

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 933 700**

51 Int. Cl.:

G01R 31/74

(2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.04.2017** **PCT/US2017/029763**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.12.2017** **WO17222639**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2017** **E 17722950 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2022** **EP 3472632**

54 Título: **Sistema de monitorización para detectar fatiga por esfuerzo termomecánico en un fusible eléctrico**

30 Prioridad:

20.06.2016 US 201615186865

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

13.02.2023

73 Titular/es:

EATON INTELLIGENT POWER LIMITED (100.0%)
30 Pembroke Road
Dublin 4, IE

72 Inventor/es:

DOUGLASS, ROBERT STEPHEN y
KANAPADY, RAMDEV

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 933 700 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

Sistema de monitorización para detectar fatiga por esfuerzo termomecánico en un fusible eléctrico

5 Antecedentes de la invención

El campo de la invención se refiere de forma general a sistemas y métodos de detección y monitorización de flujo de corriente eléctrica a través de un conductor que tiene una resistencia no lineal en un sistema de alimentación eléctrica y, más específicamente, a sistemas de detección y monitorización para detectar fatiga de esfuerzo termomecánico en un fusible eléctrico que protege un circuito eléctrico.

Los fusibles se usan ampliamente como dispositivos de protección de sobreintensidad con el fin evitar que los circuitos eléctricos sufran costosos daños. Los terminales de fusible forman de forma típica una conexión eléctrica entre una fuente de energía eléctrica o fuente de alimentación y un componente eléctrico, o una combinación de componentes dispuestos en un circuito eléctrico. Uno o más enlaces o elementos fusible, o un conjunto de elementos de fusible, está conectado entre los terminales de fusible, de forma que cuando el flujo de corriente eléctrica a través del fusible rebasa un límite predeterminado, los elementos de fusible se funden y abren uno o más circuitos a través del fusible para evitar daños en los componentes eléctricos.

Los denominados fusibles de energía de intervalo completo funcionan en distribuciones de energía de alto voltaje para interrumpir de forma segura tanto corrientes de fallo relativamente altas como corrientes de fallo relativamente bajas con igual eficacia. En vista de las variaciones en constante expansión de sistemas de alimentación eléctrica, los fusibles conocidos de este tipo presentan desventajas en algunos aspectos. Se desean mejoras en fusibles de energía de intervalo completo para satisfacer las necesidades del mercado.

Se llama la atención sobre el documento DE 10 2012 209 138 A1, que se refiere a un sistema de baterías y a un método que implica medir un flujo de un fusible del sistema de baterías mediante un dispositivo de control de baterías. Se determina un parámetro de envejecimiento del fusible utilizando una corriente medida. El dispositivo de control de batería libera una señal de advertencia cuando el parámetro de envejecimiento determinado supera un valor umbral predeterminado. La medición de la corriente de flujo se realiza mediante un sensor de corriente.

Además, el documento DE 10 2012 224 223 A1 describe un sistema de baterías para vehículo híbrido en el que se proporciona un fusible para la protección contra sobrecargas, así como un dispositivo de monitorización para medir la resistencia del fusible.

Breve descripción de los dibujos

Según la presente invención, se proporciona un sistema como el que se expone en la reivindicación 1. Se describen otras realizaciones, entre otras cosas, en las reivindicaciones dependientes. Se describen realizaciones no limitativas y no exhaustivas con referencia a las siguientes figuras, en donde números de referencia similares se refieren a partes similares a lo largo de los diversos dibujos, salvo que se indique lo contrario.

La Figura 1 ilustra un perfil de corriente ilustrativo que puede someterse a un fusible de energía eléctrica.

La Figura 2 es una vista en planta superior de un fusible de alto voltaje que puede experimentar el perfil de corriente mostrado en la Figura 1.

La Figura 3 es una vista en perspectiva parcial del fusible mostrado en la Figura 2.

La Figura 4 es una vista ampliada del conjunto de elemento fusible mostrado en la Figura 3.

La Figura 5 muestra una parte del conjunto de elemento fusible mostrado en la Figura 4.

La Figura 6 es una vista ampliada de una parte de la Figura 4 en un estado fatigado.

La Figura 7 es un gráfico ilustrativo de resistencia del fusible frente al tiempo que ilustra un fusible típico que progresa a través de la fatiga del elemento de fusión.

La Figura 8 es un esquema de circuito parcial de una parte de un sistema de alimentación eléctrica que ilustra una primera técnica ilustrativa para determinar una resistencia de un fusible.

La Figura 9 es un esquema de circuito parcial de una parte de un sistema de alimentación eléctrica que ilustra una segunda técnica ilustrativa para determinar una resistencia de un fusible.

La Figura 10 es un gráfico ilustrativo de esfuerzo frente a ciclos para un elemento fusible de plata y que ilustra una fatiga del elemento de fusión del mismo.

La Figura 11 ilustra un gráfico ilustrativo de corriente frente a tiempo a partir de la cual pueden determinarse ciclos de esfuerzo en un sistema de evaluación de fatiga predictiva del fusible.

5 La Figura 12 ilustra una ventana de medición ilustrativa para un gráfico de corriente frente a tiempo para un sistema de evaluación de fatiga predictiva del fusible de la invención.

La Figura 13 ilustra modos de monitorización de fusible ilustrativos para el sistema de evaluación de fatiga del fusible de la invención.

10 La Figura 14 representa esquemáticamente un primer sistema de evaluación de fatiga del fusible ilustrativo según una realización de la presente invención.

15 La Figura 15 representa esquemáticamente un segundo sistema de evaluación de fatiga del fusible ilustrativo según una realización de la presente invención.

La Figura 16 representa esquemáticamente un tercer sistema de evaluación de fatiga del fusible ilustrativo según una realización de la presente invención.

20 La Figura 17 es un diagrama de flujo de método que ilustra procesos ilustrativos asociados a las técnicas y sistemas de evaluación de fatiga del fusible mostrados en las Figuras 7-15.

Descripción detallada de la invención

25 Los avances recientes en las tecnologías de vehículos eléctricos, entre otras cosas, presentan desafíos únicos para los fabricantes de fusibles. Los fabricantes de vehículos eléctricos buscan una protección de circuito de fusible para sistemas de distribución de energía eléctrica que funcionan a tensiones mucho más altas que los sistemas de distribución de energía eléctrica convencionales para vehículos, buscando al mismo tiempo fusibles más pequeños para satisfacer las especificaciones y demandas de los vehículos eléctricos.

30 Los sistemas de alimentación eléctrica para vehículos de motor de combustión interna convencionales funcionan a tensiones relativamente bajas, de forma típica a, o por debajo de, aproximadamente 48 VCC. Sin embargo, los sistemas de alimentación eléctrica para vehículos eléctricos, denominados en la presente memoria vehículos eléctricos (VE), funcionan a tensiones mucho más altas. Los sistemas de voltaje relativamente alto (por ejemplo, 200 VCC y mayor) de los VE generalmente permiten que las baterías almacenen más energía procedente de una fuente de alimentación y proporcionen más energía a un motor eléctrico del vehículo con pérdidas más bajas (por ejemplo, pérdida de calor) que las baterías convencionales que almacenan energía a 12 voltios o 24 voltios utilizadas con motores de combustión interna, y sistemas de alimentación de 48 voltios más recientes.

40 Los original equipment manufacturers (fabricantes de equipos originales - OEM) de VE emplean fusibles de protección de circuitos para proteger las cargas eléctricas en battery electric vehicles (vehículos eléctricos de batería - BEV), hybrid electric vehicles (vehículos eléctricos híbridos - VEH) y plug-in hybrid electric vehicles (vehículos eléctricos híbridos enchufables - VEHE). En cada tipo de VE, los fabricantes de VE buscan maximizar el intervalo de kilometraje del VE por carga de batería al tiempo que se reduce el coste de propiedad. La consecución de estos objetivos se traduce en el almacenamiento de energía y el suministro de energía del sistema de VE, así como en el tamaño, volumen y masa de los componentes del vehículo transportados por el sistema de energía. Los vehículos más pequeños o más ligeros cumplirán mejor estas exigencias que los más grandes y pesados, por lo que todos los componentes de los VE están siendo analizados para buscar un posible ahorro de tamaño, peso y costes.

50 En general, los componentes de mayor tamaño suelen tener mayores costes de material asociados, tienden a aumentar el tamaño total del VE o a ocupar una cantidad excesiva de espacio en un volumen de vehículo cada vez menor, y tienden a introducir una mayor masa que reduce directamente el kilometraje del vehículo por cada carga de batería. Sin embargo, los fusibles de protección de circuito de alto voltaje conocidos son componentes relativamente grandes y relativamente pesados. Históricamente, y por una buena razón, los fusibles de protección de circuitos han tendido a aumentar de tamaño para satisfacer las demandas de los sistemas de energía de alto voltaje en contraposición a los sistemas de bajo voltaje. Como tales, los fusibles existentes necesarios para proteger los sistemas de potencia de VE de alto voltaje son mucho más grandes que los fusibles existentes necesarios para proteger los sistemas de alimentación de voltaje más bajo de vehículos convencionales accionados por un motor de combustión interna. Se desean fusibles de energía de alto voltaje más pequeños y más ligeros para satisfacer las necesidades de los fabricantes de VE, sin sacrificar el rendimiento de protección del circuito.

60 Los sistemas de alimentación eléctrica para los VE del estado de la técnica pueden funcionar a tensiones tan altas como de 450 VCC. De forma deseable, el aumento del voltaje del sistema de energía suministra más energía al VE por carga de batería. Sin embargo, las condiciones operativas de los fusibles eléctricos en tales sistemas de alto voltaje son mucho más severas que en los sistemas de voltaje más bajo. Específicamente, las especificaciones relacionadas con las condiciones de arco eléctrico cuando se abre el fusible pueden ser especialmente difíciles de satisfacer para

sistemas de voltaje más alto sobre todo cuando vienen acompañadas de la preferencia de la industria por la reducción de tamaño de los fusibles eléctricos. Las cargas cíclicas de corriente impuestas a los fusibles de energía por los VE del estado de la técnica también tienden a imponer un esfuerzo mecánico y un desgaste que pueden llevar a un fallo prematuro de un elemento fusible convencional. Aunque los fusibles están disponibles actualmente para su uso por los OEM de VE en circuitos de alto voltaje de aplicaciones de VE del estado de la técnica, el tamaño y el peso, por no mencionar el coste, de los fusibles de potencia convencionales capaces de satisfacer los requisitos de sistemas de alimentación de alto voltaje para VE son excesivamente elevados para su aplicación a nuevos VE.

Proporcionar fusibles de energía relativamente pequeños que puedan manejar alta corriente y altos voltajes de batería de sistemas eléctricos de VE del estado de la técnica, y que al mismo tiempo ofrezcan un rendimiento de interrupción aceptable, cuando el elemento fusible funcione a altos voltajes es, cuando menos, complicado. Los fabricantes de fusibles y los fabricantes de VE se beneficiarían de fusibles más pequeños, más ligeros y de coste más bajo. Aunque en las innovaciones de VE que lideran los mercados se desean fusibles más pequeños y de mayor voltaje, la tendencia hacia sistemas eléctricos más pequeños, pero más potentes, trasciende al mercado de los VE. Sin duda, otras aplicaciones de sistemas de alimentación se beneficiarían de fusibles más pequeños que, por lo demás, ofrecen un rendimiento comparable al de los fusibles de mayor tamaño fabricados de forma convencional. Sin embargo, las exigencias impuestas a los fusibles eléctricos por las aplicaciones de los sistemas de energía de los VE presentan desafíos particulares que pueden acortar la vida útil de los fusibles eléctricos. Se necesitan mejoras para las necesidades de larga duración y no satisfechas en la técnica.

La Figura 1 ilustra un perfil 100 ilustrativo de conducción de corriente en una aplicación de sistema de alimentación de VE que puede hacer que un fusible, y específicamente el elemento o elementos fusibles del mismo, sea susceptible a fatiga por ciclos de corriente de carga. La corriente se muestra a lo largo de un eje vertical en la Figura 1 con el tiempo mostrado a lo largo del eje horizontal. En aplicaciones típicas de sistemas de alimentación de VE, los fusibles de energía se utilizan como dispositivos de protección de circuitos para evitar daños a cargas eléctricas procedentes de condiciones de fallo eléctrico. Considerando el ejemplo de la Figura 1, los sistemas de alimentación de VE son susceptibles a una gran variación en las cargas de corriente durante períodos de tiempo relativamente cortos. La variación en la corriente produce pulsos de corriente de diversa magnitud en secuencias producidas por hábitos de accionamiento aparentemente aleatorios basados en las acciones del conductor del vehículo VE, en las condiciones de tráfico y/o en las condiciones de la carretera. Esto crea una variedad prácticamente infinita de ciclos de carga de corriente en el motor del VE, en la batería propulsora principal y en cualquier fusible de protección incluido en el sistema.

Dichas condiciones de carga de corriente aleatoria, ejemplificadas en el perfil de pulso de corriente de la Figura 1, son de naturaleza cíclica tanto para la aceleración del VE (que corresponde al drenaje de la batería) como a la desaceleración del VE (que corresponde a la carga de batería regenerativa). Esta carga cíclica de corriente impone una tensión de ciclo térmico en el elemento fusible, y más específicamente en los denominados puntos débiles del conjunto de elemento fusible en el fusible, por medio de un proceso de calentamiento de efecto Joule. Esta carga cíclica térmica del elemento fusible impone ciclos mecánicos de expansión y contracción en los puntos débiles del elemento fusible en particular. Esta carga cíclica mecánica repetida de los puntos débiles del elemento fusible impone un esfuerzo acumulado que daña los puntos débiles hasta el punto de rotura con el tiempo. Para los fines de la presente descripción, este proceso termomecánico y sus fenómenos se denominan en la presente memoria “fatiga de fusible”. Como se explica adicionalmente a continuación, la fatiga de fusible puede atribuirse principalmente al esfuerzo de fluencia a medida que el fusible se introduce en el perfil de accionamiento. El calor generado en los puntos débiles del elemento fusible es el mecanismo principal que lleva al inicio de la fatiga del fusible.

A continuación se describen sistemas y métodos de monitorización de fusibles ilustrativos que pueden evaluar la fatiga de un fusible eléctrico y predecir o estimar una vida útil restante de un fusible con el objetivo de sustituir un fusible fatigado antes de que falle por el proceso de fatiga. Por consiguiente, el sistema puede proporcionar alertas y notificaciones sobre un estado de fatiga monitorizado e información de vida útil, registrar datos e información sobre la misma, comunicar los datos e información a dispositivos remotos, e incluso reconocer condiciones de fallo eléctrico que pueden hacer que el fusible se abra antes de su finalización esperada de vida útil basándose en la monitorización de fatiga.

La monitorización de fatiga se logra al menos en parte monitorizando un parámetro de fatiga tal como resistencia eléctrica o esfuerzo mecánico, y comparando el parámetro monitorizado con parámetros de fatiga conocidos para un elemento fusible similar para evaluar un estado de fatiga y la vida útil restante del fusible. La monitorización de la fatiga también puede conseguirse monitorizando el flujo de corriente a través del fusible, calculando un esfuerzo asociado a las corrientes máximas en una carga de corriente cíclica, calculando un componente de daño por fatiga para cada corriente máxima, y acumulando los componentes de daño por fatiga a lo largo del tiempo para evaluar un estado de fatiga y una vida útil restante asociada del fusible. En la descripción a continuación serán en parte evidentes y en parte explícitamente descritos los aspectos del método.

Aunque la presente invención se describe en el contexto de aplicaciones de VE que generan un perfil de corriente tal como el mostrado en la Figura 1, y aunque la invención también se describe en el contexto de un tipo particular y capacidad nominal de un fusible para satisfacer las necesidades de la aplicación de VE ilustrativa, los beneficios de

la invención no se limitan necesariamente a aplicaciones de VE o al tipo particular o a las capacidades nominales descritas. Más bien, se cree que los beneficios de la invención se acumulan más ampliamente a muchas aplicaciones distintas de sistemas de energía que generan otros perfiles de corriente. La invención también puede ponerse en práctica en parte o en su totalidad para construir diferentes tipos de fusibles que tengan capacidades nominales similares o distintas de las descritas en la presente memoria. El perfil de VE mostrado en la Figura 1 y el fusible descrito a continuación se analizan, por lo tanto, con un propósito de ilustración más que de limitación.

Las Figuras 2-4 son varias vistas de un fusible 200 de alto voltaje ilustrativo que está diseñado para su uso con un sistema de alimentación de VE. En cuanto a fusibles de alto voltaje convencionales, el fusible 200 ofrece de forma ventajosa un tamaño de paquete físico relativamente más pequeño y más compacto que, a su vez, ocupa un volumen físico o espacio reducido en un VE. También en relación con los fusibles convencionales, el fusible 200 ofrece de forma ventajosa una capacidad de gestión de energía relativamente más alta, funcionamiento a mayor voltaje, funcionamiento de corriente-tiempo de intervalo completo, rendimiento de energía de cortocircuito más baja, y un funcionamiento de vida y fiabilidad más larga en una aplicación como el sistema de alimentación de VE descrito. Se discutirán aspectos del método en parte explícitamente y en parte serán evidentes a partir de la explicación que sigue. En cuanto a un fusible de Clase J UL conocido que se construye de forma convencional, el fusible 200 proporciona un rendimiento comparable en un tamaño de paquete mucho menor.

