

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 380 182**

51 Int. Cl.:  
**H01H 1/00** (2006.01)  
**H01H 33/66** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09177112 .1**  
96 Fecha de presentación: **25.11.2009**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2328159**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **01.06.2011**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la determinación de un desgaste de un elemento de contacto**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**09.05.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**09.05.2012**

73 Titular/es:  
**ABB Research Ltd.**  
**Affolternstrasse 44**  
**8050 Zürich, CH**

72 Inventor/es:  
**Schrag, Daniel;**  
**Hencken, Kai y**  
**Smajic, Eldin**

74 Agente/Representante:  
**Ungría López, Javier**

ES 2 380 182 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para la determinación de un desgaste de un elemento de contacto

5 La invención se basa en el campo de los conmutadores eléctricos, en particular de las instalaciones de conmutación para alta o media tensión. Aspectos de la invención se refieren a un procedimiento para la determinación de un desgaste de un elemento de contacto de un conmutador de este tipo. Otros aspectos de la invención se refieren a una unidad electrónica para un conmutador eléctrico.

10 Los conmutadores de potencia están sometidos a desgaste constante y, por lo tanto, deberían controlarse y mantenerse regularmente. En particular, el arco voltaico que aparece durante la operación de conmutación (por ejemplo, desconexión de protección) conduce a un desgaste del material de las piezas de contacto y de esta manera contribuye en una medida considerable al desgaste. Los contactos no se pueden verificar, en general, de manera sencilla, sin desconexión intensiva de costes y desconexión de la potencia. Por lo tanto, normalmente se realiza un mantenimiento periódico de los conmutadores de potencia, dado el caso con mantenimiento preventivo cuando se han producido desconexiones de protección con corrientes altas. De este modo, en general, los conmutadores son sometidos a mantenimiento con demasiada frecuencia. El mantenimiento provoca costes inevitables y un riesgo adicional de que durante el mantenimiento se provoquen daños. Por otra parte, en cambio, en el caso de intervalos de mantenimiento demasiado largos, existe el riesgo de que no se detecte precozmente un desgaste o bien un desgaste de los contactos. Aquí existe el riesgo de una función errónea, pero al menos de una pérdida de potencia del conmutador.

20 Por lo tanto, sería deseable determinar de una manera más fiable el desgaste de las piezas de contacto. No obstante, este desgaste es difícil de medir o de prever, puesto que está influenciado por una pluralidad de factores. En general, se supone que el desgaste de los contactos es provocado por conversión de energía acumulativa (pérdida de potencia) durante la aparición de arcos voltaicos cuando los conmutadores de potencia están abiertos. Por lo tanto, sólo el recuento del número de errores que aparecen en un conmutador de potencia no puede proporcionar una estimación exacta con respecto al desgaste del contacto.

25 El documento EP 1475813 A1 describe un procedimiento para la determinación del desgaste de los contactos en instalaciones de conmutación eléctrica para alta y media tensión, en el que una corriente de contacto que fluye durante una operación de conmutación a través del conmutador es detectada con la ayuda de un convertidor de corriente y es evaluada con respecto al desgaste de los contactos. Para la determinación de una magnitud de estado que caracteriza el desgaste de los contactos se mide en primer lugar una señal de medición de la corriente del convertidor de corriente como función del tiempo, en el caso de que aparezcan desviaciones entre la corriente de contacto prevista y la señal de medición de la corriente se detecta la presencia de un error de medición, y en el caso de detección del error de medición se determina a partir de la señal de medición e la corriente al menos un valor característico de la corriente y se utiliza para la determinación de la magnitud de estado. El documento DE 10204849 A1 describe un procedimiento para la determinación del desgaste de los contactos.

35 No obstante, los procedimientos conocidos para la determinación de un desgaste son siempre todavía dignos de mejora en lo que se refiere a su fiabilidad. También es deseable obtener procedimientos, que proporcionen en una pluralidad de situaciones de conmutación diferentes resultados tan fiables que sean adecuados para una (tele) diagnóstico y mantenimiento automáticos. De esta manera, se pueden reducir los trabajos de mantenimiento intensivos de costes. Al mismo tiempo se puede realizar una supervisión continua fiable del estado. También hay que pretender detectar y eliminar problemas y desgastes, antes de que sean críticos.

40 Para al menos mejorar por lo menos algunos de los puntos mencionados anteriormente, se propone, por lo tanto, un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, un control de los conmutadores de acuerdo con la reivindicación 13 y una instalación de conmutación de acuerdo con la reivindicación 14. Otras ventajas, características, aspectos y detalles de la invención así como formas de realización preferidas y aspectos especiales de la invención se deducen a partir de las reivindicaciones dependientes, de la descripción y de las figuras.

45 De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento para la determinación de un desgaste de un elemento de contacto de un conmutador eléctrico (por ejemplo, de un conmutador de vacío), en particular de una instalación de conmutación para alta y media tensión. El procedimiento comprende la detección de valores eléctricos, que representan una variable eléctrica relevante para un arco voltaico que se produce durante una operación de conmutación en el conmutador, como función del tiempo, de manera que los valores eléctricos se puede detectar, por ejemplo, como función continua o como serie de datos (vector) con valores explorados discretamente, pero puede comprender también valores virtuales, por ejemplo valores (parcialmente) simulados, interpolados u optimizados, en cuyo caso se detectan valores virtuales. Por ejemplo, los valores eléctricos pueden ser valores de la corriente, que representan una corriente de contacto, que fluye durante una operación de conmutación a través del conmutador, como función del tiempo. El procedimiento comprende, además, el cálculo de un valor de desgaste, que representa el desgaste del elemento de contacto, a partir de una pluralidad de valores que contribuyen al desgaste, siendo calculados los valores que contribuyen al desgaste utilizando una pluralidad de

especificaciones de cálculo de contribución al desgaste a partir de una pluralidad de cantidades parciales de los valores eléctricos detectados, de manera que cada uno de los valores que contribuyen al desgaste es calculado de acuerdo con una respectiva de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste a partir de una respectiva de las cantidades parciales de valores, y distinguiendo entre sí al menos dos de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste. En este caso, una cantidad parcial de valores debe entenderse en el sentido de que puede comprender también todos los valores eléctricos detectados.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona una unidad electrónica, en particular un sistema de control y/o sistema de supervisión, para un conmutador eléctrico (por ejemplo un conmutador de vacío), en particular para una instalación de conmutación para alta o media tensión. La unidad electrónica comprende un módulo de entrada de valores para la recepción de valores eléctricos (por ejemplo, de valores de la corriente), que representan una variable eléctrica relevante para un arco voltaico que se produce durante una operación de conmutación en el conmutador como función del tiempo. El módulo de entrada de valores puede estar equipado, por lo tanto, por ejemplo, para la recepción de valores eléctricos detectados desde un aparato de medición de valores, pero posiblemente también de valores eléctricos detectados a través de simulación (parcial) o interpolación, etc. La unidad electrónica comprende, además, un módulo de determinación del desgaste, que presenta una unidad de cálculo y una memoria de datos con código de programa que puede ser ejecutado a través de la unidad de cálculo. El código de programa comprende una pluralidad de especificaciones de cálculo de contribución al desgaste, que están previstas para el cálculo de valores respectivos de contribución al desgaste a partir de cantidades parciales de valores respectivos de los valores eléctricos registrados, distinguiendo entre sí al menos dos de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste, y comprende una rutina de cálculo del valor de desgaste para el cálculo de un valor de desgaste, que representa el desgaste del elemento de contacto, a partir de los valores de contribución al desgaste. En particular, el código de programa comprende especificaciones para la realización de cualquiera de los procedimientos mencionados aquí.

La invención se refiere también a un dispositivo para la realización de los procedimientos publicados y comprende también partes del dispositivo para la realización de etapas del procedimiento individuales respectivas. Estas etapas del procedimiento se pueden realizar a través de componentes de hardware, a través de un ordenador programado por medio de software correspondiente, a través de una combinación de ambos, o de cualquier otra manera. Por lo demás, la invención se refiere también a procedimientos, según los cuales trabajan los dispositivos descritos, respectivamente. Contiene etapas de procedimientos para la realización de cada función de los dispositivos.

Por lo demás, la invención se explica con la ayuda de ejemplos de realización representados en figuras, a partir de los cuales se deducen otras ventajas y modificaciones. A este respecto:

La figura 1a muestra un diagrama con una corriente medida, que aparece durante una operación de conmutación, como función del tiempo.

La figura 1b muestra un diagrama con una tensión medida, que aparece durante una operación de conmutación (más exactamente: tensión del arco voltaico) como función del tiempo.

La figura 2 muestra un diagrama con la corriente que aparece durante una operación de conmutación como función del tiempo, a partir de la cual se derivan diferentes fases del arco voltaico de la operación de conmutación.

Las figuras 3a y 3b muestra funciones auxiliares respectivas posibles, que se pueden utilizar para el cálculo de acuerdo con la invención de un valor de desgaste.

