

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 229**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 80/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.06.2016 E 16001235 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.08.2018 EP 3106657**

54 Título: **Sistema pararrayos para palas de aerogenerador don un área efectiva de inyección en laminados de fibra de carbono y una distribución equilibrada de una intensidad y el oltaje de las corrientes de rayo entre distintos caminos conductores**

30 Prioridad:

17.06.2015 ES 201500449

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

19.12.2018

73 Titular/es:

GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY, S.L.

(100.0%)

Avenida Ciudad de la Innovación 9-11

' % &%Sarriguren, ES

72 Inventor/es:

MARCH NOMEN, VICTOR y

MONTANYÁ PUIG, JOAN

ES 2 694 229 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

SISTEMA PARARRAYOS PARA PALAS DE AEROGENERADOR CON UN ÁREA EFECTIVA DE INYECCIÓN EN LAMINADOS DE FIBRA DE CARBONO Y UNA DISTRIBUCIÓN EQUILIBRADA DE LA INTENSIDAD Y EL VOLTAJE DE LAS CORRIENTES DE RAYO ENTRE DISTINTOS CAMINOS CONDUCTORES

CAMPO DE LA INVENCION

La invención se refiere al control de la inyección de corrientes de rayo en laminados de carbono para evitar sobre-intensidades locales y a la distribución de intensidades y voltajes de las corrientes de rayo entre diferentes caminos conductores en sistemas pararrayos para palas de aerogeneradores.

ANTECEDENTES

El sistema pararrayos de las palas de aerogeneradores comprende usualmente disposiciones de recepción de rayos que tienen un receptor metálico externo y un bloque interno eléctricamente conductor conectado a un conductor de bajada de una disposición de tierra del aerogenerador. Una vez capturadas corrientes de rayo por el elemento receptor deben ser transmitidas al bloque interno eléctricamente conductor que conecta al elemento receptor con el conductor de bajada.

La evolución en el desarrollo de aerogeneradores hacia mayores producciones de energía ha conducido a aerogeneradores más grandes tanto en altura de la torre como en el diámetro de rotor.

Como un aumento de la longitud de la pala implica un incremento de su rigidez se necesitan palas que incorporen laminados de fibra de carbono. Como los laminados de fibra de carbono son conductores deben estar conectados en paralelo con el conductor de bajada para evitar que se generen arcos internos entre el conductor de bajada y los laminados de fibra de carbono y para que no se produzcan impactos directos de rayos en ellos.

WO 2006/051147 A1 describe un sistema pararrayos que incluye medios de equipotencialización de los laminados de fibra de carbono con el conductor de bajada que incluyen cables auxiliares para conectar directamente el conductor de bajada con los laminados de fibra de carbono. Estos cables auxiliares están conectados mediante unión atomillada a una pletina metálica en contacto directo con las capas de fibra de carbono. La conexión eléctrica puede mejorarse mediante el empleo de resinas conductoras adicionadas en la zona de unión.

Si la pala de aerogenerador tiene, por ejemplo, un laminado de fibra de carbono, el sistema pararrayos se convierte en un circuito con dos ramas en paralelo: una rama formada por el conductor de bajada, de baja resistencia y alta inductancia, y otra rama formada por el laminado de fibra de carbono que tiene alta resistencia y baja inductancia. Cuando un rayo impacta en uno de los elementos receptores, el sistema pararrayos debe evacuar la corriente del rayo, cuya forma de onda está caracterizada por tener una primera fase en la que la corriente sube de forma súbita, seguida de una segunda fase donde la corriente desciende de forma más lenta. Cuando esta corriente se inyecta al circuito formado por el laminado de fibra de carbono conectado en paralelo al conductor de bajada, la corriente se distribuye de la siguiente forma:

- Durante la fase de subida, la mayor parte de la corriente se transmite por el conductor de menos inductancia (el laminado de fibra de carbono).

- Durante la fase de bajada gradual, la mayor parte de la corriente se transmite por el conductor de menos resistencia (el conductor de bajada).

Con la distribución de corriente descrita, el laminado de fibra de carbono soporta un gran pico de corriente al comienzo de la descarga. Por otro lado, conforme el tamaño de las palas aumenta, la inductancia de los laminados de fibra de carbono (de mayor anchura y espesor) se reduce, lo que provoca que la fracción de la corriente que se conduce por el laminado de fibra de carbono sea mayor lo que supone un problema ya que los laminados de fibra de carbono contienen resinas que se degeneran a temperaturas entre 100°C y 200°C.

Para solucionar ese problema ES 2 396 839 A1 describe el uso de un dispositivo de elevada inductancia colocado en la conexión entre un laminado de fibra de carbono y un conductor de bajada para reducir el paso de corriente a

través del laminado de fibra de carbono y favorecer su conducción a través del conductor de bajada.

