

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 904**

51 Int. Cl.:

H02G 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.02.2016 PCT/EP2016/054006**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.09.2016 WO16135254**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.02.2016 E 16707693 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 3262730**

54 Título: **Control del sistema de protección contra rayos**

30 Prioridad:

27.02.2015 FR 1551680

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

12.05.2020

73 Titular/es:

**ARIANEGROUP SAS (100.0%)
Tour Cristal, 7-11 quai André Citroën
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**ASPAS PUERTOLAS, JESUS y
NGUYEN, FRANÇOIS**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 759 904 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

Control del sistema de protección contra rayos

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere al campo de las estructuras expuestas al rayo, tales como aerogeneradores y a los sistemas de protección de tal estructura contra rayos.

10 La invención se refiere más específicamente a un dispositivo y a un procedimiento de control de tal sistema de protección contra rayos.

Estado de la técnica anterior

15 Las palas de los aerogeneradores están realizadas mayoritariamente de material compuesto con, por ejemplo, un refuerzo fibroso realizado de fibra de vidrio.

La protección de una pala de un aerogenerador de este tipo contra rayos se basa convencionalmente en un sistema que consta de receptores metálicos de rayos al ras de la superficie externa de la pala y distribuidos a lo largo de esta última conectados a un cable de descenso eléctricamente conductor posicionado en el interior de la pala y conectado a tierra por medios de enlace integrados por medio de un buje de rotor del aerogenerador.

20 A medida que el rayo se une preferentemente sobre los receptores de rayos, la corriente del rayo es conducida por el cable de descenso hasta los medios de enlace a tierra.

25 Este tipo de arquitectura de sistema de protección contra rayos generalmente da satisfacción, pero es relativamente complejo de controlar. El control de un dispositivo de protección contra rayos globalmente consiste en verificar la continuidad eléctrica del dispositivo para que la corriente del rayo que se une sobre un receptor se conduzca efectivamente hacia tierra y no dañe, o lo menos posible, la estructura de la pala del aerogenerador.

30 Para controlar la integridad de un sistema clásico de protección contra rayos, es necesario que un operario acceda a los receptores desde el exterior, por ejemplo, usando una góndola, con el fin de conectar los receptores y el extremo del cable de descenso al mismo aparato de control. Esta operación es compleja de implementar y costosa.

35 Además, el método clásico se basa en una medición de resistencia entre dos puntos de la red cerrada, posicionados respectivamente en los extremos opuestos de la pala. Este método necesita dos puntos de acceso para efectuar las mediciones.

40 El documento US 2011/142644 divulga una pala de rotor de aerogenerador que comprende una pluralidad de receptores de rayos. Al menos un circuito conductor de rayos en bucle proporciona un camino redundante para cada receptor de rayos para conducir una descarga de rayos a tierra.

45 El documento US 5.463.317 divulga un aparato para verificar la integridad del blindaje sobre el cableado eléctrico, por la determinación de la frecuencia de resonancia de la función de transferencia de tensión del cable blindado. Una modificación de la frecuencia de resonancia indica una modificación de la inductancia propia provocada por una falla del circuito blindado.

Exposición de la invención

50 La invención tiene como objeto resolver los problemas de la técnica anterior proporcionando un procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos que consta de un camino de descenso que tiene una estructura en árbol, caracterizado por que consta de las etapas de:

- emisión de una señal de radiofrecuencia a un extremo del camino de descenso,
- 55 - medición de un coeficiente de reflexión,
- determinación de frecuencias de resonancia del camino de descenso,
- comparación de frecuencias de resonancia determinadas con frecuencias de resonancia preestablecidas. El control se puede efectuar al nivel del buje del rotor, que es accesible de manera relativamente fácil por un operario.

60 La implementación de la invención necesita el acceso a solo un punto del camino de descenso.

Las frecuencias de resonancia dependen de las longitudes de las diferentes secciones del camino de descenso. Su determinación y su comparación con frecuencias de resonancia preestablecidas permite saber si el camino de descenso ha sido dañado o no.

65 Según una característica preferente, la etapa de determinación de las frecuencias de resonancia del camino de

descenso consta de la determinación de las frecuencias de resonancia en función de mínimos locales de la amplitud del coeficiente de reflexión en función de la frecuencia.

5 Según otra característica preferente, la etapa de determinación de las frecuencias de resonancia del camino de descenso consta de la determinación de las frecuencias de resonancia en función de puntos de inflexión de la fase del coeficiente de reflexión en función de la frecuencia.