La figura 4 muestra elementos de contacto de un conmutador eléctrico.

En las formas de realización descritas a continuación, algunos aspectos y características individuales se pueden combinar de forma modular con los aspectos y características de otras formas de realización. A través de una combinación de este tipo se pueden obtener de nuevo otras formas de realización, que se pueden considerar de la misma manera que pertenecen a la presente publicación. A continuación se describe un conmutador para una única fase. En general, están presentes tres fases con conmutadores de potencia correspondientes, respectivamente. Los desgastes respectivos se pueden determinar entonces, en general, independientemente unos de los otros, de acuerdo con cualquiera de los aspectos descritos aquí.

A continuación se describen principalmente aquellas formas de realización, en las que se detectan valores de la corriente y se calculan las contribuciones al desgaste a partir de los valores de la corriente. En general, las contribuciones al desgaste se pueden calcular también a partir de otros valores eléctricos. Como valores eléctricos se entienden aquí cualquier valor de variables que son relevantes para un arco voltaico que se produce durante una operación de conmutación en el conmutador. En particular, los valores eléctricos pueden ser valores de la corriente, valores de la tensión y/o combinaciones (por ejemplo, valores de la potencia del arco voltaico, que se forman a través de un producto de corriente y tensión). Las especificaciones de cálculo mencionadas aquí a partir de la corriente se pueden aplicar también de manera similar partiendo de tales otros valores eléctricos, sustituyendo los

valores de la corriente I en las mismas especificaciones de cálculo por los otros valores eléctricos.

Los conmutadores eléctricos, como se emplean, por ejemplo, como conmutadores de potencia en una instalación de conmutación para alta y media tensión, tienen normalmente dos o más piezas de contacto. Cuando los conmutadores están cerrados, estas piezas de contacto están en contacto directo conductor de electricidad entre sí. Cuando se abre el conmutador, se mueven las piezas de contacto unas fuera de las otras y se separan, de manera que ya no puede circular corriente desde una de las piezas de contacto hacia la otra pieza de contacto. Cuando fluye corriente durante el proceso de conmutación, entonces durante la separación de las dos piezas de contacto una de la otra el flujo de corriente no se interrumpe inmediatamente de forma completa, sino que se produce un arco voltaico entre las dos piezas de contacto, que continúa llevando corriente durante un cierto periodo de tiempo. Tal arco voltaico aparece también en conmutadores de potencia, es decir, en tipos especiales de conmutadores, que están diseñados para conmutar bajo carga y muy especialmente en conmutadores de potencia para alta tensión (es decir, para tensiones de más de 50 kV, por ejemplo 50-800 kV) o para tensión media (es decir, tensiones de 5 kV a 50 kV).

Un proceso de conmutación de este tipo bajo carga con arco voltaico se representa en la figura 4 en el ejemplo de un conmutador de potencia de vacío. El conmutador de potencia de vacío 1 tiene una primera pieza de contacto 10 y una segunda pieza de contacto 20. Las piezas de contacto 10, 20 presentan, respectivamente, una caña 12, 22 y un plato de contacto 14, 24 que está dispuesto en el extremo distante de la caña. El plato de contacto 14, 24 de cada una de las piezas de contacto 10, 20 tiene en cada caso una superficie de contacto que, cuando el conmutador está cerrado, contacta directamente con una superficie de contacto correspondiente de la otra pieza de contacto respectiva. Las dos piezas de contacto 10, 20 definen un eje de conmutación, a lo largo del cual se pueden mover para separarse una de la otra relativamente entre sí para la apertura del conmutador. Este eje es la vertical en la figura 4.

En la figura 4 se representa el conmutador 1 durante la apertura, y las piezas de contacto 10, 20 están separadas ya una de la otra a lo largo del eje de conmutación. La interrupción de la corriente no ha concluido todavía totalmente en la figura 4, y se ha configurado un arco voltaico 33 entre las piezas de contacto 10 y 20. Transmitida a través del arco voltaico 33, una corriente fluye todavía desde la primera pieza de contacto 10 hacia la segunda pieza de contacto. La corriente fluye sobre la caña 12 (vía de corriente 31a), sobre el plato de contacto 14 (vía de corriente 31b, a continuación sobre el arco voltaico 33 y sobre el plato de contacto 24 (vía de corriente 31c) y sobre la caña 22. Bajo la influencia del arco voltaico se erosiona material de las piezas de contacto (este material forma normalmente el plasma del arco voltaico), lo que conduce a un desgaste de las piezas de contacto.

En el ejemplo representado, las piezas de contacto 10, 20 están configuradas del tipo TMF. El tipo TMF significa que las piezas de contacto están configuradas de tal forma que la corriente de conmutación durante un proceso de conmutación provoca un campo magnético predominantemente transversal (perpendicularmente a la dirección general del flujo de corriente o bien a una dirección principal del arco voltaico, es decir, paralelamente a una superficie definida por las superficies de contacto 14 y 24). Esto se consigue aquí por medio de ranuras en los platos de contacto 14 y 24. Las ranuras predeterminan una dirección tal del flujo de la corriente 31b, 31c en los platos que la corriente induce un campo magnético transversal (en la figura 4 en el plano horizontal). El conmutador mostrado en la figura 4 es del tipo de espiral (es decir, con ranuras configuradas en forma de espiral). También son posibles otras formas de las piezas de contacto. Una forma alternativa posible para conmutadores del tipo TMF son, por ejemplo, piezas de contacto configuradas en forma de copa (cup-shaped).

El conmutador representado en la figura 4 es un conmutador de potencia de vacío (es decir, con una presión negativa en la cámara de conmutación, en la que se espera un arco voltaico, e particular con un vacío alto). Aunque se pueden aplicar muchas ventajas de la invención especialmente bien para conmutadores de potencia de vacío, por ejemplo en la zona de tensión media y alta, no están limitadas a tales conmutadores. De la misma manera, aspectos de la invención se refieren también, por ejemplo, a un conmutador de potencia de gas protector, en el que la cámara de conmutación está rellena con un gas protector, como por ejemplo SF<sub>6</sub>.

Una dificultad en conmutadores y en particular en conmutadores de potencia es el desgaste de las piezas de contacto (por ejemplo las piezas de contacto 10, 20 en la figura 4) a través del arco voltaico (33 en la figura 4). Los problemas planteados a través del desgaste o bien el deterioro implicado con ello del conmutador se han descrito ya más arriba. Por los motivos mencionados anteriormente es deseable determinar el desgaste de la manera más exacta posible.

Un procedimiento mencionado aquí para fines de ilustración prevé con esta finalidad una integral de la corriente por ejemplo de la forma siguiente para determinar el desgaste:

$$d = k * \int I(t)^\alpha dt \quad (1)$$

Aquí se indica el desgaste a través de un espesor d (en mm), en el que se erosiona material, durante un proceso de

conmutación, desde la superficie de contacto de la pieza de contacto en virtud del arco voltaico. En este caso,  $I(t)$  representa la corriente de contacto, que fluye durante una operación de conmutación a través del conmutador, como función del tiempo  $t$ , es decir, la corriente que fluye en el tiempo  $t$  a través del arco voltaico 33, ver la figura 4.  $k$  y  $\alpha$  son constantes, que se pueden determinar, por ejemplo, por medio de un modelo o empíricamente. La integral de tiempo en (1) se refiere al tiempo total de la conmutación, durante el que está presente un arco voltaico. Aquí una integral como en la ecuación (1) debe expresar también una suma de valores discretos de la corriente, que se aproxima de manera adecuada a tal integral.

No obstante, la especificación de cálculo (1) proporciona resultados inexactos para corrientes de conmutación medias y altas. Cuando los parámetros  $k$  y  $\alpha$  son calibrados para corrientes de conmutación bajas, entonces se sobreestima tendencialmente el desgaste para corrientes de conmutación altas y duraciones largas del arco voltaico (longitud de fases  $0,75 \pi$  y más) con la especificación (1), y se subestima tendencialmente el desgaste para corrientes de conmutación medias o altas y duración corta del arco voltaico (longitud de fases  $0,25 \pi$  y menos). Por lo tanto, se plantea la cuestión de una especificación más realista o bien más exacta para calcular el desgaste  $d$  también para una zona amplia de corrientes de conmutación y de duraciones del arco voltaico. Con esta finalidad, podrían intentarse sustituir los integrandos de (1) por una expresión más compleja (parámetros que no se pueden adaptar ya empíricamente). Pero la exactitud alcanzable a través de este principio es igualmente limitada y no se puede justificar la elevación del número de los parámetros a adaptar. De acuerdo con la invención, estas dificultades se alivian al menos a través del siguiente procedimiento para la determinación del desgaste de los elementos de contacto: en primer lugar se registran los valores de la corriente  $I(t)$ , que representan la corriente de contacto que fluye durante una operación de conmutación a través del conmutador, como función del tiempo  $t$ . Los valores de la corriente  $I(t)$  se pueden detectar como función continua o como una serie de datos (vector) con valores explorados de forma discreta. Los valores explorados de la corriente no solamente pueden comprender valores medidos, sino también valores virtuales, por ejemplo valores simulados, interpolados u optimizados sobre la base de los valores medidos y/o de un modelo adecuado, y la amplitud y la fase  $y$ , en caso necesario, la frecuencia de la señal se pueden adaptar con la ayuda de valores medidos, de manera que resulta una buena coincidencia de la corriente sinusoidal con los valores medidos.

