

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 785 665**

51 Int. Cl.:

G21C 7/12 (2006.01)
G21C 7/18 (2006.01)
G21C 7/36 (2006.01)
G21C 9/00 (2006.01)
G01R 23/00 (2006.01)
H02P 8/28 (2006.01)
G05B 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.04.2017 PCT/EP2017/058931**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **19.10.2017 WO17178588**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.04.2017 E 17716278 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2020 EP 3443560**

54 Título: **Mecanismo de arrastre de absorbentes de control de reactor nuclear, procedimiento de vigilancia y reactor nuclear correspondientes**

30 Prioridad:

15.04.2016 FR 1653366

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.10.2020

73 Titular/es:

**SOCIÉTÉ TECHNIQUE POUR L'ENERGIE
ATOMIQUE (100.0%)
Route de Saint-Aubin, Lieudit Les Hautes Rives
91190 Villiers Le Bacle, FR**

72 Inventor/es:

**MATHIEU, JÉRÉMY y
BRUN, MICHEL**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 785 665 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

Mecanismo de arrastre de absorbentes de control de reactor nuclear, procedimiento de vigilancia y reactor nuclear correspondientes

5

[0001] La invención se refiere en general a los mecanismos de arrastre de absorbentes de control de un reactor nuclear.

[0002] Más en concreto, la invención se refiere según un primero aspecto a un mecanismo de arrastre de al menos un absorbente de control de un reactor nuclear, siendo el mecanismo del tipo que comprende:

- al menos un motor eléctrico de tipo paso a paso que comprende un estator que tiene al menos fases primera, segunda y tercera y un rotor;
- una alimentación eléctrica, conectada eléctricamente con cada una de las fases primera, segunda y tercera del estator;
- un control de la alimentación eléctrica, programado para que la alimentación eléctrica suministre a cada una de las fases primera, segunda y tercera impulsos eléctricos a una frecuencia actual, formando cada impulso eléctrico un paso de control de forma adaptada al control del motor, estando el rotor desplazado por unidad de tiempo un número de pasos de rotación en función de dicha frecuencia;
- una cadena cinemática dispuesta para acoplar el rotor al absorbente de control, estando la cadena cinemática dispuesta para convertir un movimiento de rotación del rotor en un movimiento de traslación de dicho absorbente de control en el núcleo del reactor, sin posibilidad de deslizamiento.

[0003] Los sucesos de extracción rápida de un absorbente de control están entre los principales incidentes de reactividad en un reactor nuclear. Estos sucesos pueden conllevar una inyección de reactividad en el núcleo del reactor demasiado rápida para ser detectada por las cadenas de medida neutrónica y para ser tratada por el sistema de control de mando central antes de que tenga lugar un accidente de criticidad.

[0004] Fuera de la situación de mantenimiento, la principal causa de dicho suceso es un fallo del control del mecanismo de arrastre o del motor eléctrico.

[0005] Es importante observar que cualquier reactor posee, debido a su diseño, un margen de antirreactividad β tal que la inyección de una reactividad $\Delta\rho_0 < \beta$, en un plazo muy corto, e incluso en escalón, no provoca ninguna consecuencia neutrónica crítica.

35

[0006] Por el contrario, una inyección de reactividad demasiado importante, cuando supera β , provoca una aceleración de la potencia neutrónica muy rápida e incontrolable (paso a criticidad inmediata que conlleva una duplicación de la potencia neutrónica en unos milisegundos).

[0007] Debido a la importancia de las posibles consecuencias, es necesario colocar disposiciones de seguridad de nivel muy elevado, si se quiere excluir en el diseño este suceso.

[0008] Además, la rapidez con la que puede desarrollarse el incidente considerado hace difícil un control a posteriori por observación del flujo neutrónico. El tiempo necesario para implementar medidas correctivas en la detección de un aumento brusco del flujo neutrónico va de unos segundos a varias decenas de segundos, lo que es demasiado largo.

[0009] Este problema se plantea con especial gravedad en el caso de un reactor nuclear diseñado para:

- excluir la eyección de los absorbentes de control bajo el efecto del empuje hidráulico del fluido primario, por ejemplo en caso de ruptura de la tapa si el mecanismo de arrastre está alojado en el exterior de la vasija;
- excluir el ascenso mecánico del absorbente de control, en agresión interna o externa sin que se aplique un esfuerzo en un mecanismo.

[0010] Los reactores integrados de tipo SMR (Small and Modular Reactor, o reactor pequeño y modular) están diseñados de esta forma, con vistas a mejorar la seguridad. Normalmente, incluyen mecanismos de arrastre sumergidos, desprovistos de penetración de la tapa. En consecuencia, las inyecciones de reactividad asociadas a fallos del control del mecanismo de arrastre ya no están cubiertas por el suceso envolvente de eyección de los haces de control.

60

[0011] Existen varias soluciones técnicas para controlar la velocidad de ascenso de los absorbentes de control.

[0012] Una primera posibilidad consiste en usar mecanismos de trinquetes. Estos mecanismos se usan desde hace tiempo en numerosos reactores nucleares. Limitan mecánicamente la velocidad de desplazamiento de los absorbentes. Se describe una versión sumergida de un mecanismo de trinquetes en el documento US 2012/148007.

65

Dichos mecanismos sumergidos presentan inconvenientes importantes: son complejos mecánicamente y presentan una dimensión radial importante.

5 **[0013]** También es posible usar motores rotativos de corriente continua. El control de la velocidad nominal y de la sobrevelocidad de desplazamiento de los absorbentes se asegura mediante dispositivos analógicos que limitan la tensión aplicada al motor. En dicho mecanismo, la velocidad de ascenso del absorbente depende del par. En consecuencia, el punto de funcionamiento del mecanismo puede evolucionar en el curso del tiempo con la tensión, el rendimiento de los reductores, los rozamientos, etc. Así es necesario tener en cuenta un margen importante entre la velocidad nominal y la sobrevelocidad en los estudios de seguridad, normalmente un factor de 3. Este hecho penaliza el pilotaje del reactor.

15 **[0014]** Es posible asimismo usar motores rotativos de corriente alterna. En este caso, el control de la sobrevelocidad se asegura por la garantía de una frecuencia de la red perfectamente limitada, normalmente de 50 o 60 hercios. Esto plantea problemas en algunos países o para determinados lugares, en los que la frecuencia de la red no está perfectamente controlada.

20 **[0015]** Para los dos tipos de mecanismo de motor rotativo, el principio para evitar el suceso considerado anteriormente consiste en controlar la velocidad de ascenso de los absorbentes con fallo, y verificar que la inyección de reactividad asociada $\Delta\rho_0$ durante el plazo de reacción de las cadenas de control de la reactividad del control de mando central del reactor nuclear, permanece por encima del umbral de criticidad inmediata β , con un margen significativo correspondiente a las opciones de diseño.

[0016] Este enfoque plantea dos problemas.

25 **[0017]** La velocidad real de ascenso de los absorbentes depende de la relación entre el par motor y el par resistente, y por tanto es una función compleja de múltiples parámetros: masa, rendimiento de los reductores, rozamiento, tensión de alimentación, etc.

30 **[0018]** Estos parámetros evolucionan en el tiempo. Así es necesario tomar márgenes de seguridad que penalizan la capacidad de conciliar una velocidad de descenso rápida, y una velocidad de ascenso máxima limitada.

35 **[0019]** Además, cuando el flujo neutrónico es bajo, el plazo de respuestas de las cadenas del control de mando central es elevado. Este plazo de respuestas está comprendido normalmente entre varios segundos y varias decenas de segundos.

[0020] El documento JP H05-312982 describe un mecanismo de arrastre de un absorbente de control que incluye un motor paso a paso. El mecanismo de arrastre comprende un dispositivo que cuenta el número de impulsos de control enviados al generador PWM.

40 **[0021]** Finalmente, se conoce por el documento US 4 777 010 un mecanismo de arrastre de al menos un absorbente de control en el que el absorbente es desplazado por un motor eléctrico de tipo paso a paso.

[0022] En este contexto, la invención pretende proponer un mecanismo de arrastre que no presente los defectos mencionados anteriormente.

45 **[0023]** Para este fin, la invención se refiere a un mecanismo de arrastre del tipo citado anteriormente, caracterizado porque el mecanismo de arrastre comprende un dispositivo de vigilancia de una situación potencial de ascenso en sobrevelocidad del absorbente, comprendiendo el dispositivo de vigilancia al menos dos unidades de vigilancia independientes entre sí, cada una conectada a los bornes de una de las fases primera, segunda y tercera, estando cada unidad de vigilancia configurada para:

- medir el número de pasos de control suministrados a dicha fase durante una ventana de tiempo de duración predeterminada o el número de pasos de rotación del rotor durante una ventana de tiempo de duración predeterminada;
- 55 - comparar el número de pasos de control medidos con un máximo predeterminado o el número de pasos de rotación medidos con un máximo predeterminado.

60 **[0024]** En un motor paso a paso, cualquier suceso que afecta al par motor (tensión aplicada, corriente...) y/o el par resistente (modificación del rendimiento de la cadena cinemática, fenómeno hidráulico que interviene en el interior de la vasija del reactor, ...) tiene una consecuencia solo en la velocidad de realización de un solo paso. Por el contrario, la velocidad macroscópica en varios pasos solo depende de la frecuencia del control, de manera que permanece suficientemente bajo para que el motor no se desconecte.

65 **[0025]** Por construcción, el motor no puede así girar más deprisa que la frecuencia impuesta por el control, más allá, en el peor de los casos, de algunos pasos del motor. La cadena cinemática, además, está diseñada para acoplar

el motor al absorbente sin posibilidad de deslizamiento. En consecuencia, la frecuencia de los impulsos eléctricos es con toda seguridad una imagen superior de la velocidad media de ascenso del absorbente en varios pasos. El número de impulsos eléctricos suministrados a cada fase durante una ventana de tiempo de duración predeterminada, o el número de pasos de rotación del rotor durante la ventana de tiempo de duración predeterminada, constituye así una
5 indicación segura, superior, del desplazamiento del absorbente. Si este número de impulsos eléctricos o este número de pasos supera un máximo predeterminado, se tiene una presunción de rotación demasiado rápida del motor y por tanto de velocidad demasiado elevada de ascenso del absorbente.

[0026] Dicho enfoque permite una acción de seguridad en bucle corto, debido a que se mide un parámetro
10 representativo del control, y no la evolución efectiva de la potencia neutrónica. La acción de seguridad puede realizarse en un tiempo muy corto comparado con las velocidades de inyección operativas de reactividad. Así, es posible interrumpir la alimentación eléctrica del motor en algunos cientos de milisegundos.