US2013/149153 describe una pala de aerogenerador, que tiene un área del extremo de la punta y un área en el extremo de la raíz, un sistema pararrayos, dicho sistema pararrayos comprende al menos una lámina de metal.

US2011/267027 describe un método para determinar un impacto de rayo, clasificación y ubicación.

Un problema del sistema pararrayos de palas de aerogenerador con laminados de fibra de carbono es que la inyección local de corrientes de rayo en laminados de fibra de carbono puede no estar distribuida adecuadamente y produce daños en el área de inyección. Ello es debido a la naturaleza transitoria del impacto de rayo así como a las diferencias de conductividades de los materiales lo que reduce el área efectiva de inyección de corrientes de rayo de la conexión.

Otro problema es que la distribución de la intensidad y el voltaje de las corrientes de rayo entre los conductores de bajada y los laminados de fibra de carbono pueden no estar equilibrada debido a las variaciones de los valores reales de la impedancia de los laminados de fibra de carbono utilizados en una pala de aerogenerador con respecto a los valores esperados cuando se diseña el sistema pararrayos.

Esta invención está dirigida a la solución de esos problemas.

RESUMEN DE LA INVENCION

La invención proporciona un sistema pararrayos para una pala de aerogenerador que comprende al menos un receptor de rayo conectado a uno o más conductores de bajada de la disposición de tierra de la pala de aerogenerador y uno o dos laminados de fibra de carbono. Los conductores de bajada están equipotencializados con los laminados de fibra de carbono mediante cables auxiliares que están conectados a placas conductoras embebidas en los laminados de fibra de carbono en varios puntos a lo largo de la pala de aerogenerador. El sistema pararrayos comprende además al menos

un área local de inyección de corrientes de rayo en los laminados de fibra de carbono asociada a un cable auxiliar que tiene uno o más caminos conductores paralelos adicionales que comprenden cables secundarios derivados de dicho cable auxiliar y conectados a dispositivos conductores embebidos en los laminados de fibra de carbono que están configurados para evitar sobrintensidades en los laminados de fibra de carbono.

Las configuraciones de dichos caminos conductores paralelos adicionales incluyen varios medios para controlar la corriente inyectada por cada uno de ellos en los laminados de fibra de carbono tales como resistencias en los cables secundarios, la colocación de los caminos conductores a una distancia dada entre ellos, el uso de cables secundarios y/o dispositivos conductores de diferentes resistencias o la utilización de dispositivos conductores de diferentes materiales o geometrías.

El sistema pararrayos de la invención comprende además medios para la consecución de una distribución equilibrada de intensidades y voltajes de las corrientes de rayo entre los conductores de bajada y los laminados de fibra de carbono.

En el caso de una pala de aerogenerador con un laminado de fibra de carbono, si hay una diferencia negativa superior a un umbral predeterminado entre la impedancia del laminado de fibra de carbono y el valor de referencia considerado en el diseño del sistema pararrayos, el sistema pararrayos también comprende uno o más dispositivos con impedancia en dichos cables auxiliares para lograr una distribución equilibrada de intensidades y voltajes entre los conductores de bajada y el laminado de fibra de carbono.

En el caso de una pala de aerogenerador con dos laminados de fibra de carbono, si la diferencia entre las impedancias de los laminados de fibra de carbono supera un umbral predeterminado, el sistema pararrayos también comprende uno o más dispositivos con impedancia en dichos cables auxiliares configurados para lograr una distribución equilibrada de intensidades y voltajes entre los conductores de bajada y los laminados de fibra de carbono.

Otras características deseables y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada en relación con las figuras que se acompañan.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

5

La Figura 1 es una vista esquemática en planta de una pala de aerogenerador con un sistema pararrayos conocido en la técnica.

10

Las Figuras 2a-2d son diagramas esquemáticos que ilustran cuatro realizaciones de un área local de inyección de corrientes de rayo según la invención.

15

La Figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra la distribución de intensidades en una pala de aerogenerador entre un conductor de bajada y un laminado de fibra de carbono.

20

La Figura 4a es un diagrama esquemático que ilustra el sistema pararrayos de la invención en una pala de aerogenerador que tiene un conductor de bajada y dos laminados de fibra de carbono y la Figura 4b es un modelo eléctrico de los tres caminos conductores del sistema.

La Figura 5 es un diagrama esquemático que ilustra una realización del sistema pararrayos de la invención en una pala de aerogenerador que tiene un conductor de bajada y dos laminados de fibra de carbono.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

25

30

Se conocen palas de aerogenerador con múltiples elementos conductivos en toda su longitud como parte de su estructura que incluyen nuevas tecnologías o materiales. Este es el caso de las palas de aerogeneradores que utilizan laminados de fibra de carbono como parte de su estructura o equipos eléctricos y electrónicos a lo largo de la pala o en su punta. En todos estos casos, hay múltiples caminos conductores para llevar a tierra las corrientes de rayo. La existencia de múltiples caminos conductores implica que los diferentes

35

camino deben transmitir una fracción de corrientes de rayo en caso de un impacto de un rayo en un receptor de rayos.

