

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 752 020**

51 Int. Cl.:

**G01D 5/26** (2006.01)

**G01R 31/12** (2006.01)

**G01D 5/353** (2006.01)

**H02G 15/068** (2006.01)

**H02G 15/105** (2006.01)

**H02G 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.12.2011** **E 11192353 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2019** **EP 2472688**

54 Título: **Dispositivo de alta tensión y procedimiento para monitorear procesos de envejecimiento de un aislamiento en un dispositivo de alta tensión**

30 Prioridad:

**28.12.2010 DE 102010061607**

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

**02.04.2020**

73 Titular/es:

**BAM BUNDESANSTALT FÜR  
MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (50.0%)  
Unter den Eichen 87  
12205 Berlin, DE y  
IPH INSTITUT "PRÜFFELD FÜR ELEKTRISCHE  
HOCHLEISTUNGSTECHNIK" GMBH (50.0%)**

72 Inventor/es:

**HABEL, WOLFGANG y  
HEIDMANN, GERD**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 752 020 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

Dispositivo de alta tensión y procedimiento para monitorear procesos de envejecimiento de un aislamiento en un dispositivo de alta tensión.

5 La presente invención hace referencia a un procedimiento para monitorear procesos de envejecimiento de un aislamiento en dispositivos de alta tensión, así como a un dispositivo de alta tensión correspondiente.

10 En la solicitud DE 102009007142 A1 se describe un dispositivo de medición de fibra óptica para detectar estados de carga de cables de baja y media tensión, en particular de cables de energía eléctrica de contenedores refrigerados y turbinas eólicas marinas (offshore). Ese dispositivo de medición de fibra óptica posee una cantidad de sensores que están integrados en los cables y que pueden detectar una carga mecánica del cable, así como de las fibras, en particular mediante una flexión o distribución, una temperatura y/o gases continuos. Los sensores son abastecidos de luz desde una fuente externa y conforman una red de sensores de fibra óptica. Otro estado del arte puede hallarse en la solicitud US/2005/134837 A1.

15 En las instalaciones eléctricas para el suministro de energía eléctrica una y otra vez se producen fallos debido a influencias perjudiciales en los equipos de alta tensión y a fenómenos de envejecimiento de los aislamientos. Principalmente, dichos fallos son causados por descargas parciales. Durante las descargas parciales se producen los así llamados árboles de descarga parcial, los cuales crecen con el paso del tiempo y finalmente conducen a una descarga disruptiva eléctrica en el caso de que las respectivas instalaciones no se hayan desconectado a tiempo. Las descargas parciales en aislamientos de conjuntos de cables, como terminaciones de cables y manguitos de cables para cables de fuerza o cables de alta tensión, en una fase avanzada, por tanto, pueden conducir a una destrucción total de los conjuntos de cables. Debido a la elevada liberación de energía asociada a la descarga disruptiva pueden resultar dañadas otras partes de las instalaciones. Los daños de esos eventos, aunque no se producen con mucha frecuencia, pueden por tanto ser considerables. Por lo tanto, existe una necesidad de detectar y evaluar del modo más fiable posible los fenómenos de envejecimiento, así como descargas parciales, en aislamientos de conjuntos para alta tensión durante el funcionamiento en curso.

25 Un método establecido hasta el momento consiste en la medición de pulsos de corriente eléctricos y/o de señales electromagnéticas que están relacionados con la presencia de descargas parciales. Sin embargo, debido a perturbaciones electromagnéticas, la interpretación de esos resultados de medición, en las condiciones prácticas, con frecuencia es complicada. Además, esas mediciones son muy costosas y habitualmente implican la construcción de instalaciones de medición y de prueba adecuadas en el lugar. Por lo tanto, el monitoreo habitualmente tiene lugar sólo a intervalos de tiempo más amplios o al suponerse que se producen daños. Además, la sensibilidad de medición está limitada por perturbaciones ambientales electromagnéticas, de modo que las descargas parciales sólo pueden detectarse en una fase tardía, es decir, poco antes de la rotura. Es decir, que las mediciones electromagnéticas sólo pueden realizarse en áreas de acceso seguras, por tanto, por fuera del área de alta tensión. Debido a la gran distancia con respecto al lugar de la descarga parcial, por lo tanto, sólo pueden detectarse descargas parciales a partir de una intensidad determinada.

Además, con las mediciones eléctricas o electromagnéticas de esa clase no pueden detectarse los daños de los aislamientos que habitualmente preceden a una descarga parcial. No obstante, esto sería con frecuencia muy deseable para una predicción del estado de fatiga o de envejecimiento del aislamiento.

40 Según se entiende generalmente, un material aislante de polímeros sufre cambios en varias etapas dentro del campo oscilatorio de alta tensión. Habitualmente se parte de un modelo de envejecimiento fenomenológico de tres etapas, de los aislamientos de polímeros, el cual incluye el proceso de descarga parcial como tercera etapa. En la primera etapa aparecen portadores de carga que, dependiendo del material y de la distribución del campo, se caracteriza por una intensidad de campo crítica característica. Ese proceso puede desarrollarse en cualquier parte del volumen de material aislante, en donde, por ejemplo debido a faltas de homogeneidad condicionadas por la propia fabricación, se supere la intensidad del campo crítica. Sin embargo, esto también puede tener lugar en la superficie límite con respecto a conductores que conducen corriente. La segunda etapa del modelo está caracterizada porque al inicio de la inyección del portador de carga tiene lugar una transferencia de energía desde el campo eléctrico, mediante el portador de carga inyectado, hacia la matriz de polímeros. Las faltas de homogeneidad que dependen del material y que están condicionadas por la fabricación juegan aquí un rol central, ya que sirven como puntos de partida de los mecanismos de daños que a partir de ese momento comienzan de un modo irreversible. Mediante la inyección de los portadores de carga en las respectivas oscilaciones del campo oscilatorio de alta tensión se acumulan espacios de carga en puntos de captura de carga. Pueden producirse entonces fenómenos de electroluminiscencia. La aparición de electroluminiscencia en esta fase puede ser causada por el así denominado proceso "hot-electron" (efecto cuántico de electrón caliente), mediante la excitación de moléculas y mediante recombinaciones de portadores de carga. Cuál de estos procesos predomina en cada caso, depende del material. La transferencia de energía mediante los portadores de carga inyectados conduce a alteraciones químicas, mecánicas y térmicas irreversibles de la estructura de polímeros. De este modo, el desarrollo local de la intensidad

del campo en general es influenciado en alto grado por reacciones del espacio de carga. A continuación puede producirse la formación de microcavidades, en donde, después de superarse un valor crítico, se activan cargas parciales, con lo cual se alcanza la tercera etapa.

5 En el transcurso posterior pueden presentarse descargas parciales cada vez más intensas que pueden conducir a árboles de descarga parcial en crecimiento y, finalmente, a una ruptura eléctrica no deseada.

Considerando lo antes mencionado, la presente invención propone un procedimiento según la reivindicación 1 y un dispositivo de alta tensión según la reivindicación 9.

10 Según un ejemplo de ejecución se proporciona un procedimiento para monitorear procesos de envejecimiento de un aislamiento en un dispositivo de alta tensión. El procedimiento presenta el paso de la medición de una señal luminosa generada en el aislamiento con un primer sensor de fibra óptica, así como el paso de la medición de una variable mecánica del aislamiento con un segundo sensor de fibra óptica. El aislamiento comprende al menos una zona parcial transparente o translúcida, la cual se encuentra incorporada al menos de forma parcial en el primer sensor de fibra óptica y/o sobre su superficie se encuentra dispuesto al menos de forma parcial el primer sensor de fibra óptica. De este modo, los conceptos de la transparencia y de la traslucidez se refieren a longitudes de onda previstas y/o rangos de longitud de onda de la señal luminosa generada en el aislamiento. La señal luminosa generada en el aislamiento puede tratarse por ejemplo de un fenómeno de electroluminiscencia, por ejemplo en el rango infrarrojo cercano hasta en el rango de longitud de onda visible, pero también de un fenómeno luminoso generado por una descarga parcial, por ejemplo en el rango de luz visible hasta en el rango UV. Habitualmente, la zona parcial transparente o translúcida posee un coeficiente de absorción suficientemente reducido para la detección, para al menos una longitud de onda desde el espectro de luminiscencia previsto y/o para al menos una longitud de onda desde el espectro óptico previsto de una descarga parcial. Como el concepto de la "medición de una señal luminosa generada en el aislamiento", tal como se utiliza en este caso, se entiende en particular una medición de una variable óptica que representa una medida para la producción de un fenómeno de electroluminiscencia y/o de un fenómeno de descarga en el aislamiento en el campo de alta tensión. La medición de una variable mecánica habitualmente proporciona una medida para una descarga parcial que se produce en el aislamiento. La misma, sin embargo, también puede proporcionar una modificación precedente a una descarga parcial, por ejemplo para un fenómeno de hundimiento en la línea de aislamiento. Además, tiene lugar una estimación de un estado de envejecimiento del aislamiento. Esto posibilita un monitoreo sencillo y/o tolerante a fallos y/o muy sensible del estado de envejecimiento del aislamiento.

30 El término "alta tensión", tal como se utiliza en este caso, puede comprender tensiones por encima de por ejemplo 1 kV, en particular el término alta tensión puede comprender los rangos de tensión nominal habituales en la transmisión de energía eléctrica, de la media tensión de aproximadamente 3 kV hasta aproximadamente 50 kV, de la alta tensión de aproximadamente 50 kV hasta aproximadamente 110 kV, como también de tensiones máximas de actualmente hasta aproximadamente 500 kV. En el caso de que se incrementen aún más las tensiones de funcionamiento del cable, deben comprenderse también esos rangos de tensión. De este modo, puede tratarse tanto de tensiones continuas, como también de tensiones alternas. El término "cable de alta tensión", como se utiliza en este caso, puede describir un cable que es adecuado para conducir alta corriente, es decir, corriente eléctrica de más de por ejemplo un amperio, y en el caso de tensiones superiores a aproximadamente 1 kV. A continuación, los términos cable de alta tensión y cable de alta corriente se utilizan como sinónimos. De manera correspondiente, el término "conjunto de alta tensión" o "conjunto de cable de alta tensión" puede utilizarse para describir un dispositivo que es adecuado para conectar unos con otros instalaciones de alta tensión y/o cables de alta tensión.

45 El término "descarga parcial", tal como se utiliza en este caso, puede describir descargas de corta duración, con poca energía y limitadas localmente en el aislamiento, las cuales no conducen de inmediato a una descarga disruptiva eléctrica, pero dañan el material del aislamiento de forma irreversible. El término "descarga parcial" puede comprender en particular el concepto de la "descarga parcial interna", es decir, de un fenómeno de descarga parcial visible externamente, no necesariamente visible, en materiales de aislamiento gaseosos, en particular en materiales de aislamiento sólidos. Partiendo de puntos defectuosos, como cavidades o inclusiones externas o superficies límite con respecto a otros materiales, en particular con respecto a conductores que conducen alta tensión, las descargas parciales conducen a árboles de descarga parcial que crecen con el transcurso del tiempo en el material de aislamiento, lo cual finalmente puede ocasionar una descarga disruptiva. Los árboles de descarga parcial poseen habitualmente un tamaño de más de aproximadamente 1 µm (micrómetros).