A continuación se calcula el valor del desgaste  $d$  a partir de una pluralidad de  $N$  valores que contribuyen al desgaste  $d_i$ ,  $i = 1..N$  (aproximadamente como suma de estos valores que contribuyen al desgaste). Los valores que contribuyen al desgaste  $d_i$  son calculados de nuevo utilizando una pluralidad de especificaciones de cálculo de contribución al desgaste  $f_i$  a partir de una pluralidad de cantidades parciales de valores de la corriente de los valores registrados de la corriente  $I(t)$ , de manera que cada uno de los valores que contribuyen al desgaste es calculado de acuerdo con una respectiva de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste  $f_i$  a partir de una respectiva de las cantidades parciales de valores de la corriente (una cantidad parcial de valores de la corriente puede comprender también todos los valores registrados de la corriente, por lo que puede ser una cantidad parcial auténtica o una cantidad parcial no auténtica). En este caso, se distinguen entre sí al menos dos de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste (como funcionales o bien reproducciones).

Un aspecto de la invención se basa en el reconocimiento de que durante un proceso de conmutación se producen diferentes fases del arco voltaico. Estas fases del arco voltaico se suceden aproximadamente en el tiempo. Estas diferentes fases del arco voltaico conducen, respectivamente, a un desgaste diferente de las piezas de contacto, es decir, que el desgaste depende, según la fase del arco voltaico, de diferente manera de la corriente: mientras que un arco voltaico difuso conduce a un desgaste más bien uniforme y reducido de diferentes partes de la pieza de contacto, un arco voltaico estacionario enlazado conduce a un desgaste intensivo de una parte limitada de la pieza de contacto y, por lo tanto, en general, es más relevante para el desgaste.

El procedimiento e acuerdo con la invención permite de manera más ventajosa calcular la contribución de diferentes fases del arco voltaico al desgaste del elemento de contacto como valor de contribución al desgaste propio respectivo. Cada uno de los valores de contribución al desgaste se puede calcular por medio de una especificación de cálculo de contribución al desgaste específica para la fase respectiva del arco voltaico. A tal fin, es ventajoso seleccionar las cantidades parciales de los valores de la corriente y/o las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste de tal manera que un valor determinado registrado de la corriente conduzca, según la fase del arco voltaico en la que aparezca, a una contribución diferente al desgaste, respectivamente.

A tal fin, hay que determinar en primer lugar las cantidades parciales de los valores de la corriente respectivos. Como cantidades parciales de los valores de la corriente se pueden determinar aquellos valores de la corriente que pertenecen a una fase respectiva del arco voltaico. A tal fin se pueden calcular los intervalos de tiempo para las fases respectivas del arco voltaico (por ejemplo, para la fase  $i$  del arco voltaico, el intervalo de tiempo  $[t_i; t'_i]$  de  $t_i$  a  $t'_i$ ), y las cantidades parciales de los valores de la corriente se pueden seleccionar como las cantidades parciales de los valores de la corriente  $I([t_i; t'_i])$  que pertenecen al intervalo de tiempo  $[t_i; t'_i]$  respectivo. Con esta finalidad, se calculan de manera adecuada los instantes límite  $t_i; t'_i$  para la fase respectiva del arco voltaico (ver más adelante), las cantidades parciales de los valores de la corriente son definidas teniendo en cuenta esos instantes.

La delimitación temporal entre las fases individuales del arco voltaico puede ser un poco ambigua, con instantes de

transición intermedios. No obstante, se puede determinar, al menos aproximadamente, un instante límite para el límite (comienzo o fin) de una fase, es decir,  $t_i$  para el comienzo o  $t'_i$  para el final de la fase  $i$  del arco voltaico. En general, tan instante límite o bien puede ser un instante inicial para el comienzo del arco voltaico (o bien e la primera fase del arco voltaico) o un instante de transición para la transición desde una fase hacia una fase siguiente respectiva, o un instante final para el final del arco voltaico (o bien de la última fase del arco voltaico). De acuerdo con ello, el instante de transición no se refiere al comienzo o al final del arco voltaico como tal, puesto que aquí no pasan diferentes fases del arco voltaico unas a las otras.

En conmutadores TMF se puede registrar el tipo y el movimiento del arco voltaico a través de observaciones en piezas de contacto configuradas de forma especial. En este caso, en un conmutador TMF ejemplar se pueden distinguir las siguientes fases diferentes del arco voltaico:

fase con arco voltaico difuso: el arco voltaico está distribuido en el espacio sobre una superficie amplia sobre la pieza de contacto;

fase con arco voltaico estacionario enlazado: el arco voltaico está concentrado sobre una zona estrecha, desde la que se extiende perpendicularmente a la superficie de contacto, y es estacionario, es decir, que apenas se mueve a lo largo de la superficie de contacto;

fase con arco voltaico móvil enlazado: el arco voltaico está concentrado, además, sobre una zona estrecha, pero se mueve a alta velocidad, es decir, a velocidad claramente más alta que en la fase anterior) a lo largo de la superficie de contacto.

Después de la conclusión de la última fase, se extingue el arco voltaico (eventualmente con otra fase con un arco voltaico difuso antes de la extinción total). De acuerdo con la configuración del conmutador y de las piezas de contacto se poseen distinguir las fases de las fases mencionadas anteriormente, y pueden existir más fases o menos fases o fases de otro tipo que las fases descritas anteriormente.

Por lo tanto, en el ejemplo anterior se puede determinar como instante límite un instante inicial  $t_0$  (o más exactamente  $t_{open}$ ) para el comienzo del arco voltaico difuso, un instante de transición  $t'_0 = t_1$  para la transición desde el arco voltaico difuso hacia el arco voltaico estacionario enlazado, otro instante de transición  $t'_0 = t_2$  para la transición desde el arco voltaico estacionario enlazado hacia el arco voltaico móvil, y un instante final  $t'_2 = t_3$  para el final del arco voltaico móvil. Cuando estos instantes de transición son calculados de manera adecuada, las cantidades parciales de los valores de la corriente se pueden determinar como primera, segunda y tercera cantidad parcial de los valores de la corriente ( $[t_0; t'_0]$ ),  $I([t_1; t'_1])$ ;  $I([t_2; t'_2])$ .

A continuación se describirá con referencia a las figuras 1a y 1b, cómo se pueden calcular en particular los instantes límite, que delimitan las fases del arco voltaico.

Las figuras 1a y 1b muestran diagramas con la corriente  $I$  que aparece durante una operación de conmutación (figura 1a, eje vertical) o bien con la tensión del arco voltaico  $U$  (figura 1b, eje vertical) como función del tiempo  $t$  (eje horizontal). En los dibujos esquemáticos de las figuras 1a y 1b se representa no a escala el eje de tiempo, por lo que los tiempos  $t_0$  a  $t_3$  se encuentran en las figuras 1a y 1b en posiciones algo diferentes. La corriente tiene un desarrollo, en general, aproximadamente en forma sinusoidal, con una curva envolvente modulada sobre una frecuencia básica. En las figuras 1a y 1b solamente se representa una parte de un periodo de oscilación de forma sinusoidal, con un paso de anulación antes del tiempo  $t_0$ .

La corriente representada en la figura 1b representa una sobrecorriente. En virtud de esta sobrecorriente, el control del conmutador emite una señal de conmutación, que provoca la separación de las piezas de contacto del conmutador. Poco tiempo después, al control del conmutador emite una señal de conmutación, que provoca la separación de las piezas de contacto del conmutador. Las piezas de contacto se mueven a continuación una fuera de la otra y se separan aproximadamente en el instante  $t_0$ . Esta separación se puede reconocer porque en la figura 1b se eleva de forma repentina la tensión, y aparece un arco voltaico. Aproximadamente al mismo tiempo se inicia el arco voltaico como arco voltaico difuso. Como comienzo para el arco voltaico difuso (1ª fase del arco voltaico), que define el instante  $t'_0$ , se puede utilizar la separación de las piezas de contacto o la subida de la tensión que se puede reconocer en la figura 1b. En muchas formas de realización se puede pasar por alto el desgaste reducido del contacto durante la fase del arco voltaico difuso.

