

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 127**

51 Int. Cl.:

H02P 3/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.08.2017** E 17187597 (4)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019** EP 3288173

54 Título: **Procedimiento de control de frenado de un motor eléctrico**

30 Prioridad:

24.08.2016 FR 1657889

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

27.02.2020

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS
(100.0%)**

**35, rue Joseph Monier
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**PENKOV, DELCHO;
GANDANEGARA, GRACE y
DURAND, CHRISTOPHE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 745 127 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de control de frenado de un motor eléctrico

Campo Técnico

La invención se refiere a un procedimiento de control de frenado de un motor eléctrico.

5 Técnica anterior

Durante la puesta en marcha y la parada de un motor (de tipo síncrono o asíncrono) alimentado por una fuente de tensión alterna V_{CA} , pueden aparecer fenómenos parásitos, tales como corrientes y tensiones transitorias. Con el fin de limitar el nivel de estrés del motor, y perturbar otras cargas conectadas a la misma fuente de tensión, es primordial limitar estos fenómenos parásitos.

10 A este respecto, un variador de velocidad puede asegurar de manera muy eficaz esta función de limitación de los fenómenos parásitos tanto para la puesta en marcha como para la parada del motor, como para el control preciso de la velocidad de rotación del motor.

Sin embargo, esta solución no es totalmente satisfactoria.

15 De hecho, el coste particularmente elevado de un variador de velocidad limita su utilización. Además, un variador de velocidad es voluminoso y puede presentar un peso y un coste adicional importante.

Con el fin de paliar estos inconvenientes, el documento [1] citado al final de la descripción, propone un dispositivo alternativo denominado, según la terminología Anglo-Sajona, "*Soft-Starter*". Dicho dispositivo es en general un interruptor controlado, que comprende dos tiristores montados capiculados en paralelo (figura 1) dispuestos entre la fuente de tensión alterna y el motor.

20 Los tiristores conectados capiculados son actos para conectar el motor a la fase respectivamente en alternancia positiva y negativa en tensión de esta última. En cada alternancia de la corriente que atraviesa el tiristor, la corriente se anula naturalmente por encima de un umbral dependiente del tiristor, pero próximo a cero. El gatillo del tiristor correspondiente es alimentado a continuación de manera que restauren conducción la corriente. Resulta en una duración variable de la interrupción de la corriente que alimenta al motor, y por consiguiente una alimentación y una corriente reducida del motor. El control de la restauración en conducción del tiristor es realizado con un retardo de tiempo o grados eléctricos (más particularmente un retardo de alimentación) descontado con respecto a una referencia relativa a la tensión o a la corriente.

25 El ajuste de este retardo de alimentación del gatillo puede ser ya sea según un comando alfa (α) es decir que el gatillo es alimentado con un retardo correspondiente a un ángulo α después del paso por cero de la tensión de la fase correspondiente, ya sea según un comando gamma (γ), es decir que el gatillo es alimentado con un retardo correspondiente a un ángulo después del paso por cero de la corriente de la fase correspondiente. Se puede de igual modo imaginar ajustes de retardo con respecto a magnitudes resultantes de un tratamiento específico tal como la derivada de la corriente. Sean cuales sean el ángulo α o el ángulo γ , estos dos retardos, que se corresponden respectivamente a tiempos de $\alpha T/2\pi$ y $\gamma T/2\pi$ con T siendo el periodo de la tensión de alimentación, corresponden a un retardo t_{ret} de alimentación de corriente del motor.

30 La solicitud de patente [2] (citada al final de la descripción) del solicitante describe un procedimiento de puesta en marcha del motor ejecutado por un interruptor controlado que comprende al menos dos tiristores. El procedimiento de puesta en marcha del motor comprende una fase de verificación de cambio de estado del motor que condiciona la aceleración de dicho motor después de cada disminución del retardo de alimentación del gatillo según uno u otro del comando alfa y el comando gamma.

Un procedimiento de control de frenado puede tomar los mismos principios descritos en la solicitud de patente [2], y considerar un aumento secuencial del retardo según uno u otro de los comandos alfa y el comando gamma, en combinación con una etapa de verificación del cambio de estado del motor.

Sin embargo, dicho procedimiento de control de frenado no puede ser satisfactorio.

45 En efecto, el control del aumento del retardo según un comando alfa genera oscilaciones de la corriente que atraviesan el motor que pueden provocar esfuerzos mecánicos y disfunciones al nivel del motor.

Además, el control del aumento del retardo según un comando gamma adolece de precisión en la determinación del paso por cero de la corriente.

La patente U5008608 divulga un controlador para poner en marcha y detener motores eléctricos.

Un objetivo de la presente invención es por tanto proponer un procedimiento de control de frenado que permite reducir las oscilaciones y la corriente que atraviesa el motor, al mismo modo ejerciendo un control preciso de la deceleración del motor.

Exposición de la invención

5 El objetivo de la invención, es al menos en parte, alcanzado por un procedimiento de control de frenado del motor eléctrico conectado a una fuente de tensión alterna V_{CA} de período T, el procedimiento que consiste en, en cada periodo de la tensión alterna V_{CA} , alimentar el motor de corriente, a través de la activación de un interruptor controlado, con un retardo t_{ret} , a un ángulo α de activación, dicho ángulo α que es medido con respecto al paso por
 10 cero de la tensión alterna V_{CA} , el procedimiento que comprende una secuencia de frenado en la cual, en todos los n periodos de la tensión alterna V_{CA} , se ejecutan las etapas siguientes:

a) determinación del valor de una variación ΔR_r de resistencia eléctrica del motor durante los n periodos anteriores de la tensión alterna V_{CA} ,

b) comparación del valor de la variación de resistencia eléctrica del motor, determinada en la etapa a) con un valor umbral de resistencia R_t ,

15 c) aumento del retardo t_{ret} si el valor de la variación de la resistencia del motor es inferior al valor umbral de resistencia, el aumento del retardo t_{ret} que es ejecutado según un comando gamma tan pronto como el ángulo α está comprendido en un intervalo de valores dado, y según un comando alfa en los otros casos.