En el caso, por ejemplo, de una pala de aerogenerador 10 con un laminado de fibra de carbono 11 (ver Figura 1) los caminos conductores son un conductor de bajada 17 conectado a un receptor de rayo 15 y a una disposición de a tierra (no mostrada) y un laminado de fibra de carbono 11. Ambos caminos conductores 11, 17 están equipotencializados por medio de cables auxiliares 19 a lo largo de la pala de aerogenerador 10 para distribuir las corrientes de rayo y reducir el riesgo de chispas entre ellos.

Para mejorar los sistemas pararrayos conocidos de palas de aerogenerador con laminados de fibra de carbono la invención propone en primer lugar un área local de inyección de corrientes de rayo 14 asociada a un cable auxiliar 19 y cercana, típicamente, a un receptor de rayo que está configurado para evitar sobre-intensidades en los laminados de fibra de carbono. El cable auxiliar 19 está conectado típicamente a una placa conductora 31 embebida en un laminado de fibra de carbono.

En una realización, no parte de la invención (ver Figura 2a) el área local de inyección 14 en un laminado de fibra de carbono 11 comprende tres cables secundarios 33, derivados de un cable auxiliar 19, conectados a dispositivos conductores 45 embebidos en el laminado de fibra de carbono 11. Los dispositivos conductores 45 pueden estar hechos de aleaciones de acero, cobre, aluminio, latón, tungsteno, nicromo, materiales compuestos conductores y materiales compuestos no conductores con aditivos conductores. El uso de varios dispositivos conductores 45 (típicamente placas conductoras) aumenta el área efectiva de inyección de corrientes de rayo en el laminado de fibra de carbono 11. Cada uno de los cables secundarios 33 tiene un resistor 41 con una resistencia entre 2-50m Ω para controlar la cantidad de corriente inyectada en los diferentes dispositivos conductores 45.

En otra realización, no parte de la invención (ver Figura 2b) el área local de inyección 14 en un laminado de fibra de carbono 11 comprende dos cables secundarios 33, derivados de un cable auxiliar 19, conectados a dispositivos conductores 45 embebidos en el laminado de fibra de carbono 11. En este caso

los medios de control de las corrientes de rayo inyectadas en los dispositivos conductores 45 son un resistor 41 colocado en uno de los cables secundarios 33 y una distancia de separación D dada entre los dispositivos conductores 45. D puede estar comprendida entre 10-300cm.

5 Según la realización (ver Figura 2c) el área local de inyección 14 en un laminado de fibra de carbono 11 comprende dos cables secundarios 33, derivados de un cable auxiliar 19, conectados a dispositivos conductores 45 embebidos en el laminado de fibra de carbono 11. En este caso los medios utilizados para controlar las corrientes de rayo inyectadas en los dispositivos
10 conductores 45 son cables secundarios 33 de diferentes resistencias R_{cond1} , R_{cond2} y dispositivos conductores 45 de diferentes resistencias eligiendo combinaciones adecuadas de materiales y geometrías. Para dispositivos conductores 45 de una misma geometría uno de ellos, hecho de una aleación de acero, puede tener, por ejemplo, una resistencia R_{p1} y el otro, hecho de latón, cobre o nicromo, una resistencia R_{p2} .

En otra realización, no parte de la invención (ver Figura 2d) los medios utilizados para variar la resistencia de los distintos caminos de inyección de corrientes de rayo son dispositivos conductores 45 de diferentes materiales y geometrías, por ejemplo, usando para uno de ellos una combinación de una
20 placa conductora 51 y una malla conductora 53 posicionada entre la placa conductora 51 y el laminado de fibra de carbono. Otra alternativa es el uso de placas conductoras de diferente anchura.

25 En segundo lugar, la invención propone lograr una distribución equilibrada de intensidades y voltajes de las corrientes de rayo entre los conductores de bajada y los laminados de fibra de carbono en las palas de aerogeneradores.