10 Según todavía otra característica preferente, la etapa de determinación de las frecuencias de resonancia del camino de descenso consta de la determinación de las frecuencias de resonancia en función de máximos locales de la derivada de la fase del coeficiente de reflexión en función de la frecuencia.

Por supuesto, es posible efectuar la determinación de las frecuencias de resonancia según varias de estas posibilidades, para garantizar la fiabilidad de esta determinación comparando los resultados.

15 Según una característica preferente, la etapa de comparación consta de la comparación de las frecuencias de resonancia con las frecuencias de resonancia del camino de descenso sin defecto.

De este modo, es posible determinar si el camino de descenso ha sido dañado o no.

20 Según una característica preferente, la etapa de comparación consta de la comparación de las frecuencias de resonancia con las frecuencias de resonancia del camino de descenso que consta de los cortes preestablecidos.

De este modo, cuando el camino de descenso ha sido dañado, es posible determinar el defecto del camino de descenso.

25 Según una característica preferente, el procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos se implementa en un analizador vectorial de red.

30 Según una característica preferente, el procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos se implementa para un sistema de protección contra rayos de un aerogenerador.

La invención también se refiere a un dispositivo de control de un sistema de protección contra rayos que consta de un camino de descenso que tiene una estructura en árbol, caracterizado por que consta de

- 35
- medios de emisión de una señal de radiofrecuencia a un extremo del camino de descenso,
 - medios de medición de un coeficiente de reflexión,
 - medios de determinación de frecuencias de resonancia del camino de descenso,
 - medios de comparación de frecuencias de resonancia determinadas con frecuencias de resonancia preestablecidas.

40 La invención también se refiere a un sistema de protección contra rayos de un aerogenerador, caracterizado por que consta del dispositivo de control de un sistema de protección contra rayos tal como se presentó anteriormente. El dispositivo y el sistema de protección presentan ventajas análogas a las presentadas anteriormente.

45 La invención también se refiere a un programa informático que consta de instrucciones para la ejecución de las etapas del procedimiento tal como se presentó anteriormente, cuando dicho programa es ejecutado por un ordenador.

La invención también se refiere a un soporte de grabación legible por ordenador sobre el cual se graba un programa informático que comprende instrucciones para la ejecución de las etapas del procedimiento presentado anteriormente.

50

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas aparecerán tras la lectura de la siguiente descripción de un modo de realización preferente dado a modo de ejemplo no limitativo, descrito con referencia a las figuras, en donde:

- 55
- La figura 1 representa un aerogenerador,
 - La figura 2 representa una pala de aerogenerador equipada con un sistema de protección contra rayos,
 - La figura 3a representa un circuito eléctrico equivalente del sistema de protección contra rayos, en configuración de control, según un modo de realización de la presente invención,
 - 60 La figura 3b representa un modo de realización de dispositivo de control, según un modo de realización de la presente invención,
 - La figura 4 representa un control del sistema de protección contra rayos, según un modo de realización de la presente invención,
 - Las figuras 5a a 5c representan respectivamente la amplitud, la fase, la derivada de fase de un coeficiente de
 - 65 reflexión en función de la frecuencia, según un modo de realización de la presente invención.

Exposición detallada de modos de realización particulares

5 Según el modo de realización representado en la **figura 1**, un aerogenerador 1 comprende de manera general un mástil 10 fijado al suelo, una góndola llevada por el mástil y que aloja un buje de rotor 12 que soporta palas 13 y montado en rotación alrededor de un eje de rotor. Cada pala 13 consta de una base conectada al buje de rotor 12 y que se prolonga en un perfil aerodinámico cónico hasta un extremo, de una manera bien conocida.

10 La estructura mecánica del aerogenerador es clásica, pero su sistema de protección contra rayos se describe a continuación.

La **figura 2** ilustra esquemáticamente una pala 13 del aerogenerador 1. La pala 13 está formada globalmente por uno o varios largueros no representados y por una piel exterior aerodinámica 131 solidaria con el larguero. Estos elementos son clásicos y no se detallarán aquí.

15 La pala 13 consta de un sistema de protección contra rayos.

Este sistema consta al menos de un receptor de rayos 132. Se trata de un elemento metálico al ras de la superficie externa, situado en la proximidad del extremo de la pala. Preferentemente, el sistema de protección contra rayos consta de una pluralidad de receptores de rayos 132, distribuidos sobre la superficie externa de la pala. En el ejemplo representado en la figura 2, la pala consta de dos receptores de extremo dispuestos simétricamente en un plano transversal a un plano de simetría de la pala, y dos receptores medianos, también dispuestos simétricamente en el mismo plano transversal. Por supuesto, el número y la disposición de los receptores pueden ser diferentes.