En el instante  $t_1 = t'_0$ , el arco voltaico difuso pasa a un arco voltaico estacionario enlazado. Esta transición se puede reconocer, por ejemplo, porque la corriente excede un valor umbral predeterminado de la corriente  $I_{const}$ . La selección exacta del valor umbral  $I_{const}$  depende de la geometría de las piezas de contacto y de otros detalles, y se puede calibrar, por ejemplo, a través de mediciones. A través de diferentes observaciones se ha establecido que  $I_{const}$  puede ser, en general, mayor que 10 kA, por lo tanto por ejemplo 15 kA. De manera alternativa, la transición al arco voltaico estacionario enlazado se puede definir también de otra manera. Otras alternativas posibles para la determinación se describen más adelante.

5 En el instante  $t_2 = t'_1$ , el arco voltaico estacionario pasa a un arco voltaico móvil, bajo la influencia del campo magnético transversal generado por la corriente que fluye. El movimiento del arco voltaico conduce a una porción elevada de ruido de la tensión medida y de la corriente medida. Por lo tanto, la transición hacia el arco voltaico móvil se puede detectar porque la porción de ruido de la tensión (relación de la varianza en una gama predeterminada de frecuencias con respecto al valor medio de la tensión) excede un valor umbral predeterminado. La selección exacta de la gama de frecuencias y del valor umbral depende de la geometría de las piezas de contacto y de otros detalles, por ejemplo la evaluación de la señal de ruido es especialmente expresiva en el tipo de TMF espiral. El valor umbral, etc. se puede calibrar, por ejemplo, a través de mediciones. De manera alternativa, la transición al arco voltaico estacionario enlazado se puede definir también de otra manera, como se describe más adelante.

10 En el instante  $t_3 = t'_2$ , se extingue el arco voltaico y, por lo tanto, termina también la fase del arco voltaico. Este instante se puede reconocer, por ejemplo, porque la corriente cae claramente. En general, el instante  $t_3$  se puede definir por una caída de la corriente y/o de la tensión por debajo de un valor límite predeterminado.

15 Para el cálculo de los instantes límite mencionados anteriormente, que delimitan las fases individuales del arco voltaico, se pueden utilizar también otros eventos, que están correlacionados de cualquier manera con el comienzo o el final de una fase del arco voltaico. Un evento de este tipo puede ser, por ejemplo:

- a. comienzo de un arco voltaico (que se puede determinar, por ejemplo, a través de la medición de la claridad en la zona del arco voltaico, de la corriente de contacto, de la tensión de contacto o de una variable similar);
- b. transición desde un estado estacionario del arco voltaico hacia un estado móvil del arco voltaico (que se puede determinar, por ejemplo, a través de la medición de la varianza o bien de la porción de ruido de las variables mencionadas anteriormente);
- c. transición desde un arco voltaico difuso hacia un arco voltaico enlazado (que se puede determinar a través de la medición de la distribución de la claridad espacial en la zona del arco voltaico);
- d. final del arco voltaico (que se puede determinar, por ejemplo, a través de la medición de la claridad en la zona del arco voltaico, de la corriente de contacto, de la tensión de contacto o de otra variable similar);
- e. separación de un elemento de contacto de otro elemento de contacto del conmutador (que se puede determinar, por ejemplo, a través de medición mecánica o a través de evaluación de una señal de conmutación emitida por un control de contacto; se puede tratar del elemento de contacto a evaluar o, en cambio, también de otro elemento de contacto);
- f. retirada del elemento de contacto de otro elemento de contacto del conmutador a una distancia que excede un valor límite predeterminado de la distancia (que se puede determinar, por ejemplo, a través de medición mecánica);
- g. obtención o evaluación de una instrucción de conmutación (por ejemplo desde un control del conmutador);
- h. se excede o no se alcanza un valor umbral predeterminado a través de un valor registrado, siendo seleccionado el valor registrado especialmente a partir de una lista que comprende los siguientes valores de medición:
  - valor de la corriente y/o valor de la tensión y/o valor de un campo eléctrico o magnético (que se puede determinar, por ejemplo, a través de convertidores de medición);
  - componente de la frecuencia de un valor de la corriente y/o de un valor de la tensión;
  - valor de la claridad de un arco voltaico;
  - valor de posición, que describe una posición de la superficie de contacto y/o una distancia entre dos superficies de contacto;
  - valor de desgaste hasta ahora de la pieza de contacto, por ejemplo durante un proceso de conmutación previo;
  - valor total de desgaste hasta ahora de la pieza de contacto, es decir, la suma de los valores de desgaste de todos los procesos de conmutación hasta ahora;
  - periodo de tiempo transcurrido desde la entrada de cualquier otro evento, en particular uno de los eventos mencionados en esta enumeración; y/o
  - dado el caso, periodo de tiempo transcurrido a partir de un instante límite anterior.

El instante límite se puede seleccionar especialmente como el instante de un evento correspondiente. El instante

## ES 2 380 182 T3

límite se puede calcular también teniendo en cuenta varios de los eventos mencionados, por ejemplo a través de enlace lógico o ponderado de varios eventos o a través de la formación del término medio de varios tiempos correspondientes. El instante límite es en particular un instante de transición, que representa una transición desde un estado estacionario del arco voltaico hacia un estado móvil del arco voltaico.

- 5 El al menos un instante límite se puede calcular también teniendo en cuenta al menos uno de los siguientes valores de medición:
- valor de la corriente;
  - valor de la tensión;
  - valor de un campo eléctrico o magnético;
- 10
- porción de ruido o bien componente de frecuencia de un valor de la corriente;
  - porción de ruido o bien componente de frecuencia de un valor de la tensión;
  - porción de ruido o bien componente de frecuencia de un campo eléctrico o magnético;
  - valor de la claridad de un arco eléctrico;
- 15
- valor de la posición, que describe una posición de la superficie de contacto y/o una distancia entre dos superficies de contacto (siendo especialmente uno de los elementos de contacto el elemento de contacto a investigar; pero se puede tratar también de otro elemento de contacto);
  - valor de desgaste hasta ahora;
  - valor total de desgaste hasta ahora;
- 20
- periodo de tiempo transcurrido desde la entrada de cualquier evento, en particular uno de los eventos mencionados anteriormente; y/o
  - dado el caso, periodo de tiempo transcurrido a partir de un instante límite anterior.

De acuerdo con la disponibilidad de valores de medición y de resultados se pueden seleccionar elementos de la lista anterior y se pueden calibrar de una manera adecuada las especificaciones de cálculo para la fase respectiva del arco voltaico. También se pueden aplicar varias especificaciones de cálculo y se pueden combinar sus resultados, por ejemplo a través de promedio o a través de la formación de un valor medio ponderado.

En una forma de realización ejemplar, los intervalos de tiempo respectivos para las cantidades parciales de los valores de la corriente se pueden calcular, por ejemplo, de la siguiente manera:

Nº	Fase del arco voltaico	Criterio para el cálculo del comienzo de la fase
0	Arco voltaico difuso	Separación de las piezas de contacto (calculada, por ejemplo, por medio de evaluación de una instrucción de conmutación o por medio de sensores mecánicos)
1	Arco voltaico estacionario enlazado	La corriente de contacto excede un valor umbral del arco voltaico I <sub>constr.</sub> , por ejemplo 10 kA
2	Arco voltaico giratorio enlazado	La porción de ruido de la corriente o de la tensión excede un valor umbral.

30 El final del arco voltaico giratorio enlazado (fase 2) se puede determinar, por ejemplo, porque la corriente excede de nuevo un valor umbral predeterminado.

Los números en la columna izquierda se refieren a los intervalos de tiempo representados en las figuras 1a y 2. En las figuras 1a y 2 se muestran de forma esquemática los valores posibles respectivos de la corriente y de la tensión, sobre cuya base se ha podido realizar al menos el ajuste descrito en la Tabla.

35 Como se muestra en la figura 2, los valores de la corriente se pueden dividir, sobre la base de los instantes límite calculados en diferentes cantidades parciales de los valores de la corriente. Una primera cantidad parcial de los

valores de la corriente comprende los valores de la corriente  $I([t_0; t_1])$  en el intervalo de tiempo  $[t_0; t_1]$  (signo de referencia 1). Una segunda cantidad parcial de valores de la corriente comprende los valores de la corriente  $I([t_1; t_2])$  en el intervalo de tiempo  $[t_1; t_2]$  (signo de referencia 2). Una tercera cantidad parcial de valores de la corriente comprende los valores de la corriente  $I([t_2; t_3])$  en el intervalo de tiempo  $[t_2; t_3]$  (signo de referencia 3). Para cada una de las cantidades parciales de valores de la corriente se designa un valor respectivo de contribución al desgaste  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$  utilizando una especificación de cálculo de contribución al desgaste respectiva. Los valores de contribución al desgaste  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$  se reúnen (por ejemplo, se suman) a continuación al valor de desgaste  $d$ .

