

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 865 852**

51 Int. Cl.:

G01P 5/08 (2006.01)

G01F 1/56 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2017 PCT/FR2017/053343**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.06.2018 WO18104627**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2017 E 17821676 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.01.2021 EP 3552026**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de medida de una velocidad de flujo de gas**

30 Prioridad:

08.12.2016 FR 1662169

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

18.10.2021

73 Titular/es:

**OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE
RECHERCHES AÉROSPATIALES (100.0%)
Chemin de la Hunière
91120 Palaiseau, FR**

72 Inventor/es:

ELIAS, PAUL-QUENTIN

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 865 852 T3

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

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento de medida de una velocidad de flujo de gas

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento para medir la velocidad de flujo de un gas, en particular para aplicaciones aeronáuticas.

10 **Estado de la técnica**

Ya existen numerosos métodos para medir la velocidad de flujo gaseoso. En particular, se conoce medir la velocidad de flujo gaseoso utilizando una sonda de Pitot. Dicha sonda comprende una toma de presión de parada que está orientada dirigida hacia el flujo, y una toma de presión estática que se dispone en una pared tangente al flujo. La diferencia entre la presión de parada y la presión estática es por tanto proporcional al cuadrado de la velocidad del gas. Sin embargo, la toma de presión de parada está constituida por un tubo capilar que es susceptible de obstruirse por una helada o el polvo, o por una falta de operación de mantenimiento, debido a lo cual la fiabilidad de las sondas de Pitot puede ser insuficiente.

20 También se conoce medir la velocidad de un flujo gaseoso utilizando una sonda de emisión de impulsos ultrasónicos. El principio de medida se basa en la determinación de un tiempo de tránsito de impulsos ultrasónicos. No obstante dichas sondas están limitadas a velocidades a medir que sean inferiores a 100 m/s (metro por segundo).

25 También se conoce utilizar un rayo láser que atraviesa el flujo gaseoso. Un desfase Doppler de la luz retrodispersada o un desfase en la longitud de onda de una línea de absorción de un componente de gas, permite evaluar la velocidad del flujo. No obstante dichos métodos necesitan una fuente láser, al menos una ventana óptica de salida del rayo hacia el flujo y de recogida de la luz en retorno. Además, estos métodos ópticos son poco precisos cuando la velocidad de flujo es baja.

30 Por otro lado, también se conocen sondas iónicas para medir la velocidad de flujo gaseoso. En una primera categoría de dichas sondas, los iones se generan en el flujo, después se recogen aguas abajo del lugar de su generación. La velocidad de flujo puede por tanto deducirse de la duración entre la emisión y la recogida de los iones, denominada tiempo de vuelo de iones, en el caso de una generación de iones por impulsos, o deducida del valor de una corriente eléctrica que es recogida en el caso de una generación continua o casi continua de iones. Pero las sondas de esta primera categoría necesitan disponer de una fuente de iones en el flujo de gas, lo que puede perturbar este flujo del cual se desea medir la velocidad.

40 Finalmente, sondas iónicas de una segunda categoría utilizan picos finos que están polarizados por una tensión eléctrica continua, positiva o negativa, para generar iones en el flujo de gas. Para ciertas de estas sondas, un electrodo de medida se dispone aguas abajo en el flujo para recoger cargas eléctricas correspondientes a los iones generados. El valor de la corriente eléctrica en el electrodo de medida puede por tanto relacionarse con la velocidad de flujo. Para otras sondas, el pico está polarizado por una tensión continua que es negativa para producir una descarga de corona negativa. En este caso, un valor de corriente de impulsos de la descarga de corona, o un valor de la frecuencia de impulsos de descarga de corona, proporcionan una medida de la velocidad de flujo. Dichas sondas iónicas se describen en la obra "*Applications of the corona discharge for measurements of density and velocity transients in air flow*," de F.D. Werner y R.L. Geronime, 1953, pp.53-142, y en la patente US 3,945,251 titulada "*Trichel Pulse Corona gas velocity instrument*," de E.T. Pierce. No obstante dichas sondas iónicas de polarización eléctrica continua presentan una histéresis importante de manera que las medidas sucesivas son afectadas por una desviación en los resultados, y por tanto es difícil de obtener un valor fiable para la velocidad del flujo de gas.

50 El documento "*A.C. Plasma Anemometer for Hypersonic Mach Number Experiments*" de E. H. Matlis, T. C. Corket y S. P. Gogineni propone un sistema para medir una velocidad de flujo de un gas que trabaja con una corriente alterna y menciona que las medidas no muestran ninguna histéresis.

Objeto de la invención

60 A partir de esta situación, el objetivo de la presente invención es proponer una nueva sonda para medir la velocidad de un flujo gaseoso, que no presenta los inconvenientes de las sondas anteriores mencionadas anteriormente. En particular, se buscan las cualidades siguientes:

- una gama de medida, denominada también dinámica de medida, que se amplía, posiblemente controlable, que permite medir flujos de baja velocidad y de alta velocidad;

65 - evitar la utilización de un capilar que es susceptible de obstruirse;

- evitar la utilización de ventanas ópticas, que son susceptibles de ensuciarse o hacerse opacas o difusas;

- ausencia de histéresis durante las medidas que se efectúan de forma sucesiva;

- un funcionamiento compatible con un sistema de antihielo o deshielo de una sonda que se utiliza para las medidas; y

- una estructura que aísla eléctricamente una parte de circuito de alta tensión de una parte de circuito de baja tensión.

Para alcanzar al menos uno de estos u otros objetivos, un primer aspecto de la invención propone un dispositivo de medida de una velocidad de un flujo de gas, que comprende:

- una sonda rígida destinada a ser colocada en el flujo de gas, la sonda que comprende un electrodo axial que presenta un extremo descubierto destinado a estar en contacto con el gas, teniendo este extremo descubierto un radio de curvatura adaptado para producir un refuerzo de campo eléctrico por efecto de pico y que comprende un electrodo periférico que está aislado eléctricamente del electrodo axial y que posee una parte descubierta también destinada a estar en contacto con el gas, situada a distancia del electrodo axial; y

- una fuente de alimentación de tensión eléctrica que tiene dos bornes de salida que están conectados eléctricamente uno al electrodo axial y el otro al electrodo periférico.

En el ámbito de la presente invención, se entiende por extremo de electrodo el que tiene un radio de curvatura que se adapta para producir un refuerzo del campo eléctrico por efecto de pico, un extremo de electrodo que posee un radio de curvatura inferior a 5 mm (milímetro), con preferencia inferior a 2 mm. El efecto eléctrico denominado efecto de pico es muy conocido por el experto en la técnica, por lo que no es necesario describirlo en este caso. Este efecto es tanto más importante cuanto más pequeño es el radio de curvatura del extremo de electrodo que forma el pico. Cuando este radio de curvatura es suficientemente pequeño, inferior a 5 mm, con preferencia inferior a 2 mm, un campo eléctrico local es aumentado suficientemente por la geometría en pico para alcanzar un umbral de ionización del gas.