20 Los receptores 132 están conectados a uno o varios cables de descenso de rayos 133, por medio de cables 136. Este sistema de conductores eléctricos forma una estructura en árbol, que consta de diferentes secciones de tronco y de ramas. Esta estructura forma de este modo un camino de descenso que se extiende entre el o los receptores situados en la proximidad del extremo de la pala y el buje 12 al nivel del cual el camino de descenso consta de un terminal 135 que está conectado a tierra.

25 A continuación, se está particularmente interesado en el camino de descenso.

La **figura 3a** representa el circuito eléctrico equivalente del sistema de protección contra rayos, en configuración de control, según un modo de realización de la presente invención.

35 El control tiene por objeto medir la continuidad del circuito eléctrico del sistema de protección contra rayos.

Para ello, el terminal de conexión 135 del camino de descenso está desconectado de la tierra y está conectado a un dispositivo de control que permite la inyección de una señal eléctrica de radiofrecuencia en el camino de descenso, después, una medición de la señal reflejada. El dispositivo de control consta preferentemente de un analizador vectorial de red 20. Esta operación se efectúa al nivel del buje del rotor. En otro modo de realización, el analizador vectorial de red 20 puede estar conectado a un receptor de rayos 132 cualquiera. No es necesario, entonces, desconectar el terminal 135 de la tierra.

40 El analizador vectorial de red 20 se usa para realizar efectuar una medición de radiofrecuencia de un solo puerto.

45 El principio de la medición se basa en la reflectometría en el campo frecuencial.

La **figura 3b** representa un modo de realización particular de dispositivo de control, según la invención.

50 El dispositivo de control tiene la estructura general de un ordenador. Consta, en particular, de un procesador 100 que ejecuta un programa informático que implementa el procedimiento según la invención que se describirá a continuación, una memoria 101, una interfaz de entrada 102 y una interfaz de salida 103.

55 Estos diferentes elementos están clásicamente conectados por un bus 105.

La interfaz de entrada 102 está conectada al terminal de conexión 135 del camino de descenso. La interfaz 102 produce datos que representan las mediciones efectuadas.

60 El procesador 100 ejecuta los procesamientos expuestos a continuación. Estos procesamientos se realizan en forma de instrucciones de código del programa informático que se almacenan por la memoria 101 antes de ser ejecutadas por el procesador 100.

La interfaz de salida 103 es una interfaz hombre-máquina 104 destinada a suministrar información a un operario sobre el camino de descenso que se ha controlado.

65 La **figura 4** representa el procedimiento de control del sistema de protección contra rayos, según un modo de

realización de la presente invención. El procedimiento consta de las etapas E1 a E4 implementadas en el analizador vectorial de red 20.

5 La etapa E1 es la emisión de una señal de radiofrecuencia sinusoidal a un extremo del camino de descenso. La amplitud y la fase de la señal transmitida están predeterminadas. La frecuencia de la señal transmitida varía entre dos terminales.

10 La etapa siguiente E2 es la medición de la amplitud de la fase de la señal reflejada sobre el mismo puerto, con el objeto de determinar las frecuencias de resonancia del camino de descenso.

Se mide más particularmente el coeficiente de reflexión en la entrada, llamado parámetro S_{11} , con el analizador vectorial de red 20. El parámetro S_{11} es la relación entre las amplitudes y las fases de las señales transmitidas y reflejadas. Cuando la frecuencia de la señal transmitida varía, se obtiene un barrido de frecuencia del parámetro S_{11} .

15 A partir de este barrido de frecuencia del parámetro S_{11} , se determinan las frecuencias de resonancia del camino de descenso, que dependen de las longitudes de las diferentes secciones de las ramas 136 y del tronco 133 del camino de descenso.

20 Las diferentes variantes de determinación de las frecuencias de resonancia se ilustran en las figuras 5a a 5c.

La **figura 5a** representa la amplitud del coeficiente de reflexión en función de la frecuencia. Las frecuencias de resonancia se pueden determinar en función de los mínimos locales de esta amplitud.

25 La **figura 5b** representa la fase del coeficiente de reflexión en función de la frecuencia. Las frecuencias de resonancia corresponden a los puntos de inflexión de la curva de fase.