Por lo tanto, en general, para el cálculo del valor de desgaste se calcula al menos un instante de transición, que representa especialmente una transición respectiva entre diferentes fases de un arco voltaico que se produce durante una operación de conmutación. Los intervalos de tiempo están definidos en particular de tal manera que el instante de transición define una transición entre uno primero de los intervalos de tiempo  $[t_i; t'_i]$  y un segundo de los intervalos de tiempo  $[t_j; t'_j]$ , de manera que se forma  $t_i = t_j$  a través del instante de la transición. En particular, el procedimiento puede comprender la definición de un final  $t_i$  del primer intervalo de tiempo;  $[t_i; t'_i]$  y de un comienzo  $t_j$  del segundo intervalo de tiempo  $[t_j; t'_j]$  teniendo en cuenta el instante de transición calculado, por ejemplo de manera que el intervalo de tiempo está entre el primer intervalo de tiempo y el segundo intervalo de tiempo; en particular de manera que el primer intervalo de tiempo es anterior o igual que el instante de la transición, y el segundo intervalo de tiempo es posterior o igual que el instante de la transición. Con otras palabras, el primer intervalo de tiempo está entonces delante del segundo intervalo de tiempo, con el instante de transición en medio. De esta manera, se determinan las cantidades parciales de los valores de la corriente teniendo en cuenta el al menos un instante de transición calculado.

De acuerdo con ello, las cantidades parciales de los valores de la corriente  $I([t_i; t'_i])$  están determinadas como los valores de la corriente que pertenecen a un intervalo de tiempo  $[t_i; t'_i]$  respectivo. Al menos uno de los intervalos de tiempo  $[t_i; t'_i]$  se define teniendo en cuenta el al menos un instante límite o bien instante de transición calculado.

A continuación se describen formas de realización posibles para las especificaciones de cálculo individuales de contribución al desgaste (por cantidad parcial de valores de la corriente o bien por fase del arco voltaico). En una forma de realización, se evalúan al menos una o también todas las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste como una integral respectiva de la forma (1) (o bien como suma, que se aproxima a una integral de este tipo), estando limitada la integral de tiempo respectiva o bien la suma solamente al intervalo de tiempo respectivo o bien a la cantidad parcial de valores de la corriente. El parámetro  $k$  y  $\alpha$  respectivo en (1) se puede seleccionar entonces, respectivamente, de forma separada por cada cantidad parcial de valores de la corriente (o bien por cada fase del arco voltaico), por ejemplo se puede predeterminar con la ayuda de un modelo o se puede calibrar con la ayuda de mediciones.

Una especificación de cálculo de contribución al desgaste  $f_i$  para la  $i$  cantidad parcial de valores de la corriente (representada aquí como la cantidad parcial de valores de la corriente que pertenecen al intervalo de tiempo  $[t_i; t'_i]$ ) se puede formular entonces como

$$f_i[I] = k_i * \int_{t_i}^{t'_i} I(t)^{\alpha_i} dt \quad \text{(como integral) o bien como} \quad (2)$$

$$f_i[I] = K_i * \sum_{t \in [t_i; t'_i]} I(t)^{\alpha_i} \quad \text{(como suma)} \quad (2')$$

en la que  $k_i$  o bien  $K_i$ ,  $\alpha_i$  corresponden a los parámetros  $k$  y  $\alpha$  en (1). En la ecuación (2'), el parámetro  $K$  se escribe en mayúsculas, para indicar la unidad física diferente frente al parámetro  $k$  de las ecuaciones (1) y (2):  $[k] = \text{cm A}^{\alpha_i} \text{s}^{-1}$ ;  $[K] = \text{cm A}^{\alpha_i}$ . En otro caso, los parámetros  $k$  y  $K$  son equivalentes. En una forma de realización, se selecciona la forma (2) o 2') para dos cantidades parciales de valores de la corriente (por ejemplo primera ( $i = 1$ ) y segunda ( $i = 2$ ) cantidad parcial de valores de la corriente), con  $\alpha_1 \neq \alpha_2$  o  $K_1 \neq K_2$ . En particular, en formas de realización es  $0,5 < \alpha_1, \alpha_2 \leq 3$ .

No obstante, también son posibles otras especificaciones de cálculo distintas a (2), (2'). En general, la especificación de cálculo contiene la formación de un importe de la forma

$$f_i[I] = \int_{t_i}^{t'_i} \varphi_i(I(t)) dt \quad (3)$$

$$f_i[I] = \sum_{t \in [t_i; t'_i]} \varphi_i(I(t)) \quad (3')$$

5 para al menos dos de las contribuciones al desgaste (con  $i = 1$  para la primera contribución al desgaste e  $i = 2$  para una segunda contribución al desgaste, de manera que es  $\varphi_1 \neq \varphi_2$ , de manera que el signo de desigualdad significa aquí: "no igual que funciones"). Aquí,  $I(t)$  designa en cada caso un valor de la corriente, que están comprendido en la cantidad parcial de los valores de la corriente que pertenece a la  $i$  contribución al desgaste. Las ecuaciones (2) y (2') son casos especiales de (3) y (3'), respectivamente, por ejemplo con  $\varphi_1(I(t)) = K_1 * I(t)^{\alpha_1}$ .

El valor de desgaste se puede calcular entonces como la suma de las contribuciones individuales al desgaste  $d_i = f_i[I]$ ,  $i = 0.. (N-1)$ , aproximadamente en la forma  $d = \sum_i d_i = \sum_i f_i[I]$  con  $f_i$  como una de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste.

10 En (2') para la especificación de cálculo de contribución al desgaste  $f_i$  solamente se suma dentro de los límites  $t_i$  a  $t'_i$ . En lugar de un límite duro para estas sumas, se puede sumar también sobre un periodo de tiempo mayor, ponderando los importes con una función  $\gamma_i(t)$ , que dentro de un intervalo de tiempo  $[t_i, t'_i]$  es mayor que fuera de este intervalo de tiempo. Una ecuación general (2') correspondiente tiene entonces la forma siguiente:

$$f_i[I] = K_i * \sum_t \gamma_i(t) * I(t)^{\alpha_i} \quad (4)$$

15 En la figura 3 se representan ejemplos para funciones  $\gamma_i(t)$ . La figura 3a muestra funciones  $\gamma_i(t)$  como funciones escalonadas, que tienen dentro de un intervalo de tiempo entre  $t_i$  y  $t'_i = [t_{i+1}]$  el valor 1, y fuera de este intervalo de tiempo tienen el valor 0. Con estas funciones  $\gamma_i(t)$  de la figura 3a se transfiere la suma de la ecuación (4) a la forma más especial de la ecuación (2).

20 Una función alternativa  $\gamma_i(t)$  se representa en la figura 3b. Aquí  $\gamma_i(t)$  dentro del intervalo de tiempo entre  $t_i$  y  $t'_i = [t_{i+1}]$  es mayor que fuera de este intervalo de tiempo, pero  $\gamma_i(t)$  cae continuamente y tiene también fuera del intervalo de tiempo un valor finito. Las cantidades parciales de valores de la corriente de diferentes contribuciones al desgaste, sobre las que se suma en la ecuación (3) utilizando funciones  $\gamma_i(t)$  esbozadas en la figura 3b, se solapan entonces. En particular, las cantidades parciales de los valores de la corriente comprende aquí todos los valores de la corriente detectados, y su importe se pondera solamente por medio de una función  $\gamma_i(t)$  adecuada.

25 La función  $\gamma_i(t)$  se puede expresar de la siguiente manera  $\gamma_i(t) = \gamma((t - t_i) / (t'_i - t_i))$  con  $\gamma$  como una función, que tiene dentro del intervalo  $[0; 1]$  valores mayores que fuera de este intervalo. Las funciones esbozadas en las figuras 3aa y 3b son esencialmente equivalentes y conducen a resultados muy similares.

En una generalización de la ecuación (4), se puede expresar el desgaste como suma

$$d = \sum_i f_i[I] \text{ mit } f_i[I] = \sum_t \gamma_i(t) * \varphi_i(I(t))$$

30 en la que en el ejemplo de la ecuación 3 es  $\varphi_i(I(t)) = K_i * I(t)^{\alpha_i}$ . La función  $\varphi_i(I(t))$  se puede interpretar de tal manera que para cada valor de  $I(t)$  proporciona una porción en la contribución de desgaste.

La especificación de cálculo anterior se puede aplicar de manera correspondiente también para integrales sobre valores de la corriente registrados continuamente en el tiempo. En este caso, de acuerdo con la generalización anterior, el desgaste se puede expresar como integral

$$35 \quad d = \sum_i k_i \int \gamma_i(t) * \varphi_i(I(t)) dt$$

La integral se puede aproximar numéricamente.

A continuación se describen todavía otras variaciones posibles. De acuerdo con una variación, los valores de contribución al desgaste se pueden calcular para varias fases del arco voltaico con curva característica de desgaste similar por medio de una especificación de cálculo de contribución al desgaste común. No obstante, no deben calcularse todas las fases del arco voltaico de la misma manera, es decir, que al menos dos de las especificaciones de cálculo de la contribución al desgaste se diferencian entre sí.

