

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 633 715**

⑮ Int. Cl.:  
**H02K 3/40**  
(2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2013 E 13174846 (9)**

⑯ Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017 EP 2822153**

---

⑭ Título: **Protección contra efluvios de devanado frontal en una máquina eléctrica**

⑮ Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.09.2017**

⑬ Titular/es:

**GE RENEWABLE TECHNOLOGIES (100.0%)**  
82 avenue Léon Blum  
38100 Grenoble, FR

⑭ Inventor/es:

**KOEPFLER, ANDREAS;**  
**POUX, JEREMY y**  
**LUGAND, THOMAS**

⑭ Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 633 715 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

Protección contra efluvios de devanado frontal en una máquina eléctrica

5 Campo de la invención

La presente divulgación se refiere a un devanado de estator o de rotor de un generador eléctrico. Más particularmente, la presente divulgación se refiere a una protección contra efluvios de devanado frontal mejorada de un rotor de una máquina eléctrica asíncrona.

10 Antecedentes

La conversión de energía eléctrica del estado de la técnica se basa en una red eléctrica trifásica con corrientes alternas (CA) a una frecuencia de 50 Hz o 60 Hz y niveles de tensión que oscilan entre varios cientos de voltios y cientos de miles de voltios. La conversión de la energía mecánica rotacional en energía eléctrica y viceversa se realiza mediante generadores y mediante motores respectivamente. Estas máquinas rotativas pueden dividirse en aparatos asíncronos y síncronos. Los devanados trifásicos de estas máquinas comprenden conductores de cobre que requieren un aislamiento de pared a tierra especialmente en la sección de ranura. Cuando se aumenta la potencia nominal de salida de tal máquina, aumenta el nivel de tensión de modo que se minimiza el uso de material y se maximiza la eficiencia.

Las máquinas con un nivel de tensión superior a 1000 V requieren medidas de gradiente de campo especiales en la sección de ranura además del aislamiento de pared a tierra. Es necesaria una protección contra efluvios de ranura para controlar las corrientes capacitivas a ambos lados del aislamiento de pared a tierra y la tensión axial inducida por el campo magnético rotativo. Por tanto, una protección contra efluvios de ranura establece un electrodo en la superficie externa del devanado. Su resistencia de superficie de  $100 \Omega$  a  $10.000 \Omega$  garantiza una conexión eléctrica continua de la protección contra efluvios de ranura a la pared de ranura a tierra y limita el flujo de corriente axial. Además, en el devanado frontal se hace necesario un segundo tipo de tecnología de gradiente de campo con el fin de controlar la caída de tensión desde la sección de ranura a tierra hasta las conexiones finales. Las conexiones finales pueden estar incluso a potencial de alta tensión. La solución utilizada comúnmente para la protección contra efluvios de devanado frontal emplea un material de gradiente de campo resistivo con una característica de resistencia no lineal.

35 Los documentos de patente DE3045462A1, JPS6122733A y JPS61177134A dan a conocer, en cada caso, una protección contra efluvios de devanado frontal. Dicha protección contra efluvios de devanado frontal comprende dos capas, siendo la capa más interna de baja resistencia de superficie y estando fabricada la capa más externa de un material semiconductor. Tanto la protección contra efluvios de devanado frontal como la protección contra efluvios de ranura están diseñadas para controlar las corrientes de superficie de modo que no se produzcan descargas visibles (efluvios, formación de arco) y se alcance un funcionamiento seguro y duradero de la máquina. Estos sistemas se conocen bien por los proveedores de máquinas y se trata de tecnologías clave en vista del diseño de la máquina. Se han desarrollado y optimizado desde el inicio de la conversión de energía eléctrica con máquinas rotativas de alta tensión. Los sistemas de protección contra efluvios de ranura y devanado frontal están bien definidos para tensiones sinusoidales de CA que oscilan entre  $16 \frac{2}{3}$  Hz y 60 Hz.

45 Las máquinas rotativas síncronas generan el campo magnético a través de devanados de polo de rotor. El número de polos de rotor y la frecuencia del campo magnético de estator define el número de revoluciones por minuto (rpm) de la máquina rotativa.

