

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 600 008**

51 Int. Cl.:

G01D 21/00 (2006.01)

G01D 9/00 (2006.01)

G01S 13/00 (2006.01)

G01S 7/40 (2006.01)

G01M 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.03.2011 PCT/CA2011/050143**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.09.2011 WO11116479**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.03.2011 E 11758725 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.07.2016 EP 2550509**

54 Título: **Método y sistema de sincronización temporal de fase de señales procedentes de dispositivos de medición respectivos**

30 Prioridad:

24.03.2010 CA 2699596

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

06.02.2017

73 Titular/es:

**HYDRO-QUEBEC (100.0%)
75 Boulevard René-Lévesque Ouest
Montréal, QC H2Z 1A4, CA**

72 Inventor/es:

**RIENDEAU, SYLVAIN;
LÉONARD, FRANÇOIS;
PICHER, PATRICK;
GAUVIN, MICHEL;
BERTRAND, HUGO y
DUPONT, LOUIS**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 600 008 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

Método y sistema de sincronización temporal de fase de señales procedentes de dispositivos de medición respectivos

5 Campo de la invención

La invención está relacionada con un método y un sistema de sincronización temporal de fase de señales procedentes de dispositivos de medición respectivos.

10 Estado de la técnica

Diversos sistemas, procedimientos y técnicas necesitan la realización de una sincronización temporal de mediciones de fase entre diferentes dispositivos de conversión que no comparten una misma señal de reloj para su muestreo respectivo. Varios de los sistemas existentes realizan un muestreo mediante un reloj enganchado por una referencia común de tiempo. Esta perspectiva exige un material que realiza una retroacción (bucle de enganche de fase o "phase-lock-loop") entre la fase del reloj de muestreo y la referencia temporal, que genera costes. Además, esta perspectiva limita las estrategias de reducción de ruido ya que el ruido del reloj de muestreo y el del reloj de referencia se mezclan con los errores de enganche de reloj.

15

20 El documento FR 2 889 331 A1 se refiere en particular a un aparato y a un procedimiento de adquisición de datos sísmicos, aparato destinado para formar un nudo de una red de sensores sísmicos inalámbricos.

El documento US 5.237.325 A se refiere a un procedimiento de captura y de evaluación de datos de medición, con canales múltiples, según el que datos de medición analógicos se recogen, convertidos en datos de medición digitales, y se conservan en una memoria para la evaluación en línea o en diferido.

25

Sumario

30 Un objeto de la invención es proponer un método y un sistema de sincronización temporal de fase de señales procedentes de dispositivos de medición respectivos que tiene un bajo coste comparativamente con las técnicas existentes y que es potencialmente más preciso.

Otro objeto de la invención es proponer una sustitución del material habitual usado para la sincronización temporal de mediciones de fase por un etiquetado temporal de muestras de las señales de medición, seguida de cálculos que corrigen la frecuencia de muestreo, el etiquetado temporal al que se referencia la fase, así como valores de característica temporal y de fase de cada componente de interés en las señales.

35

Según un aspecto de la invención, se propone un método de sincronización temporal de fase de señales procedentes de dispositivos de medición respectivos, que comprende las etapas de:

40 para cada dispositivo de medición:

- recibir una señal de sincronización disponible en cada dispositivo de medición;
- producir una señal de reloj de referencia que tiene una cadencia más elevada que la señal de sincronización;
- 45 operar un contador en respuesta a la señal de reloj de referencia para producir valores de cuenta;
- completar la señal de sincronización con los valores de cuenta proporcionados por el contador;
- seleccionar al menos un bloque temporal que tiene un número finito de muestras en la señal procedente del dispositivo de medición;
- 50 establecer localizaciones temporales de al menos dos muestras de cada bloque temporal con la señal de sincronización completada;
- estimar un valor de fase y una característica temporal de al menos un componente de la señal procedente del dispositivo de medición en cada bloque temporal;
- atribuir a cada bloque temporal una etiqueta temporal derivada de la señal de sincronización completada; y
- 65 producir datos representativos del al menos un componente, el valor de fase, la característica temporal, las localizaciones temporales y la etiqueta temporal para cada bloque temporal; y

para el conjunto de los dispositivos de medición:

60 agrupar los datos relativos a los bloques temporales que tienen etiquetas temporales cercanas bajo unas mismas etiquetas temporales que sirven de referencias temporales comunes; y

calcular nuevos valores de fase del al menos un componente en los bloques temporales según las referencias temporales comunes respectivas y las localizaciones temporales correspondientes para la sincronización temporal de fase de las señales procedentes de los dispositivos de medición.

