.

Un procedimiento para el restablecimiento de la conexión de un motor de corriente trifásica después de una separación del mismo desde una tensión de alimentación en presencia de una tensión residual inducida por un campo residual del rotor se conoce a partir del documento WO 2005/112248 A1, siendo registrados los ciclos temporales de la tensión de campo residual y la tensión de alimentación, para determinar un instante para el restablecimiento de la conexión.

55 Ante estos antecedentes, la invención tiene el cometido de indicar un procedimiento para el restablecimiento de la conexión de un motor de corriente trifásica después de una separación del mismo desde una tensión de alimentación en presencia de una tensión de campo residual inducida por un campo residual del rotor, que posibilita, con una reducción al mínimo de las solicitaciones del par motor, un restablecimiento de la conexión con una tensión de campo residual discrecionalmente alta.

Objeto de la invención y solución del cometido es un procedimiento para el restablecimiento de la conexión de un motor de corriente trifásica de acuerdo con la reivindicación 1 y un circuito eléctrico de acuerdo con la reivindicación 8. A través del procedimiento de acuerdo con la invención, se puede realizar una conexión casi libre de choque del motor después de una separación desde una red de alimentación, pudiendo mantenerse muy reducida normalmente la caída del número de revoluciones.

Mientras que en la conmutación de corta duración conocida debe mantenerse preparada siempre una red de reserva y solamente se puede realizar una conmutación cuando las amplitudes, las frecuencias y las fases de la red de reserva y de la red de alimentación coinciden en gran medida, de acuerdo con el procedimiento según la invención, la nueva preparación de la tensión de alimentación se puede realizar a través de una red de reserva o después de la subsanación de una avería a través de la red de alimentación. La invención se basa especialmente en el reconocimiento de que a través de la parada del motor después de la separación de la tensión de alimentación, la velocidad angular disminuye a partir de la frecuencia de la red de la tensión de alimentación, de manera que la tensión de campo residual y la tensión de alimentación están aproximadamente en fase durante la parada del motor en instantes periódicos. A través de la determinación del desarrollo temporal de la tensión de campo residual se puede determinar en este caso de antemano un instante t_s , en el que la diferencia de fases no alcanza un valor máximo $\Delta\varphi_{\max}$ predeterminado, siendo activada una instrucción de conmutación, teniendo en cuenta el retardo del tiempo de conmutación τ_s antes de alcanzar el instante t_s , de manera que la impulsión de la tensión se realiza aproximadamente en el instante t_s calculado de antemano.

En una configuración preferida del procedimiento de acuerdo con la invención, está previsto que se determinen los instantes de los puntos de anulación de la tensión de campo residual, calculando la velocidad angular y la modificación de la velocidad angular de la tensión de campo residual a partir de los intervalos de tiempo entre los puntos de anulación. La determinación de los puntos de anulación se puede realizar de una manera especialmente sencilla y fiable desde el punto de vista de la técnica de medición, por ejemplo con un comparador analógico, y garantiza la exactitud necesaria e el marco del procedimiento de acuerdo con la invención. La velocidad angular se puede determinar en este caso como cociente de la diferencia de fases y de la diferencia de tiempo entre dos valores de medición según

$$\omega_i = (\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1}) / (t_{i+1} - t_{i-1})$$

Para la modificación de la velocidad angular se aplica de manera correspondiente

$$\frac{d\omega_i}{dt} = (\omega_{i+1} - \omega_{i-1}) / (t_{i+1} - t_{i-1}).$$

Para el cálculo previo del ángulo de fases φ_N de la tensión de la red se pueden determinar de manera similar varios puntos de anulación, siendo conocida, sin embargo, normalmente la frecuencia de la red f_N con una alta exactitud, de manera que el desarrollo temporal del ángulo de fases se puede determinar partiendo de un punto de anulación según

$$\varphi_N(t) = 2\pi \cdot f_N \cdot t \quad (2\pi \cdot f_N = \omega_N)$$

El desarrollo temporal del ángulo de fases φ_R de la tensión de campo residual se obtiene teniendo en cuenta la velocidad angular $\omega_i = \omega_R$ determinada actualmente y la modificación temporal calculada de la velocidad angular de acuerdo con

$$\varphi_R(t) = \omega_R \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \frac{d\omega_R}{dt} \cdot t^2.$$

