

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 495**

51 Int. Cl.:

H01H 47/00 (2006.01)

H01H 47/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.07.2021** **E 21186328 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2024** **EP 3944278**

54 Título: **Procedimiento de diagnóstico de un estado de funcionamiento de un aparato de conmutación eléctrica, y aparato de conmutación eléctrica para implementar dicho procedimiento**

30 Prioridad:

20.07.2020 FR 2007606

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

11.11.2024

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS
(100.0%)
35 rue Joseph Monier
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**DELBAERE, STÉPHANE;
ORBAN, RÉMY y
FOLLIC, STÉPHANE**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 986 495 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 diagnóstico de un estado de funcionamiento de un aparato de conmutación eléctrica, y aparato de conmutación eléctrica para implementar dicho procedimiento

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de diagnóstico de un estado operativo de un aparato de conmutación eléctrica y a un aparato de conmutación eléctrica para implementar dicho procedimiento.

La invención se refiere más particularmente a los contactores eléctricos.

10 Tales aparatos de conmutación eléctrica comprenden un actuador electromagnético que comprende una bobina y están configurados para conmutar entre un estado abierto y un estado cerrado, por ejemplo para controlar el suministro de energía a una carga eléctrica. Generalmente, los contactos eléctricos comprenden contactos fijos y contactos móviles, estos últimos vinculados a una parte móvil del actuador que se mueve bajo el efecto de un campo magnético creado por la bobina cuando ésta es atravesada por una corriente eléctrica adecuada. Para garantizar una presión de contacto suficiente entre los contactos eléctricos, la parte móvil del actuador se desplaza en exceso entre el momento en que los contactos móviles hacen contacto con los contactos fijos y el momento en que el actuador se encuentra en una posición cerrada estable. Esta sobrecarrera corresponde al aplastamiento por contacto.

15 Con cada ciclo de conmutación, el contactor se desgasta por diversos factores, por ejemplo los contactos eléctricos se desgastan por la formación de arcos cuando se abren los contactos eléctricos, el desgaste del contactor se manifiesta por una pérdida de aplastamiento de los contactos.

20 Es deseable poder estimar automáticamente el nivel de desgaste de un contactor cuando está en funcionamiento, con el fin de planificar un mantenimiento adecuado durante la vida útil de dicho contactor y/o detectar la aparición de averías.

Es conocido integrar un sensor de posición en el actuador electromagnético, para medir directamente el desplazamiento de las partes móviles del actuador y deducir el aplastamiento por contacto. Sin embargo, un sensor adicional supone un coste adicional, y no siempre es posible integrar un nuevo sensor en un contactor ya existente.

25 El documento EP-2584575-A1 describe un procedimiento de diagnóstico de desgaste basado en mediciones del tiempo entre corrientes o picos de corriente que circulan en la bobina del actuador durante la fase de apertura. Un procedimiento de diagnóstico de este tipo sólo puede determinar el momento en que comienza el movimiento del núcleo y el momento en que termina. Sin embargo, una desventaja de este procedimiento es que no permite determinar la posición exacta del núcleo durante la fase de apertura. Esto hace más difícil obtener información fiable sobre el estado de los contactos y, por tanto, sobre el estado de desgaste del contactor.

30 El documento WO-2015/189027-A1 describe, por ejemplo, un procedimiento para evaluar los estados del actuador basado en las variaciones del flujo magnético, pero este procedimiento no permite determinar la posición precisa del núcleo durante la fase de cierre.

Es a estos problemas en particular a los que la invención pretende poner remedio, proponiendo un procedimiento de diagnóstico más preciso.

35 Con este fin, la invención se refiere a un procedimiento de diagnóstico de un estado de funcionamiento de un aparato de conmutación eléctrica. El aparato de conmutación eléctrica está configurado para acoplarse a un conductor eléctrico y comprende:

- 40 • contactos separables asociados al conductor eléctrico y controlados por un actuador electromagnético que comprende una bobina conectada a un dispositivo de control electrónico, que está configurado para aplicar una tensión de control a través de la bobina,
- sensores configurados para medir la tensión de la bobina y la intensidad de la corriente que circula por ella,

en el que el procedimiento comprende las etapas de:

- recibir una orden de apertura del aparato de conmutación, estando el aparato de conmutación inicialmente en estado cerrado, siendo recibida la orden de apertura por el dispositivo de control electrónico;
- 45 • tras recibir la orden de apertura, ordenar al actuador electromagnético que se abra mediante el dispositivo de control electrónico;
- mientras el aparato de conmutación pasa al estado abierto, mida y registre los valores de tensión y corriente de la bobina;
- 50 • calcular y registrar los valores de un flujo magnético que atraviesa la bobina, integrando los valores registrados de la corriente de la bobina, la tensión de la bobina y los valores de resistencia e inductancia de la bobina, previamente registrados en el dispositivo electrónico de control.

Según la invención, el procedimiento comprende además la etapa de:

- a partir de los valores registrados del flujo magnético y de la corriente de la bobina, evaluar y registrar las posiciones de un núcleo del actuador electromagnético en función de una tabla de datos característica del actuador electromagnético, estando la tabla de datos previamente almacenada en el dispositivo electrónico de control y definiendo una relación biyectiva entre la posición del núcleo, el flujo magnético y la corriente de la bobina.

Gracias a la invención, el flujo magnético se calcula durante toda la fase de apertura a partir de las medidas de tensión y corriente de la bobina. El valor de la posición del núcleo móvil se deduce de la tabla de datos, que relaciona biyectivamente la posición del núcleo, el flujo magnético y la corriente de la bobina. De este modo, el cambio de posición del núcleo móvil durante la fase de apertura se obtiene de forma automática y precisa, sin necesidad de instalar un nuevo sensor específico, como un sensor de posición.

Según aspectos ventajosos pero no obligatorios de la invención, dicho procedimiento de diagnóstico puede incorporar una o más de las siguientes características tomadas solas o en cualquier combinación técnicamente admisible:

- la etapa de cálculo del flujo magnético comprende una primera subetapa denominada de autocorrección, seguida de una subetapa de cálculo, consistiendo la subetapa de autocorrección en que, mientras la corriente de la bobina sea superior a un umbral bajo, a su vez estrictamente superior a una denominada "corriente de desenganche" por debajo de la cual el núcleo móvil es empujado de nuevo a la posición abierta por un miembro de retorno del actuador electromagnético, evaluar y registrar un valor inicial del flujo magnético, denominado "flujo inicial", de modo que cuando la corriente de la bobina disminuya por debajo de la corriente de desenganche, el cálculo por integración del flujo magnético durante la fase de cálculo tenga en cuenta el valor del flujo inicial;
- el dispositivo electrónico de control está configurado para, cuando el aparato de conmutación está en estado cerrado, variar la tensión de la bobina de modo que la corriente de la bobina varíe entre el umbral bajo y un umbral alto, estrictamente superior al umbral bajo, mientras que, tras haber recibido la orden de apertura, el dispositivo electrónico de control ordena la apertura del actuador electromagnético cuando la corriente de la bobina es superior o igual al 80% del umbral alto, preferiblemente superior al 95%, aún más preferiblemente superior al 98%;
- la tensión de la bobina varía periódicamente, por ejemplo, por corte, la corriente de la bobina también varía periódicamente entre los umbrales bajo y alto, mientras que después de recibir la orden de apertura, el dispositivo de control electrónico ordena al actuador electromagnético que se abra a más tardar al final de una duración predefinida después de recibir la orden de apertura, siendo la duración predefinida igual a un período de la tensión de la bobina;
- el dispositivo de control electrónico está configurado para calcular un tiempo de "caída", igual al tiempo transcurrido entre el momento en que el dispositivo de control electrónico ordena al actuador electromagnético que se abra y el momento en que el actuador electromagnético se encuentra en la posición abierta;
- el procedimiento comprende una etapa de cálculo, por derivación temporal a partir de los valores de posición del aparato de conmutación almacenados en el dispositivo electrónico de control, de un perfil de velocidad de desplazamiento del aparato de conmutación y de un perfil de aceleración del aparato de conmutación, y de almacenamiento de los perfiles de velocidad y de aceleración del aparato de conmutación en el dispositivo electrónico de control;
- el procedimiento comprende una etapa consistente en calcular un valor de velocidad denominado "de separación", igual a una velocidad de desplazamiento del núcleo cuando éste se encuentra en una posición denominada "de aplastamiento máximo" correspondiente a un desplazamiento del núcleo desde su posición cerrada hasta su posición abierta, sustancialmente igual a 2 mm, y
- el procedimiento comprende la etapa de detectar, durante la fase de apertura del aparato de conmutación, un mínimo local de la velocidad del núcleo entre el inicio del movimiento del núcleo y el momento en que el núcleo se apoya en la posición de apertura.

La invención también se refiere a un aparato de conmutación eléctrica para llevar a cabo un procedimiento de diagnóstico como el descrito anteriormente, comprendiendo el aparato de conmutación:

- contactos separables, desplazados entre una posición abierta y una posición cerrada por un actuador electromagnético que comprende una bobina y un núcleo móvil unido a los contactos separables; el aparato de conmutación tiene una estructura que limita la generación de corrientes de inducción;
- un circuito de control que regula la tensión eléctrica en los bornes de la bobina, denominada "tensión de la bobina"; el circuito de control comprende un dispositivo llamado "de caída" que puede activarse selectivamente para hacer que disminuya la corriente eléctrica que circula por la bobina, denominada "corriente de la bobina"; la tensión de la bobina y el dispositivo de caída se activan o desactivan en función de los estados del circuito de control;
- sensores para medir la corriente de bobina y la tensión de la bobina;
- un dispositivo electrónico de control, configurado para recibir órdenes de abrir y cerrar el aparato de conmutación, para recibir los valores de las mediciones de corriente y tensión de la bobina y para controlar los estados del circuito de control;

en el que el aparato de conmutación está configurado para realizar un procedimiento de diagnóstico que comprende las etapas de:

- a) recibir una orden de apertura del aparato de conmutación;
- b) controlar la apertura del actuador electromagnético;
- 5 c) medir y registrar los valores de tensión y corriente de la bobina;
- d) calcular y registrar los valores de un flujo magnético que atraviesa la bobina, integrando los valores registrados de la corriente de la bobina, la tensión de la bobina y los valores, previamente registrados en el dispositivo electrónico de control, de la resistencia y la inductancia de la bobina;
- 10 e) evaluar y registrar las posiciones del núcleo en función de una tabla de datos característica del actuador electromagnético, tabla de datos previamente almacenada en el dispositivo electrónico y que define una relación biyectiva entre la posición del núcleo, el flujo magnético y la corriente de la bobina.

Este aparato de conmutación tiene las mismas ventajas que las mencionadas anteriormente con respecto al procedimiento de diagnóstico de la invención.

15 La invención se comprenderá mejor, y otras ventajas de la misma resultarán más claras, a la luz de la siguiente descripción de una realización de un procedimiento de diagnóstico de un estado de funcionamiento de un contactor, y de un contactor configurado para la implementación de dicho procedimiento, dada únicamente a modo de ejemplo y realizada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- [Fig. 1] La figura 1 es una vista esquemática de un aparato de conmutación eléctrica que comprende un actuador electromagnético de acuerdo con realizaciones de la invención;
- 20 • [Fig. 2] La figura 2 muestra una vista esquemática de un ejemplo de circuito de control para el actuador electromagnético del aparato de conmutación de la fig. 1;
- [Fig. 3] La Fig. 3 es un gráfico que representa la evolución de una corriente eléctrica de control para el actuador electromagnético de la Fig. 2 durante varias fases de funcionamiento;
- [Fig. 4] La Fig. 4 es un gráfico que muestra, en dos condiciones diferentes, la variación de la corriente eléctrica de mando del actuador electromagnético de la Fig. 2 durante dos fases de funcionamiento;
- 25 • [Fig. 5] La Fig. 5 es un gráfico que representa la evolución de una corriente eléctrica de control y un flujo magnético del actuador electromagnético de la Fig. 2, medidos durante una fase de apertura del actuador;
- [Figura 6] La figura 6 es un gráfico que ilustra una de las etapas del procedimiento de diagnóstico;
- [Fig. 7] La Fig. 7 es un gráfico que ilustra un resultado de un procedimiento para diagnosticar propiedades del aparato de conmutación de la Fig. 1 de acuerdo con realizaciones de la invención;
- 30 • [Fig. 8] La Fig. 8 es un gráfico que muestra la evolución de la sensibilidad del flujo magnético del actuador electromagnético de la Fig. 2 en función de la corriente eléctrica de control del actuador electromagnético;
- [Fig. 9] La Fig. 9 es un diagrama que muestra etapas en un procedimiento para diagnosticar propiedades del aparato de conmutación de la Fig. 1 de acuerdo con realizaciones de la invención;
- 35 • [Fig. 10] La Fig. 10 es un gráfico que representa un ejemplo del resultado del procedimiento según la invención durante una fase de apertura del aparato de conmutación de la Fig. 1;
- [Fig. 11] La Fig. 11 es un gráfico que representa otro ejemplo del resultado del procedimiento según la invención durante una fase de apertura del aparato de conmutación de la Fig. 1, y
- 40 • [Fig. 12] La Fig. 12 es un gráfico que representa otro ejemplo del resultado del procedimiento según la invención durante una fase de apertura del aparato de conmutación de la Fig. 1.

