(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 689 911**

(51) Int. CI.:

H02K 11/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2008 E 08305567 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 2166649**

(54) Título: **Método y dispositivo para controlar el deterioro de los aislamientos de una máquina rotativa**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.11.2018

(73) Titular/es:

L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS GEORGES CLAUDE (100.0%)
Direction de la Propriété Intellectuelle 75, Quai d'Orsay
75007 Paris, FR

(72) Inventor/es:

FRIEDRICH, M. GÉRARD;
JAILLET, MARIE;
MOUREN-RENOUARD, EMILIE;
LAURENT, M. DAVID;
ODIC, EMMANUEL y
MINEUR, BERNARD

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

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

Método y dispositivo para controlar el deterioro de los aislamientos de una máquina rotativa

La presente invención se refiere a un método de mantenimiento preventivo de una máquina rotativa.

Los fabricantes y usuarios de máquinas rotativas a menudo se enfrentan a problemas de resistencia de los aislamientos presentes en el estator y el rotor (cuando se bobinan) de estos equipos. Estos crean condiciones favorables para la aparición de descargas eléctricas parciales en o cerca de los aislamientos y estas en contrapartida pueden contribuir al daño de los aislamientos. Todo esto puede provocar a la larga averías eléctricas que conducen a paradas de la explotación, penalizaciones o gastos indirectos, costes de rebobinado de estatores y rotores o incluso al remplazamiento parcial o total del material.

Hoy en día, existe un determinado número de soluciones para supervisar el fenómeno de las descargas parciales y/o el estado de los aislamientos. Podemos mencionar principalmente:

- la medición eléctrica de descargas parciales mediante acoplador capacitivo, que es el más común. Se basa en la medición de los transitorios de corriente en los bobinados debidos a las descargas parciales. En general, el método utiliza acopladores instalados en los motores, que van a medir la frecuencia y la carga correspondiente a estas corrientes transitorias. Este método permite evaluar el nivel de descargas parciales en los estatores de máquinas rotativas sin necesitar la parada de la máquina. Los datos obtenidos por este método necesitan una interpretación y, por lo tanto, un buen conocimiento de los fenómenos de descargas parciales. Solo da una estimación del número y la magnitud de las descargas parciales, pero ninguna indicación de su impacto en el aislamiento.

- la medición de dicha resistencia de aislamiento: esta medición se realiza a motor parado. Consiste en aplicar una tensión continua entre los devanados de los conductores y la masa metálica del estator o rotor y medir la resistencia del aislamiento eléctrico entre estos dos elementos.

Idealmente, esta resistencia es infinita, pero en la práctica no lo es. Cuanto menor sea la resistencia de aislamiento, más probable es que haya un problema de aislamiento. Esta medición no se puede realizar cuando el motor está en funcionamiento y resulta muy sensible a la temperatura.

- la medición del índice de polarización: se trata de una variante de la medición de la resistencia de aislamiento que consiste en calcular la relación entre la resistencia del aislamiento después de haber aplicado la tensión al aislamiento durante diez minutos y la resistencia obtenida después de un minuto. Un índice polarización débil generalmente indica una contaminación del aislamiento (aceite, grasa...). Esta medición es menos sensible a la temperatura que la medición de la resistencia del aislamiento.

- la prueba Hipot: consiste en aplicar a los devanados una fuerte tensión continua. Si existe un defecto en el aislamiento, ocasionará, debido a la tensión aplicada, una rotura del aislamiento en este punto. Esta prueba solo se puede realizar con el motor parado y puede ser destructiva.

- la detección de determinadas especies gaseosas creadas por la ionización del aire, consecuencia de las descargas corona o superficiales. Estos métodos afectan principalmente al ozono y a los NOx.

- la medición de la desviación de la ley de Ohm solo permite apreciar el estado del aislamiento en un momento dado y posiblemente detectar puntos débiles en la parte del bobinado exterior a las marcas. Esta medición necesita entre 1h30 y 2h30, una tensión igual al doble de la tensión nominal y solo se puede hacer con el motor parado.

Para juzgar la calidad del aislamiento, estos criterios por sí solos no son suficientes. La correcta interpretación de los resultados exige la consideración de otros datos.