En este caso, t es el tiempo entre la penúltima medición y la conexión del conmutador de potencia. ω_R es la frecuencia del circuito de la tensión de campo residual en el instante de la penúltima medición y $d\omega_R/dt$ es la modificación de la frecuencia del circuito de la tensión de campo residual en el instante de la penúltima medición. Además del desarrollo temporal de la tensión de campo residual se puede calcular también con preferencia al menos la amplitud A_R de la tensión de campo residual, siendo activada, en el caso de una caída de la amplitud de la tensión de campo residual bajo una tensión máxima predeterminada $A_{\max}$, la instrucción de conmutación para la impulsión de la tensión independientemente de la relación de fases entre la tensión de campo residual y la tensión

de alimentación. Especialmente en el caso de un frenado rápido del motor de corriente alterna, existe la posibilidad de que ya antes de quedar por debajo de la diferencia de fases $\Delta\varphi_{\max}$ predeterminada, previamente calculada, se alcance un número de revoluciones del motor, en el que independientemente de la relación de fases entre la tensión de campo residual y la tensión de alimentación, la sollicitación del par motor está en un marco aceptable, de manera que se puede excluir un daño de la sección de árbol. Especialmente cuando las sollicitaciones de par motor son inferiores que durante el arranque del motor de corriente trifásica a partir del estado parado, normalmente no es crítico un restablecimiento de la conexión.

Puesto que de acuerdo con la invención, se determina la velocidad angular actual ω_R de la tensión de campo residual, para determinadas gamas de frecuencia, por ejemplo para gamas de frecuencia en la proximidad de un número de revoluciones crítico del sistema de la sección de árbol, puede estar previsto que para la prevención de daños, se suprima el restablecimiento de la conexión también cuando o bien la diferencia de fases no alcanza el valor máximo $\Delta\varphi_{\max}$ predeterminado o la amplitud A_R de la tensión de campo residual no alcanza una tensión máxima $A_{\max}$ predeterminada. Tan pronto como se abandona la gama de frecuencias predeterminada, se lleva a cabo, en presencia de los supuestos correspondientes, es decir, cuando no se alcanza a continuación la diferencia de fases predeterminada o cuando no se alcanza la tensión máxima predeterminada, el restablecimiento de la conexión del motor de corriente trifásica.

Los motores de corriente trifásica, por ejemplo para el accionamiento de turbo compresores, presentan en la práctica con frecuencia una potencia desde muchos kilovatios hasta varios megavatios y están realizados típicamente de tres secciones. Puesto que en el caso de motores de alta tensión, la punta de la estrella no es accesible en general, se mide normalmente como tensión de campo residual o bien como tensión de alimentación, respectivamente, la tensión concatenada (tensión de escalera) entre dos secciones, respectivamente, con dos registradores de medición.

El circuito eléctrico según la invención presenta una unidad de detección del valor de medición, que se puede conectar para la determinación de ciclos temporales de una tensión de campo residual y de una tensión de alimentación, por una parte, en un motor de corriente trifásica y, por otra parte, en una red de alimentación o bien una red de reserva, un regulador de corriente continua para la generación de un impulso de conmutación para un conmutador de potencia y un microcontrolador, que posibilita el cálculo previo de la relación de fases entre la tensión de campo residual y la tensión de alimentación.

La tensión de campo residual y la tensión de alimentación presentan típicamente amplitudes de varios miles de voltios, de manera que la unidad de detección del valor de medición presenta con preferencia cabezas de exploración para la conexión en el motor de corriente trifásica y la tensión de alimentación, que sirven como convertidores de la tensión que reducen la tensión medida, por ejemplo, a un intervalo entre -10 voltios y +10 voltios.

El microcontrolador, que presenta para la realización del procedimiento de acuerdo con la invención, típicamente un convertidor analógico a digital, un comparador analógico, varios relojes y al menos una memoria de valor fijo, está equipado con preferencia con una interfaz de programa estándar para la conexión en un ordenador o en una red de ordenadores, con lo que es posible una configuración sencilla y especialmente también una entrada sencilla de valores predeterminados.

El circuito eléctrico puede presentar en el marco de la invención también una indicación de estado y/o una interfaz para la salida de mensajes de estado, de manera que se pueden indicar directamente a un usuario el estado del circuito eléctrico y la presencia de una avería de la red de alimentación. También es concebible que los mensajes de estado emitidos sean registrados por un control central de la máquina o del proceso y sean procesados posteriormente.