Según la invención, la fuente de alimentación produce una tensión eléctrica que es alterna, es decir con periodos de valores negativos de tensión y periodos de valores positivos de tensión que se alternan, y el dispositivo comprende además:

- un circuito de detección, que comprende al menos una espira conductora dispuesta alrededor de una conexión eléctrica que conecta uno de los electrodos de la sonda a uno de los bornes de una fuente de alimentación, o se dispone alrededor del electrodo axial y que comprende un contador dispuesto para contar los impulsos eléctricos que se generan en la espira por inducción, de forma selectiva durante al menos una ventana de tiempo durante la cual un potencial eléctrico del electrodo axial es inferior a un potencial eléctrico del electrodo periférico.

Por tanto, cuando la sonda se alimenta con la tensión eléctrica alterna por la fuente de alimentación, un número de impulsos eléctricos que se cuentan por el circuito de detección, que corresponde a un número de descargas eléctricas que han aparecido entre el electrodo axial y el electrodo periférico a través del gas, constituye una medida de la velocidad del flujo de gas.

Dicho dispositivo presenta las ventajas siguientes:

- el uso de una tensión alterna entre los electrodos de la sonda suprime un posible comportamiento de histéresis;

- el recuento de impulsos de descarga de corona durante los periodos en el que el electrodo axial, que comprende el pico, está polarizado negativamente con respecto al electrodo periférico, limita el funcionamiento de medida en un régimen de descarga de corona negativo, que genera impulsos de corriente regulares contrariamente a un régimen de descarga de corona positivo para el cual el electrodo axial que comprende el pico está polarizado positivamente con respecto al electrodo periférico;

- la gama de medida es muy amplia. En especial es compatible con usos a bordo de aviones; y

- la detección de los impulsos de descarga eléctrica por inducción permite aislar eléctricamente un circuito de alimentación que produce la tensión a aplicar entre los dos electrodos de la sonda y el circuito de detección. Como resultado se produce una seguridad de funcionamiento para el dispositivo de medida de velocidad de flujo de gas, y también para los circuitos eléctricos externos.

En diversas realizaciones de un dispositivo de acuerdo con la invención, se pueden utilizar las configuraciones o perfeccionamientos siguientes, de forma separada o en combinación de varios entre los mismos:

- la parte descubierta del electrodo periférico puede poseer una forma anular alrededor de un eje de simetría del extremo descubierta del electrodo axial;

5 - la parte descubierta del electrodo periférico puede estar retirada con respecto al extremo descubierta del electrodo axial, con un sentido de retirada que es opuesto al extremo descubierta del electrodo axial; y

- el dispositivo puede comprender además una resistencia de balastro que se conecta en serie entre uno de los electrodos de la sonda y el borne de la fuente de alimentación que está conectado a este electrodo. Dicha resistencia de balastro puede disponerse de forma ventajosa en la sonda. En particular, la resistencia de balastro puede disponerse en la sonda alrededor de un extremo posterior del electrodo axial, opuesto a su extremo descubierta y estar en contacto eléctrico con una superficie periférica de este extremo posterior del electrodo axial. Dicha disposición se puede utilizar para formar un sistema antihielo o de deshielo de la sonda. Por ejemplo, cuando la resistencia de balastro está formada por un cilindro de material eléctricamente conductor, la sonda puede comprender además un tubo eléctricamente conductor que se dispone y se conecta eléctricamente para formar un condensador con el cilindro de la resistencia de balastro. Por tanto, una corriente eléctrica que circula en el condensador cuando la sonda se alimenta por la fuente de alimentación genera por efecto Joule en el cilindro de la resistencia de balastro, un calor adecuado para calentar el electrodo axial. Para dicha estructura de la sonda, la espira conductora puede además estar dispuesta en la sonda alrededor de una parte del electrodo axial que no está recubierta por el cilindro de la resistencia de balastro, estando aislada. Posiblemente, señales de impulsos eléctricos que se emiten desde esta espira se pueden amplificar o transformar antes de ser transmitidos hacia el exterior de la sonda, para asegurar una fiabilidad de esta transmisión.

Un segundo aspecto de la invención propone un procedimiento para medir una velocidad de un flujo de gas, que comprende las etapas siguientes:

/1/ proporcionar una sonda rígida, que comprende un electrodo axial que presenta un extremo descubierta con un radio de curvatura adaptado para producir un refuerzo de campo eléctrico por efecto de pico y que comprende un electrodo periférico que está aislado eléctricamente del electrodo axial y que posee una parte descubierta situada a distancia del electrodo axial;

/2/ colocar la sonda en el flujo de gas, de manera que el extremo descubierta del electrodo axial y la parte descubierta del electrodo periférico estén de forma simultánea en contacto con el gas; y

/3/ aplicar una tensión eléctrica entre el electrodo axial y el electrodo periférico de manera que se producen descargas eléctricas entre los dos electrodos a través del gas.

Según la invención, la tensión eléctrica que se aplica es una tensión eléctrica alterna, y el procedimiento comprende además las etapas siguientes:

/4/ detectar y contar impulsos eléctricos que se generan por inducción en al menos una espira conductora dispuesta alrededor de una conexión eléctrica utilizada para aplicar la tensión alterna a los electrodos o dispuesta alrededor del electrodo axial y que corresponde a descargas eléctricas a través del gas, de forma selectiva durante al menos una ventana de tiempo durante la cual un potencial eléctrico del electrodo axial es inferior a un potencial eléctrico del electrodo periférico; y

/5/ deducir un valor de la velocidad del flujo del gas a partir de un resultado de recuento de los impulsos eléctricos.

De forma preferible, el gas del flujo comprende al menos un compuesto que posee una electronegatividad importante, tal como el aire por ejemplo, para obtener una descarga de corona negativa que sea más estable a partir del electrodo axial durante alternancias negativas de la tensión de alimentación.

Con preferencia, la sonda se puede orientar con respecto al flujo de gas de manera que el extremo descubierta del electrodo axial esté girado hacia una dirección aguas arriba del flujo y que un eje de simetría de este extremo descubierta del electrodo axial este paralelo al flujo de gas.

También con preferencia, el recuento de impulsos eléctricos se puede seguir durante varias ventanas de tiempo sucesivas, siendo continua cada ventana de tiempo en una alternancia negativa del potencial eléctrico del electrodo axial con respecto al potencial eléctrico del electrodo periférico, de forma separada de cada otra ventana de tiempo.

Con más preferencia, se puede calcular una duración media entre dos impulsos eléctricos que son sucesivos en el interior de una misma ventana de tiempo o una frecuencia media de los impulsos eléctricos en el interior de una misma ventana de tiempo. Por tanto, el valor de la velocidad del flujo de gas puede deducirse de la duración media o de la frecuencia media.