Según otro aspecto de la invención, se propone un método de sincronización temporal de fase de señales procedentes de dispositivos de medición respectivos, que comprende:

para cada dispositivo de medición, una unidad de medición de fase que comprende:

un receptor para recibir una señal de sincronización disponible en cada unidad de medición de fase;
 un reloj para producir una señal de reloj de referencia que tiene una cadencia más elevada que la señal de sincronización; y
 una unidad de tratamiento; y

para el conjunto de los dispositivos de medición, una unidad de tratamiento de fase que comprende una unidad de tratamiento;

estando la unidad de tratamiento de cada unidad de medición de fase configurada para recibir la señal procedente del dispositivo de medición correspondiente, recibir la señal de sincronización, recibir la señal de reloj de referencia, proporcionar un contador que opera en respuesta a la señal de reloj de referencia para producir valores de cuenta, completar la señal de sincronización con los valores de cuenta proporcionados por el contador, seleccionar al menos un bloque temporal que tiene un número finito de muestras en la señal procedente del dispositivo de medición, establecer localizaciones temporales de al menos dos muestras de cada bloque temporal con la señal de sincronización completada, estimar un valor de fase y una característica temporal de al menos un componente de la señal procedente del dispositivo de medición en cada bloque temporal, y producir datos representativos del al menos un componente, el valor de fase, la característica temporal, y las localizaciones temporales;

estando la unidad de tratamiento de uno de cada unidad de medición de fase y de la unidad de tratamiento de fase configurada para atribuir a cada bloque temporal una etiqueta temporal derivada de la señal de sincronización completada, formando la etiqueta temporal parte de los datos relativos a cada bloque temporal;

y estando la unidad de tratamiento de la unidad de tratamiento de fase configurada para agrupar los datos relativos a los bloques temporales que tienen etiquetas temporales cercanas bajo unas mismas etiquetas temporales que sirven de referencias temporales comunes, y calcular nuevos valores de fase del al menos un componente en los bloques temporales según las referencias temporales comunes respectivas y las localizaciones temporales correspondientes para la sincronización temporal de fase de las señales procedentes de las unidades de medición.

A continuación se exponen algunas características posiblemente preferentes de la invención que deben considerarse de manera no restrictiva.

La presente invención contempla una sincronización temporal de fase entre dos o varios dispositivos de medición que no comparten un mismo reloj para su muestreo respectivo de las señales que hay que medir. Los dispositivos de medición digitalizan una o varias señales analógicas por bloques temporales o en continuo. La sincronización temporal de la fase consiste en ajustar los valores de fase para que se refieran a una referencia temporal común entre los diferentes dispositivos. La sincronización de la fase se refiere a uno o varios componentes espectrales. Subsidiariamente, se puede realizar también una corrección de la frecuencia de cada componente. Un componente espectral puede nacer de una transformada de Fourier, de un análisis en ondículas o de cualquier otro procedimiento que conduce a atribuir un valor de fase a un componente de señal. Las unidades de conversión asociadas a los dispositivos de medición pueden ser un elemento de un sistema permanente, portátil o móvil.

La señal de sincronización que representa la referencia temporal común procede preferentemente de un receptor GPS, pero puede proceder también de una onda portadora generada localmente y transmitida por radio, por conducción eléctrica o por cualquier otro medio (por ejemplo IEEE 1588) y convertida digitalmente en caso necesario.

La invención contempla en concreto sistemas, procedimientos y técnicas que explotan un sistema de mediciones distribuidas y que exigen una gran precisión de la sincronización de fase medida y ello de bajo coste del material. Por ejemplo, en el campo de las redes de transporte eléctrico, se exige que las PMU ("Phase Measurement Unit") que realizan mediciones de fase sincronizadas tengan un tiempo de respuesta rápido, y ello en detrimento del coste y de la precisión. Como contrapartida, la ganancia de precisión aportada por el método según la invención y su bajo coste permite en concreto la supervisión económica del estado dieléctrico de travesías de transformadores. En el campo industrial, el enganche de motores u otros procedimientos distantes pueden sacar provecho de la invención con el fin de sincronizar los diferentes equipos (las papeleras y los transportadores en concreto). Se trata de comparar las fases de diferentes mediciones tales como las que nacen de un sensor angular o de cualquier otro sensor que da una información del estado cíclico (desplazamiento, velocidad, aceleración, tacómetro) de un órgano que participa en el procedimiento. En el campo de la medición de vibración, y más particularmente del análisis modal, en superficies grandes como en una plataforma de perforación, la invención permite una sincronización precisa de las mediciones de fase realizadas por diferentes dispositivos situados en diferentes ubicaciones. En el campo de la localización, tales como los sonares y los radares, la invención permite una estimación precisa de la orientación de uno o de varios frentes de onda a partir de una distribución de receptores fijos o en movimientos.