50 Con la llegada de los nuevos convertidores de energía, los rotores de motores y de generadores pueden recibir tensiones y corrientes (sinusoidales) con ángulos de fase y frecuencia variables. Por consiguiente, ahora el número de revoluciones por minuto puede variarse ampliamente. Dependiendo del tipo de convertidor de energía o bien la forma de la corriente o bien la forma de la tensión pueden dejar de ser sinusoidales. Las formas de la corriente o de la tensión se determinan en su lugar mediante modulación por ancho de pulso (PWM).

55 La modulación por ancho de pulso implica conmutar entre diferentes niveles de tensión y da como resultado cambios rápidos de tensión ( $dU/dt$  elevada). Por consiguiente, las tensiones y corrientes capacitivas serán mucho mayores en comparación con las tensiones sinusoidales a 50 Hz o a 60 Hz. Además, la frecuencia de conmutación se encuentra normalmente en el intervalo de varios cientos de Hz. Debido a estas dificultades cambia el diseño del aislamiento de pared a tierra y también de la protección contra efluvios de ranura y de la protección contra efluvios de devanado frontal. Son necesarios nuevos diseños y desarrollos técnicos para cumplir con estos requisitos.

65 En las centrales hidroeléctricas de bombeo (PSP, *pump storage plants*) la máquina síncrona convencional puede sustituirse por una máquina asíncrona de doble alimentación. Este tipo de máquina permite un funcionamiento de velocidad variable. La parte rotativa de la máquina síncrona convencional se sustituye en este caso por un devanado trifásico de alta tensión (a aproximadamente 4 - 5 kV) que recibe suministro de un convertidor de energía. Entonces se producen cambios de tensión a  $dU/dt \approx 1 \text{ kV}/\mu\text{s}$  y frecuencias de conmutación de varios cientos de Hz.

El diseño convencional para soportar los devanados emplea generalmente cables y placas de fibra de vidrio. Para el devanado de rotor de máquinas asíncronas de doble alimentación, el elevado esfuerzo mecánico producido por las vibraciones y fuerzas centrífugas requiere el uso de materiales de acero para el soporte mecánico. Esta conductividad eléctrica de estos materiales de soporte da como resultado nuevas consideraciones eléctricas en la zona del devanado frontal.

La presente divulgación pretende abordar las necesidades mencionadas anteriormente y superar las dificultades mencionadas anteriormente.

10 Sumario de la invención

15 El objeto es un sistema que permita controlar la caída de tensión producida por los pulsos provocados por el convertidor de energía en la superficie de un devanado frontal. El objeto final es controlar la caída de tensión de modo que no se produzcan descargas.

La solución también debe garantizar que cualquier corriente de superficie fluya hacia el núcleo de estator y no a través de los pasadores metálicos que soportan el devanado frontal. De lo contrario, la erosión producida por la formación de arco por contacto se convertiría en un problema.

20 Se alcanzan éste y otros objetos mediante una protección contra efluvios de devanado frontal según la reivindicación 1 de esta solicitud.

Además, el espacio entre dos pasadores metálicos está limitado. La sección transversal del conductor de cobre dentro de un devanado viene dada por la corriente máxima y no puede cambiar. El grosor del aislamiento de pared a tierra del devanado también viene dado debido a las restricciones dieléctricas. Por tanto, la nueva protección contra efluvios de devanado frontal debe ser lo más delgada posible en vista de los requisitos de espacio para el montaje de un devanado.

30 Es aún otro objeto de esta divulgación proporcionar una protección contra efluvios de devanado frontal que pueda fabricarse a partir de capas de cintas y de capas de pintura.

Es aún otro objeto de esta divulgación proporcionar una protección contra efluvios de devanado frontal que en sus conectores finales pueda resistir tensiones de CA (sinusoidales) de 4 kV a 5 kV.