Como se muestra en la Figura 2, el fusible 200 de la invención incluye una carcasa 202, contactos planos 204, 206 configurados para su conexión a un circuito lateral de línea y carga, y un conjunto 208 de elemento fusible que completa una conexión eléctrica entre los contactos planos 204, 206. Cuando se somete a condiciones de corriente predeterminadas, al menos una parte del conjunto 208 de elemento fusible se funde, se desintegra, o falla estructuralmente de otro modo y abre el recorrido del circuito entre los contactos planos 204, 206. Por lo tanto, los circuitos del lado de carga quedan aislados eléctricamente de los circuitos del lado de línea para proteger los componentes del circuito del lado de carga y el circuito de daños cuando se produzcan condiciones de fallo eléctrico.

El fusible 200 en un ejemplo está diseñado para proporcionar una capacidad nominal de voltaje de 500 VCC y una capacidad nominal de corriente de 150 A. Las dimensiones del fusible 200 en el ejemplo mostrado, en donde L_H es la longitud axial de la carcasa del fusible entre sus extremos opuestos, R_H es el radio exterior de la carcasa del fusible, y L_T es la longitud total del fusible medido entre los extremos distales de los contactos planos que se oponen entre sí en lados opuestos de la carcasa, es aproximadamente un 50 % de las dimensiones correspondientes de un fusible de Clase J UL conocido que ofrezca un rendimiento comparable en una construcción convencional. Además, el volumen del fusible 200 se reduce en aproximadamente un 87 % del volumen de un fusible convencional de Clase J UL que ofrezca un rendimiento comparable en las mismas calificaciones. Por lo tanto, el fusible 200 ofrece una reducción significativa de tamaño y volumen en relación con un fusible convencional, al tiempo que ofrece un rendimiento de protección de fusible comparable. La reducción de tamaño y volumen del fusible 200 contribuye además al ahorro de peso y costes mediante la reducción de los materiales utilizados en su construcción con respecto al fusible 100. Por lo tanto, y debido a sus dimensiones más pequeñas, el fusible 200 es muy preferido para aplicaciones de sistema de energía de VE.

En un ejemplo, la carcasa 202 se fabrica a partir de un material no conductor conocido en la técnica, tal como melamina de vidrio en una realización ilustrativa. De forma alternativa podrían utilizarse en otras realizaciones según se desee otros materiales conocidos adecuados para la carcasa 202. Adicionalmente, la carcasa 202 mostrada es generalmente cilíndrica o tubular y tiene una sección transversal generalmente circular a lo largo de un eje perpendicular a las dimensiones de longitud axial L_H y L_R en la realización ilustrativa mostrada. La carcasa 202 puede formarse de forma alternativa con otra forma si se desea, incluyendo, aunque no de forma limitativa, una forma rectangular que tiene cuatro paredes laterales dispuestas ortogonalmente entre sí y, por lo tanto, con una sección transversal cuadrada o rectangular. La carcasa 202 como se muestra incluye un primer extremo 210, un segundo extremo 212, y un orificio interno o paso entre los extremos opuestos 210, 212 que recibe y aloja el conjunto 208 de elemento fusible.

En algunas realizaciones, la carcasa 202 puede fabricarse a partir de un material eléctricamente conductor si así se desea, aunque esto requeriría juntas aislantes y similares para aislar eléctricamente los contactos planos 204, 206 de la carcasa 202.

Los contactos planos 204, 206 respectivamente se extienden en direcciones opuestas desde cada extremo opuesto 210, 212 de la carcasa 202 y están dispuestas para extenderse en una relación generalmente coplanar entre sí. Cada uno de los contactos planos 204, 206 puede fabricarse a partir de un material eléctricamente conductor, tal como cobre o latón en realizaciones contempladas. De forma alternativa pueden utilizarse otros materiales conductores conocidos en otras realizaciones, según se desee, para formar los contactos planos 204, 206. Cada uno de los contactos planos 204, 206 se forma con una abertura 214, 216 como se muestra en la Figura 3, y las aberturas 214, 216 pueden recibir una sujeción tal como un perno (no mostrado) para fijar el fusible 200 en posición en un VE y en las conexiones de circuito de lado de carga y de línea a conductores de circuito a través de los contactos planos 204, 206.

Aunque se muestran y describen contactos planos 204, 206 ilustrativos para el fusible 200, pueden utilizarse igualmente otras estructuras y disposiciones de terminal en realizaciones adicionales y/o alternativas. Por ejemplo, las aberturas 214, 216 pueden considerarse opcionales en algunas realizaciones y pueden omitirse. Pueden proporcionarse contactos de cuchilla en vez de contactos planos como se muestra, así como terminales de casquillo o tapas de extremo como apreciarían los expertos en la técnica para proporcionar diversos tipos distintos de opciones de terminación. Los contactos planos 204, 206 también pueden estar dispuestos en una orientación separada y generalmente paralela si se desea y pueden sobresalir de la carcasa 202 en lugares distintos de los mostrados.

Como se ve en la Figura 3, en donde la carcasa 202 se retira y en la vista ampliada de la Figura 4, el conjunto 208 de elemento fusible incluye un primer elemento fusible 218 y un segundo elemento fusible 220 que se conectan cada uno respectivamente a los bloques de contacto terminales 222, 224 proporcionados en las placas 226, 228 de extremo. Las placas 226, 228 de extremo que incluyen los bloques 222, 224 se fabrican a partir de un material eléctricamente conductor tal como cobre, latón o zinc, aunque se conocen otros materiales conductores y también pueden utilizarse en otras realizaciones. Las conexiones mecánicas y eléctricas de los elementos fusibles 218, 210 y de los bloques 222, 224 de contacto terminales pueden establecerse utilizando técnicas conocidas, incluyendo, aunque no de forma limitativa, técnicas de soldadura.

En diversas realizaciones, las placas 226, 228 de extremo pueden formarse para incluir los contactos planos 204, 206 o los contactos planos 204, 206 pueden proporcionarse y unirse por separado. Las placas 226, 228 de extremo pueden considerarse opcionales en algunas realizaciones y la conexión entre el conjunto 208 de elemento fusible y los contactos planos 204, 206 puede establecerse de otro modo.

También se muestran varios pasadores 230 de fijación que aseguran las placas 226, 228 de extremo en su sitio con respecto a la carcasa 202. Los pasadores 230 de fijación en un ejemplo pueden fabricarse de acero, aunque se conocen otros materiales y pueden utilizarse si así se desea. En algunas realizaciones, los pasadores 230 pueden considerarse opcionales y pueden omitirse en favor de otras características de conexión mecánica.

Un medio o material 232 de carga de extinción de arco rodea al conjunto 208 de elemento fusible. El material 232 de carga puede introducirse en la carcasa 202 mediante una o más aberturas de llenado en una de las placas 226, 228 de extremo que están selladas con tapones (mostrados ahora). Los tapones pueden fabricarse de acero, plástico u otros materiales en diversas realizaciones. En otras realizaciones, puede proporcionarse un orificio de llenado u orificios de llenado en otros lugares, incluyendo, aunque no de forma limitativa, a la carcasa 202 para facilitar la introducción del material 232 de carga.

En una realización contemplada, el medio 232 de llenado está compuesto por arena de sílice de cuarzo y un aglutinante de silicato de sodio. La arena de cuarzo tiene una capacidad de conducción y absorción de calor relativamente alta en su estado compactado suelto, pero puede añadirse silicato para proporcionar un rendimiento mejorado. Por ejemplo, añadiendo una solución líquida de silicato de sodio a la arena y luego secando el agua libre, puede obtenerse el material 232 de carga de silicato con las siguientes ventajas.

El material 232 de silicato crea un enlace de conducción térmica de silicato de sodio a los elementos fusibles 218 y 220, la arena de cuarzo, la carcasa 202 de fusible, las placas 226 y 228 de extremo, y los bloques 222, 224 de contacto de terminal. Esta unión térmica permite una mayor conducción de calor de los elementos fusibles 218, 220 a sus alrededores, interfaces de circuitos y conductores. La aplicación de silicato de sodio a la arena de cuarzo ayuda a la conducción de energía calorífica fuera y alejada de los elementos fusibles 218, 220.

El silicato de sodio une mecánicamente la arena al elemento fusible, terminal y tubo de alojamiento aumentando la conducción térmica entre estos materiales. Convencionalmente, un material de carga que puede incluir arena solo hace contacto puntual con las partes conductoras de los elementos fusibles en un fusible, mientras que la arena silicatada del material 232 de carga se une mecánicamente a los elementos fusibles. Por lo tanto, se hace posible una conducción térmica más eficiente y eficaz mediante el material 232 de relleno silicatado, que en parte facilita la reducción sustancial del tamaño del fusible 200 con respecto a los fusibles conocidos que ofrecen un rendimiento comparable, incluido, aunque no de forma limitativa, el fusible 100 (Figura 1).

La Figura 4 ilustra el conjunto 208 de elemento fusible con más detalle. El fusible 200 puede funcionar a tensiones de sistema más altas debido a las características de diseño del elemento fusible en el conjunto 208, que facilita adicionalmente la reducción del tamaño del fusible 200.

Como se muestra en la Figura 4, cada uno de los elementos fusibles 218, 220 se forma generalmente a partir de una tira de material eléctricamente conductor en una serie de secciones coplanares 240 conectadas por secciones oblicuas 242, 244. Los elementos fusibles 218, 220 se forman generalmente en formas y geometrías sustancialmente idénticas, pero invertidas entre sí en el conjunto 208. Es decir, los elementos fusibles 218, 220 en la realización mostrada están dispuestos en una relación mutua de imagen especular. Dicho de forma alternativa, uno de los elementos fusibles 218, 220 está orientado hacia el lado derecho hacia arriba, mientras que el otro está orientado hacia arriba, dando lugar a una construcción bastante compacta y con ahorro de espacio. Aunque se

muestra una geometría y disposición de elemento fusible particular, en otras realizaciones son posibles otros tipos de elementos fusibles, geometrías de elementos de fusión y disposiciones de elementos fusibles. Los elementos fusibles 218, 220 no necesitan estar formados de modo idéntico entre sí en todas las realizaciones. Además, en algunas realizaciones puede utilizarse un único elemento fusible.

En los elementos fusibles 218, 220 ilustrativos mostrados, las secciones oblicuas 242, 244 están formadas o dobladas fuera de plano desde las secciones planas 240, y las secciones oblicuas 242 tienen una pendiente igual y opuesta a las secciones oblicuas 244. Es decir, una de las secciones oblicuas 242 tiene una pendiente positiva y la otra de las secciones oblicuas 244 tiene una pendiente negativa en el ejemplo mostrado. Las secciones oblicuas 242, 244 están dispuestas en pares entre las secciones planas 240 como se muestra. Las pestañas terminales 246 se muestran en cualquier extremo opuesto de los elementos fusibles 218, 220, de modo que se pueda establecer la conexión eléctrica a las placas 226, 228 de extremo como se ha descrito anteriormente.

En el ejemplo mostrado, las secciones planas 240 definen una pluralidad de secciones de área 241 de sección transversal reducida, denominadas en la técnica como s. Los puntos débiles son 241 se definen por aberturas redondas en las secciones planas 240 en el ejemplo mostrado. Los puntos débiles 241 corresponden a la parte más fina de la sección 240 entre aberturas adyacentes. Las áreas en sección transversal reducidas en los puntos débiles 241 experimentarán una concentración de calor cuando la corriente fluye a través de los elementos fusibles 218, 220, y el área en sección transversal de los puntos débiles 241 se selecciona estratégicamente para hacer que los elementos fusibles 218 y 220 se abran en el lugar de los puntos débiles 241 si se experimentan las condiciones especificadas de corriente eléctrica.

La pluralidad de las secciones 240 y la pluralidad de puntos débiles 241 proporcionados en cada sección 240 facilita la división de arco a medida que los elementos fusibles 218, 220 funcionan. En el ejemplo ilustrado, los elementos fusibles 218, 220 se abrirán simultáneamente en tres lugares correspondientes a las secciones 240 en vez de en una. Siguiendo el ejemplo ilustrado, en un sistema de 450 VCC, cuando los elementos fusibles funcionan para abrir el circuito a través del fusible 200, se dividirá un arco eléctrico en los tres lugares de las secciones 240 y el arco en cada lugar tendrá el potencial de arco de 150 VCC en vez de 450 VCC. La pluralidad de (por ejemplo, cuatro) puntos débiles 241 proporcionados en cada sección 240 divide adicionalmente de forma efectiva el arco eléctrico en los puntos débiles 241. La división de arco permite una cantidad reducida de material 232 de carga, así como una reducción en el radio de la carcasa 202 de forma que pueda reducirse el tamaño del fusible 200.

Las secciones oblicuas dobladas 242, 244 entre las secciones planas 240 siguen proporcionando una longitud plana para que los arcos quemen, pero los ángulos de curvatura deben elegirse cuidadosamente para evitar la posibilidad de que los arcos puedan combinarse en las esquinas donde se cruzan las secciones 242, 244. Las secciones oblicuas dobladas 242, 244 también proporcionan una longitud efectivamente más corta del conjunto 208 de elemento fusible medido entre el extremo distal de las pestañas terminales 246 y en una dirección paralela a las secciones planas 240. La longitud eficaz más corta facilita una reducción de la longitud axial del alojamiento del fusible 200, que de otro modo sería necesario si el elemento fusible no incluyera las secciones dobladas 242, 244. Las secciones oblicuas dobladas 242, 244 también proporcionan un alivio de tensión de la fatiga de fabricación y de la fatiga por expansión térmica de la operación de ciclo de corriente en uso.

Para mantener tal paquete de fusible pequeño con aspectos de gestión de alta potencia y de alto voltaje, también pueden aplicarse tratamientos de elementos especiales más allá del uso de arena de cuarzo silicatada en la carga 232 y de las geometrías de elementos de fusión formadas descritas anteriormente. En particular, pueden aplicarse materiales de bloqueo de arco o de barrera de arco tales como siliconas RTV o siliconas con curado UV adyacentes a las lengüetas terminales 246 de los elementos fusibles 218, 220. Se ha encontrado que las siliconas que producen el mayor porcentaje de dióxido de silicio (sílice) llevan a cabo el mejor bloqueo o mitigación de quemado de arco cerca de las lengüetas terminales 246. La formación de un arco en las lengüetas terminales 246 no es deseable y, por lo tanto, el material 250 de bloqueo o barrera de arco rodea completamente toda la sección transversal de los elementos fusibles 218, 220 en los lugares proporcionados de modo que se evite que el arco llegue a las lengüetas terminales 246.

Una operación de corriente de tiempo de intervalo completo se logra empleando dos mecanismos de fusión de elementos fusibles en cada elemento fusible 218, 220 respectivo. Un mecanismo de fusión en el elemento fusible 218 es sensible a la operación de alta intensidad (o fallos de cortocircuito) y un mecanismo de fusión en el elemento fusible 220 es sensible a la operación de baja intensidad (o fallos de sobrecarga). Como tal, el elemento fusible 218 a veces se denomina elemento fusible de cortocircuito y el elemento fusible 220 a veces se denomina elemento fusible de sobrecarga.

En una realización contemplada, el elemento fusible 220 de sobrecarga puede incluir un recubrimiento de efecto de Metcalf (efecto M) donde se aplica estaño puro (Sn) al elemento de fusión, fabricado en de cobre (Cu) en este ejemplo, en lugares próximos a los puntos débiles de una de las secciones 240. Durante el calentamiento por sobrecarga, el Sn y el Cu se difunden juntos en un intento de formar un material eutéctico. El resultado es una temperatura de fusión más baja entre la de Cu y Sn o aproximadamente 400 °C en realizaciones contempladas. Por lo tanto, el elemento fusible 220 de sobrecarga y la sección 240 que incluyen el recubrimiento de efecto M

responderán a las condiciones de corriente que no afectarán al elemento fusible 218 de cortocircuito. Mientras que en las realizaciones contempladas el recubrimiento de efecto M se aplica a aproximadamente una mitad de solo una de las tres secciones 240 en el elemento fusible 220 de sobrecarga, el recubrimiento de efecto M podría aplicarse a otras secciones 240 adicionales si así se desea. Además, el recubrimiento de efecto M podría aplicarse como puntos únicamente en las localizaciones de los puntos débiles en otra realización, en contraposición a un recubrimiento más grande como se muestra en la Figura 8.

La energía de baja intensidad que pasa por el cortocircuito se consigue reduciendo la sección transversal de fusión del elemento fusible en el elemento fusible 218 de cortocircuito. Esto normalmente tendrá un efecto negativo sobre la capacidad nominal del fusible, disminuyendo la ampacidad nominal debido a la resistencia añadida y al calor. Debido a que el material 232 de relleno de arena silicatada elimina más eficazmente el calor del elemento fusible 218, compensa la pérdida de ampacidad que se produciría en caso contrario.