55 Como medida para la intensidad de una descarga parcial puede utilizarse la carga aparente que puede medirse directamente en las conexiones de prueba de una disposición de medición eléctrica. Con métodos de medición eléctricos y electromagnéticos establecidos pueden detectarse actualmente, bajo condiciones de prueba habituales en la práctica, descargas parciales con una carga aparente de más de aproximadamente 1 pC. La norma industrial IEC 60840 Ed. 3, 2004-04 exige una precisión de medición de aproximadamente 5 pC para la prueba de instalaciones de alta tensión. En el funcionamiento de alta tensión del dispositivo de alta tensión, la sensibilidad de medición de esos métodos mediante niveles de perturbaciones base, sin embargo, está limitada a un rango de aproximadamente 20 pC hasta aproximadamente 50 pC. El término "descarga parcial" como se utiliza en este caso,

5 puede comprender en particular descargas en el aislamiento con cargas aparentes, es decir cargas aparentes que pueden medirse de forma eléctrica, de más de aproximadamente 1 pC. El término "descarga parcial", como se utiliza en este caso, sin embargo, puede comprender también las así llamadas "descargas parciales sin pulsos", las cuales actualmente si bien pueden detectarse en muestras bajo condiciones de laboratorio con los métodos de medición eléctricos y electromagnéticos establecidos, no pueden detectarse en instalaciones técnicas como dispositivos de alta tensión.

10 Las descargas parciales a partir de fenómenos de electroluminiscencia en el campo de alta tensión pueden diferenciarse por su comportamiento de descarga altamente estocástico, por el crecimiento de los árboles de descarga parcial, también en el caso de una intensidad del campo constante, así como, dependiendo del material del aislamiento y la intensidad del campo, por un espectro de frecuencia eventualmente diferente y/o por la intensidad de la luz, habitualmente diferente. La intensidad de la luz desde fenómenos de luminiscencia de materiales de aislamiento, en el campo de alta tensión, en el caso de la misma intensidad del campo eléctrica, habitualmente es más débil que la intensidad de la luz de una descarga parcial, en particular para descargas parciales con cargas aparentes de más de aproximadamente 1 pC. Además, la electroluminiscencia habitualmente está caracterizada por valores de intensidad reproducibles en el caso de intensidades de campo idénticas, donde la intensidad es prácticamente independiente de su historial.

20 Según un perfeccionamiento, la medición de una señal luminosa generada en el aislamiento comprende la medición de una intensidad de la luz, de una longitud de onda de la luz y/o de una duración de pulso de un fenómeno de electroluminiscencia que se produce en una parte de control de campo del aislamiento y/o de un fenómeno de descarga que se produce en la parte de control de campo con una carga aparente de menos de aproximadamente 5 pC, de menos de aproximadamente 2 pC e incluso de menos de aproximadamente 1 pC. De este modo, también pueden detectarse un fenómeno de electroluminiscencia y/o un fenómeno de descarga que no pueden ser detectados con la precisión de medición para un fenómeno de descarga, requerida por la norma industrial IEC 60840. Mediante la medición de una señal luminosa generada en el aislamiento, de este modo, pueden monitorearse estados de envejecimiento tempranos del aislamiento. Esto permite una estimación esencialmente más temprana y/o más precisa del estado de envejecimiento del aislamiento.

30 La medición de una señal luminosa generada en el aislamiento, sin embargo, puede comprender también la medición de un fenómeno de descarga parcial, es decir, de fenómenos de descarga con una carga aparente de más de aproximadamente 5 pC. Esto posibilita una detección sencilla de procesos de descarga parcial y, con ello, de un estado de envejecimiento más avanzado del aislamiento.

35 Dependiendo de la intensidad, las descargas parciales están asociadas además a emisiones acústicas breves de aproximadamente 10 kHz hasta de aproximadamente algunos cientos de kHz, las cuales pueden ser detectadas por el segundo sensor de fibra óptica. Mediante alteraciones electroquímicas (contracción de reacción) y/o durante las descargas parciales pueden desarrollarse además tensiones mecánicas y, como consecuencia de ello, pueden formarse grietas y aberturas en el material de aislamiento. La medición de una variable mecánica comprende habitualmente la medición de una variación de una propiedad mecánica del aislamiento y/o de una vibración que se produce en el aislamiento. La variable mecánica del aislamiento puede tratarse de una dilatación del aislamiento, una densidad del aislamiento, una presión o una tensión mecánica en el aislamiento, una deformación del aislamiento, una variable que caracteriza una vibración mecánica del aislamiento y/o de una variable que caracteriza una onda mecánica que se propaga en el aislamiento y/o que parte desde el aislamiento, es decir, una onda acústica. La variable mecánica puede comprender en particular una frecuencia acústica, un nivel de presión acústica, una duración acústica y/o una intensidad acústica de un evento acústico generado en el aislamiento por descargas parciales eléctricas. Esto posibilita una detección sencilla de procesos de descarga parcial y, con ello, de un estado de envejecimiento más avanzado del aislamiento.

45 Mediante la utilización del primer sensor de fibra óptica y del segundo sensor de fibra óptica pueden detectarse variaciones del aislamiento desde una fase temprana hasta descargas parciales, sin instalaciones de medición externas costosas. Los sensores de fibra óptica pueden realizarse ciertamente en primer lugar altamente sensibles, por otra parte pueden realizarse exclusivamente de materiales dieléctricos, de manera que en principio pueden utilizarse en el campo de alta tensión, es decir, en zonas cercanas amenazadas por una descarga parcial, o incluso en zonas amenazadas por una descarga parcial, sin modificar de forma significativa el campo de alta tensión. Esto posibilita además un monitoreo continuo sencillo del estado del aislamiento durante el funcionamiento del conjunto de alta tensión, por ejemplo mediante la transmisión de los resultados de medición a una unidad de evaluación central. De este modo puede detectarse a tiempo una descarga disruptiva inminente en el conjunto de alta tensión, la instalación puede desconectarse y, mediante el cambio del aislamiento envejecido o del conjunto de alta tensión completo, pueden evitarse daños secundarios.

En particular, el procedimiento puede utilizarse para el monitoreo de procesos de envejecimiento del aislamiento de un conjunto de cable de alta tensión, por ejemplo de un manguito de cable o de una terminación de cable. Los aislamientos en manguitos de cable y en terminales de cable, en particular en las proximidades de extremos de conductores y/o en las proximidades de aberturas del aislamiento de cable, están expuestos habitualmente a

intensidades del campo eléctricas elevadas. Un monitoreo de procesos de envejecimiento en esos dispositivos puede contribuir por tanto, en particular, al aumento de la seguridad de funcionamiento.

5 En la estimación del estado de envejecimiento del aislamiento, junto con mediciones individuales de una variable mecánica y/o la medición individual de una señal luminosa generada en el aislamiento, puede incluirse también su desarrollo en el tiempo. De este modo puede alcanzarse una precisión mejorada de las predicciones.

Habitualmente, en la detección de un evento acústico en el aislamiento se considera la presión acústica y/o la frecuencia acústica y/o la duración acústica para estimar el estado de envejecimiento del aislamiento. Estos valores pueden determinarse fácilmente y son muy adecuados para la caracterización de descargas parciales.

10 De manera análoga, habitualmente en la detección de una señal luminosa en el aislamiento se considera su intensidad de la luz integral y/o una medida para la fluctuación de la intensidad de la luz para estimar el estado de envejecimiento del aislamiento. Esos valores pueden determinarse igualmente con facilidad y son muy adecuados para la caracterización de descargas parciales y de fenómenos de electroluminiscencia, así como de su diferenciación.

15 Sin embargo, para estimar el estado de envejecimiento del aislamiento también es posible utilizar variables que deben determinarse con mayores requerimientos, como la longitud de un árbol de descarga parcial en el aislamiento. Para ello se necesitan datos de varios primeros y/o segundos sensores de fibra óptica. Para ello debe caracterizarse la longitud de un árbol de descarga parcial, pero particularmente un parámetro especialmente relevante, para caracterizar un estado de envejecimiento avanzado del aislamiento.

20 Según un perfeccionamiento, la estimación de un estado de envejecimiento del aislamiento tiene lugar en una unidad de evaluación central. Habitualmente, la unidad de evaluación central monitorea varios aislamientos, por ejemplo todos los aislamientos en manguitos de cable y terminales de cable de un dispositivo de alta tensión, por ejemplo de una red de tensión.

Según otro perfeccionamiento se emite un aviso de advertencia o una señal de advertencia cuando el estado de envejecimiento del aislamiento supera un valor umbral predeterminado.

25 De este modo puede asegurarse que una reparación o un cambio del componente afectado se inicia a tiempo, antes de una rotura.

30 Según un perfeccionamiento, el procedimiento se realiza de forma continua y/o controlado por eventos, donde pueden funcionar uno o varios sensores. De este modo puede asegurarse que sean detectadas todas las descargas parciales que se producen, así como otras influencias perjudiciales. La expresión "medición continua en el tiempo", como se utiliza en este caso, debe entenderse como una medición que puede detectar también señales cortas individuales en el intervalo por encima de algunos milisegundos en un periodo de varias horas, habitualmente de varios días, o incluso de varias semanas y meses. El procedimiento puede realizarse por ejemplo de manera que un primer detector conectado al primer sensor de fibra óptica y un segundo detector conectado al segundo sensor de fibra óptica, durante un periodo que dura hasta más de dos meses, detecta continuamente las señales ópticas proporcionadas por el respectivo sensor de fibra óptica, la evaluación propiamente dicha de la medición o bien la determinación de la variable óptica o mecánica que se correlaciona con la misma, tiene lugar sin embargo sólo en el caso de una variación de las señales, es decir, cuando por ejemplo la variable mecánica se ha modificado mediante un evento, como una descarga parcial eléctrica. La evaluación propiamente dicha de la medición o la determinación de las variables ópticas y/o mecánicas que se correlacionan con ello, sin embargo, puede tener lugar también a intervalos periódicos. Mediante la medición continua y/o controlada por eventos, mediante el primer sensor de fibra óptica y el segundo sensor de fibra óptica, puede garantizarse un monitoreo completo de fenómenos luminosos inducidos por el campo, en el aislamiento, y de variaciones mecánicas y/o eventos acústicos en el aislamiento.

45 Según una forma de ejecución, un procedimiento para el monitoreo de procesos de envejecimiento de un aislamiento comprende los pasos del monitoreo de señales luminosas generadas en el aislamiento, con un primer sensor de fibra óptica, el monitoreo de deformaciones del aislamiento y/o eventos acústicos en el aislamiento con un segundo sensor de fibra óptica, y la estimación de un estado de envejecimiento del aislamiento. Habitualmente, ese procedimiento se realiza durante el funcionamiento en curso del dispositivo de alta tensión, por ejemplo de un conjunto de cable, es decir, bajo condiciones de alta tensión.