La **figura 5c** representa la derivada de fase del coeficiente de reflexión en función de la frecuencia. Las frecuencias de resonancia corresponden a máximos locales de esta curva.

30 En el ejemplo representado, se resaltan cuatro frecuencias de resonancias.

El hecho de trabajar sobre la derivada de fase permite superar cualquier posible deriva lenta del desplazamiento, así como de un posible defecto de calibración del aparato.

35 Las frecuencias de resonancia dependen de las longitudes de las diferentes secciones del camino de descenso.

40 La etapa siguiente E3 es la comparación de las frecuencias de resonancia detectadas anteriormente con las frecuencias de resonancia predeterminadas. Estas frecuencias de resonancia predeterminadas constan preferentemente de varios juegos. En primer lugar, comprenden las frecuencias de resonancia del camino de descenso sin defecto. Se trata de la firma del camino de descenso. Después, es posible establecer juegos de frecuencias correspondientes a cortes preestablecidos del camino de descenso. Esto permite identificar defectos en el camino de descenso.

45 De este modo, es posible determinar si el camino de descenso es íntegro y, si no, calificar el defecto detectado.

La etapa siguiente E4 es la producción de un mensaje que indica el resultado de la etapa anterior de comparación. Por ejemplo, si las frecuencias de resonancias determinadas corresponden a las del camino de descenso sin defecto, entonces el camino de descenso no ha sufrido degradación.

50 En caso contrario, el camino de descenso se degrada, y si las frecuencias de resonancias determinadas corresponden a las frecuencias de resonancia asociadas con una degradación predefinida, entonces la degradación del camino de descenso corresponde a esta degradación predefinida.

55 El control se logra de este modo de manera económica y simple. Un operario accede al terminal de conexión del camino de descenso, al nivel del buje de rotor 12.

La invención se ha descrito para una pala de aerogenerador, pero se puede transponer a otras aplicaciones. Por ejemplo, el control según la invención puede aplicarse a un sistema de protección contra rayos en un edificio.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos que consta de un camino de descenso que tiene una estructura en árbol, **caracterizado por que** consta de las etapas de:
- 5
- emisión (E1) de una señal de radiofrecuencia a un extremo del camino de descenso,
 - medición (E2) de un coeficiente de reflexión,
 - determinación (E2) de frecuencias de resonancia del camino de descenso,
 - comparación (E3) de las frecuencias de resonancia determinadas con frecuencias de resonancia preestablecidas.
- 10
2. Procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la etapa de determinación de las frecuencias de resonancia del camino de descenso consta de la determinación de las frecuencias de resonancia en función de mínimos locales de la amplitud del coeficiente de reflexión en función de la frecuencia.
- 15
3. Procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la etapa de determinación de las frecuencias de resonancia del camino de descenso consta de la determinación de las frecuencias de resonancia en función de puntos de inflexión de la fase del coeficiente de reflexión en función de la frecuencia.
- 20
4. Procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la etapa de determinación de las frecuencias de resonancia del camino de descenso consta de la determinación de las frecuencias de resonancia en función de máximos locales de la derivada de la fase del coeficiente de reflexión en función de la frecuencia.
- 25
5. Procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** la etapa de comparación consta de la comparación de las frecuencias de resonancia con las frecuencias de resonancia del camino de descenso sin defecto.
- 30
6. Procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** la etapa de comparación consta de la comparación de las frecuencias de resonancia con las frecuencias de resonancia del camino de descenso que consta de los cortes preestablecidos.
- 35
7. Procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** se implementa en un analizador vectorial de red.
- 40
8. Procedimiento de control de un sistema de protección contra rayos según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** se implementa para un sistema de protección contra rayos de un aerogenerador.
- 45
9. Dispositivo de control de un sistema de protección contra rayos que consta de un camino de descenso (133, 136) que tiene una estructura en árbol, **caracterizado por que** consta de
- medios de emisión de una señal de radiofrecuencia a un extremo (135) del camino de descenso,
 - medios (20) de medición de un coeficiente de reflexión,
 - medios (20) de determinación de frecuencias de resonancia del camino de descenso,
 - medios (20) de comparación de frecuencias de resonancia determinadas con frecuencias de resonancia preestablecidas.
- 50
10. Sistema de protección contra rayos de un aerogenerador, **caracterizado por que** consta del dispositivo de control de un sistema de protección contra rayos según la reivindicación 9.
- 55
11. Programa informático que consta de instrucciones para la ejecución de las etapas del procedimiento según la reivindicación 1 cuando dicho programa es ejecutado por un ordenador.
12. Soporte de grabación legible por ordenador sobre el cual se graba un programa informático que comprende instrucciones para la ejecución de las etapas del procedimiento según la reivindicación 1.

