(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 712 491**

(51) Int. CI.:

H01T 4/16 (2006.01)
H02H 9/06 (2006.01)
H02G 13/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.01.2009 PCT/RU2009/000006**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **22.07.2010 WO10082861**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.01.2009 E 09838475 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 2388873**

(54) Título: **Pararrayos y una línea de transmisión de potencia proporcionada con dicho pararrayos**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.05.2019

(73) Titular/es:

AKTSIONERNOE OBSCHESTVO "NPO "STREAMER" (100.0%)
Nevsky pr. pom . 17N, d. 147
St Petersburg, 191024, RU

(72) Inventor/es:

PODPORKIN, GEORGY VIKTOROVICH y
KALAKUTSKY, EVGENY SERGEEVICH

(74) Agente/Representante:

LLAGOSTERA SOTO, María Del Carmen

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

Pararrayos y una línea de transmisión de potencia proporcionada con dicho pararrayos

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a pararrayos para proteger equipos eléctricos y líneas de energía eléctrica de alto voltaje (HEPL) contra sobretensiones debidas a relámpagos. Dichos pararrayos pueden emplearse, por ejemplo, para proteger instalaciones de alto voltaje, aislantes y otros elementos de HEPL, así como varias instalaciones eléctricas.

TÉCNICA ANTERIOR

US 3,973,172 A describe un pararrayos 10 para la protección contra relámpagos de elementos de instalaciones eléctricas de una línea de energía eléctrica, en que el pararrayos comprende un cuerpo aislante 11 fabricado con un dieléctrico sólido, dos electrodos principales 40d, 40e acoplados mecánicamente al cuerpo aislante 11 y dos o más electrodos intermedios 42a, 41a, 42b, 41b, 42c, 41c dispuestos entre los electrodos principales y desplazados mutuamente al menos a lo largo del eje longitudinal del cuerpo aislante 11, en que los electrodos intermedios 42a, 41a, 42b, 41b, 42c, 41c están configurados para permitir que se produzca una descarga entre cada uno de los electrodos principales 40d, 40e y los electrodos intermedios adyacentes a cada uno de dichos electrodos principales y entre los electrodos intermedios adyacentes 42a, 41a, 42b, 41b, 42c, 41c, en que una pluralidad de cámaras de descarga están formadas entre los electrodos intermedios adyacentes 42a, 41a, 42b, 41b, 42c, 41c, y en que los electrodos intermedios 42a, 41a, 42b, 41b, 42c, 41c están localizados dentro del cuerpo aislante 11 y separados de una superficie del mismos por una capa aislante.

Un inconveniente del pararrayos de US 3,973,172 A es que las chispas provocadas por el impacto de un relámpago en las cámaras de descarga entre los electrodos intermedios adyacentes generan una presión de gas que puede provocar daños en el pararrayos. Además, las chispas también generan una alta temperatura, que puede provocar una aleación de los electrodos intermedios.

EP 1 835 578 A1 muestra un pararrayos que está provisto de absorbedores de energía que absorben energía cuando se produce el impacto de un relámpago, y un par de electrodos conductores 1 y 2. Entre el par de electrodos conductores 1 y 2, se encuentran formados espacios de aire 9 en serie, en particular entre el electrodo conductor 1 y el absorbedor de energía 3, y entre el electrodo conductor 2 y el absorbedor 3. Los espacios de aire 9 incluyen espacios planos. El pararrayos también comprende una carcasa que contiene el pararrayos y que sella el pararrayos contra el exterior de la carcasa.

Es conocido el llamado pararrayos tubular para limitar las sobretensiones en una línea eléctrica (cf. High voltage techniques (Técnicas de alta tensión). Ed. D. V. Razevig, Moscú, "Energiya" Publishing House, 1976, p. 287). Un elemento principal del pararrayos está formado por un tubo hecho de un material generador de gas aislante. Un extremo del tubo está taponado con una tapa de metal que tiene un electrodo interno de barra fijado en él. Un electrodo en forma de anillo está ubicado en un extremo abierto del tubo. Un espacio entre el electrodo de barra y el electrodo en forma de anillo se denomina espacio interno o de enfriamiento por arco. Uno de los electrodos está conectado a tierra, mientras que el segundo electrodo está conectado, a través de un espacio de arco de tensión externo, a un conductor de la línea eléctrica.

Una sobretensión debida al relámpago da como resultado una disrupción de ambos espacios, de modo que una corriente de impulso se desvía al suelo. Después de que el impulso de sobretensión a través del pararrayos haya terminado, una corriente de seguimiento continúa fluyendo, de modo que un canal de chispa se transforma en uno de arco. Debido a la alta temperatura en un canal de la corriente de arco alternativa dentro del tubo, se produce una emisión de gas intensiva que proporciona un fuerte aumento de presión. Los gases, al fluir hacia enfriamiento por arco. Uno de los electrodos está conectado a tierra, mientras que el segundo electrodo está conectado, a través de un espacio de arco de tensión externo, a un conductor de la línea eléctrica.

Una sobretensión debida al relámpago da como resultado una disrupción de ambos espacios, de modo que una corriente de impulso se desvía al suelo. Después de que el impulso de sobretensión a través del pararrayos haya terminado, una corriente de seguimiento continúa fluyendo, de modo que un canal de chispa se transforma en uno de arco. Debido a la alta temperatura en un canal de la corriente de arco alternativa dentro del tubo, se produce una emisión de gas intensiva que proporciona un fuerte aumento de presión. Los gases, al fluir hacia el extremo abierto del tubo, crean un soplo longitudinal, de modo que el arco se apaga al pasar por su valor cero por primera vez.

Después de una pluralidad de accionamientos del pararrayos, la cámara de descarga del tubo se desgasta. El pararrayos deja de funcionar correctamente y necesita una sustitución, lo que significa un aumento en los costes de mantenimiento.

También se conoce un pararrayos para limitar las sobretensiones en una línea de energía eléctrica, en que el pararrayos se basa en la utilización de un espacio de arco de tensión formado entre dos barras de metal (cf. High voltage techniques (Técnicas de alta tensión). Ed. D. V. Razevig, Moscú, "Energiya" Publishing House, 1976, p. 285). Una de las barras en el pararrayos de la técnica anterior está conectada a un conductor de alto voltaje de una línea de energía eléctrica, mientras que la segunda barra está conectada a una estructura conectada a tierra, por ejemplo, a un soporte (como una torre o un poste) de la línea eléctrica. En el caso de una sobretensión, se rompe un espacio de arco de tensión, de modo que una corriente de sobretensión de relámpago se desvía al suelo, y la tensión aplicada al dispositivo cae rápidamente. De esta manera, se consigue tanto la derivación de la corriente del relámpago como la limitación de la sobretensión. Sin embargo, la capacidad de extinción del arco de un solo espacio es pequeña, de modo que después de la terminación de la sobretensión, una corriente de seguimiento del arco de potencia continúa fluyendo a través del espacio del arco de tensión. Por lo tanto, debe activarse un dispositivo de apagado para interrumpir un circuito, ya que dicha interrupción es bastante indeseable para los consumidores que reciben energía eléctrica de esta línea eléctrica.

También se conoce un pararrayos que difiere del descrito anteriormente en que un tercer electrodo de barra intermedio se coloca entre un primer electrodo de barra principal y un segundo electrodo de barra principal. Por lo tanto, en lugar de un único espacio de aire de arco de tensión, se forman dos espacios de este tipo. Esta característica permitió mejorar algo la capacidad de extinción del arco del pararrayos y asegurar, con la ayuda del pararrayos, el enfriamiento de las corrientes de seguimiento moderadas (del orden de decenas de amperios) en casos de cortocircuitos de una sola fase a tierra. Sin embargo, este pararrayos no puede apagar las corrientes que superan los 100 A, las cuales son típicas de los cortocircuitos de dos o tres fases a tierra en casos de sobretensión por relámpagos.

Como la técnica anterior más cercana para la invención, se puede indicar un pararrayos destinado a la protección contra relámpagos de elementos de instalaciones eléctricas o una línea de energía eléctrica y que se suministra con el denominado sistema de múltiples electrodos (MES) descrito en RU 2299508, H02H 3/22, 2007. El pararrayos de la técnica anterior comprende un cuerpo aislante hecho de un dieléctrico sólido, dos electrodos principales acoplados mecánicamente al cuerpo aislante y también dos o más electrodos intermedios. Los electrodos intermedios, que están dispuestos entre los electrodos principales, se desplazan mutuamente, al menos, a lo largo del eje longitudinal del cuerpo aislante. Están configurados para permitir que se produzca una descarga de corriente entre cada uno de los electrodos principales y el electrodo intermedio adyacente a dichos electrodos principales, así como entre los electrodos intermedios adyacentes.

Debido a que se produce una disrupción de la distancia entre los electrodos principales en una pluralidad de espacios de arco de tensión, este pararrayos posee una capacidad de extinción de arco mayor que los dispositivos con un solo espacio de descarga o con solo algunos de dichos espacios (véase, por ejemplo, A. C. Taev. Electric arc in low voltage apparatuses (Arco eléctrico en aparatos de bajo voltaje), Moscú, "Energiya" Publishing House ", 1965, pág. 85).

Sin embargo, la capacidad de extinción de arco del pararrayos de la técnica anterior no es lo suficientemente alta, por lo que su aplicación se limita a la protección contra relámpagos de las HEPL de clase de voltaje 6-10 kV. Dicho pararrayos es difícil de utilizar en la protección contra relámpagos de las HEPL de clases de voltaje más altas debido a la razón de que el número de electrodos intermedios y el tamaño del pararrayos son demasiado grandes.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un pararrayos con una alta fiabilidad, bajos costes de fabricación y mantenimiento, bajos voltajes de salto de corriente y una alta eficacia de enfriamiento de la corriente. Dichas características permitirán emplear el pararrayos de la invención para la protección contra relámpagos de las HEPL de las clases de voltaje más altas (20 a 35 kV y más), y también para mejorar las características técnicas y económicas de los pararrayos de la clase de voltaje 3 -10 kV.

En otras palabras, la invención está dirigida a mejorar la fiabilidad y simplificar el diseño de los pararrayos.

El objeto especificado anteriormente se logra esencialmente por medio de un pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1.

Dependiendo de una forma de realización particular del pararrayos y de una tecnología seleccionada para fabricar los pararrayos, las cámaras de descarga pueden configurarse como cavidades o a través de orificios formados en el cuerpo aislante. Dichos espacios u orificios pueden tener secciones transversales (es decir, secciones en un plano normal al eje de la cámara de descarga) de varias formas apropiadas, es decir, circulares, rectangulares, con forma de hendidura, etc. que permiten a las cámaras de descarga realizar sus funciones (que se describirán a continuación). En algunas formas de realización, la sección transversal de la cámara de descarga puede tener un tamaño que varía a lo largo de la profundidad de la cámara (es decir, un tamaño que aumenta en una dirección de la superficie del cuerpo aislante).

Una condición importante para asegurar la consecución del objeto especificado anteriormente de la invención consiste en una selección óptima de los tamaños de las cámaras de descarga. Más específicamente, la longitud de la cámara de descarga que determina una distancia mínima g entre los electrodos adyacentes se seleccionará preferiblemente dependiendo de una aplicación particular del pararrayos, porque es la aplicación la que determina dichos parámetros del pararrayos como un tipo de estructuras a proteger, una clase de voltaje, etc. Por ejemplo, en los pararrayos destinados a la protección de las HEPL de las clases de voltaje medio (6 a 35 kV) de un relámpago, se puede seleccionar un valor de g en un intervalo de 1 mm a 5 mm, mientras que en el caso del pararrayos de la invención se utilizará para proteger las HEPL de clases de alta y muy alta tensión, el valor de g se incrementará y, preferiblemente, se seleccionará en un intervalo de 5 mm a 20 mm.