50 Según otro ejemplo de ejecución se indica un dispositivo de alta tensión. El dispositivo de alta tensión está realizado de manera que puede alojar un cable de alta tensión con un conductor diseñado para conducir corriente eléctrica y con un aislamiento de cable que rodea el conductor. El dispositivo de tensión alterna comprende un aislamiento que está diseñado de manera que el mismo puede rodear el aislamiento de cable al menos de forma parcial. El dispositivo de alta tensión comprende además un primer sensor de fibra óptica que está dispuesto al menos parcialmente en el interior del dispositivo de alta tensión y un segundo sensor de fibra óptica acoplado

mecánicamente con el aislamiento. El primer sensor de fibra óptica está diseñado de manera que el mismo puede detectar una señal óptica. De este modo, el primer sensor de fibra óptica puede estar diseñado para detectar una electroluminiscencia y/o un fenómeno de descarga con una carga aparente de menos de aproximadamente 5 pC, menos de aproximadamente 2 pC o incluso menos de 1 pC. Por ejemplo, el primer sensor de fibra óptica puede presentar una sensibilidad de medición que posibilita una detección de señal fiable, donde una medición eléctrica tampoco proporciona resultados que puedan ser evaluados. Lo mencionado se produce en el caso de cargas aparentes de menos de 1 pC, hasta de aproximadamente 0,1 pC. De este modo, la electroluminiscencia y/o un fenómeno de electroluminiscencia en el funcionamiento de alta tensión puede comprobarse marcadamente antes, habitualmente al menos 10 veces con mayor sensibilidad, que con los métodos de medición eléctricos y electromagnéticos establecidos. El segundo sensor de fibra óptica está diseñado de manera que el mismo puede detectar una señal mecánica. De este modo, con el segundo sensor de fibra óptica puede comprobarse una descarga parcial eléctrica que se produce en el aislamiento, mediante una deformación asociada a la descarga parcial y/o una vibración del aislamiento. Habitualmente, el segundo sensor de fibra óptica está diseñado para detectar una onda acústica en el aislamiento. Mediante la utilización del primer sensor de fibra óptica y del segundo sensor de fibra óptica, de este modo, puede garantizarse una detección de variaciones del aislamiento, desde una fase muy temprana, antes del inicio de descargas parciales, mediante el primer sensor de fibra óptica, hasta en el intervalo de una descarga parcial, mediante el segundo sensor de fibra óptica.

Según otro ejemplo de ejecución, el dispositivo de alta tensión se trata de una instalación de conmutación, por ejemplo un armario de aparatos de control, un manguito de cable o una terminación de cable, cuyo respectivo aislamiento está expuesto a intensidades del campo especialmente elevadas y, con ello, está particularmente amenazado por una descarga parcial. El dispositivo de alta tensión puede tratarse también sin embargo de un generador, de un convertidor de tensión, por ejemplo de un convertidor o de un transformador.

Según la invención, el conjunto de alta tensión comprende una parte de control de campo transparente o traslúcida al menos en zonas parciales, la cual está diseñada para rodear al menos de forma parcial el aislamiento de cable, del cable de alta tensión. Habitualmente, la parte de control de campo es un cuerpo de control de campo de elastómeros, transparente o translúcido, con deflector integrado para modificar el desarrollo del campo eléctrico en dispositivos de alta tensión, como conjuntos de cables. La parte de control de campo ocupa habitualmente aquél espacio en el dispositivo de alta tensión en el cual la intensidad de campo en el funcionamiento de alta tensión es demasiado elevada para el resto del aislamiento. La parte de control de campo puede estar diseñada en particular como cono de control de campo con un deflector conductor integrado. De este modo, la parte de control de campo puede conducir las líneas de campo en el funcionamiento de alta tensión del dispositivo de alta tensión, de manera que la intensidad de campo por fuera de la parte de control de campo es suficientemente reducida. El detector conductor puede presentar un coeficiente de absorción elevado en el rango de longitud de onda previsto del fenómeno de electroluminiscencia y/o del fenómeno de descarga, representando con ello una parte esencialmente no transparente de la parte de control de campo.

Según otro ejemplo de ejecución, el primer sensor de fibra óptica comprende una fibra óptica dopada con un fluoróforo, habitualmente una fibra óptica de polímeros con núcleo dopado, y un detector óptico ajustado con respecto a un espectro de ondas de emisión del fluoróforo y acoplado a la fibra óptica dopada. De este modo, la fibra óptica dopada se encuentra incorporada al menos de forma parcial en una parte transparente o translúcida del aislamiento y/o está dispuesta sobre una superficie de la parte transparente o translúcida del aislamiento. Debido a esto se posibilita una medición altamente sensible de señales luminosas en el aislamiento.

Otras variantes ventajosas, particularidades, aspectos y características de la presente invención resultan de las reivindicaciones dependientes, de la descripción, así como de los dibujos que se adjuntan. Las figuras muestran:

Figura 1: una sección transversal esquemática de un conjunto de alta tensión según un ejemplo de ejecución;

Figura 2: una sección transversal esquemática de un conjunto de alta tensión según otro ejemplo de ejecución;

Figura 3: una sección transversal esquemática de un conjunto de alta tensión otro ejemplo de ejecución;

Figura 4: una sección transversal esquemática de un conjunto de alta tensión otro ejemplo de ejecución;

Figura 5: una sección transversal esquemática de un conjunto de alta tensión según otro ejemplo de ejecución; y

Figura 6: los pasos de un procedimiento para monitorear procesos de envejecimiento de un aislamiento de un dispositivo de alta tensión según un ejemplo de ejecución.

La figura 1 muestra un conjunto de alta tensión 100 para el alojamiento de un cable de alta tensión 1 según un ejemplo de ejecución, en una vista de la sección transversal central, esquemática, a lo largo del eje del cilindro del cable de alta tensión 1. El cable de alta tensión 1 con simetría rotacional contiene en el interior un conductor 11 para

conducir alta corriente, por ejemplo un conductor de aluminio o de cobre, el cual está rodeado por un aislamiento de cable 12, habitualmente por un aislamiento VPE (polietileno reticulado), y por una protección de cable externa 13, por ejemplo por una capa conductora externa o por una protección de cable externa semiconductor. Además, el cable de alta tensión 1 puede presentar adicionalmente capas protectoras de relleno, una protección de cobre y una cubierta externa para la protección contras influencias del medio ambiente. Esta última puede tratarse de una cubierta de polietileno o de una cubierta de otro material libre de halógenos. Dichos componentes no están representados en la figura 1 y en las siguientes figuras, con el fin de una mayor claridad. Además, el cable de alta tensión 1 puede presentar una capa conductora interna entre el conductor 11 y el aislamiento VPE. Esa capa conductora interna tampoco se encuentra representada.

El conjunto de alta tensión 100 representado en la figura 1 representa una terminación de cable 100, tal como se utiliza en líneas aéreas. La terminación de cable 100 posee una carcasa 110, por ejemplo una carcasa cerámica, que cierra las partes internas del conjunto de alta tensión 1 con respecto al entorno. En el interior de la carcasa 1 está dispuesta una zona de aislamiento 2. La zona de aislamiento 2 puede estar formada por ejemplo por un espacio de aislamiento bien transparente, llenado con aceite o gas. La zona de aislamiento 2 forma una zona en lo esencial simétricamente cilíndrica.

En el cable de alta tensión 1 introducido en la terminación de cable las capas externas (cubierta del cable, capas protectoras de relleno y protección metálica) se encuentran distanciadas, la protección de cable 13 externa habitualmente semiconductor continúa hasta el área de la parte de control de campo y después, mediante la terminación del extremo, hasta la armadura superior, se prolonga axialmente tan sólo el aislamiento de cable 12 con el conductor 11. Solamente el conductor 11 es guiado completamente mediante la terminación de cable 100, para conectarse a la línea aérea en el área derecha de la figura 1, después de abandonar la terminación de cable 100. En el interior de la terminación de cable 100, el conductor 11 sólo está rodeado directamente por la zona de aislamiento 2 en el área del aislamiento de cable distanciado. Para el alojamiento del cable de alta tensión 1, en la zona de aislamiento 2 está insertada una parte de control de campo 3 eléctricamente aislante, con simetría rotacional, la cual ocupa aquél espacio dentro de la zona de aislamiento 2, en la cual la intensidad de campo eléctrica sería demasiado elevada para los materiales de aislamiento en la zona de aislamiento 2. La parte de control de campo 3 dispone de un cilindro hueco interno, en el cual puede insertarse el cable de alta tensión 1. Por ejemplo, la parte de control de campo 3 puede estar realizada como cono de control de campo. Habitualmente, la parte de control de campo 3 es una parte de control de campo de elastómeros que se compone de un cuerpo de elastómeros transparente o translúcido, por ejemplo de un cuerpo de elastómeros de silicona con transparencia suficientemente elevada, hasta de una o varias longitudes de onda desde un rango de aproximadamente 300 nm hasta de aproximadamente 900 nm. El cilindro hueco interno habitualmente está dimensionado de manera que entre el aislamiento del cable 12 del cable 1 insertado y la parte de control de campo 3 se encuentra presente un ajuste con apriete, de modo que la parte de control de campo 3 forma un cono de estrés. La zona de aislamiento 2 y la parte de control de campo 3 forman juntas el aislamiento de la terminación de cable 100.

La parte de control de campo 3 y/o el cable de alta tensión 1, de manera adicional, por ejemplo mediante resortes, pueden fijarse en la carcasa 110 o en un área 5 de la zona de aislamiento 2 cerca del cable que se encuentra con potencial a tierra, por ejemplo cuando la zona de aislamiento 2 está formada por un cuerpo de aislamiento sólido. Una fijación de esa clase de la parte de control de campo 3 y/o del cable de alta tensión 1 se utiliza habitualmente en el caso de una estructuración de la terminación de cable 100 en el modo de construcción de los componentes. De manera alternativa con respecto a ello, la estructura de la terminación de cable 100 también puede estar realizada en correspondencia con la técnica de bobinado o la técnica de desplazamiento. El aislamiento, independientemente del modo de construcción utilizado, comprende una parte de control de campo 3 para el alojamiento del cable 1 con aislamiento del cable 12 parcialmente distanciado, y para el guiado adecuado de las líneas del campo en el funcionamiento de alta tensión.

Para reducir el campo eléctrico se utiliza habitualmente una parte de control de campo 3 de elastómeros, en la cual se encuentra integrado un deflector 4 conductor conformado de forma adecuada. El deflector 4 conductor se encuentra en contacto eléctrico con la protección de cable 13. Habitualmente, el deflector 4 conductor se compone igualmente de un elastómero de silicona, el cual sin embargo, mediante dopado, dispone de una conductividad eléctrica adecuada. Debido a la falta de homogeneidad del material o de defectos, habitualmente existen áreas con una intensidad del campo aumentada. Las mismas se representan en la figura 1 mediante áreas 8 con un reborde de líneas punteadas. La probabilidad de la aparición o el inicio de descargas parciales se encuentra aumentada en las áreas 8 con una intensidad del campo aumentada.

Según un ejemplo de ejecución, en el interior del conjunto de alta tensión 100 están dispuestos un primer sensor de fibra óptica 20 y un segundo sensor de fibra óptica 30. Ambos sensores de fibra óptica 20, 30 del conjunto de alta tensión 100 se encuentran incorporados al menos de forma parcial en un cuerpo de elastómeros 3 transparente o al menos translúcido, por ejemplo un cuerpo de elastómero de silicona correspondiente, el cual rodea parcialmente el aislamiento 12 del cable de alta tensión 1 y sus conductores 11. De este modo, el cuerpo de elastómeros 3 representa al menos una parte de un aislamiento del conjunto de alta tensión 100.