35 Es aún otro objeto de esta divulgación proporcionar una protección contra efluvios de devanado frontal que sea efectiva durante todo el período de servicio de la turbina GEA.

49 Es otro objeto de esta divulgación proporcionar una máquina eléctrica con la protección contra efluvios de devanado frontal mencionada anteriormente.

Es aún otro objeto de esta divulgación que esta máquina sea una máquina asíncrona

45 Es otro objeto de esta divulgación proporcionar una máquina eléctrica con la protección contra efluvios de devanado frontal mencionada anteriormente aplicada al rotor de la máquina eléctrica.

Es otro objeto de esta divulgación proporcionar una máquina eléctrica con la protección contra efluvios de devanado frontal mencionada anteriormente aplicada al estator de la máquina eléctrica.

50 Es aún otro objeto de esta divulgación proporcionar una máquina eléctrica cuyo devanado frontal pueda soportarse mediante estructuras de acero.

## Breve descripción de los dibujos

55 Los objetos anteriores y muchas de las ventajas inherentes de esta invención se apreciarán más fácilmente al entenderse mejor haciendo referencia a la siguiente descripción detallada tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:

60 La figura 1 proporciona un dibujo tridimensional de un devanado con una protección contra efluvios de devanado frontal.

La figura 2 es un dibujo esquemático de un devanado con un devanado frontal. La figura 2 también ilustra el soporte mecánico del devanado frontal.