- la medición de la tangente delta permite evaluar la regularidad de una calidad de aislamiento en el control de fabricación y poner en evidencia los problemas de compacidad del aislamiento. Para los motores de alta capacidad, se requieren importantes fuentes AT que no son adecuadas para la medición in situ. Esta medición solo se puede realizar con el motor parado. El tiempo de realización es importante y la temperatura del bobinado durante la medición es un factor importante.

- el criterio de Térase es una medición de la variación de capacidad en función de la aplicación de una tensión AT (alta tensión). Este criterio permite apreciar en los viejos tipos de aislamiento el estado dieléctrico del aislamiento y el grado de envejecimiento. Esta medición necesita una tensión igual al doble de la tensión nominal, necesita que el motor se detenga y solo es válida para los tipos anteriores de aislamiento de alta tensión (betún o goma laca).

Todos estos métodos presentan un determinado interés, sin embargo, necesitan bien la parada sistemática del motor o bien una interpretación delicada del fenómeno de descargas parciales en términos de impacto sobre los aislamientos. Esta interpretación resulta a menudo dudosa porque la caracterización de las descargas parciales solo está relacionada indirectamente con el estado de los aislamientos.

También se pueden citar otros métodos que permiten caracterizar las descargas parciales, pero que no parecen adaptados para el caso de las máquinas rotativas:

- La medición de la onda térmica, utilizando cargas espaciales atrapadas en el aislante procedentes de diferentes fenómenos (ionización, polarización...). El método consiste en aplicar una diferencia de temperatura, que induzca una corriente dependiente del campo eléctrico resultante de estas cargas espaciales. Por lo general, se aplica a los cables eléctricos aislados.

- la medición acústica, que detecta las emisiones ultrasónicas producidas durante las descargas. El método está adaptado en particular para los transformadores.

Un objetivo de la presente invención es paliar la totalidad o parte de los inconvenientes de la técnica anterior indicados anteriormente.

La invención consiste en primer lugar en un método según la reivindicación 1.

De acuerdo con la invención, la máquina rotativa en cuestión puede ser también tanto un aparato consumidor de electricidad que produzca una energía mecánica en forma de un par ejercido por el rotor, como un aparato que genere energía eléctrica a partir de la energía mecánica transmitida a su rotor. Los aparatos en cuestión funcionan lo más a menudo a una tensión de al menos 3 kV. El rotor y el estator generalmente están recubiertos con un material aislante cuyo deterioro se debe controlar.

La máquina rotativa se encuentra ella misma en una carcasa protectora, por ejemplo, un cárter. Esta carcasa generalmente presenta algunas aberturas para dejar pasar, principalmente, los cables eléctricos, el gas…, estas son de cualquier forma tales que los gases presentes alrededor del rotor y el estator no se mezclen, o poco, con la atmósfera fuera del recinto. La atmósfera interna de la máquina rotatoria generalmente se refrigera, ya sea mediante escotillas de ventilación, o mediante un sistema más sofisticado que puede incluir medios para poner en movimiento esta atmósfera y un intercambiador de calor por el que circulen los gases que constituyen esta atmósfera.

Los inventores han observado que esta atmósfera presenta una composición específica, que consta no solo de las especies gaseosas resultantes de la ionización del aire, sino también en determinados momentos de monóxido de carbono en cantidad detectable. Establecieron además que esta cantidad de CO varía de una manera que se puede correlacionar con el estado de degradación de los aislamientos de una manera más relevante que mediante la utilización de las cantidades de las especies resultantes de la ionización del aire. En particular, han puesto en evidencia que la cantidad de CO aumenta significativamente antes del fallo de los aislamientos. Esto se describirá con más precisión a continuación con referencia a la FIG. 2.

Para llevar a cabo la etapa (a) de medición de CO, los detectores de CO se pueden disponer en cualquier lugar en o en contacto con los gases que forman o salen de dicha atmósfera interna. También se pueden ubicar alrededor de los gases, si la medición no se realiza por contacto. Se disponen en función de su geometría, su funcionamiento respectivo (electroquímico, radiactivo...), para obtener, preferiblemente de forma continua, simultáneamente o no, uno o más valores de concentración de CO en diferentes puntos o zonas y no impedir el buen funcionamiento de la máquina rotativa.

En la etapa (b), se prepara la posible utilización de estos resultados visualizándolos, por ejemplo, en una pantalla cerca de la máquina rotativa o en una sala de control, o señalizándolos, por ejemplo, mediante una o más señales sonoras correspondientes a eventos predefinidos, y/o incluso grabándolos pensando en un procesamiento remoto y/o posterior.