El primer sensor de fibra óptica 20 se trata de un sensor para la detección de una señal óptica o de una señal luminosa que puede producirse en el cuerpo de elastómeros 3 en el campo de alta tensión debido a procesos de variación inducidos por el campo de alta tensión y transmitidos mediante portadores de carga. El primer sensor de fibra óptica 20 en particular puede estar diseñado para detectar una señal de electroluminiscencia y/o una señal luminosa que proviene desde un fenómeno de descarga, con cargas aparentes hasta por debajo de 5 pC o inferiores. El primer sensor de fibra óptica 20 habitualmente es un así llamado "sensor FOF", es decir, que el mismo comprende una fibra óptica fluorescente 20a (en inglés "fluorescent optical fiber"), habitualmente una fibra óptica fluorescente de polímeros (en inglés "fluorescent plastic optical fiber") con núcleo dopado, y un sensor óptico ajustado a un espectro de ondas de emisión del fluoróforo del núcleo dopado y acoplado con la fibra óptica fluorescente 20a. Habitualmente, el espectro de ondas de absorción del fluoróforo se encuentra ajustado al espectro previsto de la señal luminosa en el cuerpo de elastómeros. De este modo puede proporcionarse un sensor extremadamente sensible para señales ópticas. Además, la fibra óptica fluorescente 20a, habitualmente con una pluralidad de espiras, está dispuesta alrededor del área 8 con intensidad del campo aumentada, por ejemplo en forma de una hélice en espiral, como se muestra esquemáticamente en la figura 1, de manera que mucha luz se concentra desde el área 8 especialmente comprometida, mediante los fluoróforos se convierte en luz de ondas más largas y la misma puede suministrarse al detector, no representado, en una unidad de evaluación 60. De este modo, al menos un extremo de la fibra óptica fluorescente 20a se encuentra conectado al detector. La unidad de evaluación 60 se encuentra habitualmente en un espacio 5 libre de campo o bien por fuera de la carcasa de la terminación del cable 110. De este modo, el detector puede ser bien protegido de interferencias electromagnéticas del campo de alta tensión. Habitualmente, el detector se trata de un convertidor opto-eléctrico, por ejemplo de un fotodiodo, por ejemplo de un diodo de avalancha, o también de un fotomultiplicador. Para elastómeros de silicona puede utilizarse por ejemplo un diodo de avalancha con una sensibilidad máxima en el rango de aproximadamente 800 nm, para la detección de fenómenos de electroluminiscencia. La fibra óptica fluorescente 20a puede guiarse directamente hacia la unidad de evaluación 60. Sin embargo, también es posible conectar la fibra óptica fluorescente 20a mediante una fibra óptica transportadora 20b con menor atenuación, a la unidad de evaluación 60.

El deflector 4 conductor, debido a su dopado, puede ser opaco. En ese caso, como se muestra en la figura 1, la fibra óptica fluorescente 20a se dispone habitualmente en el cuerpo de elastómeros 3, de manera que una sección suficientemente larga de la fibra óptica fluorescente 20a se ubica por fuera de la sombra que se forma desde el deflector 4 conductor para señales de luz que parten del área 8 con una intensidad del campo aumentada.

Además, también es posible incorporar al menos parcialmente en el cuerpo de elastómeros no sólo una fibra óptica fluorescente 20a con un rango de longitud de onda de absorción, sino varios rangos de absorción ajustados unos con respecto a otros. Debido a esto puede detectarse un sector más amplio desde el espectro de emisión de descargas parciales y/o electroluminiscencia. Cada una de esas fibras ópticas fluorescentes, mediante una fibra óptica transportadora propia puede conectarse a un detector individual, por ejemplo a un fotodiodo individual adaptado al respectivo fluoróforo, en la unidad de evaluación 60. Las señales de los fotodiodos individuales pueden entonces por ejemplo adicionarse de forma simple, para determinar una medida integral para la potencia lumínica.

El segundo sensor de fibra óptica 30 se trata de un sensor que puede detectar una variable mecánica en un medio adyacente, es decir, para el ejemplo de ejecución ilustrado en la figura 1, en el cuerpo de elastómeros, y para ello se encuentra acoplado mecánicamente al mismo. La variable mecánica puede tratarse de una deformación y/o de una vibración del cuerpo de elastómeros 3, que es causada por una descarga parcial. En particular puede tratarse de una presión acústica, de una frecuencia acústica y/o de un espectro de frecuencia.

También el segundo sensor de fibra óptica 30, mediante una o varias fibras de suministro 53, puede estar acoplado a un detector ajustado al mismo, en la unidad de evaluación 60, y/o desde o mediante la unidad de evaluación 60, puede abastecerse de señales de prueba, por ejemplo de señales láser.

Debido al acoplamiento mecánico entre la parte de control de campo 3, la zona de aislamiento 2 y el aislamiento de cable 12, el segundo sensor de fibra óptica 30 habitualmente puede detectar también eventos acústicos que son causados por descargas parciales en la zona de aislamiento 2 o en el aislamiento de cable 12.

Según una forma de ejecución, el segundo sensor de fibra óptica 30 es un sensor de puntas de fibras. El sensor de puntas de fibras puede componerse de una punta de fibra o de varias puntas de fibras. Cuando una punta de fibra se incorpora en un medio ópticamente transparente o traslúcido, como un elastómero de silicona a modo de aislamiento del cable, o al menos se sitúa de forma adyacente con respecto al mismo, entonces mediante la luz retrodispersada en la superficie límite del núcleo de fibras hacia el medio, puede deducirse el índice de refracción óptico y, con ello, la densidad del elastómero adyacente. De este modo pueden detectarse variaciones de la densidad y/u oscilaciones del elastómero, de forma óptica, mediante la luz retrodispersada.

Habitualmente, el segundo sensor óptico 30 es un sensor sensible a la fase, por ejemplo un sensor interferométrico. El sensor de fibra óptica 20 puede ser por ejemplo un interferómetro de Fabry-Pérot. De este modo pueden realizarse mediciones especialmente sensibles.

5 El sensor de fibra óptica 30 puede tratarse también de un sensor de rejilla de Bragg con el cual pueden detectarse en particular ondas de Lamb, es decir, ondas de presión y ondas rotacionales mixtas. Habitualmente, el sensor de rejilla de Bragg está realizado de manera que el mismo puede detectar deformaciones irreversibles de la parte de control de campo 3 y/o eventos acústicos. Las deformaciones irreversibles de la parte de control de campo 3 pueden ser causadas por descargas parciales eléctricas, pero también pueden preceder a descargas parciales eléctricas. De este modo, por ejemplo en el caso de terminaciones de gran tamaño con extensiones de hasta algunos metros, pueden producirse fenómenos de hundimiento de los componentes correspondientemente pesados. De este modo, pueden combinarse tensiones o deformaciones de la parte de control de campo 3, las cuales a su vez pueden favorecer o iniciar descargas parciales eléctricas. Con un sensor de rejilla de Bragg, de este modo, pueden detectarse también daños estructurales que causan descargas parciales eléctricas.

15 El sensor de fibra óptica 30 puede tratarse también, sin embargo, de un sensor de fibra óptica cuasi -distribuido. El mismo se compone de una fibra con varios puntos de medición que se encuentran a distancias regulares unos con respecto a otros. Mediante mediciones de retrodispersión basadas en el tiempo pueden detectarse deformaciones irreversibles y, con ello, también variaciones en la parte de control de campo 3 que causan descargas parciales eléctricas, a modo de secciones, a lo largo de las fibras en la parte de control de campo 3.

20 Los sensores de fibra óptica 20, 30 habitualmente están realizados de manera que el mismo se compone solamente de materiales dieléctricos, por ejemplo de vidrio o material de polímeros y, por tanto, la distribución del campo eléctrica en la terminación de cable 100 no varía en absoluto o sólo varía de forma irrelevante. Además, los sensores de fibra óptica de esa clase prácticamente no son influenciados por campos electromagnéticos externos. Por lo tanto, los sensores de fibra óptica 20, 30 también pueden posicionarse cerca de áreas 8 con intensidad del campo particularmente elevada y, por tanto, cerca de áreas de riesgo, para la detección de fenómenos de electroluminiscencia y/o descargas parciales. De este modo puede asegurarse un monitoreo sensible del estado de envejecimiento durante el funcionamiento, es decir, bajo condiciones de alta tensión. Esto aumenta la seguridad del funcionamiento de instalaciones de alta tensión. Además, los resultados de medición o las señales de medición, mediante una o varias fibras ópticas de suministro 50, pueden transmitirse a un centro de monitoreo central, de manera que puede prescindirse de costosas campañas de medición en el lugar. Debido a la atenuación reducida de la fibra óptica son posibles incluso mediciones de fibra óptica desde un centro de monitoreo central, a lo largo de grandes distancias.

30 En el caso de que la constante dieléctrica efectiva de los sensores de fibra óptica 20, 30 difiera de la constante dieléctrica del cuerpo de elastómeros 3, puede producirse una variación de la distribución del campo eléctrica en el cuerpo de los elastómeros 3. De manera adicional puede preverse que la forma y/o la conductividad del cono de control de campo 4 se modifiquen de manera que la variación del campo eléctrico se compense mediante los sensores de fibra óptica 20, 30 y/o mediante las fibras ópticas de suministro 53.

35 En comparación con sensores electromagnéticos o piezoeléctricos dispuestos por fuera del conjunto de alta tensión o instalaciones de medición, la medición combinada de señales ópticas y variables mecánicas con sensores de fibra óptica 20, 30 adecuados para la respectiva medición, los cuales a su vez están dispuestos habitualmente cerca de las áreas críticas 8, se posibilita una detección más sencilla y/o más sensible y/o más temprana de procesos de envejecimiento en el aislamiento 3, causados por el campo de alta tensión

40 El primer sensor de fibra óptica 20, de manera adicional o alternativa, puede estar diseñado para detectar una señal luminosa de una descarga parcial del cuerpo de elastómeros 3, y para transmitirla a la unidad de evaluación externa. De este modo, descargas parciales pueden ser detectadas por el primer sensor de fibra óptica 20 y por el segundo sensor de fibra óptica 30, es decir, con sensores o procedimientos independientes. Mediante la correlación de los resultados de medición independientes pueden al menos reducirse mediciones erróneas y/o puede caracterizarse mejor la descarga parcial. Cuando por ejemplo sólo el segundo sensor de fibra óptica 30 detecta una señal que indica una descarga parcial, pero el primer sensor de fibra óptica 20 no detecta ninguna señal luminosa asociada a ello, esto puede indicar un efecto mecánico externo o una falla, en particular cuando el primer sensor de fibra óptica 20 mide después una señal de descarga parcial junto con el segundo sensor de fibra óptica 30.

50 La figura 2 muestra un conjunto de alta tensión 101 para el alojamiento de un cable de alta tensión 1 según un ejemplo de ejecución, en una vista de la sección transversal central, esquemática, a lo largo del eje del cilindro del cable de alta tensión 1. El conjunto de alta tensión 101 es similar al conjunto de alta tensión 100 y representa igualmente una terminación de cable. La fibra óptica fluorescente 20a del primer sensor de fibra óptica 20, en la terminación de cable 101, sin embargo, se encuentra dispuesta sobre una superficie del cuerpo de elastómeros 3, es decir, enrollada alrededor del cuerpo de elastómeros 3, donde la misma igualmente puede concentrar una señal luminosa que se produce en el cuerpo de elastómeros 3, transformarla y transmitirla hacia el detector en la unidad de evaluación 60. La fibra óptica fluorescente 20a, para la detección, puede estar dispuesta incluso al menos de forma parcial en la zona de aislamiento 2, cuando la misma es transparente o traslúcida, es decir, cuando está formada por un cuerpo de resina epoxi transparente o un cuerpo de silicona.