## 65 Descripción detallada de la invención

- La figura 1 es una ilustración tridimensional de un devanado con una protección contra efluvios de devanado frontal. Un haz 1 de hilos está dispuesto en el centro del devanado y forma un conductor. Los hilos están fabricados preferiblemente de cobre o de una aleación de cobre y llevan la corriente a través del devanado. Normalmente, un devanado de una máquina rotativa lleva corrientes de varios kA. Estas corrientes pueden ser corrientes alternas y corrientes continuas.
- 5 Los hilos están normalmente a un potencial que oscila entre varios cientos de V y varios kV. Este es el motivo por el cual los hilos deben estar aislados eléctricamente frente al exterior. El aislamiento de pared a tierra 2 de un devanado garantiza tal aislamiento eléctrico. El grosor del aislamiento de pared a tierra depende de la tensión de los hilos. Normalmente, el grosor del aislamiento de pared a tierra es de varios milímetros.
- 10 La protección contra efluvios de devanado frontal está hecha de tres capas 3, 4, 5. La capa más interna 3 es una capa altamente conductora. Su resistencia de superficie está en el intervalo de  $10 \Omega$  a  $200 \Omega$ . Más preferiblemente, la resistencia de superficie de la capa más interna está en el intervalo de  $20 \Omega$  a  $80 \Omega$ . Aún más preferiblemente, la resistencia de superficie de la capa más interna está en el intervalo de  $30 \Omega$  a  $80 \Omega$ . El fin de esta capa es la limitación de las diferencias de tensión a lo largo de la superficie del devanado frontal. Esto es particularmente relevante para máquinas alimentadas por convertidores de energía, en las que aumentos bruscos de la tensión ( $dU/dt$ ) pueden dar como resultado tensiones y/o corrientes capacitivas excesivas en la superficie de la protección contra efluvios de devanado frontal.
- 15 20 La segunda capa 4 está hecha de un material semiconductor. Las corrientes a través de esta capa dependen de manera no lineal de la tensión. El fin de esta capa es la limitación de las corrientes perpendiculares a la superficie del devanado frontal. Este es el motivo por el cual la resistencia de esta capa perpendicular a la superficie es crítica. Normalmente la resistencia está en el intervalo de  $100 \text{ M}\Omega/\text{mm}^2$  a  $10^6 \text{ M}\Omega/\text{mm}^2$ . Más preferiblemente, la resistencia está en el intervalo de  $1000 \text{ M}\Omega/\text{mm}^2$  a  $10^5 \text{ M}\Omega/\text{mm}^2$ . Aún más preferiblemente, la resistencia está en el intervalo de  $1000 \text{ M}\Omega/\text{mm}^2$  a  $10^4 \text{ M}\Omega/\text{mm}^2$ .
- 25 30 La capa más externa 5 está hecha de nuevo de un material resistivo medio. La resistencia de superficie de la capa más externa 5 está en el intervalo de  $1 \text{ k}\Omega$  a  $10 \text{ k}\Omega$ . Más preferiblemente, la resistencia de superficie está en el intervalo de  $1 \text{ k}\Omega$  a  $8 \text{ k}\Omega$ . Aún más preferiblemente, la resistencia de superficie está en el intervalo de  $2 \text{ k}\Omega$  a  $5 \text{ k}\Omega$ . El fin de la capa más externa es la limitación de los gradientes de tensión en la superficie más externa del devanado frontal. Aún otro fin de la capa más externa es la protección frente a la erosión y/o abrasión mecánica.
- 35 40 Las capas mencionadas anteriormente de la protección contra efluvios de devanado frontal pueden aplicarse en forma de cintas o como pintura. También es posible combinar capas hechas de cinta y capas hechas de pintura. La elección de cintas frente a pintura debe realizarse considerando la abrasión mecánica, resistencias de contacto entre capas de cinta y el grosor global de la protección contra efluvios de devanado frontal.
- 45 50 En una forma de realización preferida, el grosor global de las capas mencionadas anteriormente está limitado a  $0,8 \text{ mm}$ . En aún otra forma de realización, el grosor global de las capas mencionadas anteriormente está limitado a  $0,5 \text{ mm}$ . En aún otra forma de realización, el grosor global de las capas mencionadas anteriormente está limitado a  $0,3 \text{ mm}$ .
- 55 La figura 2 muestra esquemáticamente el devanado frontal de un rotor. En la figura 2 el devanado frontal 6 está soportado mecánicamente por una pluralidad de pasadores metálicos 7. El fin principal de los pasadores 7 es fijar el devanado frontal 6 frente a las fuerzas centrífugas. En las máquinas rotativas, tales fuerzas pueden dar lugar de hecho a vibraciones en el devanado frontal. Estas vibraciones se vuelven destructivas si su magnitud supera un límite.
- 60 Estos pasadores 7 pueden pero no tienen que hacer contacto con la superficie externa del devanado frontal 7. Además, los pasadores metálicos pueden estar conectados o no a tierra. En caso de que los pasadores metálicos no estén conectados a tierra, estarán en potencial eléctrico flotante. La resistencia de superficie de la capa más externa 5 mostrada en la figura 1 se elige para limitar las corrientes entre pasadores metálicos adyacentes 7. Si la resistencia de superficie de la capa más externa 5 fuera demasiado baja, las corrientes entre pasadores metálicos adyacentes 7 serían destructivas.
- 65 El devanado tal como se muestra en la figura 2 también tiene una parte doblada 8. Detrás de esta parte doblada 8, el devanado se inserta en una sección de ranura 9. Esta sección de ranura estará normalmente hecha de capas de acero laminado.
- 60 En una forma de realización preferida, la protección contra efluvios de devanado frontal de tres capas se adentra  $200 \text{ mm}$  en la sección de ranura 9. En otra forma de realización, la protección contra efluvios de devanado frontal de tres capas se adentra  $500 \text{ mm}$  en la sección de ranura 9. En aún otra forma de realización, la protección contra efluvios de devanado frontal de tres capas se adentra  $50 \text{ mm}$  en la sección de ranura 9.

La parte de la protección contra efluvios de devanado frontal en la sección de ranura permite que las corrientes de superficie fluyan predominantemente a través de la sección de ranura 9 y no a través de los pasadores metálicos 7. Es importante indicar que la sección de ranura 9 está esencialmente en potencial a tierra.