De acuerdo con una forma de realización particular, la invención puede incluir una u otra de las siguientes características:

- dichas mediciones se realizan utilizando uno o varios detectores situados ya sea:

- en cualquier lugar en el entrehierro de dicha máquina rotativa o en su estator,

- en cualquier lugar de la pared interna de dicha carcasa o bien a nivel de una escotilla de dicha carcasa,

- en la pared o dentro del posible sistema de refrigeración de dicha máquina rotativa,

- en cualquier parte de un sistema de bombeo que extraiga una parte de la atmósfera interna de dicha máquina rotativa.

Se verá en efecto en la descripción posterior, en particular en la FIG. 2, que la medición del CO se puede asociar de forma ventajosa con las del NO_2 y/o del ozono. Estas se realizan de manera similar a las del CO. Los detectores que miden estas nuevas especies pueden ser nuevos detectores, distintos de los que miden el CO, o bien los mismos. Por lo tanto, hablamos de detectores de "múltiples especies", capaces de medir simultáneamente o sucesivamente la concentración de varias de las especies gaseosas consideradas.

Los lugares favorables para la medición están principalmente en el entrehierro de la máquina, es decir, entre el rotor y el estator, bien dentro de este entrehierro o bien directamente en el estator. Los detectores también se pueden colocar en la pared interna de la carcasa o cerca, en el eventual sistema de refrigeración de la máquina rotativa o en una bomba dedicada que aspire una parte de los gases que forman la atmósfera interna de la máquina rotativa. La ventaja de estas dos últimas posibilidades es proporcionar una mezcla gaseosa cercana a la composición promedio de la atmósfera interna. La medición ya no es local, sino que concierne a toda la atmósfera interna. También se podrán utilizar de forma ventajosa detectores que ya realicen por si mismos un promedio de concentraciones, por ejemplo, mediante el uso de técnicas ópticas o espectroscópicas. Por lo tanto, se puede obtener una medición representativa del promedio de las concentraciones en una trayectoria óptica que pase, por ejemplo, por el entrehierro.

En este nuevo aspecto de la invención, se utiliza el método de control definido previamente como la primera etapa de un método de mantenimiento preventivo de la máquina rotativa. Una vez que las mediciones citadas anteriormente se hayan recogido, se analizan, en una segunda etapa, a lo largo del tiempo con el objetivo de detectar un cambio en las concentraciones de las especies gaseosas citadas anteriormente y/o en su velocidad de evolución y/o cualquier combinación de estos criterios, siendo dicho cambio un signo de deterioro de un aislante. El criterio decisivo es un aumento en la concentración concomitante de CO con un estancamiento o una disminución en la concentración de NO_2 y/o en la concentración de O_3.

El análisis puede presentar un carácter relativo ya que las cantidades medidas pueden depender de las especificidades de la máquina rotativa considerada, del lugar de la medición, del grado de mezcla de gases o incluso de la técnica de medición. Se puede prescindir de este carácter relativo introduciendo una etapa de calibración antes del análisis, con el fin de adaptar los criterios de análisis, en particular los umbrales de concentración o de la velocidad de aumento de las concentraciones. También se pueden favorecer los criterios de análisis no relativos, tales como un aumento significativo con respecto a los valores anteriores, o bien un fuerte aumento en una de las especies no correlacionado con un aumento en otra especie.

Otros datos recopilados mediante otros métodos se pueden unir para completar esta imagen

El resultado del análisis es detener o no la máquina rotativa para una inspección más detallada, posiblemente seguida de una operación de mantenimiento efectivo en la máquina Por lo tanto, se puede ver que el método permite limitar el número de paradas innecesarias de la máquina rotativa y evitar averías que puedan conducir hasta la destrucción del estator y el rotor.

En particular, la acción de mantenimiento puede comprender las siguientes etapas:

(iii-a) una parada de dicha máquina rotativa,

(iii-b) una inspección visual y/o una o más pruebas del estado de los aislamientos de esta máquina (por ejemplo, la medición de la resistencia de aislamiento o del índice de polarización), y/o

(iii-c) una posible intervención en la máquina rotativa.