En algunas formas de realización del pararrayos, pueden proporcionarse adicionalmente con las cámaras de descarga formadas entre cada uno de los electrodos principales y los electrodos intermedios adyacentes a los mismos.

En cuanto a la configuración del cuerpo aislante, es preferible (en particular para garantizar la facilidad de fabricación) conformarlo como una barra, una tira o un cilindro. Los parámetros de coste del pararrayos pueden mejorarse adicionalmente utilizando una forma de realización del mismo que requiere menos material debido a que proporciona al cuerpo aislante protuberancias en zonas en las que las cámaras de descarga se abren a la superficie del cuerpo aislante. Dicha solución hace que sea posible proporcionar un grosor requerido de la capa de aislamiento solamente en zonas que rodean las cámaras de descarga, mientras que, en secciones entre dichas zonas, el grosor de dicha capa puede reducirse sustancialmente.

Con el objetivo de garantizar la facilidad de fabricación del pararrayos, los electrodos intermedios preferiblemente tienen forma de placas o cilindros, por ejemplo, hechos de un metal, grafito o fibra de carbono.

Con el fin de satisfacer un requisito importante de un bajo voltaje de salto de corriente del pararrayos de acuerdo con la invención, se propone proporcionarle un electrodo adicional conectado con uno de los electrodos principales, y colocar este electrodo adicional en una superficie del cuerpo aislante que se encuentra frente a la superficie a la que se abren las cámaras de descarga, o dentro del cuerpo aislante. En este último caso, puede resultar ventajoso, desde el punto de vista de las consideraciones de diseño, proporcionar al cuerpo aislante un componente hueco, y colocar el electrodo adicional dentro de dicho componente hueco. Configurados de esta manera, tanto el componente hueco del cuerpo aislante como el electrodo adicional tendrán preferiblemente una sección transversal circular. Esto permitirá producir el pararrayos de acuerdo con la invención utilizando una pieza de cable eléctrico, con un núcleo y un aislamiento sólido del cable que forman respectivamente el electrodo adicional y el componente hueco del cuerpo aislante, en que este electrodo y el componente hueco tienen la misma longitud. En un caso general, una longitud del electrodo adicional corresponde a al menos la mitad de la distancia entre los electrodos principales. La resistencia eléctrica del aislamiento entre el electrodo adicional y el electrodo principal que no está conectado con él se selecciona para que sea más grande que el voltaje de un salto de corriente precalculado entre los electrodos principales.

Los electrodos intermedios pueden incrustarse dentro de una tira de un material aislante que forma parte del cuerpo aislante. Esta solución simplifica la disposición de los electrodos intermedios a lo largo de una trayectoria óptima. Por ejemplo, la tira flexible que comprende los electrodos puede fijarse a una superficie del componente hueco del cuerpo aislante de tal manera que los electrodos intermedios estén dispuestos en paralelo al eje longitudinal del cuerpo aislante. Alternativamente, la tira flexible con los electrodos intermedios puede enrollarse helicoidalmente alrededor de una superficie de un componente hueco cilíndrico, de modo que los electrodos intermedios se desplazan mutuamente a lo largo de una línea que tiene forma de espiral. La última forma de realización hace posible aumentar un número total de los electrodos intermedios del pararrayos sin aumentar su longitud total y, por lo tanto, mejorar adicionalmente la capacidad de extinción de arco del pararrayos.

En una forma de realización alternativa, el pararrayos de acuerdo con la invención puede emplearse en combinación con un pararrayos de salto de corriente largo de la técnica anterior de un tipo de bucle (LFAL). En esta forma de realización, el componente hueco del cuerpo aislante puede tener un perfil en forma de U, en el que el primer electrodo principal puede estar configurado como un tubo metálico que contiene una parte curvada del componente hueco. El segundo electrodo principal se puede acoplar mecánicamente con uno o con ambos extremos del componente hueco del cuerpo aislante y puede estar conectado eléctricamente con el electrodo adicional. En esta forma de realización, una barra de metal de la LFAL funciona como el electrodo adicional. Por lo tanto, el electrodo adicional tiene una longitud igual a la longitud del cuerpo aislante. Los electrodos intermedios pueden estar dispuestos en uno o ambos brazos del cuerpo aislante.

Un objeto más de la presente invención consiste en proporcionar una línea de energía eléctrica con una protección fiable contra relámpagos que se logrará proporcionando a la línea pararrayos fiables y de bajo coste configurados para bajos voltajes de salto de corriente y para una alta capacidad de enfriamiento del arco.

Este objetivo se logra al proporcionar una línea de energía eléctrica que comprende: soportes provistos de aislantes, al menos un conductor bajo tensión acoplado a los aislantes mediante medios de sujeción, y al menos un pararrayos para la protección contra relámpagos de los elementos de la línea de energía eléctrica. De acuerdo con la invención,

dicho pararrayos (preferiblemente, cada uno de una pluralidad de dichos pararrayos) está configurado como pararrayos de acuerdo con la presente invención. De acuerdo con las formas de realización preferentes de la invención, uno de los electrodos principales de al menos uno o cada uno de los pararrayos de acuerdo con la invención está conectado, ya sea directamente o por medio de un espacio de arco de tensión, a un elemento de la línea de energía eléctrica a proteger, mientras que otro electrodo principal está conectado, ya sea directamente o a través de un espacio de arco de tensión, a tierra.

En caso de que el conductor bajo tensión de la línea de energía eléctrica de acuerdo con la invención esté ubicado dentro de una capa de aislamiento protectora, un segmento de este conductor adyacente a un aislante de la línea de energía eléctrica y ubicado entre los electrodos principales del pararrayos puede utilizarse como el electrodo adicional, mientras que un segmento correspondiente de la capa protectora se puede utilizar como componente hueco del cuerpo aislante. En esta forma de realización, el primer electrodo principal se configurará como una abrazadera blindada dispuesta en dicho segmento de capa de aislamiento protector y conectada eléctricamente con un extremo de dicho segmento conductor (es decir, con el electrodo adicional). El segundo electrodo principal estará dispuesto sobre una superficie de la capa de aislamiento protectora (es decir, del componente hueco del cuerpo aislante) y se conectará eléctricamente con los medios de sujeción de metal para asegurar el conductor. En esta forma de realización, los electrodos intermedios del pararrayos están incluidos preferiblemente dentro de una tira de un material aislante unido a la superficie de dicho segmento de la capa de aislamiento protectora.

Una de las formas de realización preferentes de la línea de energía eléctrica de acuerdo con la invención utiliza una forma de realización de pararrayos con el cuerpo aislante y el electrodo adicional que tiene secciones transversales circulares, en que el electrodo adicional del pararrayos está configurado como una barra del aislante instalado directamente en el pararrayos. El cuerpo aislante de esta forma de realización de pararrayos está configurado como una tapa aislante del tipo empleado generalmente para fijar el aislante en la barra.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS.

A continuación, se hará referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la FIG. 1 es una vista frontal, en sección transversal, de una forma de realización de pararrayos que tiene un cuerpo aislante plano;

la FIG. 2 es una vista desde arriba de la forma de realización mostrada en la FIG. 1;

la FIG. 3 es una vista frontal, en sección transversal, de un fragmento de la forma de realización mostrada en la FIG. 1;

la FIG. 4 es una vista desde arriba del fragmento mostrado en la FIG. 1;

la FIG. 5 es una vista frontal, en una sección transversal, de otra forma de realización de pararrayos de acuerdo con la invención que tiene un cuerpo aislante cilíndrico;

la FIG. 6 es una vista desde arriba de la forma de realización mostrada en la FIG. 5;

la FIG. 7 es una vista frontal, en una sección transversal, de otra forma de realización de pararrayos de acuerdo con la invención que tiene el cuerpo aislante con protuberancias en zonas donde las cámaras de descarga se abren a una superficie del cuerpo aislante;

la FIG. 8 es una vista desde arriba de la forma de realización mostrada en la FIG. 7;

la FIG. 9 es una vista frontal, parcialmente en sección, de una forma de realización de pararrayos que comprende un cuerpo aislante plano y un electrodo adicional;

la FIG. 10 es una vista desde arriba de la forma de realización mostrada en la FIG. 9;

la FIG. 11 muestra un fragmento de un diagrama de circuito simplificado de la forma de realización mostrada en la FIG. 9;

la FIG. 12 ilustra una distribución de voltajes entre los electrodos del pararrayos;

la FIG. 13 muestra, en una sección transversal, la forma de realización del pararrayos con el cuerpo aislante y el electrodo adicional en forma de cilindro con un extremo superior redondeado;

la FIG. 14 presenta una modificación de la forma de realización mostrada en la FIG. 13 que tiene los electrodos intermedios dispuestos en espiral;

la FIG. 15 ilustra una forma de realización de HEPL de acuerdo con la invención que comprende el pararrayos configurado con un uso de la tapa aislante y la barra aislante de metal;

la FIG. 16 muestra una forma de realización de pararrayos que comprende un componente hueco del cuerpo aislante y un electrodo adicional, ambos con forma de bucle;

las FIG. 17 y 18 son respectivamente una vista frontal y una vista desde arriba de una forma de realización de pararrayos con los electrodos intermedios soldados dentro de una capa de aislamiento de una pieza de cable;

la FIG. 19 ilustra una forma de realización de HEPL de acuerdo con la invención utilizando un conductor ubicado dentro de una capa de aislamiento protectora.

MEJOR MODO PARA LLEVAR A CABO LA INVENCION

Con referencia a las FIG. 1 a 4, un pararrayos de acuerdo con la invención comprende un cuerpo aislante plano alargado 1 hecho de un dieléctrico sólido, por ejemplo, de polietileno. El primer y el segundo electrodo principal 2, 3 están instalados respectivamente en ambos extremos del cuerpo aislante 1. Debido a dicha disposición, ambos electrodos principales están acoplados mecánicamente al cuerpo aislante. Dentro del cuerpo aislante 1 *m* se ubican 4 electrodos intermedios. Se seleccionará un valor mínimo de *m* igual a dos, mientras que se seleccionará un número óptimo de electrodos intermedios según su configuración particular, una sobretensión precalculada y otras condiciones de su funcionamiento. La forma de realización del pararrayos mostrada en las FIG. 1 a 4 comprende 5 electrodos intermedios 4 configurados como placas rectangulares desplazadas entre sí a lo largo del eje longitudinal del pararrayos (este eje conecta los electrodos principales 2, 3). Entre cada par de electrodos intermedios adyacentes 4 se forma un espacio de arco de tensión, y este espacio determina una distancia entre los electrodos adyacentes (medida a lo largo de la línea que conecta dichos electrodos adyacentes). De acuerdo con la invención, la longitud del espacio del arco de tensión no debe ser menor que la distancia mínima *g* entre los electrodos 4 seleccionados, dependiendo de las condiciones particulares del funcionamiento del pararrayos, tal como se describirá más adelante. Cada espacio de arco de tensión de este tipo se encuentra en una cámara de descarga 5 que se abre a una superficie del cuerpo aislante 1.

Para proteger las instalaciones de alto voltaje o las líneas de energía eléctrica, uno de los electrodos principales (por ejemplo, el primer electrodo principal 2) del pararrayos, directamente o mediante un espacio de chispa, está conectado a un elemento de alto voltaje de una instalación o de una línea de energía eléctrica, por ejemplo, a un conductor de línea (que no se muestra en las FIG. 1 a 4), para conectarse en paralelo con un elemento eléctrico a proteger, por ejemplo, con un aislante (que no se muestra en las FIG. 1 a 4). Por su otro, respectivamente, el segundo electrodo principal 3, el pararrayos directamente o a través de un espacio de chispa, está conectado a tierra.