Con el uso de múltiples caminos conductores, se logra una distribución de las corrientes de rayo que es una función de los materiales y la geometría de éstos. Sin embargo, los puntos equipotenciales no permiten el control de las
30 formas de onda de las intensidades y los voltajes que se encuentran entre diferentes elementos en diferentes radios de la pala. Como se muestra en la Figura 3 en una rama entre dos cables auxiliares 19 la intensidad de entrada del rayo I_1 se distribuye entre la intensidad de rayo I_2 a lo largo del conductor de
35

bajada 17 y la intensidad de rayo I_2 a lo largo del laminado de fibra de carbono 11 siendo posible que los valores de I_1 e I_2 estén desequilibrados debido a que la impedancia del laminado de carbono 11 es diferente a la esperada. A este respecto hay que señalar, por un lado, que la fabricación de laminados de fibra de carbono no permite garantizar un rango pequeño de variación de su impedancia. La variabilidad de la impedancia de laminados de fibra de carbono fabricados con un mismo método puede ser importante (la diferencia entre las resistencias de dos laminados de fibra de carbono puede ser mayor del 50%) y, en consecuencia, pueden conducir a intensidades y voltajes mayores de lo esperado en el diseño del sistema pararrayos. Una diferencia de impedancia respecto a la esperada en un laminado de fibra de carbono no implica ningún daño estructural o de integridad de la pala de aerogenerador.

Para controlar y equilibrar las corrientes de rayo a lo largo de los caminos conductores de una pala de aerogenerador la invención propone la incorporación de dispositivos de impedancia 25 en uno o más cables auxiliares 19 si la diferencia entre la impedancia del laminado de fibra de carbono y la impedancia considerada en el diseño del sistema supera un umbral predeterminado.

Las características de los dispositivos de impedancia 25 se determinan en función de la impedancia del laminado de fibra de carbono 11 medido después de su fabricación.

En el caso de una pala de aerogenerador 10 con tres caminos conductores: un laminado de fibra de carbono superior 11, un laminado de fibra de carbono inferior 13 y un conductor de bajada 17 (ver Figura 4a) la invención se puede entender mejor considerando el modelo eléctrico mostrado en la Figura 4b.

Las impedancias de los tres caminos conductores están representadas, por, respectivamente, por circuitos con resistencias e inductancias con los valores de resistencia e inductancia R_{cap1} , L_{cap1} ; R_{cap2} , L_{cap2} ; R_{cond} , L_{cond} , siendo R_{cap1} , L_{cap1} menores que R_{cap2} , L_{cap2} . Para equilibrar la distribución de corriente en los tres caminos conductores, se incorpora en el primer camino 11 un dispositivo de impedancia 25 que tiene un resistor y un inductor con los valores

de resistencia e inductancia R_{control} , L_{control} . Los valores de R_{control} , L_{control} dependen por lo tanto de las diferencias entre R_{cap1} , L_{cap1} y R_{cap2} , L_{cap2} , siendo la resistencia el factor principal.

Si, por ejemplo $R_{\text{cap1}} = 200 \text{ m}\Omega$ y $R_{\text{cap2}} = 400 \text{ m}\Omega$ la distribución de corrientes entre los laminados de fibra de carbono 11, 13 sería (suponiendo una distribución lineal) 2/3 por laminado de fibra de carbono 11 y 1/3 por laminado de fibra de carbono 13. Luego, para lograr una distribución de corriente equilibrada la resistencia R_{control} del dispositivo de impedancia 25 incorporado al sistema pararrayos debe ser de $200 \text{ m}\Omega$.

El sistema pararrayos de una pala de aerogenerador 10 puede comprender el uso de múltiples dispositivos de impedancia 25 situados en diferentes puntos equipotenciales como se muestra en la Figura 5 para equilibrar y controlar la intensidades y voltajes de las corrientes de rayo.

Aunque la presente invención ha sido descrita en relación con diversas realizaciones, se apreciará a partir de la descripción que se pueden hacer diversas combinaciones de elementos, variaciones o mejoras en ella, y están dentro del alcance de la invención según se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema pararrayos para una pala de aerogenerador (10) que comprende al menos un receptor de rayos (15) conectado a uno o más conductores de bajada (17) de una disposición de conexión a tierra de la pala de aerogenerador (10) y uno o dos laminados de fibra de carbono (11, 13); estando equipotencializados los conductores de bajada (17) con los laminados de fibra de carbono (11, 13) por uno o más cables auxiliares (19) que están conectados a placas conductoras (31) embebidas en los laminados de fibra de carbono (11, 13) en varios puntos a lo largo de la pala de aerogenerador (10); también comprende al menos un área local de inyección de corrientes de rayo (14) en los laminados de fibra de carbono (11, 13) asociada a un cable auxiliar (19) que tiene uno o más caminos conductores paralelos adicionales que comprenden al menos dos cables secundarios (33) que tienen diferentes resistencias R_{con1} , R_{cond2} en el área local de inyección de corrientes de rayo (14) derivados de dicho cable auxiliar (19) y conectados a dispositivos conductores (45) de diferentes resistencias R_{pl1} y R_{pl2} embebidas en los laminados de fibra de carbono (11, 13) que están configurados para evitar sobre-intensidades en los laminados de fibra de carbono (11, 13).

2. Un sistema pararrayos según la reivindicación 1, que comprende al menos un resistor (41) en un cable secundario (33) de un área local de inyección de corrientes de rayo (14).