Posiblemente, el cálculo de la velocidad del flujo de gas puede resultar de una fase de calibración y una fase de medida, denominada medida útil. En este caso, la velocidad del flujo de gas se puede calcular utilizando la fórmula $U = U_1 \cdot (N_0 - N) / (N_0 - N_1)$, donde N_0 es un primer número de impulsos eléctricos que se cuentan para una primera medida de calibración que se efectúa cuando la velocidad del flujo de gas es nula, N_1 es un segundo número de impulsos eléctricos que se cuentan para una segunda medida de calibración efectuada cuando la velocidad del flujo de gas no es nula e igual a U_1 , N es un tercer número de impulsos eléctricos que se cuentan para la medida útil y U es el valor de la velocidad del flujo de gas durante la medida útil. Por ello, la tensión eléctrica alterna que se aplica entre los dos electrodos de la sonda es idéntica para las dos medidas de calibración y para la medida útil.

Un procedimiento de acuerdo con un segundo aspecto de la invención se puede implementar utilizando un dispositivo que está de acuerdo con el primer aspecto. En particular, cuando este dispositivo comprende una resistencia de balastro en la sonda y un tubo para formar un condensador con la resistencia de balastro, una potencia de calentamiento que se disipa en la resistencia de balastro se puede ajustar modificando una frecuencia o una forma de tensión alterna que se produce por la sonda de alimentación. Por tanto, la fuente de alimentación posee las dos funciones de producción de la descarga de corona negativa por un lado, y antihielo o deshielo de la sonda por otro lado, para evitar que una capa de hielo eléctricamente aislante recubra el extremo descubierto del electrodo axial.

Finalmente, un procedimiento de acuerdo con la invención se puede implementar a bordo de una aeronave que se adapta para desplazarse con respecto al aire exterior a esta aeronave, formando el gas que fluye mencionado anteriormente. Para ello, la sonda se fija de forma rígida al aeronave de manera que se mantiene en el flujo de aire fuera del aeronave. En dicha aplicación, el electrodo periférico de la sonda puede conectarse eléctricamente de forma ventajosa a una masa del aeronave, de manera que un potencial eléctrico de este electrodo periférico sea constantemente igual a un potencial eléctrico de la masa del aeronave.

Descripción de las figuras

Otras particularidades y ventajas de la presente invención aparecerán en la descripción siguiente de ejemplos de realización no limitativos, con referencia los dibujos adjuntos, en los cuales:

- la figura 1 es un esquema de principio de un dispositivo de medida de acuerdo con la presente invención;

- la figura 1a es un aumento de una parte de la figura 1;

- las figuras 2a-2d son una serie de diagramas temporales para leer en combinación que ilustran un funcionamiento de un dispositivo de medida de acuerdo con la invención; y

- la figura 3 es una vista en sección de una sonda que está de acuerdo con un modo de realización preferido de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

Por razones de claridad, las dimensiones de los elementos que se representan en estas figuras no corresponden ni a dimensiones reales ni a relaciones de dimensiones reales. Además, las referencias idénticas que se indican en las figuras 1 y 3 designan elementos idénticos o que tienen funciones idénticas.

En la presente descripción, se entiende por descarga de corona negativa una ionización de un gas en las inmediaciones de un extremo del electrodo de radio de curvatura reducido, cuando una tensión negativa se aplica a este electrodo con respecto a un electrodo periférico. Los impulsos de corriente eléctrica que resultan de dicha descarga de corona negativa, cuando el gas es electronegativo, tal como el aire por ejemplo, se denominan impulsos de Trichel. Cada impulso dura algunas decenas de nanosegundos, con una amplitud de algunos miliamperios, y una frecuencia de repetición de los impulsos de algunas decenas de kilohercios. Cuando se aplica una tensión positiva al electrodo de radio de curvatura reducido con respecto al electrodo periférico, se obtiene una descarga de corona positiva, cuyas características son diferentes.

De acuerdo con la figura 1, una sonda S comprende un electrodo 1 axial y un electrodo 2 periférico. El electrodo 1 axial posee un eje A-A de simetría y se aloja en una carcasa 3 que es eléctricamente aislante. Un extremo 1P del electrodo 1 axial se descubre fuera de la carcasa 3 para estar en contacto con un gas externo a la sonda S. La figura 1a muestra un agrandamiento del extremo 1P descubierto del electrodo 1 axial. Este extremo 1P descubierto presenta una forma de pico paralelo al eje A-A con un radio R1 de curvatura que es inferior a 5 mm (milímetro, con preferencia inferior a 2 mm). El electrodo 1 axial es de un material eléctrico conductor, preferiblemente una aleación que es resistente a la abrasión y a la pulverización atómica cuando se expone a un plasma.

El electrodo 2 periférico puede poseer una forma anular que tenga también al eje A-A como eje de simetría. La misma se dispone a distancia del electrodo 1 axial, en especial radialmente con respecto al eje A-A. El electrodo 2 periférico también está constituido de un material que es eléctricamente conductor y posee una parte 2P descubierta

que está destinada a estar en contacto con el gas externo a la sonda S al mismo tiempo que el electrodo 1 axial. Para la configuración de la sonda S que se representa en la figura 1, el electrodo 2 periférico puede mantenerse en posición fija con respecto al electrodo 1 axial por al menos un brazo 3', que es conferido para perturbar poco o perturbar lo menos posible el flujo EC de gas externo alrededor de la sonda S, posiblemente tomando un pasaje de gas entre la carcasa 3 y el electrodo 2. El brazo 3' está concebido también para aislar eléctricamente el electrodo 2 periférico con respecto al electrodo 1 axial, a la vez que se permite conectar eléctricamente el electrodo 2 periférico a un borne de alimentación eléctrica de la sonda S, como se explica a continuación.

Por ejemplo, el electrodo 1 axial puede ser de tungsteno (W), de molibdeno (Mo) o de acero inoxidable y el electrodo periférico puede ser de acero inoxidable o una aleación de aluminio (Al).

Un circuito 4 de alimentación eléctrica permite aplicar una tensión eléctrica entre el electrodo 1 axial y el electrodo 2 periférico. El circuito 4 de alimentación comprende una fuente 5 de alimentación de tensión y de forma opcional una resistencia 6 de balastro. Un primer borne de salida de la fuente 5 de alimentación, referido como HT para alta tensión, se conecta al electrodo 1 axial y un segundo borne de salida de la fuente 5 de alimentación, referido como G, se conecta al electrodo 2 periférico. De forma preferible, el borne G se puede conectar a una masa de un soporte AV de la sonda S. En este caso, la sonda S se puede fijar rígidamente al soporte AV por medio de un mástil M y el soporte AV puede contener el circuito 4 de alimentación eléctrica. Para dicha configuración, una conexión 10 eléctrica conecta el electrodo 1 axial al borne HT de la fuente 5 de alimentación eléctrica a través del mástil M y el electrodo 2 periférico se conecta al borne G a través del brazo 3', la carcasa 3 aislante y el mástil M. Para una aplicación aeronáutica, el soporte AV de la sonda S puede ser una aeronave, por ejemplo un avión, y el gas del flujo EC es el aire circundante alrededor del avión. El objetivo de la sonda S es por tanto permitir medir la velocidad del flujo EC de aire con respecto al soporte AV. De forma preferible, la sonda S se orienta con respecto al flujo EC de manera que el eje A-A se disponga paralelamente al flujo, con el extremo 1P descubierto del electrodo 1 axial que se orienta hacia aguas arriba del flujo.