[0027] La reactividad total inyectada antes del corte de la alimentación eléctrica depende por tanto poco de las
15 hipótesis realizadas sobre las velocidades máximas de movimiento posibles para el ascenso o el descenso, y produce por tanto grandes márgenes

en la definición de la motorización, como se expone más adelante.

[0028] Además el mecanismo de arrastre puede representar una o varias de las características mostradas a
20 continuación, consideradas de forma individual o según cualquier combinación técnicamente posible:

- el dispositivo de vigilancia comprende al menos unidades de vigilancia primera, segunda y tercera independientes
25 unas de otras, conectadas a los bornes respectivamente de las fases primera, segunda y tercera, estando la primera unidad y la segunda unidad configuradas cada una para medir el número de pasos de control durante la ventana de tiempo de duración predeterminada, y para cortar la alimentación eléctrica en caso de que se supere el máximo predeterminado;

estando la tercera unidad configurada para medir el número de pasos de rotación del rotor durante la ventana de
30 tiempo de duración predeterminada, y para cortar la alimentación eléctrica en caso de que se supere el máximo predeterminado;

- las unidades primera y segunda incluyen cada una al menos uno de los circuitos siguientes:

* un circuito lógico configurado para contar el número de impulsos eléctricos suministrados respectivamente a la
35 primera fase o a la segunda fase;

* un circuito analógico configurado para contar el número de impulsos eléctricos suministrados respectivamente a la primera fase o a la segunda fase;

* un circuito lógico o analógico de comparación de los impulsos eléctricos suministrados respectivamente a la primera fase o a la segunda fase con un perfil predeterminado;

40 - la tercera unidad está configurada para detectar el cruce de un paso de rotación por el rotor mediante la medida de la impedancia en los bornes de la tercera fase del estator;

- el dispositivo de vigilancia comprende, como complemento de las unidades primera y segunda de vigilancia, una primera y/o una segunda unidad de medida configurada para medir una impedancia en los bornes de la primera o
45 segunda fase respectivamente, y una unidad que usa la medida de la impedancia en los bornes de al menos dos de las fases primera, segunda y tercera para determinar la posición del absorbente;

- las unidades primera, segunda y tercera están configuradas para cortar la alimentación eléctrica actuando respectivamente sobre los interruptores primero, segundo y tercero independientes unos de otros si el número de pasos de control o el número de pasos de rotación supera el máximo predeterminado correspondiente;

50 - la cadena cinemática está configurada para que el número máximo de impulsos eléctricos o de pasos de rotación conlleve una contribución de reactividad inferior a un límite de antirreactividad (β) que excluye un accidente de criticidad inmediato predeterminado del reactor, menos un margen predeterminado por análisis de seguridad; y

- la cadena cinemática asegura el mantenimiento de la posición incluso con un corte de la alimentación del motor.

[0029] Según un segundo aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de vigilancia de una situación
55 potencial de ascenso en sobrevelocidad de un absorbente de control de un reactor nuclear equipado con un mecanismo de arrastre de dicho absorbente de control que comprende:

- al menos un motor eléctrico de tipo paso a paso que comprende un estator que tiene al menos fases primera, segunda y tercera y un rotor;

60 - una alimentación eléctrica, conectada eléctricamente con cada una de las fases primera, segunda y tercera del estator;

- un control de la alimentación eléctrica, programado para que la alimentación eléctrica suministre a cada una de las fases primera, segunda y tercera impulsos eléctricos a una frecuencia actual, formando cada impulso eléctrico un paso de control de forma adaptada al control del motor, estando el rotor desplazado por unidad de tiempo un número de

65 pasos de rotación en función de dicha frecuencia;

- una cadena cinemática dispuesta para acoplar el rotor al absorbente de control, estando la cadena cinemática dispuesta para convertir un movimiento de rotación del rotor en un movimiento de traslación de dicho absorbente en el núcleo del reactor, sin posibilidad de deslizamiento;

5 comprendiendo el procedimiento al menos dos etapas de vigilancia independientes entre sí, comprendiendo cada etapa de vigilancia las operaciones siguientes:

- medir en los bornes de una de las fases primera, segunda y tercera el número de pasos de control suministrados a dicha fase durante una ventana de tiempo de duración predeterminada o el número de pasos de rotación del rotor

10 durante una ventana de tiempo de duración predeterminada;

- comparar el número de pasos de control medidos con un máximo predeterminado o el número de pasos de rotación medidos con un máximo predeterminado.

[0030] Además el procedimiento de vigilancia puede representar una o varias de las características siguientes:

15

- el procedimiento de vigilancia comprende:

* etapas primera y segunda de vigilancia durante las cuales respectivamente el número de pasos de control suministrados a las fases primera y segunda durante la ventana de tiempo de duración predeterminada se mide

20

en los bornes de dicha fase, estando la alimentación eléctrica cortada en caso de que se supere el máximo predeterminado;

* una tercera etapa de vigilancia en el curso de la cual el número de pasos de rotación del rotor durante la ventana

de tiempo de duración predeterminada se mide en los bornes de la tercera fase, estando la alimentación eléctrica

cortada en caso de que se supere el máximo predeterminado;

25

- en las etapas primera y segunda de vigilancia, el número de pasos de control respectivamente suministrados a la primera fase y a la segunda fase se cuenta detectando los frentes de tensión o los frentes de corriente;

- en la tercera etapa de vigilancia, el número de pasos de rotación del rotor se cuenta midiendo una impedancia en los bornes de la tercera fase;

30

- el procedimiento comprende, además de las etapas primera y segunda de vigilancia, una primera y/o una segunda etapa de medida durante las cuales respectivamente el número de pasos de rotación del rotor se cuenta midiendo una impedancia en los bornes de la primera y la segunda fase, comprendiendo el procedimiento una etapa de determinación de la posición del absorbente que usa la medida de la impedancia en los bornes de al menos dos de las fases primera, segunda y tercera;

35

- en el curso de las etapas primera, segunda y tercera, la alimentación eléctrica del motor eléctrico se corta actuando respectivamente sobre los interruptores primero, segundo y tercero independientes unos de otros si el número de impulsos eléctricos o el número de pasos de rotación supera el máximo predeterminado correspondiente y

- la cadena cinemática está configurada para que el número máximo de impulsos eléctricos o de pasos de rotación conlleve una contribución de reactividad inferior a un límite de antirreactividad que excluye un accidente de criticidad

40

inmediato predeterminado del reactor menos un margen predeterminado por los análisis de seguridad.

[0031] Según un tercer aspecto, la invención se refiere a un reactor nuclear equipado con mecanismos de arrastre de absorbentes de control que tiene las características anteriores.

45 **[0032]**

Otras características y ventajas de la invención se desprenderán de la descripción detallada que aparece a continuación, a título indicativo y en absoluto limitativo, en referencia a las figuras anexas, entre las que:

- la figura 1 es una representación esquemática de un mecanismo de arrastre de un absorbente de control de un reactor nuclear de acuerdo con una primera realización de la invención;

50

- la figura 2 es una representación esquemática de la primera unidad del dispositivo de vigilancia del mecanismo de la figura 1;

- la figura 3 ilustra la forma de las señales eléctricas en los puntos a y b de la primera unidad representada en la Figura 2;

- la figura 4 es una representación esquemática de la segunda unidad del dispositivo de vigilancia de la figura 1;

55

- la figura 5 representa la forma de las señales eléctricas en los puntos a, b y c de la segunda unidad representada en la figura 4;

- la figura 6 es una representación esquemática de la tercera unidad del dispositivo de vigilancia de la figura 1; y

- la figura 7 es una representación esquemática similar a la de la figura 1, para una segunda realización de la invención que incluye una unidad de determinación de la posición del absorbente.

60

[0033] El mecanismo de arrastre 1 representado en la figura 1 está destinado a desplazar un absorbente 3 de control de un reactor nuclear.

[0034] Un reactor nuclear incluye normalmente una vasija y un núcleo dispuesto en la vasija. El núcleo incluye una pluralidad de conjuntos de combustible nuclear. El reactor nuclear incluye además un gran número de absorbentes

de control, desplazables en el núcleo del reactor nuclear de manera que se controle el flujo neutrónico emitido por los conjuntos de combustible nuclear. Estos absorbentes se designan por ejemplo por el nombre de haces de control o «control rod». Están hechos de un material absorbente de neutrones.