La figura 3 muestra un conjunto de alta tensión 102 para el alojamiento de un cable de alta tensión 1 según un ejemplo de ejecución, en una vista de la sección transversal central, esquemática, a lo largo del eje del cilindro del cable de alta tensión 1. El conjunto de alta tensión 102 es similar al conjunto de alta tensión 100 y representa igualmente una terminación de cable. El segundo sensor de fibra óptica 30, en la terminación de cable 102, sin embargo, está dispuesto sobre una superficie del cuerpo de elastómeros 3, en la zona 5 libre de campo, donde igualmente puede medir una variable mecánica, por ejemplo una variable que caracteriza un evento acústico. De manera alternativa con respecto a ello, el segundo sensor de fibra óptica 30 también puede estar incorporado de forma parcial en el cuerpo de elastómeros 3.

La figura 4 muestra un conjunto de alta tensión 103 para el alojamiento de un cable de alta tensión 1 según un ejemplo de ejecución, en una vista de la sección transversal central, esquemática, a lo largo del eje del cilindro del cable de alta tensión 1. El conjunto de alta tensión 103 es similar al conjunto de alta tensión 100 y representa igualmente una terminación de cable. El segundo sensor de fibra óptica 30, en la terminación de cable 103, sin embargo, se encuentra incorporado en un cuerpo de aislamiento que forma la zona de aislamiento 2, donde el mismo igualmente puede medir una variable mecánica, por ejemplo un nivel acústico y/o una frecuencia acústica que, debido al acoplamiento mecánico entre el cuerpo de aislamiento y el cuerpo de elastómeros 3, así como el aislamiento de cable 12, puede utilizarse también para la detección de una descarga parcial en el cuerpo de elastómeros 3 o en el aislamiento de cable 12.

La figura 5 muestra un conjunto de alta tensión 200 para el alojamiento de dos cables de alta tensión 1 y 22 según un ejemplo de ejecución, en una vista de la sección transversal central, esquemática, a lo largo de los ejes del cilindro del cable de alta tensión 1 y 22 orientados de forma coaxial. Los cables de alta tensión 1, 22 con simetría rotacional comprenden respectivamente un conductor 11, así como 12, para conducir alta corriente, y un aislamiento de cable 12, 122 que rodea el respectivo conductor 11, 112. El conjunto de alta tensión 200 representa un manguito de cable de alta tensión para conectar dos cables de alta tensión. El manguito de cable 200 posee una carcasa 210, por ejemplo una carcasa de metal, en la cual están dispuestos de forma céntrica los cables de alta tensión 1 y 22. Un cono de manguito de elastómeros estructurado de forma compleja, con partes de control de campo 3, 32 que están incorporadas en una zona de aislamiento 2 y que reducen de forma definida el campo de alta tensión que se produce respectivamente en los extremos de cables reunidos, se encarga del control del campo de los cables de alta tensión 1 y 22 que deben conectarse. La zona de aislamiento 2 del manguito de cable habitualmente está formada por un aislador de resina de fundición o por un cuerpo de silicona. Además, el aislamiento y el control del campo pueden restablecerse nuevamente en el área de los conductores metálicos 11, 112 conectados. Esto sucede por ejemplo mediante un engastado y con un anillo de polímeros 7 poco conductor, los cuales igualmente están incorporados en la zona de aislamiento 2. El aislamiento 2, 3, 32, habitualmente con simetría rotacional, del manguito de cable 200, está formado por las partes de control de campo 3, 23 y por la zona de aislamiento 2. Además, la zona de aislamiento 2 puede estar cerrada por un revestimiento del manguito conductor externo, no representado, el cual se encuentra dispuesto sobre la superficie externa de la zona de aislamiento 2, donde puede mantenerse una abertura reducida hacia la carcasa 210, y el cual se encuentra con potencial a tierra junto con las protecciones de cable 13, 132. Habitualmente, las partes de control de campo 3, 32 se tratan de partes de control de elastómeros 3, 32 transparentes o traslúcidas, en las cuales se encuentra integrado un respectivo deflector conductor 4, 42.

El manguito de cable 200 puede estar realizado en el modo de construcción de componentes, con una técnica de extrusión o en correspondencia con la técnica de bobinado o con la técnica de desplazamiento. De este modo, el aislamiento del manguito de cable, en el modo de componentes, puede componerse de una parte de control de campo de elastómeros continuo con deflectores 4, 42 integrados, la cual ocupa el espacio de las partes de control de campo 3, 32 mostradas en la figura 5 y de la zona de aislamiento 2, donde puede mantenerse una abertura reducida hacia la carcasa 210, y la cual está cerrada por un revestimiento del manguito externo, conductor, con potencial a tierra. Sin embargo, independientemente de la técnica de fabricación, el aislamiento comprende al menos una parte de control de campo 3, 32 para alojar el cable 1, 22 con el aislamiento de cable 12, 122 distanciado en el respectivo extremo del cable, y para un guiado adecuado de las líneas de campo en el funcionamiento de alta tensión.

Según un ejemplo de ejecución, respectivamente un primer sensor de fibra óptica 20, 21 y un segundo sensor de fibra óptica 30, 31; tal como se describieron con relación a las figuras 1 a 4, se encuentra incorporado al menos de forma parcial en las partes de control de campo 3, 32. Esto significa que también los primeros sensores de fibra óptica 20, 21 del manguito de alta tensión 200 se tratan de sensores para la detección de señales ópticas o bien señales luminosas que se producen en el aislamiento 2, 3, 32 y en particular en los cuerpos de elastómeros 3, 32 en el campo de alta tensión. En general, los primeros sensores de fibra óptica 20, 21 son sensores FOF. Con el fin de una mayor claridad, en la figura 5, sin embargo, se prescinde de los símbolos de referencia para las fibras ópticas fluorescentes y para las fibras ópticas transportadoras utilizadas para la conexión con una unidad de evaluación, tampoco representada. Los segundos sensores de fibra óptica 30, 31 del manguito de cable 200 se tratan de sensores que pueden detectar una deformación, en particular una deformación oscilante, por ejemplo una vibración del respectivo medio circundante. De este modo, pueden detectarse de forma segura descargas parciales que se producen en el aislamiento del manguito de cable 200, y pueden observarse durante periodos más prolongados

durante el funcionamiento de alta tensión. Por lo tanto, los primeros y los segundos sensores de fibra óptica 20, 21, 30, 31 posibilitan igualmente una detección sencilla y/o sensible y/o más temprana de procesos de envejecimiento en el aislamiento, causados por el campo de alta tensión.

5 Se entiende que el segundo sensor de fibra óptica 30, 31, al menos de forma parcial, puede estar dispuesto también en la zona de aislamiento 2 y/o sobre una superficie de la zona de aislamiento 2. Si la zona de aislamiento 2 está formada por un cuerpo de aislamiento transparente o traslúcido, por ejemplo por un cuerpo de resina epoxi transparente, entonces los primeros sensores de fibra óptica 20, 21 pueden igualmente estar dispuestos al menos de forma parcial en la zona de aislamiento 2 y/o sobre una superficie de la zona de aislamiento 2.

10 Además, más de dos primeros sensores de fibra óptica 20, 21 y/o más de dos segundos sensores de fibra óptica 30, 31 pueden estar dispuestos al menos de forma parcial en el aislamiento 2, 3, 32 del manguito de alta tensión 200, o bien sobre superficies del aislamiento 2, 3, 32. De este modo puede proporcionarse un monitoreo más preciso y/o más tolerante a fallos, de estados de envejecimiento del manguito de cable. Por ejemplo, mediante la utilización de varios sensores FOF ajustados unos con respecto a otros en cuanto a su espectro de absorción, como primeros sensores de fibra óptica 20, 21; puede mejorarse aún más la sensibilidad de la medición.

15 Con relación a las figuras 1 a 5 han sido descritos ejemplos de ejecución de conjuntos de cable. En otros ejemplos de ejecución, el dispositivo de alta tensión se trata de una instalación de conmutación, de un generador, o de un convertidor de tensión, por ejemplo de un transformador con un aislamiento transparente o traslúcido, con un primer sensor de fibra óptica dispuesto en el interior del dispositivo de alta tensión, para la detección de una señal óptica en el aislamiento, y con un segundo sensor de fibra óptica, acoplado mecánicamente al aislamiento, para la  
20 detección de una variable mecánica del aislamiento. También en estos dispositivos de alta tensión, mediante la utilización de los dos sensores de fibra óptica que aprovechan principios físicos independientes, puede tener lugar un monitoreo fiable de procesos de envejecimiento del aislamiento, desde una fase muy temprana, antes del comienzo de las descargas parciales que dañan de forma persistente el material del aislamiento, hasta dentro del intervalo de las descargas parciales. A continuación, los procedimientos de esa clase se explican en detalle.

25 La figura 6 ilustra los pasos de un procedimiento 1000 para monitorear procesos de envejecimiento de un aislamiento de un dispositivo de alta tensión según un ejemplo de ejecución. El dispositivo de alta tensión contiene un aislamiento transparente o traslúcido al menos de manera parcial, para el alojamiento de un cable de alta tensión. Un primer sensor de fibra óptica para la detección de una señal luminosa está dispuesto en el interior del dispositivo de alta tensión. Además, un segundo sensor de fibra óptica, para la medición de una variable mecánica, está  
30 acoplado mecánicamente al aislamiento. Por ejemplo, el dispositivo de alta tensión puede tratarse de uno de los dispositivos de alta tensión explicados con relación a las figuras 1 a 5.

35 En un primer bloque 1100 tiene lugar una medición 1110 de una señal luminosa generada en el aislamiento, con el primer sensor de fibra óptica y/o una medición 1120 de una variable mecánica del aislamiento, con el segundo sensor de fibra óptica. Generalmente, en el bloque 1100 se consultan los resultados de medición de las dos mediciones 1110, 1120. También la presencia de ningún resultado de medición nuevo o modificado corresponde de este modo a una medición.

40 La medición 1110 puede comprender la medición de una intensidad de la luz, de una o de varias longitudes de onda de la luz y/o de una duración del pulso de una electroluminiscencia que se produce en el aislamiento y/o de una descarga parcial que se produce en el aislamiento. El primer sensor de fibra óptica puede estar realizado de banda ancha o, sin embargo, puede estar ajustado a la señal luminosa prevista. De este modo, el primer sensor de fibra óptica, en el caso de un material dado del aislamiento, y de una tensión dada, puede estar ajustado a la señal de electroluminiscencia prevista, selectivamente en cuanto a la longitud de onda. El primer sensor de fibra óptica, en el caso de un material dado del aislamiento, y de una tensión dada, puede estar ajustado a la señal de descarga  
45 parcial prevista, también selectivamente en cuanto a la longitud de onda. De este modo es posible detectar las respectivas señales de forma especialmente sensible y/o precisa. Lo mencionado se considera especialmente importante para las señales de electroluminiscencia en general relativamente débiles, de modo que las mismas pueden detectarse lo más temprano posible. La medición 1110 también puede realizarse mediante varios primeros sensores de fibra óptica que son selectivos para las distintas longitudes de onda o rangos de longitud de onda.