Por ejemplo, la resistencia 6 de balastro puede estar comprendida entre 1 megaohmio ($M\Omega$) y 100 $M\Omega$, por ejemplo algunas decenas de megaohmios.

En dicho sistema de dos electrodos donde el radio de curvatura de uno de los electrodos es más pequeño que el del otro electrodo, la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico entre los dos electrodos provoca una concentración de campo eléctrico en las proximidades de aquel de los electrodos que posee el radio de curvatura más pequeño. Al aumentar la diferencia absoluta de potencial eléctrico entre los dos electrodos, el campo eléctrico que se concentra delante del electrodo en el radio de curvatura más pequeño puede sobrepasar el umbral de degradación del gas. Una descarga eléctrica se produce por tanto a través del gas, durante la cual una avalancha electrónica va a ionizar los átomos y/o las moléculas del gas, y por tanto formar un plasma de cargas positivas, es decir, de cationes y de cargas negativas, es decir sobre todo electrones. Las propiedades de esta descarga eléctrica se determinan por la naturaleza del gas, incluidas su densidad, su temperatura, su composición química y la polaridad de la tensión eléctrica que se aplica entre los dos electrodos.

Cuando el gas es aire, la topología y el comportamiento de la descarga eléctrica son muy diferentes según la polaridad de la tensión eléctrica que se aplica. Cuando el electrodo en el radio de curvatura más pequeño es polarizado positivamente, se produce una descarga de corona positiva en forma de filamentos de plasma que se propagan a partir de este electrodo que posee el radio de curvatura más pequeño. Estos filamentos de plasma, que tienen distribuciones espacial y temporal aleatorias, producen impulsos eléctricos en el circuito cerrado de alimentación de los electrodos.

No obstante cuando el electrodo de radio de curvatura más pequeño se polariza negativamente con respecto al otro electrodo, se obtiene una descarga de corona negativa en forma de una serie regular o casi regular de impulsos eléctricos de Trichel. Cada impulso corresponde a la formación de especies iónicas en las inmediaciones del electrodo con radio de curvatura pequeño. La distribución temporal de estos impulsos es estrecha y está limitada por una frecuencia máxima. Cuando la tensión eléctrica que se aplica entre los dos electrodos está por debajo de un umbral inferior, los impulsos son irregulares. Cuando la tensión aplicada sobrepasa un umbral superior, aparece un régimen de descarga eléctrica casi continuo. No obstante entre estos dos umbrales inferior y superior, la frecuencia de los impulsos de descarga eléctrica a través del gas depende del valor de la tensión eléctrica que se aplica entre los dos electrodos, el gas incluyendo su valor de electronegatividad y de su tasa de humedad, de la velocidad EC de flujo de gas, del material del electrodo con el radio de curvatura más pequeño, de su geometría, incluyendo su radio de curvatura y su rugosidad superficial, y del campo eléctrico ambiente.

La formación de cada impulso de descarga eléctrica a través del gas se produce por avalancha electrónica iniciada en la zona en el que el campo eléctrico es máximo, es decir en las proximidades del electrodo que posee el radio de curvatura más pequeño. Dicha avalancha comienza por la formación de electrones semilla a nivel del pico del electrodo, por emisión con efecto de campo o por emisión secundaria que es provocada por el impacto de un catión en el electrodo. En una descarga de corona negativa, estos electrones son repelidos del electrodo que emana del mismo. Al mismo tiempo, se aceleran y entran en colisión con átomos o moléculas del gas. Una parte de estos electrones que tiene suficiente energía va a producir colisiones ionizantes que van a crear cada una un electrón

suplementario y un catión suplementario. Una multiplicación exponencial del número de electrones, denominada avalancha, se produce por tanto, a medida que los electrones se alejan con respecto al electrodo con radio de curvatura pequeño. Esta avalancha va a continuación a detenerse a causa de dos fenómenos. A medida que la nube de electrones se aleja del electrodo con radio de curvatura pequeño, el campo eléctrico que se crea por este electrodo disminuye, reduciendo por consiguiente la energía de los electrones en el momento de nuevas colisiones. Además, la formación de cargas eléctricas libres en el gas produce una pantalla electrostática que atenúa el campo eléctrico creado por el electrodo con radio de curvatura pequeño. El campo eléctrico al cual están sometidos los electrones va por tanto a hacerse demasiado reducido y los electrones se van a enlazar a átomos o moléculas del gas, en especial moléculas de oxígeno (O_2) en el caso del aire para formar aniones. Entonces, la formación de una nueva avalancha y por tanto de un nuevo impulso de descarga eléctrica sólo es posible de nuevo después de que los cationes y los aniones producidos por la descarga eléctrica anterior hayan sido recogidos por los dos electrones, gracias a una parte residual del campo eléctrico. Se conoce por tanto, en especial del documento "*Numerical studies of Trichel pulses in airflows*", de F.C. Deng, L.Y. Ye and K.C. Song, J. Phys. D. Appl. Phys., vol. 46, no. 42, p. 425202, Oct. 2013, que el flujo EC del gas modifica el tiempo que es necesario para dicha recogida de iones y por tanto modifica como consecuencia la frecuencia de repetición de las avalanchas, es decir la frecuencia de las descargas eléctricas que aparecerían entre los dos electrodos.

Además, se conoce también que las variaciones de la tensión eléctrica instantánea que existe entre los dos electrodos, las variaciones de corriente eléctrica inducida en los dos electrodos y las variaciones de la velocidad del flujo EC pueden provocar histéresis en la corriente media de descarga eléctrica.

Teniendo en cuenta estas observaciones, la presente invención propone utilizar:

- una tensión eléctrica alterna para polarizar los dos electrodos uno con respecto al otro, con el fin de suprimir eventuales histéresis que podrían perturbar las medidas gracias a la inversión regular del signo de esta tensión eléctrica; y

- limitar las medidas en el interior de periodos en los que el electrodo de radio de curvatura más pequeño está polarizado negativamente con respecto al otro electrodo, para beneficiarse de la regularidad superior y una descarga de corona negativa con respecto a una descarga de corona positiva.

En estas condiciones, aparecen impulsos de corriente eléctrica en el circuito 4 de alimentación eléctrica y por tanto en el electrodo 1 y la conexión 10 eléctrica, con una frecuencia de impulsos, o una duración media entre dos impulsos sucesivos, que depende de la velocidad del flujo EC. De forma más precisa, la duración entre dos impulsos sucesivos aumenta cuando la velocidad del flujo EC se hace más grande, si el pico 1P descubierto del electrodo 1 está orientado hacia aguas arriba del flujo EC.