Cuando un impulso de sobretensión impacta el pararrayos, se desarrolla una descarga desde el primer electrodo principal 2 hacia el segundo electrodo principal 3, causando interrupciones secuenciales de los espacios de arco de tensión entre los electrodos intermedios 4. Esta descarga, dependiendo de las condiciones de su desarrollo, puede ser de diferentes tipos, es decir, como una descarga de emisión, una descarga de avalancha o una descarga líder. Con el objetivo de asegurar una mejor comprensión de la invención y las implementaciones específicas de la misma, solo se considerará a continuación una forma de realización de la invención que utiliza la descarga de emisión, incluso aunque la invención sea completamente aplicable a otros tipos de descarga. En el proceso de su inicio y desarrollo, un canal de chispa 6 se expande a una velocidad supersónica. Tal como se describirá en detalle a continuación, si los volúmenes de las cámaras de descarga de chispas 5 formadas entre los electrodos intermedios se hacen lo suficientemente pequeños, el desarrollo de la descarga dará lugar a una alta presión dentro de las cámaras. Bajo la acción de esta presión, los canales de descarga de chispa 6 formados entre los electrodos intermedios se dirigirán hacia la superficie del cuerpo aislante (tal como se muestra esquemáticamente en las FIG. 1 y 3) y a continuación se expulsarán de las cámaras al aire alrededor del pararrayos Debido a dicha acción de soplado que tiene como resultado el alargamiento de los canales entre los electrodos intermedios, aumentará la resistencia eléctrica total de todos los canales. Como resultado, la resistencia total del pararrayos también aumentará, y esto limitará la corriente de impulso de sobretensión del relámpago. Después de la finalización del impulso de sobretensión del relámpago, una tensión a una frecuencia operativa permanecerá aplicada al pararrayos. Sin embargo, debido a que el pararrayos tiene una gran resistencia eléctrica, el canal de descarga se romperá en una pluralidad de canales elementales entre los electrodos intermedios, y la descarga se detendrá, siendo incapaz de sostenerse.

Con el fin de lograr una alta eficacia de enfriamiento, los parámetros del pararrayos de acuerdo con la invención, especialmente parámetros tales como una distancia mínima g entre los electrodos adyacentes separados por la cámara de descarga 5, así como el ancho de las cámaras de descarga 5 en una zona de inicio de la descarga y el grosor *b* de la capa de aislamiento se seleccionarán en función de las características precalculadas de la descarga (en particular, de la corriente de descarga y su inclinación, así como del diámetro de descarga precalculado). Tal como se mostrará a continuación, el diámetro de descarga se puede estimar con suficiente precisión basándose en los requisitos para el pararrayos de acuerdo con su propósito, es decir, por las características y condiciones de uso de un elemento de un equipo de alto voltaje o una HEPL que van a ser protegidos por el pararrayos

Más específicamente, cuando se seleccionan los parámetros de diseño de los pararrayos empleados para la protección de la HEPL, es necesario tener en cuenta que son posibles dos regímenes sustancialmente diferentes de su funcionamiento dependiendo de si un relámpago cae cerca de una línea eléctrica de alto voltaje, o directamente en dicha línea eléctrica.

El primer régimen corresponde a proteger la HEPL de las sobretensiones inducidas, es decir, de las sobretensiones que se desarrollan cuando los relámpagos caen cerca de la HEPL. Dicha sobretensión se caracteriza por amplitudes relativamente limitadas, que no superan los 300 kV, y por una corta duración (aproximadamente de 2 a 5 μs). La corriente tiene una amplitud del orden de 1 a 2 kA, mientras que la derivada de corriente*, di / dt*, en el frente del impulso está en un intervalo de 0.1 a 2 kA / μs. Tal como se demostró en los experimentos de laboratorio, en relación con este régimen y la descarga de tipo de emisión, la longitud óptima del espacio del arco de tensión se encuentra en un intervalo de 0.1 a 2 mm. Las sobretensiones inducidas son peligrosas solo para líneas eléctricas de la clase de voltaje medio, es decir, para HEPL de 6 a 35 kV, siendo las sobretensiones inducidas la causa principal de cortes de luz en estas líneas. Un relámpago directo (DLS) es una posibilidad bastante rara debido a las alturas relativamente pequeñas de los soportes de HEPL. Por lo tanto, para proteger los elementos de las HEPL de las sobretensiones inducidas, es conveniente utilizar los pararrayos con *g* = 0.1-2 mm.

El DLS en un objeto aislado bien conectado a tierra puede dar como resultado una corriente de relámpago que llega hasta más de 100 kA, con una duración de descarga de 50 a 1000 μs y con la derivada de corriente, *di / dt*, en el frente del impulso hasta 20 kA / μs. El DLS en un conductor de línea de HEPL puede llevar, en teoría, a voltajes de hasta 10 MV. Sin embargo, el DLS en la HEPL de la clase de voltaje medio protegido por los pararrayos conectados eléctricamente en paralelo a cada aislante, hace que los pararrayos se activen en varios soportes, debido a las distancias limitadas entre los soportes (50 a 100 m) y a un nivel de aislamiento de la línea eléctrica relativamente bajo (100 a 300 kV). Por lo tanto, la corriente del relámpago se ramifica entre varios soportes, con una ramificación adicional en los soportes en tres componentes entre los pararrayos asociados con cada una de las fases actuales. Tal como se encuentra en las mediciones de campo, la corriente a través de un soporte no excede los 20 kA. Para dichos niveles de corriente, es preferible aumentar, hasta 4-5 mm, la distancia mínima *g* entre los electrodos adyacentes separados por las cámaras de descarga, para evitar el desarrollo de canales conductores formados a partir de un metal fundido de los electrodos.

En las HEPL de clase de alto voltaje (110-220 kV), las distancias entre los soportes están en un intervalo de 200 a 300 m, mientras que el nivel de aislamiento corresponde a 500-1000 kV. Por lo tanto, en el caso del DLS, los pararrayos de uno o dos soportes realizan la derivación de la corriente del relámpago, de modo que la corriente a través de un pararrayos no supere los 40 kA. Por esta razón, el valor de *g* en tales HEPL se selecciona preferiblemente en un intervalo de 5-10 mm.

En las HEPL de clase de voltaje súper alto (330-750 kV), las distancias entre los soportes alcanzan los 400 a 500 m, mientras que el nivel de aislamiento corresponde a 2000-3000 kV. Por lo tanto, en el caso del DLS, los pararrayos del soporte único o solo un pararrayos de una fase alcanzada por el relámpago participan en la derivación de la corriente del relámpago. En tales casos, la corriente a través de un pararrayos puede alcanzar 60 a 100 kA. Para las HEPL de este tipo, el valor de g se selecciona preferiblemente en un intervalo de 10 a 20 mm.

A la vista de los datos anteriores, cuando el pararrayos de acuerdo con la invención se utiliza para proteger elementos de las HEPL de la clase de voltaje medio, la distancia mínima g entre los electrodos adyacentes separados por la cámara de descarga se selecciona preferiblemente en un intervalo de 0.1 a 5 mm. En caso de que el pararrayos de acuerdo con la invención esté destinado a proteger elementos de las HEPL de la clase de alta o muy alta tensión, la distancia *g* debe seleccionarse preferiblemente en un intervalo de 5 mm a 20 mm.

Una evaluación de un área de sección transversal S de las cámaras de descarga y un grosor de aislamiento *b* se puede hacer basándose en las siguientes consideraciones.

Un radio estimado r_k de un canal de emisión para una descarga en aire en condiciones normales puede determinarse de acuerdo con la fórmula propuesta por S. I. Braginsky (cf. High voltage techniques: Textbook for Universities – (Técnicas de alta tensión: libro de texto para universidades), ed. G. S. Kuchinsky, San Petersburgo, "Energoatomizdat", 2003, p. 88):

$$r_к \approx 0{,}1\left(\frac{di}{dt}\right)^{\frac{1}{3}} t^{\frac{5}{6}}, \qquad (1)$$

donde *t* es tiempo, en segundos; *di / dt* es un coeficiente de un aumento de impulso de corriente, en amperios por segundo.

La siguiente tabla incluye los valores del radio r_k calculado según la fórmula (1) para varios valores, los más representativos, de *di / dt* y *t*. Cabe señalar que el radio de canal r_k y, respectivamente, su diámetro $D_k = 2r_K$ son

funciones de tiempo, lo que significa que aumentan con el tiempo. Los datos calculados se organizan en orden correspondiente a un aumento gradual del radio del canal de transmisión.

Tabla. Valores iniciales y resultados calculados para r_k.

No.	di / dt, kA / µs	t, µs	r_k, mm	D_k, mm	Motivo por los que se produce el exceso de voltaje
1	0.1	1	0.5	1.0	Sobretensiones inducidas
2	1	2	1.8	3.6	
3	10	1	2.2	4.4	Impacto directo del relámpago en el conductor, impacto repetido
4	20	1	2.7	5.4	
5	0.1	10	3.2	6.4	Impacto de relámpago en el soporte y salto de corriente inverso
6	1	10	6.8	13.6	
7	10	10	4.7	9.4	Impacto directo del relámpago en el conductor, primer impacto
8	20	10	18,5	37	

Los valores presentados para *t* corresponden a las duraciones del frente del impulso para los casos más representativos de utilización del pararrayos: 1) para las sobretensiones inducidas (cuando un relámpago cae cerca de una línea eléctrica); 2) para impactos repetidos en el caso de un relámpago directo en un conductor de línea; 3) para un impacto de relámpago en la HEPL, con un salto de corriente de aislamiento (por ejemplo, de una pila de aislantes) a continuación; 4) un impacto de luz directo en el conductor de la HEPL. Los valores *di / dt* presentados en la Tabla también corresponden a los casos identificados anteriormente.

Obviamente, al estimar el radio (diámetro) del canal para la descarga de emisión (u otro tipo), es posible utilizar diferentes fórmulas de cálculo o métodos experimentales optimizados para aplicaciones específicas del pararrayos y / o para formas de realización particulares del pararrayos de acuerdo con la invención (por ejemplo, para formas particulares de las cámaras de descarga o diseños particulares de los electrodos intermedios). Sin embargo, tal como lo confirmaron los experimentos de laboratorio, los cálculos basados en la fórmula (1) producen resultados aceptables prácticamente para todas las formas de realización del pararrayos dentro del alcance del conjunto de reivindicaciones adjuntas.

Para garantizar que se desarrolle una presión excesiva dentro de la cámara de descarga en el curso de una descarga, se deben cumplir ciertas condiciones. Estas condiciones se examinarán a continuación en relación con una forma de realización de pararrayos con los electrodos intermedios configurados como placas y con las cámaras de descarga en forma de paralelepípedos (ver FIG. 1). La descarga del cable se origina entre esos puntos en los electrodos intermedios adyacentes, que corresponden a una intensidad de campo máxima (en la forma de realización de la figura 1, dichos puntos coinciden con las esquinas de los electrodos intermedios). Cuando se desarrolla la descarga por emisión, un canal de descarga se expande radialmente desde su eje a una velocidad supersónica. Si el diámetro de un canal de descarga por emisión se hace más grande que la profundidad de la cámara de descarga *h*, es decir,

$$D_k > h = b + a, \qquad (2)$$

donde *b* es el grosor de la capa de aislamiento, *a* es el grosor del electrodo, y a continuación la descarga se desarrolla dentro de la cámara. En dicho caso, se crea una alta presión en el interior de la cámara, que tiene como resultado la creación de un soplido de aire. De ello se deduce que el grosor de aislamiento mínimo que contribuye al enfriamiento se define como

$$b = D_k - a, \qquad (3)$$

donde *a* es el grosor del electrodo. Cuanto mayor sea el grosor de aislamiento *b*, más fuerte se generará el soplado en el proceso de expansión del canal de emisión, y a continuación seguirá el enfriamiento y extinción más intensos del canal. Por lo tanto, para mejorar la fiabilidad de la extinción, el valor de *b* se selecciona preferiblemente como superior al diámetro del canal estimado D_k.