De acuerdo con una forma de realización particular de los métodos anteriores, dicha máquina rotativa es:

- o un motor eléctrico que acciona un compresor de gases industriales, en particular de aire, de oxígeno, de nitrógeno, de argón, de hidrógeno, de monóxido o dióxido de carbono, de gas de síntesis,

- o bien un generador eléctrico que forma parte de una unidad de cogeneración de electricidad y de un fluido caliente, por ejemplo vapor de agua, o de un ciclo combinado,

- o un motor eléctrico que acciona una bomba, en particular una bomba de agua.

Esta forma de realización afecta a las máquinas rotativas principales utilizadas en el campo de los gases industriales, motores de compresores, generadores de electricidad y bombas, particularmente de agua, para las cuales es importante minimizar las interrupciones de funcionamiento. Hoy en día, las paradas programadas de mantenimiento para estas máquinas se espacian cada vez más. Cada vez es más útil poder detectar cualquier deterioro anormal de los aislamientos de estas máquinas durante los intervalos de tiempo ampliados entre las paradas programadas.

Otras particularidades y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto con la lectura de la siguiente descripción, hecha con referencia a las figuras, en las que:

- la FIG. 1 muestra una máquina rotativa equipada con un dispositivo de acuerdo con la invención,

- la FIG. 2 muestra un gráfico que ilustra la relación entre las concentraciones de CO, NO_2 y O_3 medidas en la proximidad de un aislante sometido a una tensión creciente.

En la FIG. 1 se muestra esquemáticamente un dispositivo que utiliza, sin limitación, el método de control de acuerdo con la invención, que es también la base de un método de mantenimiento preventivo.

La máquina rotativa se sitúa en una carcasa o cárter 1. Dicha carcasa define una atmósfera interna en la que se sitúa un estator 2 y un rotor 3. Entre estos dos elementos se sitúa un espacio llamado "entrehierro". La máquina rotativa se dota además con:

- de un sistema de refrigeración 5 de su atmósfera interna, que funciona mediante intercambio de calor de los gases que constituyen dicha atmósfera interna con una fuente fría (no mostrada),

- de una bomba 4 que permite aspirar una parte de dicha atmósfera interna.

En o en contacto con los gases que forman esta atmósfera interna, tenemos los detectores 6 que se utilizan para medir la concentración de CO. Todos estos detectores también miden la concentración de NO_2 y O_3. Estos detectores son de óxido semiconductor. Esta tecnología permite, en particular, una miniaturización de los detectores (aproximadamente 1 cm de diámetro y 1 cm de altura). Además, funciona correctamente a alta temperatura, hasta más de 80 °C. Se podrían utilizar otros tipos de detectores, por ejemplo, basados en técnicas espectroscópicas, principalmente para obtener una mejor selectividad química de los detectores. En la FIG. 1, cada detector presenta tres resistencias eléctricas, cada una ligada a la concentración de una de dichas especies gaseosas mediante una simple función matemática. En este ejemplo, por tanto son detectores de tres especies.

Uno de los detectores 6a se sitúa en el entrehierro de dicha máquina rotativa en el estator 2. Un detector 6b se sitúa contra la pared interna de la carcasa 1; un detector 6c se encuentra cerca de la carcasa 1 y en el entrehierro de dicha máquina rotativa; un detector 6d está contra la pared interna del sistema de refrigeración 5 que ve los gases pasar desde la atmósfera interna de dicha máquina rotativa. Un detector 6e está dentro de dicho sistema de refrigeración 5, en el paso de los gases que proceden de dicha máquina rotativa. Un detector 6f está en dicha bomba 4 que extrae una parte de los gases que forman la atmósfera interna de dicha máquina rotativa.

Estos detectores están conectados eléctricamente a tarjetas electrónicas 7 que transforman las tres resistencias de cada detector 6a a 6f en otras tantas señales analógicas, por ejemplo tensiones, por medio de puentes de resistencia. Estas tarjetas 7 también garantizan funciones convencionales de filtrado y estabilización de estas señales. Las señales analógicas producidas por las tarjetas 7 se envían a uno o más módulos de adquisición 8 y de grabación posiblemente en forma digital. Estos datos digitales se materializan a continuación mediante el dispositivo 9, por ejemplo en una pantalla, y se envían por SMS para un procesamiento remoto.