El aumento del retardo según el comando gamma correspondiente, por ejemplo, tiene un ángulo de activación γ medido con respecto al paso por cero del periodo considerado de la corriente entregada por la fuente.

20 Según un modo de realización, el intervalo de valores dados se extiende a lo largo de 30° entre 45° y 80°.

Según un modo de realización, el intervalo de valores dados se extiende entre 50° y 80°.

Según un modo de realización, el intervalo de valores dados extiende entre 45° y 75°.

25 Según un modo de realización, el procedimiento comienza por una etapa de inicialización del retardo t_{ret} a un valor $t_{retinit}$, adaptado para conferir al interruptor controlado un funcionamiento en una onda completa, $t_{retinit}$ que es ajustado de forma ventajosa de manera que desencadena el cierre del interruptor controlado en cuanto se produce el paso por cero de una corriente que atraviesa el interruptor controlado.

Según un modo de realización, en la etapa c), el aumento del retardo t_{ret} se ejecuta según un incremento Δt de manera que el ángulo definido por la relación $2\pi\Delta t/T$ sea inferior a 5°, de forma preferente inferior a 3°, incluso de forma más preferente comprendido entre 0,5 y 2°.

30 Según un modo de realización, siempre que el retardo t_{ret} se aumenta en la etapa c), un tiempo t_{buf} de espera se impone antes de repetir la secuencia de frenado, preferiblemente, el tiempo t_{buf} de espera es un múltiplo entero p del periodo T de la tensión V_{CA} , incluso de forma más preferente p es igual a 2.

Según un modo de realización, la etapa a) es una etapa de determinación de la variación temporal $\frac{\Delta R}{R}(t)$, dicha variación temporal relativa que se calcula de forma preferente a partir de la ecuación siguiente:

$$\frac{\Delta R}{R}(t) = \frac{R(t - nT) - R(t)}{nT}$$

35

con $R(t)$ siendo un valor relativo a la resistencia del motor determinado en un instante t.

Según un modo de realización, siempre que el ángulo α de activación es superior a 120°, y/o la corriente que circula en el motor es inferior a un valor de corriente predeterminado, se pone fin al procedimiento de control de frenado del motor, de forma ventajosa, se abre el interruptor controlado.

40 Según un modo de realización, el valor umbral de resistencia R_t está comprendido entre 0,05 y 0,5, de forma preferente comprendido entre 0,1 y 0,3, incluso de forma más preferente comprendido entre 0,15 y 0,25.

Según un modo de realización, el interruptor controlado comprende dos tiristores montados capiculados en paralelo.

45 La invención se refiere del mismo modo a un producto de programa informático que comprende instrucciones de control de programa para la ejecución, cuando dicho programa es ejecutado en un calculador, etapas de determinación de una variación de una resistencia del motor, de comparación de dicha variación con un valor umbral

de resistencia R_t , de selección de un comando de aumento del retardo t_{ret} elegidos entre uno u otro de los comandos alfa y gamma según un criterio de selección, y de aumento del retardo t_{ret} si el valor de la variación de la resistencia del motor es inferior al valor umbral.

5 Según un modo de realización, el criterio de selección comprende la elección de un comando gamma siempre que el ángulo α esté comprendido entre 50° y 80° .

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas aparecerán en la descripción a continuación de modos de implementación del procedimiento de control de frenado de motor según la invención, dados a título de ejemplos no limitativos, con referencia los dibujos adjuntos en los cuales:

- 10 – la figura 1 es una representación esquemática de un interruptor controlado que comprende dos tiristores montados capiculados en paralelo,
- la figura 2 es una representación esquemática de un circuito que comprende un motor alimentado por una fuente de tensión alterna a través de un interruptor controlado pilotado por una unidad de tratamiento y de control según la invención,
- 15 – la figura 3 es una representación esquemática de un circuito equivalente de un motor asíncrono, siendo R_s y X_s respectivamente la resistencia y la reactancia del estator del motor, siendo R_r/s y X_r , respectivamente, la resistencia y la reactancia del rotor, siendo “s” el deslizamiento del motor,
- la figura 4 ilustra el principio de control de cierre del interruptor controlado por la unidad de tratamiento y de control según la invención,
- 20 – la figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra el encadenamiento de etapas de la secuencia de frenado según la invención, “y” que indica que el ensayo es positivo (sí), y “n” que el ensayo es negativo (no),
- las figuras 6a a 6c representan, durante la ejecución de un procedimiento de plegado, de motor que alimenta un compresor centrífugo, conocido en el estado de la técnica, la evolución en función del tiempo (en los ejes horizontales) de la velocidad del motor (Figura 6.a), de la corriente que alimenta el motor (Figura 6.b), y del ángulo α (Figura 6.c),
- 25 – las figuras 7a a 7c representan, durante la ejecución del procedimiento de frenado de un motor que alimenta un compresor centrífugo, según la invención, la evolución en función del tiempo (en los ejes horizontales) de la velocidad del motor (Figura 7.a), de la corriente que alimenta el motor (Figura 7.b) y del ángulo α (Figura 7.c),
- las figuras 8a a 8c representan, durante la ejecución de un procedimiento de frenado, de un motor que alimenta un transportador, conocido en el estado de la técnica, la evolución en función del tiempo (en los ejes horizontales) de la velocidad del motor (Figura 8.a), de la corriente que alimenta el motor (Figura 8.b) y del ángulo α (Figura 8.c),
- 30 – las figuras 9a a 9c representan, durante la ejecución del procedimiento de frenado de un motor que alimenta un transportador, según la invención, la evolución en función de los tiempos (en los ejes horizontales) de la velocidad del motor (Figura 9.a) de la corriente que alimenta el motor (Figura 9.b) y del ángulo α (Figura 9.c).