La aplicación de silicato de sodio a la arena de cuarzo también ayuda a la conducción de energía de calor fuera y lejos de los puntos débiles del elemento de fusión y reduce el esfuerzo mecánico y el esfuerzo para mitigar la fatiga del ciclo de corriente de carga que de otro modo podría producirse. En otras palabras, la carga silicatada 232 mitiga la fatiga del fusible reduciendo una temperatura de funcionamiento de los elementos fusibles en sus puntos débiles. El silicato de sodio une mecánicamente la arena al elemento fusible, terminal y carcasa aumentando la conducción térmica entre estos materiales. Se genera menos calor en los puntos débiles y el inicio del esfuerzo mecánico y la fatiga del fusible se retarda en consecuencia en relación con los fusibles convencionales, pero en una aplicación de VE en la que el perfil de corriente mostrado en la Figura 1 se aplica a través del fusible, el fallo de los elementos fusibles debido a la fatiga, en contraposición a las condiciones de cortocircuito o de sobrecarga, se ha convertido en una limitación práctica a la vida útil del fusible. Es decir, aunque el fusible 200 se diseñó para proporcionar un rendimiento de limitación de corriente muy alto, así como una larga vida útil y una alta fiabilidad en cuanto al funcionamiento de fusible molesto o prematuro, en una aplicación como la del sistema de energía de VE descrito, la fatiga del fusible puede, no obstante dar lugar a un funcionamiento molesto del fusible y afectar a la fiabilidad del sistema de eléctrico del VE.

Los elementos fusibles descritos en el fusible 200, que al igual que los fusibles convencionalmente diseñados, utilizan elementos fusibles de metal estampado o perforado, suponen cierta preocupación para aplicaciones de VE que incluyan el tipo de cargas de corriente cíclica descritas anteriormente. Tales diseños de elementos fusibles estampados, estén fabricados de cobre o plata o aleaciones de cobre, introducen de forma indeseable esfuerzos y tensiones mecánicas en los puntos débiles 241 del elemento fusible, de modo que tiende a obtenerse una vida útil más corta que si se utilizara el fusible 200 en otro sistema de fuerza que tenga una carga de corriente distinta. Esta vida útil de fusión corta se manifiesta en forma de funcionamiento de fusible molesto, resultante de la fatiga mecánica del elemento fusible en los puntos débiles 241.

Como se muestra en las Figuras 4-6, los pulsos repetidos de alta intensidad llevan a la fatiga de metal en los elementos fusibles 218, 220 por las perturbaciones del límite de grano seguidas por propagación de grietas y fallo en los elementos fusibles 218, 220. Las limitaciones mecánicas de los elementos fusibles 218, 220 son inherentes al diseño y a la fabricación del elemento fusible estampado, que desafortunadamente se ha visto que favorecen la deformación de los puntos débiles 241 durante el ciclo de corriente de carga repetida. Esta deformación es el resultado de daños a los límites de grano metálico donde se produce una separación o deslizamiento entre granos metálicos adyacentes. Tal deformación de los puntos débiles 241 se produce con el tiempo y se acelera y es más pronunciada con pulsos de corriente transitoria más altos. Cuanto mayor sea la delta de calentamiento-enfriamiento en los pulsos de corriente transitoria, mayor será la influencia mecánica y, por lo tanto, mayor será la deformación por combado de los puntos débiles 241.

Las manipulaciones mecánicas físicas repetidas de metal, causadas por los efectos de calentamiento de los pulsos de corriente transitoria, provocan a su vez cambios en la estructura granular de los elementos fusibles metálicos 218, 220. Estas manipulaciones mecánicas a veces se denominan trabajo del metal. El trabajo de metales provocará un fortalecimiento de los límites de grano donde los granos adyacentes estén estrechamente constreñidos por los granos vecinos. El trabajo excesivo de un metal, dará lugar a interrupciones en el límite de grano donde los granos se deslizan más allá del otro y provocan lo que se denomina una banda o un plano de deslizamiento. Este deslizamiento y separación entre granos da lugar a un aumento localizado de la resistencia eléctrica que acelera el proceso de fatiga, aumentando el efecto de calentamiento de los pulsos de corriente. La formación de bandas de deslizamiento es donde primero se inician grietas por fatiga.

Los inventores han descubierto que un método de fabricación de estampado o punzonado de metal para formar los elementos fusibles 218, 220 provoca bandas de deslizamiento localizadas en todos los bordes estampados de los puntos débiles 241 del elemento fusible porque los procesos de estampado para formar los puntos débiles 241 es un proceso mecánico de cizalladura y desgarró. Este proceso de desgarró pretensa los puntos débiles 241 con muchas regiones de banda de deslizamiento. Las bandas de deslizamiento y las grietas por fatiga, combinadas con la deformación descrita debido a los efectos térmicos, dan lugar eventualmente a un fallo estructural prematuro de los puntos débiles 241 que no están relacionados con las condiciones de fallo eléctrico. Tal modo de fallo prematuro que no se refiere a una condición eléctrica problemática en el sistema eléctrico se denomina a veces funcionamiento

molesto del fusible. Dado que una vez que los elementos fusibles 218, 220 fallan, el circuito conectado al fusible no es nuevamente operativo hasta que se sustituya el fusible, evitar este funcionamiento molesto es muy deseable en un sistema de energía de VE desde la perspectiva tanto de fabricantes como de consumidores de VE. De hecho, dado un mayor interés en los vehículos VE y en los sistemas de potencia de los mismos, se considera que los efectos de fatiga del fusible y el fallo relacionado de un fusible son un atributo negativo Critical to Quality (crítico para la calidad – CTQ) en el diseño del vehículo.

Aunque se describe en el contexto de un sistema eléctrico de VE y del fusible 200 que tiene elementos fusibles de metal estampado 218, 220, la susceptibilidad al desgaste por ciclos termomecánicos, tanto por el calentamiento por efecto Joule del funcionamiento normal de los fusibles como por la exposición a cambios extremos de temperatura, no es necesariamente exclusiva de los sistemas eléctricos de VE o del fusible o elementos fusibles particulares descritos. Casi todos los tipos convencionales de elementos fusibles para fusibles de alto voltaje incluyen elementos fusibles formados con uno o más puntos débiles de diseño relativamente frágil y secciones transversales pequeñas que transportan corriente que los hacen vulnerables a los problemas de fatiga descritos anteriormente. Sería deseable proporcionar un sistema que pueda monitorizar y evaluar un estado de fatiga o condición de un elemento fusible y facilitar una gestión proactiva de un sistema de alimentación eléctrica con fusible para evitar el funcionamiento molesto de fusibles sustituyendo un fusible fatigado antes de que falle.

Como se describirá en detalle a continuación, un sistema de monitorización de fatiga de fusible puede determinar tanto una resistencia eléctrica de un elemento fusible en un sistema de alimentación de funcionamiento como determinar la acumulación de esfuerzo mecánico para evaluar un estado de fatiga de un elemento fusible con el tiempo en el sistema de alimentación eléctrica. Como tal, el grado de fatiga del elemento de fusión puede monitorizarse, medirse y calcularse para predecir la vida útil aproximada restante para el fusible en un sistema de la invención. Tal sistema puede proporcionar información de estado o información de alerta, de modo que pueda sustituirse un fusible que experimente fatiga antes de que se fracture en un funcionamiento molesto. La sustitución puede producirse en un momento programado conveniente en vista de tal información, de modo que los administradores del sistema eléctrico puedan sustituir de forma proactiva los fusibles identificados cuando las cargas eléctricas del sistema eléctrico se afecten menos.

Como se demuestra en el gráfico 300 de resistencia frente al tiempo de la Figura 7, un fusible, que incluye, aunque no de forma limitativa, el fusible 200 descrito anteriormente, puede verse que envejece en uso de servicio debido al proceso de fatiga. Es decir, con el tiempo, el elemento fusible acumula esfuerzo mecánico procedente de ciclos de calentamiento tales como los descritos anteriormente. El esfuerzo mecánico en el o los elementos fusibles se concentra más en los puntos débiles del elemento fusible donde los granos metálicos se están trabajando y reorientando. Como se ha descrito anteriormente, este trabajo de la estructura de grano da lugar eventualmente a perturbaciones en los límites de grano y al desarrollo de bandas de deslizamiento entre los granos. La formación de bandas de deslizamiento, a su vez, da lugar a la formación de grietas y daños de los (s) en el elemento fusible como se ha explicado anteriormente.

A medida que este proceso de fatiga progresa, y como se ve en el gráfico 300 de la Figura 7, la resistencia eléctrica del elemento fusible aumenta debido al daño mecánico de los puntos débiles. Este aumento de resistencia comienza a añadir calor a cada ciclo de carga de corriente, de modo que se acelera el envejecimiento o el desgaste del fusible por la fatiga. A medida que los fusibles envejecen eléctricamente, la medición de resistencia fabricada original comenzará a aumentar. Dependiendo del nivel de exposición al servicio, este aumento de resistencia es de forma típica muy pequeño y muy lento, como es evidente en una primera etapa 302 del gráfico 300 mostrado en la Figura 7. En la vida temprana del servicio del fusible en la etapa temprana 302, el cambio en la resistencia del fusible es prácticamente imperceptible y está enmascarado por el ruido del sistema y el error de medición. Sin embargo, eventualmente, la resistencia cambia a un nivel donde este cambio puede detectarse de forma fiable incluso en la primera etapa 302, y en la primera etapa 302 el elemento fusible continúa aumentando de modo muy gradual la resistencia a medida que continúa el proceso de fatiga. En el ejemplo mostrado, el fusible puede permanecer en la primera etapa 302 durante aproximadamente 25 años.

Sin embargo, a continuación, y en aproximadamente 25 años en la vida de fusible del elemento fusible, en el ejemplo mostrado, la fatiga del elemento fusible saldrá de la primera etapa 302 y entrará en una etapa 304 de transición vista en el gráfico 300 en el que la resistencia comienza a cambiar más rápidamente. Esto indica que la fatiga del elemento fusible ha avanzado hasta el punto en el que sus efectos se aceleran. A medida que el proceso de fatiga continúa progresando en esta etapa 304, la resistencia eléctrica del elemento fusible aumenta debido al daño mecánico de los puntos débiles, que ahora comienza a materializarse. El aumento de la resistencia aumenta el calor experimentado por los puntos débiles en cada ciclo de carga actual, de forma que el envejecimiento o desgaste del fusible se acelera a un ritmo mayor. Se observa en la etapa 304 de transición que el cambio en la resistencia es no lineal. En esta etapa 304 de transición, los cambios de resistencia se detectan más fácilmente que en la primera etapa 302. La etapa 304 de transición puede durar un tiempo prolongado, sin embargo, de modo que una vez se ha detectado esta etapa siguen quedando años de vida útil del fusible. En el ejemplo de la Figura 7 se observa que la etapa 304 de transición puede durar aproximadamente cinco años.

Al final de la etapa 304 de transición, se introduce una tercera y última etapa 306 de fatiga donde la resistencia a la fusión entra en un cambio pronunciado en la resistencia durante un corto período de tiempo. Esta etapa final indica que existen grietas en el elemento fusible y que el área de sección transversal de los puntos débiles para el flujo de corriente disminuye rápidamente, dando lugar a una concentración de calor aún más alta en los puntos débiles. El elemento fusible no durará mucho en esta condición y, si no se sustituye primero, el elemento fusible se fracturará poco después de que alcance la tercera etapa 306.

Sabiendo que el elemento fusible se fatiga y que la degradación mecánica de los elementos fusibles en los puntos débiles presenta un aumento marcado de resistencia con el tiempo a medida que el fusible progresa por las etapas 302 y 304 a la etapa 306, un sistema de monitorización de fatiga de la invención puede evaluar el estado de fatiga de un fusible en operación midiendo la resistencia a la fusión con el tiempo. Puede determinarse empíricamente o calcularse de otro modo un gráfico similar al mostrado en la Figura 7 dado un número esperado de ciclos de calentamiento para el fusible en el sistema de alimentación eléctrica, que puede no ser necesariamente ser un sistema de alimentación eléctrica para un VE.

En un sistema contemplado de la invención, la medición de la resistencia del fusible puede hacerse con precisión inyectando una corriente conocida a través del elemento fusible como se describe adicionalmente a continuación. Es decir, el sistema puede medir la resistencia del fusible mientras está en servicio, y pueden desarrollarse algoritmos para evaluar los cambios en la resistencia y estimar o calcular una vida útil restante del fusible en función del cambio en la resistencia. Se reconoce que medir la resistencia del fusible mientras está en servicio puede ser difícil en determinados tipos de sistemas de energía y/o no ser muy práctico, en cuyo caso puede utilizarse el método alternativo de predecir la vida del fusible considerando la fatiga que se explica a continuación.

La Figura 8 ilustra un primer sistema 350 ilustrativo y una técnica para detectar la resistencia de la fusión en cualquier punto temporal, y como resultado de ello también detectar la corriente que fluye a través de un fusible 352, que puede ser el fusible 200 descrito anteriormente, que está conectado entre los circuitos 354 del lado de línea y los circuitos 356 del lado de carga en un sistema de alimentación eléctrica según una realización contemplada de la presente invención. Un voltaje $V_{\text{detección}}$ se deriva directamente a través del fusible 352 que permite determinar la resistencia del elemento fusible y determinar entonces también la corriente $I_{\text{detección}}$. La determinación de la resistencia y de la capacidad de detección de corriente facilita características avanzadas de estado del fusible, detección y alarmas anormales de los fusibles, etc. en el sistema 300.

La detección del voltaje $V_{\text{detección}}$ directamente a través del fusible 352 para determinar la corriente $I_{\text{detección}}$ introduce complicaciones que son dirigidas por el circuito 360 de compensación. Específicamente, el elemento fusible en el fusible 352, como todos los elementos fusibles, presenta una resistencia no lineal que impide una aplicación simple y directa de la ley de Ohm para calcular la corriente $I_{\text{detección}}$ porque la resistencia del elemento fusible en el fusible 352 no es constante en uso.

El circuito 360 de compensación puede incluir, en consecuencia, un controlador 362 que mide la resistencia del elemento fusible a intervalos periódicos para tener en cuenta las variaciones en la resistencia del fusible. De forma alternativa, el controlador 362 no necesita ser una parte del propio circuito 360 de compensación en todas las realizaciones, sino que el controlador 362 puede proporcionarse por separado. El voltaje $V_{\text{detección}}$ en algunas realizaciones puede introducirse en otro controlador 364 opcional que calcula la corriente $I_{\text{detección}}$ como se describe a continuación. Sin embargo, se entiende que la funcionalidad de los controladores 362, 364 mostrados puede combinarse en un único controlador si se desea.

Los controladores 362 y/o 364 pueden ser dispositivos de control basados en procesador. Como se emplea en la presente memoria, el término “basado en procesador” se referirá no solo a dispositivos controladores, que incluyen un procesador o un microprocesador, sino también a otros elementos equivalentes, tales como microordenadores, controladores lógicos programables, circuitos de conjunto de instrucciones reducido (RISC), circuitos integrados específicos para aplicaciones y otros circuitos programables, circuitos lógicos, circuitos equivalentes de los mismos y cualquier otro circuito o procesador capaz de ejecutar las funciones descritas más adelante. Los dispositivos basados en procesador enumerados anteriormente son solamente ilustrativas y, por tanto, no pretenden limitar de manera alguna la definición y/o el significado de la expresión “basado en procesador”.

La técnica mostrada en la Figura 8 reconoce que el fusible 352, como todos los fusibles eléctricos, es esencialmente una resistencia calibrada. Debido a que una resistencia hace caer un voltaje durante el funcionamiento, conociendo la resistencia del elemento fusible en el fusible 352 (según determine uno de los controladores 362,364) y conociendo también el voltaje $V_{\text{detección}}$, puede calcularse la corriente $I_{\text{detección}}$ utilizando relaciones derivadas de la Ley de Ohm, al tiempo que se consigue un sistema de detección relativamente pequeño y económico. La técnica de detección de corriente mostrada en la Figura 8, y también descrita adicionalmente a continuación en una ejecución ilustrativa en la Figura 9, puede aplicarse en prácticamente cualquier tipo de fusible con un efecto ventajoso.

En realizaciones contempladas, se utilizan algoritmos para traducir la respuesta no lineal del elemento fusible a lecturas de corriente precisas. Pueden codificarse entonces coeficientes únicos no lineales de los fusibles en el fusible individual 352 con, por ejemplo, una etiqueta RFID o un código de barras. Como también se describe a

continuación, un lector de fusible puede integrarse de forma alternativa en una carcasa de un soporte de fusible o una carcasa de un interruptor de desconexión, a veces denominado base, junto con la electrónica de monitor de corriente. Dado que el fusible 352 introduce aspectos no lineales de resistencia a la ecuación de monitorización de corriente, se propone la detección o la adquisición asistida por circuitos electrónicos junto con algoritmos para compensar la resistencia a la fusión no lineal.