En la figura 1 se muestra un contactor 1. El contactor 1 es un ejemplo de aparato de conmutación eléctrica diseñado para controlar el suministro de energía eléctrica desde una fuente de energía eléctrica a una carga eléctrica 23. La fuente de energía eléctrica no se dibuja para simplificar las cifras. La fuente de energía es, por ejemplo, una red de alimentación eléctrica, mientras que la carga eléctrica 23 es, por ejemplo, un motor eléctrico, que se desea controlar y/o proteger mediante el contactor 1. El contactor 1 se aloja generalmente en una caja, representada aquí por un rectángulo punteado. El contactor 1 está configurado para acoplarse, por una parte, a un conductor eléctrico 20 aguas arriba conectado a una fuente de energía eléctrica y, por otra, a un conducto 22 aguas abajo conectado a la carga eléctrica 23. Cuando el contactor 1 permite el paso de corriente eléctrica y la carga eléctrica 23 recibe energía, el contactor 1 está en estado "cerrado", mientras que cuando el contactor 1 impide el paso de energía eléctrica a la carga eléctrica, el contactor 1 está en estado "abierto".

El conductor eléctrico 20 y la línea descendente 22 tienen el mismo número de fases. Cuando la fuente de energía eléctrica es polifásica, los conductores eléctricos 20 y la línea descendente 22, que comprenden cada uno alambres conductores aislados entre sí, tienen tantos alambres conductores entre sí, estando cada alambre conductor de la línea descendente 22 asociado con un alambre respectivo del conductor eléctrico 20 ascendente. Independientemente del número de fases, el contactor 1 está configurado para interrumpir, o pasar, la corriente eléctrica conjuntamente en cada una de las fases.

En el ejemplo mostrado, el conductor eléctrico ascendente 20 es trifásico. En la figura 1 sólo se muestra uno de los hilos del conductor eléctrico 20, 201. Sólo se muestra el conductor de línea de potencia 22 asociado con el conductor 201, siendo este conductor de línea de potencia 22 el referenciado 221.

5 El resto de la descripción se refiere a los hilos conductores 201 y 221, que están asociados a la misma fase de la corriente de alimentación, entendiéndose que lo descrito puede transponerse a las otras fases de la corriente de alimentación.

10 Para cada fase, el contactor 1 comprende contactos móviles 24, dispuestos sobre una barra móvil 26, y contactos fijos 28, vinculados respectivamente al conductor de subida 20 y al conductor de bajada 22. Cada uno de los contactos móviles 24 y contactos fijos 28 comprende almohadillas de contacto 29, hechas aquí de metal, preferiblemente aleación de plata o cualquier material equivalente.

La barra móvil 26 es móvil entre una posición cerrada, en la que los contactos móviles 24 están conectados eléctricamente a los contactos fijos 28 y la energía eléctrica puede fluir a través de la barra móvil 26 desde el conductor eléctrico aguas arriba 20 hasta la línea aguas abajo 22, y una posición abierta en la que los contactos móviles 24 están alejados de los contactos fijos 28.

15 Cuando la barra móvil 26 está en posición cerrada, el contactor 1 está en estado cerrado, mientras que cuando la barra 26 está en posición abierta, el contactor 1 está en estado abierto. La transición del estado abierto al estado cerrado es una fase de cierre del contactor 1, mientras que la transición del estado cerrado al estado abierto es una fase de apertura del contactor 1.

20 En la práctica, durante cada ciclo que comprende una fase de cierre y otra de apertura, las pastillas de contacto 29 se desgastan, por ejemplo bajo la acción de los arcos eléctricos durante la apertura, o por desgarro del material causado por las microsoldaduras. Esta pérdida de material hace que el espesor de las pastillas de contacto 29 se reduzca a lo largo de la vida útil del contactor 1, lo que aumenta la amplitud de movimiento de la barra 26 durante las fases de apertura y cierre. Para remediarlo, el contactor 1 incluye un mecanismo 290, representado esquemáticamente por un muelle en la figura 1, que está unido a la barra 26 y que mantiene los contactos fijos 28 y los contactos móviles 24 en contacto eléctrico con una presión de contacto suficiente.

25 Cuando el grosor de las pastillas de contacto 29 es insuficiente o el estado de la superficie de las pastillas 29 es deficiente, el riesgo de mal funcionamiento del contactor 1 aumenta y es necesario sustituir el contactor 1; por estas razones, un diagnóstico del estado de aplastamiento de los contactos del contactor 1 permite evaluar hasta qué punto ha progresado el deterioro del contactor 1.

30 La barra móvil 26 está controlada por un actuador electromagnético 30, que comprende un electroimán de control con una bobina 32, un núcleo 34 conectado a la barra móvil 26 y un miembro de retorno 36, por ejemplo un muelle o equivalente. La bobina 32 está configurada para generar un campo magnético cuando se le suministra una corriente eléctrica de control, con el fin de poner en movimiento el núcleo 34 y, por lo tanto, la varilla móvil 26. Los movimientos del núcleo 34 entre las posiciones abierta y cerrada se representan mediante una flecha doble F34. En otras palabras, los contactos móviles 24 y los contactos fijos 28 asociados forman juntos contactos separables, que están asociados con el conductor eléctrico 20 y que se mueven entre una posición abierta y una posición cerrada mediante el actuador electromagnético 30, que comprende una bobina 32 y un núcleo móvil 34 unido a los contactos separables.

35 En la figura 1, el contactor 1 se muestra en una configuración intermedia entre los estados estables abierto y cerrado del contactor 1, en la que los contactos fijos 28 y los contactos móviles 24 están conectados eléctricamente, pero el núcleo 34 no se apoya en la posición cerrada. El mecanismo 290 permite una sobrecarrera del núcleo 34 entre el momento en que los contactos fijos 28 entran en contacto con los contactos móviles 24, y el momento en que el actuador 30 se encuentra en una posición cerrada estable. Esta sobrecarrera, que corresponde al aplastamiento de los contactos, está marcada con una E en la figura 1.

45 El actuador electromagnético 30 se controla a través de un circuito de alimentación 38, controlado a su vez por un dispositivo de control electrónico 40. La bobina 32 está así conectada al dispositivo de control electrónico 40.

Según las realizaciones, el dispositivo de control electrónico 40 comprende una unidad lógica de cálculo (CPU), como un microcontrolador programable o un microprocesador o equivalente, y una memoria de ordenador que forma un medio para grabar datos legibles por ordenador.

50 Según algunos ejemplos, la memoria es una memoria ROM, o una memoria RAM, o una memoria no volátil del tipo EPROM o Flash o equivalente. La memoria incluye instrucciones ejecutables y/o código informático para operar el dispositivo de control 40 de acuerdo con una o más de las realizaciones descritas a continuación cuando se ejecuta por la unidad lógica computacional.

55 Según variantes, el dispositivo electrónico de control 40 puede comprender un procesador de tratamiento de señales (DSP), o un componente lógico reprogramable (FPGA), o un circuito integrado especializado (ASIC), o cualquier elemento equivalente.

El dispositivo electrónico de control 40 está a su vez conectado a un carril de alimentación 42 y comprende una interfaz 44 configurada para recibir, de un usuario, órdenes para abrir o cerrar el aparato de conmutación 1. El dispositivo de control electrónico 40 se muestra aquí integrado en el contactor 1. Alternativamente, el dispositivo de control 40 es remoto, es decir, no está integrado en la misma carcasa que el actuador electromagnético 30.

5 La vía de alimentación 42 tiene una tensión preferiblemente estable y continua y está destinada a suministrar energía al dispositivo de control electrónico 40 y al circuito de alimentación 38. La interfaz 44 está representada aquí por electrodos de control. Por ejemplo, se puede aplicar una tensión eléctrica de control entre los electrodos de control. Opcionalmente, la interfaz 44 comprende medios de comunicación inalámbricos.

10 En algunas realizaciones, el contactor 1 también comprende sensores de corriente 46, configurados para medir una corriente que circula en cada una de las fases de la línea ascendente 20, es decir, una corriente que circula en cada uno de los hilos conductores 201 de la línea ascendente 20. En otras realizaciones, los sensores de corriente 46 y el dispositivo de control electrónico 40 están integrados en una carcasa separada del contactor 1.

15 Cuando se suministra energía eléctrica a la bobina 32 desde la regleta de alimentación 42, una corriente de excitación pasa a través de la bobina 32, generando una fuerza electromagnética que tiende a atraer el núcleo 34 y la barra 26 desde la posición abierta a la posición cerrada. Un miembro de retorno 36, representado aquí por un muelle, ejerce una fuerza de retorno que se opone a la fuerza de atracción del electroimán.

Una corriente de bobina I_{BOB} se define como una corriente de excitación que circula a través de la bobina 32.

20 Una corriente de despegue I_D se define como un umbral de la corriente de bobina I_{BOB} que, cuando el actuador 1 está en estado abierto, permite al actuador 1 pasar al estado cerrado, tan pronto como la corriente de bobina I_{BOB} aumenta por encima de la corriente de despegue I_D .

Se define una corriente de desenganche I_S – o “*stall current*” en inglés – como un umbral de la corriente de bobina I_{BOB} que, cuando el actuador 1 está en estado cerrado, permite que el actuador 1 pase al estado abierto en cuanto la corriente de bobina I_{BOB} disminuye por debajo de la corriente de desenganche I_S .

25 Así, cuando el actuador 1 está en estado abierto, mientras la corriente de bobina I_{BOB} permanezca por debajo de la corriente de despegue I_D , el núcleo móvil 34 es empujado de nuevo a la posición abierta por el miembro de retorno 36 del actuador 30 y el contactor 1 permanece en estado abierto. Si la corriente de la bobina I_{BOB} aumenta por encima de la corriente de despegue I_D , el núcleo 34 pasa de su posición abierta a su posición cerrada. Esta situación corresponde a una fase de cierre del contactor 1.

30 A la inversa, cuando el actuador 1 está en estado cerrado, mientras la corriente de bobina I_{BOB} permanezca mayor que la corriente de desenganche I_S , el contactor 1 permanece en estado cerrado. Si la corriente de la bobina I_{BOB} disminuye por debajo de la corriente de desenganche I_S , la fuerza electromagnética de la bobina 32 se vuelve más débil que la fuerza de restablecimiento del miembro 36 y del mecanismo 290, el núcleo 34 es entonces empujado desde su posición cerrada a su posición abierta bajo el efecto del miembro de restablecimiento 36 y del mecanismo 290. Esta situación corresponde a una fase abierta para el contactor 1.

35 Generalmente, la corriente de despegue I_D es mayor en valor absoluto que la corriente de desenganche I_S . Los valores de la corriente de despegue I_D y de la corriente de desenganche I_S se ajustan al diseñar el actuador 1, en particular ajustando las propiedades de la bobina 32 o las fuerzas de recuperación del miembro 36 y del mecanismo 290.