3. Un sistema pararrayos según la reivindicación 2, en el que la resistencia de dicho resistor 41 está comprendida entre 2-50m Ω .

4. Un sistema pararrayos según la reivindicación 1, que comprende al menos dos dispositivos conductores (45) que tienen diferentes resistencias R_{pl1} , R_{pl2} en un área local de inyección de corrientes de rayo (14).

5. Un sistema pararrayos según la reivindicación 4, en el que dichos dispositivos conductores (45) son placas conductoras hechas de uno de los siguientes materiales: aleaciones de acero, cobre, aluminio, latón, tungsteno, nicromo, materiales compuestos conductores y materiales compuestos no conductores con aditivos conductores.

6. Un sistema pararrayos según la reivindicación 4, en el que uno de dichos dispositivos conductores (45) es un conjunto de una placa conductora (51) y una malla metálica (53).

7. Un sistema pararrayos según la reivindicación 1, que comprende al menos dos caminos conductores paralelos adicionales en el que sus dispositivos conductores (45) están separados por una distancia D entre 10-300cm.

8. Un sistema pararrayos según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que:

- la pala de aerogenerador (10) comprende un laminado de fibra de carbono (11);

- el sistema pararrayos está diseñado para un valor de referencia de la impedancia del laminado de fibra de carbono (11);

- el sistema pararrayos también comprende uno o más dispositivos de impedancia (25) en dichos cables auxiliares (19) en el caso de existir una diferencia negativa superior a un umbral predeterminado entre la impedancia del laminado de fibra de carbono (11) y dicho valor de referencia;

- dichos uno o más dispositivos de impedancia (25) están configurados para lograr una distribución equilibrada de intensidades y voltajes entre el uno o más conductores de bajada (17) y el laminado de fibra de carbono (11).

9. Un sistema pararrayos según la reivindicación 8, en el que dichos dispositivos de impedancia (25) comprenden uno o más de los siguientes elementos pasivos: un resistor, un inductor, un condensador.

10. Un sistema pararrayos según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que:

- la pala de aerogenerador (10) comprende dos laminados de fibra de carbono (11, 13);

5 - el sistema pararrayos también comprende uno o más dispositivos de impedancia (25) en dichos cables auxiliares (19) en el caso de existir una diferencia superior a un umbral predeterminado entre las impedancias de los laminados de fibra de carbono (11,13);

10 -dichos uno o más dispositivos de impedancia (25) están configurados para lograr una distribución equilibrada de intensidades y voltajes entre el uno o más conductores de bajada (17) y los laminados de fibra de carbono (11, 13).

15 11. Un sistema pararrayos según la reivindicación 10, en el que dichos dispositivos de impedancia (25) comprenden uno o más de los siguientes elementos pasivos: un resistor, un inductor, un condensador.