Dado que cada fusible que es monitorizado por el sistema 350 puede tener sus propias variables y propiedades únicas e individuales, puede ser necesario un esquema para codificar estas variables y propiedades únicas para una traducción adecuada y precisa del voltaje de la resistencia a una medición de resistencia y/o corriente. Un esquema de codificación puede incluir etiquetado RFID y/o etiquetado de código de barras y similares. Se entenderá que el concepto propuesto mostrado en la Figura 8 puede utilizarse para la detección y medición de corriente de corriente continua (CC) y de corriente alterna (CA) como se ilustra en los ejemplos que siguen.

Los expertos en la técnica apreciarán que el circuito electrónico propuesto requiere un esquema de aislamiento apropiado para aislar el voltaje del sistema del sistema de alimentación eléctrica de la electrónica. Una vez determinados, los datos de corriente pueden transmitirse a una localización remota mediante, por ejemplo, sistemas de comunicación ópticos o inalámbricos, aunque son posibles otros tipos de comunicación si así se desea.

La Figura 9 es un esquema de circuito parcial de un sistema 380 y técnica más específicos para determinar la resistencia del elemento de fusión y, por lo tanto, facilitar la detección de corriente según una realización de la presente invención.

Como se muestra en la Figura 9, los circuitos 354 del lado de línea suministran una entrada de corriente I_{cc} al fusible 352 que incluye un elemento fusible. El circuito 360 está conectado en paralelo al elemento fusible como se muestra en la Figura 8, y el circuito 360 incluye una fuente 382 de corriente que inyecta una inyección de corriente de CA I_{ca} a una frecuencia preestablecida. Aplicando la ley de Ohm, son aplicables las siguientes relaciones:

$$R_{fusible} = \frac{V_{ac}}{I_{ac}}$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R_{fusible}}$$

La corriente que fluye a través del elemento fusible 352 es la suma de I_{cc} e I_{ca} y el voltaje detectado a través del elemento fusible 352 es la suma de V_{ca} y V_{cc} . Como se ve en la Figura 9, el voltaje detectado puede someterse a un filtro de paso alto para obtener el voltaje V_{ca} . $R_{fusible}$ puede determinarse ahora ya que V_{ca} e I_{ca} , son conocidos ambos. Una vez que $R_{fusible}$ es conocido, puede calcularse I_{cc} , ya que V_{cc} es conocido. Las relaciones y los cálculos pueden repetirse en cualquier intervalo de tiempo deseado para tener en cuenta el comportamiento de resistencia no lineal del elemento fusible a lo largo del tiempo. Aunque en la Figura 9 se muestra una técnica ilustrativa que permite determinar la resistencia y la corriente, se muestran y describen otras disposiciones de circuitos en la solicitud de Estados Unidos n.º de Serie 14/803.315 citada anteriormente y que también puede utilizarse.

Al determinar resistencias específicas y corrientes correlacionadas a lo largo del tiempo, el sistema 380 puede comparar los datos de resistencia y de corriente con datos de resistencia y corriente determinados previamente, o comparar los datos de resistencia y de corriente respecto a un nivel de referencia predeterminado, para detectar cambios en la resistencia a lo largo del tiempo y evaluar la fatiga del fusible. Por ejemplo, a medida que avanza la fatiga del fusible como se ha explicado anteriormente en relación con la Figura 9, la resistencia determinada mostrada en los mismos (o aproximadamente los mismos) niveles de corriente aumentará con el tiempo de una forma que pueda detectarse y evaluarse. Basándose en la magnitud de los cambios detectados en la resistencia a la fusión, la vida útil del fusible puede estimarse o predecirse como se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, basándose en una tasa detectada de cambio de resistencia con el tiempo, el controlador 362 o 364 puede inferir si el elemento fusible está en la primera etapa 302, en la segunda etapa 304 o en la etapa final 306 en el gráfico mostrado en la Figura 7. En la primera etapa 302, el sistema 380 puede proporcionar información sobre el nivel de fatiga que se ha evaluado, si lo hay. El sistema 300 puede proporcionar una alerta o notificación en algún momento en la segunda etapa 304 al personal del sistema de energía que les alerte de la condición de fatiga del fusible 352 con una vida útil estimada restante para proporcionar una amplia oportunidad de que el fusible sea sustituido proactivamente antes de que se entre en la etapa 306.

El sistema 350, 380 y los métodos descritos son más fáciles de aplicar y son más precisos en sistemas de alimentación eléctrica que tengan una carga de corriente relativamente estable, pero es más difícil en un sistema de fuerza de VE que tenga un perfil de pulso de corriente cíclica de tipo aleatorio, tal como el que se muestra en la Figura 1. No obstante, el sistema 350, 380 y los métodos pueden ser útiles para proporcionar alguna evaluación e indicación de un

estado de fatiga del fusible en un sistema de alimentación de VE. Los datos recogidos por el sistema 350, 380 pueden usarse de forma beneficiosa para refinar algoritmos para aumentar la precisión de las evaluaciones de resistencia y fatiga realizadas, y el servicio previsto relacionado restante de un fusible que se esté monitorizando.

5 Como alternativa a las técnicas mostradas en las Figuras 7-9 que monitorizan la resistencia para evaluar la fatiga del elemento de fusión, se pueden desarrollar algoritmos para monitorizar la acumulación de esfuerzo en los puntos débiles del elemento fusible para indicar acciones de vida útil, como se explica a continuación en relación con las Figuras 10-13.

10 La Figura 10 muestra un gráfico de esfuerzo frente a ciclo ilustrativo que muestra los efectos de la fatiga del fusible. La acumulación de esfuerzo en los puntos débiles del elemento fusible está directamente relacionada con la magnitud y frecuencia de los pulsos o ciclos de corriente y térmicos impuestos sobre el elemento fusible. Utilizando relaciones conocidas, este esfuerzo mecánico puede calcularse a partir del calentamiento en julios del punto débil durante un evento de ciclo de corriente. Estas mediciones de esfuerzo pueden compararse con las curvas de fatiga conocidas para los metales para predecir el número de ciclos hasta el fallo. Esto puede ejecutarse en un sistema similar al sistema 350, 380 descrito, en donde un controlador monitoriza los ciclos de corriente, y calcula el esfuerzo asociado a los ciclos para realizar las comparaciones y estimaciones o predicciones de vida útil.

20 En el gráfico ilustrativo de la Figura 10, se representa una curva 400 de fatiga para un elemento fusible de plata. El esfuerzo se representa en el eje vertical y el número de ciclos se representa a lo largo del eje horizontal. En una primera región 402 del gráfico, el elemento fusible presenta un esfuerzo elástico, pero después de un número de ciclos térmicos, se observa una segunda región 404 que presenta un esfuerzo generalmente inelástico. El esfuerzo inelástico es una indicación de fatiga avanzada de fusible. A medida que aumenta el número de ciclos en la segunda región 404 hacia casi el 100 % de esfuerzo vertical, el elemento fusible se deteriora rápidamente hasta el punto de fallo. Por lo tanto, un sistema de la presente invención como el sistema 350, 380 puede monitorizar cambios en el esfuerzo durante un número de ciclos y estimar el estado de fatiga y la vida útil restante en el fusible, comparándolo con un gráfico conocido tal como el mostrado en la Figura 10, o evaluar una tasa de cambio del esfuerzo con el tiempo para inferir si el elemento fusible está en la primera etapa 402 o en la segunda etapa 404 de fatiga.

30 Gráficos tales como los mostrados en la Figura 10 pueden calcularse o determinarse empíricamente para elementos de fusible hechos de diversos metales o aleaciones metálicas y también para distintas geometrías de elementos de fusible. Las mediciones de esfuerzo pueden hacerse y compararse mediante un sistema de la invención con curvas de fatiga conocidas para metales para predecir el número de ciclos hasta el fallo. Específicamente, en un sistema como el sistema 350, 380, el controlador 362 o 364 puede tomar las mediciones de esfuerzo y evaluarlas para inferir si el elemento fusible está en la primera etapa 402 o en la segunda etapa 404 de fatiga del fusible. En la primera etapa 402, el sistema 350, 380 puede proporcionar información sobre el nivel de fatiga que se ha evaluado, si lo hay. El sistema 350, 380 puede proporcionar una alerta o notificación en algún momento en la segunda etapa 404 al personal del sistema de energía que les alerte de la condición de fatiga del fusible 352 con una vida útil restante estimada para dar una amplia oportunidad para que el fusible sea sustituido proactivamente antes de que falle debido al avance de la fatiga. Esta técnica de medición de esfuerzo puede combinarse en algunos casos con las técnicas de medición de resistencia descritas anteriormente para proporcionar un grado de redundancia al sistema.

45 La Figura 11 ilustra un gráfico de corriente frente a tiempo ilustrativo para demostrar otra técnica adicional para evaluar la fatiga del elemento fusible que puede utilizarse en un sistema similar al sistema 350, 380. Como se muestra en la Figura 11, para un fusible que se esté monitorizando (que puede ser el fusible 200 descrito anteriormente), a corrientes por debajo de aproximadamente 150 A, el esfuerzo de corriente se considera despreciable, mientras que por encima de aproximadamente 150 A el esfuerzo no es despreciable. Además, se representan bandas o intervalos de corriente por encima de aproximadamente 150 A, que identifican distintas regiones o zonas de amperaje en las que se cuentan las corrientes máximas respectivas en el perfil de corriente mostrado. En el ejemplo de la Figura 1, las bandas corresponden a 150 A a 200 A, 200 A a 250 A, 250 A a 300 A, 350 A a 400 A, 450 A a 500 A, 500 A a 550 A y 550 A a 600 A. En el perfil de corriente pulsada, que puede ser producido por un sistema de potencia de VE, se observa que las corrientes máximas respectivas en cada banda son 11, 8, 4, 1, 5, 1, 2, 2 y 7 durante el período de tiempo mostrado en la Figura 11. Cada corriente máxima en cada zona representa una cantidad de esfuerzo que puede calcularse según relaciones conocidas, por lo que el esfuerzo correspondiente a cada pico puede acumularse para estimar la cantidad de fatiga que experimenta el elemento fusible con cada ciclo de corriente máxima y/o una vida útil estimada restante. Pueden desarrollarse algoritmos para monitorizar la corriente del fusible en un sistema similar al sistema 350, 380 descrito anteriormente, en donde uno de los controladores 362, 364 puede calcular la acumulación de esfuerzo para aconsejar acciones de vida útil. Esta técnica puede combinarse, en algunos casos, con las técnicas de medición de resistencia descritas anteriormente para un grado de redundancia para las evaluaciones de fatiga realizadas. Independientemente de ello, una vez que se realizan los cálculos de esfuerzo para cada evento de corriente máxima, el daño acumulado total puede representarse con la regla de Miner para el propósito de predecir una vida útil restante del fusible.

65 La regla de Miner es uno de los modelos de daños acumulativos más ampliamente utilizados para fallos causados por fatiga. Se denomina "regla de Miner" porque fue popularizada por M. A. Miner en 1945. La regla de Miner es probablemente el modelo de daño acumulativo más simple y puede aplicarse fácilmente a un sistema como el

sistema 350, 380 descrito con el controlador 362 o 364, haciendo los cálculos y proporcionando las salidas deseadas de estado de fatiga y/o vida útil predicha. La regla de Miner establece que si hay k distintos niveles de tensión y el número promedio de ciclos hasta el fallo en la i -ésima tensión, S_i , es N_i , entonces la fracción de daño, C , sigue la siguiente relación:

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_k}{N_k} = C$$

donde n_i es el número de ciclos acumulados en la tensión S_i y C es la fracción de vida consumida por exposición a los ciclos a los distintos niveles de tensión.

En general, cuando la fracción C de daño alcanza 1,0, se produce un fallo del elemento fusible debido a la fatiga. Como regla general y para mantener una vida útil prolongada de los metales bajo influencia de fatiga, es ventajoso mantener C lo más pequeña posible. En otras palabras, los esfuerzos para mantener C más lejos de alcanzar 1 asegurarán una alta fiabilidad de vida. Expresado matemáticamente, es aplicable la siguiente relación y puede utilizarse para optimizar elementos de diseño basados en datos recogidos del sistema de la invención:

Regla de Miner: $\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_k}{N_k} < 1$

La aplicación de la regla de Miner a un fusible tal como el fusible 200 descrito anteriormente en respuesta a un ciclo de accionamiento particular puede tabularse como en la tabla ilustrativa que sigue. Las corrientes y zonas máximas como se ha descrito anteriormente se calculan para crear individualmente una cantidad calculada de esfuerzo utilizando relaciones conocidas. También se calcula y se muestra el número de ciclos hasta el fallo para cada uno de los niveles de corriente máxima. Los controladores 362 o 364 en el sistema cuentan entonces el número de ciclos de corriente en cada zona y divide el número de ciclos por el número de ciclos hasta el fallo para determinar un componente de daño acumulativo a partir de esos ciclos. Los componentes de daño para las distintas zonas pueden acumularse para evaluar el daño total de los ciclos de corriente en todas las zonas.

Por ejemplo, el esfuerzo de un evento de estacionamiento del VE se muestra en la primera fila en la tabla que sigue. El número de ciclos hasta el fallo de esta zona de corriente es de 419.923. El controlador ha contado 36.000 ciclos del evento del parque, por lo que el componente de daño es 36.000/419.932 o 0,0857. El cálculo de daños correspondiente para las cinco filas posteriores es efectivamente cero, y los cálculos para las tres últimas filas son distintos de cero. Se observa que el daño acumulado total es de 0,2139 e indica que se ha consumido aproximadamente un 21 % de la vida útil esperada, con aproximadamente un 79 % de la vida útil esperada restante. Los datos mostrados en la tabla pueden analizarse para posibles mejoras de rendimiento y para rediseñar los elementos fusibles basándose en los datos recogidos por el sistema en funcionamiento para mantener el daño acumulado a lo largo del tiempo lo más bajo posible en vista de las cargas de corriente esperadas, y menos de 1,0 cuando los elementos fusibles fallen debido a la fatiga.

Datos de perfil de accionamiento							Perfil de 180 kW		
Puntos débiles exteriores	Corriente máxima encendido (A)	Corriente apagado (A)	Esfuerzo medio	Esfuerzo alternante	Esfuerzo eficaz	Ciclos hasta fallo	300 ciclos de perfil	Daños	Acumulación de daños acumulativos
	135 Parque	0	0,2612	0,10702	0,10945	419.923	36.000	0,0857	0,0857
	135 carga	0	0,0673	0,06727	0,06766	3,92E+0,7	1200	0	0,0858
	200	135	0,3185	0,0017	0,00174	1,43E+34	21.600	0	0,0858
	250	135	0,3266	0,00875	0,009	1,89E+22	10.200	0	0,0858
	300	135	0,3021	0,01763	0,0181	1,67E+17	2700	0	0,0858
	350	135	0,35	0,0298	0,03071	2,48E+13	6600	0	0,0858
	400	135	0,3658	0,04729	0,04881	1,15E+10	1500	0	0,0858
	450	135	0,385	0,07086	0,07325	2,36E+07	4800	0,0002	0,086
	500	135	0,4082	0,09759	0,1011	775.119	3600	0,0046	0,0906
	550	135	0,4328	0,12297	0,12766	153.304	18.900	0,1233	0,2139

La técnica ilustrada en la tabla anterior permite que el controlador del sistema 362 o 364 proporcione información sobre el nivel de fatiga que se ha evaluado en cualquier momento deseado. El sistema 350, 380 puede proporcionar una alerta o notificación al personal del sistema de energía en algún momento en un umbral de daño acumulado predeterminado por debajo de 1,0 (por ejemplo, cuando el daño acumulado es de aproximadamente 0,80, o cuando se ha consumido aproximadamente el 80 % de la vida útil). La notificación puede alertar al personal de la condición relacionada del fusible 352 con una vida estimada restante para proporcionar una amplia oportunidad para que el fusible se sustituya proactivamente antes de que falle debido a fatiga avanzada. Esta técnica de evaluación del daño acumulado puede, en algunos casos, combinarse con las técnicas de medición de resistencia y medición del esfuerzo descritas anteriormente para proporcionar un grado de redundancia al sistema. En una realización en la que se utilizan más de una de las evaluaciones de fatiga utilizando los parámetros descritos (por ejemplo, resistencia, esfuerzo o daño por fatiga acumulada), los resultados pueden compararse entre sí para la confirmación de los resultados y/o para detectar una condición de error cuando una de las evaluaciones de fatiga contradiga a otra.

Como se demuestra en las Figuras 12 y 13, puede registrarse una ventana de tiempo predeterminada, tal como los últimos 20 segundos de la vida del fusible, continuamente en un sistema como el sistema 300. Los datos de corriente de la ventana se almacenan mediante uno de los controladores 362, 364. En cualquier momento, estos datos pueden ser recuperados y comunicados por el controlador a otro dispositivo. Pueden desarrollarse algoritmos para analizar los datos registrados en tal ventana para fatiga y/o esfuerzo utilizando técnicas similares a las descritas a continuación. Al igual que los sistemas descritos anteriormente, pueden enviarse notificaciones con respecto al estado de fatiga para facilitar la gestión proactiva del sistema de energía y evitar la apertura del fusible debido a la fatiga. Como las realizaciones anteriores, las notificaciones pueden incluir información sobre la vida útil consumida y/o la vida útil restante.