Por otro lado, el aumento de los valores de *b* tiene como resultado el aumento de la presión del gas en las paredes de las cámaras de descarga, y esto puede conducir a la destrucción del pararrayos. El grosor óptimo del aislamiento *b* se puede determinar, mediante cálculos y / o experimentalmente, al elaborar una forma de realización específica del pararrayos en función de su aplicación y de los materiales empleados. Sin embargo, si el grosor del electrodo es de aproximadamente 1 mm, es posible, utilizando la fórmula (3) y los datos de la Tabla, determinar que este grosor *b* oscila entre 1 mm y aproximadamente 35-40 mm.

Un área estimada de una sección longitudinal del canal de transmisión corresponde a $D_k \cdot g$. En caso de que el ancho de la cámara de descarga sea menor que D_k, de modo que

$$S < D_к \cdot g, \qquad (4)$$

la emisión abarcará todo el ancho de la cámara de descarga antes de que su diámetro alcance el valor estimado D_k. En otras palabras, la descarga de emisión cubrirá en su totalidad el área de sección transversal S de la cámara de descarga. Como resultado, el canal del cable se expulsará fuera de la cámara de descarga, lo que conducirá a un enfriamiento acelerado.

Al insertar en (4) los valores apropiados del diámetro $D_k = 2r_K$, donde los valores del radio del canal de emisión r_k se toman de la Tabla (r_K = 0.5 - 18 mm y g = 0.1 a 20 mm), se pueden determinar fácilmente los valores concretos y los posibles intervalos para las áreas de sección transversal de las cámaras de descarga:

$$S \le 2 \quad rK \cdot g = 2\ 0,5 \div 18 \cdot 0,1 \div 20 = 0,1 \div 720 \approx 0,1 \div 700 \quad mm\ 2 \qquad (5)$$

En algunos aspectos, un mecanismo de extinción de descarga de chispa es similar al de la descarga por arco dentro del pararrayos tubular descrito en la parte anterior de la TÉCNICA ANTERIOR, pero existe una diferencia importante que consiste en que el arco (que tiene una temperatura de aproximadamente 20,000 °C) quema dentro del pararrayos tubular durante un tiempo relativamente largo (hasta 10 ms). Dicho arco quema las paredes del tubo generador de gas, y los gases formados en el curso de una destrucción térmica son expulsados fuera del canal de descarga. En el pararrayos de acuerdo con la invención, la extinción de la descarga por chispa se realiza inmediatamente después de la finalización del impulso de sobretensión del relámpago, siendo la duración promedio de este impulso del orden de 50 μs, es decir, aproximadamente tres órdenes de magnitud menos que la duración del arco quemando. Además, la temperatura del canal de emisión no supera los 5,000 °C, por lo que es aproximadamente cuatro veces menor que la temperatura del arco. Debido a estos dos factores, no hay erosión del pararrayos de acuerdo con la invención, incluso después de una serie de activaciones del mismo.

Las siguientes variantes de las aplicaciones del pararrayos son relevantes para un uso práctico:

1) para la protección de las HEPL de clase de voltaje medio (MV) 6-35 kV de las sobretensiones inducidas (consultar la Tabla, líneas 1 y 2);

2) para la protección de las HEPL de alta tensión (HV) 110-220 kV y súper alta tensión (SHV) 330-7500 kV de los saltos de corriente inversos en caso de que se utilice un cable de protección contra relámpagos (consultar la Tabla, líneas 5 y 6);

3) para la protección de HEPL de clase de alto voltaje 110-220 kV y clase de súper alto voltaje (SHV) 330-7500 kV de los impactos directos del relámpago en el conductor de la línea de transmisión (consultar la Tabla, líneas 3, 4 y 7, 8) y de los saltos de corriente inversos (ver la Tabla, líneas 5 y 6) en los casos en que no se utiliza el cable de protección contra relámpagos.

Al diseñar los pararrayos, se tendrán en cuenta las condiciones más duras de su uso en las HEPL de una determinada clase, es decir, los valores más grandes de las tasas de aumento de impulso de corriente, *di / dt* y tiempo *t*. Por lo tanto, al diseñar el pararrayos para proteger la HEPL de 6-35 kV de las sobretensiones inducidas, se utilizarán los datos presentados en la línea 2 de la Tabla (t = 2 μs y r_K = 1.8 mm, respectivamente) en los cálculos. Además, de acuerdo con la invención, el grosor *b* de la capa de aislamiento debe hacerse preferiblemente mayor que el diámetro del canal D_k en el momento en que el voltaje esté en su máximo, por ejemplo, $b > D_k = 2r_K = 2 \cdot 1.8 = 3.6$ *mm*. El área de la sección transversal de la cámara de descarga S de acuerdo con la invención se seleccionará como $S < DK \cdot g = 2 \cdot 3.6 = 7.2\ mm^2$. Por ejemplo, la cámara de descarga con la sección transversal circular tendrá un diámetro

$$d \le \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,2}{3,14}} = 3 \text{ mm.}$$

Los estudios experimentales han demostrado que en formas de realización para aplicaciones de acuerdo con la variante 1, que es para proteger la HEPL de 10 kV y la HEPL de 20 kV de las sobretensiones inducidas, se pueden seleccionar los siguientes parámetros del pararrayos, respectivamente: un número de cámaras de descarga m = 50 g = 2 mm; b = 4 mm; d = 3 mm; S = 7 mm2 (forma de realización 1) y m = 150; g = 3 mm; b = 4 mm; d = 3 mm; S = 7 mm^2 (forma de realización 2).

Se debe tener en cuenta además que, en el pararrayos de acuerdo con la invención, las limitaciones existen solo en relación con la distancia mínima entre los electrodos adyacentes separados por la cámara de descarga, sobre el grosor de aislamiento mínimo y sobre el área de la sección transversal máxima de la cámara de descarga. Por lo tanto, el diseño del pararrayos se puede optimizar para variantes particulares de su uso, variando los parámetros indicados anteriormente, así como las formas de las cámaras de descarga en un intervalo suficientemente amplio.

Las FIG. 5, 6 ilustran una forma de realización de pararrayos que tiene un cuerpo aislante cilíndrico 1 y cámaras de descarga 5 que se extienden desde los electrodos intermedios 4 a una superficie superior y a una superficie inferior del cuerpo aislante 1. Por lo tanto, las cámaras de descarga 5 están configuradas como aberturas pasantes formadas en el cuerpo aislante 1 para determinar los espacios de descarga de aire entre los electrodos intermedios 4. La sección transversal de la cámara de descarga puede tener una forma rectangular (tal como se muestra en las FIG. 1 a 4), una forma circular (tal como se muestra en la FIG. 6) o alguna otra forma. La forma de realización mostrada en las FIG. 5, 6 es más fácil de fabricar que la forma de realización mostrada en las FIG. 1 a 4 ya que permite utilizar, en el proceso de fabricación, el corte hidroabrasivo altamente eficiente de los materiales empleados, cuyo corte garantiza una formación rápida y precisa de las aberturas pasantes.

En las cámaras de descarga pasantes (abiertas a ambas superficies del cuerpo aislante), una presión que se desarrolla en la cámara cuando el canal de descarga se expande es menor que en las cámaras con forma de cavidades (que se abren solo a una superficie del cuerpo aislante); por esa razón, la velocidad del canal de descarga y, por lo tanto, la eficiencia de enfriamiento en dichas cámaras no es tan alta como en las cámaras del otro tipo. Sin embargo, tienen una mejor fiabilidad funcional debido a una menor probabilidad de que se produzca una disrupción en la cámara de descarga debido a una presión excesiva. Esto se aplica también a las cámaras en forma de hendidura. Tienen una eficiencia de enfriamiento más baja, pero su fuerza electrodinámica (que es la capacidad de soportar grandes corrientes, por ejemplo, en el caso de un DLS en una línea) es mayor. Por esa razón, una selección adecuada de un tipo y forma de las cámaras de descarga dependerá de la utilización prevista del pararrayos (por ejemplo, para la protección contra sobretensiones inducidas o del DLS) y de la tecnología de fabricación y consideraciones de costes.

Las FIG. 7, 8 ilustran una forma de realización del pararrayos con el cuerpo aislante 1 con forma de tira flexible con protuberancias en zonas donde las cámaras de descarga 5 se abren a una superficie del cuerpo aislante 1 y con los electrodos intermedios 4 configurados como metal circular o arandelas de grafito. Esta forma de realización se caracteriza por el uso más económico de un material aislante empleado para producir el cuerpo aislante 1. De hecho, es necesario garantizar un grosor de aislamiento *b* requerido que determine un tamaño de la cámara de descarga a lo largo de su eje solo en zonas donde la cámara de descarga se abre a la superficie del cuerpo aislante.

Las FIG. 9, 10 ilustran una forma de realización de pararrayos con un cuerpo aislante plano 1 y con un electrodo adicional 7. El primer electrodo principal 2 debe conectarse a un elemento de una línea de energía eléctrica de alto voltaje, por ejemplo, a un conductor de línea al que se aplica un potencial de alto voltaje; el segundo electrodo principal 3 debe conectarse a tierra con potencial cero. En esta forma de realización, como complemento de las cámaras de descarga 5 entre los electrodos intermedios 4, se encuentran formadas cámaras de descarga adicionales entre cada uno de los electrodos principales 2, 3 y el electrodo intermedio 4 adyacentes a los mismos. Las cámaras de descarga adicionales pueden configurarse de manera similar a las cámaras de descarga entre los electrodos intermedios. Sin embargo, en algunas formas de realización del pararrayos de acuerdo con la invención, los parámetros de dichas cámaras de descarga adicionales pueden modificarse considerando que la longitud del canal de descarga en estas cámaras puede exceder la longitud de un canal similar en las cámaras de descarga restantes.

El electrodo adicional 7 está conectado eléctricamente al segundo electrodo principal 3, por lo que también tiene un potencial cero. Por lo tanto, un alto voltaje aplicado entre los electrodos principales 2 y 3 también se aplica entre el primer electrodo principal 2 y el electrodo adicional 7. Se selecciona una anchura del cuerpo aislante plano 1 de modo que la resistencia eléctrica a lo largo de las distancias más cortas entre los electrodos 2 y 7 en las superficies superior e inferior del cuerpo aislante plano sea mayor que entre los electrodos principales 2 y 3. Las características de aislamiento de un material utilizado para producir el cuerpo aislante 1 y su grosor se seleccionarán de tal manera que la resistencia eléctrica a lo largo de dichas distancias sea mayor que el voltaje de salto de corriente entre los electrodos principales 2 y 3 del pararrayos. Esta es una condición necesaria para garantizar que, en caso de sobretensión, la descarga se desarrolle desde el electrodo principal 2 a través de los espacios de arco de tensión entre los electrodos intermedios 4 y el segundo electrodo principal 3, en lugar de hacerlo directamente entre el electrodo principal 2 y el electrodo adicional 7. Debido a la presencia del electrodo adicional, esta forma de realización del pararrayos se caracteriza por bajos voltajes de salto de corriente, por lo que es posible limitar la sobretensión a un nivel bastante bajo. La forma en que el electrodo adicional influye en los voltajes de salto de corriente se explica con una referencia a las FIG. 11 y 12.