La máquina rotativa mostrada puede ser un motor de compresor de gas industrial, por ejemplo aire, o un generador de electricidad, por ejemplo acoplado a una turbina de gas, o incluso un motor de bomba de agua industrial.

Los resultados visualizados o enviados a continuación se analizaron eventualmente de acuerdo con el método de mantenimiento preventivo descrito anteriormente.

Con referencia a la FIG. 2, ahora mostraremos la relevancia de las mediciones en las que se basa la invención.

Los inventores han realizado en efecto numerosos experimentos para caracterizar las especies gaseosas que aparecen como resultado de las descargas parciales en las proximidades o dentro de diferentes tipos de aislamientos, así como los tipos de detectores más adecuados para detectarlos.

El gráfico de la FIG. 2 resume los resultados de uno de estos experimentos en el que:

- se somete a un material, a priori aislante, en este caso un disco de resina epoxi de 1 mm de espesor, a descargas eléctricas en geometría punta-plano sobre una barrera eléctrica,

- la tensión utilizada para provocar las descargas se aumenta gradualmente, lo que aumenta gradualmente la potencia de las descargas, hasta la rotura del aislante, es decir, un deterioro irreversible del material dieléctrico, prácticamente eliminando su poder aislante,

- las especies estables gaseosas formadas durante las descargas se recogen en un flujo de aire limpio con humedad controlada,

- se miden por diferentes medios, por un lado los detectores de concentraciones de O_3, NO_2 y CO anteriores y, por otro lado, un espectrofotómetro de absorción del UV-visible o infrarrojo por transformada de Fourier, a modo de medición de muestra,

- todos estos detectores se colocan en o en contacto con el aire húmedo corriente abajo de las descargas eléctricas.

En la FIG. 2, el eje de abscisas representa la tensión U a la que está sometido el aislamiento a probar. Los valores son adimensionales y van hasta la tensión de rotura, simbolizada por un rayo en el valor 18. El eje de ordenadas en el lado izquierdo representa las concentraciones de O_3 y CO, mientras que el eje en el lado derecho (o eje

secundario) muestra la concentración de NO_2. Las concentraciones se representan en ppm (partes por millón), es decir, en fracción de volumen.

En este sistema de ejes, las tres curvas representan las concentraciones de CO, NO_2 y O_3 en función de la potencia de la descarga aplicada al aislamiento, desde cero hasta la tensión de rotura. El gráfico se ha dividido en cuatro zonas, representadas por bloques de líneas de puntos numerados del 1 al 4.

En un primer momento, las concentraciones de estas tres especies gaseosas permanecen muy débiles (zona 1). Luego, que la potencia de descarga aumenta, aparece el ozono, así como el monóxido de carbono en una cantidad muy pequeña (zona 2). Cuando la potencia de las descargas ha aumentado lo suficiente, la concentración de ozono cae, mientras que se forma un punto máximo de concentración de NO_2 y aumenta la concentración de monóxido de carbono (zona 3). Poco antes de la rotura, la concentración de NO_2 disminuye a su vez y aparece un punto máximo de concentración de monóxido de carbono (zona 4).

Así, al multiplicar este tipo de experimentos, los inventores han podido demostrar que el aumento de la concentración de monóxido de carbono permite anticipar de forma extremadamente acertada la rotura de los dieléctricos, en particular si este aumento no va acompañado de un aumento en la concentración de NO_2 y/o O_3.

A la luz de la descripción y explicaciones anteriores, se entiende que las principales ventajas de la invención son:

- completar las mediciones eléctricas comúnmente utilizadas y garantizar la fiabilidad del diagnóstico del estado de los aislamientos,

- disponer de un método general aplicable a todos los tipos de aislamientos y a cualquier tipo de máquina rotativa,

- limitar el número de paradas para la inspección y el número de averías de las máquinas rotativas,

- poder basarse en dispositivos de control poco onerosos, en la medición o en los detectores de CO, NO_2 y/o O_3 que son relativamente baratos,

- proporcionar resultados de medición que se interpreten fácilmente en términos de predominio, aparición y desaparición de especies gaseosas.