- 5 **[0035]** Cada absorbente de control está asociado a un mecanismo de arrastre, que está previsto para desplazar el absorbente con respecto a los conjuntos de combustible según una dirección generalmente vertical.
- [0036]** El reactor nuclear es normalmente un reactor de agua a presión (PWR en inglés), o un reactor de agua en ebullición (BWR en inglés).
- 10 **[0037]** Como variante, es de cualquier otro tipo adaptado.
- [0038]** Por ejemplo, el reactor nuclear es de tipo SMR.
- 15 **[0039]** Normalmente, este reactor nuclear es del tipo que excluye por diseño la eyección de absorbentes bajo el efecto del empuje hidráulico del fluido primario, y el ascenso mecánico de agresión interna o externa sin que se aplique un esfuerzo al mecanismo. Preferentemente, el reactor es del tipo desprovisto de penetración de la tapa, estando los mecanismos de arrastre enteramente sumergidos en la vasija.
- 20 **[0040]** Como se ilustra en la figura 1, el mecanismo 1 comprende al menos un motor eléctrico 5 de tipo paso a paso provisto de un estator 7 y de un rotor 9, una alimentación eléctrica 11, un control 13 de la alimentación eléctrica 11 y una cadena cinemática 15 dispuesta para acoplar el rotor 9 al absorbente de control 3, sin posibilidad de deslizamiento.
- 25 **[0041]** Normalmente, el mecanismo 1 incluye un motor eléctrico único para cada absorbente 3.
- [0042]** Los motores de tipo paso a paso son conocidos y no se describirán aquí en detalle. El motor eléctrico 5 es de cualquier tipo adaptado, por ejemplo es un motor de reluctancia variable, o un motor de imán permanente o un motor híbrido.
- 30 **[0043]** El estator 9 incluye al menos tres fases 17, 19, 21, o más de tres fases.
- [0044]** El rotor 9 incluye una pluralidad de dientes 23.
- 35 **[0045]** La alimentación eléctrica 11 está conectada eléctricamente con cada una de las fases del estator 7, especialmente en las fases primera, segunda y tercera 17, 19 y 21.
- [0046]** El control 13 se programa para que la alimentación eléctrica 11 suministre a cada una de las fases primera, segunda y tercera 17, 19, 21 impulsos eléctricos a una frecuencia actual. Cada impulso eléctrico forma un
- 40 paso de control, de forma adaptada al control del motor. Los impulsos eléctricos son por ejemplo segmentos rectangulares como se representa en las figuras, aunque como variante tienen formas diferentes de segmentos rectangulares.
- [0047]** Normalmente, el control 13 se programa para que la alimentación eléctrica suministre impulsos
- 45 eléctricos sucesivamente a las fases primera, segunda y tercera 17, 19, 21. Cada impulso eléctrico provoca normalmente el desplazamiento en rotación del rotor. El número de pasos de control, es decir, el número de impulsos necesario para efectuar una vuelta completa de rotor, depende del número de fases, del número de dientes 23 y de la forma del control.
- 50 **[0048]** El paso de rotación del rotor está relacionado con el paso de control por una relación fija dependiente solo de la estructura del motor: número de dientes 23 del rotor, número de fases (en este caso 3) y número de bobinas por fase. Normalmente, un paso de control acciona el rotor en rotación en un paso de rotación. El número de pasos de control es así igual teóricamente al número de pasos de rotación del rotor. Como variante, por ejemplo para
- 55 controles complejos, un paso de control acciona el rotor en rotación en más o menos de un paso de rotación. El número de pasos de control no es igual al número de pasos de rotación del rotor.
- [0049]** Así, el rotor 9 es desplazado en rotación por unidad de tiempo un número de pasos de rotación que es función de la frecuencia actual.
- 60 **[0050]** La cadena cinemática 15 está dispuesta para convertir el movimiento de rotación del rotor 9 en un movimiento de traslación del absorbente 3 en el núcleo del reactor. Es de cualquier tipo adaptado para no permitir un deslizamiento (por ejemplo, tornillo/tuerca).
- [0051]** Preferentemente, la cadena cinemática 15 asegura el mantenimiento en posición del absorbente sin que sea necesario mantener un par motor. Normalmente, si se corta la alimentación eléctrica 11 del motor, el absorbente

de control 3 permanece en su lugar y no es arrastrado hacia abajo por su peso. Existen varias soluciones típicas para alcanzar esta propiedad. Por ejemplo, previendo en la cadena cinemática 15 un miembro de arrastre de tipo tornillo/tuerca, con un paso elegido para que sea irreversible. Otra solución es la inclusión en la cadena cinemática de un freno (por ejemplo, de rozamiento o un freno de histéresis).

5

[0052] La alimentación eléctrica 11 incluye seccionadores primero y segundo 25 y 27. El motor eléctrico 5 es alimentado eléctricamente cuando los seccionadores primero y segundo 25, 27 están en posición cerrada. La transmisión de potencia eléctrica hacia el motor 5 se interrumpe si uno u otro de los seccionadores está abierto.

10 **[0053]** Los seccionadores primero y segundo 25, 27 son independientes uno del otro y de tecnologías diferentes entre sí. Normalmente están siempre cerrados. Por ejemplo, el primer seccionador 25 es un relé con pérdida de tensión, y el segundo seccionador 27 es un interruptor estático.

15 **[0054]** El control 13 es normalmente de diseño convencional. Incluye una base de tiempo propia 29, que permite calibrar la duración y la frecuencia de repetición de los impulsos suministrados por la alimentación eléctrica 11 a las fases primera, segunda y tercera 17, 19, 21. El control 13 recibe órdenes operativas de un miembro de pilotaje 31, que ordena subir o bajar el absorbente de control 3. El control 13 convierte estas órdenes operativas en impulsos eléctricos de control de formas y de frecuencias adaptadas para cada una de las fases primera, segunda y tercera 17, 19, 21 del estator.

20

[0055] El mecanismo 1 incluye además un dispositivo de inhibición 33 interpuesto entre el control 13 y la alimentación eléctrica 11. El dispositivo 33 está configurado para inhibir la transmisión de las órdenes desde el control 13 hacia la alimentación eléctrica 11 en condiciones determinadas que demandan el corte de alimentación del motor 5.

25

[0056] El mecanismo de arrastre 1 comprende un dispositivo 35 de vigilancia de una situación de ascenso potencial en sobrevelocidad del absorbente de control 3. El dispositivo de vigilancia 35 comprende al menos dos unidades de vigilancia independientes entre sí, cada una conectada a los bornes de una de las fases primera, segunda y tercera 17, 19, 21, estando cada unidad de vigilancia configurada para:

30

- medir el número de pasos de control suministrados a dicha fase 17, 19, 21 durante una ventana de tiempo T_{obs} de duración determinada, o medir el número de pasos de rotación del rotor 9 durante una ventana de tiempo de duración predeterminada T'_{obs} ;

35

- comparar el número de pasos de control medidos con un máximo N_{max} predeterminado, o comparar el número de pasos de rotación medidos con un máximo N'_{max} predeterminado.

[0057] Como se explica anteriormente, el número de impulsos eléctricos suministrados a cada fase es una imagen superior del desplazamiento del absorbente de control en el núcleo del reactor. El dispositivo de vigilancia declara una presunción de velocidad excesiva de ascenso del haz si el número de impulsos eléctricos, o el número de pasos de rotación del rotor, supera el máximo predeterminado correspondiente.

40

[0058] Preferentemente, y como se ilustra en la figura 1, el dispositivo de vigilancia 35 comprende al menos unidades de vigilancia primera, segunda y tercera 37, 39, 41, independientes física y funcionalmente unas de otras, conectadas a los bornes respectivamente de las fases primera y segunda y tercera 17, 19 y 21.

45

[0059] La primera unidad 37 está configurada para medir el número de impulsos eléctricos suministrados a la primera fase 17 durante la ventana de tiempo T_{obs} de duración predeterminada, y para cortar la alimentación eléctrica 11 en caso de que se supere el máximo predeterminado N_{max} . Para este fin, la primera unidad 37 está configurada ventajosamente para comparar este número de impulsos eléctricos medidos con el máximo predeterminado N_{max} .

50

[0060] Asimismo, la segunda unidad 39 está configurada para medir el número de impulsos eléctricos suministrados a la segunda fase 19 durante la ventana de tiempo T_{obs} de duración predeterminada, y para cortar la alimentación eléctrica 11 en caso de que se supere el máximo predeterminado N_{max} . Para este fin, la segunda unidad 39 está configurada ventajosamente para comparar el número de impulsos eléctricos medidos con el máximo predeterminado N_{max} .

55

[0061] La tercera unidad 41 está configurada para medir el número de pasos de rotación del rotor 9 durante la ventana de tiempo de duración predeterminada T'_{obs} y para cortar la alimentación eléctrica 11 en caso de que se supere el máximo predeterminado N'_{max} . Para este fin, la tercera unidad 41 está configurada ventajosamente para comparar el número de pasos de rotación medido con el máximo predeterminado N'_{max} .

60

[0062] Así, el dispositivo de vigilancia incluye al menos dos, preferentemente tres, unidades redundantes, independientes unas de otras, cada una capaz de detectar la aparición de un número excesivamente grande de impulsos de control en la ventana de tiempo, o un número excesivamente grande de paso de rotación del rotor en la ventana de tiempo dada.

65

- [0063]** Las tres unidades 37, 39, 41 son de tecnologías diferentes, y poseen, cada una, una base de tiempo propia.
- [0064]** La primera unidad 37 se representa en la figura 2. Incluye un circuito lógico configurado para contar el número de impulsos eléctricos suministrados a la primera fase 17. Trabaja sobre la tensión de los impulsos eléctricos suministrados a la primera fase 17.
- [0065]** La primera unidad 37 presenta una entrada 55 ramificada a los bornes de la primera fase 17. La señal recibida en la entrada 55, representada en la línea superior de la figura 3, se dirige hacia un amplificador 56, que permite conformar la señal medida en los bornes de la primera fase 17. La primera unidad de medida 37 incluye un detector de frente ascendente 57. Se interpone un filtro de paso bajo 58 entre la salida del amplificador 56 y la entrada del detector 57.
- [0066]** El detector 57 detecta los frentes ascendentes de los impulsos eléctricos suministrados por la alimentación eléctrica a la primera fase 17. Es de cualquier tipo adaptado, y usa por ejemplo el esquema clásico que combina una señal con una señal retardada. La señal de salida del detector 57 se ilustra en la línea inferior de la figura 3.
- [0067]** La primera unidad 37 como variante no incluye el amplificador 56 y/o el filtro de paso bajo 58.
- [0068]** La primera unidad 37 incluye un descontador lógico de impulso 59. La salida del detector de frente ascendente 57 está conectada al descontador 59. Este está conectado además a una base de tiempo propia de esta unidad 37, por ejemplo un oscilador 61.
- [0069]** El descontador 59 se recarga con el valor N_{max} periódicamente, estando las recargas separadas por un periodo T_{obs} . El valor del descontador 59 disminuye en 1 cada vez que el detector 57 detecta un frente ascendente, es decir, detecta un impulso eléctrico suministrado a la primera fase. La primera unidad 37 corta la alimentación eléctrica del motor si el descontador 59 llega a cero.
- [0070]** El descontador 59 es por ejemplo un circuito lógico de tipo 74HC590, que implementa contadores binarios de tipo 74HC59.
- [0071]** La segunda unidad 39 se representa en la figura 4. Incluye un circuito analógico configurado para contar el número de impulsos eléctricos suministrados a la segunda fase 19. Normalmente, la segunda unidad 39 trabaja en corriente, es decir, la intensidad de los impulsos eléctricos suministrados a la segunda fase. Como variante, como la primera unidad 37 puede trabajar en tensión.
- [0072]** Más en concreto, la segunda unidad 39 funciona por detección analógica de frente en la corriente de control que alimenta la segunda fase 19, con ayuda de amplificadores operacionales. La base de tiempo es suministrada por el balance de carga-descarga de una capacidad.
- [0073]** La segunda unidad 39 presenta una entrada 63 realizada normalmente por un transformador de corriente.
- [0074]** La segunda unidad 39 incluye además un detector de frente ascendente 67. Este detector es por ejemplo un amplificador montado en comparador a un valor elegido para detectar de manera clara la basculación de control, es decir, los frentes ascendentes de corriente.
- [0075]** Se interpone un filtro de paso bajo 69 antes del detector 67.
- [0076]** Como variante la segunda unidad 39 no incluye el filtro de paso bajo 69.
- [0077]** La segunda unidad 39 incluye un transformador de impulsos 71, cuya entrada está conectada a la salida del detector 67. El transformador de impulsos 71 carga con un valor conocido un circuito RC 73 que sirve de base de tiempo. El circuito RC 73 está conectado además en la entrada de un amplificador 75 montado en modo comparador.
- [0078]** El amplificador 75 se monta de manera que compare la carga media de la capacidad 77 del circuito RC con un umbral predeterminado.
- [0079]** Si el número de impulsos suministrados por el transformador de impulsos 71 por unidad de tiempo, es decir, si el número de frentes ascendentes detectados por el detector 67 es suficientemente bajo por unidad de tiempo, la capacidad 77 se descarga suficientemente entre dos impulsos para que su carga media siga siendo inferior al umbral. En caso contrario, la carga de la capacidad aumenta progresivamente hasta superar el umbral. El amplificador 75 envía entonces una señal que ordena cortar el motor eléctrico 5.
- [0080]** La segunda unidad 39 está dispuesta de tal manera que si se detecta un número N_{max} de frentes

ascendentes durante la ventana de tiempo T_{obs} , entonces la carga de la capacidad 77 supera el umbral predeterminado.