La FIG. 11 muestra un fragmento de un diagrama de circuito básico de la forma de realización del pararrayos presentada en la FIG. 9, en que el fragmento incluye el primer electrodo principal 2, el electrodo intermedio adyacente 4 y el electrodo adicional 7. Las capacitancias C_1 y C_0 existen respectivamente entre los electrodos 2 y 4 y entre los electrodos 4 y 7. Estas capacitancias están conectadas en serie, en que, bajo un impacto del impulso de sobretensión, cuando se aplica un voltaje U al pararrayos, se aplica un voltaje U_1 a la capacitancia C_1 y de esta manera al espacio de arco de tensión entre el primer electrodo principal 2 y el electrodo intermedio adyacente 4. El valor de U_1 se puede determinar, en unidades relativas, de acuerdo con la fórmula:

$$\frac{U_1}{U} = \frac{1}{1+\frac{C_1}{C_0}}.$$

Debido a las dimensiones relativamente grandes de un área de superficie en el electrodo intermedio 4 que se encuentra frente al electrodo adicional 7, así como al hecho de que la permitividad dieléctrica ε de un dieléctrico sólido es sustancialmente mayor que la permitividad dieléctrica del aire ε_0 (generalmente $\varepsilon / \varepsilon_0 \approx 2 \div 3$) , la capacitancia entre el electrodo intermedio 4 y el electrodo adicional 7 (es decir, la capacitancia entre este electrodo intermedio y el suelo) es sustancialmente mayor que la capacitancia entre este electrodo y el electrodo principal 2: $C_0 > C_1$ y, respectivamente, $C_1 / C_0 < 1$.

Cuando el valor C_1 / C_0 se encuentra en el intervalo $C_1 / C_0 = 0.1 \div 1$, la tensión U_1 se encuentra en el intervalo U1 = (0.50 0.91) U. Por lo tanto, cuando el pararrayos se ve afectado por el voltaje U, la parte principal (al menos, más de la mitad) de este voltaje se aplicará al primer espacio de arco de tensión entre los electrodos 2 y 4. Bajo el impacto de este voltaje, U_1, dicho espacio se interrumpe, de modo que el electrodo intermedio 4 más cercano al electrodo principal 2 adquiere el mismo potencial que el electrodo principal 2, mientras que el siguiente electrodo intermedio, adyacente al primer electrodo intermedio, adquiere el potencial U_0. A continuación se repite una imagen física de la ruptura de un espacio de arco de tensión. De esta manera, se desarrolla un salto de corriente en cascada (es decir, secuencial) de los espacios entre los electrodos intermedios, con la formación de una descarga de chispa. Debido al carácter en cascada de las rupturas de los espacios de descarga, se garantiza el bajo voltaje de salto de corriente requerido para la activación del pararrayos en su totalidad.

La FIG. 13 ilustra la forma de realización del pararrayos con el cuerpo aislante 1 con forma de cilindro con un extremo superior redondeado. El cuerpo aislante 1 de esta forma de realización comprende un componente cilíndrico hueco y un componente sólido que tiene el extremo redondeado. El electrodo adicional 7 ubicado dentro del componente hueco del cuerpo aislante 1 también tiene forma de cilindro con el extremo superior redondeado. El primer electrodo principal 2 del pararrayos está conectado a un conductor de línea 9 de la HEPL a través de un espacio de arco de tensión 10. En el caso de la sobretensión en el conductor 9, inicialmente se forma un salto de corriente a través del espacio de arco de tensión 10; como resultado, se aplica una alta tensión al primer electrodo principal 2. El funcionamiento posterior del pararrayos es el mismo que se ha descrito anteriormente con referencia a las FIG. 1 a 4.

La FIG. 14 ilustra la forma de realización del pararrayos con los electrodos intermedios 4 dispuestos a lo largo de una línea espiral que pasa cerca de una superficie del componente hueco del cuerpo aislante alargado 1, en donde el electrodo adicional 7 (conectado con el segundo electrodo principal 3) está ubicado dentro del componente hueco. Dicha disposición hace posible suministrar al pararrayos un número mayor de electrodos intermedios 4 que en la forma de realización anterior mostrada en la FIG. 13, y, de esta manera, mejora aún más la capacidad de enfriamiento del arco del pararrayos. De acuerdo con esta forma de realización (y también con otras formas de realización que se describen a continuación), tanto el componente hueco como el electrodo adicional tienen preferentemente una sección transversal circular, al menos, en la zona de ubicación de los electrodos intermedios. Dicha sección transversal simplifica una distribución uniforme de los electrodos intermedios 4 sobre la superficie del cuerpo aislante 1 y hace posible utilizar el mismo grosor de la capa de aislamiento en cualquiera de las direcciones radiales.

La FIG. 15 muestra una forma de realización de HEPL de acuerdo con la invención que comprende el pararrayos que se suministra con una tapa aislante y una barra metálica del tipo utilizado en los aislantes. Esta forma de realización de pararrayos es similar a las formas de realización mostradas en las FIG. 13 y 14, pero difiere de ellos en que, en lugar del espacio de arco de tensión 10, se utiliza un aislante 12 de la HEPL. Por lo tanto, en esta forma de realización, el electrodo adicional 7 del pararrayos funciona también como la barra a la que se fija el aislante de HEPL. El cuerpo aislante 1 del pararrayos también funciona como un aislamiento de polímero del capuchón del tipo que se emplea habitualmente al instalar el aislante de HEPL en la barra. Igual que en la forma de realización mostrada en las FIG. 13 y 14, tanto el componente hueco del cuerpo aislante como el electrodo adicional tienen las secciones transversales circulares. Para simplificar la fabricación del pararrayos, su primer electrodo principal 2 puede tener el mismo diseño que los electrodos intermedios 4.

En el caso de la sobretensión en el conductor de línea 9 de la HEPL, inicialmente se desarrolla una descarga 13 a lo largo de la superficie del aislante 12, de modo que se aplica una alta tensión al primer electrodo principal 2. A esto le siguen los saltos de corriente en cascada de los espacios entre los electrodos intermedios 4. Por lo tanto, el pararrayos funciona de la misma manera que se ha descrito anteriormente.

Debido a que los elementos del pararrayos realizan funciones de medios de sujeción de HEPL, esta forma de realización se caracteriza por un tamaño pequeño y unos bajos costes.

La FIG. 16 muestra la forma de realización de pararrayos de las FIG. 7, 8 instalado en un brazo de un pararrayos de salto de corriente largo del tipo de bucle (LFAL) (cf. Patente rusa No. 2096882, 17 de noviembre de 1995, H01 T4 / 00, y también G. V. Podporkin, G. V. Sivaev. Modern lightning protection of overhead distribution power lines with long-spark lightning arresters rated for 6 – 10 kV (Protección moderna contra relámpagos en líneas eléctricas de distribución aéreas con pararrayos de chispas largas clasificada para 6, 10 kV), «Electro», 2006, No. 1, pp. 36-42).

La LFAL consiste en una barra de metal doblada para formar un bucle y cubierta con una capa de aislamiento 11 formada de polietileno de alta presión. Los extremos del bucle aislado se fijan en una abrazadera de sujeción mediante la cual la LFAL se acopla a una barra de un aislante instalado en el soporte de una HEPL (que no se muestra). Un tubo de metal que rodea la capa de aislamiento se coloca en la parte media del bucle y está conectado a un conductor de línea a través de un espacio de arco de tensión.

El funcionamiento del pararrayos se basa en el empleo de un efecto de descarga progresiva, cuyo efecto asegura una gran longitud de un salto de corriente de impulso a través de la superficie del pararrayos y, por lo tanto, evita una transformación del salto de corriente de impulso en el arco de potencia de la frecuencia operativa.

Cuando se forma un impulso de relámpago inducido en el conductor de línea, el espacio de aire del arco de tensión entre el conductor y el tubo de metal del pararrayos se descompone, de modo que se aplicará un voltaje al aislamiento entre el tubo de metal y la barra de metal que forma el bucle, en que la barra tiene el mismo potencial que el soporte de la HEPL.

Debido al voltaje de impulso aplicado, se desarrollará una descarga progresiva a lo largo de la superficie del aislamiento del bucle desde el tubo de metal (que es desde el primer electrodo principal 2) hasta la abrazadera del pararrayos (hasta el segundo electrodo principal 3) a través de uno o ambos extremos de los brazos de bucle. Debido al efecto de descarga progresiva, la característica de voltios y segundos del pararrayos se ubica bajo una característica similar del aislante, de modo que, bajo la condición de sobretensión del relámpago, el salto de corriente se desarrolla a través del pararrayos, pero no sobre el aislante.

Una vez que la corriente de relámpago de impulso pasa, la descarga se extingue sin convertirse en el arco de alimentación, de modo que se evitan un cortocircuito, el daño del conductor y la interrupción de la HEPL.

Cuando la LFAL se utiliza en combinación con el pararrayos de la invención, por ejemplo, configurado de acuerdo con la forma de realización mostrada en las FIG. 7, 8, las funciones del primer y segundo electrodos principales 2, 3 son realizadas, respectivamente, por el tubo de metal y la pinza de la LFAL, mientras que el componente hueco del cuerpo aislante y el electrodo adicional (en esta forma de realización ambos tienen un perfil en forma de U), están formados, respectivamente, por la capa de aislamiento 11 y la barra metálica de la LFAL. Los electrodos intermedios están incrustados dentro de una tira enrollada helicoidalmente alrededor del componente hueco en uno de los brazos de la LFAL.

En el caso de que se utilice dicha combinación de LFAL y del pararrayos de acuerdo con la invención en la condición de sobretensión, los saltos de corriente en cascada de los espacios entre los electrodos intermedios se desarrollan a un voltaje más bajo que cuando se utiliza solo la LFAL. Además, a diferencia de utilizar solo la LFAL, se asegura un enfriamiento efectivo de la descarga antes de que la corriente a la frecuencia de la energía pase el valor cero. Por lo tanto, la combinación de la LFAL y el pararrayos de acuerdo con la invención tiene un tamaño menor y una efectividad más alta que la LFAL típica, y, además, puede utilizarse para voltajes de clases más altas.

Las FIG. 17 y 18 ilustran una forma de realización de pararrayos producida usando una tecnología de cable. Como parte sin procesar para fabricar el pararrayos, se utiliza una pieza de un cable apropiado con un aislamiento sólido, en que el aislamiento sólido y un núcleo del cable forman el componente hueco del cuerpo aislante 1 y el electrodo adicional 7 respectivamente. Se coloca un cable o banda de metal en la superficie de dicha pieza de cable, y a continuación se aplica una capa sólida más de aislamiento (por ejemplo, por extrusión seguida de la soldadura de la nueva capa al aislamiento del cable). De esta manera, se forma el cuerpo aislante del pararrayos, que consiste en el aislamiento del cable (que forma el componente hueco) con la capa de aislamiento adicional que cubre este aislamiento. Después de eso, se producen las cámaras de descarga 5 (es decir, por perforación o por fresado) en el cuerpo aislante 1, estas cámaras forman los espacios de descarga entre los electrodos intermedios 4 y (preferentemente) entre los electrodos principales 2, 3 y los electrodos intermedios 4 adyacentes a los mismos. Las cámaras de descarga tendrán una sección transversal circular (si se produce por perforación) o, alternativamente, una sección transversal rectangular (por ejemplo, con forma de hendidura) (si se produce por fresado). Para lograr una disposición más compacta de los electrodos intermedios y para reducir las dimensiones del pararrayos, dicha banda o cable de metal puede enrollarse helicoidalmente, de manera similar a la disposición utilizada en la forma de realización mostrada en la FIG. 16. En el caso de la disposición en espiral de las cámaras en forma de hendidura, es necesario verificar que las cámaras correspondientes a los giros adyacentes de la espiral no estén dirigidas una hacia la otra. Se descubrió experimentalmente que, en caso de que no se cumpla esta condición, los canales de descarga, cuando son expulsados de las cámaras de descarga, pueden fusionarse en un canal común ubicado en el aire por encima del cuerpo aislante, el cual se fusiona dando como resultado una fuerte caída de la capacidad de enfriamiento del arco del pararrayos. Por lo tanto, las cámaras de descarga con forma de hendidura en giros adyacentes se deben desplazar o rotar adicionalmente linealmente entre sí.

Con el fin de simplificar la fabricación del pararrayos, el cable o la banda metálicos pueden reemplazarse por un cable conductor o una banda hecha de fibra de carbono. Dicha sustitución hará que el paso de perforar o fresar las cámaras de descarga sea sustancialmente más fácil de realizar. La forma de realización descrita se caracteriza no solo por su efectividad tecnológica, sino también por una alta resistencia mecánica.