REIVINDICACIONES

1. Método para el mantenimiento preventivo de una máquina rotativa, que comprende al menos un rotor (3) y un estator (2) colocados en una carcasa (1) que define una atmósfera interna, y de manera opcional un sistema de refrigeración (5) de esta atmósfera que comprende las siguientes etapas:

(i) el control del deterioro de los aislamientos de dicha máquina rotativa mediante:

(a) la medición de la o las concentraciones de CO (monóxido de carbono) y también de NO_2 y/o O_3 en uno o más lugares cualesquiera situados en o en contacto con los gases que forman la atmósfera interna de dicha máquina rotativa, y

(b) la visualización, señalización y/o grabación de los resultados de dicha medición (7, 8, 9);

(ii) un análisis de los resultados de medición procedentes de dicho control, y la detección de un aumento significativo en la concentración de CO si las concentraciones de O_3 y/o NO_2 no aumentan simultáneamente, y

(iii) una acción de mantenimiento decidida sobre una base que integre al menos el análisis realizado en la etapa (ii).

2. Método según se define en la reivindicación 1, caracterizado por que dichas mediciones se llevan a cabo con la ayuda de uno o más detectores (6) colocados ya sea:

- en un lugar cualquiera (6a, 6c) en el entrehierro de dicha máquina rotativa o en su estator,

- en un lugar cualquiera (6b) de la pared interna de dicha carcasa (1) o bien a nivel de una escotilla de dicho recinto,

- en la pared (6d) o dentro (6e) del posible sistema de refrigeración (5) de dicha máquina rotativa,

- en un lugar cualquiera de un sistema de bombeo (4) que extraiga una parte de la atmósfera interna de dicha máquina rotativa.

3. Método según se define en la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la acción de mantenimiento comprende las siguientes etapas:

(iii-a) una parada de dicha máquina rotativa,

(iii-b) una inspección visual y/o una o más pruebas del estado de los aislamientos de esta máquina (por ejemplo, la medición de la resistencia de aislamiento o del índice de polarización), y/o

(iii-c) una posible intervención en la máquina rotativa.

4. Método según se define en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que dicha máquina rotativa es:

- bien un motor eléctrico que acciona un compresor de gas industrial, en particular de aire, de oxígeno, de nitrógeno, de argón, de hidrógeno, de monóxido o de dióxido de carbono, de gas de síntesis,

- o bien un generador de electricidad que forma parte de una unidad de cogeneración de electricidad y de un fluido caliente, por ejemplo, de vapor de agua, o de un ciclo combinado,

- o bien un motor eléctrico que acciona una bomba, en particular una bomba de agua.