40 En la figura 2 se muestra esquemáticamente un ejemplo del circuito de alimentación 38. La arquitectura del circuito de alimentación 38 no es limitativa, y son posibles otras implementaciones de los diversos componentes del circuito de alimentación 38, o incluso pueden utilizarse otros componentes eléctricos o electrónicos para realizar las mismas funciones.

El circuito de alimentación 38 comprende preferentemente un circuito de medida 50, delimitado por un marco punteado, configurado para medir el valor de la tensión eléctrica entre el carril de alimentación 42 y una masa eléctrica GND del circuito de alimentación 38.

45 Por ejemplo, el circuito de medida 50 comprende dos resistencias R1 y R2 conectadas en serie con un diodo Dt entre la vía de alimentación 42 y la tierra eléctrica GND. Un primer punto de medida, situado aquí entre las resistencias R1 y R2, sirve para recoger una primera tensión de medida V1 representativa de la tensión eléctrica presente entre la vía de alimentación 42 y la tierra eléctrica GND. Como la tensión eléctrica presente entre el raíl 42 y la masa GND está vinculada a la tensión de bobina U_{BOB} , por extensión el circuito de medida 50 es un ejemplo de sensor configurado
50 para medir la tensión de bobina U_{BOB} .

El circuito de alimentación 38 comprende un circuito de control 51, que incluye la bobina 32. Puede colocarse un diodo D1 en el carril de alimentación 42, entre el circuito de control 51 y el circuito de medición 50, para impedir el retorno de corriente a este último. Los diodos D1 y Dt son preferiblemente del mismo tipo.

ES 2 986 495 T3

El circuito de control 51 se muestra aquí en una configuración denominada "de caída ", que se describe con más detalle más adelante en esta descripción.

El circuito de control 51 comprende un terminal de alimentación 52, que está conectado al carril de alimentación 42. La bobina 32 tiene dos terminales 54 y 56. Midiendo la tensión eléctrica entre los terminales 54 y 56, es posible medir una tensión de bobina, denotada U_{BOB} .

El terminal 54 está conectado a la masa GND a través de un interruptor denominado "de caída " T1. En muchas realizaciones, una resistencia denominada "de derivación" Rsh está conectada en serie con el interruptor de caída T1 para recoger una segunda tensión de medida V2 representativa de la corriente eléctrica que circula a través de la bobina 32, en otras palabras representativa de la corriente de la bobina I_{BOB} . En el ejemplo mostrado, la resistencia de derivación Rsh está conectada entre el interruptor de caída T1 y la masa GND. La resistencia Rsh es un ejemplo de sensor configurado para medir la intensidad de la corriente de la bobina I_{BOB} que circula en la bobina 32.

El terminal 56 está conectado al terminal 52 a través de un interruptor de alimentación T2 y a tierra GND a través de un diodo llamado diodo de "rueda libre" Drl. El diodo de rueda libre Drl tiene una dirección de bloqueo hacia el borne 56.

Los interruptores T1 y T2 son interruptores controlados por una señal de mando del dispositivo de control electrónico 40. En otras palabras, el dispositivo de control electrónico 40 está configurado para controlar los estados del circuito de control 51.

Según ejemplos de realización, los conmutadores T1 y T2 son conmutadores de potencia semiconductores, tales como transistores Mosfet, o tiristores, o transistores bipolares de puerta aislada (IGBT), o cualquier otro dispositivo equivalente.

El circuito de control 51 comprende un dispositivo "de caída " Dz, producido aquí por medio de un diodo Zener y conectado en paralelo con el interruptor de caída T1. Así, cuando el interruptor de caída T1 está abierto, la corriente de la bobina I_{BOB} circula a través del dispositivo de caída Dz, mientras que cuando el interruptor de caída T1 está cerrado, el dispositivo de caída Dz está cortocircuitado y no circula corriente a través del dispositivo de caída Dz. Por lo tanto, el dispositivo de caída Dz puede activarse selectivamente para reducir la corriente de la bobina I_{BOB} .

A los efectos de la presente invención, las magnitudes características de los componentes del circuito de alimentación 38 se consideran conocidas. En particular, la bobina 32 tiene una resistencia marcada R_{BOB} y una inductancia marcada L_{BOB} . La resistencia R_{BOB} y la inductancia L_{BOB} dependen, en particular, de la geometría de la bobina 32, de los materiales utilizados, de la temperatura, etcétera. Por lo tanto, se considera que los valores de la resistencia R_{BOB} y la inductancia L_{BOB} son conocidos.

La figura 3 muestra un gráfico 58 que ilustra la evolución de la corriente de bobina I_{BOB} que circula en la bobina 32 a lo largo del tiempo (t) durante diferentes fases sucesivas de funcionamiento del contactor 1, denominadas P1, P2, P3 y P4, en el caso en que el contactor se conmuta al estado cerrado y luego se conmuta de nuevo al estado abierto.

La fase P1 es una fase inicial, durante la cual el contactor 1 está en estado abierto de manera estable, es decir, la corriente de bobina I_{BOB} no supera la corriente de despegue I_D . En la figura 3, la corriente de la bobina I_{BOB} presenta picos transitorios 60 y 62, que son inferiores a la corriente de despegue I_D y que están relacionados con operaciones de prueba en el contactor 1, operaciones de prueba que no se detallan en la presente descripción.

La fase P2 corresponde a una fase de cierre, después de que el contactor 1 haya recibido una orden de cierre. La fase P2 comienza cuando el dispositivo de control electrónico 40 recibe una orden de cierre de la interfaz 44 en el tiempo t_0 .

El dispositivo de control electrónico 40 está configurado para aplicar la tensión de la bobina de control U_{BOB} a los terminales de la bobina 32. Por ejemplo, el dispositivo de control 40 ordena entonces el cierre del interruptor de caída T1 y del interruptor de alimentación T2. La tensión de la bobina U_{BOB} es entonces igual a la tensión suministrada por la vía de alimentación 42, menos la tensión a través de la resistencia de derivación Rsh. La corriente de la bobina I_{BOB} , inicialmente nula, aumenta a continuación hasta superar la corriente de despegue I_D en un tiempo t_1 , momento en el que el núcleo 34 comienza a desplazarse de su posición abierta a su posición cerrada.

Tras la fase de cierre P2, los contactos móviles 26 se detienen sobre los contactos fijos 28, por lo que el contactor 1 se encuentra en estado cerrado. El núcleo 34 sigue moviéndose hasta entrar en contacto con la parte fija 30 del circuito magnético, lo que corresponde a la carrera de aplastamiento de los contactos eléctricos.

Más generalmente, cuando la fuente de energía eléctrica comprende varias fases eléctricas, las almohadillas 29 asociadas a cada una de las fases eléctricas no presentan todas el mismo desgaste, es decir, no el mismo aplastamiento. El momento exacto en que se cierra cada una de las fases eléctricas difiere según la fase eléctrica.

Durante una última fase 64 de la fase de cierre P2, los fenómenos transitorios han terminado y la corriente de bobina I_{BOB} tiene un valor de meseta, igual a la tensión de bobina U_{BOB} dividida por la resistencia de bobina R_{BOB} y estrictamente superior a la corriente de desenganche I_S . El contactor 1 se cierra entonces de forma estable.

- 5 Durante la fase 64, la bobina 32 consume energía eléctrica, en particular por efecto Joule, siendo la potencia de la energía eléctrica consumida por la bobina 32 por efecto Joule igual a $R_{BOB} \times (I_{BOB})^2$. Sin embargo, el contactor 1 permanece en estado cerrado mientras la corriente de la bobina I_{BOB} se mantenga por encima de la corriente de desenganche I_S . Por lo tanto, es posible reducir el consumo de energía de la bobina 32 manteniendo el contactor 1 en estado cerrado de manera estable, reduciendo la intensidad de la corriente de bobina I_{BOB} , siempre que la corriente de bobina I_{BOB} siga siendo superior a la corriente de desenganche I_S .
- Esto se consigue, por ejemplo, variando la tensión de la bobina U_{BOB} para reducir al máximo la corriente de la bobina I_{BOB} manteniéndola por encima de la corriente de desenganche I_S . Esta situación corresponde a la fase de mantenimiento P3.
- 10 En el ejemplo mostrado, la variación de la tensión de la bobina U_{BOB} se obtiene abriendo y cerrando alternativamente el interruptor de alimentación T2, lo que crea una señal de corte periódica de la tensión de la bobina U_{BOB} siguiendo un perfil de onda cuadrada y a una frecuencia F3.
- 15 Durante la fase de retención P3, cuando el interruptor de alimentación T2 está abierto, el interruptor de caída T1 permanece cerrado. El circuito de control 51 se encuentra entonces en un modo denominado "rueda libre", limitándose el circuito de control 51 a la bobina 32 conectada al diodo de rueda libre Drl y a la resistencia de derivación Rsh. La corriente de la bobina I_{BOB} disminuye entonces, disipándose la energía eléctrica principalmente por la resistencia R_{BOB} de la bobina 32. El interruptor de alimentación T2 se vuelve a cerrar antes de que la corriente de la bobina I_{BOB} caiga por debajo de la corriente de desenganche I_S , y la corriente de la bobina I_{BOB} vuelve a subir.
- 20 Como resultado, la corriente de la bobina I_{BOB} varía periódicamente a una frecuencia igual a la frecuencia F3 del voltaje de la bobina U_{BOB} , la corriente de la bobina I_{BOB} exhibiendo aquí un perfil en diente de sierra, variando entre una única I_1 baja, estrictamente mayor que la corriente de desenganche I_S , y una única I_2 alta, mayor que el umbral bajo I_1 . El umbral bajo I_1 se elige para que sea superior al 5% de la corriente de desenganche I_S , por ejemplo. El umbral alto I_2 depende en particular de las características de la bobina 32, como la resistencia de la bobina R_{BOB} y la inductancia de la bobina L_{BOB} .
- 25 La naturaleza periódica de la corriente de la bobina I_{BOB} genera vibraciones mecánicas en el actuador electromagnético 30. Para evitar que estas vibraciones generen ruidos perceptibles por el oído humano, la frecuencia F3 se elige ventajosamente inferior a 100 Hz, o superior a 25 kHz. En el ejemplo mostrado, la frecuencia F3 es de 100 Hz.
- La fase de apertura P4 comienza cuando el dispositivo de control electrónico 40 recibe una orden de apertura en el tiempo t_2 .
- 30 El dispositivo de control electrónico 40 controla la apertura del actuador electromagnético 30, lo que se hace aquí abriendo el interruptor de alimentación T2 y abriendo el interruptor de caída T1 para hacer que caiga la tensión a través de la bobina 32. La corriente de la bobina I_{BOB} circula entonces a través del diodo de rueda libre Drl, la bobina 32, el dispositivo de caída Dz y la resistencia de derivación Rsh. El circuito de control 51 se encuentra entonces en un modo denominado "de caída", en el que la corriente de la bobina I_{BOB} disminuye más rápidamente que en el modo de rueda libre.
- 35 Cuando la corriente de la bobina I_{BOB} cae por debajo de la corriente de desenganche I_S , el miembro de retorno 36 y el mecanismo 290 empujan los contactos móviles 24 desde su posición cerrada a su posición abierta.
- Una vez finalizados los fenómenos de inducción transitoria, la corriente de bobina I_{BOB} es nula y el contactor 1 vuelve a estar en estado abierto de manera estable.
- 40 La figura 4 muestra un gráfico 65 que ilustra la evolución de la corriente de bobina I_{BOB} que circula en la bobina 32 en el tiempo t durante la transición de la fase de retención P3 a la fase de apertura P4. Una curva 65A, en trazos gruesos, representa la evolución de la corriente de bobina I_{BOB} cuando el dispositivo de control electrónico 40 ordena la apertura del contactor 1 según una estrategia de apertura ventajosa, detallada a continuación. Una curva 65B, en trazo fino, representa la evolución de la corriente de bobina I_{BOB} cuando el dispositivo electrónico de mando 40 ordena la apertura del contactor 1 sin ninguna estrategia particular, como es el caso en el estado de la técnica.
- 45 Como se explicó anteriormente, durante la fase de retención P2 la corriente de la bobina I_{BOB} varía periódicamente entre el umbral bajo I_1 y el umbral alto I_2 . Las curvas 64A y 65B se superponen durante la fase de retención P3.
- En el estado de la técnica, cuando se recibe una orden de apertura en el tiempo t_2 , el dispositivo de control 40 ordena inmediatamente la apertura de los interruptores T1 y T2. La corriente de la bobina I_{BOB} comienza a disminuir inmediatamente, correspondiendo esta situación a la curva 65B.
- 50 Ventajosamente, en el contexto de la presente invención, el dispositivo de control 40 controla la apertura del contactor 1 cuando la corriente de bobina I_{BOB} es lo más alta posible. Por "tan alta como sea posible", entendemos que la corriente I_{BOB} es mayor o igual al 80% del umbral alto I_2 , preferiblemente mayor del 95% y aún más preferiblemente mayor del 98%.