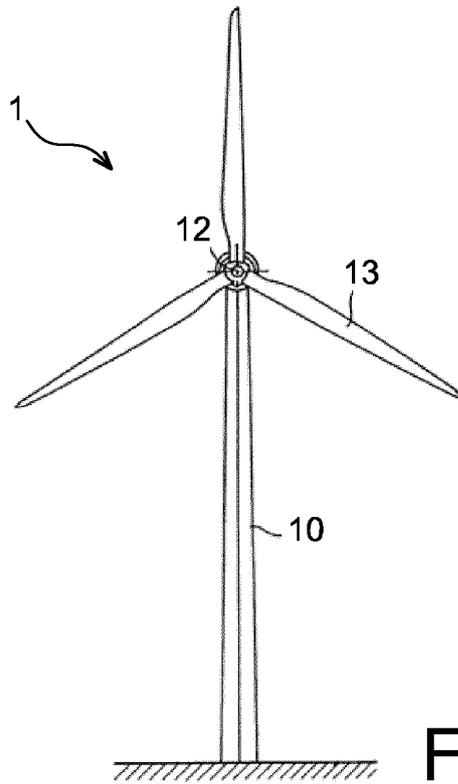


FIG. 1

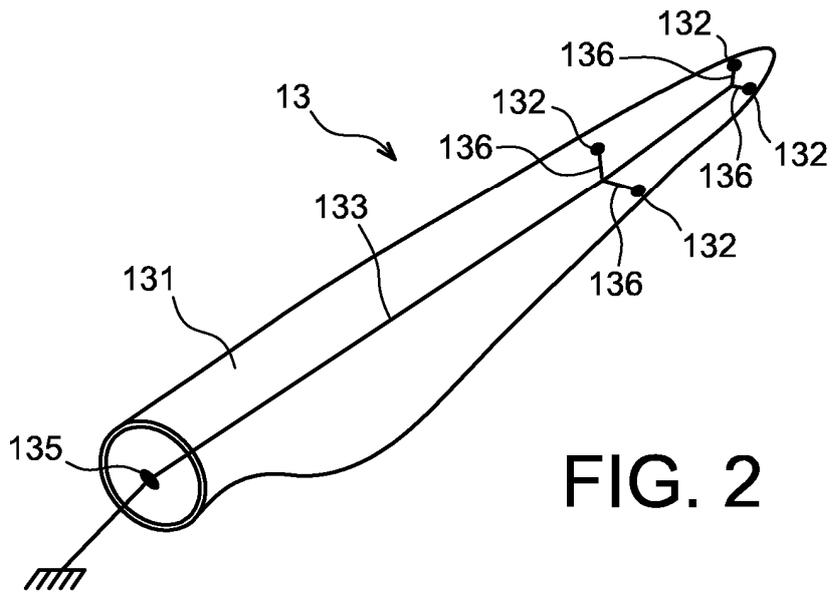


FIG. 2

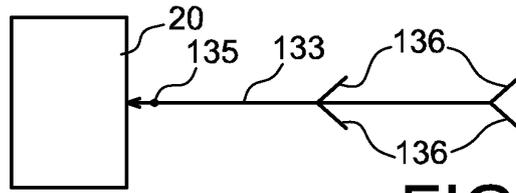


FIG. 3a

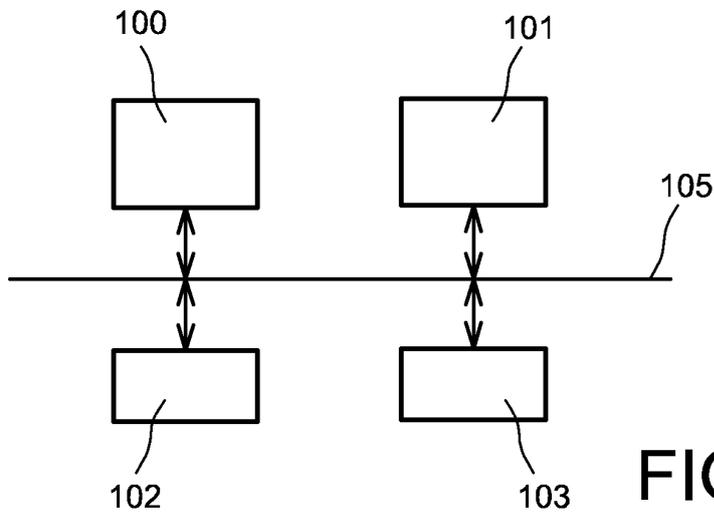


FIG. 3b