La FIG. 19 muestra un fragmento de una HEPL con conductores protegidos y con una forma de realización de pararrayos optimizada para esta HEPL en particular. Un soporte 14 hecho de algún material conductor (como hormigón armado, acero y similares) lleva un aislante 12 al cual se fija un conductor 9 que tiene una capa protectora de aislamiento 16 con la ayuda de medios de sujeción de metal 15. Una abrazadera que tiene un contacto eléctrico con los medios de sujeción 15 y que actúa como el segundo electrodo principal 3 de la forma de realización de pararrayos de las FIG. 7, 8 está colocada sobre el conductor. El primer electrodo principal 2 está configurado como una abrazadera blindada. Esta abrazadera, que fija el pararrayos al conductor, está en contacto eléctrico con un núcleo del conductor 9, de modo que el segmento de este núcleo entre los electrodos principales 2, 3 actúa también como el electrodo adicional 7 del pararrayos. La tira, dentro de la cual están incrustados los electrodos intermedios del pararrayos, está fijada a (es decir, enrollada helicoidalmente alrededor de) un segmento de la capa de aislamiento protectora 16 situada entre los electrodos principales, segmento que funciona como el componente hueco del cuerpo aislante del pararrayos

Cuando se aplica una sobretensión al conductor 9, primero se realiza un salto de corriente a través del aislante 12, de modo que los medios de sujeción junto con el segundo electrodo principal 3 tendrán el potencial de tierra (que es cero), mientras que el conductor 9 y, respectivamente, la abrazadera blindada (el primer electrodo principal 2) estará por debajo del potencial de sobretensión. Esto significa que la sobretensión se aplicará entre el primer electrodo principal 2 (la abrazadera blindada) y el segundo electrodo principal 3 (la abrazadera), y esta sobretensión causará saltos de corriente en la línea de todos los espacios entre los electrodos principales 2, 3 y los electrodos intermedios 4. Como resultado, el núcleo del conductor 9 a través de la abrazadera blindada, a través de los espacios entre los electrodos intermedios 4, a través del segundo electrodo principal 3, a través de los medios de sujeción 15, y a través del canal de descarga a través del aislante 12 se conecta eléctricamente al soporte en tierra 14, de modo que la corriente de sobretensión del relámpago fluya a lo largo de esta trayectoria hacia el suelo. Una vez que el impulso del relámpago termina, la corriente de descarga se extingue, sin pasar a la etapa del arco de potencia, y la línea continúa funcionando sin interrupción.

Las capacidades operativas del pararrayos de acuerdo con la invención se han confirmado mediante experimentos en el curso de los cuales se probaron pararrayos de dos tipos con capacidad nominal de 10 kV y producidos especialmente para este fin: 1) el pararrayos de salto de corriente largo de un tipo en espiral, LFAL- 10, con electrodos intermedios en forma de anillo; y 2) la LFAL-10 sin dichos anillos pero con la forma de realización de pararrayos de acuerdo con la invención (que se muestra en la FIG. 16) enrollado alrededor de uno de los brazos de la LFAL-10. Los dispositivos probados tenían las siguientes características esenciales:

- un cable de tipo PIGR-8 fabricado por la planta «Sevkabel» (San Petersburgo, Rusia) tenía un núcleo de aluminio de 9 mm de diámetro y una capa de aislamiento de polietileno de 4 mm;
- la longitud de un brazo (desde el borde del tubo de metal hasta el borde de la abrazadera) era de 800 mm;
- los electrodos intermedios 4 se configuraron como arandelas con un diámetro externo de 9 mm y un grosor de 1 mm; estaban incrustados en una tira hecha de caucho de silicona;
- el número total de electrodos intermedios era igual a 50;
- se seleccionó una distancia entre los electrodos adyacentes separados por una cámara de descarga para ser g = 2 mm (las razones para seleccionar dicha distancia para esta forma de realización se han explicado anteriormente);
- cada una de las cámaras de descarga 5 tenía un diámetro d = 3 mm y una altura b = 4 mm (por lo tanto, la forma de realización del dispositivo de prueba de acuerdo con la invención correspondía a la forma de realización 1 descrita anteriormente, prevista para la primera variante de aplicación 1 del pararrayos);
- el pararrayos mostrado en la FIG. 3 estaba enrollado alrededor de uno de los brazos de la LFAL-10 (que está alrededor de la pieza de cable descrita anteriormente) con un paso de 30 mm, de modo que el pararrayos cubrió, en una pieza de cable, una longitud de 30 cm, que es aproximadamente una tercera parte de una longitud del brazo de la LFAL-10.

Las pruebas han demostrado que ambos pararrayos (el de LFAL-10 estándar con anillos y el de LFAL-10 equipado con el pararrayos de acuerdo con la invención) son capaces de proteger al aislante de HEPL de las descargas de relámpagos; sin embargo, la LFAL-10 con anillos enfría la corriente del arco de seguimiento en el valor de corriente cero (por lo que existe una pausa de 3-5 ms en el flujo de corriente), mientras que el pararrayos de acuerdo con la invención apaga la corriente inmediatamente después de que finalice la sobretensión del relámpago (que dura solo alrededor de 5 a 30 μs) y el voltaje en el conductor de línea se reduce a un valor operacional normal. Ello significa

que el pararrayos funciona sin introducir ninguna pausa en el flujo de corriente, lo cual es importante cuando se suministra electricidad a dispositivos electrónicos (es decir, ordenadores) sensibles a las interrupciones en el suministro de energía. Una ventaja importante del pararrayos combinado de acuerdo con la invención consiste en que sus dimensiones globales son casi tres veces menores que las de la versión de la técnica anterior de la LFAL-10 del pararrayos; además, el pararrayos de la invención puede diseñarse para clases de voltaje más altas.

Por lo tanto, el dispositivo de derivación de corriente de acuerdo con la invención tiene una aplicabilidad sustancialmente ampliada y una fiabilidad funcional sustancialmente mejorada. El enfriamiento del canal de descarga aumenta al aumentar el número de electrodos intermedios. Por otro lado, dicho aumento del número de electrodos intermedios a la vez que se mantiene la longitud total de los espacios de descarga sin cambios tiene como resultado un aumento de las dimensiones globales y del coste del pararrayos. Por lo tanto, un diseño óptimo del pararrayos se determinará en función de su aplicación específica, basándose en las pautas presentadas en la descripción anterior y teniendo en cuenta este parámetro básico como el tipo de instalaciones o equipos a proteger, la clase de voltaje, el nivel de protección requerido, etc.

Las formas de realización y las modificaciones de los pararrayos descritas anteriormente de acuerdo con la invención y la línea de energía eléctrica configurada para utilizar dichos pararrayos se describieron únicamente para aclarar los principios de su diseño y funcionamiento. Quedará claro para los expertos en la materia que se pueden realizar varias mejoras, modificaciones y cambios en los ejemplos presentados anteriormente, todos los cuales están dentro del alcance del conjunto de reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, si una descarga entre los electrodos del pararrayos se desarrolla no en la forma de una descarga de emisión, sino en otra forma, por ejemplo, como una descarga de avalancha o una descarga de guía, se pueden emplear otras fórmulas apropiadas para determinar una estimación del diámetro de descarga, probablemente con modificaciones resultantes de los valores preferentes para distancias mínimas entre los electrodos adyacentes.

REIVINDICACIONES

1. Un pararrayos para protección contra relámpagos de elementos de instalaciones eléctricas o de una línea de energía eléctrica, en que el pararrayos comprende un cuerpo aislante (1) hecho de un dieléctrico sólido, dos electrodos principales (2, 3) acoplados mecánicamente al cuerpo aislante (1) y dos o más electrodos intermedios (4) dispuestos entre los electrodos principales (2, 3) y desplazados mutuamente al menos a lo largo del eje longitudinal del cuerpo aislante (1), en que los electrodos intermedios (4) están configurados para permitir que se produzca una descarga entre cada uno de los electrodos principales (2, 3) y el electrodo intermedio (4) adyacente a cada uno de dichos electrodos principales (2, 3) y entre los electrodos intermedios (4) adyacentes, en que una pluralidad de cámaras de descarga (5) están formadas entre los electrodos intermedios (4) adyacentes, y en que los electrodos intermedios (4) están ubicados dentro del cuerpo aislante (1) y están separados de la superficie del mismo por una capa de aislamiento, caracterizados porque la capa aislante tiene un grosor de un valor entre 1 mm y 36 mm, y las cámaras de descarga (5) están abiertas en la superficie del cuerpo aislante (1), y en que un área de sección transversal S de las cámaras de descarga (5) en una zona de la formación del canal de descarga (6) está entre el valor multiplicado por 0.1 mm y el valor multiplicado por 20 mm.

2. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la distancia mínima entre los electrodos adyacentes (4) se selecciona para estar en un intervalo de 1 mm a 5 mm.

3. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** se selecciona una distancia mínima entre los electrodos adyacentes (4) para estar en un intervalo de 5 mm a 20 mm.

4. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** está provisto de cámaras de descarga (5) adicionales formadas entre cada uno de los electrodos principales (2, 3) y el electrodo intermedio (4) adyacente a cada uno de dichos electrodos principales (2, 3).

5. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** las cámaras de descarga (5) están configuradas como aberturas rectangulares o circulares formadas en el cuerpo aislante (1).

6. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** las cámaras de descarga (5) están configuradas como hendiduras formadas en el cuerpo aislante (1).

7. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** las cámaras de descarga (5) están configuradas como aberturas pasantes formadas en el cuerpo aislante (1).

8. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el cuerpo aislante (1) tiene forma de barra, tira o cilindro.

9. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el cuerpo aislante (1) tiene un grosor incrementado en zonas donde las cámaras de descarga (5) se abren hacia la superficie del cuerpo aislante (1).

10. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** los electrodos intermedios (4) tienen forma de placas o cilindros.

11. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** los electrodos intermedios (4) están hechos de grafito o fibra de carbono.

12. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** los electrodos intermedios (4) desplazados entre sí están dispuestos a lo largo de una línea que coincide con el eje longitudinal del cuerpo aislante (1).

13. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** los electrodos intermedios (4) desplazados entre sí están dispuestos a lo largo de una línea paralela al eje longitudinal del cuerpo aislante (1).

14. El pararrayos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado porque** se coloca un electrodo adicional (7) dentro del cuerpo aislante (1) o en la superficie del mismo opuesta a la superficie en la que se abren las cámaras de descarga (5), el electrodo adicional (7) está conectado con uno de los electrodos principales (2, 3), en que una longitud del electrodo adicional (7) corresponde, por lo menos, a la mitad de la distancia entre los electrodos principales (2, 3), y en que una resistencia a la interrupción del aislamiento entre el electrodo adicional (7) y otro electrodo principal (2, 3), no conectado con el adicional (7), excede el voltaje de salto de corriente precalculado entre los electrodos principales (2, 3).

15. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 14, **caracterizado porque** el cuerpo aislante (1) incluye un componente hueco, en que el electrodo adicional (7) se coloca dentro del componente hueco.

16. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado porque** el componente hueco del cuerpo aislante (1) y el electrodo adicional (7) tienen secciones transversales circulares.

17. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 16, **caracterizado porque** la línea a lo largo de la cual están dispuestos los electrodos intermedios (4) desplazados entre sí es una línea en espiral.

18. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado porque** el cuerpo aislante (1) comprende además una tira unida a una superficie del componente hueco, en que los electrodos intermedios (4) están incrustados dentro de dicha tira.

19. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 18, **caracterizado porque** la tira está enrollada helicoidalmente alrededor de una superficie de un componente hueco cilíndrico.

20. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 19, **caracterizado porque** el electrodo adicional (7) y el componente hueco del cuerpo aislante (1) están formados respectivamente como un núcleo y una capa aislante de una pieza de un cable eléctrico.