El instante en el que el dispositivo de control electrónico 40 ordena la apertura del contactor 1 define un instante t_2' , que es posterior al instante t_2 .

5 Para no retrasar excesivamente el tiempo t_2' , el dispositivo de control electrónico 40 ordena la apertura del actuador electromagnético 30 a más tardar después de un tiempo predefinido tras recibir la orden de apertura, siendo el tiempo predefinido igual a un periodo de la tensión de bobina U_{BOB} . En otras palabras, el dispositivo de control electrónico 40 controla la apertura del actuador electromagnético 30 preferentemente en el primer pico de umbral alto I_2 que se produce tras la recepción de la orden de apertura en el tiempo t_2 .

10 En el ejemplo mostrado, durante la fase de retención P3 la corriente de la bobina I_{BOB} varía a una frecuencia F3 de 100 Hz. Por lo tanto, el intervalo de tiempo entre dos picos de umbral alto de I_2 es de 10 ms. Así, el desfase entre los instantes t_2 y t_2' es como máximo de 10 ms, lo que corresponde a medio período de una corriente de alimentación de 50 Hz. Esta desviación es aceptable dadas las limitaciones de funcionamiento del contactor 1.

15 Se define también un tiempo t_2'' "de desenganche" como un tiempo en el que la corriente de la bobina I_{BOB} cae por debajo de la corriente de desenganche I_S por primera vez después del tiempo t_2' . Por último, se define un instante t_3 como el instante en el que la corriente de la bobina I_{BOB} se anula de forma estable. Así pues, el núcleo 34 sigue inmóvil entre los tiempos t_2' y t_2'' y comienza a moverse después del tiempo t_2'' .

Nos interesan ahora las magnitudes eléctricas y electromagnéticas de la bobina 32.

Se genera un flujo magnético ϕ cuando la corriente de la bobina I_{BOB} circula a través de la bobina 32. El valor del flujo magnético ϕ depende, en particular, del valor de la corriente de la bobina I_{BOB} y de la posición del núcleo móvil 34.

20 Por ejemplo, el valor del flujo magnético ϕ está relacionado con los valores de la tensión de bobina U_{BOB} y la corriente de bobina I_{BOB} según la siguiente ecuación, anotada Ecuación 1 en lo sucesivo:

$$U_{BOB} = R_{BOB} \cdot I_{BOB} + N \frac{d\phi}{dt} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

donde N es el número de espiras de la bobina 32, y ϕ es el flujo magnético a través de cada espira de la bobina 32.

25 Una posición x se define como una posición del núcleo móvil 34 relativa a la bobina 32. En muchas realizaciones, el núcleo móvil 34 puede moverse traslacionalmente con respecto a la bobina 32 a lo largo de un eje de desplazamiento. La posición x se define entonces a lo largo de este eje de desplazamiento. Por convención, la posición x es cero cuando el contactor 1 está abierto. Para cada una de las fases eléctricas del contactor 1, la posición de los contactos móviles 24 está así vinculada a la posición x . Por extensión, la posición x también representa una posición del actuador electromagnético 30 o del contactor 1.

30 Derivando ϕ en la Ecuación 1, obtenemos una ecuación general Ecuación 2 que gobierna las cantidades electromagnéticas en el actuador 1:

$$U_{BOB} = R_{BOB} \cdot I_{BOB} + N \frac{d\phi}{dI_{BOB}} \frac{dI_{BOB}}{dt} + N \frac{d\phi}{dx} \frac{dx}{dt} + N \frac{d\phi}{di_f} \frac{di_f}{dt} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

35 en la que el último término $N \frac{d\phi}{di_f} \frac{di_f}{dt}$ implica corrientes de inducción, también conocidas como corrientes de Foucault, denotadas i_f .

40 En el contexto de la presente invención, el contactor 1 tiene una estructura que limita la generación de corrientes de inducción i_f , lo que permite despreciar el último término de la Ecuación 2. Según ejemplos no limitativos, el contactor 1 tiene una estructura de chapa laminada, producida por apilamiento de chapa cortada y que tiene una conductividad muy baja en el eje de apilamiento de la chapa, en particular debido a discontinuidades en el borde de la chapa. La baja conductividad global resultante es la razón de las bajas corrientes inducidas generadas por este tipo de contactor 1.

45 Una ilustración de este efecto de reducción de las corrientes inducidas i_f se muestra en la figura 5, que representa un gráfico 66 que ilustra la evolución de la corriente de bobina I_{BOB} y del flujo magnético ϕ durante una fase de apertura del contactor 1. La ausencia de corrientes inducidas i_f demostrada por la ausencia de desfase entre el flujo magnético ϕ y la corriente de la bobina I_{BOB} , llegando ambos a cero en el mismo instante t_3 .

Dado que se desprecian las corrientes inducidas, el circuito magnético tiene una reluctancia Rel que es función de la posición x del núcleo móvil 34 y de la corriente de bobina I_{BOB} , y que está ligada al flujo magnético ϕ y a la corriente de bobina I_{BOB} por la siguiente relación $Rel(x, I_{BOB}) \cdot \phi = N \cdot I_{BOB}$.

En otras palabras, el flujo magnético ϕ es una función de la posición x y de la corriente de la bobina I_{BOB} , el flujo magnético ϕ puede expresarse en forma de una relación analítica o, para mayor precisión, mediante una superficie de respuesta bidimensional generada por herramientas de simulación del circuito magnético del contactor 1.

5 En la gran mayoría de los casos, la superficie $\phi = f(x, I_{BOB})$ es biyectiva, es decir, para una corriente de bobina I_{BOB} dada, un valor dado de la posición x corresponde a un único valor del flujo magnético ϕ . Esto permite reconstruir una función inversa $x = g(\phi, I_{BOB})$ que da el valor de la posición x en función del flujo magnético ϕ y de la corriente de la bobina I_{BOB} .

El área $\phi = f(x, I_{BOB})$, o su función inversa $x = g(\phi, I_{BOB})$, se almacena en la memoria del dispositivo electrónico de control 40, por ejemplo en forma de una tabla de datos característica del actuador electromagnético 30, definiendo la tabla de datos una relación biyectiva entre la posición x del núcleo 34, el flujo de bobina ϕ y la corriente de bobina I_{BOB} .

10 El flujo magnético ϕ también viene dado por la integración temporal de la Ecuación 1. Esto nos da la Ecuación 3 a continuación:

$$\phi(t) = \int \frac{U_{BOB} - R_{BOB} \cdot I_{BOB}}{N} \cdot dt + \phi_0 \quad \text{[Ecuación 3]}$$

15 donde U_{BOB} e I_{BOB} son medidas, N , dt y R_{BOB} son conocidos y ϕ_0 es un valor inicial del flujo magnético ϕ , al comienzo del intervalo de integración. En el contexto de la presente invención, el intervalo de integración comienza preferentemente en el momento en que el dispositivo de control electrónico 40 ordena la apertura del actuador magnético 30, es decir, en el tiempo t_2' .

El flujo magnético ϕ puede calcularse a partir de la Ecuación 3 utilizando procedimientos de cálculo numérico implementados por el dispositivo de control electrónico 40.

20 Cuanto menor sea el intervalo de tiempo de integración dt , es decir, cuanto más corta sea la etapa de integración, menor será el error de cálculo. El intervalo dt es, por ejemplo, proporcional a la inversa de una frecuencia de reloj de la unidad lógica de cálculo del dispositivo electrónico de control 40. Por ejemplo, la frecuencia de reloj del dispositivo 40 es de 1 kHz.

25 Para calcular el flujo ϕ integrando las mediciones U_{BOB} e I_{BOB} y trazar el cambio en la posición x del núcleo móvil 34 usando la función inversa $x = g(\phi, I_{BOB})$, el flujo inicial ϕ_0 debe ser determinado. Definimos una estimación del flujo inicial $\hat{\phi}_0$.

30 Un primer procedimiento consiste en determinar el valor de $\hat{\phi}_0$ a partir de la superficie de respuesta conocida $\phi = f(x, I_{BOB})$, estimando un valor inicial de la posición x , anotado estimado \hat{x}_0 . La \hat{x}_0 estimada puede calcularse, por ejemplo, utilizando la inductancia de bobina conocida L_{BOB} , midiéndose la corriente de bobina I_{BOB} . Tenemos entonces que $\hat{\phi}_0 = f(\hat{x}_0, I)$. Alternativamente, con el núcleo 34 en pilar en la posición cerrada, la \hat{x}_0 estimada puede estimarse a partir de la geometría del actuador 30.

35 Sin embargo, tal primer procedimiento de determinación del valor estimado \hat{x}_0 de la posición es relativamente tosco y, en particular, no permite tener en cuenta la variabilidad de los entrehierros magnéticos. Por ejemplo, el mateado de las superficies o la contaminación del entrehierro pueden provocar una variación en la posición estimada \hat{x}_0 considerada como cerrada, lo que conlleva un error en el flujo inicial estimado $\hat{\phi}_0$ y, por tanto, en la reconstrucción de la posición x durante la fase de apertura.

Un segundo procedimiento, conocido como procedimiento de autocorrección, se basa en el hecho de que el núcleo móvil 34 permanece inmóvil en la posición cerrada durante la fase de apertura P4 mientras la corriente de bobina I_{BOB} sea superior a la corriente de desenganche I_S , es decir, antes del tiempo de desenganche t_2'' , mientras el núcleo 34 esté inmóvil en la posición cerrada.

40 En otras palabras, en cada instante t entre t_2' y t_2'' , siempre que la corriente de bobina I_{BOB} sea mayor que la corriente de desenganche I_S , cuando se calcula el flujo magnético ϕ mediante la Ecuación 3 y se deduce la posición x en el instante t mediante la función inversa $x = g(\phi, I_{BOB})$, si la posición calculada no es constante, es decir $x(t) \neq x(t_2')$, entonces hay un error en la estimación inicial del flujo $\hat{\phi}_0$. El flujo magnético ϕ en la prueba instantánea entonces compensado para corregir este error, esta compensación resulta en una re-estimación del flujo inicial $\hat{\phi}_0$. La corrección del flujo ϕ se aplica varias veces, a lo largo de varios cálculos sucesivos y siempre que el instante t se encuentre entre t_2' y t_2'' , hasta la convergencia de la estimación inicial del flujo $\hat{\phi}_0$ y el flujo real ϕ_0 . Como resultado del procedimiento de autocorrección, el error en el flujo inicial ϕ_0 se compensa con precisión.

45 Así, cuando la corriente de la bobina I_{BOB} disminuye por debajo de la corriente de desenganche I_S y el núcleo 34 comienza a moverse, el conocimiento preciso del flujo magnético ϕ permite a su vez calcular con exactitud la posición x .