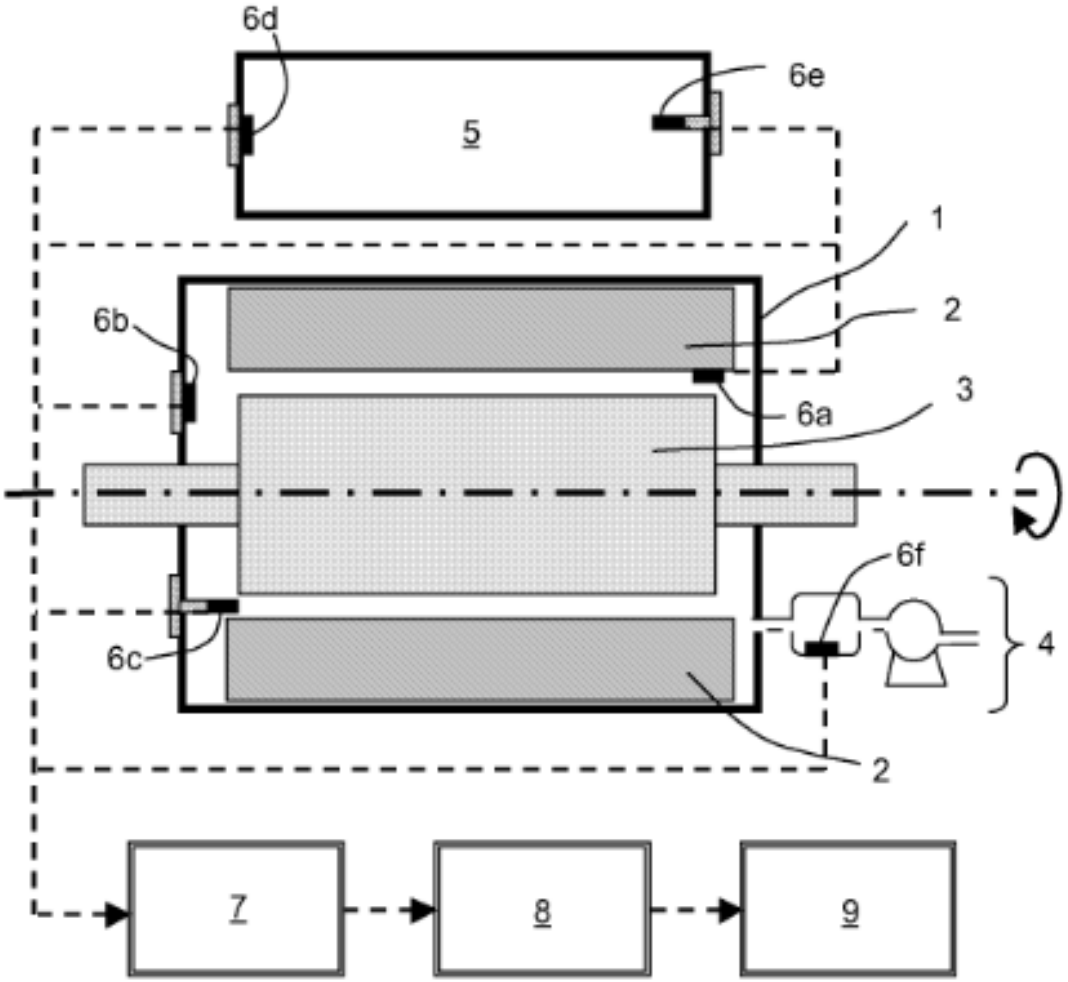


FIG. 1

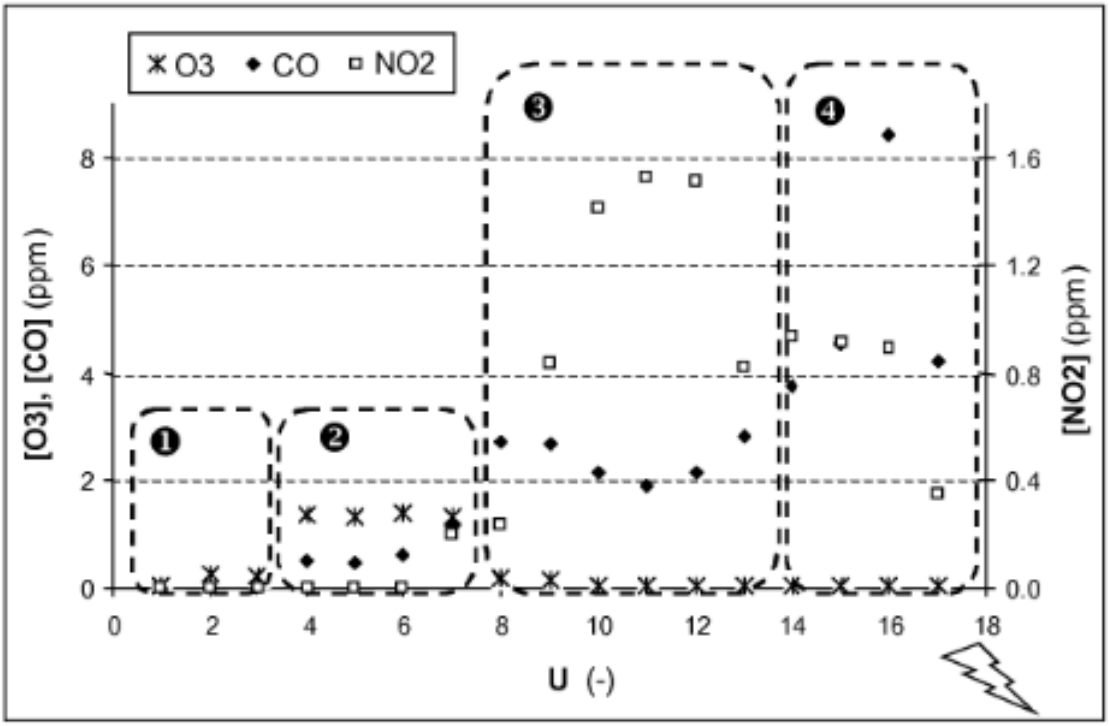

O3
CO
NO2
1
2
3
4
[O3], [CO] (ppm)
[NO2] (ppm)
U (-)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
0.0
0.4
0.8
1.2
1.6

FIG. 2