Como se muestra en la Figura 13, el sistema de la invención puede, además de detectar condiciones de fatiga y comunicarse la misma, detectar también un tipo de fallo. La primera ventana a la izquierda en la Figura 13 muestra una condición de funcionamiento normal en la que el elemento fusible está intacto y que soporta picos de corriente, y como la ventana mostrada en la Figura 12, un controlador del sistema 362 o 364 puede evaluar la condición de fatiga basándose en los datos recogidos en la ventana. La segunda ventana o intermedia en la Figura 13 muestra una condición de cortocircuito que puede ser reconocida por uno de los controladores 362, 364 en un sistema de la invención. La tercera ventana de la derecha en la Figura 13 muestra una condición de sobrecarga que puede ser reconocida por uno de los controladores 362, 364 en el sistema de la invención. Dado que las condiciones en la segunda y tercera ventanas provocan que el fusible se abra para proteger los circuitos del lado de carga, uno de los controladores 362, 364 basado en la ventana registrada respectiva puede inferir si la causa era una condición de cortocircuito o una condición de sobrecarga basándose en los últimos 20 segundos registrados de vida del fusible. Por lo tanto, el sistema puede enviar alertas y notificaciones no solo de que se haya abierto el fusible, sino que la causa de la apertura, para que los administradores del sistema de alimentación tomen las medidas adecuadas.

Utilizando las técnicas demostradas en las Figuras 12 y 13, pueden desarrollarse algoritmos que monitoricen los últimos segundos o minutos de la corriente del fusible antes del funcionamiento del fusible o de la apertura del fusible. Una memoria caché de bucle puede registrar el evento de corriente de fallo. En cualquier momento, la memoria del sistema puede leerse para obtener el estado del circuito para el uso actual. En un evento de fallo, el algoritmo detectaría la apertura del fusible y detendría el bucle de memoria para conservar el registro de la imagen o datos de fallo reales. El estado de fatiga, la corriente de circuito o la corriente de fallo pueden recuperarse en cualquier momento mediante uno de varios esquemas de comunicación. Los métodos de comunicación inalámbrica, de los que se conocen unos cuantos, ofrecen el método más conveniente debido a la falta de cableado físico. La comunicación inalámbrica puede establecerse utilizando, por ejemplo, esquemas de comunicación RFID, WIFI o Bluetooth para la recuperación de datos y comunicación utilizando los protocolos adecuados.

La Figura 14 representa esquemáticamente un primer sistema de evaluación de fatiga del fusible 500 ilustrativo según una realización de la presente invención. El sistema 500 incluye el fusible 352 que incluye el elemento fusible y los circuitos 360 conectados en paralelo con el elemento fusible dentro de una carcasa 502 de fusible. La carcasa 502 de fusible está provista de terminales de fusible T_1 y T_2 para establecer una conexión eléctrica con los circuitos 354 del lado de línea y los circuitos 356 del lado de carga.

El elemento fusible puede proporcionarse en cualquier forma estructural y configuración deseadas, incluyendo, aunque no de forma limitativa, los elementos fusibles 218, 220 descritos anteriormente, y puede diseñarse para abrirse en respuesta a cualquier condición de sobrecorriente deseada. La carcasa 502 también puede proporcionarse en cualquier forma deseada, incluyendo aunque no necesariamente de forma limitativa, a formas cilíndricas redondas y formas rectangulares, y puede llenarse con medios de extinción de arco tales como los descritos anteriormente o por lo demás conocidos en la técnica. Los terminales del fusible T_1 y T_2 pueden ser cualquier forma y configuración de terminal de fusible conocida, que incluye, aunque no necesariamente de forma limitativa, tapas o casquillos de extremo, contactos planos de cuchilla o contactos planos. En algunas realizaciones contempladas, el fusible 352 puede configurarse como un fusible modular CUBEFuse® de Bussmann by Eaton, St. Louis, Missouri, que tiene una carcasa rectangular y contactos planos que sobresalen de un lado común de la carcasa rectangular. Independientemente, y como se muestra en la Figura 14, el circuito 360 de compensación está

incorporado a la construcción del fusible. Es decir, el circuito 360 y la electrónica, tales como los descritos anteriormente, están dentro de la carcasa 502 de fusible y se incorporan por lo tanto al fusible.

Se muestra un dispositivo lector 504 como un dispositivo proporcionado por separado en el sistema 500. El dispositivo lector 504 puede ser un dispositivo portátil en algunas realizaciones o puede montarse estacionario en otras realizaciones. En algunas realizaciones, el dispositivo lector 504 puede ser un dispositivo portátil. El dispositivo lector 504 puede ser un dispositivo basado en procesador y puede comunicarse de forma inalámbrica con los circuitos 360 para recibir la información de voltaje detectado u otros datos necesarios para analizar o calcular la corriente que se detecta de la forma descrita anteriormente. Aunque la comunicación inalámbrica entre los circuitos 360 y el dispositivo lector 504 es beneficiosa en un gran sistema de alimentación eléctrica, no en todos los casos es estrictamente necesario y el dispositivo lector 504 puede estar en vez conectado por cable a los circuitos 360 a través de puertos de conexión y terminales en el fusible 352, si así se desea.

El dispositivo lector 504 en una realización contemplada puede configurarse como un lector de RFID o un dispositivo interrogador. En tal realización, una vez que la información se obtiene de un elemento RFID correspondiente en el circuito 360, la resistencia y la corriente para hacer que las evaluaciones de fatiga descritas anteriormente puedan calcularse mediante el dispositivo lector 504, o en una realización en donde la resistencia o corriente se calcule dentro de la electrónica integrada en el fusible 352, la resistencia o corriente calculada puede simplemente comunicarse al dispositivo lector 504.

Como se ha mencionado anteriormente, el fusible 352 puede estar provisto de una etiqueta RFID o etiqueta 506 de código de barras en la carcasa 502 del fusible 352. La etiqueta 506 puede incluir información codificada que se comunicará a un dispositivo lector 504. Por lo tanto, el dispositivo lector 504 puede ser un dispositivo multifuncional que incluya múltiples medios de comunicación con elementos del fusible. La etiqueta RFID o etiqueta de código de barras puede incluir información de identificación para el fusible 352, información de capacidad nominal para el fusible 352, e información codificada que facilita el cálculo de la resistencia o la corriente detectada que permite realizar las evaluaciones de fatiga descritas anteriormente. Como tal, al leer la etiqueta o el código de barras en la carcasa de fusible, el dispositivo lector 504 puede saber cuál de los múltiples algoritmos predeterminados utilizar para calcular la resistencia y la corriente, y el dispositivo lector también puede obtener cualquier coeficiente que pueda ser único para el uso del fusible 352 en el algoritmo. En tal escenario, el dispositivo lector 504 es un dispositivo inteligente que puede distinguir diferentes tipos de fusibles y seleccionar uno de una variedad de algoritmos predeterminados para calcular la corriente detectada.

Una vez obtenido, la información obtenida por el dispositivo lector 504, que incluye las evaluaciones calculadas de corriente y fatiga, puede comunicarse adicionalmente a un dispositivo remoto 508 a través de cualquier red de comunicación deseada. El dispositivo remoto 508 puede facilitar la monitorización y supervisión del sistema de alimentación eléctrica y cualquier proceso relacionado. El dispositivo remoto 508 puede, por ejemplo, formar parte de un sistema de control de vehículos o de un sistema de Supervisory Control and Data Acquisition (control de supervisión y adquisición de datos - SCADA) que supervise aspectos de una instalación industrial y de procesos que un experto en la técnica pueda apreciar.

Se aprecia que, en algunas realizaciones, la corriente detectada y la fatiga evaluada podrían en realidad calcularse o determinarse mediante el dispositivo remoto 508 en la localización remota si así se desea, suministrando el dispositivo lector 504 únicamente la información necesaria para realizar el cálculo. Pueden proporcionarse diversos grados de sofisticación y complejidad en el dispositivo lector 504 en el sistema 500 propuesto a coste variable.

La Figura 15 representa esquemáticamente un segundo sistema 550 ilustrativo de evaluación de fatiga del fusible según otra realización de la presente invención. El sistema 550 incluye un soporte de fusible o bloque 552 de fusible que incluye una carcasa 554 provista de terminales T_{1H} y T_{2H} configurados para establecer estructuralmente la conexión eléctrica a los circuitos 354, 356 del lado de la línea y del lado de la carga, respectivamente. Los terminales T_{1F} y T_{2F} del fusible 352 están configurados para coincidir estructuralmente con los terminales T_{1H} y T_{2H} del soporte de fusible o el bloque 552 de fusible, de forma que se establece una conexión eléctrica entre el circuito del lado de línea y el lado de carga a través del elemento fusible.

A diferencia del sistema 500 (Figura 14), los circuitos 360 no se proporcionan en la carcasa 502 del fusible 352, sino que se proporcionan sobre o en la carcasa 554 del soporte de fusible o el bloque 552 de fusible. Como tales, los circuitos 360 en esta realización están integrados en el bloque 552 de fusible en vez de en el fusible 352. Sin embargo, el funcionamiento de los circuitos 360 sigue siendo el mismo, y la etiqueta 506 y el lector 508 también pueden proporcionarse como se ha descrito anteriormente con un efecto similar para proporcionar la evaluación de fatiga utilizando las técnicas descritas anteriormente.

En una realización alternativa en donde los circuitos 360 están integrados en el fusible 352 como se ha descrito anteriormente en el sistema 500, el lector 508 podría estar integrado en el bloque o carcasa de fusible 552.

El soporte de fusible o la carcasa de bloque de fusible 554 pueden estar provistos de múltiples conjuntos de terminales T_{1H} y T_{2H} , de modo que pueden alojarse múltiples conjuntos de fusibles 352 en la carcasa de fusible o en

el bloque 552 de fusible. La carcasa 554 puede proporcionarse en una sola pieza o en múltiples piezas, y puede proporcionarse en piezas modulares que pueden estar unidas entre sí. La carcasa 554 puede configurarse como un bloque de fusible de estilo abierto o puede contener parcial o completamente los fusibles 352 según se desee.

Los terminales T_{1H} y T_{2H} proporcionados en la carcasa 554 pueden incluir clips de resorte elásticos que estén configurados estructuralmente para recibir y retener los terminales T_{1F} y T_{2F} del fusible 352. Pueden proporcionarse terminales de fusible T_{1F} y T_{2F} en cualquier forma y configuración estructural, incluyendo, aunque no necesariamente de forma limitativa, a tapas o casquillos de extremo, contactos de cuchilla planos o contactos planos. Los terminales T_{1H} y T_{2H} en el soporte de fusible o en la carcasa de bloque de fusibles pueden variarse para acoplarse con los terminales T_{1F} y T_{2F} del fusible 352. Pueden incorporarse características de rechazo de fusibles a los terminales T_{1F} y T_{2F} del fusible 352 y/o pueden incorporarse a la carcasa 554 para impedir la instalación de un fusible incompatible.

Los terminales T_{1H} y T_{2H} proporcionados en la carcasa 554 también incluyen características de terminales tales como orejetas de caja, abrazaderas de resorte u otros terminales configurados para aceptar y retener un extremo de un cable utilizado para establecer las conexiones eléctricas del lado de línea y de carga al bloque de fusible o carcasa 552. De forma alternativa, pueden proporcionarse clips de montaje de panel y similares, así como otra estructura terminal para establecer una conexión mecánica y eléctrica con los circuitos 354, 356 de línea y carga.

La Figura 16 representa esquemáticamente un tercer sistema 600 ilustrativo de evaluación de fatiga del fusible según una realización de la presente invención. El sistema 600 incluye un dispositivo 602 de interruptor de desconexión de fusible que incluye una carcasa o base 604 provista de terminales T_{1L} y T_{2L} configurada para establecer estructuralmente la conexión eléctrica a los circuitos 354, 356 del lado de línea y del lado de carga, respectivamente. Se proporciona un interruptor 606 en la carcasa o base 604 que puede abrirse o cerrarse selectivamente para crear o romper la ruta de corriente a través del dispositivo 602 de interruptor de desconexión, y cuando se instala el fusible 352 y el interruptor 606 se cierra, el elemento fusible en el fusible 352 completa una conexión eléctrica entre los circuitos 354, 356 del lado de línea y del lado de carga. La base 604 puede, en algunas realizaciones, configurarse como un Compact Circuit Protector (protector de circuito compacto - CCP) de Bussmann by Eaton, St. Louis, Missouri. Como puede verse en el esquema de la Figura 15, el dispositivo de conmutación de desconexión 602 no incluye un interruptor de circuito en línea y es, en consecuencia, más pequeño que las combinaciones convencionales de interruptor en línea y fusible.

Los terminales T_{1F} y T_{2F} del fusible 352 están configurados para coincidir estructuralmente con terminales complementarios de la base 604, de modo que pueda establecerse una conexión eléctrica a través del elemento fusible en el fusible 352. Los terminales complementarios de la base 604 pueden incluir clips de resorte elásticos que estén configurados estructuralmente para recibir y retener los terminales T_{1F} y T_{2F} del fusible 352. Los terminales de fusible T_{1F} y T_{2F} pueden proporcionarse en cualquier forma y configuración estructural, incluyendo, aunque no necesariamente de forma limitativa, tapas o casquillos de extremo, contactos planos de cuchilla o contactos planos. Los terminales complementarios en el soporte de fusible o en la carcasa de bloque de fusible pueden variarse como corresponda para acoplarse con los terminales T_{1F} y T_{2F} del fusible 352. Pueden incorporarse características de rechazo de fusibles a los terminales T_{1F} y T_{2F} del fusible 352 y/o pueden incorporarse a la carcasa 604 para impedir la instalación de un fusible incompatible. Cuando se instala el fusible 352, el interruptor 606 puede accionarse para conectar o desconectar la conexión eléctrica a través del elemento fusible y entre el circuito 354, 356 del lado de la línea y del lado de la carga. Como tal, el interruptor 606 proporciona una conexión y desconexión del recorrido del circuito a través del dispositivo 602 mientras el fusible 352 permanece en su sitio.

En la realización mostrada en la Figura 16, los circuitos 360 no se proporcionan en la carcasa 502 del fusible 352, sino que se proporcionan sobre o en la base 604 del dispositivo 602 de desconexión de interruptor. Como tales, los circuitos 360 en esta realización están integrados en la base 602 en vez de en el fusible 352. Sin embargo, el funcionamiento de los circuitos 360 sigue siendo el mismo, y la etiqueta 506 y el lector 508 también pueden proporcionarse como se ha descrito anteriormente con un efecto similar.

En una realización alternativa en donde los circuitos 360 están integrados en el fusible 352 como se ha descrito anteriormente en el sistema 500, el lector 504 podría estar integrado en la base 604.

La base 604 puede estar provista de múltiples conjuntos de terminales, de modo que puedan alojarse múltiples conjuntos de fusibles 352. La base 604 puede proporcionarse en una sola pieza o en múltiples piezas, y puede proporcionarse en piezas modulares que pueden estar unidas entre sí. La base 604 puede contener parcial o completamente el(los) fusible(s) 352 según se desee.

Terminales T_{1L} y T_{2L} proporcionados en la base 604 también incluyen características de terminales tales como orejetas de caja, abrazaderas de resorte u otros terminales configurados para aceptar y retener un extremo de un cable utilizado para establecer conexiones eléctricas del lado de línea y del lado de carga al dispositivo 602 de interruptor de desconexión. De forma alternativa, pueden proporcionarse clips de montaje de panel y similares, así como otra estructura terminal para establecer una conexión mecánica y eléctrica con los circuitos 354, 356 de línea y de carga.

La Figura 17 es un diagrama de flujo de método que ilustra procesos 700 ilustrativos asociados a las técnicas y sistemas de evaluación de fatiga del fusible mostrados en las Figuras 7-15. Los procesos 700 pueden realizarse electrónicamente para establecer un sistema de evaluación de fatiga del fusible eléctrica, como los descritos anteriormente o aún otras variaciones según sea apropiado o como se describe para satisfacer necesidades particulares flexibles de distintos sistemas de alimentación eléctrica. Aunque los procesos 700 pueden ser especialmente deseables en aplicaciones de sistema de alimentación de VE descritas anteriormente, no se limitan a aplicaciones de sistema de alimentación de VE y, en cambio, pueden extenderse a cualquier sistema de alimentación en el que la fatiga del fusible y los problemas analizados anteriormente sean de preocupación práctica.