La figura 6 muestra un gráfico 68 que ilustra un ejemplo de implementación del procedimiento de autocorrección. En este gráfico 68, la curva 70 representa el flujo magnético ϕ calculado con autocorrección, en función de la corriente de bobina I_{BOB} multiplicada por el número de espiras de la bobina 32, mientras que la posición inicial x es fija y la

- 5 estimación del flujo inicial ϕ_0 es errónea. En el ejemplo, tenemos una posición inicial estimada $\hat{x}_0 = 0$ mm, mientras que el flujo inicial ϕ_0 es el flujo magnético correspondiente a una posición $x = +0,02$ mm. Se observan desviaciones del flujo magnético ϕ respecto a una característica correspondiente a una posición fija x , lo que conduce a una serie de autocorrecciones hasta la convergencia del flujo estimado y el flujo real ϕ . La convergencia del flujo estimado da como resultado una posición x calculada estable, que corresponde a la posición x real.
- La curva 72 representa el flujo magnético ϕ calculado con autocorrección, sin error sobre el flujo inicial ϕ_0 . En el ejemplo, tenemos una posición inicial estimada $\hat{x}_0 = +0,02$ mm, y el flujo inicial ϕ_0 es el flujo magnético correspondiente a esta posición $x = +0,02$ mm. El flujo calculado sí sigue una característica de posición fija y no requiere corrección.
- 10 La figura 7 muestra un gráfico 74 que ilustra el efecto del procedimiento de autocorrección para determinar la posición x . Una curva de puntos 76 representa la evolución de la posición x , la posición x se mide directamente utilizando un sensor de posición del núcleo móvil 34 para compararla con los resultados del procedimiento descrito anteriormente. Se sobreentiende que, en la práctica, el contactor 1 no dispone normalmente de tal sensor de posición.
- 15 Durante una fase inicial P74, la posición medida x permanece constante. Durante una fase P75, posterior a la fase inicial P74, el núcleo 34 pasa de su posición cerrada a su posición abierta, y la posición x cambia. Durante una fase P76, posterior a la fase P75, el núcleo 34 se encuentra en una posición abierta estable, y la posición x vuelve a ser constante.
- Una curva 78 aproximadamente punteada representa la evolución de la posición x , calculada según el procedimiento descrito anteriormente, sin autocorrección. El flujo inicial estimado ϕ_0 es erróneo sin ser corregido.
- 20 Una curva 80 representa la evolución de la posición de la posición x durante una fase de cierre, calculada según el procedimiento descrito anteriormente, con autocorrección, mientras que las condiciones iniciales son idénticas a las del cálculo de la curva 78. El flujo inicial estimado ϕ_0 es erróneo, pero se corrige.
- 25 Durante una fase inicial P74, la posición x permanece constante. La curva 78 tiene escalones 81, que resultan de la aplicación del procedimiento de autocorrección. Además, la curva 78 se une a la 76 a pesar de la incertidumbre en el flujo inicial ϕ_0 . Como resultado, durante las fases P75 y P76, la curva 80 se adhiere más a la curva 76 que a la curva 78, lo que demuestra el efecto positivo del procedimiento de autocorrección. No es necesario instalar un sensor de posición para trazar de forma fiable la evolución de la posición x en función del tiempo durante la fase de cierre de P2. El procedimiento de autocorrección se utiliza ventajosamente en todos los casos.
- 30 La característica no lineal de los materiales ferromagnéticos significa que el flujo magnético ϕ es menos sensible a las variaciones del entrehierro cuando el circuito magnético, en particular la bobina 32, está saturado.
- Este fenómeno se ilustra en la figura 8, que muestra un gráfico 82, que ilustra la sensibilidad del flujo magnético por mm de entrehierro $\frac{\partial \phi}{\partial x}$, en función del flujo magnético ϕ , igual a la corriente de bobina I_{BOB} multiplicada por el número de espiras N . Así, cuanto mayor sea la corriente de la bobina I_{BOB} , menor será la sensibilidad del flujo magnético ϕ en función del entrehierro, es decir, en función de la posición x .
- 35 Por esta razón, después de recibir la orden de apertura, el dispositivo electrónico de control 40 ordena la apertura del actuador electromagnético 30 cuando la corriente de bobina I_{BOB} es lo más elevada posible, es decir, superior o igual al 80% del umbral alto I_2 , preferentemente superior al 95%, aún más preferentemente superior al 98% del umbral alto I_2 . Esto satura el circuito magnético y da más tiempo para aplicar el procedimiento de autocorrección.
- 40 Un ejemplo operativo de un procedimiento para estimar las propiedades del contactor 1 según una realización preferida se describe ahora con referencia a la Figura 9. Sin embargo, las etapas de este procedimiento también pueden realizarse en otro orden. Algunas etapas pueden omitirse. El ejemplo descrito no prejuzga el hecho de que, en otras realizaciones, puedan llevarse a cabo otras etapas en conjunción y/o secuencialmente con las etapas descritas.
- Durante una etapa 100, el procedimiento se inicializa cuando el contactor 1 se encuentra inicialmente en un estado cerrado estable, por ejemplo durante la fase de mantenimiento P3. El dispositivo de control electrónico 40 espera una orden para abrir el contactor 1.
- 45 A continuación, durante una etapa 102, el dispositivo de control electrónico 40 recibe una orden de abrir el contactor 1. El momento t_2 en el que se recibe la orden de apertura es el inicio de la fase de apertura P4.
- A continuación, en una etapa 104, el dispositivo de control electrónico 40 controla la apertura del actuador electromagnético 30 en el tiempo t_2' . La apertura se controla aquí anulando la tensión de control a través de la bobina 32.
- 50 Preferiblemente, el dispositivo de control electrónico 40 controla la apertura del actuador electromagnético 30 cuando la corriente de la bobina I_{BOB} es mayor o igual al 80% del umbral alto I_2 , preferiblemente mayor al 95%, aún más preferiblemente mayor al 98%.

Durante la fase de retención P3 y hasta el tiempo t_2' , la tensión de bobina U_{BOB} varía periódicamente a una frecuencia F3, aquí igual a 100 Hz, en otras palabras, la variación periódica de la tensión de bobina define un periodo igual a $1/F3$, aquí 10 ms.

5 Ventajosamente, el dispositivo de control electrónico 40 ordena la apertura del actuador electromagnético 30 a más tardar al final de un tiempo predefinido después de recibir la orden de apertura. Según algunos ejemplos, la duración predefinida es igual a un período de la tensión de la bobina U_{BOB} , en este caso 10 ms.

10 A continuación, en una etapa 106, el dispositivo electrónico de control 40 mide y registra la corriente de la bobina I_{BOB} y la tensión de la bobina U_{BOB} , por ejemplo hasta que el contactor 1 está en posición abierta, o durante un tiempo de registro predefinido almacenado en el dispositivo electrónico de control. Este tiempo de registro equivale, por ejemplo, a cinco periodos de una corriente de alimentación de 50 Hz, es decir, 100 ms.

A continuación, el procedimiento comprende una etapa 112, de cálculo y registro del flujo magnético \emptyset que pasa por la bobina 32.

15 La etapa 112 comprende una subetapa 110, en la que el flujo magnético \emptyset se calcula integrando los valores registrados de la corriente de la bobina I_{BOB} , la tensión de la bobina U_{BOB} y los valores, previamente registrados en el dispositivo electrónico de control 40, de la resistencia R_{BOB} y la inductancia de la bobina L_{BOB} .

Ventajosamente, la etapa 112 comprende una subetapa 108 de autocorrección inicial, previa a la subetapa 110, consistente en estimar un valor del flujo inicial \emptyset_0 mientras la corriente de bobina I_{BOB} sea mayor que el umbral bajo I_1 y el núcleo 34 siga en posición cerrada, teniendo en cuenta el cálculo por integración del flujo magnético \emptyset en la subetapa 110 el valor del flujo inicial \emptyset_0 calculado en la subetapa 108 de autocorrección.

20 Según algunos ejemplos, la subetapa 108 de autocorrección dura desde el tiempo t_2' hasta el tiempo t_2'' de desenganche, mientras que la subetapa 110 comienza en el tiempo t_2'' .

25 A continuación, el procedimiento comprende una etapa 114, consistente en evaluar y registrar la posición x del contactor 1, por una parte a partir de los valores registrados del flujo magnético \emptyset y de la corriente de bobina I_{BOB} y, por otra parte, en función de una tabla de datos característica del actuador electromagnético 30, estando la tabla de datos previamente registrada en el dispositivo electrónico de control 40 y definiendo una relación biyectiva entre la posición x del núcleo 34, el flujo magnético \emptyset y la corriente de bobina I_{BOB} .

30 La figura 10 muestra un gráfico 84 que ilustra la evolución de la posición x y de la tensión de bobina U_{BOB} durante una fase de apertura P4. Un instante t_4 se define como un instante en el que el núcleo móvil 34 se encuentra en una posición de apertura estable. También se define una carrera Δx del núcleo móvil 34 como igual a una diferencia entre las posiciones x en los tiempos t_2' y t_4 , es decir, la diferencia de posición x entre la posición abierta y la posición cerrada.

Un tiempo de caída Δt también se define como igual al tiempo transcurrido entre el instante t_2' , cuando el dispositivo de control electrónico 40 ordena al actuador electromagnético 30 que se abra, y el instante t_4 , cuando el actuador electromagnético 30 está establemente en la posición abierta.

35 Diversa información sobre el estado del contactor 1 puede derivarse del conocimiento de la posición x .

Según un primer ejemplo, el procedimiento está configurado para comparar la carrera Δx del núcleo móvil 34 con un valor de referencia almacenado en el dispositivo de control electrónico 40, con el fin de detectar cualquier fallo mecánico.

40 Según otro ejemplo, el procedimiento está configurado para verificar la ausencia de fricción o bloqueos de origen mecánico comparando el tiempo de caída Δt con un tiempo de referencia registrado en el dispositivo de control electrónico 40.

45 Durante una etapa 116 del procedimiento, un perfil de velocidad de desplazamiento del contactor 1 y un perfil de aceleración a del contactor 1 se calculan por derivación temporal de los valores de posición x registrados durante la etapa 114. Los perfiles de velocidad v y aceleración a se registran en el dispositivo electrónico de control 40. Por extensión, los perfiles de velocidad v y aceleración a del contactor 1 son también los perfiles de velocidad v y aceleración a del actuador electromagnético 30 o del núcleo móvil 34.

50 A continuación, durante una etapa 118, el dispositivo electrónico de control 40 está configurado para calcular una velocidad denominada de "separación", igual a una velocidad v del contactor 1 cuando la posición x del contactor 1 alcanza una posición denominada de "desconexión máxima", anotada E_{max} y denominada "*max overtravel*" en inglés, correspondiente a un desplazamiento del núcleo 34, desde la posición cerrada hasta la posición abierta. En la práctica, este desplazamiento depende de la geometría del actuador 30 y está generalmente comprendido entre 0,5 mm y 3 mm, por ejemplo igual a 2 mm. Preferiblemente, el dispositivo electrónico de control 40 está configurado para emitir una alerta si la velocidad de separación es inferior a un umbral previamente almacenado en el dispositivo electrónico de control 40.

La figura 11 muestra un gráfico 86 que ilustra, durante una fase de apertura P4, tres perfiles de velocidad 86A, 86B y 86C, correspondientes al perfil de velocidad v del núcleo 34 de tres contactores 1 de modelo idéntico pero que presentan diferentes estados de desgaste, nuevo, ligeramente desgastado y desgastado respectivamente.

5 Una velocidad de separación V1, respectivamente V2 y V3, se define como la velocidad de separación del núcleo 34 del contactor 1 nuevo, respectivamente ligeramente desgastado y desgastado.

El efecto del desgaste del contactor sobre la velocidad de separación puede observarse comparando las velocidades de separación V1, V2 y V3. Cuanto más desgastado esté el contactor 1, menor será la velocidad de separación. Por lo tanto, es posible definir un umbral mínimo de velocidad de separación, por debajo del cual el dispositivo electrónico de control 40 emite una alerta para advertir a un usuario de que debe programarse el mantenimiento.