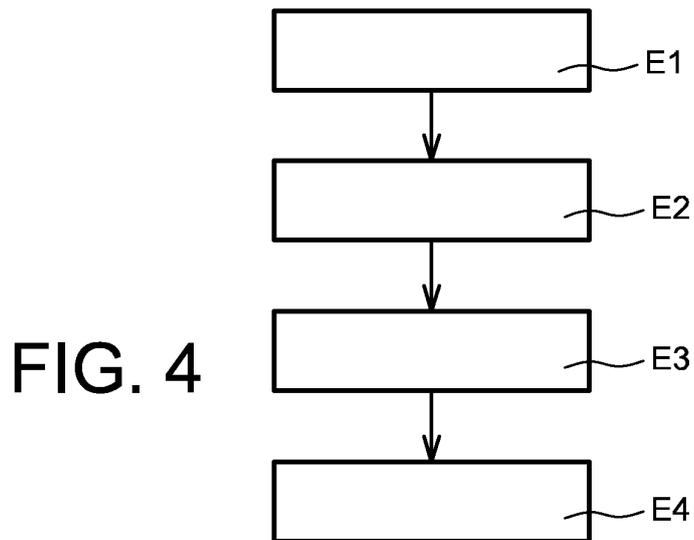


FIG. 4

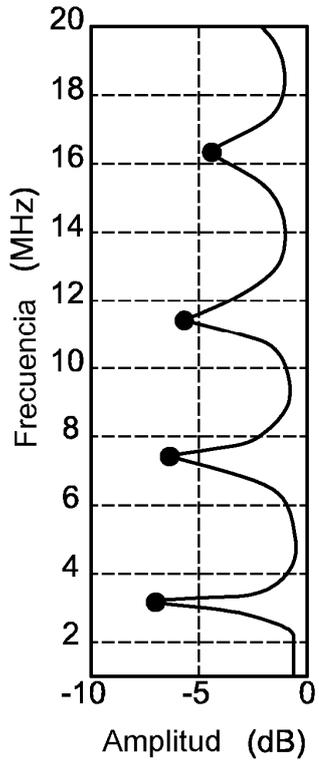


FIG. 5a

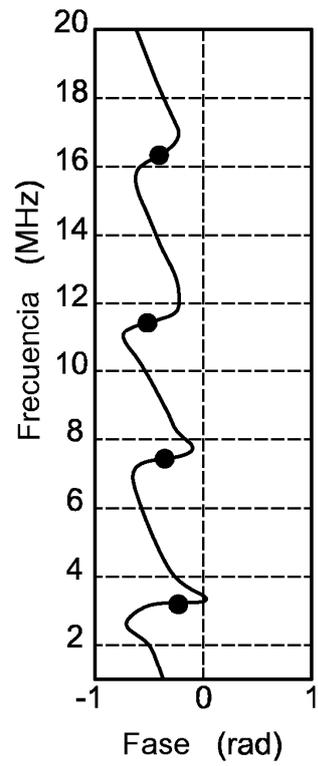


FIG. 5b

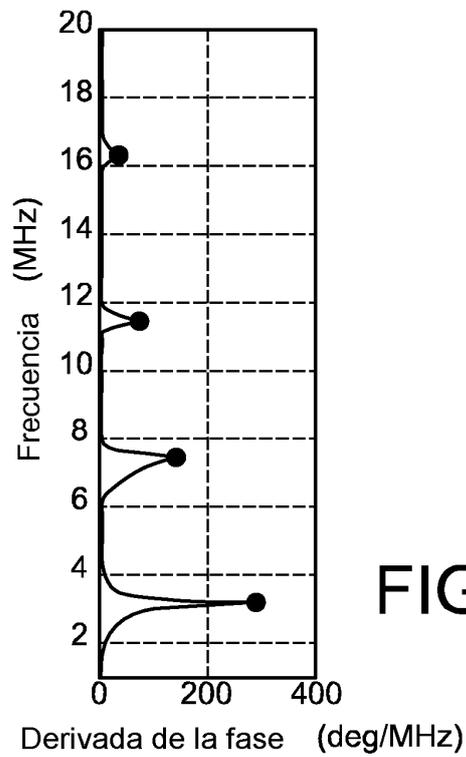


FIG. 5c