21. El pararrayos de acuerdo con la reivindicación 20, **caracterizado porque** el componente hueco del cuerpo aislante (1) tiene un perfil en forma de U, en que el electrodo adicional (7) y el componente hueco tienen la misma longitud, en que el primer electrodo principal (2, 3) está configurado como un tubo metálico que incluye una parte curva del componente hueco, y el segundo electrodo principal (3, 2) está acoplado mecánicamente a uno o ambos extremos del componente hueco y está conectado eléctricamente con el electrodo adicional (7), y en que los electrodos intermedios (4) están dispuestos en uno o ambos brazos del cuerpo aislante (1).

22. Una línea de energía eléctrica que comprende: soportes provistos de aislantes (12), al menos un conductor bajo tensión (9) acoplado a aislantes (12) por medios de sujeción, y al menos un pararrayos para la protección contra relámpagos de los elementos de la línea de energía eléctrica, **caracterizado porque** dicho al menos un pararrayos está configurado como el pararrayos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21.

23. La línea de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 22, **caracterizada porque** el primer electrodo principal (2, 3) de dicho al menos un pararrayos está conectado, directamente o a través de un espacio de arco de tensión (10), a un elemento de la línea de energía eléctrica a proteger, en que el segundo electrodo principal (3, 2) está conectado eléctricamente, ya sea directamente o a través de un espacio de arco de tensión, a tierra.

24. La línea de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 22, **caracterizada porque** dicho aislante (12) está dispuesto sobre el pararrayos, en que el componente hueco del cuerpo aislante (1) y el electrodo adicional (7) del pararrayos tienen secciones transversales circulares, y en que el electrodo adicional (7) está configurado como una barra del aislante (12), mientras que el cuerpo aislante (1) está configurado como una tapa aislante adaptada para fijar el aislante en la barra.