Según una característica adicional de la invención, dichos impulsos son detectados por inducción, permitiendo evitar que una continuidad de una trayectoria eléctrica conecte el circuito 4 de alimentación eléctrica a un circuito que se utiliza para detectar la corriente de descarga de corona negativa. Dicho circuito 7 de detección comprende al menos una espira 8 conductora o posiblemente varias espiras en forma de una bobina de detección que rodea(n) la conexión 10 eléctrica y está (están) conectada(s) a un contador 9 de impulsos, referido como CONT. Por tanto es posible contar los impulsos eléctricos que son inducidos en la espira 8 por inducción por los impulsos de descarga eléctrica que circulan en la conexión 10 eléctrica. Por ejemplo, la espira 8 se puede realizar en forma de una bobina de Rogowski conocida por el experto en la técnica.

Con el fin de beneficiarse de las ventajas que han sido citadas anteriormente para una tensión eléctrica de polarización de los electrodos que es alterna y estas de la descarga de corona negativa, la dirección y el recuento de impulsos están limitados según la invención al interior de las ventanas de tiempo FN durante las cuales el potencial eléctrico del electrodo 1 es inferior al del electrodo 2 periférico. Por ello, las ventanas de tiempo FN están contenidas en periodos de tiempo en los que la tensión que se entrega por la fuente 5 es negativa. En la jerga del experto en la técnica, estos periodos de tiempo se denominan alternancias negativas de la tensión eléctrica alterna.

La figura 2a muestra las variaciones de la tensión eléctrica, referida como V_{HT} que se entrega por la fuente 5 en función del tiempo, referido como t. De forma preferible, estas variaciones pueden ser periódicas, pero pueden tener una forma cualquiera. Un valor de cresta de la tensión V_{HT} puede estar comprendido entre 1 kV (kilovoltio) y 20 kV y su frecuencia puede ser del orden de varias centenas de hercios cuando el gas de flujo EC es el aire. AN designa las alternancias negativas de la tensión V_{HT} .

La figura 2b muestra una señal posible para la activación del recuento de impulsos que son detectados por el circuito 7. Esta señal de activación, referida como ARM, permite el recuento de los impulsos en el interior de las ventanas de tiempo FN, que están a su vez contenidas en las alternancias AN negativas de la tensión V_{HT} . T_{FN} designa la duración de cada ventana de tiempo FN.

Durante cada alternancia positiva de la tensión V_{HT} , las cargas negativas y positivas residuales que se presentan delante del extremo 1P del electrodo 1 axial son neutralizadas. Ello permite poner en marcha una nueva ventana FN de recuento de impulsos sin carga parásita inicial.

La figura 2c es un ejemplo de distribución temporal de impulsos eléctricos que se detectan por el circuito 7, referidos como I. Estos impulsos I se producen tanto durante las alternancias positivas como las alternancias negativas de la tensión V_{HT} , pero sólo estas alternancias negativas tienen una regularidad suficiente para proporcionar una medida fiable de la velocidad del flujo EC. La figura 2c representa por ejemplo el valor absoluto de la tensión que existe entre los extremos de la espira 8 conductora y que se refiere como $V_{detección}$.

Finalmente, la figura 2d muestra la evolución de un resultado de recuento de los impulsos I, cuando se efectúa el recuento de forma continua durante dos alternancias negativas sucesivas de la tensión V_{HT} eléctrica. El resultado del recuento es leído después del fin de la última ventana de tiempo FN de la duración de recuento, y después un reinicio del recuento, referido como RAZ, se efectúa antes del inicio de una nueva ventana de tiempo FN para un nuevo recuento de impulsos.

De manera fenomenológica, la duración T media entre los impulsos sucesivos que se detectan es una función creciente de la velocidad U del flujo EC, cuando la sonda S se orienta hacia aguas arriba del flujo EC como se representa en la figura 1, de acuerdo con la relación siguiente: $T = \alpha / (\beta \cdot V_{HT} - U) = T_{FN} / N$, donde α y β son dos constantes positivas que dependen de la geometría de los electrodos 1 y 2, del gas y de la inclinación posible de la sonda S con respecto al flujo EC, y donde T_{FN} es todavía la duración de una ventana de tiempo FN y N es el número de impulsos I que se cuentan durante 1 ventana de tiempo FN. Para obtener resultados más precisos, es posible contar los impulsos I continuamente durante varias ventanas de tiempo FN sucesivas, como se representa en la figura 2d, y después dividir el resultado del recuento por el número de ventanas de tiempo FN del recuento total.

De manera general para la invención, cuando se utiliza dicha relación fenomenológica, las constantes α y β pueden determinarse utilizando una secuencia de calibración con el mismo gas que el de las medidas útiles para la misma orientación de la sonda S con respecto al flujo EC durante la secuencia de calibración que durante cada medida útil y para la misma tensión V_{HT} alterna que se produce por la fuente 5. Dicha secuencia de calibración puede comprender las dos medidas siguientes:

- durante una primera medida de calibración, la velocidad del flujo EC es nula ($U = 0$) y el número de impulsos contados es N_0 . Por tanto: $\alpha / (\beta \cdot V_{HT}) = T_{FN} / N_0$, y después

- durante una segunda medida de calibración, la velocidad del flujo EC no es nula, conocida e igual a U_1 y el número de impulsos contados es N_1 . Por tanto: $\alpha / (\beta \cdot V_{HT} - U_1) = T_{FN} / N_1$.

Por consiguiente, para una medida útil, la velocidad U del flujo EC es dada por la relación: $U = U_1 \cdot (N_0 - N) / (N_0 - N_1)$, donde N es el número de impulsos I que se cuentan para la medida útil. La secuencia de calibración se puede ejecutar una vez inicialmente o repetirse varias veces entre medidas útiles sucesivas cuando la velocidad U puede conocerse utilizando otros métodos. Dichos otros métodos pueden utilizar por ejemplo medidas GPS o un sensor embarcado que sea de un tipo diferente cuando el soporte AV es un avión, en especial una sonda de tipo Pitot.

La dinámica de medida de un dispositivo según la invención puede controlarse por la amplitud de la tensión V_{HT} alterna que se aplica entre los electrodos 1 y 2. De hecho, esta dinámica se controla por el número medio de impulsos I en cada ventana de tiempo FN, siendo la misma una función creciente de la tensión V_{HT} alterna. Por tanto es posible obtener una buena sensibilidad para valores reducidos de la velocidad U del flujo EC, por ejemplo del orden de una decena de metros por segundo así como para valores elevados de la velocidad U, por ejemplo del orden de varias centenas de metros por segundo.

Una ventaja suplementaria de la invención resulta de la naturaleza digital de la señal de medida que es adquirida por oposición a una medida analógica que puede ser sensible a perturbaciones electromagnéticas.