50 Además, el primer sensor de fibra óptica o los primeros sensores de fibra óptica habitualmente se encuentran incorporados al menos de forma parcial en el aislamiento y, con ello, de forma relativamente estanca con respecto a las áreas de las intensidades del campo eléctricas más elevadas. Debido a ello puede aumentarse aún más la sensibilidad de la medición 1100.

55 La medición 1120 comprende habitualmente la medición de una presión, de una tensión, de una deformación, de una vibración en el aislamiento y/o de una variable que caracteriza un evento acústico. En un ejemplo de ejecución, la medición 1120 tiene lugar en el rango de frecuencia de aproximadamente 10 kHz hasta aproximadamente 5 MHz, en particular en el rango de aproximadamente 10 kHz hasta aproximadamente 500 kHz, o en un subrango de los

mismos. Esos rangos de frecuencia son característicos de eventos acústicos que son causados en el aislamiento por una descarga parcial. También la medición 1120 puede realizarse mediante varios segundos sensores de fibra óptica que pueden ser selectivos para las distintas frecuencias o rangos de frecuencia.

5 Habitualmente, la medición 1120 se realiza de forma sensible en cuanto a descargas parciales en el aislamiento, y la medición 1110 se realiza de forma sensible con respecto a variaciones del aislamiento que preceden a descargas parciales. De este modo puede garantizarse un monitoreo del estado de envejecimiento, desde un estado de envejecimiento muy temprano, hasta dentro del rango de descargas parciales.

10 Según un ejemplo de ejecución, las mediciones 1110 y/o 1120 se realizan con respectivamente varios sensores de fibra óptica, lo cual aumenta la seguridad de la medición y puede aprovecharse para determinar con más precisión el lugar y el momento del evento. Para poder determinar las tres coordenadas espaciales y el desarrollo en el tiempo de los eventos se necesitan al menos cuatro sensores que también pueden ser selectivos en los mismos rangos de frecuencia o de longitud de onda.

15 Según otro ejemplo de ejecución, las mediciones 1110 y 1120 en el bloque 1100 se realizan de forma continua en el tiempo y durante el funcionamiento en curso del dispositivo de alta tensión. De este modo puede realizarse un seguimiento completo de las variaciones del aislamiento. La expresión " medición continua en el tiempo", como se utiliza en este caso, debe entenderse como una medición que puede detectar también señales cortas individuales en el rango por encima de algunos milisegundos en un periodo de varias horas, habitualmente de varios días, o incluso de varias semanas y meses. Las mediciones 1110 y 1120 en el bloque 1110, sin embargo, también pueden tener lugar de forma limitada en el tiempo durante una fase de prueba, en la cual señales de prueba eléctricas se aplican al dispositivo de alta tensión.

20 Según otro ejemplo de ejecución, las mediciones 1110 y 1120 son controladas y monitoreadas por una unidad de evaluación central. De este modo pueden monitorearse de forma paralela los estados de envejecimiento de aislamientos de diferentes dispositivos de alta tensión.

25 En el caso de que en el bloque 1110, durante la medición 1110, se haya detectado una señal luminosa y/o durante la medición 1120, se haya detectado una variable mecánica modificada o variable, por ejemplo una longitud modificada, una tensión mecánica modificada o un evento acústico, dependiendo del resultado de medición, en un bloque 1200 subsiguiente puede determinarse una probabilidad para la aparición de una electroluminiscencia y/o una descarga parcial, así como puede determinarse su intensidad. Por ejemplo, a partir de una señal luminosa poco fluctuante de la medición 1110 puede deducirse un fenómeno de electroluminiscencia en el aislamiento. En cambio, a partir de una señal luminosa altamente fluctuante, de modo suficiente, de la medición 1110, puede deducirse un fenómeno de descarga parcial en el aislamiento, donde la cantidad de luz detectada y/o la duración del pulso pueden utilizarse como medida para la intensidad del fenómeno de descarga. Dependiendo del material de aislamiento y de la intensidad del campo, mediante curvas de calibración, puede determinarse también una descarga aparente equivalente y, con ello, puede detectarse y cuantificarse la aparición de una descarga parcial. De manera análoga con respecto a ello, a partir de una fluctuación característica de un evento acústico detectado durante la medición 1120, puede deducirse la aparición de una descarga parcial, donde una frecuencia acústica medida, una potencia acústica integral y/o la presión acústica medida y/o la duración acústica medida, pueden utilizarse igualmente para caracterizar la intensidad de la descarga parcial.

40 El bloque 1220 puede realizarse de manera alternativa o, adicionalmente, también de forma periódica. En el caso de que durante un periodo de tiempo en el bloque 1110, durante la medición 1110, no se haya medido ninguna señal luminosa, y durante la medición 1120, no se haya medido ninguna variable mecánica modificada o variable, en general se parte del hecho de que no se ha producido un fenómeno de electroluminiscencia ni un fenómeno de descarga en el aislamiento.

45 En un bloque 1300 tiene lugar después una estimación de un estado de envejecimiento del aislamiento. Esto en general tiene lugar de forma periódica y/o cuando en el bloque 1200 se ha detectado un fenómeno de electroluminiscencia o un fenómeno de descarga, así como se ha clasificado en cuanto a su intensidad. Además, el bloque 1300 se realiza del mismo modo que el bloque 1200, habitualmente también desde la unidad de evaluación central. En el caso de que en el bloque 1200 no se haya detectado un fenómeno de electroluminiscencia ni un fenómeno de descarga, entonces en general se parte del hecho de que no se ha modificado el estado de envejecimiento del aislamiento. En caso contrario tiene lugar una estimación del estado de envejecimiento del aislamiento. De este modo, las señales medidas en el bloque 1100 pueden correlacionarse unas con otras y/o con resultados de medición anteriores, para aumentar aún más la precisión de la medición. Dependiendo de la medición se adapta el estado de envejecimiento del aislamiento. Habitualmente, en caso de presentarse electroluminiscencia o en caso de presentarse la misma de forma permanente, el estado de envejecimiento sólo se adapta de forma mínima. Por el contrario, en el caso de la aparición de descargas parciales, el estado de envejecimiento habitualmente se adapta en mayor grado, donde una descarga parcial más intensa implica habitualmente una adaptación mayor del estado de envejecimiento. Para la estimación de un estado de envejecimiento avanzado del

aislamiento puede considerarse en particular la longitud de un árbol de descarga parcial en el aislamiento, la cual puede determinarse por ejemplo con varios segundos sensores de fibra óptica.

5 Según otro ejemplo de ejecución, en otro paso 1400 tiene lugar una comparación del estado de envejecimiento determinado del aislamiento con un valor umbral. Ese valor umbral puede ser por ejemplo un grado de variación o un grado de daños, como por ejemplo la magnitud de una descarga parcial o de un árbol de descarga parcial, el tamaño de una zona electroluminiscente u otra variable correlacionada de forma negativa con respecto a la duración restante prevista hasta la ruptura eléctrica. Cuando el estado de envejecimiento supera ese valor umbral, habitualmente, en otro paso 1500, tiene lugar la emisión de un aviso de advertencia. Dependiendo del valor umbral y de la distancia del estado de envejecimiento con respecto al valor umbral, el aviso de advertencia puede tener lugar también en niveles de urgencia creciente. A continuación comienza habitualmente un nuevo ciclo de monitoreo. De este modo, un monitoreo continuo del estado de envejecimiento del aislamiento puede proporcionarse durante el funcionamiento de alta tensión. Además, el monitoreo puede ser realizado por una unidad de evaluación central, controlado de forma paralela en varios aislamientos.

15 En el caso de un aislamiento recientemente instalado o de un dispositivo de alta tensión recientemente instalado, habitualmente después de un cierto tiempo se miden primero sólo señales ópticas de una electroluminiscencia en el aislamiento, las cuales representan una medida para un grado de modificación reducido, o como para una duración prolongada, hasta la ruptura eléctrica prevista. En tanto sólo se detecten fenómenos de electroluminiscencia, debido a la ausencia de descargas parciales, se parte del hecho de una vida útil prolongada del aislamiento. De manera correspondiente, en el paso 1500 se emite habitualmente sólo una señal de advertencia de urgencia reducida. No obstante, la electroluminiscencia permanente, mediante los procesos de erosión vinculados a la misma, como la formación de microcavidades, la ampliación de las cavidades por encima de dimensiones críticas, conduce en general a descargas de intensidad reducida. Al aumentar la duración de la electroluminiscencia, de manera correspondiente, en general se eleva el nivel de urgencia del aviso de advertencia. Si en un momento posterior, por ejemplo por el segundo sensor de fibra óptica, mediante una medición acústica, es detectada por primera vez una descarga parcial, habitualmente se incrementa también el nivel de urgencia del aviso de advertencia. Al comenzar a crecer el árbol de descarga parcial habitualmente aumentará la intensidad acústica y/o se modificará el espectro acústico. Además, pueden aumentar la duración y/o la frecuencia de las descargas parciales. Al aumentar la intensidad, frecuencia, con un espectro de frecuencia modificado y/o una duración modificada de la señal detectada en el segundo sensor de fibra óptica, se incrementará aún más, de manera correspondiente, el nivel de urgencia del aviso de advertencia. En función de las existencias almacenadas, de este modo, pueden proporcionarse a tiempo piezas de repuesto. El nivel de advertencia máximo se alcanza habitualmente a lo sumo cuando los árboles de descarga parcial eléctricos han alcanzado un tamaño crítico y debe iniciarse una reparación o un cambio, para impedir una descarga disruptiva. De este modo pueden evitarse de modo eficiente grandes perjuicios económicos y el riesgo de lesiones para el personal que trabaja en la instalación, mediante la destrucción del material del aislamiento.

La precisión de la predicción del estado de envejecimiento puede aumentarse aún más mediante la correlación de las mediciones de varios primeros y/o segundos sensores de fibra óptica. De este modo, por ejemplo mediante la utilización de los datos de medición de varios segundos sensores de fibra óptica pueden monitorearse la ubicación y/o el crecimiento de árboles de descarga. Con ello pueden determinarse con mayor precisión el momento y el lugar de una descarga disruptiva inminente. Mediante la detección temprana de árboles de descarga parcial o de su crecimiento y mediante una reparación a tiempo, puede impedirse la formación de estructuras destructivas críticas que inician una descarga disruptiva. De manera análoga, mediante la utilización de los datos de medición de eventos de electroluminiscencia de varios primeros sensores de fibra óptica puede monitorearse el volumen previamente dañado del aislamiento y/o su crecimiento. Con ello pueden determinarse con mayor precisión el momento y el lugar de una descarga parcial inminente.