[0081] La forma de la corriente suministrada por la alimentación eléctrica a la segunda fase 19 en función del tiempo se representa en la línea superior de la figura 5. En el ejemplo representado, los tres primeros impulsos I1, I2 e I3 están relativamente separados en el tiempo. Por el contrario, el cuarto impulso I3 está relativamente próximo al tercer impulso y el quinto impulso I5 está asimismo relativamente próximo al cuarto impulso I4. La segunda línea de la figura 5 ilustra la señal en salida del detector 67, en función del tiempo. Se observa que el detector 67 ha detectado cinco frentes ascendentes, representados por los segmentos rectangulares C1 a C5. La carga de la capacidad 77 en función del tiempo se representa en la línea inferior de la figura 5. Se observa que la carga de la capacidad 77 aumenta cada vez que el detector 67 envía un segmento rectangular al transformador de impulsos 71. En la figura 5 aparece que, después de la aparición del segmento rectangular primero o segundo C1, C2, la capacidad tiene tiempo de descargarse enteramente antes de la aparición del segmento rectangular siguiente. Por el contrario, debido a que los segmentos rectangulares C3, C4 y C5 están relativamente más cerca entre sí, la capacidad 77 no se descarga enteramente cuando aparece el segmento rectangular siguiente. Su capacidad aumenta así gradualmente, como se ilustra en la figura 5, cuando se suceden varios impulsos con un intervalo de tiempo más próximo entre ellos. Después de la aparición del segmento rectangular C5, la carga de la capacidad 77 supera el umbral predeterminado.

[0082] Son posibles otros procedimientos de vigilancia de las señales de control como sustitución y/o complemento de las soluciones descritas anteriormente para las unidades de vigilancia 37 y 39. Por ejemplo, la vigilancia se basa en la comparación de la señal de control con un perfil de tensión o de corriente predeterminado. Este procedimiento se adopta normalmente cuando la forma de las señales de control del motor es compleja.

[0083] El principio es asegurar la comparación de la señal de control con envolventes mínimas/máximas garantizando por ejemplo el respeto de la duración de la meseta de tensión alta o baja.

[0084] Según este procedimiento, se compara por ejemplo la duración en el curso de la cual la tensión de la señal de control es superior a un umbral, o inferior a un umbral, o comprendida entre dos umbrales, con valores predeterminados.

[0085] Este procedimiento permite así detectar la frecuencia de las mesetas altas o bajas, y por tanto la frecuencia de los pasos de control.

[0086] La tercera unidad 41 está configurada para medir una impedancia en los bornes de la tercera fase 21. Esta impedancia es diferente según un diente 23 del rotor se presente enfrente de la bobina o de una de las bobinas de la fase 21, o si ninguno de los dientes 23 está situado enfrente de la bobina o de una de las bobinas de la fase 21. La tercera unidad 41 permite así detectar la aparición de un diente 23 del rotor enfrente a una bobina de la fase 21, siendo esta aparición de diente la imagen de la realización efectiva de un paso de rotación del rotor. La tercera unidad 41 permite así contar directamente el número de pasos de rotación del rotor durante la ventana de tiempo de duración predeterminada T_{obs} .

[0087] Como se representa en la figura 6, la tercera unidad 41 incluye una fuente 79 prevista para inyectar una señal alterna en los bornes de la tercera fase 21. Esta señal alterna se superpone al control suministrado por la alimentación 11 a la tercera fase 21. En la figura 6, esta fuente se representa como inyección de corriente, aunque son posibles otras soluciones. Presenta una frecuencia mucho más elevada que la del control suministrado por la alimentación eléctrica 11, por ejemplo, al menos cinco veces más elevada, normalmente diez veces más elevada. La señal alterna inyectada presenta un bajo nivel de potencia, y normalmente se inyecta mediante un transformador o una capacidad.

[0088] La tercera unidad 41 incluye además un filtro pasabanda 81 que recibe en entrada la señal que sale de la tercera fase 21, cuya componente alterna para la frecuencia de inyección depende de la impedancia relacionada con la presencia de un diente o no enfrente de la o las bobinas de la fase 21.

[0089] El filtro pasabanda 81 está centrado en la frecuencia de la señal alterna inyectada.

[0090] La tercera unidad 41 incluye además un miembro 83 de medida de la tensión, en la banda de frecuencia seleccionada por el filtro pasabanda, que da una imagen de la inductancia de la tercera fase. La inductancia es elevada si un diente del rotor está enfrente de la o de una bobina del estator, y es baja si ningún diente del estator está enfrente de una bobina de la tercera fase 21. La señal en salida del miembro 83 es una señal binaria, que vale 1 si un diente 23 está enfrente de una bobina y 0 en caso contrario.

[0091] La tercera unidad 41 incluye un descontador lógico de impulsos 85, que realiza una función similar a la descrita para la primera unidad. Preferentemente, es de tecnología diferente a la de la primera unidad.

[0092] El descontador 85 se recarga con un valor N_{max} todos los T_{obs} en función de una base de tiempo

propia de esta unidad 41, por ejemplo suministrada por un cuarzo local 87. En cada paso de un diente detectado por la subunidad de medida 51, el valor del descontador 85 se reduce en 1. El descontador 85 envía una señal que provoca la parada del motor 5 si su valor llega a 0 antes de la recarga.

- 5 **[0093]** Las unidades primera, segunda y tercera 37, 39 y 41 están configuradas para cortar la alimentación eléctrica del motor actuando respectivamente sobre los interruptores primero, segundo y tercero independientes unos de otros si el número de impulsos eléctricos o el número de pasos de rotación supera el máximo predeterminado correspondiente.
- 10 **[0094]** En el ejemplo representado, la primera unidad 37 actúa sobre el dispositivo de inhibición 33. La segunda unidad 39 actúa sobre el seccionador 25. La tercera unidad 41 actúa sobre el seccionador 27.
- [0095]** Cada una de las unidades primera, segunda y tercera 37, 39, 41 incluye una memorización 88 de activación, rearmada por el sistema de control de mando central del reactor. Esta memorización está integrada por ejemplo en los interruptores 33, 25, 27. Esta memorización permite que una orden de corte sea irreversible hasta el rearme voluntario, normalmente por el control de mando centralizado y/o el operador, después de un diagnóstico de las causas que han provocado esta orden.
- 15 **[0096]** Un aspecto importante de la invención es que la cadena cinemática 15 está configurada para que el número máximo N_{max} de impulsos eléctricos o el número máximo N'_{max} de pasos de rotación conlleven una contribución de reactividad en el núcleo inferior en el límite de antirreactividad β predeterminado del reactor, con un margen predeterminado por análisis de seguridad. Este margen es por ejemplo del 10% de β .
- 20 **[0097]** De hecho, el número máximo de impulsos eléctricos corresponde a un número máximo de pasos de rotación del rotor, que corresponde a su vez a un desplazamiento del absorbente de control en el núcleo que es función de las características de la cadena cinemática. Por ejemplo, para una cadena cinemática de tipo tornillo/tuerca, el desplazamiento del absorbente de control dentro del núcleo para un paso de rotor es función del paso de tornillo.
- 25 **[0098]** A continuación se describirá un ejemplo de dimensionamiento del mecanismo de arrastre.
- 30 **[0099]** La reactividad se mide habitualmente en pcm (por cien mil), unidad que representa la evolución de la población neutrónica.
- [0100]** La velocidad de ascenso del absorbente de control 3 se fija de manera que corresponde normalmente a una inyección de reactividad de 10 pcm/s. La velocidad de descenso del absorbente de control F_{desc} se fija de manera que se obtenga normalmente una inyección de antirreactividad de - 30 pcm/s. Este valor permite por ejemplo pasar sin interrupción de urgencia los principales transitorios de bombeo.
- 35 **[0101]** El margen de estado de antirreactividad predeterminado β vale normalmente 500 pcm.
- 40 **[0102]** La cadena cinemática 15 está configurada para que un paso de rotor corresponda a una inyección de reactividad comprendida entre 0,5 y 5 pcm, preferentemente entre 1 y 3 pcm, y normalmente igual a 1 pcm. Este parámetro se denomina eficacia de la inyección de reactividad E , y se expresa en pcm por paso de motor.
- 45 **[0103]** El motor 3 está dotado normalmente de un estator de tres fases.
- [0104]** El motor 3 se calibra para que su velocidad de desconexión en ascenso, es decir, la frecuencia por encima de la cual el motor no arrastra el absorbente en ascenso con independencia de la frecuencia de control, sea igual a $k \cdot F_{desc}$. La velocidad de desconexión es una característica física del motor que representa que, por encima de una cierta frecuencia de control, el motor ya no puede seguir la orden.
- 50 **[0105]** La inercia de la cadena cinemática hace que, si ya no se alimenta el motor, el absorbente de control siga desplazándose, correspondiendo este desplazamiento a un número de pasos de rotor máximo N_i , comprendido generalmente entre 1 y 10.
- 55 **[0106]** Se considera en este caso una duración de observación T_{obs} igual a 100 ms, que se desliza después de cada paso. La duración T'_{obs} es igual asimismo a 100 ms.
- [0107]** En el ejemplo de dimensionamiento presentado, en este caso, la opción de diseño que se aplica a continuación consiste en no considerar el sentido de rotación en el dimensionamiento del sistema. A continuación, para no activar intempestivamente durante las maniobras normales de descenso (generalmente más rápidas que las maniobras de ascenso), lo que se considera a continuación es la velocidad de descenso.
- 60 **[0108]** A la velocidad de descenso, 100 ms corresponde a un número de pasos de rotor en descenso N_{desc} igual a 3. Este valor se calcula con ayuda de la fórmula siguiente:
- 65

$$N_{desc} = F_{desc} \times T_{obs}$$

[0109] Si se conserva, por ejemplo, un margen de 2 pasos para la superación de activaciones intempestivas, es posible considerar que 5 pasos de rotor (o 5 pasos de control) en un periodo de 100 ms corresponden a una anomalía. Este margen en el número de pasos se mantiene para ser tolerante a una posible detección parásita, con independencia de su origen.