10 Para un contactor 1 en buen estado, a partir del tiempo de desenganche t_2'' , las fuerzas magnéticas son siempre inferiores a las fuerzas del miembro de retorno 36, lo que se traduce en una velocidad v estrictamente creciente hasta que el núcleo 34 alcanza el tope de fin de carrera en posición abierta. En el caso de un contactor 1 desgastado, en particular cuando las pastillas de contacto 29 están desgastadas y la superficie de las pastillas de contacto 29 está dañada, se forman microsoldaduras entre las pastillas 29 de los contactos móviles 24 y los contactos fijos 28 durante la fase de retención P3. Cuando el contactor 1 se abre, la rotura de las microcapa ralentiza el movimiento del núcleo móvil 34, y la velocidad v disminuye antes de que el núcleo 34 se detenga en la posición abierta.

15 La figura 12 muestra un gráfico 88 que ilustra, durante una fase de apertura, tres perfiles de velocidad 88A, 88B y 88C, correspondientes a las velocidades v de los núcleos 34 de tres contactores 1 de modelo idéntico pero con diferentes condiciones de microsoldadura, respectivamente sin microsoldadura – *healthy product* en inglés – con ligeras microsoldaduras – *light uweld* en inglés – y con microsoldaduras significativas – *strong uweld* en inglés -. Los tres perfiles de velocidad 88A, 88B y 88C están sincronizados, es decir, el movimiento se inicia al mismo tiempo t_{88} . En otras palabras, las velocidades son nulas hasta el momento t_{88} .

El perfil 88A, correspondiente al contactor 1 sin microsoldadura, aumenta de forma monótona desde el tiempo t_{88} hasta un pico 90 cuando el núcleo 34 llega al reposo.

25 El perfil 88B, correspondiente al contactor 1 con ligeras microsoldaduras, tiene un pico 94 en el estribo del núcleo 34. Sin embargo, el perfil 88B no aumenta de forma monótona desde el tiempo t_{88} hasta el pico 94, sino que entre el tiempo t_{88} y el pico 94 muestra una porción decreciente, seguida de nuevo por una porción creciente. Una unión entre las porciones decreciente y creciente tiene una tangente horizontal y define un mínimo local 92 del perfil 88B. En otras palabras, el perfil de velocidad 88B tiene un mínimo local 92 entre el tiempo t_{88} en que comienza el movimiento y un pico 94 cuando el núcleo 34 se detiene.

30 El perfil 88C, correspondiente al contactor 1 con microsoldaduras significativas, tiene un mínimo local 96 entre el instante t_{88} en el que comienza el movimiento y un pico 98 en el que el núcleo 34 se detiene, siendo el mínimo local 96 más marcado que el mínimo local 92 del perfil 88B. En otras palabras, cuanto mayores sean las micro-soldaduras, mayor será el mínimo local en la velocidad v entre el tiempo t_{88} en el que el núcleo 34 comienza a moverse y el núcleo 34 se detiene en la posición abierta.

35 Más en general, el procedimiento de diagnóstico según la invención permite determinar con precisión el perfil de posición x del núcleo móvil 34 en función del tiempo, así como los perfiles de velocidad v y aceleración a derivados del perfil de posición x . Esta información puede combinarse de varias maneras para controlar el desgaste de componentes específicos del contactor 1, por ejemplo, las almohadillas de contacto 29, o el mecanismo del actuador electromagnético 30.

En el ejemplo mostrado, el dispositivo de control electrónico 40 realiza tanto las funciones de controlar el dispositivo de bloqueo 30 como de implementar el procedimiento de diagnóstico según la invención.

45 En una variante no mostrada, el procedimiento de diagnóstico se implementa mediante un dispositivo electrónico específico, que se añade a un contactor existente durante una operación de mantenimiento. Para implementar el procedimiento de diagnóstico según la invención, dicho dispositivo específico sólo necesita medir la corriente de la bobina I_{BOB} y la tensión de la bobina U_{BOB} .

50 Según otra realización, cuando un contactor 1 comprende un dispositivo de control electrónico 40 que no está configurado para implementar el procedimiento de diagnóstico según la invención, si los sensores de corriente de bobina y de tensión de bobina están presentes, es posible configurar el dispositivo de control electrónico 40 del contactor 1 para que pueda implementar el procedimiento de diagnóstico según la invención, por ejemplo, sustituyendo físicamente el dispositivo de control electrónico 40 o, alternativamente, si procede, cambiando el código informático del dispositivo de control electrónico 40.

Las realizaciones y variantes mencionadas pueden combinarse entre sí para generar nuevas realizaciones de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de diagnóstico de un estado de funcionamiento de un aparato de conmutación (1), configurado para ser acoplado a un conductor eléctrico (20) y que comprende:

- contactos separables (24, 28) asociados al conductor eléctrico y controlados por un actuador electromagnético (30) que comprende una bobina (32) conectada a un dispositivo electrónico de control (40), que está configurado para aplicar una tensión de bobina de control (U_{BOB}) a través de la bobina,
 - sensores (Rsh, 50) configurados para medir la tensión de la bobina (U_{BOB}) y la intensidad de una corriente de la bobina (I_{BOB}) que circula en la bobina,
- en el que el procedimiento comprende las etapas que consisten en:

- a) recibir (102) una orden de apertura del aparato de conmutación, estando el aparato de conmutación inicialmente en estado cerrado, siendo la orden de apertura recibida por el dispositivo electrónico de control;
- b) tras recibir la orden de apertura, ordenar (104) al actuador electromagnético (30) que se abra mediante el dispositivo electrónico de control (40);
- c) mientras el aparato de conmutación (1) pasa al estado abierto, medir y registrar (106) los valores de tensión de bobina (U_{BOB}) y de corriente de bobina (I_{BOB});
- d) calcular y registrar (112) los valores de un flujo magnético (\emptyset) que atraviesa la bobina (32), por integración de los valores registrados de la corriente de la bobina, la tensión de la bobina y los valores de resistencia (R_{BOB}) e inductancia (L_{BOB}) de la bobina, previamente registrados en el dispositivo electrónico de control;

caracterizado porque el procedimiento comprende además la etapa que consiste en:

- e) a partir de los valores registrados de flujo magnético (\emptyset) y corriente de bobina (I_{BOB}), evaluar y registrar (114) posiciones (x) de un núcleo (34) del actuador electromagnético (30) en función de una tabla de datos característica del actuador electromagnético, estando la tabla de datos previamente registrada en el dispositivo electrónico de control (40) y definiendo una relación biyectiva entre la posición (x) del núcleo (34), el flujo magnético (\emptyset) y la corriente de bobina (I_{BOB}).

2. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que la etapa (112) de cálculo del flujo magnético (\emptyset) comprende una subetapa inicial denominada de autocorrección (108), seguida de una subetapa de cálculo (110), consistiendo la subetapa de autocorrección en, mientras la corriente de la bobina (I_{BOB}) sea superior a un umbral bajo (I_1), a su vez estrictamente superior a una corriente llamada de "desenganche" (I_S) por debajo de la cual el núcleo móvil (34) es empujado de nuevo a la posición abierta por un miembro de retorno (36) del actuador electromagnético (30), evaluar y registrar un valor inicial del flujo magnético (\emptyset), denominado "flujo inicial" (\emptyset_0), de manera que cuando la corriente de la bobina (I_{BOB}) disminuya por debajo de la corriente de desenganche (I_D), el cálculo por integración del flujo magnético (\emptyset) durante la fase de cálculo (110) tenga en cuenta el valor del flujo inicial (\emptyset_0).

3. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que el dispositivo electrónico de control (40) está configurado para, cuando el aparato de conmutación (1) está en estado cerrado, variar la tensión de la bobina (U_{BOB}) de modo que la corriente de la bobina (I_{BOB}) varíe entre el umbral bajo (I_1) y un umbral alto (I_2), estrictamente mayor que el umbral bajo, y en el que, después de recibir la orden de apertura, el dispositivo electrónico de control ordena al actuador electromagnético (30) que se abra cuando la corriente de la bobina (I_{BOB}) es superior o igual al 80% del umbral alto (I_2), preferentemente superior al 95%, aún más preferentemente superior al 98%.

4. Procedimiento según la reivindicación anterior, en el que la tensión de la bobina (U_{BOB}) varía periódicamente, por ejemplo por corte, variando también periódicamente la corriente de la bobina (I_{BOB}) entre los umbrales bajo (I_1) y alto (I_2), y en el que tras recibir la orden de apertura el dispositivo electrónico de control (40) ordena al actuador electromagnético (30) que se abra a más tardar después de un tiempo predefinido tras recibir la orden de apertura, siendo el tiempo predefinido igual a un período de la tensión de la bobina (U_{BOB}).

5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo electrónico de control (40) está configurado para calcular un tiempo denominado "de caída" (Δt), igual al tiempo transcurrido entre el instante en que el dispositivo electrónico de control ordena al actuador electromagnético (30) que se abra y el instante en que el actuador electromagnético se encuentra en la posición abierta.

6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el procedimiento comprende una etapa (116) que consiste en calcular, por derivación temporal de los valores de posición (x) del aparato de conmutación (1) registrados en el dispositivo electrónico de control (40), un perfil de velocidad (v) de movimiento del aparato de conmutación y un perfil de aceleración (a) del aparato de conmutación, y registrar los perfiles de velocidad y aceleración del aparato de conmutación en el dispositivo electrónico de control (40).

7. Procedimiento según la reivindicación precedente, en el que el procedimiento comprende una etapa (118) que consiste en calcular un valor de velocidad denominado de "separación" ($V1, V2, V3$), igual a una velocidad (v) de desplazamiento del núcleo (34) cuando el núcleo se encuentra en una posición denominada de "aplastamiento máximo" correspondiente a un desplazamiento del núcleo desde su posición cerrada hasta su posición abierta, sustancialmente igual a 2 mm.

8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 ó 7, en el que el procedimiento comprende una etapa (118) consistente en detectar, durante la fase de apertura del aparato de conmutación (1), un mínimo local (92, 96) de la velocidad (v) del núcleo (34) entre el inicio del movimiento del núcleo y el momento en que el núcleo se detiene en la posición abierta.

5 9. Aparato de conmutación eléctrica (1) para llevar a cabo un procedimiento de diagnóstico según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, comprendiendo el aparato de conmutación:

- contactos separables (24, 28), desplazados entre una posición abierta y una posición cerrada por un actuador electromagnético (30) que comprende una bobina (32) y un núcleo móvil (34) unido a los contactos separables; teniendo el aparato de conmutación una estructura que limita la generación de corrientes de inducción;
- 10 - un circuito de control (51) para controlar la tensión eléctrica en los terminales de la bobina (32), denominada "tensión de la bobina" (U_{BOB}); comprendiendo el circuito de control un dispositivo llamado de "caída" (Dz) que puede activarse selectivamente para hacer que disminuya la corriente eléctrica que circula por la bobina (32), denominada "corriente de la bobina" (I_{BOB}); activándose o desactivándose la tensión de la bobina y el dispositivo de caída en función de los estados del circuito de control (51);
- 15 - sensores (Rsh, 50) para medir la corriente y la tensión de la bobina;
- un dispositivo electrónico de control (40), configurado para recibir órdenes de apertura y cierre del aparato de conmutación, para recibir los valores de las mediciones de corriente y tensión de la bobina y para controlar los estados del circuito de control;

20 en el que el aparato de conmutación está configurado para realizar un procedimiento de diagnóstico que comprende las etapas de:

- a) recibir (102) una orden de apertura procedente del aparato de conmutación;
- b) controlar (104) la apertura del actuador electromagnético (30);
- c) medir y registrar (106) los valores de tensión (U_{BOB}) y corriente (I_{BOB}) de la bobina;
- 25 d) calcular y registrar (112) los valores de un flujo magnético (\emptyset) que atraviesa la bobina (32), integrando los valores registrados de la corriente de la bobina, la tensión de la bobina y los valores, previamente registrados en el dispositivo electrónico de control, de la resistencia (R_{BOB}) y la inductancia (L_{BOB}) de la bobina;
- e) evaluar y registrar (114) las posiciones (x) del núcleo (34) en función de una tabla de datos característica del actuador electromagnético (30), estando la tabla de datos previamente registrada en el dispositivo electrónico y definiendo una relación biyectiva entre la posición (x) del núcleo (34), el flujo magnético (\emptyset) y la corriente de la
- 30 bobina (I_{BOB}).