Exposición detallada de modos de realización particulares

40 La figura 2 ilustra un dispositivo 1 que comprende un motor 10 eléctrico, una fuente 20 de tensión alterna V_{CA} destinada a alimentar el motor 10 a través de un interruptor 30a, 30b, 30c controlado. El dispositivo 1 comprende además una unidad 35 de tratamiento y de control destinada a controlar la conmutación de un estado bloqueado (interruptor abierto) a un estado pasante (interruptor cerrado del interruptor 30a, 30b, 30c controlado).

La fuente 20 puede por ejemplo ser una fuente trifásica que alimenta el motor con corriente al menos de sus tres fases 21a, 21b, 21c.

Cada fase 21a, 21b, 21c está conectada al motor 10 por un interruptor 30a, 30b, 30c controlado.

45 De forma más particular, el interruptor 30a, 30b, 30c controlado está adaptado para conectar o desconectar el motor 10 a la fase 21a, 21b, 21c.

Cada interruptor 30a, 30b, 30c controlado puede comprender dos tiristores montados capiculados en paralelo. Por tanto, los tiristores 301a, 301b de una fase 21a, 21b, 21c de la fuente 20 son aptos para conectar el motor a dicha fase 21a, 21b, 21c respectivamente en alternancia positiva y negativa de corriente de esta última.

50 El dispositivo 1 comprende del mismo modo medios 31a, 31b, 31c de medida de la tensión de alimentación (la tensión de las tres fases 21a, 21b, 21c de la fuente 20). Los medios de medida son por ejemplo voltímetros.

El dispositivo 1 comprende del mismo modo medios 32a, 32b, 32c de medida de corriente de alimentación (la corriente de las tres fases 21a, 21b, 21c de la fuente 10). Los medios de medida son por ejemplo amperímetros.

5 El dispositivo 1 comprende medios 33a, 33b, 33c de detección del instante de paso por cero de la corriente. Los medios 33a, 33b, 33c de detección pueden ser medios de medida de la derivada de la corriente, por ejemplo, captadores Rogowski.

La unidad 35 de tratamiento y de control está configurada para alimentar individualmente cada uno de los gatillos 301a, 301b de los tiristores, y por tanto controlar el cierre de estos últimos cuando son alimentados con la alternancia en tensión adecuada de la fase correspondiente.

10 Cada interruptor 30a, 30b, 30c controlado forma por tanto un medio de retardo de alimentación del motor 10 para retardar la alimentación de corriente del motor 10.

Los medios 31a, 31b, 31c de medida de la tensión de alimentación están dispuestos de manera que permiten en cada una de las fases 21a, 21b, 21c de la fuente 20 de tensión, una medida de tensión aguas arriba del interruptor 30a, 30b, 30c correspondiente.

15 Los medios 32a, 32b, 32c de medida de la corriente de alimentación están dispuestos de manera que permiten en cada una de las fases 21a, 21b, 21c de la fuente 20 de tensión, una medida de la corriente aguas arriba del interruptor 30a, 30b, 30c correspondiente.

Los medios 33a, 33b, 33c de detección están dispuestos de manera que permiten, en cada una de las fases 21a, 21b, 21c de la fuente 20 de tensión, la detección del instante de paso por cero de la corriente o de su derivada que atraviesa el motor 10.

20 La unidad 35 de tratamiento y de control está configurada para, a partir de los valores medidos por los medios 32a, 32b, 32c de medida de corriente y por los medios 31a, 31b, 31c de medida de tensión, determinar una resistencia del conjunto que comprende el(los) interruptor(es) controlado(s), el motor y los cables (que conectan el "soft-starter" al motor), denominada resistencia de interruptores/motor/cables. La determinación de la resistencia de interruptores/motor es de forma preferente hecha según un cálculo de la componente directa que es un valor de las componentes simétricas. Dicho valor presenta la ventaja de proporcionar un dato que refleja el estado del motor según las tres fases. Dicho cálculo puede obtenerse a partir de las etapas siguientes de:

- determinación, a partir de los medios 32a, 32b, 32c de medida de la corriente y de los medios 31a, 31b, 31c de medida de la tensión, de valores fundamentales, en la frecuencia de red, de corriente aguas arriba o aguas abajo y de la tensión aguas arriba de los interruptores 30a, 30b, 30c controlados,
- 30 – cálculo a partir de estos valores fundamentales de componente directa de la corriente y de la tensión,
- división de la componente directa de la tensión por la componente directa de la corriente de manera que se obtiene la resistencia directa.

Este cálculo puede ejecutarse una vez por ciclo de la tensión de alimentación.

35 Sin embargo, la resistencia de los interruptores 30a, 30b, 30c no varía en función de la velocidad de rotación del motor 10, y la resistencia de los tiristores que es débil en el estado pasante, incluso despreciable, cualquier variación de la resistencia de interruptores/motor corresponde por tanto principalmente a una variación de resistencia del motor. La figura 3 ilustra por tanto un esquema de equivalencia activado en el estator del motor 10 de tipo asíncrono para el cual la invención es particularmente ventajosa. Se puede ver que las componentes resistivas de dicho motor 10 presentan dos contribuciones, una resistencia R_s estática (resistencia de estator) y una

40 $\frac{R_r}{s}$ resistencia s variable (resistencia de rotor) que es inversamente proporcional al deslizamiento s del motor.

Durante una fase de parada del motor 10, el deslizamiento "s" del motor pasa de un valor típicamente inferior a un 1%, correspondiente al motor que gira a una velocidad nominal, a un valor de 1, para el motor 10 en la parada.

45 Resulta por tanto que durante el frenado del motor 10, el valor de la resistencia $\frac{R_r}{s}$ de rotor es dividido por casi 100, y que es posible determinar a partir de la variación de la resistencia del motor 10 si la velocidad de rotación varía, y de forma más particular si disminuye.

La unidad 35 de tratamiento y de control está por tanto configurada para implementar dicha medida de la variación de la resistencia de motor, para determinar el instante o retardo t_{ret} a partir del cual el interruptor 30a, 30b, 30c controlado recibe la instrucción de hacerse pasante.

La figura 4 ilustra el principio de control de cierre del interruptor 30a, 30b, 30c controlado por la unidad 35 de tratamiento y de control. La unidad 35 de tratamiento y de control 35 puede, en un primer momento, detectar el paso por cero en el frente ascendente de la tensión de alimentación.