40

De acuerdo con otra modificación, además de las corrientes  $I$  se registran también las tensiones del arco voltaico  $U$  y se tienen en cuenta en el cálculo del valor de desgaste. De acuerdo con una forma de realización, las tensiones se pueden registrar, por ejemplo, por medio de sensores de tensión adicionales. Una función de desgaste correspondiente podría tener entonces, por ejemplo, la forma siguiente:

$$f_i[I, V] = K_i * \sum_{t \in [t_i, t_{i+1}]} I(t)^{\alpha_i} * U(t)^{\beta_i}$$

5 En general, se puede utilizar un valor eléctrico discrecional, que representa una magnitud relevante para la potencia que fluye durante una operación de conmutación a través del conmutador, para el cálculo, es decir, por ejemplo, la corriente  $I$ , la tensión del arco voltaico  $U$ , un producto de ellas (como en la ecuación anterior).

10 En otra forma de realización, se puede emplear también directamente la potencia  $P(t) = I(t) * U(t)$  como función del tiempo en lugar de  $I(t)$  en cualquiera de las ecuaciones mencionadas anteriormente, por ejemplo: (2), (2'), (3), (3').

De acuerdo con otra variación, se pueden omitir también fases individuales del arco voltaico, que solamente proporcionan una contribución insignificante al desgaste. Por ejemplo, en el ejemplo de las figuras 1 y 2, se puede omitir la fase del arco voltaico difuso (fase nula entre  $t_0$  y  $t_1$ ) por este motivo, de manera que el cálculo solamente comienza con la fase  $i=1$ .

15 A continuación se describe un control del conmutador y una instalación de conmutación, que son adecuados para la realización del procedimiento descrito aquí. El control del conmutador comprende un módulo de entrada del valor de la corriente para la obtención de valores de la corriente (por ejemplo, obtención de valores de la corriente registrados, por ejemplo, de un aparato de medición de la corriente, pero también de una instalación para la simulación, interpolación, etc.), que representan una corriente de contacto que fluye durante una operación de conmutación a través del conmutador como función del tiempo. El control del conmutador comprende, además, un módulo de determinación del desgaste, que presenta una unidad de cálculo y una memoria de datos con código de programa que puede ser ejecutado a través de la unidad de cálculo. El código de programa comprende una pluralidad de especificaciones de cálculo de contribución al desgaste  $f_i$ , que están previstas para el cálculo de valores respectivos de contribución al desgaste a partir de cantidades parciales respectivas de valores de la corriente  $I([t_i; t'_i])$  de los valores de la corriente registrados, de manera que cada una de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste calcula uno respectivo de los valores de contribución al desgaste a partir de una respectiva de las cantidades parciales de los valores de la corriente. Al menos dos de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste  $f_i$  se diferencian entre sí. El código de programa comprende, además, una rutina de cálculo del valor de desgaste para el cálculo de un valor de desgaste, que representa el desgaste  $d$  del elemento de contacto, a partir de los valores de contribución al desgaste (por ejemplo, como suma de los mismos).

20 El código de programa comprende especialmente instrucciones para la realización de cualquiera de los procedimientos descritos aquí. En particular, las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste  $f_i$ , están previstas para el cálculo de una pluralidad correspondiente de valores de contribución al desgaste a partir de una pluralidad correspondiente de cantidades parciales de valores de la corriente  $I([t_i; t'_i])$  de los valores de la corriente registrados, de manera que cada una de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste  $f_i$  calcula uno respectivo de los valores de contribución al desgaste a partir de una respectiva de las cantidades parciales de los valores de la corriente  $I([t_i; t'_i])$ .

25 La instalación de conmutación está diseñada para alta y media tensión y es especialmente un conmutador de potencia, por ejemplo un conmutador de potencia de vacío (pero también es posible un conmutador de potencia aislado con gas). La instalación de conmutación comprende el control del conmutador descrito anteriormente. La corriente de contacto es especialmente una corriente de arco voltaico. La instalación de conmutación tiene especialmente como elemento de contacto una pieza de contacto del tipo TMF, puesto que aquí existen fases de arco voltaico especialmente claras. Una pieza de contacto del tipo TMF se caracteriza porque su configuración favorece durante el proceso de conmutación o bien durante la aparición de un arco voltaico un campo magnético predominantemente transversal. El campo magnético transversal favorece el movimiento del arco voltaico y conduce de esta manera a fases de arco voltaico excelentes. La pieza de contacto puede ser especialmente del tipo TMF en espiral (como se representa en la figura 4). Por lo tanto, el elemento de contacto puede contener una superficie de contacto plana con sección transversal redonda, por ejemplo con intersticios en forma de espiral. De manera alternativa, la pieza de contacto puede estar configurada también en forma de copa (del tipo en forma de copa, cup-shaped). En general, el conmutador puede contener dos piezas de contacto móviles entre sí en dirección longitudinal.

La instalación de conmutación puede contener varios elementos de contacto (por ejemplo, 3 elementos de contacto para 3 fases). En este caso, se puede realizar por separado el desgaste para cada uno de los elementos de contacto, como se describe aquí.

La instalación de conmutación puede comprender, además, un sistema de diagnóstico, que está conectado con el

control del conmutador, para recibir los valores de desgaste calculados. El sistema de diagnosis puede contener, por ejemplo, las siguientes funciones (separadas por fase):

- adición del valor de desgaste a un valor total de desgaste, que representa el desgaste total de la pieza de contacto como suma para varios procesos de conmutación;
- 5     - disparo de una alarma, de un aviso o de una instrucción de bloqueo, cuando el valor de desgaste o bien el valor total de desgaste excede un valor umbral de alarma o bien un valor umbral de aviso o bien un valor umbral de bloqueo predeterminado;
- cálculo de un desgaste porcentual como porción del desgaste actual (del valor de desgaste con respecto a un valor total de desgaste) de un desgaste máximo admisible;
- 10    - cálculo de una duración de funcionamiento previsiblemente restante del conmutador sobre la base del valor de desgaste o bien del valor total de desgaste;
- transmisión del valor de desgaste calculado o bien de una magnitud derivada del mismo (por ejemplo, valor total de desgaste) a un servidor de diagnosis en línea.

15     A continuación se mencionan todavía otros aspectos generales de la invención. De acuerdo con un aspecto, un procedimiento para la determinación de un desgaste de un elemento de contacto comprende el cálculo de un valor de desgaste ( $d$ ), que representa el desgaste del elemento de contacto, a partir de los valores de la corriente ( $I(t)$ ) registrados, en el que se calcula un primer valor de contribución al desgaste de acuerdo con una primera especificación de cálculo de contribución al desgaste ( $f_i$ ) a partir de al menos un valor de la corriente ( $I([t_i; t'_i])$ ) para el primer intervalo de tiempo ( $t_i; [t_i; t'_i]$ ), y un segundo valor de contribución al desgaste de acuerdo con una  
 20     segunda especificación de cálculo de contribución al desgaste ( $f_j$ ) a partir de al menos un valor de la corriente ( $I([t_j; t'_j])$ ) para el segundo intervalo de tiempo ( $t_j; [t_j; t'_j]$ ), en el que la primera especificación de cálculo de contribución al desgaste ( $f_i$ ) se diferencia de la segunda especificación de cálculo de contribución al desgaste ( $f_j$ ).

25     En general, la especificación de cálculo de contribución al desgaste no tiene que ser unitaria dentro de los valores respectivos de la corriente. El registro puede comprender una medición, en particular una medición de exploración en intervalos de tiempo de exploración discretos, pero también puede comprender una simulación (parcial). La simulación se puede basar en un modelo, por ejemplo la hipótesis de que los valores de la corriente se encuentran en una curva sinusoidal, o contienen una interpolación entre valores de medición. De esta manera, los valores de la corriente pueden estar disponibles como función continua del tiempo o como vector de valores registrados discretos.

30     La especificación de cálculo de contribución al desgaste no es idéntica a cero (como funcional). Una especificación de cálculo, que fuera como funcional idéntica a cero, no daría como resultado, en general, ninguna contribución al desgaste (es decir, siempre cero) independientemente de los valores eléctricos de la cantidad parcial de valores. Tal especificación de cálculo no se considera como especificación de cálculo\*\* de contribución al desgaste.

## REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para la determinación de un desgaste de un elemento de contacto de un conmutador eléctrico, en particular de un conmutador de vacío, y especialmente de un conmutador de una instalación de conmutación para alta o media tensión, cuyo procedimiento comprende:

- 5
- detección de valores eléctricos ( $I(t)$ ,  $U(t)$ ), que representan una magnitud eléctrica relevante para un arco voltaico que se produce durante una operación de conmutación en el conmutador, como función del tiempo; y
  - cálculo de un valor de desgaste ( $d$ ), que representa el desgaste del elemento de contacto, a partir de una pluralidad de valores que contribuyen al desgaste, **caracterizado** porque los valores que contribuyen al desgaste son calculados utilizando una pluralidad de especificaciones de cálculo de contribución al desgaste ( $f_i$ ) a partir de una pluralidad de cantidades parciales de valores ( $I([t_i]$ ;  $I([t_i; t'_i])$ ) de los valores eléctricos registrados, de manera que cada uno de los valores que contribuyen al desgaste es calculado de acuerdo con una respectiva de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste ( $f_i$ ) de una respectiva de las cantidades parciales de valores  $I([t_i]$ ;  $I([t_i; t'_i])$ ), y en el que al menos dos de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste ( $f_i$ ) se diferencian entre sí.
- 10
- 15

2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el cálculo comprende: cálculo de un instante de transición ( $t_i$ ;  $t'_i$ ) característico para un cambio de la especificación de cálculo de contribución al desgaste, en el que el al menos un instante de transición representa especialmente una transición respectiva entre diferentes fases de un arco voltaico que aparece durante una operación de conmutación.

20

3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el cálculo comprende: definición de al menos una de las cantidades parciales de valores ( $I([t_i]$ ;  $I([t_i; t'_i])$ ) teniendo en cuenta al menos un instante de transición ( $t_i$ ;  $t'_i$ ) calculado.

25

4.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el cálculo comprende: cálculo de al menos un instante límite ( $t_i$ ;  $t'_i$ ), en el que el al menos un instante límite es en particular el al menos un instante de transición, y en el que el al menos un instante límite es calculado teniendo en cuenta al menos uno evento respectivo, que está seleccionado de la lista que comprende los siguientes eventos:

30

- a. comienzo de un arco voltaico;
  - b. transición desde un estado estacionario del arco voltaico hacia un estado móvil del arco voltaico;
  - c. transición desde un arco voltaico difuso hacia un arco voltaico enlazado;
  - d. final del arco voltaico;
  - e. separación de un elemento de contacto de otro elemento de contacto del conmutador;
  - f. retirada del elemento de contacto de otro elemento de contacto del conmutador a una distancia que excede un valor límite predeterminado de la distancia;
  - g. obtención o evaluación de una instrucción de conmutación;
  - h. se excede o no se alcanza un valor umbral predeterminado a través de un valor registrado, siendo seleccionado el valor registrado especialmente a partir de una lista que comprende los siguientes valores de medición:
    - valor de la corriente;
    - valor de la tensión;
    - valor de un campo eléctrico o magnético;
    - porción de ruido o bien componente de frecuencia de un valor de la corriente;
    - porción de ruido o bien componente de frecuencia de un valor de la tensión;
    - porción de ruido o bien componente de frecuencia de un campo eléctrico o magnético;
    - valor de la claridad de un arco voltaico;
    - valor de posición, que describe una posición de la superficie de contacto y/o una distancia entre dos superficies de contacto;
- 35
- 40
- 45
- 50

- valor de desgaste hasta ahora o bien valor total de desgaste hasta ahora;
  - periodo de tiempo transcurrido desde la entrada de cualquier otro evento, en particular uno de los eventos mencionados en esta enumeración; y/o
  - dado el caso, periodo de tiempo transcurrido a partir de un instante límite anterior.
- 5.- Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cálculo comprende: calcular al menos uno de los instantes límite ( $t_i$ ;  $t'_i$ ), en el que el al menos un instante límite es en particular el al menos un instante de transición, y en el que el al menos un instante límite se calcula teniendo en cuenta al menos un valor respectivo, que está seleccionado de la lista que comprende los siguientes valores;
- valor de la corriente;
- 10
- valor de la tensión;
  - valor de un campo eléctrico o magnético;
  - porción de ruido o bien componente de frecuencia de un valor de la corriente;
  - porción de ruido o bien componente de frecuencia de un valor de la tensión;
  - porción de ruido o bien componente de frecuencia de un campo eléctrico o magnético;
- 15
- valor de la claridad de un arco voltaico;
  - valor de posición, que describe una posición de la superficie de contacto y/o una distancia entre dos superficies de contacto;
  - valor de desgaste hasta ahora;
  - valor total de desgaste hasta ahora;
- 20
- periodo de tiempo transcurrido desde la entrada de cualquier otro evento, en particular uno de los eventos mencionados en esta enumeración; y/o
  - dado el caso, periodo de tiempo transcurrido a partir de un instante límite anterior.
- 6.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 5, en el que las cantidades parciales de valores ( $t_i$ ) comprenden los valores eléctricos correspondientes a un intervalo de tiempo respectivo ( $[t_i; t'_i]$ ), comprendiendo el procedimiento, además, para cada uno de los intervalos de tiempo: determinación del comienzo ( $t_i$ ), del final ( $t'_i$ ) o del comienzo y del final del intervalo de tiempo respectivo ( $[t_i; t'_i]$ ) a través de al menos un instante límite respectivo ( $t_i$ ;  $t'_i$ ), en el que el al menos un instante límite es especialmente el al menos un instante de transición.
- 25
- 7.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 6, en el que el al menos un instante de transición comprende un primer instante de transición ( $t_1$ ) y un segundo instante de transición ( $t_2$ ), y en el que la pluralidad de las cantidades parciales de los valores comprende al menos una primera, segunda y tercera cantidad parcial de los valores  $I([t_0; t_1])$ ;  $I([t_1; t_2])$ ;  $I([t_2; t_3])$ .
- 30
- 8.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que las cantidades parciales de valores ( $I([t_i]; I([t_i; t'_i]))$ ) están determinadas como los valores eléctricos que pertenecen a un intervalo de tiempo respectivo ( $[t_i; t'_i]$ ), y en el que el cálculo del valor de desgaste comprende la formación de una suma o bien de una integral de los valores que contribuyen al desgaste.
- 35
- 9.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el cálculo comprende:
- la formación de un importe de la forma  $K_i * I(t)^{\alpha_i}$  para al menos uno, en particular para al menos dos de los importes de desgaste, en el que  $i$  indica uno respectivo del al menos un importe de desgaste como importe de desgaste  $i$ , y en el que  $K_i$  \*designa en cada caso un pre-factor  $i$ ,  $I(t)$  designa un valor eléctrico comprendido en la cantidad parcial de valores que pertenece al importe de desgaste  $i$ , y  $\alpha_i$  designa en cada caso un exponente opcional.
- 40
10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor de desgaste ( $d$ ) contiene una expresión de la forma

$$d = \sum_i f_i(I) \text{ mit } f_i(I) = \sum_t \gamma_i(t) * \varphi_i(I(t))$$

en particular se calcula o bien se representa en esta forma, en la que  $f_i(I)$  es una  $i$  de las especificaciones de cálculo de las contribuciones del desgaste,  $\sum_t$  es una suma sobre valores de tiempo  $t$  con valores eléctricos  $I(t)$  registrados,

5  $\gamma_i(t)$  designa un  $[i]$  factor de peso respectivo dependiente de  $t$  que proporciona para  $t$  [cada valor- $t$ ] dentro de la  $[i]$  cantidad parcial de valores respectiva, en cuanto al importe, valores mayores que para  $t$  [cualquier valor  $t$ ] fuera de la cantidad parcial de valores respectiva, y  $\varphi_i(I(t))$  designa una  $[i]$  función respectiva de  $I$ , siendo especialmente  $\varphi_i(I(t)) = *I(t) \text{ }^{od}$ .

10 11.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, añadir el valor de desgaste calculado a un valor total de desgaste que representa el desgaste total, dado el caso, para varios procesos de conmutación.

12.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en el que los valores eléctricos comprenden al menos uno de los valores del grupo siguiente:

- 15
- valores de la corriente ( $I(t)$ ), que representan la corriente de contacto que fluye durante la operación de conmutación a través del conmutador como función del tiempo;
  - valores de la tensión ( $U(t)$ ), que representan la tensión del arco voltaico presente durante la operación de conmutación en el conmutador como función del tiempo; y
  - valores de la potencia del arco voltaico ( $P(t)$ ), que representan la potencia del arco voltaico presente en el conmutador como función del tiempo.