- 5 Se encuentra otra parte doblada 10 en el otro lado del devanado frontal. Esta parte doblada ya no está cubierta con una protección contra efluvios de devanado frontal de tres capas. Sin embargo, está cubierta con un aislamiento de pared a tierra 2 tal como se muestra en la figura 1. En otra forma de realización concebida, la parte doblada 10 está al menos parcialmente cubierta con una protección contra efluvios de devanado frontal de tres capas. Detrás de la parte doblada 10, un conector final 11 termina el devanado frontal. El conector final 11 se utiliza básicamente para conectar diferentes partes del devanado dispuestas en diferentes ranuras entre sí. El conector final 11 también puede utilizarse para conectar el devanado a los terminales de la máquina.
- 10

La disposición tal como se muestra en la figura 2 pertenece al rotor de una máquina eléctrica. Se entiende que también puede aplicarse la misma solución al estator de una máquina eléctrica.

15 Números de referencia

- 1 haz de hilos
- 20 2 aislamiento de pared a tierra
- 3 capa más interna de la protección contra efluvios de devanado frontal
- 25 4 capa intermedia de la protección contra efluvios de devanado frontal
- 5 capa más externa de la protección contra efluvios de devanado frontal
- 6 devanado frontal
- 30 7 pasador metálico
- 8 parte doblada antes de la sección de ranura
- 9 sección de ranura
- 35 10 parte doblada antes del conector final
- 11 conector final

## REIVINDICACIONES

1. Un devanado de una máquina eléctrica rotativa, que comprende
  - 5 un conductor y un aislamiento de pared a tierra (2) que rodea el conductor, una protección contra efluvios de devanado frontal dispuesta en la superficie externa del aislamiento de pared a tierra, (2), comprendiendo la protección contra efluvios de devanado frontal una primera capa (3), en el que la resistencia de superficie de la primera capa (3) está en el intervalo de 10 ohmios a 200 ohmios,
  - 10 y en el que la protección contra efluvios de devanado frontal comprende además una segunda capa (4) dispuesta en la superficie externa de la primera capa (3), en el que la segunda capa (4) está hecha de un material semiconductor, caracterizado por que la protección contra efluvios de devanado frontal comprende además una tercera capa (5) dispuesta en la superficie externa de la segunda capa (4), teniendo la tercera capa (5) una resistencia de superficie en el intervalo de 1 kiloohmio a 10 kiloohmios.
2. Un devanado según la reivindicación 1, en el que la resistencia de superficie de la primera capa (3) está en el intervalo de 20 ohmios a 80 ohmios.
3. Un devanado según la reivindicación 2, en el que la resistencia de superficie de la primera capa (3) está en el intervalo de 30 ohmios a 80 ohmios.
4. Un devanado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la resistencia de la segunda capa (4) perpendicular a la superficie está en el intervalo de 100 megaohmios/mm<sup>2</sup> a 10<sup>6</sup> megaohmios/mm<sup>2</sup>.
5. Un devanado según la reivindicación 4, en el que la resistencia de la segunda capa (4) perpendicular a la superficie está en el intervalo de 1000 megaohmios/mm<sup>2</sup> a 10<sup>5</sup> megaohmios/mm<sup>2</sup>.
- 30 6. Un devanado según la reivindicación 5, en el que la resistencia de la segunda capa (4) perpendicular a la superficie está en el intervalo de 1000 megaohmios/mm<sup>2</sup> a 10<sup>4</sup> megaohmios/mm<sup>2</sup>.
7. Un devanado según la reivindicación 6, en el que la tercera capa (5) tiene una resistencia de superficie en el intervalo de 1 kiloohmio a 8 kiloohmios.
- 35 8. Un devanado según la reivindicación 7, en el que la tercera capa (5) tiene una resistencia de superficie en el intervalo de 2 kiloohmios a 5 kiloohmios.
9. Un devanado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una capa (3, 4, 5) está aplicada en forma de cinta.
- 40 10. Un devanado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que al menos una capa (3, 4, 5) está aplicada en forma de pintura.
- 45 11. Un devanado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el grosor global de las tres capas (3, 4, 5) es de 0,8 mm o menos.
12. Un devanado según la reivindicación 11, en el que el grosor global de las tres capas (3, 4, 5) es de 0,5 mm o menos.
- 50 13. Un devanado según la reivindicación 12, en el que el grosor global de las tres capas (3, 4, 5) es de 0,3 mm o menos.
14. Un rotor de una máquina eléctrica con un devanado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