5 Por paso por cero en el frente montante, se entiende un paso por cero hacia valores positivos de la tensión de la al menos una fase de la fuente de alimentación. La unidad 35 de tratamiento y control de teta del mismo modo pasos por cero en el frente ascendente de al menos una fase de la fuente de alimentación. Por paso por cero en el frente descendente, se entiende un paso por cero hacia valores negativos de la tensión de al menos una fase de la fuente de alimentación. Además, la expresión "paso por cero" significa también tanto "paso por cero en el frente ascendente" como "paso por cero en el frente descendente". Finalmente, la expresión "paso por cero" e relativa a un período T dado de la tensión alterna de la fase considerada de la fuente de alimentación. Los pasos por cero de la tensión de la al menos una fase son detectados por técnicas conocidas por el experto en la técnica o más y no serán descritas con más detalle en la siguiente descripción.

10 La detección de paso por cero puede implementar los medios 31a, 31b, 31c de medida de la tensión. El instante de paso por cero de la tensión de alimentación es marcado t_0 . La unidad 35 de tratamiento y de control puede del mismo modo detectar el instante t_ϕ a partir del cual la corriente pasa por cero en el interruptor 30a, 30b, 30c controlado (quedando entendido que la corriente solo pasa a través de un tiristor a la vez). El instante t_ϕ por supuesto se entiende comprendido dentro del período considerado. El instante t_ϕ es medido con respecto al tiempo t_0 de paso por cero de la tensión (de la fase considerada). Contrariamente al instante t_0 que se repite periódicamente, el instante t_ϕ puede variar de un periodo a otro.

20 Siempre que la corriente que atraviesa un tiristor se anule, dicho tiristor se vuelve bloqueante. El tiristor sólo puede volver a ser pasante (cerrado) si recibe una instrucción de activación, en un retardo t_{ret} (instrucción de cierre) al nivel de su gatillo durante una alternancia positiva de la tensión en sus bornes. La instrucción de activación puede enviarse por la unidad 35 de tratamiento y de control.

25 El retardo t_{ret} puede definirse con respecto al instante t_0 de paso por cero de la tensión. El retraso temporal entre el paso por cero de la tensión y el instante de activación, $\Delta t_{am\alpha} = t_{ret} - t_0$ define un ángulo, dicho ángulo α (en grados "°"), y que verifica la relación $\alpha = (\Delta t_{am\alpha} * 360) / T$. Siempre que se defina con respecto al instante de paso por cero t_0 de la tensión, se habla de control de retardo t_{red} para un comando alfa.

30 De manera equivalente, el retardo t_{ret} puede ser definido con respecto al instante t_ϕ de paso por cero de la corriente. El retraso temporal entre el paso por cero de la corriente y el instante de activación, $\Delta t_{am\gamma} = t_{ret} - t_\phi$, define un ángulo, denominado ángulo γ (en grados "°") y que verificará la relación $\gamma = (\Delta t_{am\gamma} * 360) / T$. Siempre que se defina con respecto al instante t_ϕ de paso por cero de la corriente, se habla de control de retardo t_{red} para un comando gamma.

35 Siempre de manera equivalente, el retardo t_{ret} puede ser definido con respecto al instante del primer paso por cero t_δ de la derivada de la corriente. El retraso temporal entre el primer paso por cero de la derivada de la corriente y el instante de activación, $\Delta t_{am\delta\gamma} = t_{ret} - t_\delta$ define un ángulo, denominado ángulo δ_γ (en grados "°"), y que verifica la relación $\delta_\gamma = (\Delta t_{am\delta\gamma} * 360) / T$. Siempre que se defina con respecto al instante del primer paso por cero t_δ de la derivada de corriente, se habla de control de retardo t_{ret} para un comando delta-gamma.

40 A lo largo de todo el enunciado de la presente invención, se confunden las expresiones "comando gamma" y "comando delta-gamma" que toman la denominación comando gamma. Por tanto, se entiende que siempre que un comando gamma sea ejecutado, se define o bien con respecto al paso por cero de la corriente o bien con respecto al primer paso por cero de la derivada de la corriente.

Además, por la detección del cero de la corriente y del primer paso por cero de la corriente, se entiende la corriente de línea, dicho de otra manera, la corriente que alimenta el motor 10.

La unidad 35 de tratamiento y de control, puede controlar, en cada periodo de la tensión alterna V_{CA} , para cada tiristor, el retardo t_{ret} de dichos tiristores de manera que ajusta la alimentación de la corriente del motor 10.

45 Por tanto, para todos los n periodos precedentes de la tensión alterna V_{CA} (siendo n un entero positivo), la activación del tiristor se puede ajustar de manera que se reduce progresivamente la alimentación de corriente del motor 10.

El ajuste progresivo de la activación del tiristor puede comprender un aumento del retardo t_{ret} todos los n periodos de la tensión alterna V_{CA} .

50 El procedimiento comprende una secuencia de frenado cuyo encadenamiento de etapas se recoge en el diagrama de flujo de la figura 5.

El procedimiento puede comenzar por una etapa de inicialización del retardo t_{ret} a un valor $t_{retinit}$, adaptado para conferir al interruptor controlado un funcionamiento de onda completa.

De manera ventajosa $t_{retinit}$ está ajustado de forma ventajosa de manera que desencadena el cierre del interruptor 30a, 30b, 30c controlado desde el instante de paso por cero de la corriente. Dicho de otra manera, un comando de cierre en el instante t_{ϕ} es enviado al interruptor 30a, 30b, 30c controlado por la unidad 35 de tratamiento y de control.