[0110] El número máximo de pasos de rotación N_{max} durante la ventana de tiempo T_{obs} es en este caso de 5.

[0111] El número máximo N_{max} de impulsos eléctricos suministrado a una de las fases durante la ventana de tiempo T_{obs} es en este caso también de 5.

[0112] Además, se mantiene un plazo de reacción $T_r = 100$ ms, correspondiente al tiempo de respuestas de los interruptores cuando una de las tres unidades 37, 39 y 41 detecta una anomalía.

[0113] El número de pasos de rotor realizado en el sentido del ascenso en caso de fallo del control está así limitado por:

$$N_0 = (F_{desc} \times T_{obs} + 2) + k F_{desc} \times T_r + N_i$$

[0114] La inyección de reactividad correspondiente se calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$\Delta\rho_0 = N_0 \times E$$

[0115] Entre todos los valores de dimensionamiento indicados anteriormente, solo el valor de k (ajuste de la desconexión con respecto a la velocidad de descenso deseada) depende del diseño electromecánico. Si se quiere superar las dificultades mencionadas en el preámbulo de la presente solicitud, es importante que el valor de k tenga solo una influencia de segundo orden en N_0 . El análisis sensibilidad resumido en la tabla mostrada a continuación revela que incluso con un factor de margen de 10 en el valor de k , la inyección de reactividad sigue siendo inferior al 10% del margen de reactividad previsto en el diseño β .

E	Eficacia de cadena cinemática	pcm/paso	1	1	1	1
F _{desc}	Velocidad de descenso	pasos/s	30	30	30	30
N _i	Inercia de cadena cinemática en corte de motor	pasos	2	2	2	2
T _{obs}	Duración de observación deslizante	segundos	0,1	0,1	0,1	0,1
T _r	Plazo de reacción	segundos	0,1	0,1	0,1	0,1
k	Margen en la desconexión F _{dec} /F _{max}	sin	1,5	2	5	10
N ₀	Número de pasos intempestivos	sin	11,5	13	22	37
$\Delta\rho_0$	Reactividad inyectada en pcm	pcm	11,5	13	22	37
$\Delta\rho_0$	Reactividad inyectada en % de β	%	2%	3%	4%	7%

[0116] La invención se refiere asimismo a un procedimiento de vigilancia de una situación potencial de ascenso en sobrevelocidad de un absorbente de control de un reactor nuclear.

[0117] Este procedimiento está adaptado especialmente para ser implementado por el mecanismo de arrastre que tiene las características anteriores.

[0118] En sentido contrario, el mecanismo de arrastre está adaptado especialmente para la implementación del procedimiento de vigilancia que se describirá a continuación.

[0119] El procedimiento de vigilancia está destinado a un reactor nuclear equipado con un mecanismo de arrastre del absorbente de control que comprende:

- al menos un motor eléctrico 5 de tipo paso a paso que comprende un estator 7 que tiene al menos fases primera, segunda y tercera 17, 19, 21 y un rotor 9;

- una alimentación eléctrica 11, conectada eléctricamente con cada una de las fases primera, segunda y tercera 17, 19, 21 del estator 7;
 - un control 13 de la alimentación eléctrica, programado para que la alimentación eléctrica suministre a cada una de las fases primera, segunda y tercera 17, 19, 21 impulsos eléctricos a una frecuencia actual, estando el rotor 9 desplazado por unidad de tiempo un número de pasos de rotación en función de dicha frecuencia;
 - una cadena cinemática 15 dispuesta para acoplar el rotor 9 al haz de control 3, estando la cadena cinemática 15 dispuesta para convertir un movimiento de rotación del rotor 9 en movimiento de traslación del absorbente 3 en el núcleo del reactor, sin posibilidad de deslizamiento.
- 10 **[0120]** Cada impulso eléctrico forma un paso de control de forma adaptada al control del motor
- [0121]** El motor eléctrico 5, la alimentación eléctrica 11, el control 13 y la cadena cinemática 15 son según la descripción que se ofrece anteriormente en relación con el mecanismo de arrastre.
- 15 **[0122]** El procedimiento de vigilancia comprende al menos dos etapas de vigilancia independientes entre sí, comprendiendo cada etapa de vigilancia las operaciones siguientes:
- medir en los bornes de una de las fases primera, segunda y tercera 17, 19, 21 el número de pasos de control suministrados a dicha fase durante una ventana de tiempo T_{obs} de duración predeterminada, o el número de pasos de rotación del rotor 9 durante una ventana de tiempo T'_{obs} de duración predeterminada;
 - comparar el número de pasos de control medidos con un número máximo predeterminado N_{max} o el número de pasos de rotación medidos con un máximo predeterminado N'_{max} .
- 20 **[0123]** Más en concreto, el procedimiento de vigilancia comprende una primera etapa de vigilancia en el curso de la cual el número de pasos de control suministrados a la primera fase 17 durante la ventana de tiempo T_{obs} de duración predeterminada se mide en los bornes de la primera fase, de manera que la alimentación eléctrica 11 se corta en caso de que se supere el máximo predeterminado N_{max} .
- [0124]** Para este fin, la primera etapa prevé una comparación del número de pasos de control medidos con el
- 30 máximo predeterminado N_{max} .
- [0125]** El procedimiento de vigilancia comprende normalmente además una segunda etapa de vigilancia, en el curso de la cual el número de pasos de control suministrados a la segunda fase 19 durante la ventana de tiempo T_{obs} de duración predeterminada se mide en los bornes de la segunda fase, de manera que la alimentación eléctrica 11 se
- 35 corta en caso de que se supere el máximo predeterminado N_{max} .
- [0126]** Para este fin, la segunda etapa prevé una comparación del número de pasos de control medidos con el máximo predeterminado N_{max} .
- 40 **[0127]** El procedimiento de vigilancia comprende ventajosamente también una tercera etapa de vigilancia en el curso de la cual el número del paso de rotación del rotor 9 durante la ventana de tiempo T'_{obs} de duración predeterminada se mide en los bornes de la tercera fase, de manera que la alimentación eléctrica 11 se corta en caso de que se supere el máximo predeterminado N'_{max} .
- 45 **[0128]** Para este fin, la tercera etapa prevé una comparación del número de pasos de control medidos con el máximo predeterminado N'_{max} .
- [0129]** Normalmente, las diferentes etapas de vigilancia se efectúan de manera simultánea, en paralelo. Se repiten permanentemente, siendo la vigilancia de la velocidad de ascenso del absorbente de control continua y
- 50 permanente.
- [0130]** Las etapas primera, segunda y tercera se implementan mediante unidades primera, segunda y tercera, física y funcionalmente independientes unas de otras. Estas unidades primera, segunda y tercera son del tipo descrito anteriormente con referencia al mecanismo de arrastre 1.
- 55 **[0131]** Así, en la primera etapa de vigilancia, el número de pasos de control suministrados a la primera fase 17 se cuenta detectando los frentes de tensión. Cada frente de tensión corresponde normalmente a un impulso eléctrico suministrado a la primera fase 17.
- 60 **[0132]** La primera etapa incluye normalmente las operaciones siguientes:
- adquirir la tensión a los bornes de la primera fase 17;
 - en su caso conformar la tensión adquirida;
 - en su caso aplicar un filtro de paso bajo a la tensión conformada;
- 65 - contar el número de impulsos eléctricos suministrados a la primera fase 17 detectando los frentes de tensión

ascendentes en la tensión adquirida;

- recargar periódicamente un contador con el valor N_{max} , con un periodo de T_{obs} ; para cada impulso detectado, reducir el valor del contador en 1. Si el contador alcanza el valor 0, se considera que el número de impulsos eléctricos suministrados es superior al máximo predeterminado N_{max} .

5

[0133] La primera etapa incluye además una operación de corte de la alimentación eléctrica del motor eléctrico si el número de impulsos eléctricos supera el máximo predeterminado N_{max} correspondiente.

[0134] Para este fin, se actúa por ejemplo sobre el dispositivo de inhibición 33 descrito anteriormente.

10

[0135] En la segunda etapa de vigilancia, el número de impulsos eléctricos suministrados a la segunda fase 19 se cuenta detectando los frentes de corriente.

[0136] Más en concreto, la segunda etapa de vigilancia comprende las operaciones siguientes:

15

- medir la corriente, es decir, la intensidad que atraviesa la segunda fase 19;
- en su caso aplicar un filtro de paso bajo a la corriente medida;
- detectar los frentes ascendentes de corriente, por comparación del valor de la corriente medida con un umbral predeterminado;

20

- cada vez que se detecta un frente ascendente de corriente, cargar con un valor conocido un circuito RC 73 que sirve de base de tiempo;
- comparar la carga de la capacidad 77 del circuito RC 73 con un umbral predeterminado.

[0137] Como se explica anteriormente, el circuito RC 73 se dispone de tal manera que si el número de frentes de corriente ascendente detectados durante la duración T_{obs} supera un número predeterminado, la carga de la capacidad 77 supera el umbral predeterminado. Se considera que el número de impulsos eléctricos suministrados a la segunda fase 19 ha superado entonces el máximo predeterminado N_{max} .

25

[0138] Además, la segunda etapa de vigilancia comprende una operación de corte de la alimentación eléctrica del motor eléctrico 5 si el número de impulsos eléctricos detectado supera el máximo predeterminado N_{max} . Para ello se actúa sobre un segundo miembro de corte independiente del primero, por ejemplo en el seccionador 25 de la alimentación eléctrica.

30

[0139] En la tercera etapa de vigilancia, el número de pasos de rotación del rotor 9 se cuenta midiendo una impedancia en los bornes de la tercera fase 21.