Como se muestra en las etapas preparatorias en la Figura 17, se proporciona un fusible en la etapa 702 y se proporciona un controlador en la etapa 704. Como se ha descrito anteriormente, el fusible proporcionado en la etapa 702 puede incluir uno o más elementos fusibles metálicos estampados que definan una geometría que incluya al menos un punto débil, y el controlador proporcionado en la etapa 704 puede incluir los controladores descritos anteriormente. En realizaciones contempladas, el controlador puede incorporarse al fusible y, como tales, las etapas 702 y 704 pueden aplicarse en una sola etapa en vez de en etapas separadas. En otras realizaciones contempladas, el controlador puede incorporarse a un soporte de fusible o a un interruptor de desconexión y como tal la etapa 704 puede incluir proporcionar el soporte del fusible o un interruptor de desconexión que incluya el controlador. Sin embargo, en otras realizaciones, el controlador proporcionado en la etapa 704 puede proporcionarse de otra forma que facilite faciliten la evaluación. En realizaciones que incluyan más de un controlador como se ha contemplado anteriormente, se llevarían a cabo adecuadamente etapas adicionales similares a la etapa 704. Cuando se proporciona de este modo, el controlador o controladores suministrados pueden monitorizar al menos un parámetro de fatiga del fusible durante un período de tiempo, mientras el fusible proporcionado en la etapa 702 esté conectado a un sistema de alimentación eléctrica activado.

Como se representa en la etapa 706, puede proporcionarse una fuente de corriente y el controlador puede inyectar una corriente. Puede proporcionarse un circuito de compensación, como el descrito anteriormente puede proporcionarse interno o externo al fusible y puede configurarse para detectar el flujo de corriente a través del fusible. Utilizando técnicas tales como las descritas anteriormente, el controlador puede configurarse para medir una resistencia del elemento fusible basándose en la corriente inyectada a través del elemento fusible desde la fuente de corriente. En algunos casos, también puede utilizarse un sensor de corriente separado opcional (o sensores de corriente) representado en la etapa 708 para facilitar las mediciones de resistencia o proporcionar de otro modo alguna capacidad para evaluar los problemas de fatiga del elemento de fusión. Como tales, no necesariamente se requieren técnicas de inyección de corriente y los circuitos de compensación en todas las realizaciones.

Como se muestra en la etapa 720, el controlador está configurado para determinar la resistencia del elemento fusible en el fusible proporcionado en la etapa 702. Dicha resistencia puede monitorizarse a lo largo del tiempo para determinar cambios en la resistencia que puedan indicar el avance de la fatiga del fusible utilizando las técnicas descritas anteriormente.

En una realización contemplada, la resistencia medida se utiliza como parámetro de fatiga del fusible que se monitoriza durante un período de tiempo, como se muestra en la etapa 722, para evaluar un estado o una condición de fatiga del elemento fusible. Específicamente, y como se ha descrito anteriormente, en algunas realizaciones el cambio medido en la resistencia puede compararse con un gráfico de resistencia a la fatiga del fusible predeterminada mediante el controlador, como se representa por la etapa 724. Basándose en el parámetro de fatiga del fusible monitorizado (por ejemplo, cambio en la resistencia monitorizada), el controlador está configurado además para determinar al menos una de una vida útil consumida del elemento fusible como se muestra en la etapa 726 o una vida útil restante del elemento fusible como se muestra en la etapa 728.

Una vez que se determina la vida útil consumida y/o la vida útil restante, el controlador puede comunicar información sobre la al menos una vida útil consumida del elemento fusible o la vida útil restante del elemento fusible, como se muestra en la etapa 730. La comunicación de la información de vida puede comunicarse de cualquier forma, tales como las descritas anteriormente o conocidas en la técnica. Aunque la comunicación inalámbrica puede preferirse en ciertos sistemas, la comunicación por cable puede preferirse en otros, y en algunos sistemas puede utilizarse comunicaciones tanto inalámbricas como por cable para proporcionar modalidades de comunicación redundantes. La información de vida comunicada puede comunicarse, como se ha descrito anteriormente, de un controlador a otro (o de un dispositivo a otro) antes de recibirse en un destino apropiado en donde puedan generarse alertas o notificaciones, como se muestra en la etapa 732, para evitar un funcionamiento de tipo molestia del fusible debido a problemas de fatiga. En particular, la comunicación de la información puede incluir un dispositivo lector o un dispositivo remoto en comunicación con el controlador. En realizaciones que tengan múltiples controladores, los controladores pueden determinar o comunicar solo una parte de la información a otro controlador o dispositivo, que pueda procesar adicionalmente la información recibida hasta que, eventualmente, la información de vida esté disponible para la comunicación en la etapa 730 para el propósito final de notificación en la etapa 732 a medida que el elemento fusible se aproxima a su final de vida. Antes de que dicha notificación se genere apropiadamente, la información de vida puede grabarse y comunicarse también para facilitar archivado y análisis de datos, así como los informes deseados.

Una vez generada la notificación 732, puede proporcionarse algún tiempo para que el fusible pueda ser sustituido proactivamente antes de que el elemento fusible falle debido a la fatiga avanzada del fusible, para asegurar que no se interrumpa el uso y disfrute del sistema de alimentación. En aplicaciones tales como en las aplicaciones del sistema de energía de VE descritas, puede mejorarse la fiabilidad del sistema y la satisfacción del usuario evitando un funcionamiento de tipo molestia impredecible del fusible atribuible a la fatiga del fusible.

En otro proceso ilustrativo, el controlador puede configurarse opcionalmente para calcular un esfuerzo asociado a la corriente que fluye a través del fusible, como se muestra en la etapa 734. El esfuerzo calculado puede utilizarse como parámetro de fatiga de fusible para los propósitos de las etapas 720, 722 y 724. En la etapa 724, el controlador puede comparar el esfuerzo calculado con un gráfico de esfuerzo de fatiga del fusible predeterminado, como se ha explicado anteriormente, para determinar al menos una de una vida útil consumida del elemento fusible o una vida útil restante del elemento fusible, como se muestra en las etapas 726 y 728.

En otro procedimiento ilustrativo, el controlador puede calcular opcionalmente un componente de daño por fatiga basado en un número detectado de picos de corriente en un intervalo predeterminado y un número total de ciclos hasta el fallo al esfuerzo calculado, como se muestra en la etapa 736. Dicho cálculo puede o no referirse al esfuerzo calculado de la etapa 734. Independientemente de ello, el componente de daño por fatiga puede utilizarse como parámetro de fatiga del fusible para los propósitos de las etapas 720, 722 y 724. En la etapa 724, el controlador puede comparar los componentes de daño por fatiga acumulados y comparar la fatiga acumulada con 1 para determinar la al menos una vida útil consumida del elemento fusible o una vida útil restante del elemento fusible, como se muestra en las etapas 726 y 728.

Como tales, los parámetros de fatiga del fusible, tales como el cambio en la resistencia, un cambio en el esfuerzo mecánico del elemento fusible, y un componente de daño acumulado, pueden monitorizarse por separado o en combinación en las mismas o distintas realizaciones para proporcionar una variedad de diferentes sistemas de evaluación de fatiga del fusible. En realizaciones en las que se monitoriza más de un parámetro de fatiga del fusible, pueden compararse los resultados para proporcionar redundancia de sistema y/o para permitir una funcionalidad más avanzada del sistema, tal como capacidades de detección de errores del sistema y similares. También se comunican en la etapa 730 más de un tipo de evaluación de fatiga del fusible basándose en los distintos parámetros de fatiga del fusible.

Como se muestra en la etapa 738, el controlador puede configurarse para identificar una condición de fallo. En la etapa 740, el controlador también puede configurarse para identificar un tipo específico de corriente de fallo en el sistema de alimentación eléctrica utilizando técnicas tales como las descritas anteriormente (por ejemplo, identificación de fallo basada en una ventana de evaluación de una duración predeterminada basada en una ventana de evaluación de una duración predeterminada). En la etapa 742, el controlador puede configurarse para comunicar el tipo de corriente de fallo. Dicha comunicación de tipos específicos de corrientes de fallo puede ser valiosa para solucionar u optimizar los sistemas de alimentación eléctrica a lo largo del tiempo, así como para proporcionar retroalimentación en tiempo real con respecto al rendimiento de los fusibles eléctricos en un sistema de alimentación eléctrica.

Los procesos mostrados y descritos pueden escalarse en un número de fusibles en un sistema de alimentación eléctrica deseado, de modo que puedan monitorizarse simultáneamente múltiples fusibles para problemas de fatiga del fusible. Pueden identificarse y detectarse variaciones individuales en el rendimiento del fusible comparando la información de fatiga de un fusible frente a otros fusibles que puedan estar sometidos a los mismos o distintos perfiles de corriente. La información recogida y comunicada para un número de fusibles en un sistema de alimentación activado puede proporcionar una valiosa retroalimentación en tiempo real para propósitos de solución de problemas para optimizar sistemas de alimentación eléctrica a lo largo del tiempo, así como para analizar y optimizar el rendimiento de los fusibles eléctricos en el sistema de alimentación eléctrica.

Habiendo descrito ahora los sistemas 300, 500, 550 y 600 ilustrativos en los aspectos funcionales, los expertos en la técnica pueden construir circuitos de control para aplicar la metodología y los procesos de los controles como se describe sin explicación adicional. Cualquier programación de un controlador puede lograrse utilizando algoritmos apropiados y similares para proporcionar los efectos deseados, que se cree que están dentro del ámbito de la técnica.

Se cree ahora que los beneficios de la invención se han ilustrado ampliamente en relación con las realizaciones ilustrativas descritas.

Se ha descrito un sistema de evaluación de fatiga de fusibles eléctricos que incluye: un controlador configurado para monitorizar al menos un parámetro de fatiga del fusible durante un período de tiempo mientras el fusible está conectado a un sistema de alimentación eléctrica activado. Basándose en el al menos un parámetro de fatiga del fusible monitorizado, el controlador está configurado además para determinar al menos uno de una vida útil consumida del elemento fusible o de una vida útil restante del elemento fusible.

Opcionalmente, el al menos un parámetro de fatiga del fusible puede incluir uno de un cambio de resistencia, un cambio en el esfuerzo mecánico del elemento fusible, o un componente de daño acumulado.

- 5 El sistema puede incluir una fuente de corriente, en donde el controlador está configurado para medir una resistencia del fusible en función de una corriente inyectada a través del elemento fusible desde la fuente de corriente. El controlador puede configurarse para comparar la resistencia medida con un gráfico de resistencia a la fatiga del fusible predeterminado. El sistema puede incluir circuitos de compensación configurados para detectar flujo de corriente a través del fusible.
- 10 El controlador puede configurarse opcionalmente para calcular un esfuerzo asociado a la corriente que fluye a través del fusible. El controlador puede configurarse para comparar el esfuerzo calculado con un gráfico de esfuerzo por fatiga del fusible predeterminado.
- 15 El controlador puede configurarse opcionalmente para calcular un componente de daño por fatiga basado en un número detectado de picos de corriente en un intervalo predeterminado y en un número total de ciclos hasta el fallo al esfuerzo calculado. El controlador puede configurarse para acumular los componentes calculados de daño por fatiga y comparar la fatiga acumulada con 1 para determinar la al menos una vida útil consumida del elemento fusible o una vida útil restante del elemento fusible.
- 20 El controlador puede configurarse opcionalmente para comunicar información sobre el al menos uno de una vida útil consumida del elemento fusible o vida útil restante del elemento fusible. El controlador puede configurarse para comunicar de forma inalámbrica la información.
- 25 El controlador puede configurarse opcionalmente para identificar un tipo de corriente de fallo en el sistema de alimentación eléctrica. El controlador puede configurarse para comunicar el tipo de corriente de fallo. El controlador puede configurarse para comunicar de forma inalámbrica el tipo de fallo. El controlador puede configurarse para identificar la corriente de fallo basándose en una ventana de evaluación de una duración predeterminada.
- 30 Como opciones distintas, el controlador puede incorporarse al fusible, puede estar ser incorporado a un soporte de fusible, o puede integrarse a un interruptor de desconexión. El sistema puede igualmente tener al menos uno de un dispositivo lector o un dispositivo remoto en comunicación con el controlador.
- 35 El elemento fusible puede ser un elemento fusible metálico estampado en una geometría que incluya al menos un punto débil.
- Esta descripción escrita utiliza ejemplos para describir la invención, incluyendo el mejor modo, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo la fabricación y uso de cualquier dispositivo o sistema y la ejecución de los métodos incorporados. El ámbito patentable de la invención se define mediante las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que conciben los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (500, 550, 600) de evaluación de fatiga de un fusible eléctrico que comprende:
 - 5 un controlador (362, 364) configurado para monitorizar un parámetro de fatiga de un fusible durante un período de tiempo mientras el fusible eléctrico (352) está conectado a un sistema de alimentación eléctrica activado; y
 - 10 un circuito (360) conectado en paralelo eléctrico con el fusible eléctrico (352), incluyendo el circuito (360) una fuente (382) de corriente configurada para inyectar corriente a través del fusible eléctrico (352);
 - 15 en donde el controlador (36, 364) está configurado para medir una resistencia del fusible eléctrico (352) basado en la corriente inyectada a través del fusible eléctrico (352);
 - en donde el controlador (362, 364) está configurado para evaluar el parámetro de fatiga del fusible monitorizado en referencia a la resistencia medida; y
 - en donde, basándose en el parámetro de fatiga del fusible monitorizado evaluado, el controlador (362, 364) está configurado además para determinar al menos una de una vida útil consumida del fusible eléctrico (352) o una vida útil restante del fusible eléctrico (352).
2. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 1, en donde el parámetro de fatiga del fusible evaluado incluye un cambio en resistencia medida del fusible eléctrico y, adicionalmente, también un cambio en el esfuerzo mecánico del fusible eléctrico y/o un componente de daño acumulado en el fusible eléctrico.
3. El sistema (500,550, 600) de la reivindicación 1, en donde la fuente (382) de corriente está configurada para inyectar una corriente de CA a una frecuencia preestablecida a través del fusible eléctrico (352).
4. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 1, en donde el controlador (362, 364) está configurado para comparar la resistencia medida con un gráfico predeterminado de resistencia a la fatiga del fusible para el fusible eléctrico (352).
5. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 1, en donde el controlador (362, 364) está configurado además para:
 - 35 calcular un esfuerzo asociado con la corriente que fluye a través del fusible (352); y
 - comparar el esfuerzo calculado con un gráfico de esfuerzo por fatiga del fusible predeterminado para el fusible eléctrico (352).
6. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 5, en donde el controlador (362, 364) está configurado además para calcular un componente de daño por fatiga basado en un número detectado de picos de corriente en un intervalo predeterminado y un número total de ciclos hasta el fallo al esfuerzo calculado.
7. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 6, en donde el controlador (362, 364) está configurado además para acumular los componentes de daño por fatiga calculados con el tiempo; y
- 45 en donde el controlador (362, 364) está configurado para comparar los componentes de daño por fatiga calculados acumulados para determinar la al menos una de una vida útil consumida del fusible eléctrico (352) o una vida útil restante del fusible eléctrico (352).
8. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 1, en donde el controlador (362, 364) está configurado para comunicar información con respecto a la al menos una de una vida útil consumida del fusible eléctrico (352) o a la vida útil restante del fusible eléctrico (352).
9. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 1, en donde el controlador (362, 364) está configurado para identificar y comunicar un tipo de corriente de fallo en el sistema de alimentación eléctrica.
10. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 9, en donde el controlador (362, 364) está configurado para identificar el tipo de corriente de fallo basándose en una ventana de evaluación de una duración predeterminada.
11. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 1, en donde el controlador (362, 364) está incorporado al fusible eléctrico (352).
12. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 1, en donde el controlador (362, 364) está incorporado a uno de un soporte (552) de fusible y un interruptor (602) de desconexión.
13. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 1, que comprende además al menos uno de un dispositivo lector (504) o un dispositivo remoto (508) en comunicación con el controlador (362, 364).

14. El sistema (500, 550, 600) de la reivindicación 1, en donde el fusible eléctrico (352) incluye un elemento fusible metálico estampado en una geometría que incluye al menos un punto débil (241).