5 La secuencia de frenado en la cual, para todos los n periodos de la tensión alterna V_{CA} , siendo “ n ” un número entero no nulo, se ejecutan las etapas siguientes:

a) determinación del valor de una variación ΔR_r de resistencia eléctrica del motor 10 durante los n periodos anteriores de la tensión alterna V_{CA} ,

10 b) comparación del valor de la variación ΔR_r de resistencia eléctrica del motor 10, determinada en la etapa a) con un valor umbral de resistencia R_t ,

c) aumento del retardo t_{ret} si el valor de la variación ΔR_r de la resistencia del motor 10 es inferior al valor umbral de resistencia, el aumento del retardo t_{ret} que es ejecutado según un comando gamma tan pronto como el ángulo α está comprendido en un intervalo de valores dado, y según un comando alfa en los otros casos.

De forma más particular, el intervalo de valores dados se extiende a lo largo de 30° entre 45° y 80° .

15 Siempre de forma más particular, el intervalo de valores dados se extiende entre 50° y 80° .

De forma alternativa, el intervalo de valores dados puede extenderse entre 45° y 75° .

Por tanto, el aumento secuencial del retardo t_{ret} permite reducir progresivamente la corriente que alimenta el motor. La reducción de la corriente que alimenta el motor 10 permite inducir un cambio del estado de dicho motor 10.

20 Por cambio de estado, se entiende una variación de la resistencia eléctrica del motor 10. Se entiende que el aumento del retardo t_{ret} (cuya reducción de corriente alimenta el motor) genera una disminución de la resistencia eléctrica del motor 10.

25 Además, el aumento del retardo t_{ret} según el comando alfa es preferido para ángulos α fuera de la gama de ángulos 50° - 80° . En efecto, el comando alfa que es referido con respecto al paso por cero de la tensión es muy preciso (los pasos por cero de la tensión que son periódicos) con respecto al comando gamma para el cual el tiempo t_{ϕ} para el cual el tiempo puede variar de un periodo a otro. Sin embargo, el solicitante ha remarcado la presencia de oscilaciones de la corriente que alimenta el motor 10. De forma más particular, el solicitante ha remarcado que la amplitud de dichas oscilaciones es más importante siempre que el ángulo α esté comprendido entre 50° y 80° . Por tanto, un intervalo de valores dados que se extiende entre 50° y 80° puede ser preferido.

30 Las oscilaciones de corriente que alimentan el motor 10 son del mismo modo observadas cuando se ejecuta el aumento del retardo t_{ret} según el comando gamma. Sin embargo, dichas oscilaciones tienen una amplitud inferior a la observada en el comando alfa.

Por consiguiente, el criterio de selección de uno u otro de los comandos alfa y gamma se basa en un compromiso entre la precisión del comando de aumento del retardo t_{ret} y una limitación de las oscilaciones de la corriente que alimenta el motor 10.

35 De manera ventajosa, la etapa a) es una etapa de determinación de una variación temporal relativa de la resistencia

del motor $\frac{\Delta R}{R}(t)$, dicha variación temporal relativa que es de forma preferible calculada a partir de la ecuación siguiente:

$$\frac{\Delta R}{R}(t) = \frac{R(t - nT) - R(t)}{nT}$$

40 con $R(t)$ siendo un valor relativo a la resistencia del motor determinado en un instante t y T la duración de un periodo de la tensión alterna V_{AC} .

Según un modo de realización ventajoso, el valor umbral de la resistencia R_t puede estar comprendido entre 0,05 y 0,5, de forma preferente comprendido entre 0,1 y 0,3, incluso de forma más preferible comprendido entre 0,15 y 0,25. Por ejemplo, el valor umbral de la resistencia R_t igual a 0,2, parece convenir a la mayor parte de las aplicaciones.

45 Además, el aumento del retardo t_{ret} en la etapa se ejecuta según un incremento Δt , de manera que el ángulo definido por la relación $2\pi\Delta t/T$ sea inferior a inferior a 5° , de forma preferible inferior a 3° , incluso de forma más preferible comprendida entre $0,5$ y 2° .

Según la invención, es posible imponer un retraso de espera t_{buf} antes de repetir la secuencia de frenado siempre que el retardo t_{ret} ha sido incrementado según el incremento Δt . El tiempo de espera t_{buf} puede de forma preferible ser un múltiplo entero positivo p del periodo T de la tensión alterna V_{CA} , incluso de forma más preferible p es igual a 2 (por ejemplo, para una tensión de alimentación a 50 Hz, el tiempo de espera puede ser igual a 40 ms).

5 Finalmente, el procedimiento de frenado según la invención puede comprender una etapa de comando PARADA del procedimiento de control de frenado. En efecto, siempre que la corriente que alimenta el motor sea inferior a un valor predeterminado de la corriente y/o que el ángulo α de activación sea superior a 120° , el motor no tiene una inercia suficiente para continuar girando por sí mismo (dicho de otra manera, la corriente alimentada es débil). Por consiguiente, la alimentación de corriente del motor puede ser cortada, y el procedimiento de frenado detenido. El
10 valor predeterminado de corriente puede por ejemplo ser un valor inferior a un 5% de la corriente nominal del motor.

El control de frenado del motor asíncrono ha sido comprobado en simulación con varios programas (Matlab/Simulink y EMTP-ATP) incluyendo todas las componentes del sistema (red de alimentación, cables, motor y su carga).

15 La invención ha sido igualmente simulada por un primer banco de ensayo compuesto de un motor de 2500 kW, con dos polos y funcionando a 60 Hz, y accionando un compresor centrífugo. Las figuras 6a a 6c son relativas a un control de frenado del motor según un comando alfa controlado por la carga de estado del motor (dicho de otra manera, el retardo t_{ret} no se incrementa solo si el valor de la variación ΔR_r de la resistencia del motor 10 es inferior al valor umbral).

La figura 7a a 7c son relativas a un control de frenado del motor por el procedimiento de frenado según la invención.

20 En las figuras 6a-6c son presentadas la velocidad de rotación omega (en el eje vertical) del motor en función del tiempo (en el eje horizontal) (figura 6.a) en la evolución de la corriente RMS que alimenta al motor (figura 6.b) y en la evolución del ángulo α (figura 6.c). De manera general, la velocidad del motor disminuye siempre que el ángulo α aumente. En la zona A (ilustrada en la figura 6b), se observa claramente un aumento de la amplitud de las oscilaciones de la corriente RMS. Este efecto, no es previsible, y su aparición puede depender del modo de
25 funcionamiento de la carga alimentada por el motor (recordemos que la carga es en este caso un compresor centrífugo).