Para la nueva impulsión contención del motor de corriente trifásica después de una separación del mismo desde una tensión de alimentación está previsto típicamente un conmutador de potencia, que recibe un impulso de conmutación desde el regulador de tensión continua. Para la activación del conmutador de potencia son necesarias en este caso con frecuencia corrientes de conmutación grandes, de manera que en una configuración preferida del circuito eléctrico, una salida del microcontrolador está conectada como señal de control en un transistor de efecto de campo (FET) realizado con preferencia como MOSFET, que conecta una tensión de entrada separada con un lado de salida del regulador de corriente continua.

A continuación se explica la invención con la ayuda de un ejemplo de realización con referencia a la figura única. La figura única muestra de forma muy esquemática una pletina, sobre la que está realizado el circuito eléctrico de acuerdo con la invención.

El circuito eléctrico para la realización del procedimiento de acuerdo con la invención comprende una unidad de detección del valor de medición 1, un microcontrolador 2 y un regulador de corriente continua 3 para la generación de un impulso de conmutación para un conmutador de potencia. El circuito presenta, además, ocho LEDs 4 como

indicación de estado 5 así como conexiones 6 para la programación del microcontrolador y para la emisión de mensajes de estado.

La unidad de detección del valor de medición 1 está conectada, respectivamente, a través de dos cabezas de exploración no representadas en dos terminales de un motor de corriente trifásica y en dos terminales de una tensión de alimentación. La tensión de alimentación es preparada en este caso por una red de alimentación o por una red de reserva adicional, que posibilita el funcionamiento del motor en el caso de un fallo de la red de alimentación.

El microcontrolador 2 dispone de ocho salidas digitales, que están conectadas para la indicación del estado actual con los LEDs 4. El primer LED 4 se conecta durante el arranque del microcontrolador 2 e indica que el circuito funciona. Cuando se enciende el segundo LED 4, el circuito está preparado para una interrupción de la red. Los LEDs 4 tres a seis indican el desarrollo de una interrupción de la red después de una separación del motor desde la tensión de alimentación. El tercer LED 4 se enciende cuando existe una interrupción de la red con relación a la red de alimentación y se apaga cuando la tensión de alimentación es preparada por una red de reserva o de nuevo por la red de alimentación. El cuarto LD 4 se enciende cuando para la determinación de los ciclos temporales de la fase de la tensión de campo residual y de la tensión de alimentación, los puntos de anulación de la tensión de alimentación o bien de la tensión de campo residual son registrados a través de la unidad de detección del valor de medición 1. Si está presente un número suficientemente grande de valores de medición, se apaga el cuarto LED 4 y el quinto LED 4 indica que se espera un instante t_s adecuado previamente calculado para la impulsión de la tensión. Tan pronto como se ha alcanzado el instante t_s , se enciende el sexto LED 4, mientras que el circuito se repone al estado original. Mientras que el séptimo LED 4 sirve para fines de diagnóstico durante el desarrollo del circuito, el octavo LED indica que se activa una instrucción de conmutación para el conmutador de potencia para el restablecimiento de la conexión. Puesto que el conmutador de potencia presenta un retardo de conmutación τ_s de típicamente algunas decenas de milisegundos (por ejemplo, $\tau_s = 60$ ms en un conmutador de potencia del tipo DIL M300 de la Möller GmbH), la instrucción de conmutación debe activarse de manera correspondiente antes de alcanzar el instante t_s .

El cálculo del instante t_s se basa en la detección de la posición de las fases de la tensión de campo residual en terminales de conexión del motor y de la tensión de alimentación. Para determinar la posición de las fases, se determinan los puntos de anulación de la tensión de alimentación y de la tensión de campo residual de una sección o de la tensión concatenada entre dos secciones. Estas tensiones se pueden tomar directamente delante o detrás del conmutador de potencia.

En el caso de una avería de la red de alimentación durante el funcionamiento del circuito eléctrico, se abre el conmutador de potencia, siendo indicada la interrupción de la red a través del tercer LED 4. En el caso de que la tensión de alimentación deba ser preparada después de la apertura del conmutador de potencia después de subsanar la avería de nuevo por la red de alimentación, se determina en primer lugar la duración de la interrupción de la red. A tal fin se determina en primer lugar la duración de la interrupción de la red por la unidad de detección del valor de medición 1. Después de que la tensión de alimentación está disponible de nuevo, se determina por un comparador analógico un punto de anulación de la tensión de alimentación, pudiendo calcularse previamente a través de la determinación de este punto de anulación, teniendo en cuenta la frecuencia de la red, la fase de la tensión de alimentación. A continuación se calculan los puntos de anulación de la tensión de campo residual, siendo determinadas, a partir de los intervalos de tiempo entre los puntos de anulación, la velocidad angular de la fase y la modificación de la velocidad angular. A partir de los datos calculados previamente se determina el instante t_s , en el que la diferencia de fases no alcanza un valor máximo $\Delta\varphi_{\max}$ predeterminado, por ejemplo de 20° .