20

25

30

35

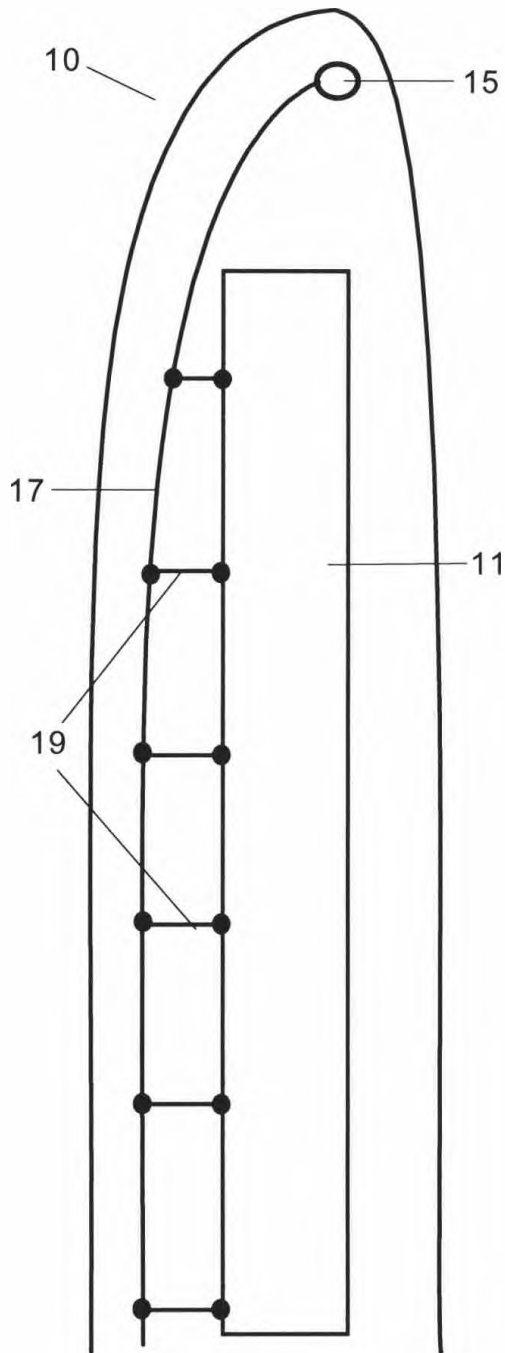


FIG. 1

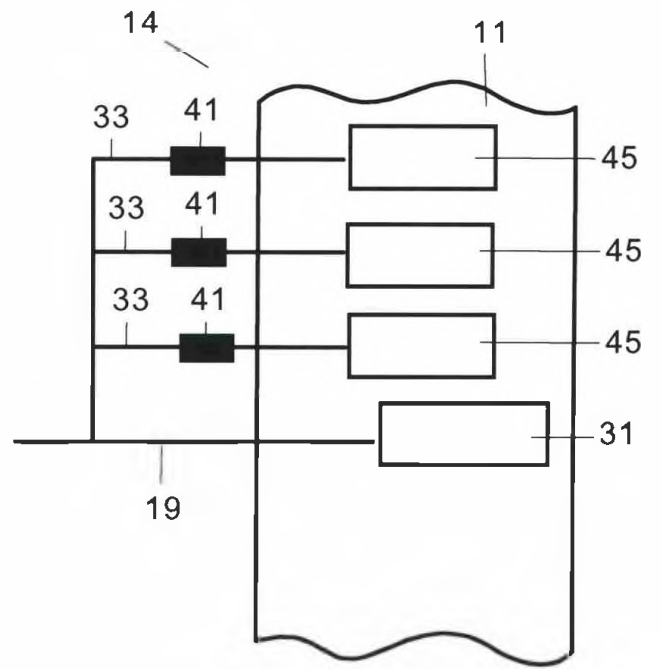


FIG. 2a

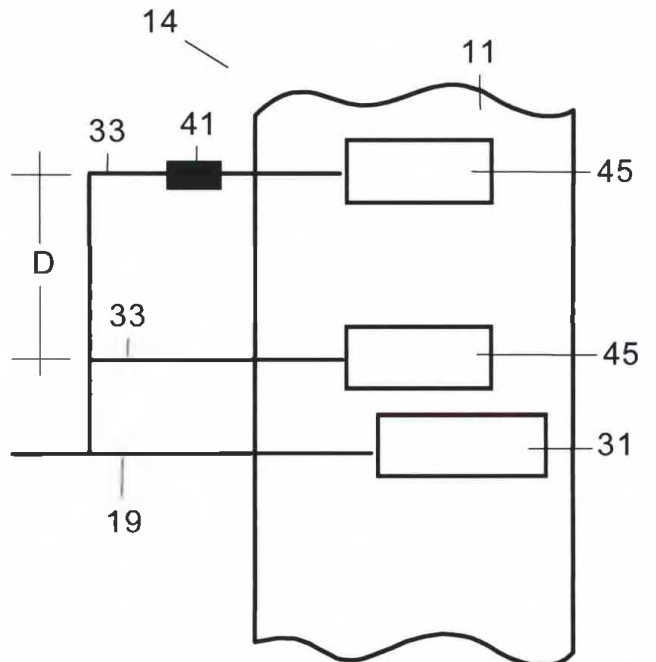