35

[0140] Más en concreto, en la tercera etapa de vigilancia, se efectúan las operaciones siguientes:

- inyección de una señal alterna, por ejemplo una corriente, superpuesta a la alimentación eléctrica de la tercera fase 21, de frecuencia mucho más elevada que la de la alimentación eléctrica, y de baja tensión;
- adquisición de una señal de entrada correspondiente a la corriente que atraviesa la tercera fase 21;
- aplicación de un filtro pasabanda 81 en la señal de entrada, centrado en la frecuencia de la señal alterna inyectada;
- medida de la tensión en la banda de frecuencia seleccionada por el filtro pasabanda 81, siendo esta medida de tensión una imagen de la inductancia del bobinado de la tercera fase 21.

45

[0141] La señal alterna inyectada presenta una frecuencia de menos 5 veces superior a la de la alimentación eléctrica, en general aproximadamente 10 veces superior a la frecuencia de la alimentación eléctrica.

[0142] Como se indica anteriormente, la inductancia medida es elevada si un diente 23 del rotor 9 está enfrente de una bobina de la tercera fase 21, y es baja si un diente 23 del rotor no está enfrente de una bobina de la tercera fase 21 del estator.

50

[0143] La tercera etapa de vigilancia comprende además las operaciones siguientes:

- periódicamente, recargar un contador con el valor N'_{max} , recargándose el contador en un periodo de T'_{obs} ;
- cada vez que se detecta una inductancia elevada, es decir, cada vez que un diente 23 del rotor pasa enfrente de una bobina de la tercera fase 21, reducir en 1 el contador. Se considera que el número de pasos de rotación del rotor supera el máximo predeterminado N'_{max} si el contador se lleva a 0.

55

[0144] Como anteriormente, la tercera etapa comprende además una operación de corte de la alimentación eléctrica del motor eléctrico 5, si el número de pasos de rotación detectado supera el número máximo predeterminado N'_{max} . Para ello, se actúa sobre un tercer miembro de corte, que es por ejemplo el seccionador 27 de la alimentación eléctrica.

60

[0145] Como se explica anteriormente, la cadena cinemática 15 está configurada para que el número máximo

65

de impulsos eléctricos o de pasos de rotación del rotor conlleve una contribución de reactividad en el núcleo inferior a un límite de antirreactividad β predeterminado del reactor, menos un margen predeterminado por análisis de seguridad. El margen es por ejemplo del 10% de β .

- 5 **[0146]** De hecho, como se describe anteriormente, el procedimiento de vigilancia está ideado para que se interrumpa la alimentación del motor si se detecta por ejemplo más de N_{\max} pasos de rotación del rotor en la duración T_{obs} o N_{\max} pasos de rotación del rotor en la duración T_{obs} . Esto corresponde a un número máximo de pasos de rotación efectuado efectivamente por el rotor de N_0 , teniendo en cuenta el tiempo de reacción de los miembros de corte y la inercia de la cadena cinemática. N_0 se calcula con ayuda de la fórmula dada anteriormente.
- 10 **[0147]** La inyección de reactividad correspondiente al N_0 paso es
- $$\Delta\rho_0 = N_0 \times E,$$
- 15 en la que E es la eficacia de la inyección de reactividad, expresada en número de pcm por paso de motor. Esta eficacia depende del diseño de la cadena cinemática. E se elige para que, teniendo en cuenta los parámetros de dimensionamiento seleccionados además, $\Delta\rho_0$ siga siendo inferior en todo momento a β menos el margen.
- [0148]** A continuación se describirá una segunda realización en referencia a la figura 7. Se detallarán seguidamente solo los puntos en los cuales la segunda realización es diferente de la primera realización. Los elementos idénticos o que aseguran las mismas funciones se designarán por las mismas referencias.
- 20 **[0149]** En la segunda realización, el dispositivo de vigilancia 35 comprende una unidad 91 de determinación de la posición del absorbente de control 3. Comprende igualmente una primera unidad 93 configurada para medir la impedancia en los bornes de la primera fase 17, y/o una segunda unidad 95 que mide la impedancia en los bornes de la segunda fase 19.
- 25 **[0150]** Además, la tercera unidad de vigilancia 41 mide la impedancia en los bornes de la tercera fase 21.
- 30 **[0151]** La unidad 91 de determinación de la posición de absorbente usa las medidas de impedancia en los bornes de al menos dos de las fases primera, segunda y tercera. Normalmente, usa las medidas de impedancia en los bornes de las tres fases.
- [0152]** La primera unidad 93 incluye ventajosamente medios similares a los previstos en la tercera unidad de vigilancia 41 para medir la impedancia, que son la fuente 79, el filtro pasabanda 81 y el miembro de medida de tensión 83. Asimismo, la segunda unidad 95 incluye ventajosamente medios similares a los previstos en la tercera unidad de vigilancia 41 para medir la impedancia..
- 35 **[0153]** La primera unidad de medida de la impedancia 93 suministra una señal a la unidad 91 de determinación de la posición del haz, por cada vez que un diente del rotor pasa enfrente de una bobina de la primera fase 17.
- 40 **[0154]** Asimismo, la segunda unidad de medida de la impedancia 95 suministra una señal a la unidad 91 por cada vez que un diente del rotor pasa por delante de una bobina de la segunda fase 19.
- 45 **[0155]** Además, la tercera unidad de vigilancia 41 suministra una señal a la unidad 91 por cada paso de un diente enfrente de una bobina de la tercera fase 21.
- [0156]** La unidad 91 está configurada para contar el número de pasos de rotor y determinar el sentido de rotación del rotor 9 en función de las señales suministradas por las unidades 41, 93 y 95. Estas unidades suministran a la unidad 91, permanentemente, el número de pasos de un diente de rotor delante de una fase 21, 17 o 19.
- 50 **[0157]** La unidad 91 está configurada para determinar, usando estas estas informaciones, permanentemente la posición de inserción del absorbente de control 3.
- 55 **[0158]** Como se indica anteriormente, basta con que una única de entre la primera unidad y la segunda unidad esté equipada con una subunidad de medida de la impedancia para poder determinar el sentido de rotación del rotor. Cuando las tres subunidades están equipadas para medir la impedancia en los bornes de la fase correspondiente, se dispone de una redundancia de orden 2 para la determinación del sentido de rotación. Se dispone entonces de una redundancia de orden 3 para la determinación de la velocidad de rotación del rotor y del número de pasos de rotación.
- 60 **[0159]** Debe observarse que, en este caso, es imperativo que la primera unidad de vigilancia 37 y la segunda subunidad de vigilancia 41 estén equipadas respectivamente con el filtro de paso bajo 58 y el filtro de paso bajo 69, para cortar las frecuencias de la tensión inyectada a los bornes de las fases 17 y 19.
- 65 **[0160]** Así, el procedimiento de vigilancia según la segunda realización de la invención comprende, además de

las etapas de vigilancia primera y segunda, una primera y/o una segunda etapa de medida durante las cuales respectivamente el número de pasos de rotación del rotor se cuenta midiendo una impedancia en los bornes de la primera o segunda fase, comprendiendo el procedimiento además una etapa de determinación de la posición del absorbente que usa la medida de la impedancia en los bornes de al menos dos de las fases primera, segunda y 5 tercera.

[0161] De hecho, la medida de la impedancia en los bornes de dos de las tres fases permite determinar el sentido de rotación del rotor permanentemente.

10 **[0162]** Esta información, junto con la medida del número de pasos de rotación del rotor, permite determinar permanentemente el número de pasos maniobrado y el sentido de rotación del rotor y por tanto la posición del absorbente de haz.

[0163] Así, en la invención, se dispone de una instrumentación diversificada, preferentemente de redundancia 15 3, que permite detectar una sobrevelocidad de ascenso del absorbente de control. La no detección del suceso «aparición de más de N_{max} controles en un tiempo de observación T_{obs} o rotación del rotor de más N_{max} pasos en un tiempo de observación T'_{obs} dado» procedería del fallo combinado de todas las vías de medidas diversificadas. La probabilidad de este cúmulo de sucesos es suficientemente baja para cumplir la clasificación de seguridad relacionada con la consecuencia grave de esta no detección. Esto permite no efectuar una prueba funcional de conjunto del 20 mecanismo de arrastre más que cuando existen paradas de grupo. Esta prueba puede efectuarse con los absorbentes de control desacoplados del motor. Entonces es posible inyectar voluntariamente una velocidad de motor demasiado rápida, para probar las diferentes unidades del dispositivo de vigilancia.

[0164] Se destacará igualmente que el dispositivo de vigilancia actúa directamente sobre el control y la 25 alimentación eléctrica del motor, sin pasar por el control de mando centralizado de la central. Esto permite por una parte un tiempo de reacción extremadamente bajo, y por otra parte evitar cualquier modo común con el control de mando centralizado.