La figura 3 muestra una realización alternativa de un dispositivo de medida de velocidad de acuerdo con la invención. En esta realización, el electrodo 2 periférico se dispone sobre la superficie externa de la carcasa 3 aislante, retirado hacia la dirección aguas arriba del flujo EC del gas con respecto al extremo 1P del electrodo 1 axial.

La resistencia 6 de balastro puede estar alojada en una sonda S y estar formada por un cilindro de material de conducción eléctrica reducida que rodea una parte posterior del electrodo 1 axial opuesta a su extremo 1P descubierto. Este cilindro puede estar en contacto eléctrico con la parte posterior del electrodo 1 axial y puede en sí mismo estar conectado a partir de su extremo posterior a la conexión 10 eléctrica que proviene de la fuente 5. De forma ventajosa, el tubo 11 de material eléctricamente conductor puede disponerse alrededor del cilindro de la resistencia 6 de balastro con una capa 12 de material eléctricamente aislante que se interpone entre el cilindro de la resistencia 6 de balastro y el tubo 11. El tubo 11 está por tanto conectado eléctricamente a la masa G. De esta manera, el cilindro de la resistencia 6 de balastro y el tubo 11 forman un condensador cilíndrico. La corriente

- eléctrica que circula en el cilindro de la resistencia 6 de balastro y en este condensador cuando la sonda S es alimentada en tensión alterna por la fuente 5, produce calor por efecto Joule en el interior del cilindro de la resistencia 6 de balastro. Si el material eléctricamente aislante de la carcasa 3 es también térmicamente aislante, la configuración de la sonda S concentra en el electrodo 1 axial el calor que se produce en el cilindro de la resistencia 6 de balastro. Dicho calentamiento se puede utilizar para asegurar que no se forme hielo sobre el extremo 1P descubierto del electrodo 1 axial o para hacerlo fundir. La potencia de calentamiento del electrodo 1 por tanto se puede ajustar modificando la frecuencia o la forma de las variaciones temporales de la tensión V_{HT} alterna, en especial modificando la pendiente de los flancos ascendentes de esta tensión alterna sin modificar la duración de las ventanas de tiempo FN que están dedicadas al recuento de impulsos I. De hecho, la corriente que atraviesa el condensador formado por el cilindro de la resistencia 6 de balastro y por el tubo 11 se puede modificar de esta manera para variar la potencia de calentamiento del electrodo 1 axial. Dicho modo de calentamiento del electrodo 1 axial es independiente de la existencia y de la intensidad media de la corriente de descarga eléctrica que circula en el electrodo 1, a través del gas y en el electrodo 2. Por ejemplo, el material del cilindro de la resistencia 6 de balastro puede ser una resina conductora o grafito de carbono (C) y el tubo 11 puede ser una aleación de aluminio (Al) o de un metal conductor. La capa 12 intermedia puede estar constituida por un material polímero, tal como politetrafluoroetileno (PTFE), Mylar®, Kapton®, o estar hecho de un material cerámico aislante cuya tensión de ruptura es superior al valor absoluto máximo de la tensión V_{HT} , y la carcasa 3 puede ser de un material polímero o de cerámica.
- La espira 8 del circuito 7 de detección puede estar dispuesta alrededor del electrodo 1 axial en el interior de la carcasa 3 entre el extremo 1P descubierto del electrodo 1 axial y el extremo anterior del cilindro de la resistencia 6 de balastro. Gracias a dicha disposición, la detección de los impulsos de descarga eléctrica a través del gas no es perturbada por la corriente que se utiliza para calentar posiblemente el electrodo 1 axial.
- Una ventaja de dicho modo de realización es su compacidad. De hecho, la sonda S puede tener la forma de un cilindro de un diámetro de aproximadamente un centímetro y de varios centímetros de longitud.
- Se entiende que la invención puede reproducirse modificando aspectos secundarios de la misma con respecto a los modos de realización que han sido descritos en detalle anteriormente. En particular, el contador de impulsos del circuito de detección se puede realizar de múltiples formas incorporando o no un integrador. Además, se recuerda que la tensión eléctrica alterna que se aplica entre los dos electrodos no es necesariamente sinusoidal.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de medida de una velocidad de un flujo de gas, que comprende:

- una sonda (S) rígida destinada a colocarse en el flujo (EC) de gas, la sonda que comprende un electrodo (1) axial que presenta un extremo (1P) descubierto destinado a estar en contacto con el gas, teniendo dicho extremo descubierto un radio (R1) de curvatura adaptado para producir un refuerzo de campo eléctrico por efecto de pico y que comprende un electrodo (2) periférico que está aislado eléctricamente del electrodo axial y que posee una parte (2P) descubierta también destinada a estar en contacto con el gas, situada a distancia del electrodo axial; y

- una fuente (5) de alimentación de tensión eléctrica que tiene dos bornes (HT, G) de salida que están conectados eléctricamente uno al electrodo (1) axial y el otro al electrodo (2) periférico;

caracterizado por que la fuente (5) de alimentación produce una tensión eléctrica alterna (CA), y por que el dispositivo comprende además:

- un circuito (7) de detección que comprende al menos una espira (8) conductora dispuesta alrededor de una conexión (10) eléctrica que conecta uno de los electrodos (1, 2) de la sonda (S) a uno de los bornes de la fuente (5) de alimentación o dispuesto alrededor del electrodo (1) axial y que comprende un contador (9) dispuesto para contar los impulsos (I) eléctricos que se generan en la espira conductora por inducción, de forma selectiva durante al menos una ventana de tiempo (FN) durante la cual el potencial eléctrico del electrodo (1) axial es inferior a un potencial eléctrico del electrodo (2) periférico,

de manera que la sonda (S) se alimenta con la tensión eléctrica alterna (CA) por la fuente (5) de alimentación un número de impulsos (I) eléctricos que se cuentan por el circuito (7) de detección, correspondiente a un número de descargas eléctricas que aparecen entre el electrodo (1) axial y el electrodo (2) periférico a través del gas, constituye una medida de la velocidad del flujo (EC) del gas.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el cual la parte (2P) descubierta del electrodo (2) periférico posee una forma anular alrededor de un eje (A-A) de simetría del extremo (1P) descubierto del electrodo (1) axial.

3. Dispositivo según la reivindicación 1 o 2, en el cual la parte (2P) descubierta del electrodo (2) periférico está retirada con respecto al extremo (1P) descubierto del electrodo (1) axial, con un sentido de retirada que es opuesto a dicho extremo descubierto del electrodo axial.

4. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una resistencia (6) de balastro conectada en serie entre uno de los electrodos (1, 2) de la sonda (S) y el borne de la fuente (5) de alimentación que está conectado a dicho electrodo y la resistencia de balastro se dispone en la sonda.