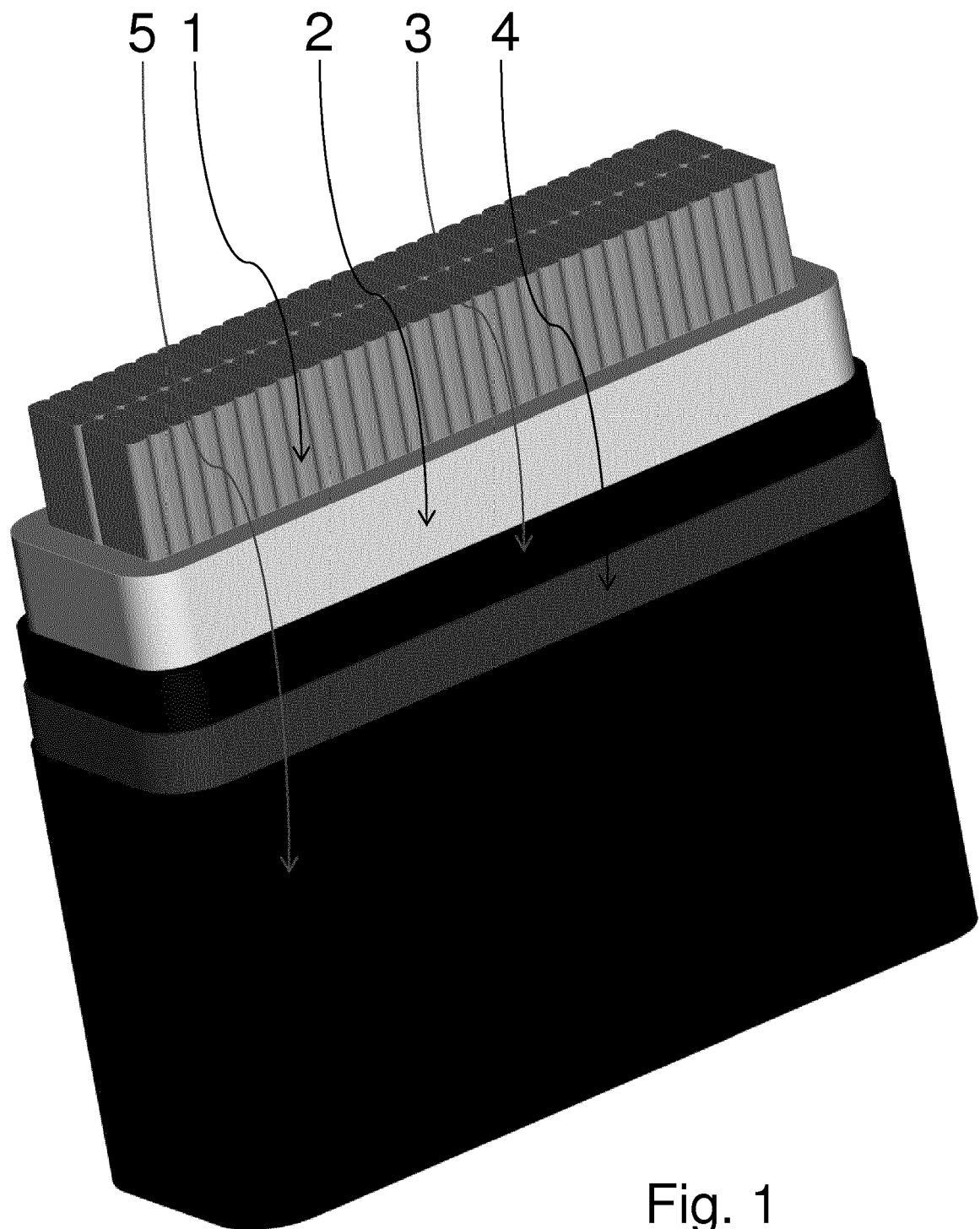


Fig. 1