Siempre que el control de frenado según la invención se aplique al mismo motor se obtienen las gráficas de la figura 7a a 7c. La figura 7.a ilustra la velocidad de rotación Omega (en el eje vertical) del motor en función del tiempo (en el eje horizontal), en la figura 7b, la evolución de la corriente RMS que alimenta el motor, y en la figura 7.c, la
30 evolución del ángulo α . Las zonas B y D son relativas a un control según un comando alfa, y la zona C es relativa a un control según un comando gamma. Un ligero aumento de la amplitud de las oscilaciones de la corriente se observa claramente en la zona B (controlada por el comando alfa), y dicho aumento se estabiliza (zona C) siempre que se ejecute el control según un comando gamma. El paso de un control según un comando alfa a un control según un comando gamma permite limitar el aumento de las oscilaciones de la corriente durante la fase de frenado
35 del motor. Sin este cambio de control, la amplitud de las oscilaciones de la corriente habrá aumentado de manera más importante (tal como se ilustra en la figura 6.b).

La invención es del mismo modo simulada en un segundo banco de ensayo compuesto de un motor de 1800 kW, de seis polos, que funciona a 50 Hz, y que acciona un transportador. Las figuras 8a a 8c son relativas a un control
40 de frenado del motor según un comando alfa controlado por el cambio de estado del motor (dicho de otra manera, el retardo t_{ret} no es incrementado solo si el valor de la variación ΔR_r de la resistencia del motor 10 es inferior al valor umbral).

Las figuras 9a a 9c son relativas a un control de frenado del motor para el procedimiento de frenado según la invención.

45 En las figuras 8a-8c se presenta la velocidad de rotación Omega (en el eje vertical) del motor en función del tiempo (en el eje horizontal) (figura 8.a), la evolución de la corriente RMS que alimenta el motor (figura 8.b) y la evolución del ángulo α (figura 8.c). De manera general, la velocidad del motor disminuye siempre que el ángulo α aumente. En la zona A (ilustrada en la figura 8b), se observa claramente un aumento de la amplitud de las oscilaciones de la corriente RMS. Este efecto no es previsible, y su aparición puede depender del modo de funcionamiento de la carga alimentada por el motor (recordemos que la carga es en este caso un transportador).

50 Siempre que el control de frenado según la invención se aplique al mismo motor, se obtiene las gráficas de las figuras 9a a 9c. La figura 9.a ilustra una velocidad de rotación omega (en el eje vertical) del motor en función del tiempo (en el eje horizontal), en la figura 9.b la evolución de la corriente RMS que alimenta al motor, y en la figura 9.c la evolución del ángulo α . Las zonas B y D son relativas a un control según un comando alfa, y la zona C es relativa a un control según un comando gamma. Un ligero aumento de la amplitud de las oscilaciones de la
55 corriente se observa claramente en la zona B (control por comando alfa), y dicho aumento se estabiliza (zona C) siempre que se ejecute el control según un comando gamma. El paso de un control según un comando alfa a un control según un comando gamma permite limitar el aumento de las oscilaciones de la corriente durante la fase de

frenado del motor. Sin este cambio de control, la amplitud de las oscilaciones de la corriente habrá aumentado de manera más importante (tal y como se ilustra en la figura 8.b).

5 Estos dos ejemplos de implementación del procedimiento según la invención (ilustrados en las figuras 7.a-7.c, y 9.a-9.c) comparadas con un procedimiento de control de frenado en comando alfa exclusivo permiten mostrar que es posible limitar con seguridad la amplitud de la corriente RMS que atraviesa al motor.

10 La invención se refiere del mismo modo a un producto de programa informático que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución, cuando dicho programa es ejecutado en un calculador, etapas de determinación de una variación de la resistencia del motor, de comparación de dicha variación con un valor umbral de resistencia R_t , de selección de un control de aumento del retardo t_{ret} elegido entre uno u otro de los comandos alfa y Gamma según un criterio de selección, y de aumento del retardo t_{ret} si el valor de la variación de la resistencia del motor es inferior al valor umbral.

Por calculador, se entiende cualquier dispositivo electrónico capaz de ejecutar las diferentes instrucciones de código de programa, de forma más particular, el dispositivo electrónico puede comprender un procesador una tarjeta electrónica de control, un ordenador.

15 Según un modo de realización, el criterio de selección comprende la elección de un comando gamma siempre que el ángulo α esté comprendido entre 50° y 80° .

Referencias

[1] WO 01/89073 A2

[2] FR 3 020 525

20

REIVINDICACIONES

1. procedimiento de control de frenado de un motor (10) eléctrico conectado a una fuente (20) de tensión alterna V_{CA} de periodo T, el procedimiento consiste, en cada periodo de la tensión alterna V_{CA} , en alimentar el motor (10) de corriente, a través de la activación de un interruptor (30a, 30b, 30c) controlado, con un retardo t_{ret} , a un ángulo α de activación, dicho ángulo α que es medido con respecto al paso por cero de la tensión alterna V_{CA} , el procedimiento que comprende una secuencia de frenado en la cual, para todos los n periodos de la tensión alterna V_{CA} , se ejecutan las etapas siguientes:

5 a) determinación del valor de una variación ΔR_r de resistencia eléctrica del motor (10) durante los n periodos anteriores de la tensión alterna V_{CA} ,

10 b) comparación del valor de la variación ΔR_r de resistencia eléctrica del motor (10), determinada en la etapa a) con un valor umbral de resistencia R_t ,

15 c) aumento del retardo t_{ret} si el valor de la variación ΔR_r de la resistencia del motor (10) es inferior al valor umbral, el aumento del retardo t_{ret} que es ejecutado según un comando gamma tan pronto como el ángulo α está comprendido en un intervalo de valores dado, y según un comando alfa en los otros casos, el aumento del retardo t_{ret} según el comando gamma que se corresponde a un ángulo γ de activación medido con respecto al paso por cero del periodo considerado de corriente entregada por la fuente.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual el intervalo de valores dados se extiende a lo largo de 30° entre 45° y 80°.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el cual el intervalo de valores dados extiende entre 50° y 80°.