[0165] Las unidades primera, segunda y tercera 37, 39, 41 podrían ser de un tipo diferente al descrito 30 anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Mecanismo de arrastre de al menos un absorbente de control (3) de un reactor nuclear, comprendiendo el mecanismo (1):
- 5
- al menos un motor eléctrico (5) de tipo paso a paso que comprende un estator (7) que tiene al menos fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21) y un rotor (9);
 - una alimentación eléctrica (11), conectada eléctricamente con cada una de las fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21) del estator (7);
 - 10 - un control (13) de la alimentación eléctrica (11), programado para que la alimentación eléctrica (11) suministre a cada una de las fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21) impulsos eléctricos a una frecuencia actual, formando cada impulso eléctrico un paso de control de forma adaptada al control del motor, estando el rotor (9) desplazado por unidad de tiempo un número de pasos de rotación en función de dicha frecuencia;
 - 15 - una cadena cinemática (15) dispuesta para convertir un movimiento de rotación del rotor (9) en un movimiento de traslación de dicho absorbente de control (3) en el núcleo del reactor, sin posibilidad de deslizamiento;
- comprendiendo el mecanismo de arrastre (1) un dispositivo (35) de vigilancia de una situación potencial de ascenso en sobrevelocidad del absorbente (3); **caracterizado porque**
- 20 el dispositivo de vigilancia (35) comprende al menos dos unidades (37, 39, 41) de vigilancia independientes entre sí, cada una conectada a los bornes de una de las fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21), estando cada unidad de vigilancia (37, 39, 41) configurada para:
- 25 - medir el número de pasos de control suministrados a dicha fase (17, 19, 21) durante una ventana de tiempo (T_{obs}) de duración predeterminada o el número de pasos de rotación del rotor (9) durante una ventana de tiempo (T'_{obs}) de duración predeterminada;
 - comparar el número de pasos de control medidos con un máximo predeterminado (N_{max}) o el número de pasos de rotación medidos con un máximo predeterminado (N'_{max}).
- 30 2. Mecanismo de arrastre según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el dispositivo de vigilancia (35) comprende al menos unidades primera, segunda y tercera (37, 39, 41) de vigilancia independientes unas de otras, conectadas a los bornes respectivamente de las fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21), estando la primera unidad (37) y la segunda unidad (39) configurada cada una para medir el número de pasos de control durante la ventana de tiempo (T_{obs}) de duración predeterminada, y para cortar la alimentación eléctrica (11) en caso de que se
- 35 supere el máximo predeterminado (N_{max}), estando la tercera unidad (41) configurada para medir el número de pasos de rotación del rotor durante la ventana de tiempo (T'_{obs}) de duración predeterminada, y para cortar la alimentación eléctrica (11) en caso de que se supere el máximo predeterminado (N'_{max}).
3. Mecanismo de arrastre según la reivindicación 2, **caracterizado porque** las unidades primera y segunda
- 40 (37, 39) incluyen cada una al menos uno de los circuitos siguientes:
- * un circuito lógico configurado para contar el número de impulsos eléctricos suministrados respectivamente a la primera fase (17) o a la segunda fase (19);
 - * un circuito analógico configurado para contar el número de impulsos eléctricos suministrados respectivamente a
 - 45 la primera fase (17) o a la segunda fase (19);
 - * un circuito lógico o analógico de comparación de los impulsos eléctricos suministrados respectivamente a la primera fase (17) o a la segunda fase (19) con un perfil predeterminado.
4. Mecanismo de arrastre según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, **caracterizado porque** la tercera
- 50 unidad (41) está configurada para detectar el cruce de un paso de rotación por el rotor mediante la medida de la impedancia en los bornes de la tercera fase (21) del estator (7).
5. Mecanismo de arrastre según la reivindicación 4, **caracterizado porque** el dispositivo de vigilancia (35) comprende, como complemento de las unidades primera y segunda (37, 39) de vigilancia, una primera y/o una
- 55 segunda unidad de medida (93, 95) configurada para medir una impedancia en los bornes de la primera o segunda fase (17, 19) respectivamente, y una unidad (91) que usa la medida de la impedancia en los bornes de al menos dos de las fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21) para determinar la posición del absorbente (3).
6. Mecanismo de arrastre según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, **caracterizado porque** las
- 60 unidades primera, segunda y tercera (37, 39, 41) están configuradas para cortar la alimentación eléctrica (11) actuando respectivamente sobre los interruptores primero, segundo y tercero (33, 25, 27) independientes unos de otros si el número de pasos de control o el número de pasos de rotación supera el máximo predeterminado (N_{max}, N'_{max}) correspondiente.
- 65 7. Mecanismo de arrastre según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la

cadena cinemática (35) está configurada para que el número máximo de impulsos eléctricos o de pasos de rotación (N_{max} , N'_{max}) conlleve una contribución de reactividad inferior a un límite de antirreactividad (β) que excluye un accidente de criticidad inmediato predeterminado del reactor, menos un margen predeterminado por análisis de seguridad.

5

8. Mecanismo de arrastre según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la cadena cinemática (15) asegura el mantenimiento de la posición incluso con un corte de la alimentación del motor.

9. Procedimiento de vigilancia de una situación potencial de ascenso en sobrevelocidad de un absorbente de control (3) de un reactor nuclear equipado con un mecanismo de arrastre (1) de dicho absorbente de control (3) que comprende:

- al menos un motor eléctrico (5) de tipo paso a paso que comprende un estator (7) que tiene al menos fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21) y un rotor (9);
- una alimentación eléctrica (11), conectada eléctricamente con cada una de las fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21) del estator;
- un control (13) de la alimentación eléctrica (11), programado para que la alimentación eléctrica (13) suministre a cada una de las fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21) impulsos eléctricos a una frecuencia actual, formando cada impulso eléctrico un paso de control de forma adaptada al control del motor, estando el rotor (9) desplazado por unidad de tiempo un número de pasos de rotación en función de dicha frecuencia;
- una cadena cinemática (15) dispuesta para acoplar el rotor (9) al absorbente de control (3), estando la cadena cinemática (15) dispuesta para convertir un movimiento de rotación del rotor (9) en un movimiento de traslación de dicho absorbente (3) en el núcleo del reactor, sin posibilidad de deslizamiento;

25 comprendiendo el procedimiento al menos dos etapas de vigilancia independientes entre sí, comprendiendo cada etapa de vigilancia las operaciones siguientes:

- medir en los bornes de una de las fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21) el número de pasos de control suministrados a dicha fase durante una ventana de tiempo de duración predeterminada (T_{obs}) o el número de pasos de rotación del rotor (9) durante una ventana de tiempo (T'_{obs}) de duración predeterminada;
- comparar el número de pasos de control medidos con un máximo predeterminado (N_{max}) o el número de pasos de rotación medidos con un máximo predeterminado (N'_{max}).

10. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 9, **caracterizado porque** el procedimiento de vigilancia comprende:

- etapas primera y segunda de vigilancia durante las cuales respectivamente el número de pasos de control suministrados a las fases primera y segunda (17, 19) durante la ventana de tiempo (T_{obs}) de duración predeterminada se mide en los bornes de dicha fase, de manera que la alimentación eléctrica (11) se corta en caso de que se supere el máximo predeterminado (N_{max}).
- una tercera etapa de vigilancia en el curso de la cual el número de pasos de rotación del rotor (9) durante la ventana de tiempo (T'_{obs}) de duración predeterminada se mide en los bornes de la tercera fase, de manera que la alimentación eléctrica se corta en caso de que se supere el máximo predeterminado (N'_{max}).

11. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 10, **caracterizado porque**, en las etapas primera y segunda de vigilancia, el número de pasos de control respectivamente suministrados a la primera fase (17) y a la segunda fase (19) se cuenta detectando los frentes de tensión o los frentes de corriente.

12. Procedimiento de vigilancia según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11, **caracterizado porque**, en la tercera etapa de vigilancia, el número de pasos de rotación del rotor (9) se cuenta midiendo una impedancia en los bornes de la tercera fase (21).

13. Procedimiento de vigilancia según la reivindicación 12, **caracterizado porque** el procedimiento comprende, además de las etapas primera y segunda de vigilancia, una primera y/o una segunda etapa de medida durante las cuales respectivamente el número de pasos de rotación del rotor (9) se cuenta midiendo una impedancia en los bornes de la primera y la segunda fase (17, 19), comprendiendo el procedimiento una etapa de determinación de la posición del absorbente (3) que usa la medida de la impedancia en los bornes de al menos dos de las fases primera, segunda y tercera (17, 19, 21).

14. Procedimiento de vigilancia según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado porque** en el curso de las etapas primera, segunda y tercera, la alimentación eléctrica del motor eléctrico (5) se corta actuando respectivamente sobre los interruptores primero, segundo y tercero (33, 25, 27) independientes unos de otros si el número de impulsos eléctricos o el número de pasos de rotación supera el máximo predeterminado (N_{max} , N'_{max}) correspondiente.

65

15. Procedimiento de vigilancia según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, **caracterizado porque** la cadena cinemática (15) está configurada para que el número máximo de impulsos eléctricos o de pasos de rotación (N_{max} , N'_{max}) conlleve una contribución de reactividad inferior a un límite de antirreactividad (β) que excluye un accidente de criticidad inmediato predeterminado del reactor menos un margen predeterminado por los análisis de seguridad.