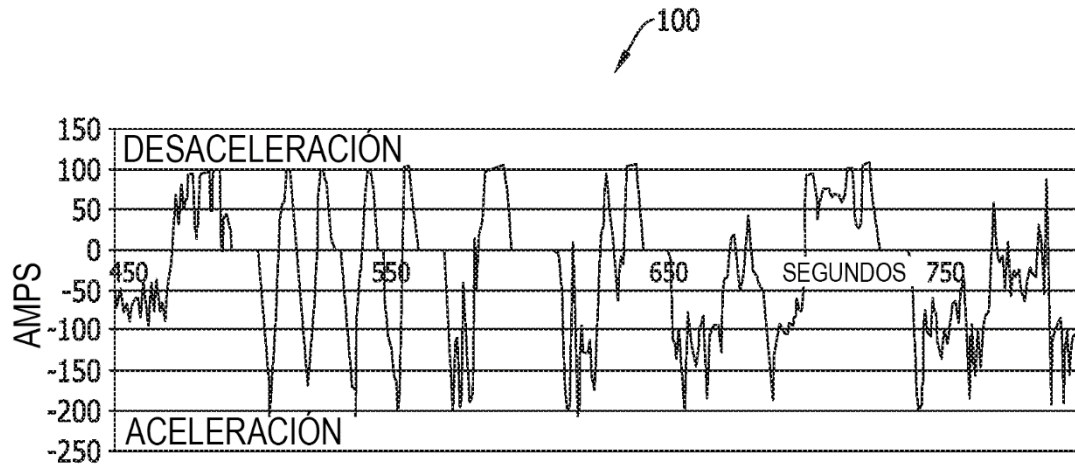


Fig. 1

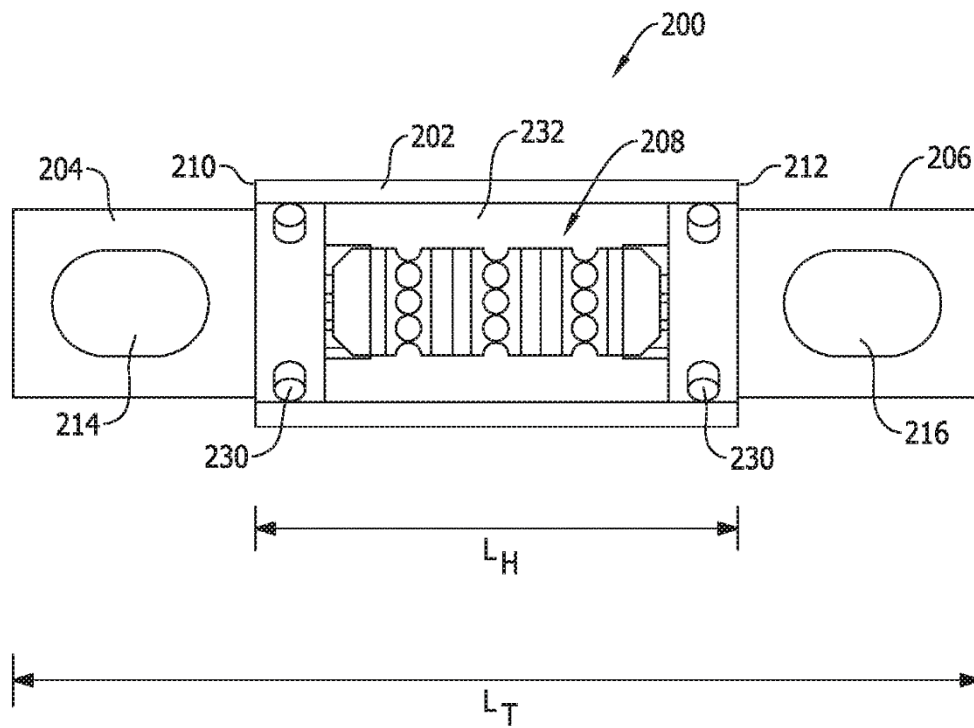


Fig. 2

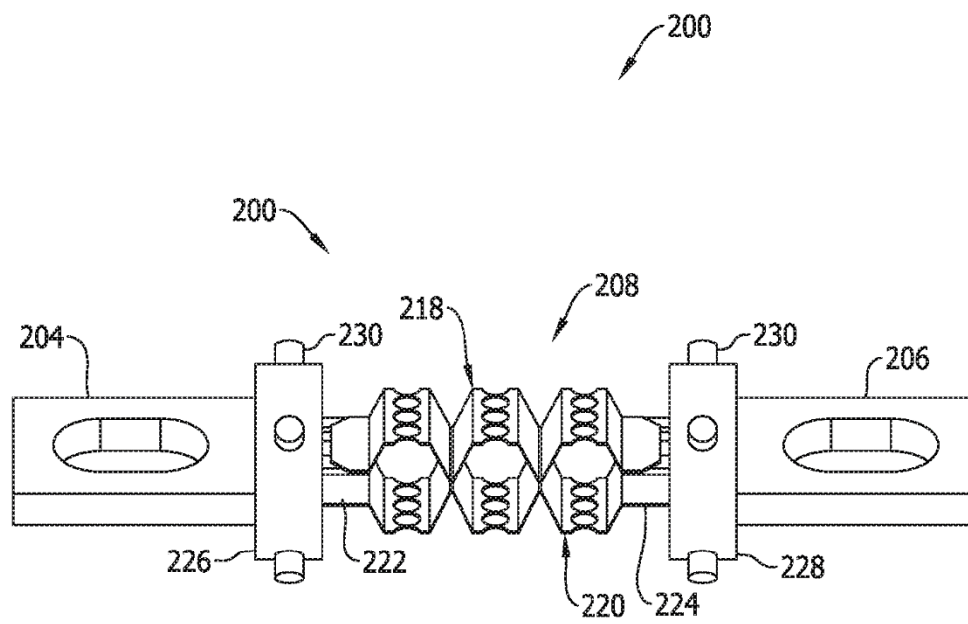


Fig. 3

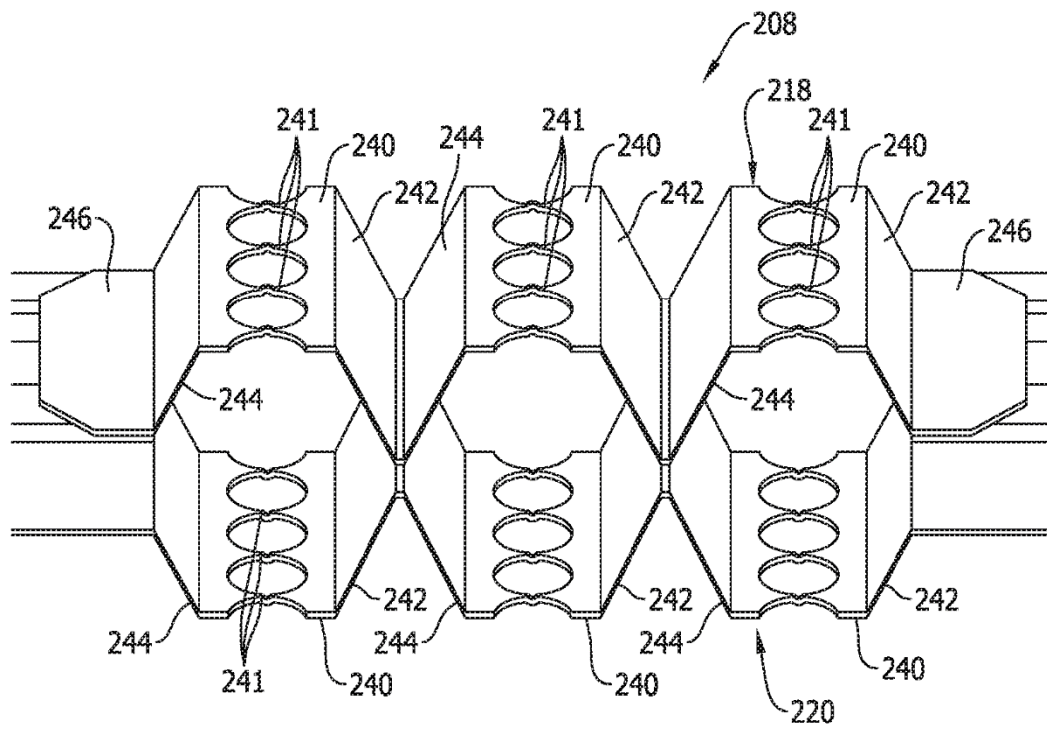


Fig. 4

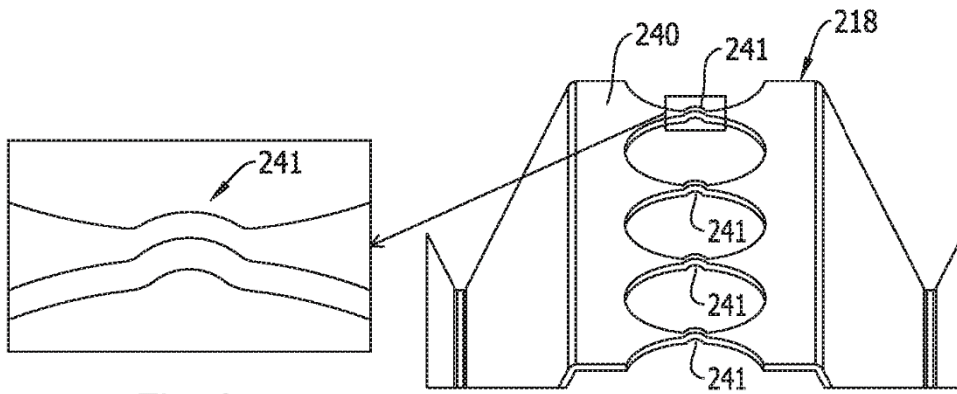


Fig. 6

Fig. 5

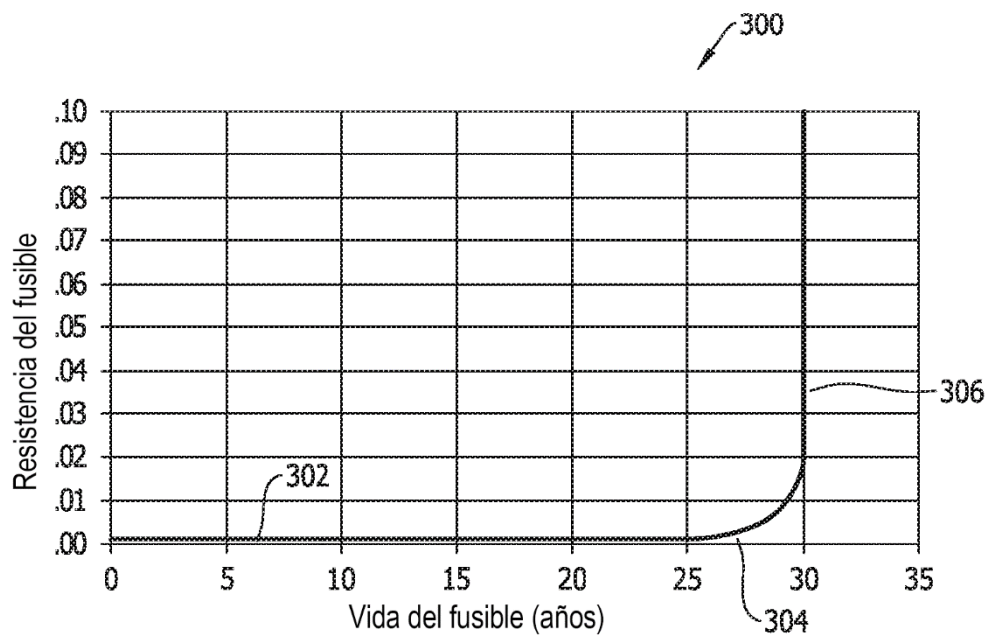


Fig. 7

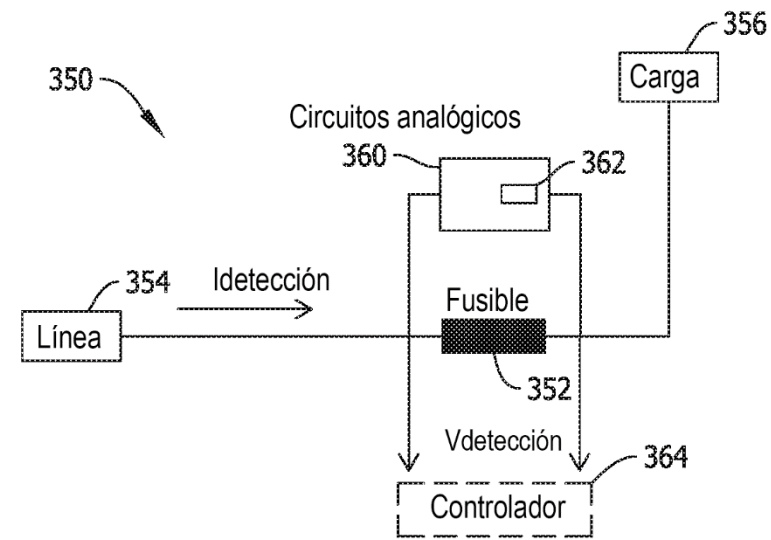


Fig. 8

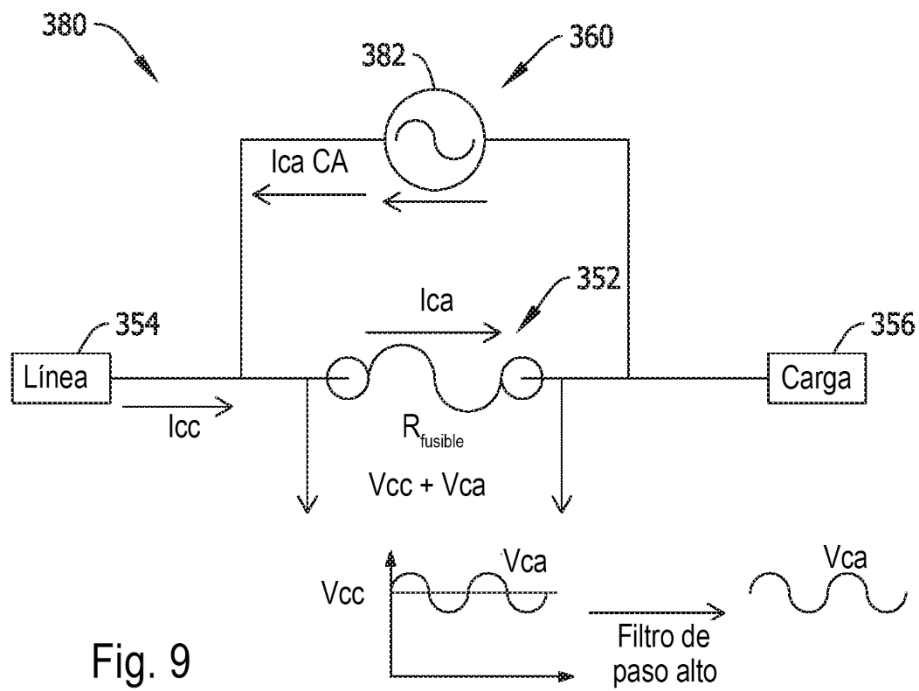


Fig. 9