20 4. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el cual el intervalo de valores dados se extiende entre 45° y 75°.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el cual el procedimiento comienza por una etapa de inicialización del retardo t_{ret} a un valor $t_{retinit}$, adaptado para conferir al interruptor controlado un funcionamiento de onda completa, $t_{retinit}$ que es ajustado de forma ventajosa de manera que desencadena el cierre del interruptor (30a, 30b, 30c) controlado desde el instante de paso por cero de una corriente que atraviesa el interruptor (30a, 30b, 30c) controlado.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el cual, en la etapa c), el aumento del retardo t_{ret} es ejecutado según un incremento Δt , de manera que el ángulo definido por la relación $2\pi\Delta t/T$ sea inferior a 5°, de forma preferente inferior a 3°, incluso de forma más preferente comprendido entre 0,5 y 2°.

30 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual, siempre que el retardo t_{ret} se aumenta en la etapa c), un tiempo t_{buf} de espera se impone antes de repetir la secuencia de frenado, preferiblemente, el tiempo t_{buf} de espera es un múltiplo entero p del periodo T de la tensión V_{CA} , incluso de forma más preferente p es igual a 2.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el cual la etapa a) es una etapa de determinación de la

variación temporal $\frac{\Delta R}{R}(t)$, dicha variación temporal relativa que se calcula de forma preferente a partir de la ecuación siguiente:

$$\frac{\Delta R}{R}(t) = \frac{R(t - nT) - R(t)}{nT}$$

35 con R(t) siendo un valor relativo a la resistencia del motor determinado en un instante t.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el cual siempre que el ángulo α de activación es superior a 120°, y/o la corriente que circula en el motor (10) es inferior a un valor de corriente predeterminado, se pone fin al procedimiento de control de frenado del motor (10), de forma ventajosa, se abre el interruptor (30a, 30b, 30c) controlado.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el cual el valor umbral de resistencia R_t está comprendido entre 0,05 y 0,5, de forma preferente comprendido entre 0,1 y 0,3, incluso de forma más preferente comprendido entre 0,15 y 0,25.

45 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el cual el interruptor (30a, 30b, 30c) controlado comprende dos tiristores montados capiculados en paralelo.

12. Producto de programa informático que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución, cuando dicho programa es ejecutado en un calculador, de las etapas de determinación de una variación de una

resistencia del motor (10), de comparación de dicha variación con un valor umbral de la resistencia R_t , de selección de un comando de aumento del retardo t_{ret} elegido entre uno u otro de los comandos alfa y gamma según un criterio de selección, y de aumento del retardo t_{ret} si el valor de la variación de la resistencia del motor (10) es inferior al valor umbral según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

- 5 13. Producto de programa informático según la reivindicación 12, en el cual el criterio de selección comprende una elección de un comando gamma siempre que el ángulo α esté comprendido entre 50° y 80° .