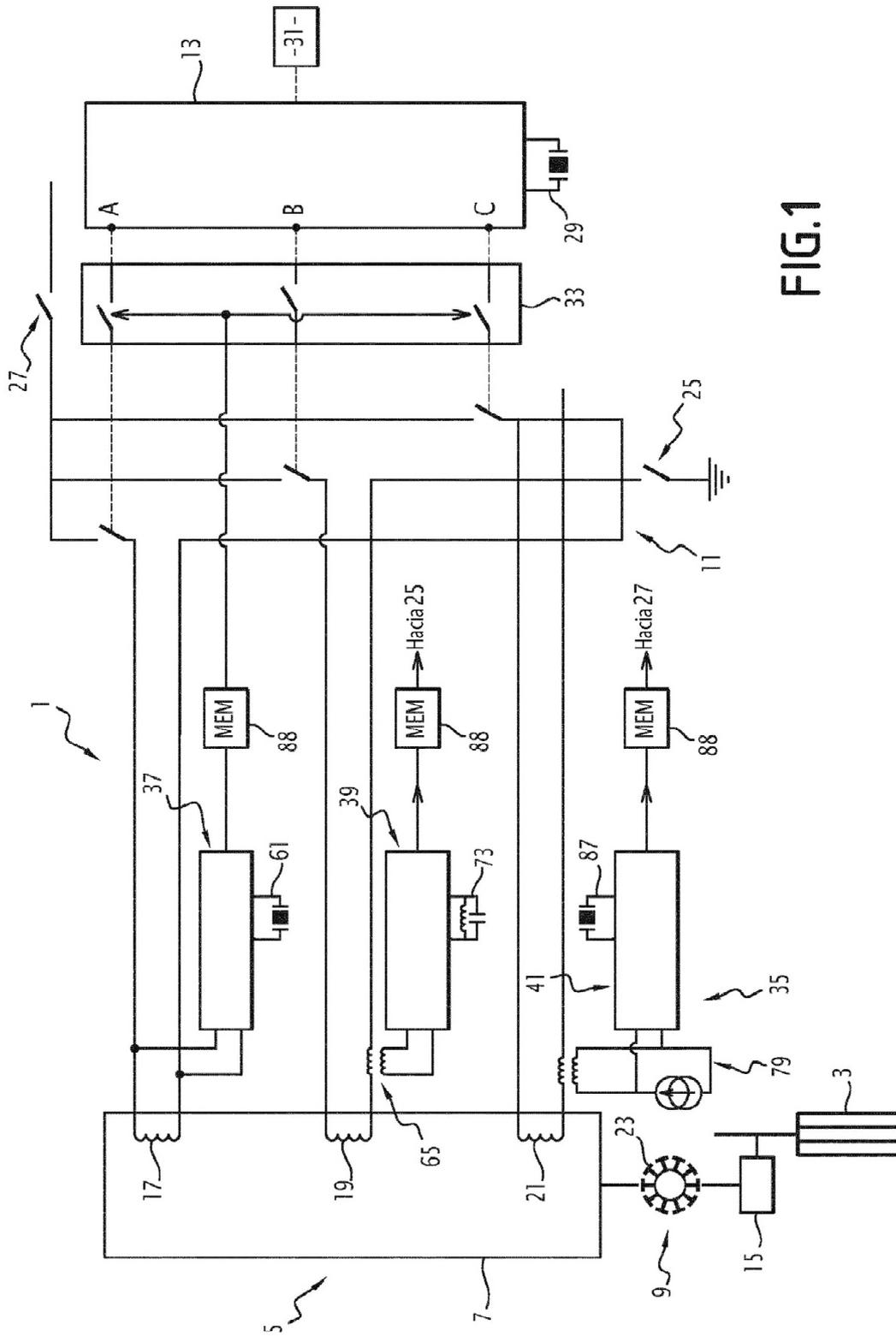


FIG.1

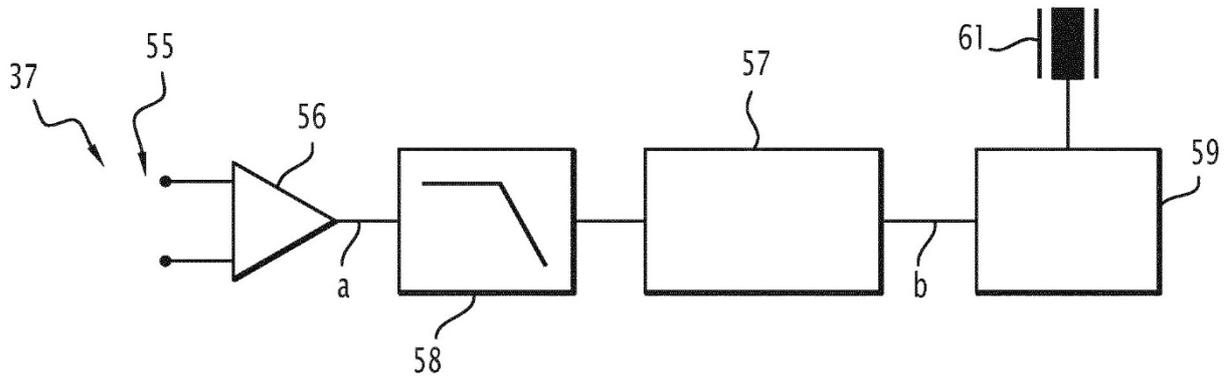


FIG. 2

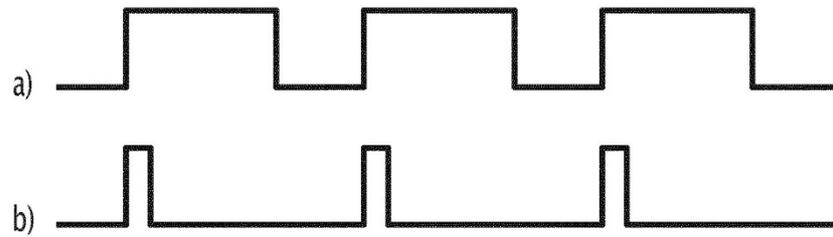


FIG. 3

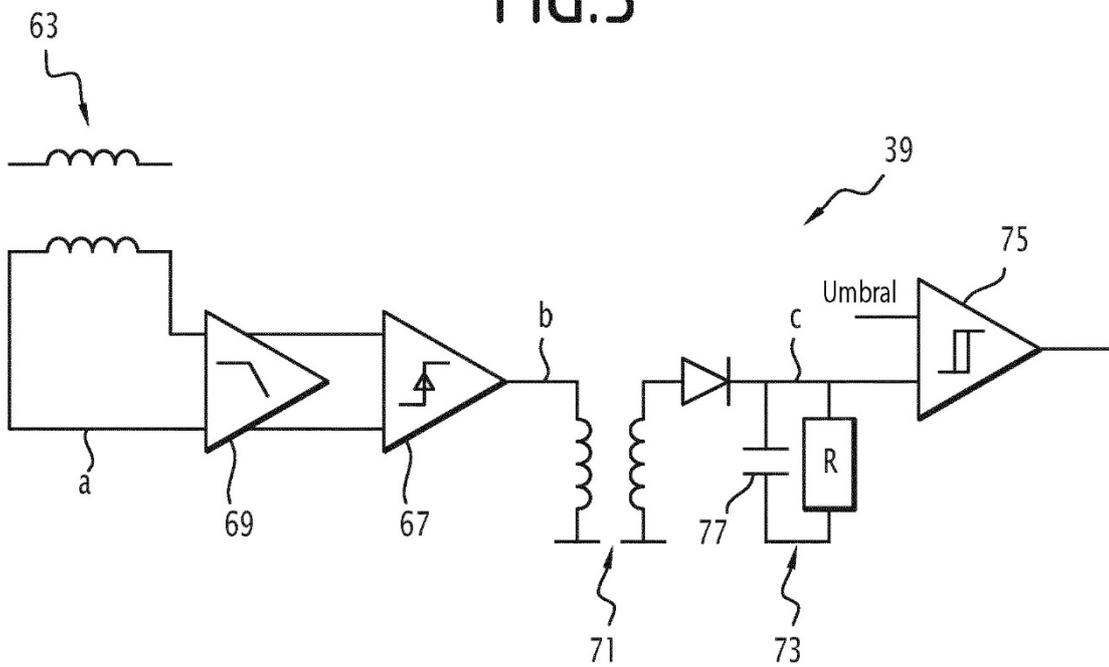


FIG. 4

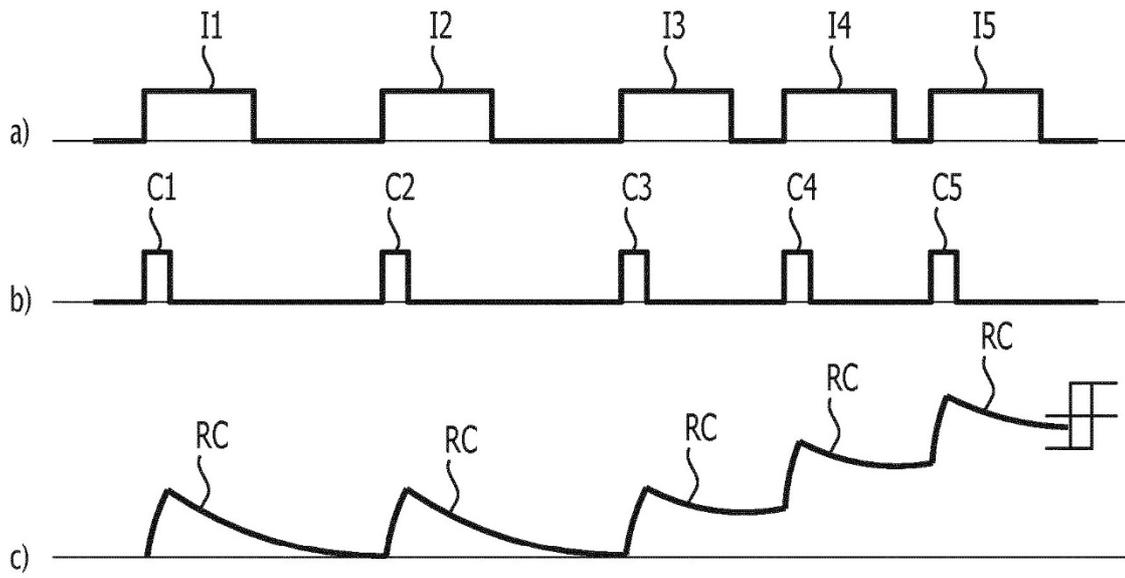


FIG.5

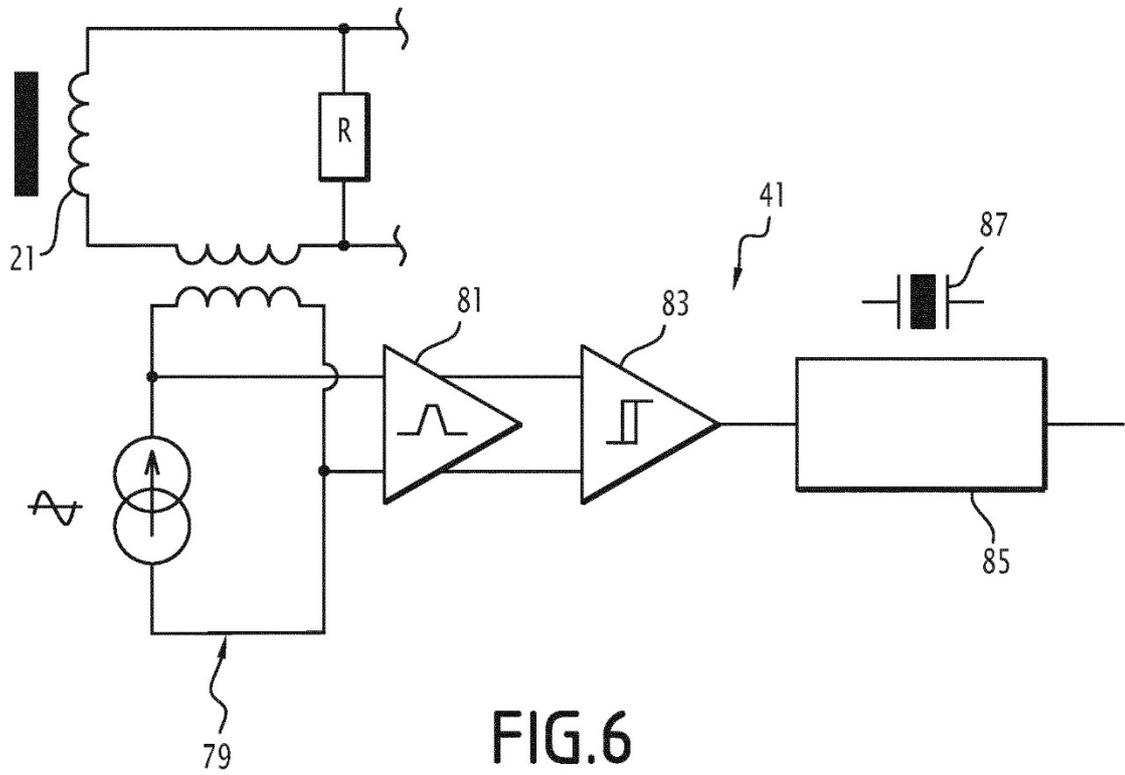


FIG.6