20 13.- Unidad electrónica, en particular sistema de control y/o supervisión, para un conmutador eléctrico, en particular para una instalación de conmutación para alta y media tensión, comprendiendo el control del conmutador:

- 25
- un módulo de entrada de valores para la obtención de valores eléctricos, que representan una magnitud relevante para la potencia que fluye durante una operación de conmutación a través del conmutador en función del tiempo; y
  - un módulo de determinación del desgaste, que comprende una unidad de cálculo y una memoria de datos con código de programa que puede ser ejecutado por la unidad de cálculo, en el que el código de programa comprende:

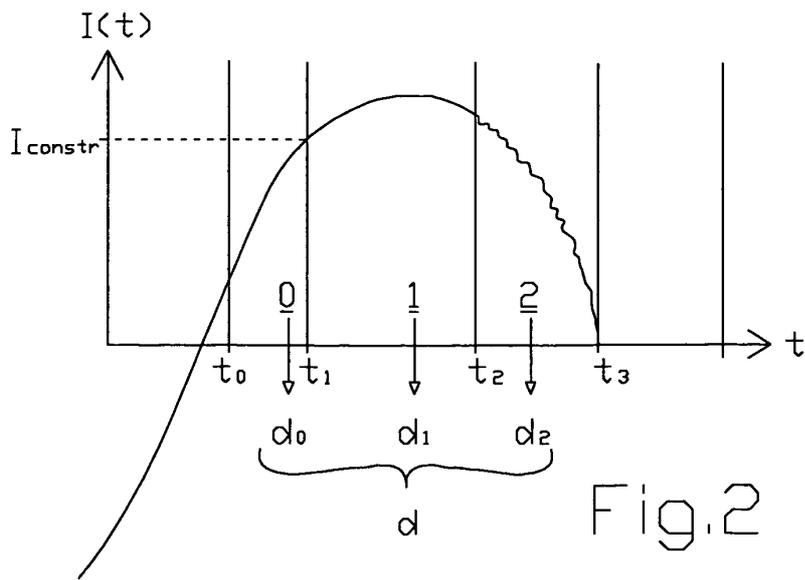
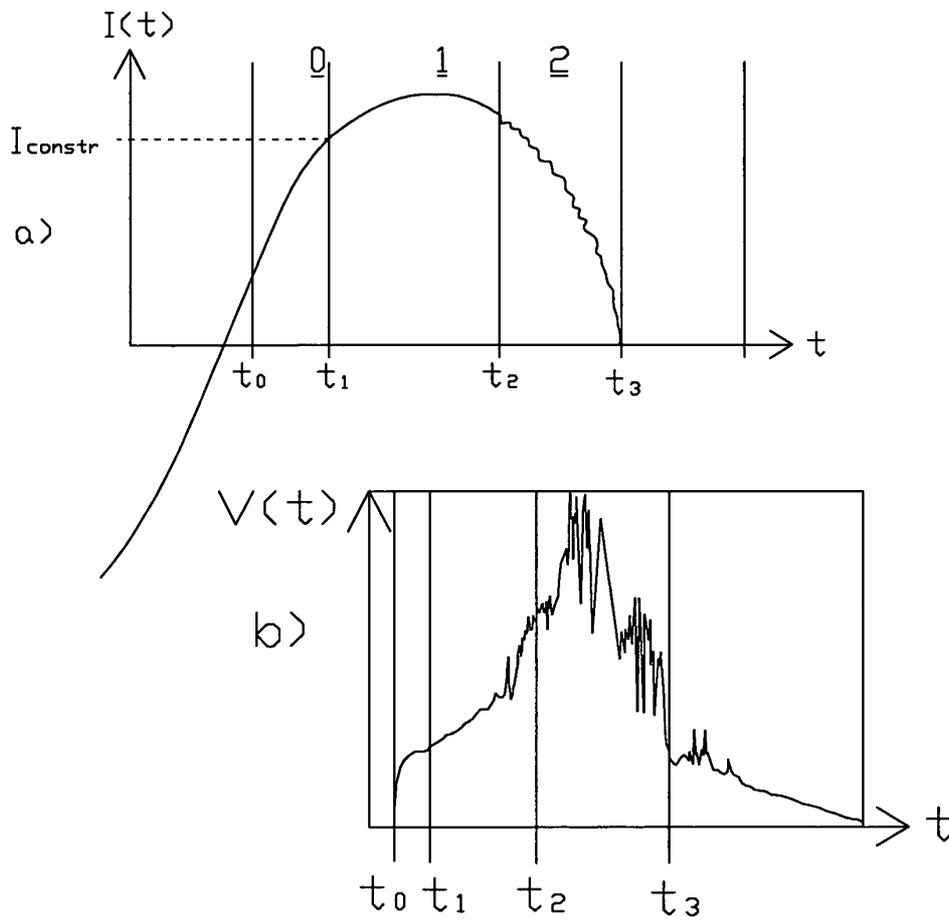
30 una pluralidad de especificaciones de cálculo de contribución al desgaste ( $f_i$ ), que están previstas para el cálculo de valores respectivos de contribución al desgaste a partir de cantidades parciales de valores  $I([t_i]; I([t_i; t'_i]))$  respectivas de los valores eléctricos registrados, en la que al menos dos de las especificaciones de cálculo de contribución al desgaste ( $f_i$ ) se diferencian entre sí, y

una rutina de cálculo del valor de desgaste para calcular un valor de desgaste ( $d$ ), que representa el desgaste del elemento de contacto, a partir de los valores de contribución al desgaste de acuerdo con el procedimiento según la reivindicación 1.

35 14.- Instalación de conmutación para alta y media tensión, en particular conmutador de potencia de vacío, que comprende un control de conmutador de acuerdo con la reivindicación 13 y/o está equipado para la realización de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12.

15.- Instalación de conmutación para alta y media tensión de acuerdo con la reivindicación 14, en la que el elemento de contacto es una pieza de contacto del tipo TMF.

40



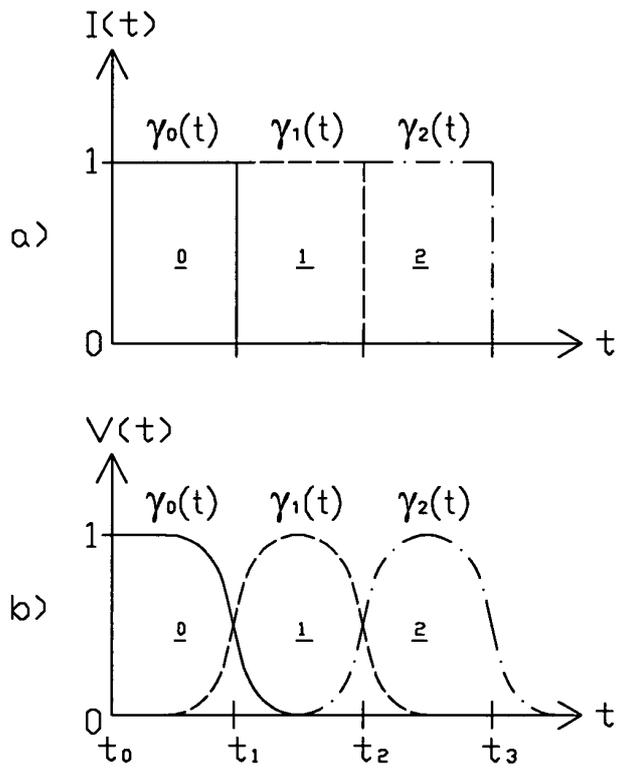


Fig.3

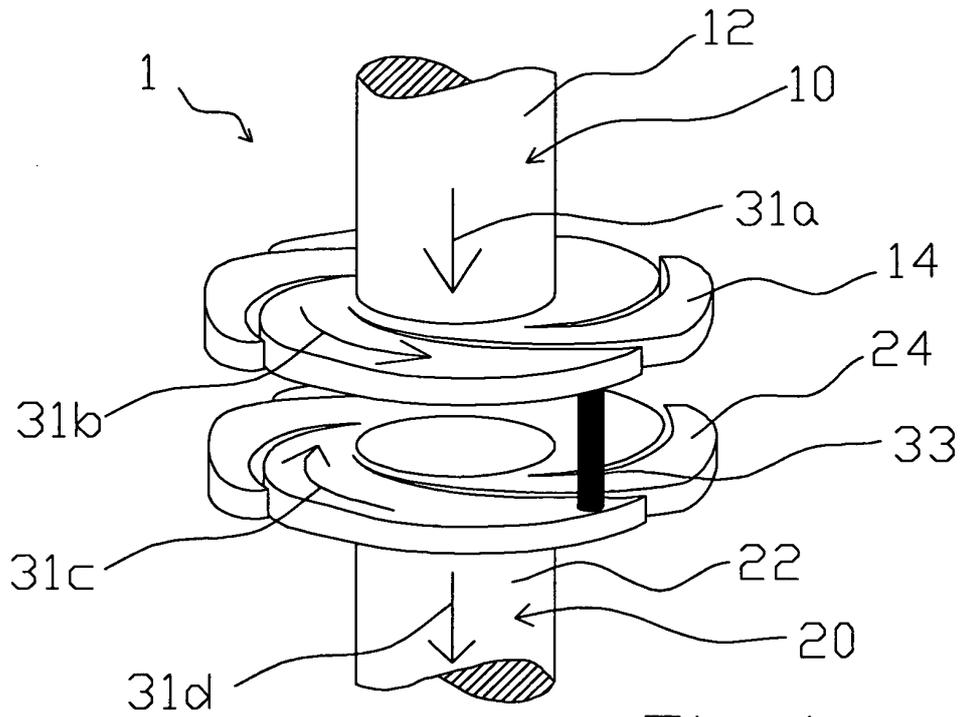


Fig.4