En definitiva, el método de sincronización temporal de fase según la invención recurre a varias unidades de medición de fase PCU ("phase computing unit") y al menos una unidad de tratamiento de fase PPU ("phase processing unit").

Cada PCU está unida a un (o varios) dispositivo de medición como un sensor que puede formar parte de la PCU o fijarse en el exterior en otro equipo, y puede comprender una unidad de tratamiento, un receptor GPS que proporciona una señal de sincronización, un reloj de referencia y una interfaz de comunicación. La PPU puede comprender una unidad de tratamiento y una interfaz de comunicación. Las etapas siguientes pueden realizarse en cada PCU:

- 5
- (a) la señal procedente del sensor al que la PCU está asociada se digitaliza previamente en caso necesario y se encamina hacia su unidad de tratamiento;
 - (b) la unidad de tratamiento recibe una señal de sincronización del receptor GPS así como una señal del reloj de referencia;
 - 10 (c) la unidad de tratamiento dispone de un contador que recibe la señal del reloj de referencia y que incrementa su cuenta en respuesta a un hito temporal tal como cada golpe de reloj en la señal del reloj de referencia;
 - (d) el contador se vuelve preferentemente a cero en respuesta a un hito temporal en la señal de sincronización proporcionada por el receptor GPS tal como una transición de la señal de sincronización, y la unidad de tratamiento memoriza el valor "OPPS" correspondiente a un valor de cuenta del contador a la ocurrencia del hito temporal en la
 - 15 (e) la unidad de tratamiento atribuye un valor de cuenta a algunas muestras de la señal digitalizada;
 - (f) la unidad de tratamiento selecciona un bloque temporal que tiene un número finito de muestras (p. ej. comprendido entre 16 y 65.536 muestras) en la señal digitalizada;
 - (g) la unidad de tratamiento retiene al menos uno y preferentemente dos valores de cuenta relacionados con muestras en el bloque seleccionado así como el valor OPPS memorizado;
 - 20 (h) la unidad de tratamiento retiene una referencia temporal p. ej. {hora:minuto:segundo} y opcionalmente {día:mes:año} proporcionada por el receptor GPS para al menos una de las muestras del bloque seleccionado;
 - (i) la unidad de tratamiento realiza una transformada de la señal (temporal) digitalizada en un campo de representación en el que unos componentes de interés de la señal digitalizada son distinguibles;
 - 25 (j) la unidad de tratamiento estima y retiene un valor de fase al igual que un valor de característica temporal de uno o varios componentes de interés observados en el bloque seleccionado, como su frecuencia, su escala o su periodicidad; y
 - (k) la unidad de tratamiento transmite a la PPU datos representativos de los valores retenidos o continúa el seguimiento del tratamiento.

- 30 Las etapas siguientes pueden realizarse en cada PCU o la PPU:
- (l) el valor OPPS se usa para atribuir valores temporales respectivos a los valores de cuenta que se han retenido, relacionados con las muestras en el bloque seleccionado;
 - 35 (m) a partir de los valores temporales de los valores de cuenta retenidos, la unidad de tratamiento (de la PCU o de la PPU, según el caso) atribuye un valor de característica temporal (p. ej. frecuencia, escala, periodicidad) a cada componente de interés;
 - (n) a partir de uno de los valores temporales de los valores de cuenta retenidos, la unidad de tratamiento atribuye una etiqueta temporal al bloque seleccionado;
 - 40 (o) si una referencia temporal del valor de fase no corresponde a una posición de la etiqueta temporal atribuida, a partir de los valores temporales de los valores de cuenta retenidos, la unidad de tratamiento ajusta el valor de fase de cada componente para que corresponda a una referencia temporal determinada por la etiqueta temporal del bloque seleccionado, y
 - (p) en el caso en el que las etapas anteriores se realizan por una PCU, la unidad de tratamiento de la PCU transmite a la PPU datos representativos de la etiqueta temporal del bloque seleccionado y el valor de fase al igual que el valor de característica temporal de uno o varios componentes observados en el bloque seleccionado.