Fig. 1

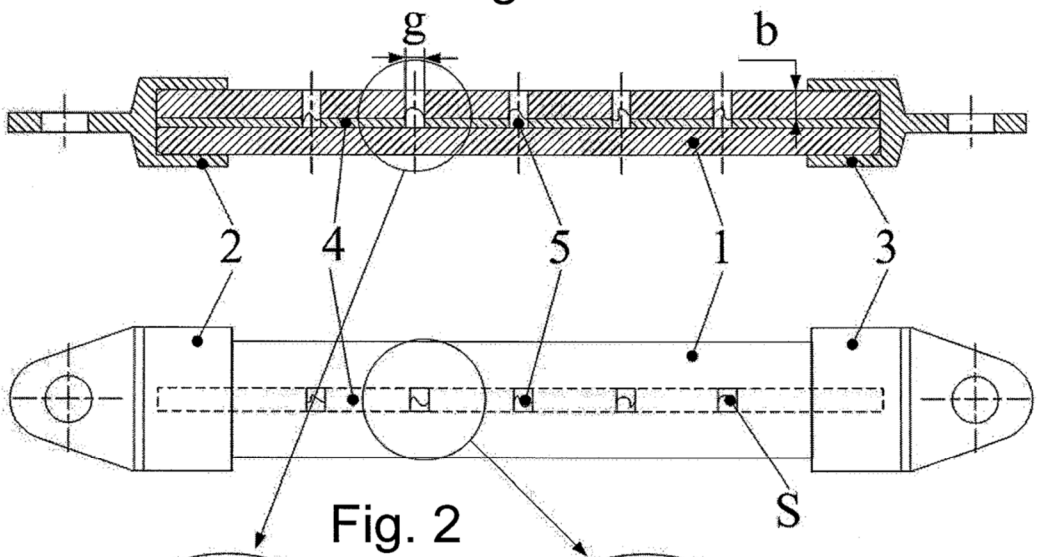


Fig. 2

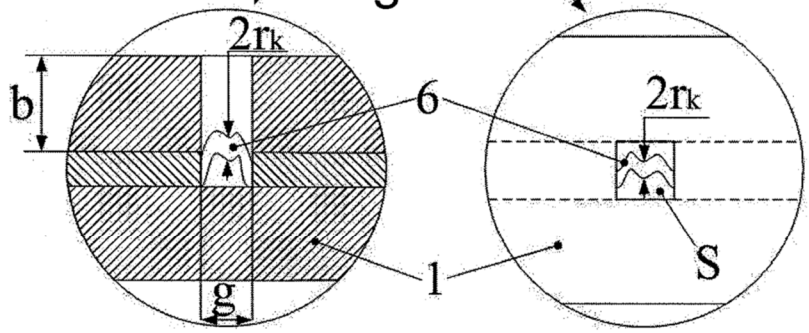


Fig. 3 Fig. 4

Fig. 5

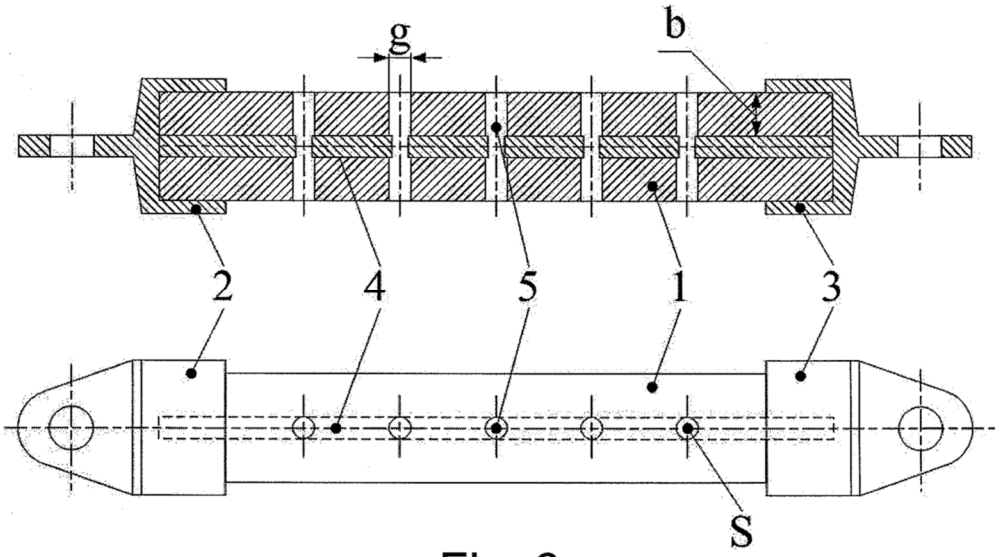


Fig. 6

Fig. 7

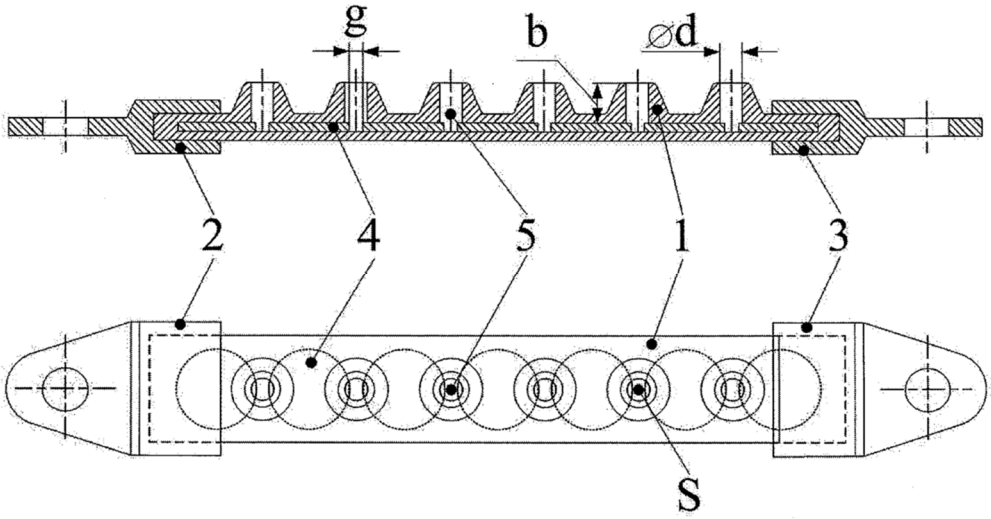


Fig. 8

Fig. 9

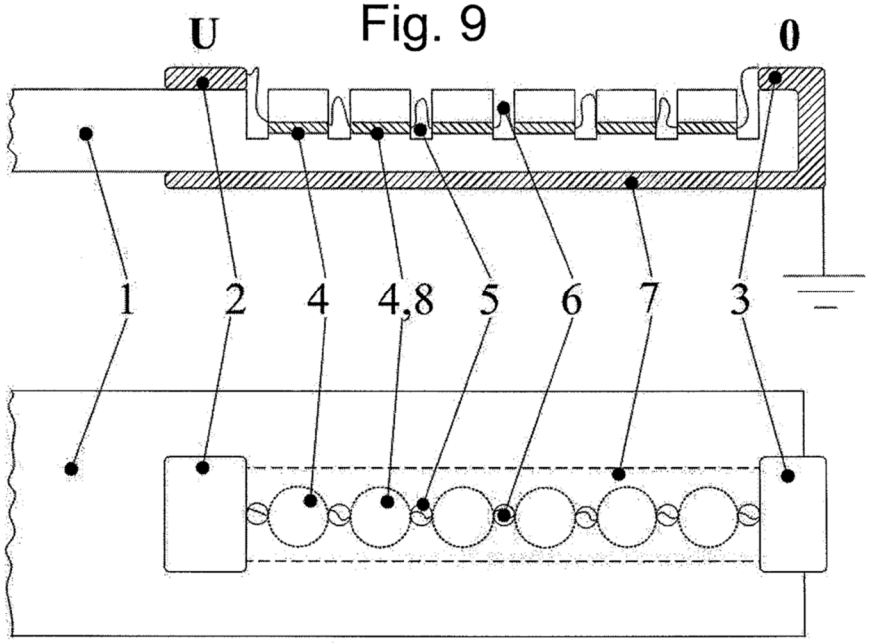


Fig. 10

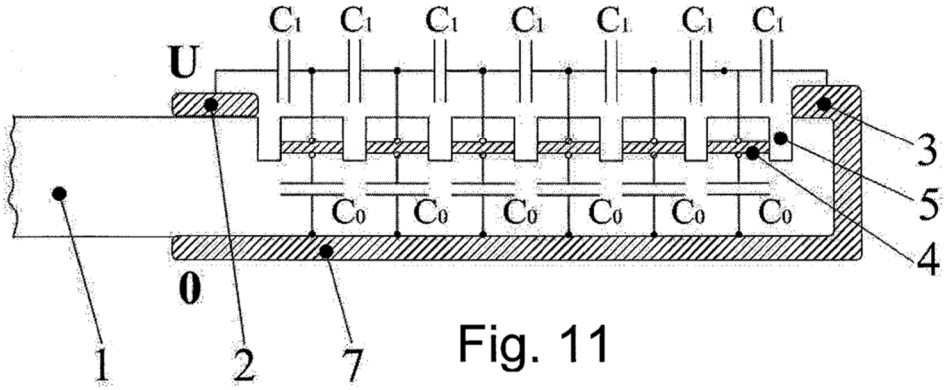


Fig. 11

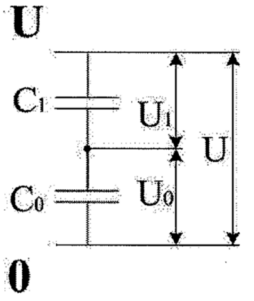


Fig. 12

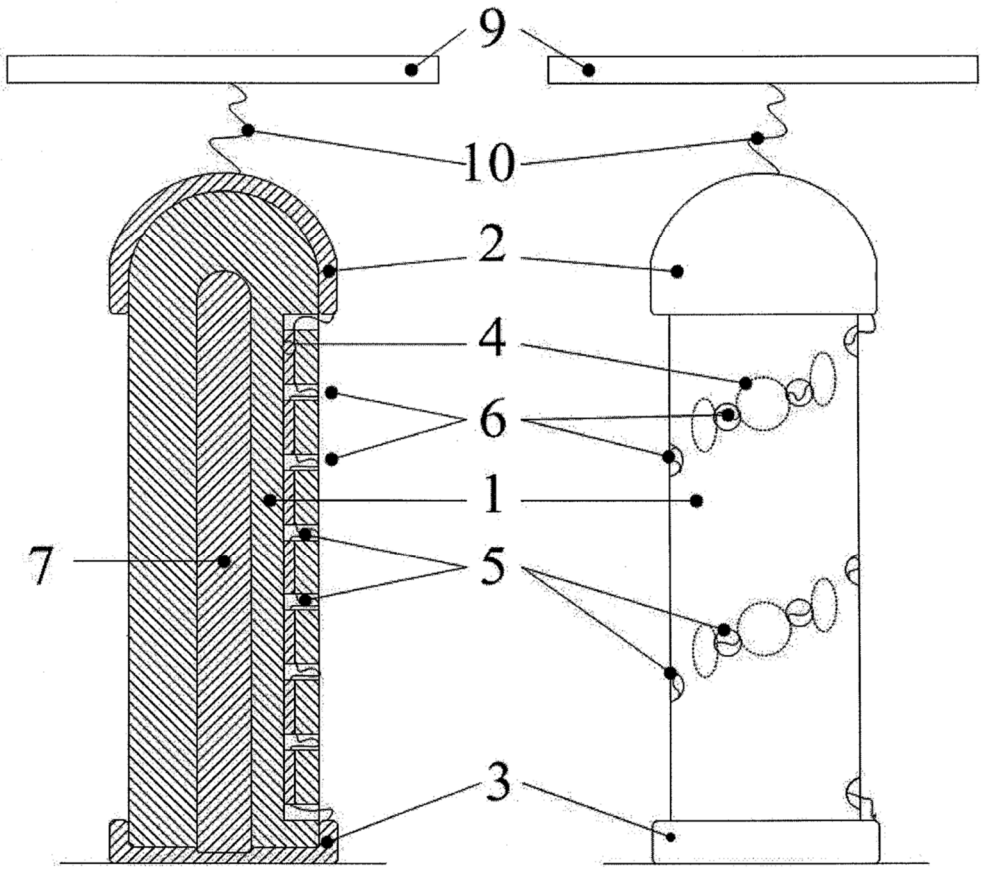


Fig. 13

Fig. 14

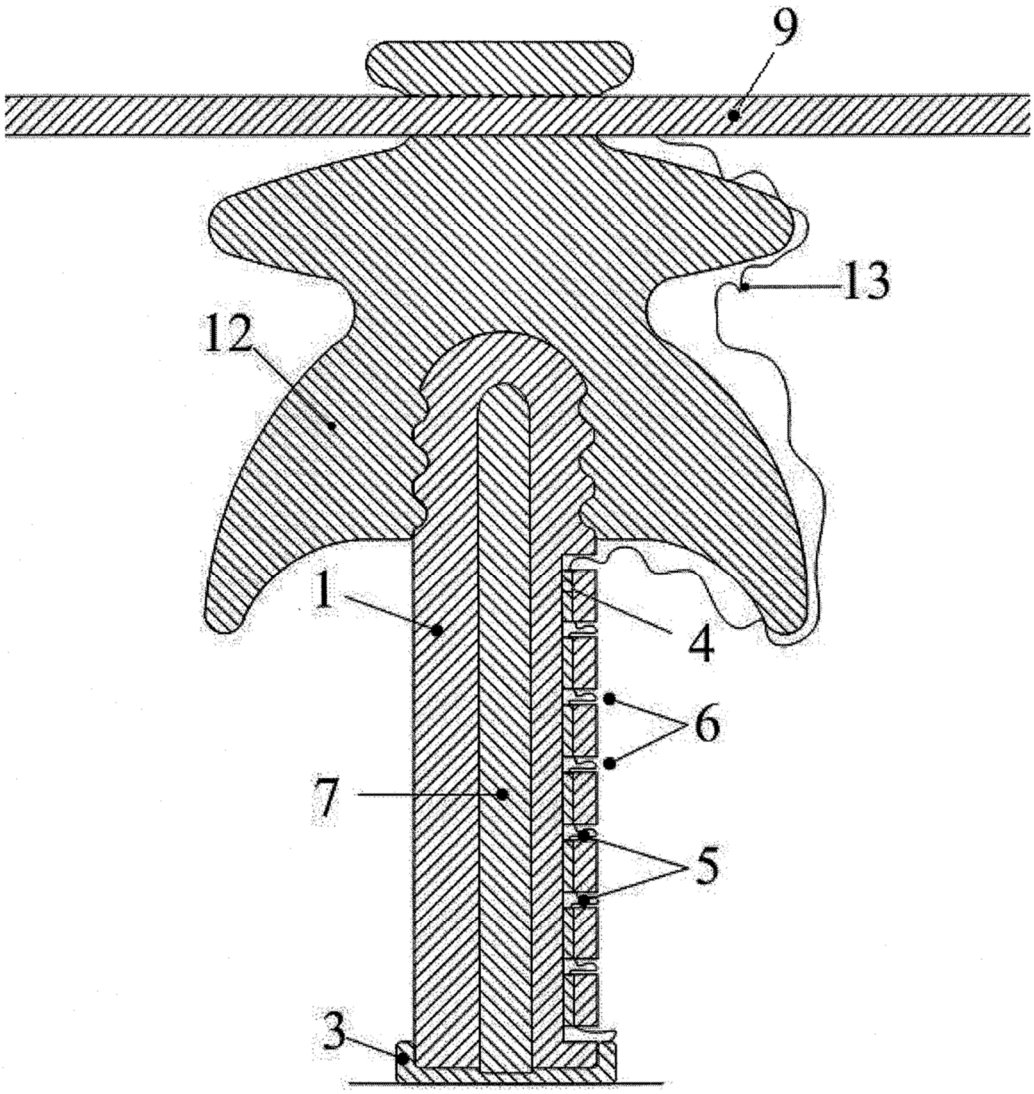


Fig. 15

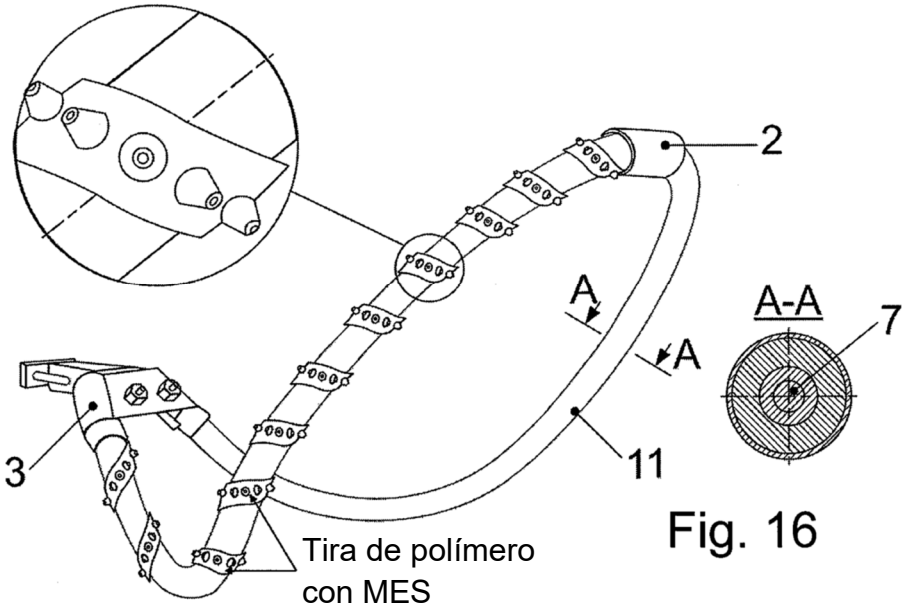
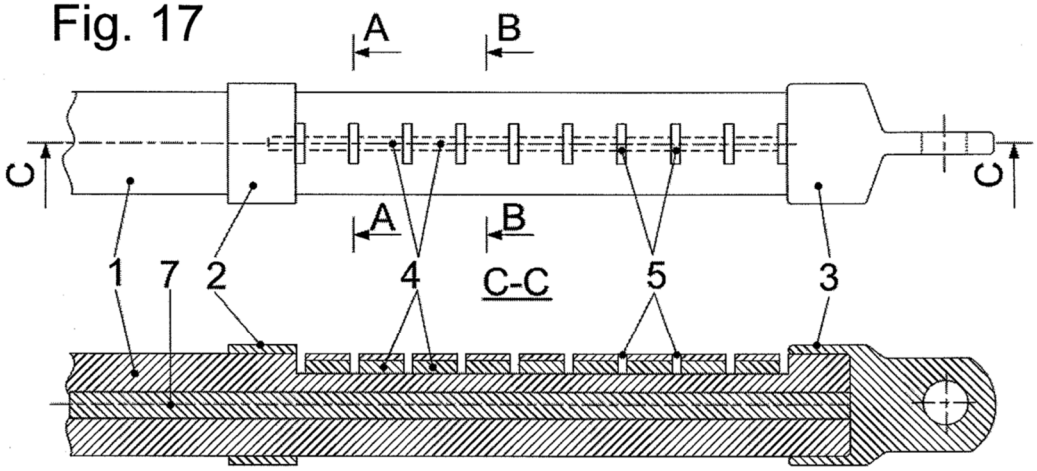


Fig. 16

Fig. 17



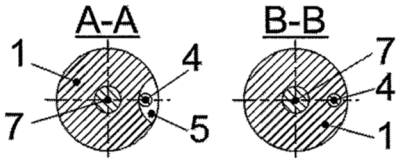


Fig. 18

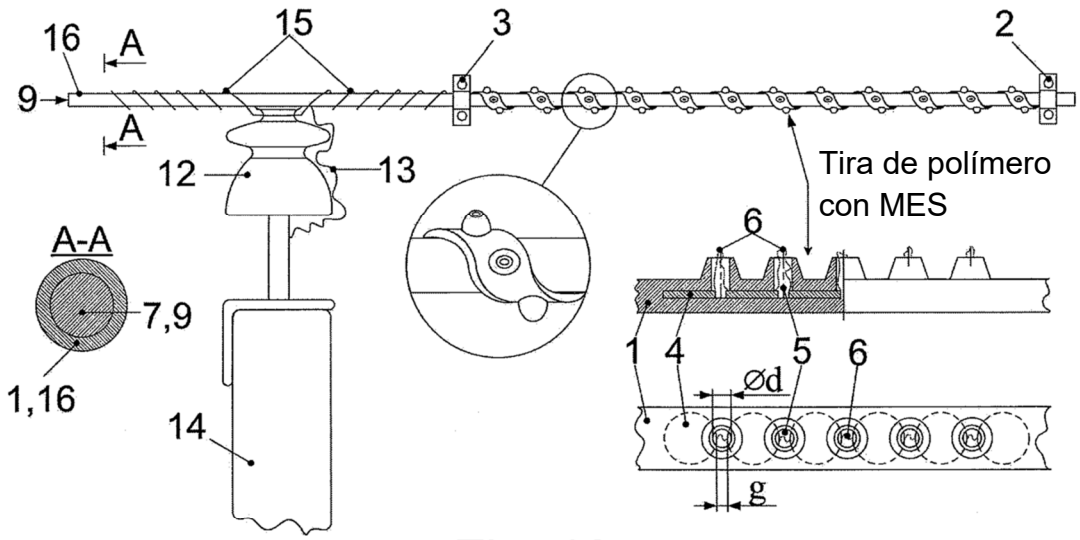

16
A
15
3
2
9
A
12
13
Tira de polímero
con MES
6
A-A
7,9
1,16
14
1
4
5
6
Ød
g

Fig. 19