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento para el restablecimiento de la conexión de un motor de corriente trifásica después de una separación del mismo desde una tensión de alimentación en presencia de una tensión de campo residual inducida por un campo residual del rotor, en el que los ciclos temporales de la tensión del campo residual y de la tensión de alimentación son registrados, para determinar un instante para el restablecimiento de la conexión, caracterizado porque a partir de los ciclos temporales de la tensión de campo residual y de la tensión de alimentación, se calcula previamente la diferencia de fases entre las tensiones y se determina de antemano un instante t_s , en el que la diferencia de fases no alcanza un valor máximo $\Delta\varphi_{\max}$ predeterminado, en el que en un segundo intervalo de tiempo, que corresponde a un retraso predeterminado del tiempo de conmutación τ_s , antes de alcanzar el instante t_s se activa una instrucción de conmutación para el restablecimiento de la conexión, de manera que el motor está conectado aproximadamente en el instante t_s en la tensión de alimentación.
- 2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque después de una separación del motor desde una tensión de alimentación, se realiza la nueva preparación de la tensión de alimentación o bien a través de la red original o a través de una red de reserva.
- 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque el motor de corriente trifásica está realizado de tres secciones y en este caso los ciclos de tiempo de la tensión de campo residual y de la tensión de alimentación se obtienen en cada caso con dos registradores de medición.
- 4.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque se determinan los instantes de los puntos de anulación de la tensión de campo residual y en el que se determinan la velocidad angular y la modificación de la velocidad angular de la tensión de campo residual a partir de los intervalos de tiempo entre los puntos de anulación.
- 5.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque el cálculo previo del ciclo tiempo de la tensión de la red se realiza a partir de un punto de anulación suponiendo una frecuencia constante de la red y en el que el cálculo previo del ciclo de tiempo de la tensión de campo residual se realiza a partir de un punto de anulación teniendo en cuenta la velocidad angular determinada actualmente y la modificación temporal calculada de la velocidad angular.
- 6.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque además de la determinación del ciclo temporal de la tensión de campo residual y de la tensión de alimentación, se calcula al menos también la amplitud de la tensión de campo residual.
- 7.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado porque en el caso de una caída de la amplitud de la tensión de campo residual por debajo de una tensión máxima predeterminada, se activa la instrucción de conmutación para el restablecimiento de la conexión independientemente de la relación de fases entre la tensión de campo residual y la tensión de alimentación.
- 8.- Circuito eléctrico, que realiza el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, con una unidad de detección del valor de medición (1), que se puede conectar para la determinación de los ciclos temporales de las fases de una tensión de campo residual y de una tensión de alimentación, por una parte, en un motor de corriente trifásica y, por otra parte, en una red de alimentación o bien una red de reserva, con un regulador de la corriente continua (3) para la generación de un impulso de conmutación para un conmutador de potencia y con un microcontrolador (2), que posibilita un cálculo previo de la relación de fases entre la tensión de efecto de campo y la tensión de alimentación.
- 9.- Circuito eléctrico de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque la unidad de detección del valor de medición (1) presenta cabezas de exploración para la conexión en el motor de corriente trifásica y la tensión de alimentación.
- 10.- Circuito eléctrico de acuerdo con la reivindicación 8 ó 9, caracterizado porque el microcontrolador (2) presenta una interfaz de programa estándar para la conexión en un ordenador o una red de ordenadores.
- 11.- Circuito eléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 10, caracterizado porque el circuito presenta una indicación de estado (5) y/o una interfaz para la emisión de mensajes de estado.
- 12.- Circuito eléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizado porque el microcontrolador (2) presenta un convertidor analógico a digital, un comparador analógico, relojes y una memoria de valor fijo.
- 13.- Circuito eléctrico de acuerdo con una de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizado porque una salida del microcontrolador (2) está conectada como señal de control en un transistor de efecto de campo (FET/MOSFET), que conecta una tensión de entrada separada con un lado de salida del regulador de corriente continua (3).