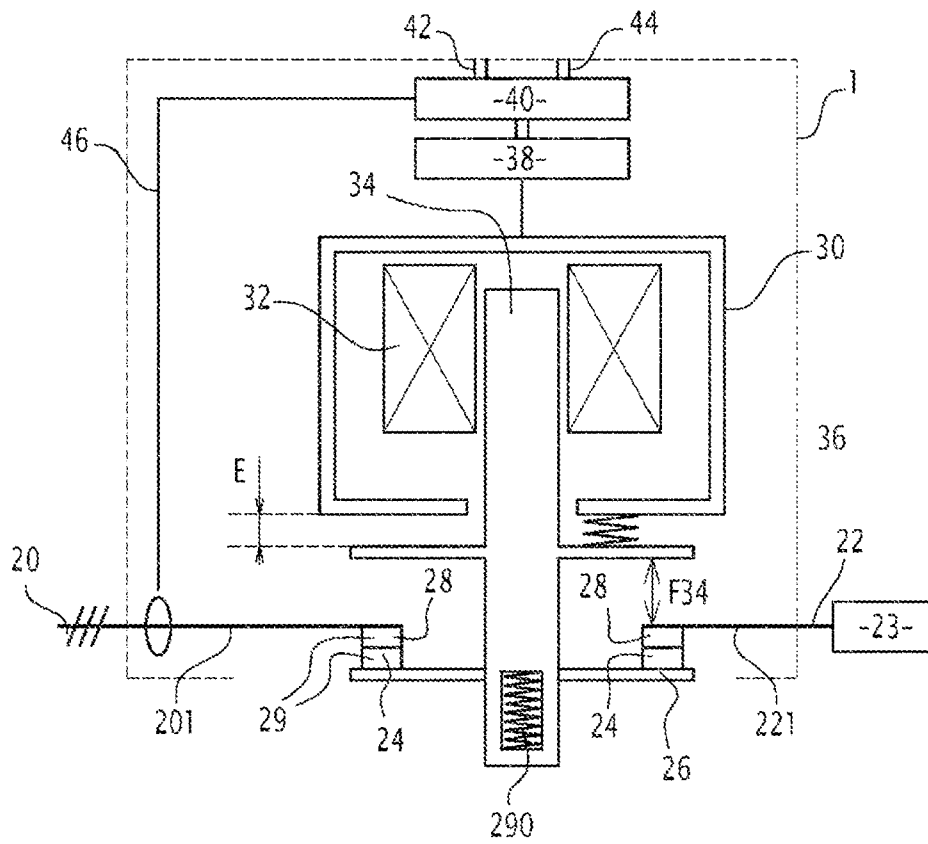


FIG. 1

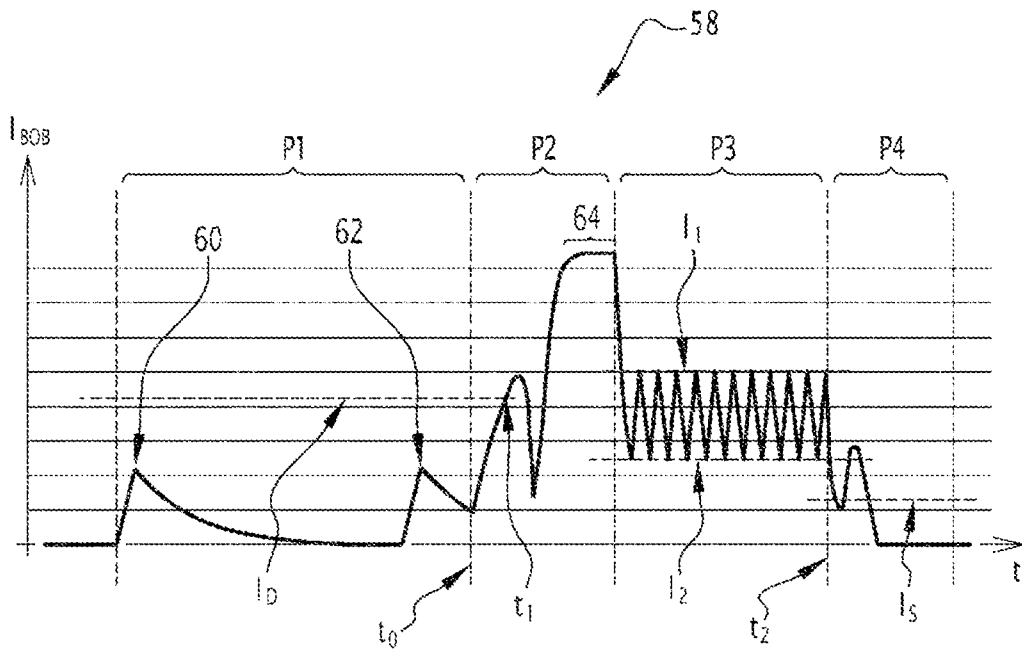


FIG.3

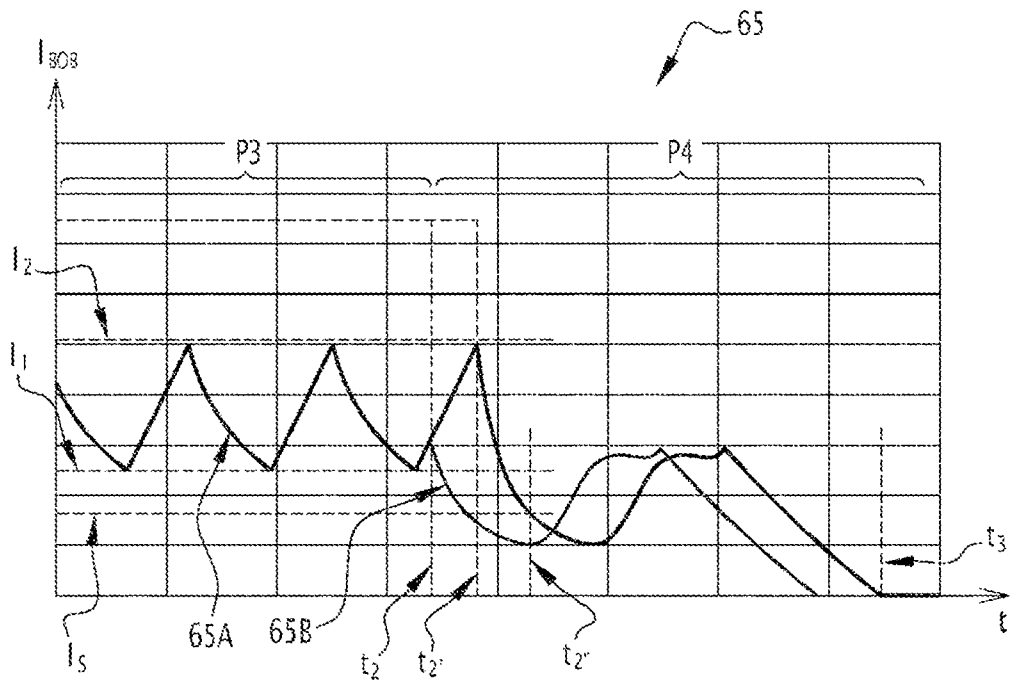


FIG.4

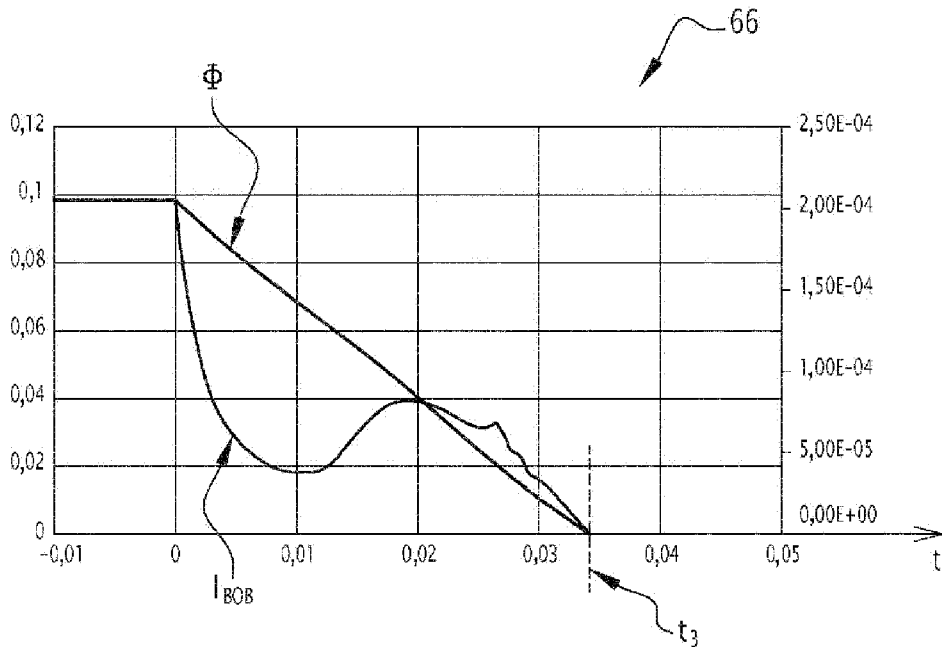


FIG.5

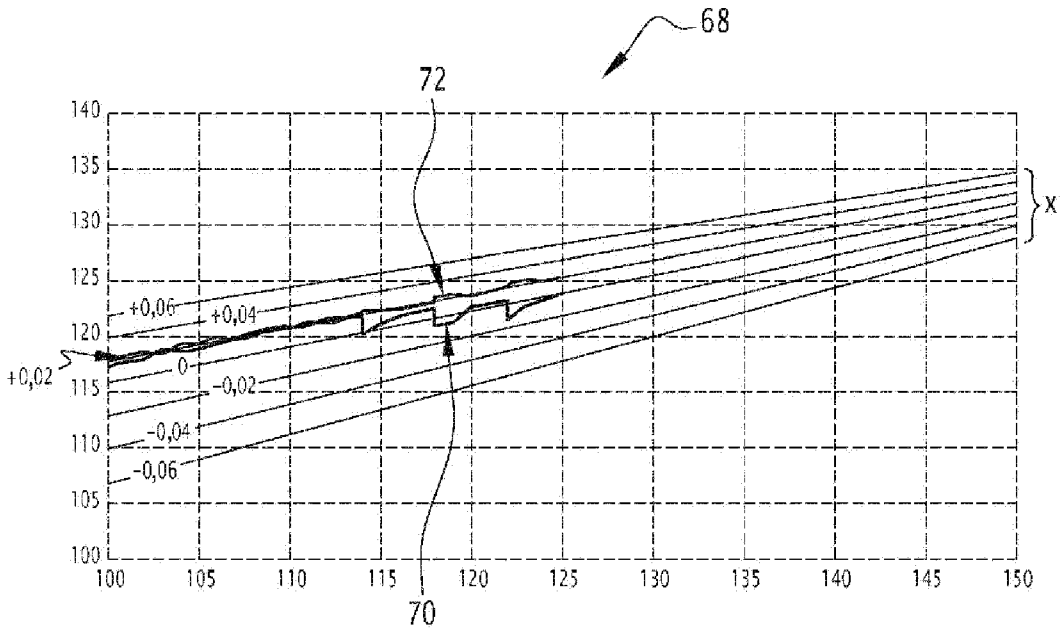


FIG.6

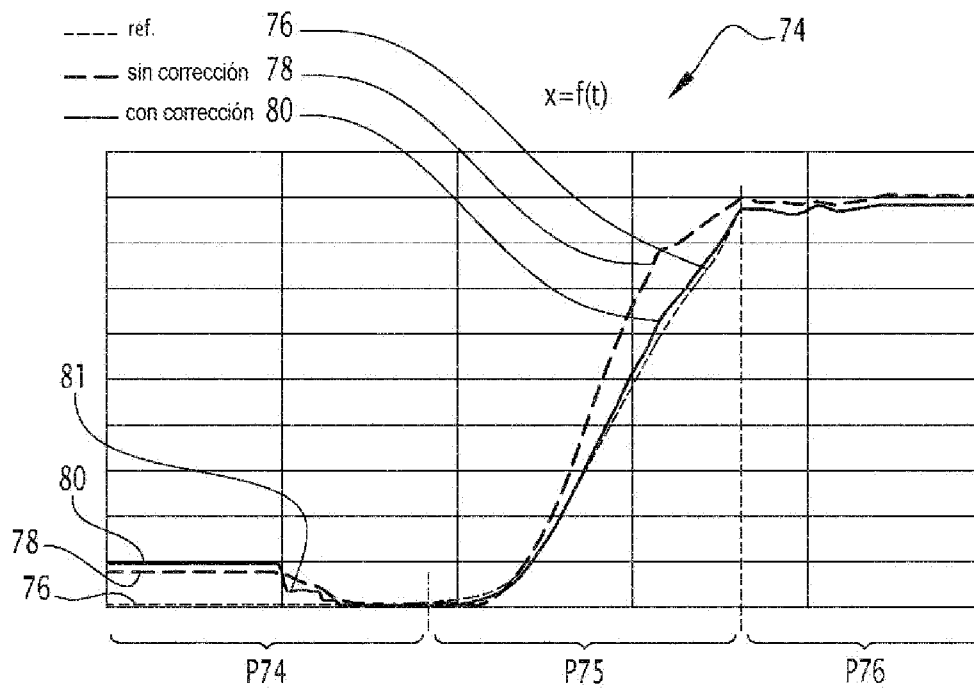


FIG.7