La presente invención fue explicada mediante ejemplos de ejecución. Dichos ejemplos de ejecución no deben considerarse en ningún caso como limitativos para la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para monitorear procesos de envejecimiento de un aislamiento (2, 3, 32) en un dispositivo de alta tensión (100, 101, 102, 103, 200), el cual comprende:

- 5 - medición de una señal luminosa generada en el aislamiento (2, 3, 32) con un primer sensor de fibra óptica (20, 21), donde el primer sensor de fibra óptica (20, 21) comprende una fibra óptica fluorescente, donde el aislamiento (2, 3, 32) comprende una parte de control de campo (3, 32) transparente o translúcida al menos en zonas parciales, la cual está diseñada para rodear al menos parcialmente un aislamiento de cable (12, 122) de un cable de alta tensión (1, 22) y se encuentra incorporada al menos de forma parcial en el primer sensor de fibra óptica (20, 21) y/o sobre su superficie se encuentra dispuesto al menos de forma parcial el primer sensor de fibra óptica (20, 21), donde la medición de la señal luminosa generada en el aislamiento (2, 3, 32) comprende la medición de una intensidad de la luz, de una longitud de onda de la luz y/o de una duración del pulso de un fenómeno de electroluminiscencia que se produce en la parte de control de campo (3, 32) y/o de un fenómeno de descarga que se produce en la parte de control de campo (3, 32) con una carga aparente de menos de aproximadamente 5 pC;
- 10
- 15 - medición de una variable mecánica del aislamiento (2, 3, 32) con un segundo sensor de fibra óptica (30, 31) acoplado de forma mecánica al aislamiento (2,3,32); y
- estimación de un estado de envejecimiento del aislamiento (2, 3, 32).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, donde el segundo sensor de fibra óptica (30, 31) es un sensor sensible a la fase.

20 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, donde la medición de la señal luminosa generada en el aislamiento (2, 3, 32) comprende la medición de una intensidad de la luz, de una longitud de onda de la luz y/o de una duración del pulso de un fenómeno de descarga parcial que se produce en la parte de control de campo (3, 32).

25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, donde la medición de la variable mecánica comprende la medición de una presión, de una tensión, de una deformación, de una variable que caracteriza una vibración y/o de una variable que caracteriza un evento acústico.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, donde la medición de la variable mecánica y/o la medición de la señal luminosa generada en el aislamiento (2, 3, 32) se realizan de forma continua en el tiempo y/o controladas por eventos.

30 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, donde el procedimiento se realiza durante el funcionamiento en curso del dispositivo de alta tensión (100, 101, 102, 103, 200).

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, donde la estimación de un estado de envejecimiento del aislamiento (2, 3, 32) considera al menos una de las siguientes variables:

- una presión acústica de un evento acústico que se produce en el aislamiento (2, 3, 32);
- una frecuencia acústica de un evento acústico que se produce en el aislamiento (2, 3, 32);
- 35 - una duración acústica de un evento acústico que se produce en el aislamiento (2, 3, 32);
- una intensidad integral de la luz de la señal luminosa generada en el aislamiento (2, 3, 32);
- una fluctuación de una intensidad de la luz de la señal luminosa generada en el aislamiento (2, 3, 32); y
- una longitud de un árbol de descarga parcial en el aislamiento (2, 3, 32).

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, el cual comprende además:

- 40 - detección de un fenómeno de descarga parcial en el aislamiento (2, 3, 32); y/o
- detección de un fenómeno de electroluminiscencia en el aislamiento (2, 3, 32); y/o

- emisión de un aviso de advertencia cuando el estado de envejecimiento del aislamiento (2, 3, 32) supera un valor umbral predeterminado.

5 9. Dispositivo de alta tensión (100, 101, 102, 103, 200) para alojar un cable de alta tensión (1, 22) con un conductor (11, 112) diseñado para conducir corriente eléctrica y un aislamiento del cable (12, 122) que rodea el conductor (11, 112), el cual comprende:

- un aislamiento (2, 3, 32) que está diseñado para rodear al menos parcialmente el aislamiento de cable (12, 122), donde el aislamiento (2, 3, 32) comprende una parte de control de campo (3, 32) transparente o translúcida al menos en zonas parciales, la cual está diseñada para rodear al menos parcialmente el aislamiento de cable (2, 3, 32);

10 - un primer sensor de fibra óptica (20, 21) que está dispuesto en el interior del dispositivo de alta tensión (100, 101, 102, 103, 200) al menos de forma parcial y que está diseñado para detectar una señal luminosa en el aislamiento (2, 3, 32), donde el primer sensor de fibra óptica (20, 21) comprende una fibra óptica (20a) dopada con un fluoróforo, donde la fibra óptica dopada (20a), al menos de forma parcial, está incorporada en la parte de control de campo (3) y/o está dispuesta sobre una superficie de la parte de control de campo (3), donde la señal luminosa generada en el aislamiento es una señal luminosa de un fenómeno de electroluminiscencia en la parte de control de campo (3) y/o una señal luminosa generada en la parte de control de campo (3) por un fenómeno de descarga con una carga aparente de menos de 5 pC; y

- un segundo sensor de fibra óptica (30, 31) acoplado mecánicamente al aislamiento (2, 3, 32), el cual está diseñado para detectar una variable mecánica.

20 10. Dispositivo de alta tensión (100, 101, 102, 103, 200) según la reivindicación 9, donde el dispositivo de alta tensión (100, 101, 102, 103, 200) es un manguito de cable (200), una terminación de cable (100, 101, 102, 103), un generador, un transformador de tensión o una instalación de conmutación.

11. Dispositivo de alta tensión (100, 101, 102, 103, 200) según la reivindicación 9 ó 10, donde el segundo sensor de fibra óptica (30, 31) es un sensor sensible a la fase.

25 12. Dispositivo de alta tensión (100, 101, 102, 103, 200) según la reivindicación 11, donde el segundo sensor de fibra óptica (30, 31), al menos de forma parcial, está incorporado en la parte de control de campo (3, 32) y/o está dispuesto sobre una superficie de la parte de control de campo (3, 32).

30 13. Dispositivo de alta tensión (100, 101, 102, 103, 200) según una de las reivindicaciones 9 a 12, donde el segundo sensor de fibra óptica (30, 31) está diseñado para detectar una descarga parcial en la parte de control de campo (3, 32) y/o una deformación del aislamiento (2, 3, 32) y/o una onda acústica en el aislamiento (2, 3, 32).

35 14. Dispositivo de alta tensión (100, 101, 102, 103, 200) según una de las reivindicaciones 9 a 13, donde el primer sensor de fibra óptica (20, 21) comprende un detector óptico ajustado con respecto a un espectro de ondas de emisión del fluoróforo de la fibra óptica (20a) y acoplado a la fibra óptica dopada (20a), y/o donde la fibra óptica (20a) forma una pluralidad de espiras alrededor de un área (8) con intensidad del campo aumentada en la parte de control de campo (3) durante un funcionamiento de alta tensión del dispositivo de alta tensión.