5. Dispositivo según la reivindicación 4, en el cual la resistencia (6) de balastro se dispone en la sonda (S) alrededor del extremo posterior del electrodo (1) axial opuesto al extremo (1P) descubierto de dicho electrodo axial y que está en contacto eléctrico con una superficie periférica de dicho extremo posterior del electrodo axial.

6. Dispositivo según la reivindicación 5, en el cual la resistencia (6) de balastro está formada por un cilindro de material eléctricamente conductor y la sonda (S) comprende además un tubo (11) eléctricamente conductor que se dispone y se conecta eléctricamente para formar un condensador con el cilindro de la resistencia de balastro de manera que una corriente eléctrica que circula en el condensador cuando la sonda S es alimentada por la fuente (5) de alimentación genera por efecto Joule en el cilindro de la resistencia de balastro calor adecuado para calentar el electrodo (1) axial.

7. Dispositivo según la reivindicación 6, en el cual la espira (8) conductora se dispone en la sonda (S) alrededor de una parte del electrodo (1) axial que no está recubierta por el cilindro de la resistencia (6) de balastro estando aislada eléctricamente de dicho electrodo axial.

8. Procedimiento de medida de una velocidad de un flujo (EC) de gas, que comprende:

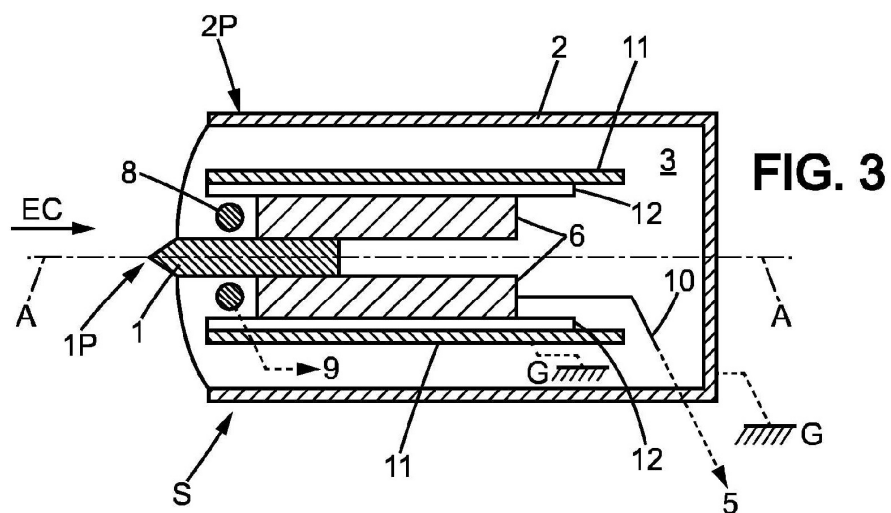
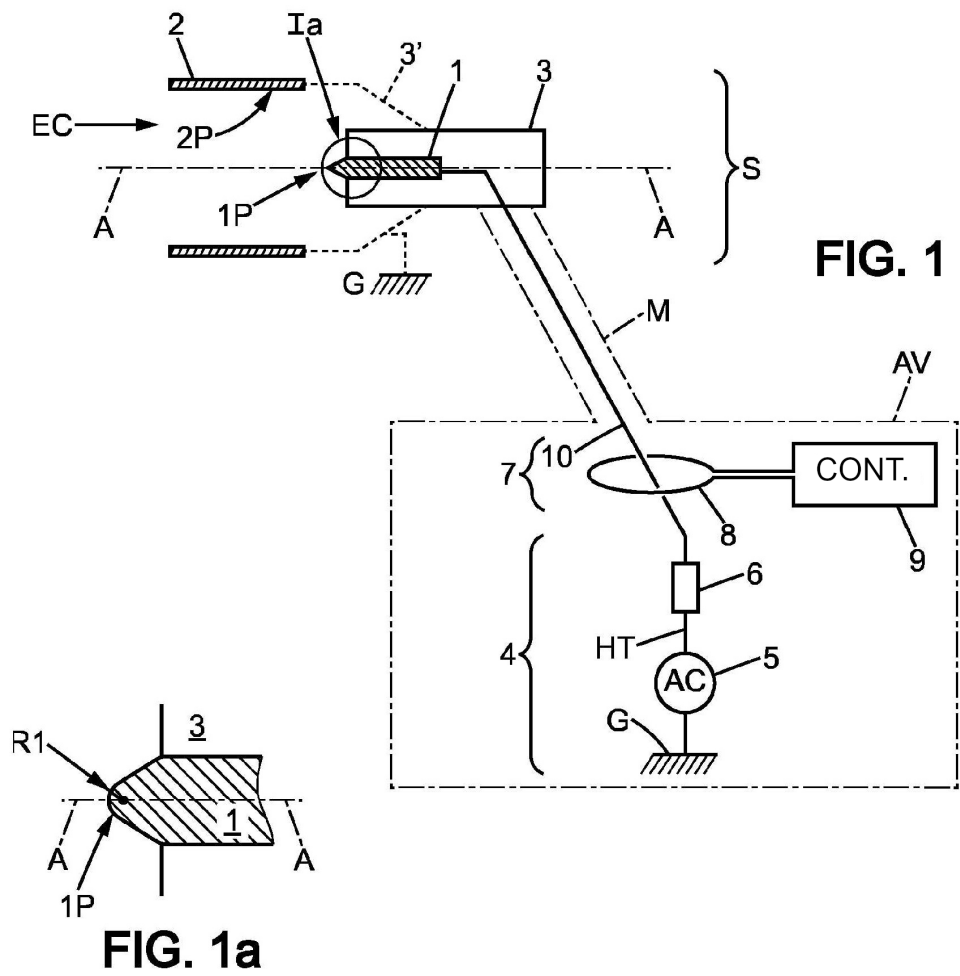
/1/ proporcionar una sonda (S) rígida, que comprende un electrodo (1) axial que presenta un extremo (1P) descubierto con un radio (R1) de curvatura adaptado para producir un refuerzo de campo eléctrico por efecto de pico y que comprende un electrodo (2) periférico que está aislado eléctricamente del electrodo axial y que posee una parte (2P) descubierta situada a distancia del electrodo axial;

/2/ colocar la sonda (S) en el flujo (EC) de gas, de manera que el extremo (1P) descubierto del electrodo (1) axial y la parte (2P) descubierta del electrodo (2) periférico estén de forma simultánea en contacto con el gas; y

/3/ aplicar una tensión eléctrica entre el electrodo (1) axial y el electrodo (2) periférico de manera que se producen descargas eléctricas entre los dos electrodos a través del gas.

caracterizado por que la tensión eléctrica que se aplica es una tensión eléctrica alterna (CA), y por que el procedimiento comprende además las etapas siguientes:

- 5 /4/ detectar y contar impulsos (I) eléctricos que se generan por inducción en al menos una espira (8) conductora dispuesta alrededor de una conexión (10) eléctrica utilizada para aplicar la tensión alterna (CA) a los electrodos (1, 2) o dispuesta alrededor del electrodo (1) axial y que corresponde a descargas eléctricas a través del gas, de forma selectiva durante al menos una ventana de tiempo (FN) durante la cual un potencial eléctrico del electrodo (1) axial es inferior a un potencial eléctrico del electrodo (2) periférico; y
- 10 /5/ deducir un valor de la velocidad del flujo (EC) del gas a partir de un resultado de recuento de los impulsos (I) eléctricos.
- 15 9. Procedimiento según la reivindicación 8, según la cual la sonda (S) se orienta con respecto al flujo (EC) de gas de manera que el extremo (1P) descubierto del electrodo (1) axial esté girado hacia una dirección aguas arriba del flujo y que un eje (A-A) de simetría de dicho extremo (1P) descubierto del electrodo (1) axial sea paralelo a dicho flujo de gas.
- 20 10. Procedimiento según la reivindicación 8 o 9, según el cual el recuento de los impulsos (I) eléctricos es perseguido durante varias ventanas de tiempo (FN) sucesivas, siendo continua cada ventana de tiempo en una alternancia negativa (AN) del potencial eléctrico del electrodo (1) axial con respecto al potencial eléctrico del electrodo (2) periférico, de forma separada de cada otra ventana de tiempo.
- 25 11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, según el cual se calcula la duración media entre dos impulsos (I) eléctricos que son sucesivos en el interior de una ventana de tiempo (FN) o una frecuencia media de los impulsos eléctricos en el interior de la ventana de tiempo y el valor de la velocidad del flujo (EC) del gas se deduce de la duración media o de la frecuencia media.
- 30 12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, según el cual la velocidad del flujo (EC) de gas se calcula utilizando la fórmula: $U = U_1 \cdot (N_0 - N) / (N_0 - N_1)$, donde N_0 es un primer número de impulsos (I) eléctricos que se cuentan para una primera medida de calibración que se efectúa cuando la velocidad del flujo de gas es nula, N_1 es un segundo número de impulsos eléctricos que se cuentan para una segunda medida de calibración efectuada cuando la velocidad del flujo de gas no es nula e igual a U_1 , N es un tercer número de impulsos eléctricos que se cuentan para la medida útil y U es el valor de la velocidad del flujo de gas durante la
- 35 medida útil, siendo idéntica la tensión eléctrica alterna (CA) aplicada entre los dos electrodos (1, 2) de la sonda (S) para la primera y segunda medidas de calibración y para la medida útil.
- 40 13. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, implementado utilizando un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, y según el cual una potencia de calentamiento que se disipa en la resistencia (6) de balastro se ajusta modificando una frecuencia o una forma de tensión eléctrica alterna (CA) que se produce por la fuente (5) de alimentación.
- 45 14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, implementado a bordo de una aeronave (AV) adaptada para desplazarse con respecto al aire exterior a dicha aeronave, estando fijada la sonda (S) de forma rígida al aeronave de manera que se mantiene en el flujo (EC) del aire fuera de dicha aeronave.
- 50 15. Procedimiento según la reivindicación 14, en el cual el electrodo (2) periférico de la sonda (S) está conectado eléctricamente a una masa (G) del aeronave (AV), de manera que un potencial eléctrico de dicho electrodo periférico sea constantemente igual a un potencial eléctrico de dicha masa del aeronave.



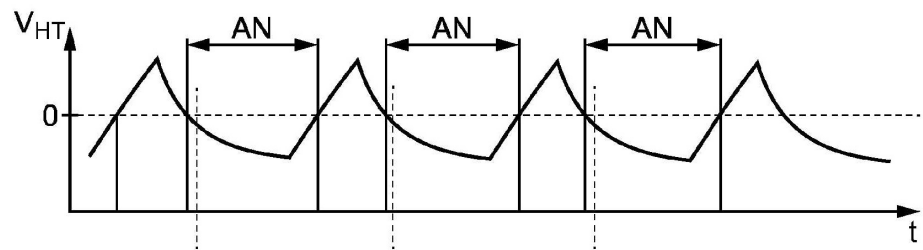


FIG. 2a

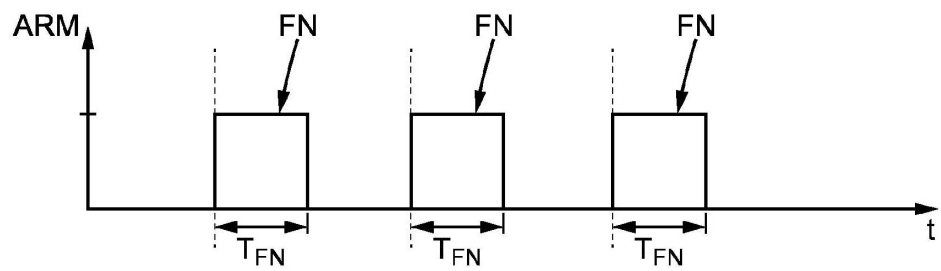


FIG. 2b

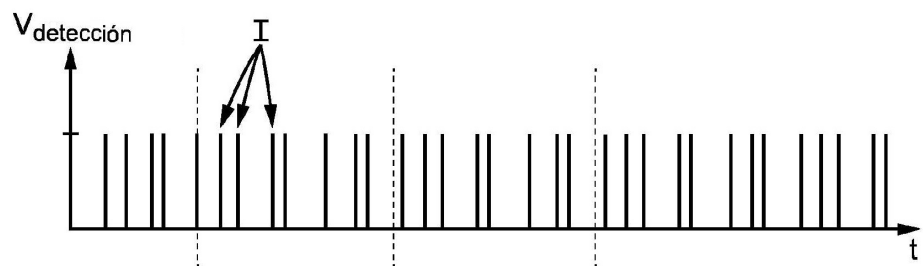


FIG. 2c

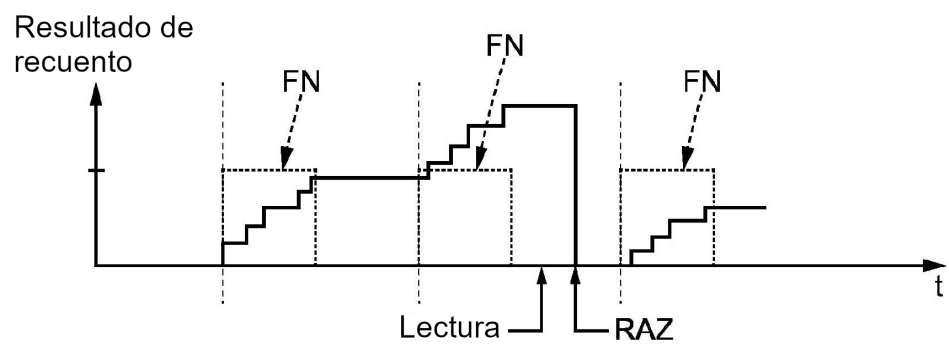


FIG. 2d