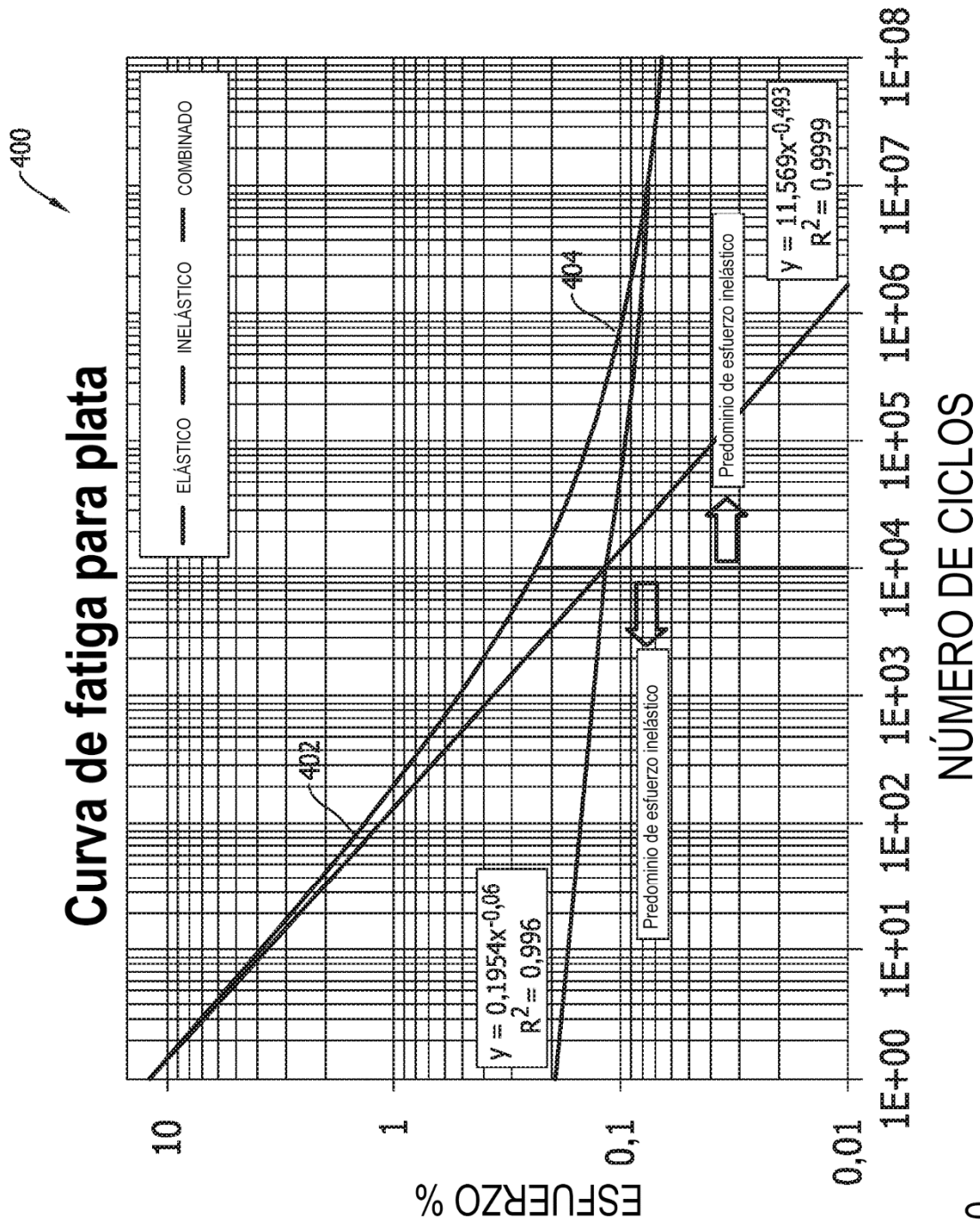


Fig. 10

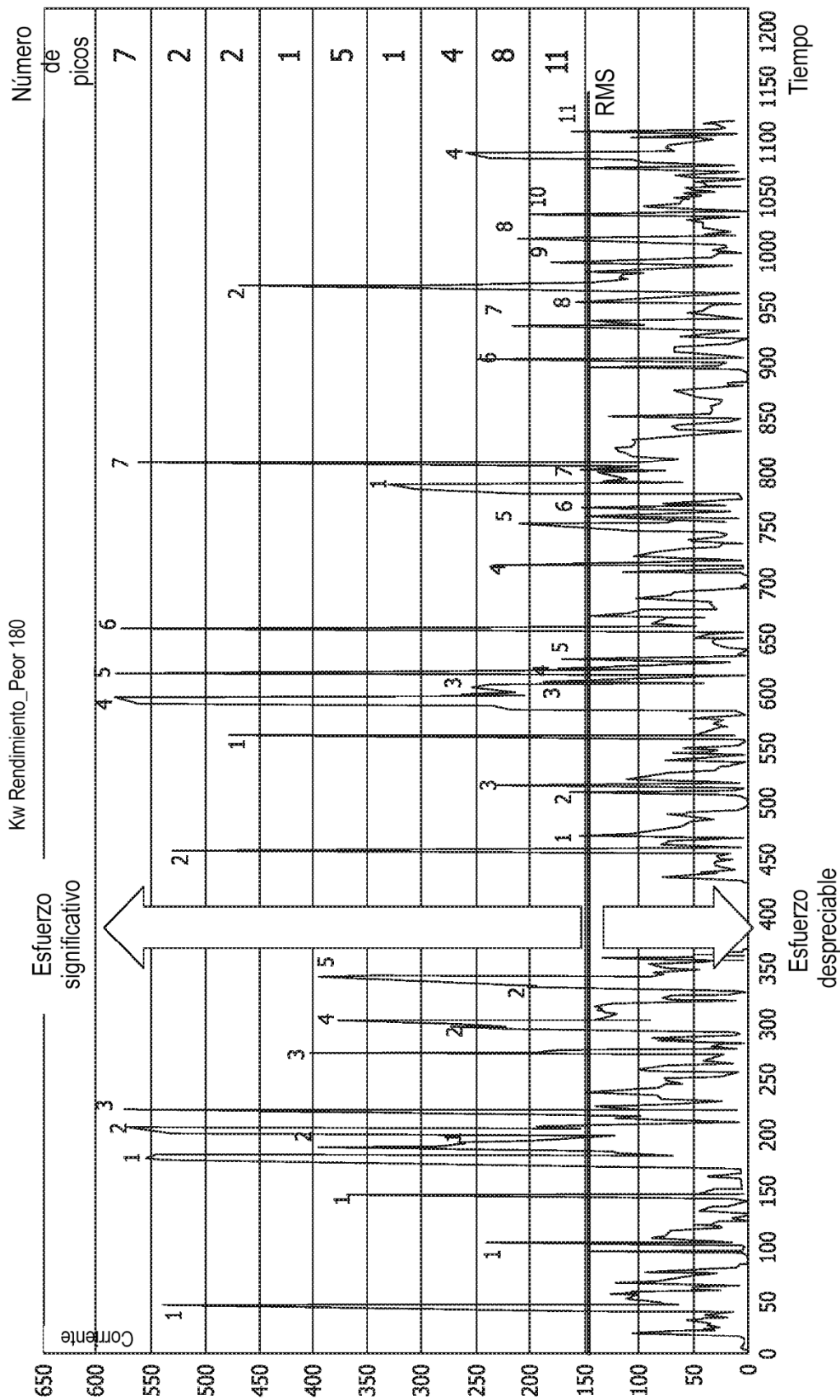


Fig. 11

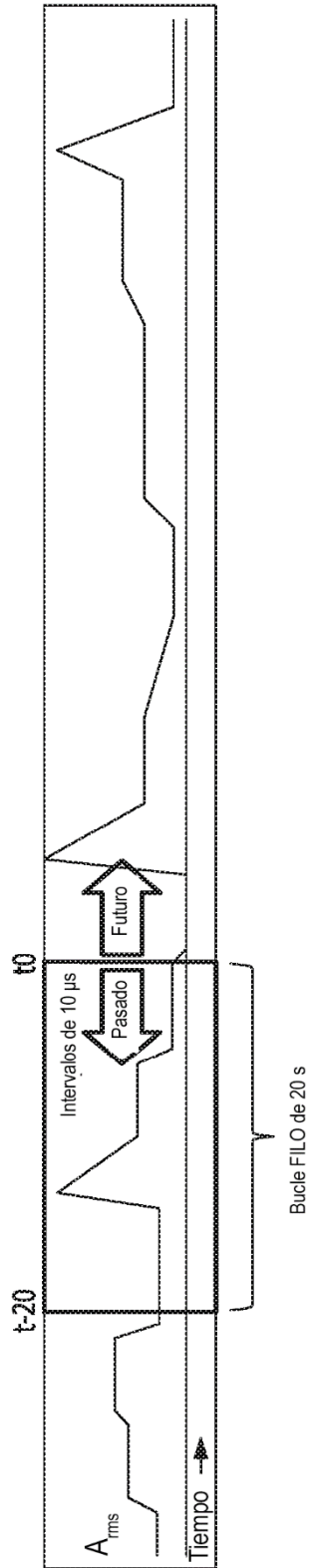


Fig. 12

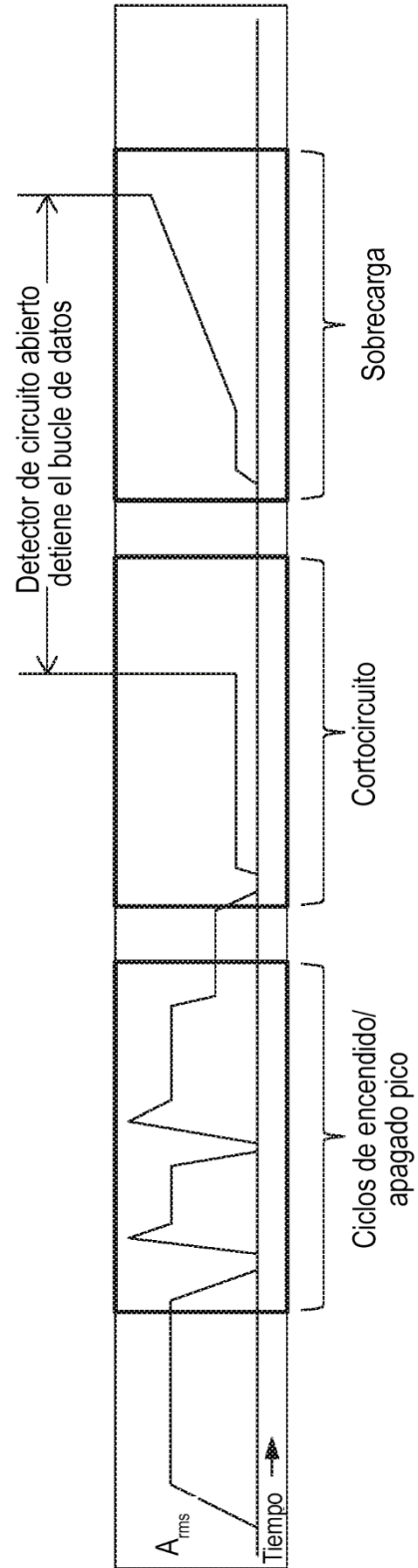


Fig. 13

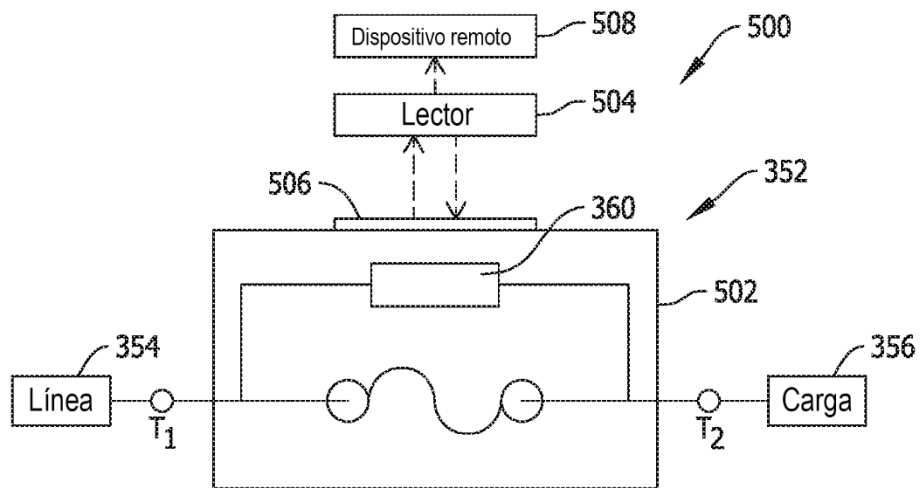


Fig. 14

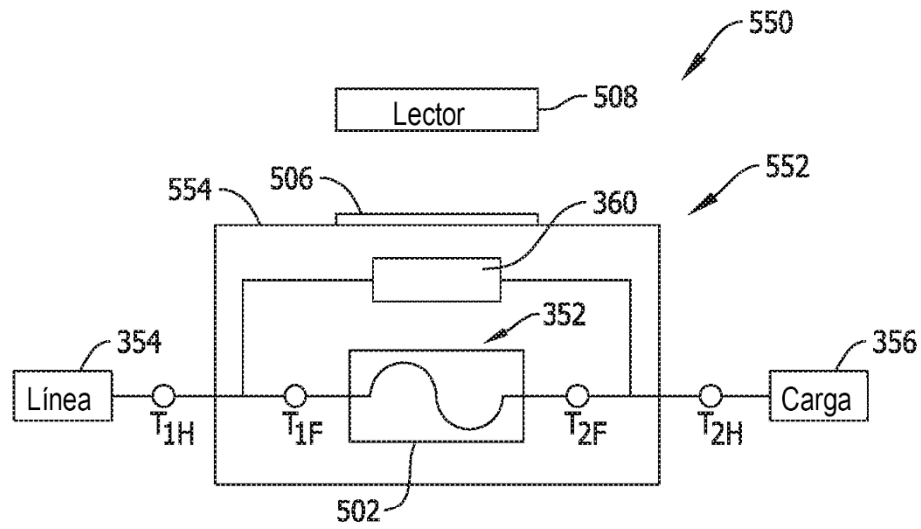


Fig. 15

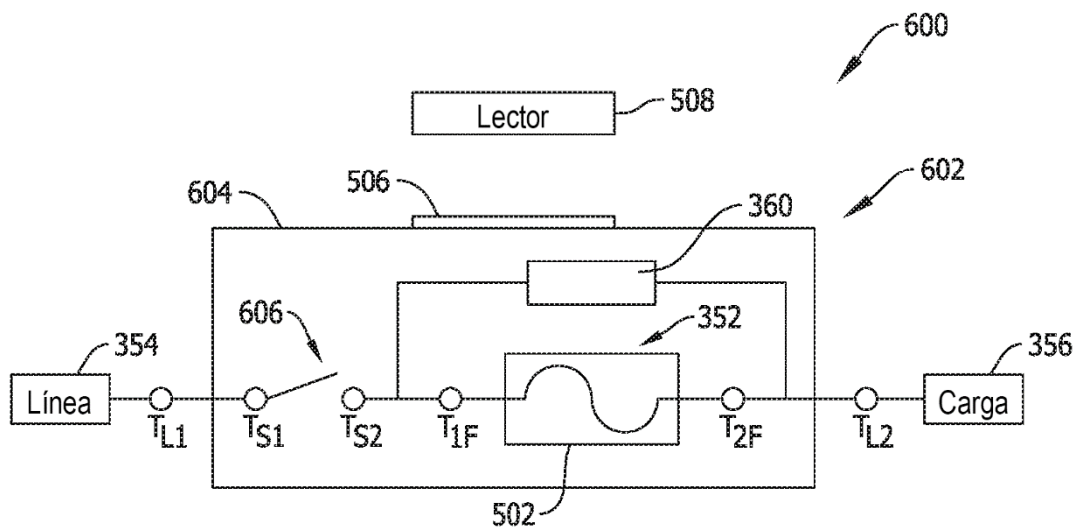


Fig. 16

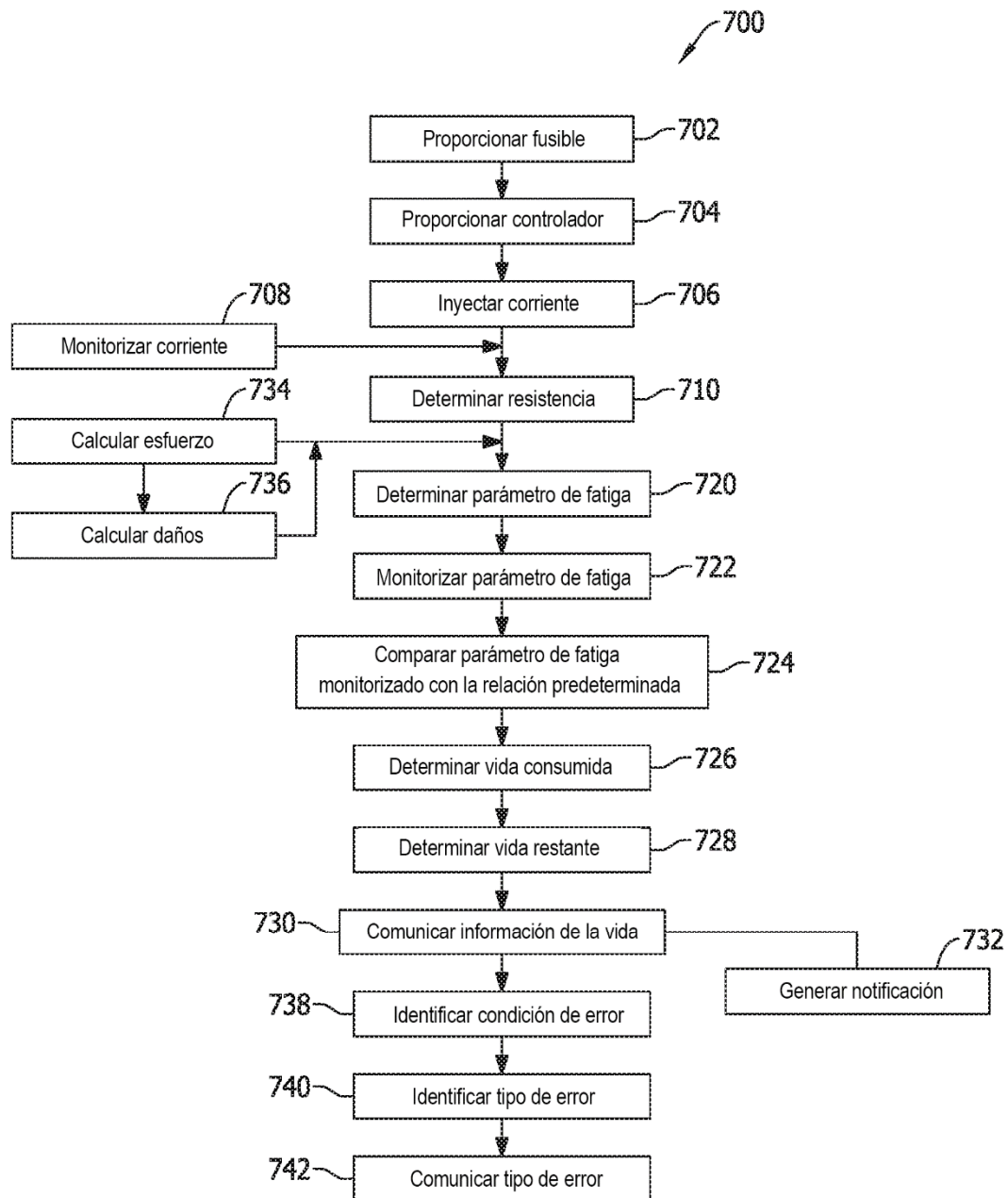


Fig. 17