100

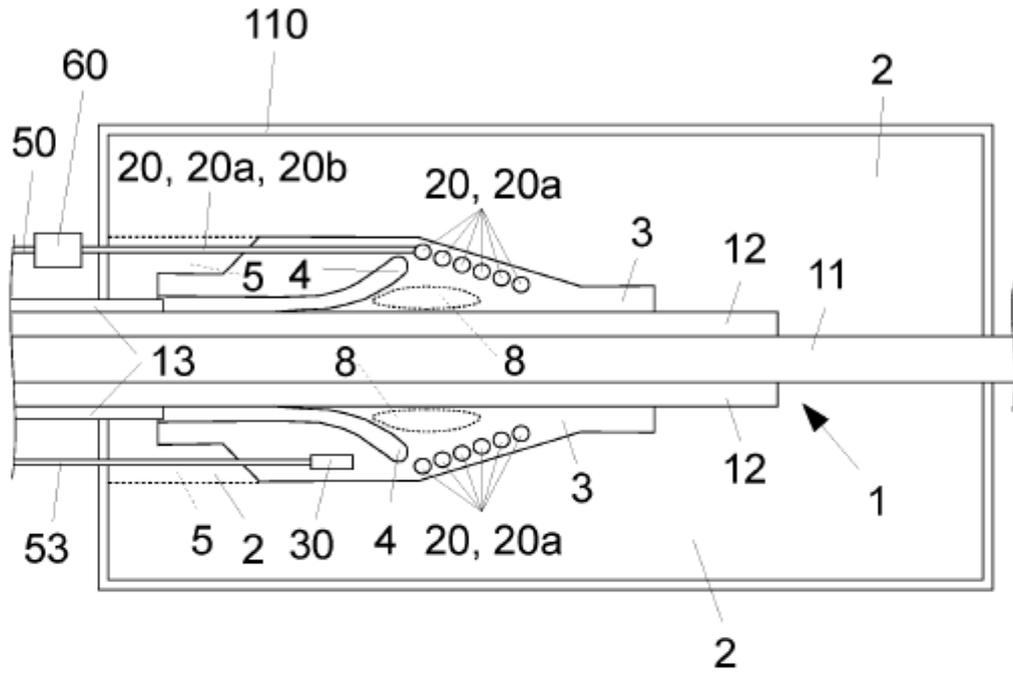


Fig. 1

101

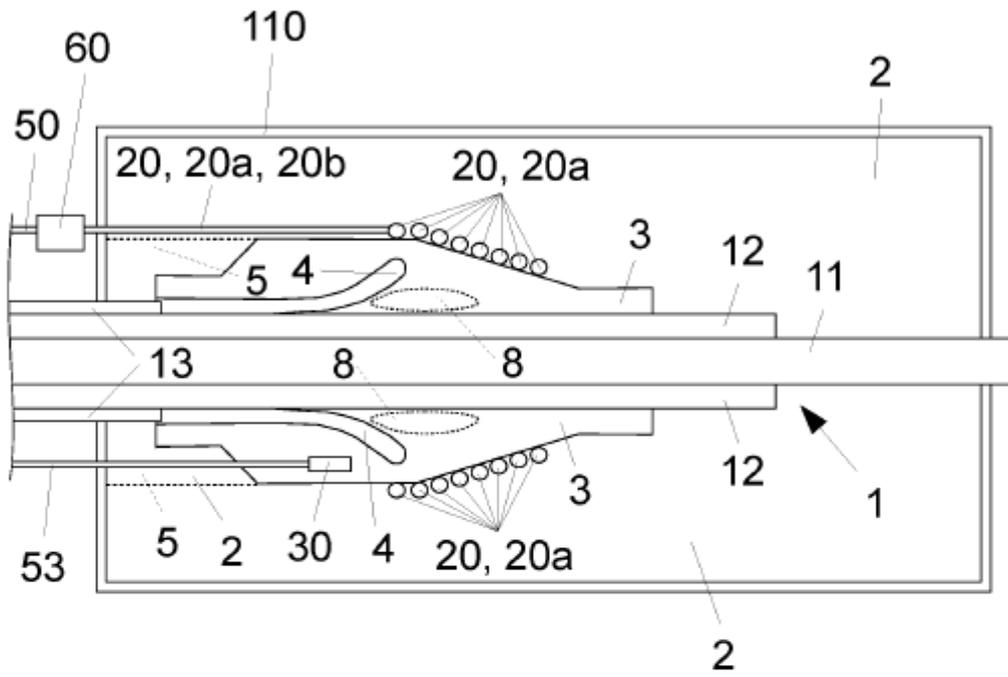


Fig. 2

102

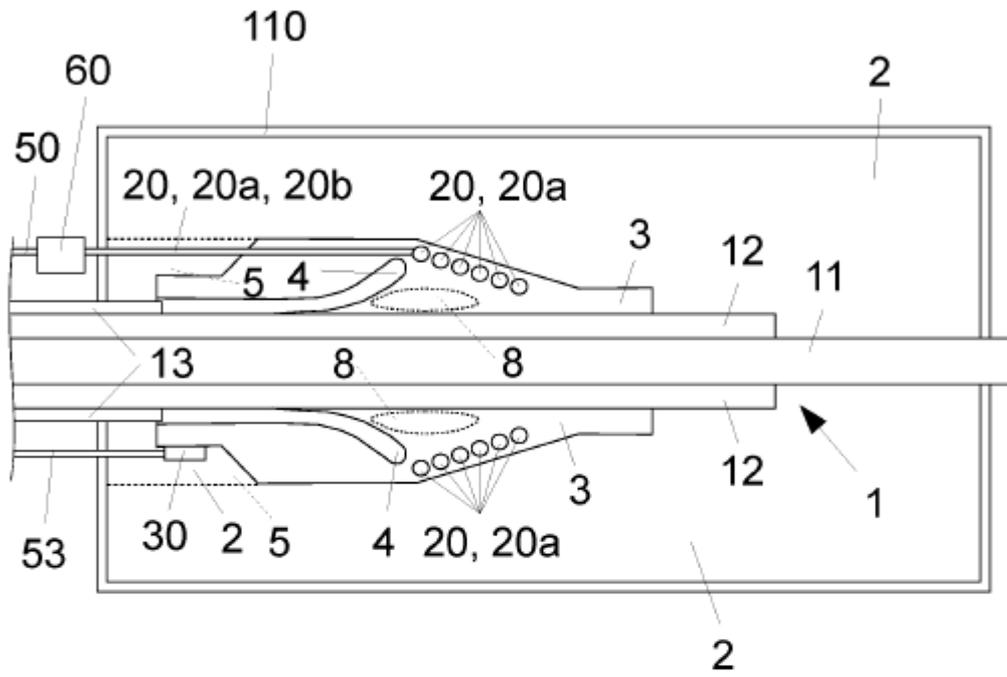


Fig. 3

103

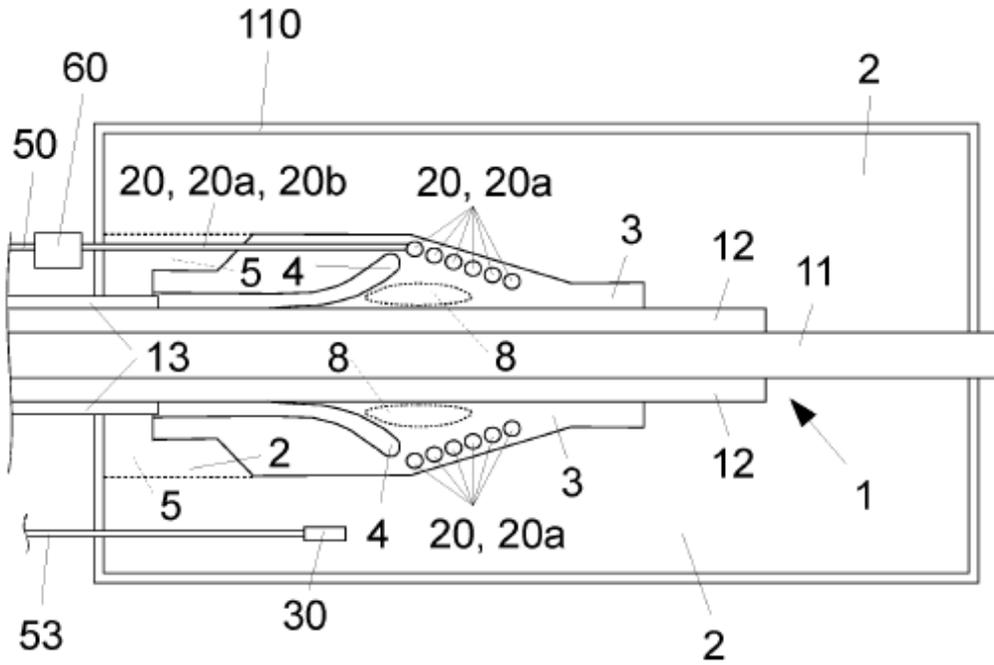


Fig. 4

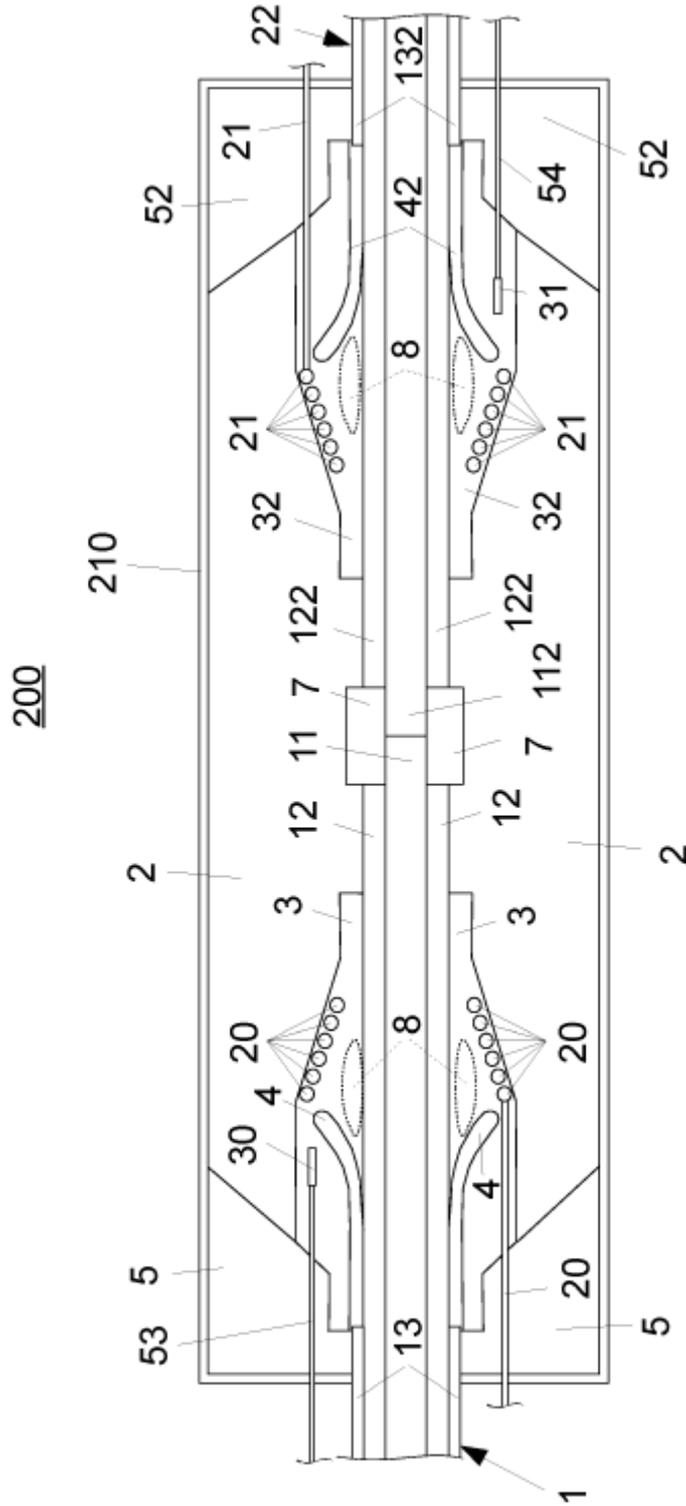


Fig. 5

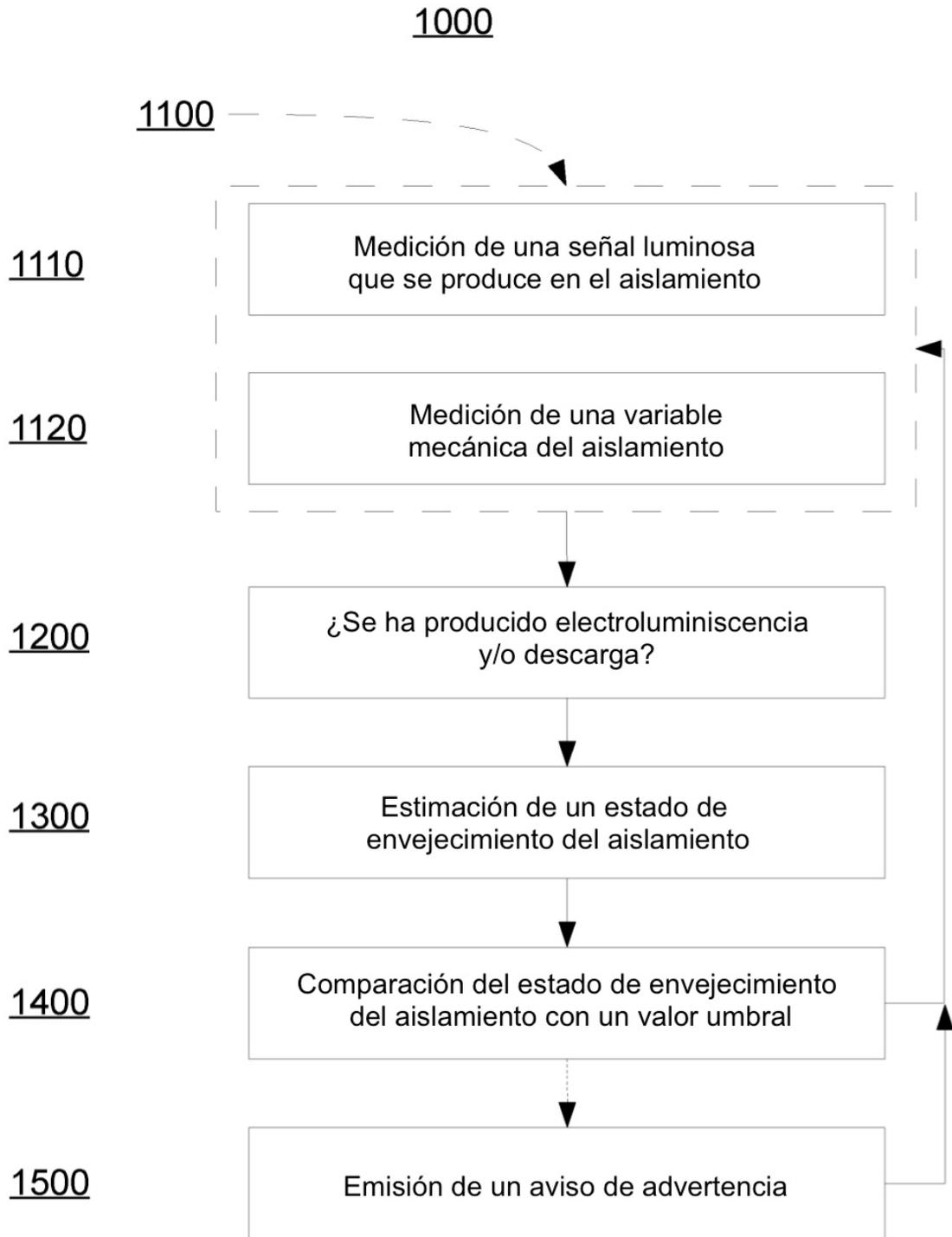


Fig. 6