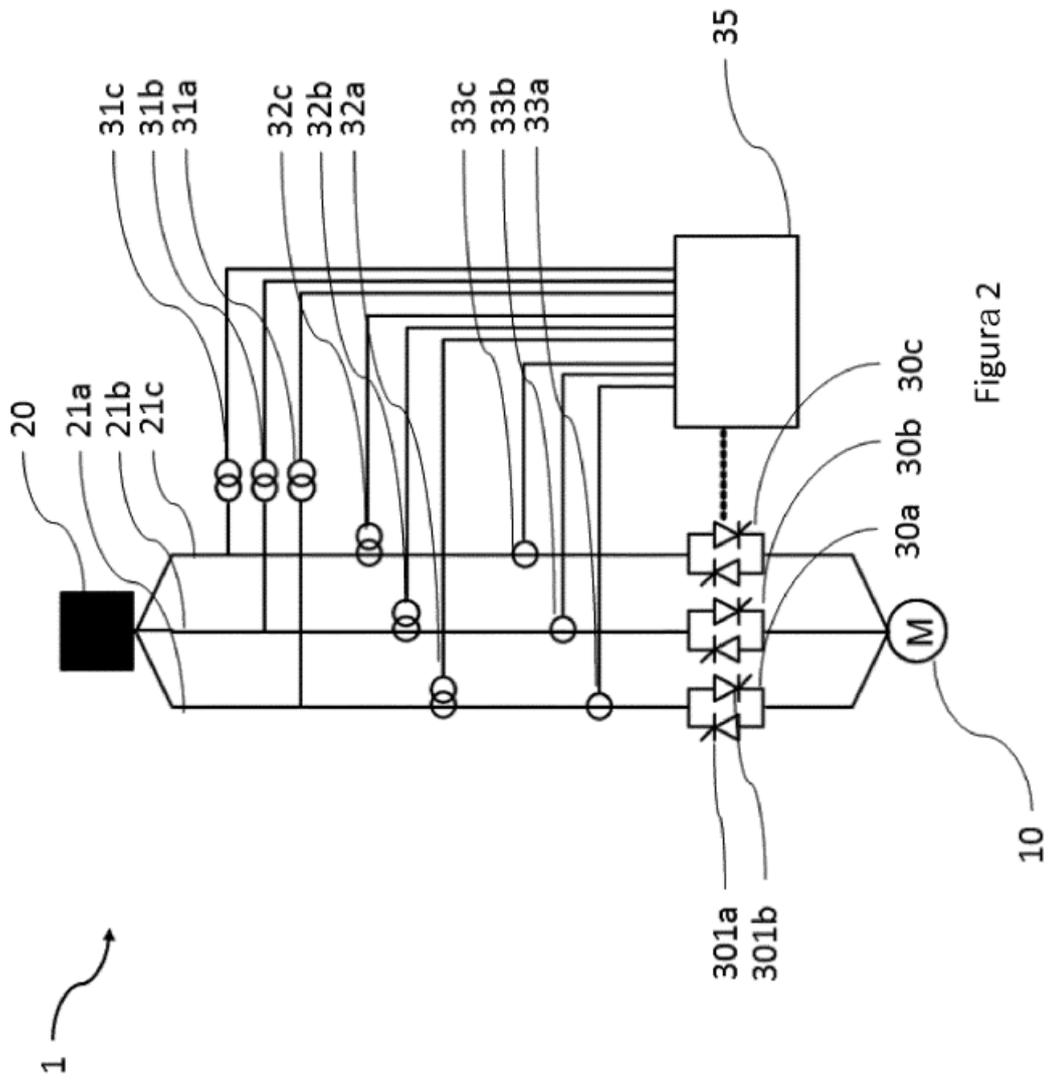


Figura 2

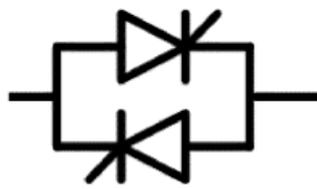


Figura 1

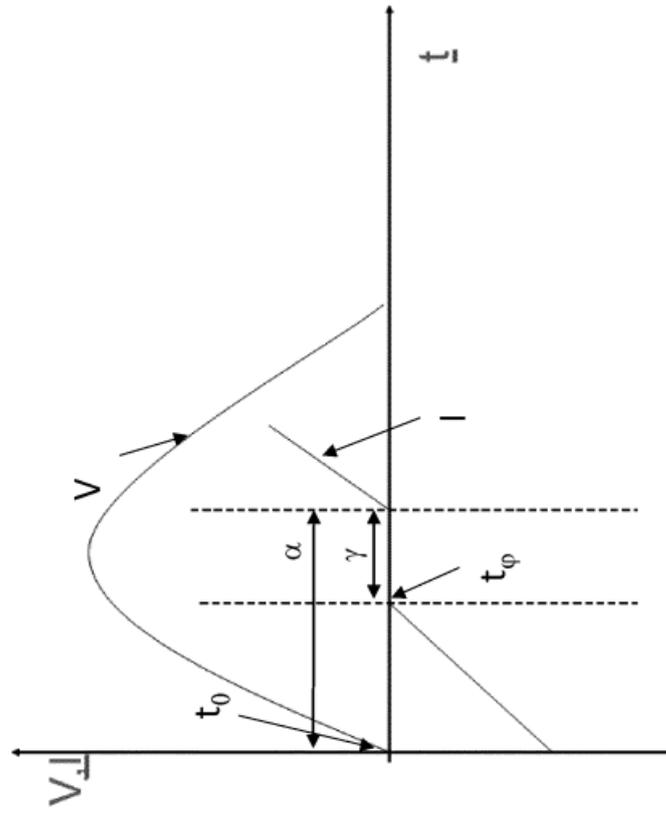


Figura 4

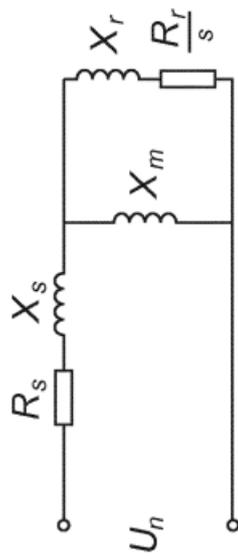


Figura 3

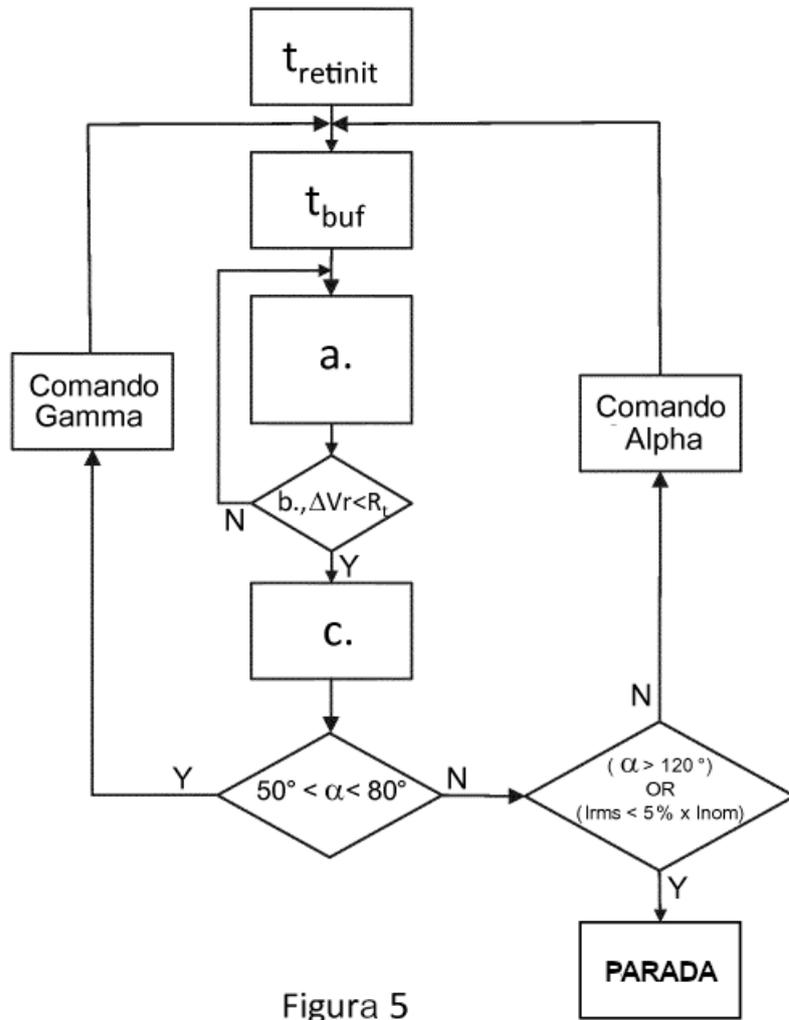


Figura 5