Sensibilidad de Φ por mm de espacio de aire vs. NI

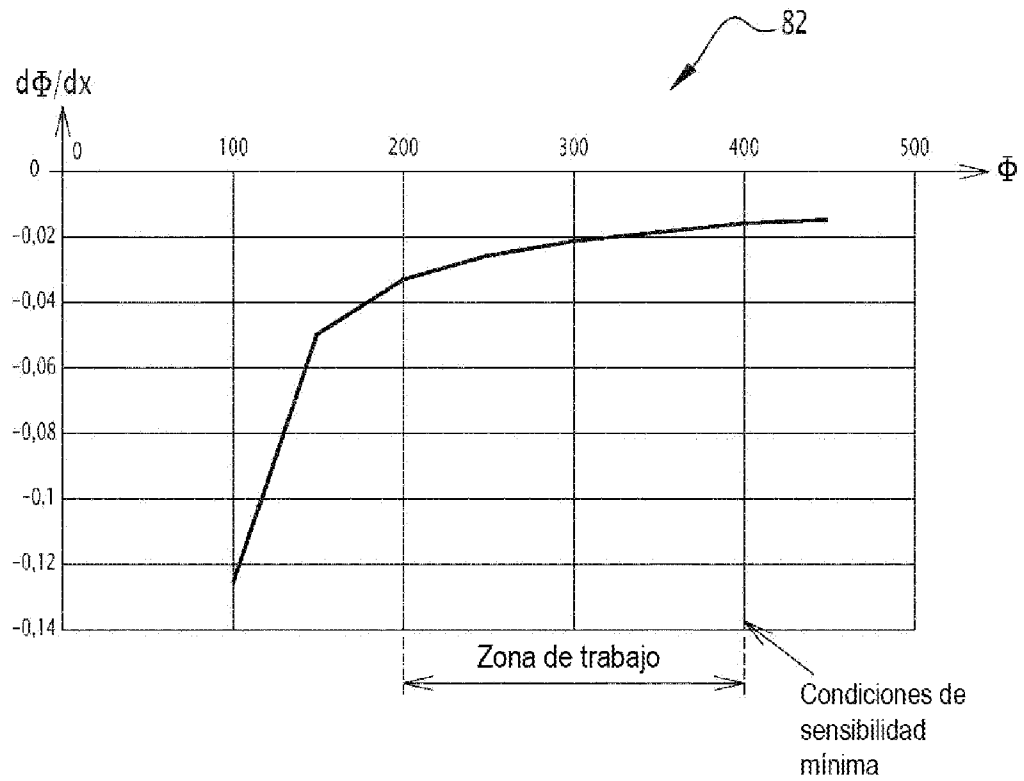


FIG.8

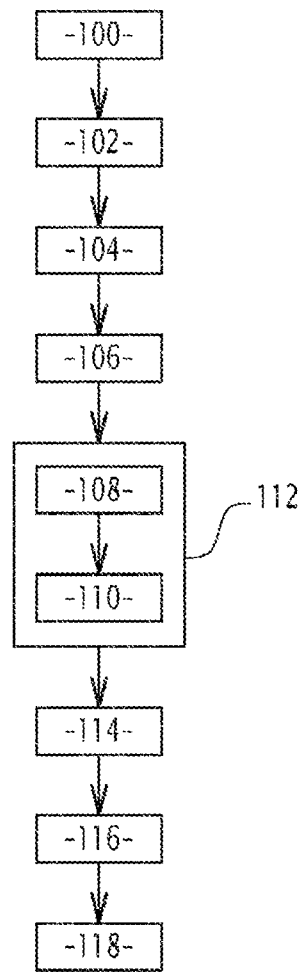


FIG.9

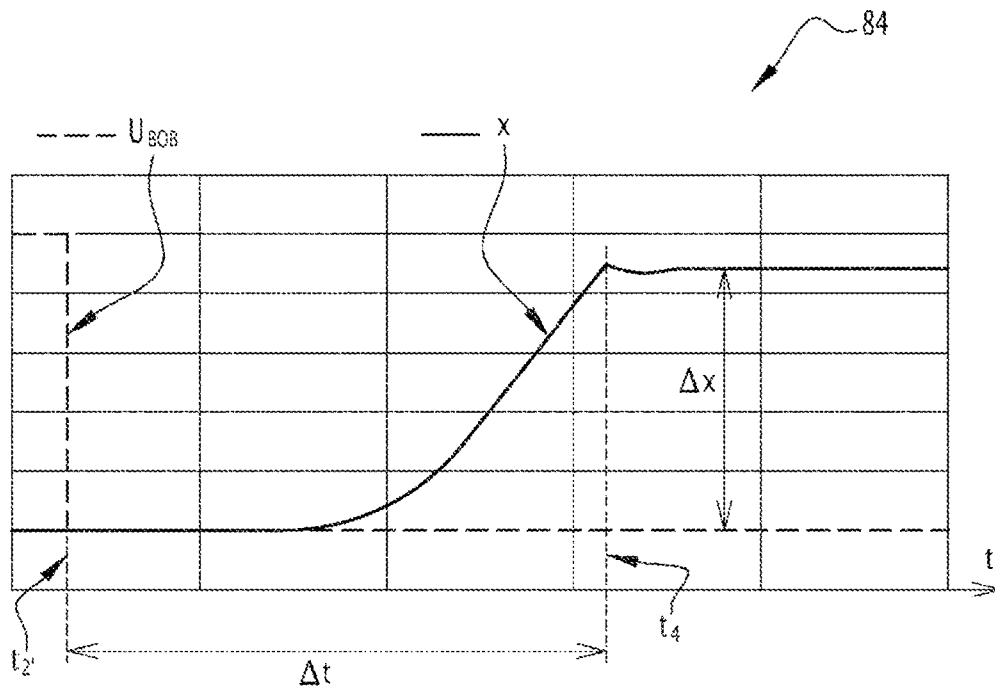


FIG.10

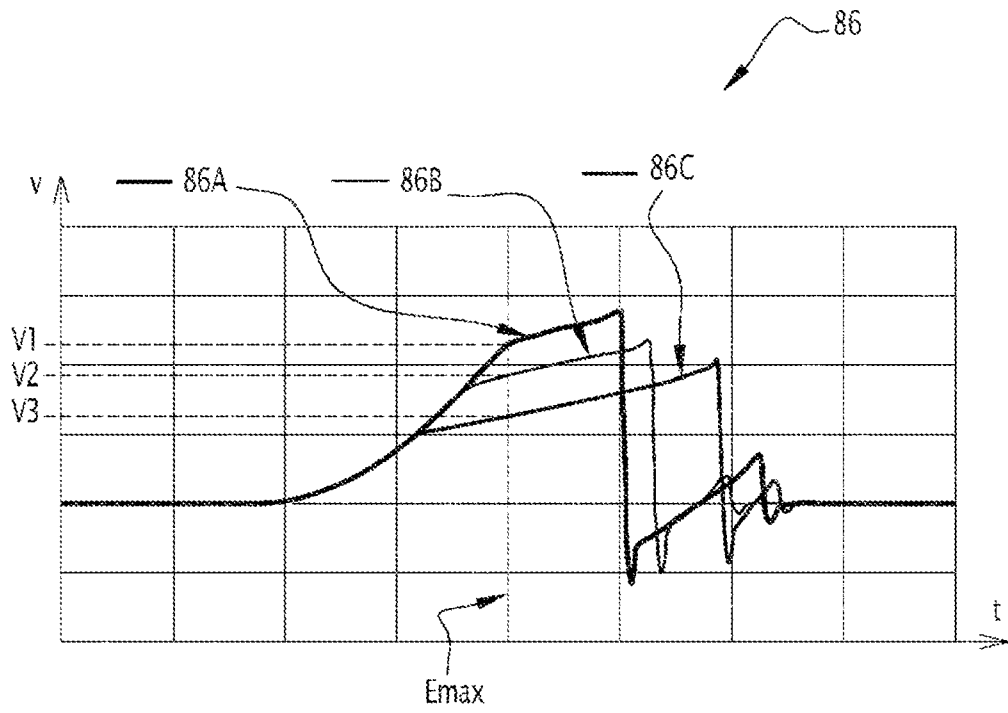


FIG.11

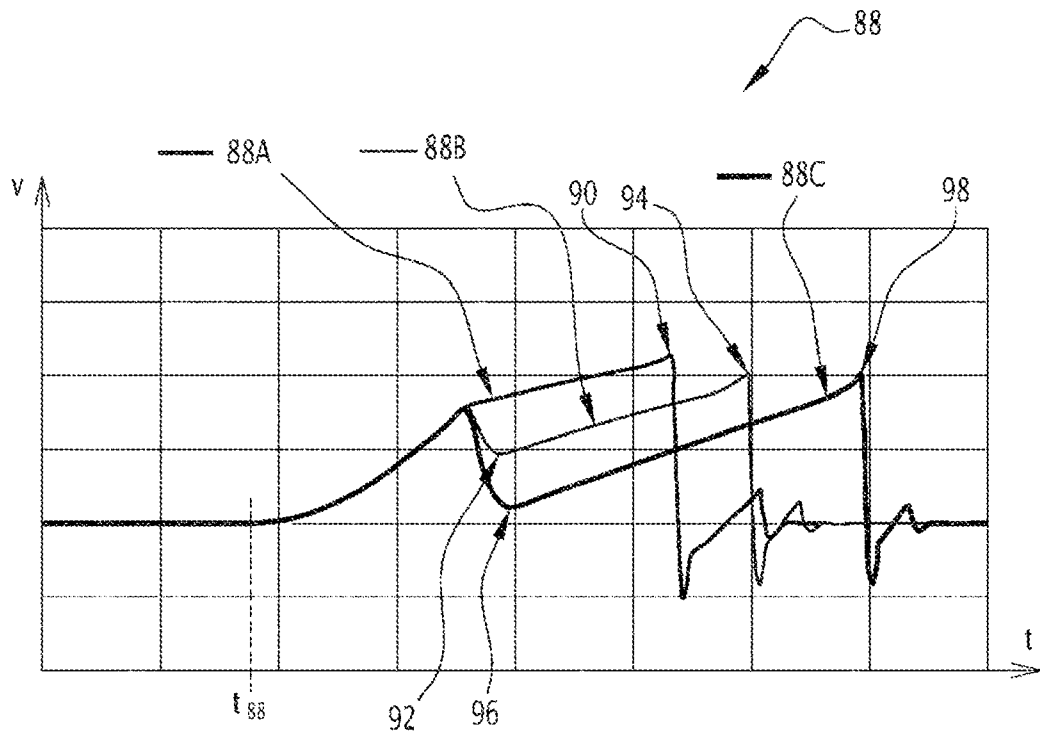


FIG.12