FIG. 2b

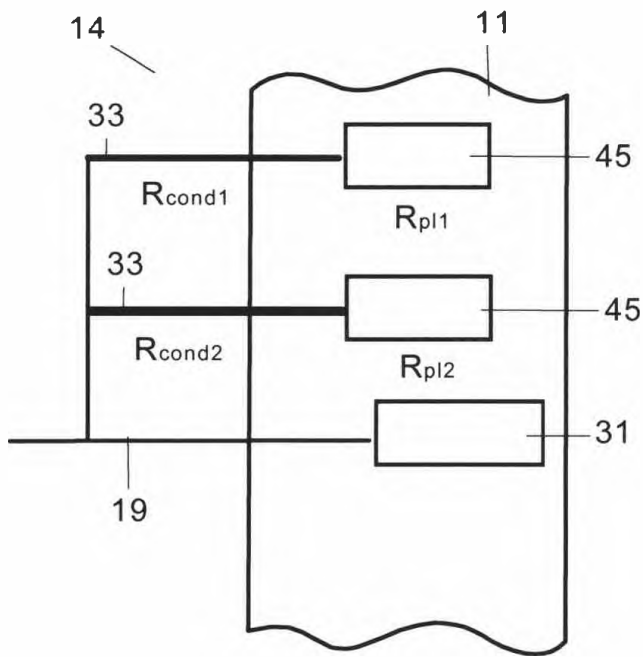


FIG. 2c

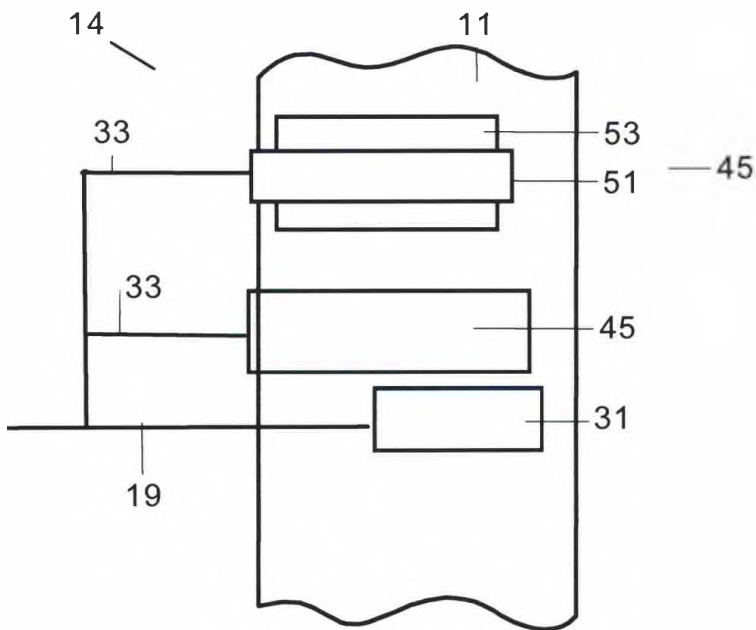


FIG. 2d

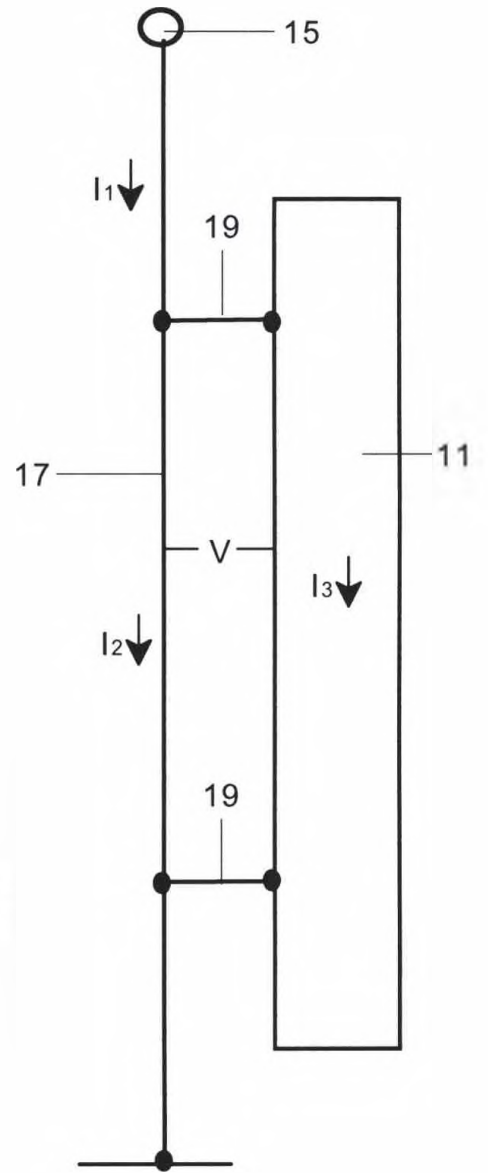