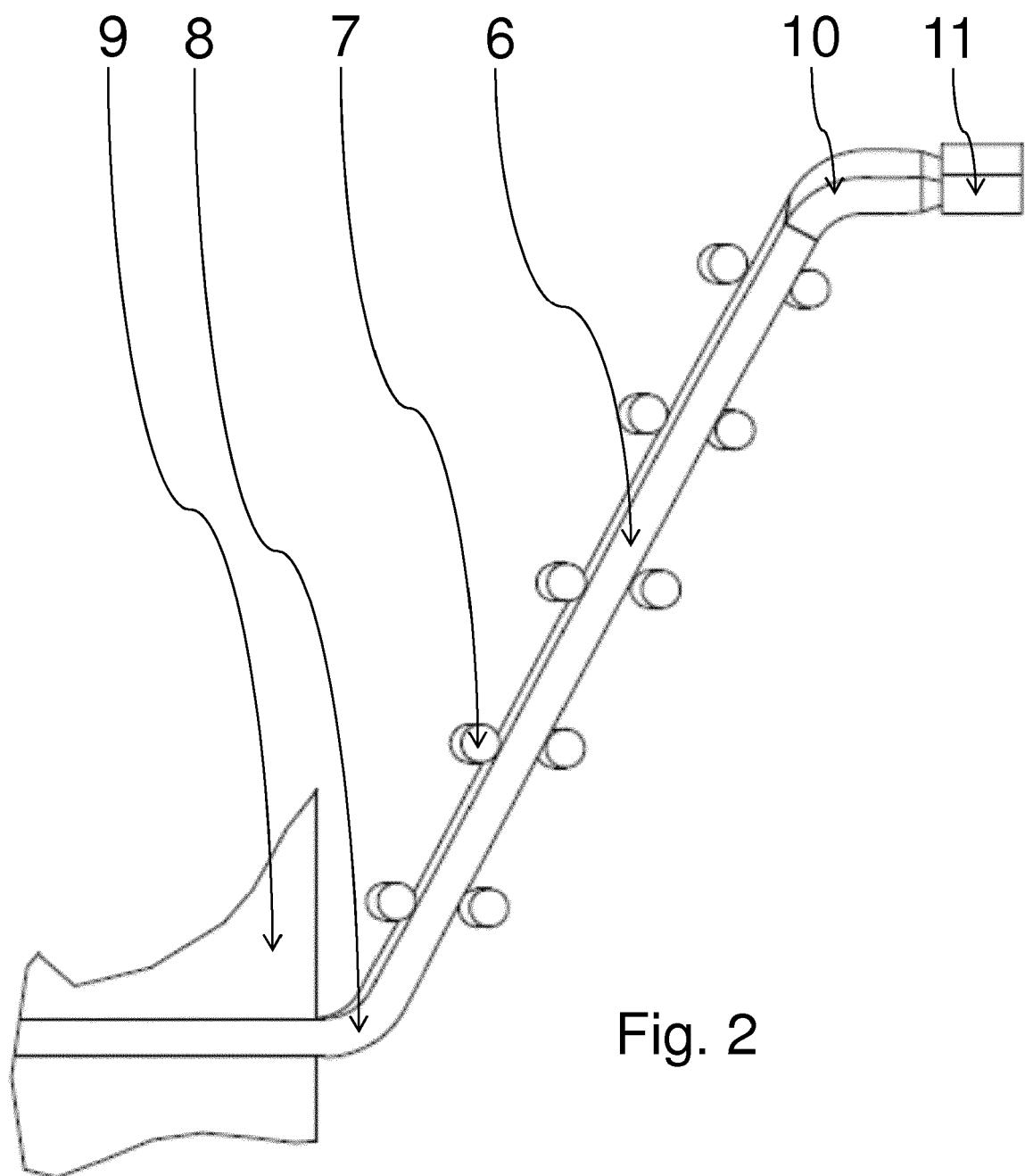


Fig. 2