FIG. 3

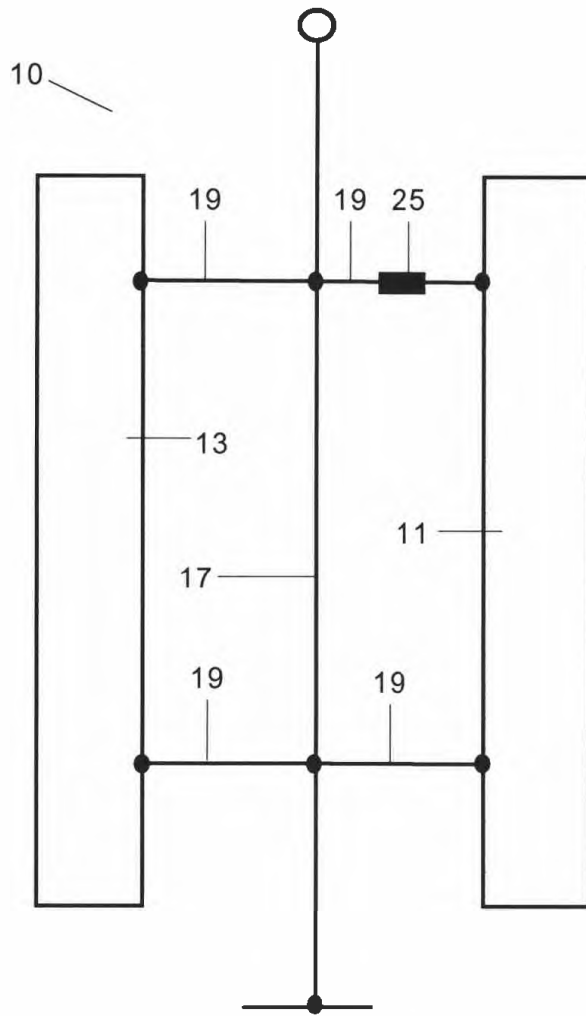


FIG. 4a

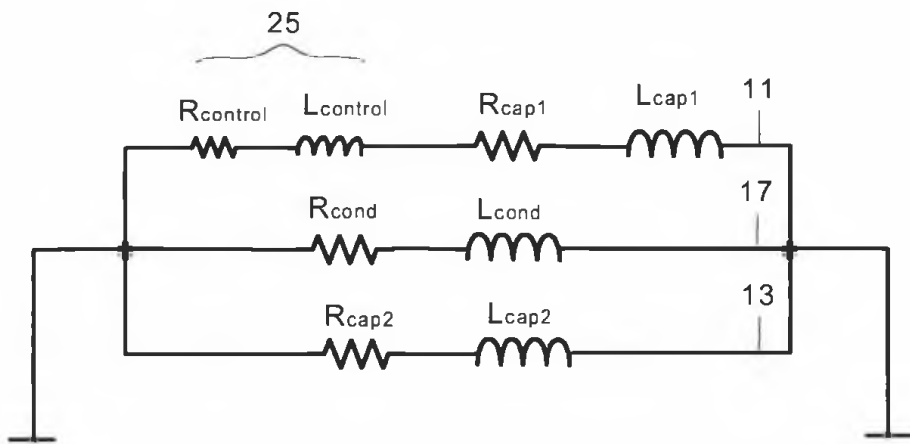


FIG. 4b

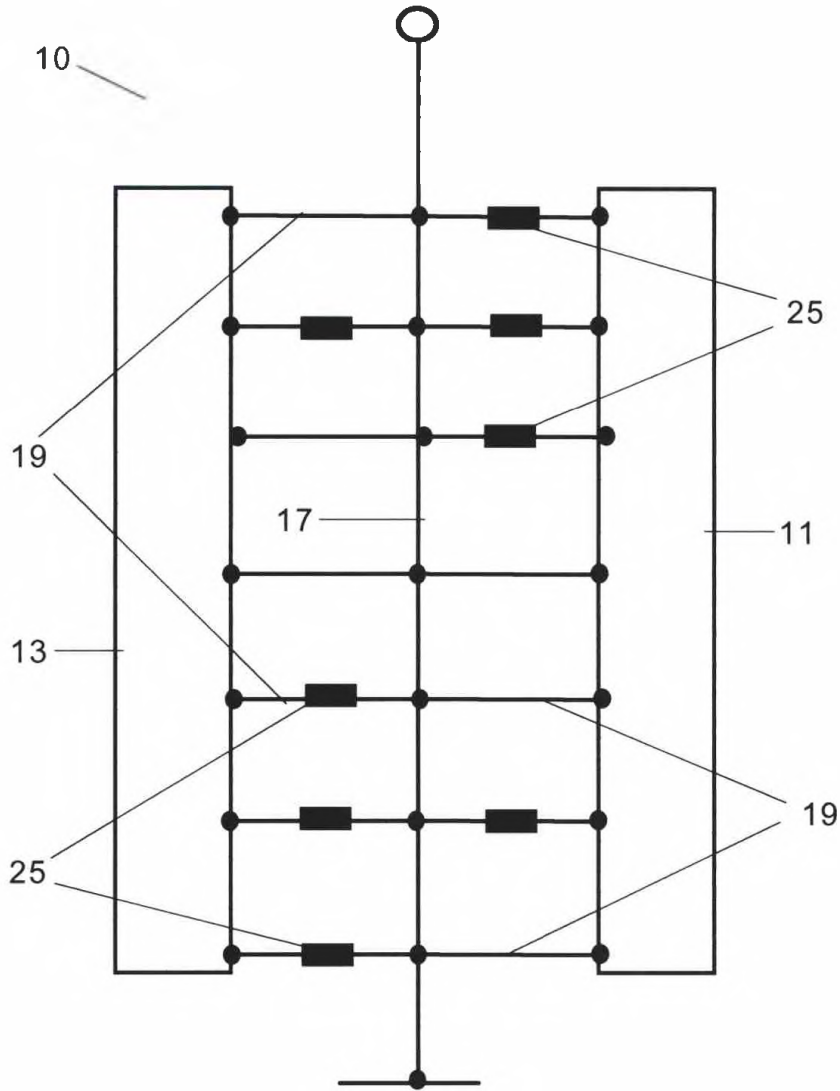


FIG. 5