- Las etapas siguientes pueden realizarse en la PPU:
- 50 (q) entre los bloques procedentes de varias PCU, la unidad de tratamiento agrupa los que tienen una etiqueta temporal cercana según un criterio de similitud predeterminado;
 - (r) la unidad de tratamiento convierte los valores de fase de cada componente de interés de cada bloque agrupado según una referencia temporal común determinada por una etiqueta temporal común atribuida a los bloques agrupados; y
 - 55 (s) la unidad de tratamiento proporciona la etiqueta temporal común, el valor de fase convertido, al igual que el valor de característica temporal de uno o varios componentes observados en los bloques agrupados bajo la etiqueta temporal común, que acaba de este modo la sincronización temporal de fase de las señales de medición.

60 Las PCU y PPU pueden ser un elemento permanente, portátil o móvil de un sistema. La PPU puede integrarse en la propia unidad de tratamiento de una PCU. Varias PCU pueden compartir un receptor GPS, un reloj de referencia, y/o una interfaz de comunicación.

65 En el caso de un sensor que proporciona una señal analógica, la misma pasa por un convertidor analógico a digital (CAD) que somete a muestreo y digitaliza la señal. Antes de alcanzar la unidad de tratamiento de una PCU, la señal puede pasar por circuitos de protección y de acondicionamiento. El circuito de acondicionamiento puede constar de un

amplificador, un filtro, y/o un integrador o derivador. Un filtro antialiasing espectral ("anti-aliasing filter") puede incluirse en el circuito de acondicionamiento o el convertidor.

5 La señal digitalizada puede pasar por un aislamiento galvánico antes de recibirse por la unidad de tratamiento de una PCU. Una o varias subunidades de digitalización pueden unirse a la unidad de tratamiento de una PCU por un bus común.

10 La unidad de tratamiento de una PCU puede atribuir un valor de cuenta a todas las muestras de la señal digitalizada y no a algunas muestras.

En el caso de una digitalización continua de la señal procedente de un sensor, la señal se recorta preferentemente en bloques temporales sucesivos que pueden o no superponerse temporalmente.

15 La señal digitalizada puede someterse a un diezmado antes de que se extraiga un bloque de ella.

20 La unidad de tratamiento de una PCU puede retener dos valores de cuenta del contador, que consisten por ejemplo respectivamente en la cuenta `_0` que corresponde a la primera muestra del bloque temporal seleccionado y en la cuenta `_N-1` que corresponde a la última muestra de este mismo bloque. Los valores `cuenta_0` y `cuenta_N-1` corresponden a muestras distantes en el bloque o en la cercanía del bloque temporal seleccionado.

25 En caso de que hubiera una pérdida temporal de la señal de sincronización, puede ser el último valor OPPS el que se retiene por el PCU para su cálculo. La PCU puede configurarse para detectar una pérdida de sincronización, etiquetar los bloques correspondientes y administrar el contador en consecuencia. La pérdida de sincronización puede detectarse, por ejemplo, mediante una desviación de cuenta de varias desviaciones típicas con respecto a una media móvil de los últimos OPPS. La PCU puede transmitir el estado de sincronización de cada bloque a la PPU, que notifica la misma de una eventual pérdida de sincronización. La PCU puede transmitir también a la PPU el estado del receptor GPS transmitido por el receptor GPS a la PCU.

30 El valor OPPS puede usarse de común acuerdo con el valor de la referencia temporal proporcionado por el receptor GPS para atribuir una etiqueta temporal a los valores de cuenta del contador que se han retenido. La etiqueta temporal puede apuntar al principio, el medio o el final del bloque seleccionado en la PCU, u otra posición predeterminada del bloque si se desea.

35 El valor de la referencia temporal proporcionado por el receptor GPS puede expresarse en otra unidad temporal si se desea, p. ej. en segundos desde una fecha determinada.

40 La unidad de tratamiento de una PCU puede estimar y retener también un valor de amplitud de uno o varios componentes observados en el bloque seleccionado, y transmitirlo o transmitirlos a la PPU para fines de tratamiento con los otros datos.

El agrupamiento de los bloques en la PPU puede hacerse a intervalo temporal dado, hacerse en respuesta a un orden o hacerse en cada llegada de una nueva cohorte de datos por parte de las PCU.

45 La referencia temporal común puede ser un valor predeterminado, uno de los valores de las etiquetas temporales de la cohorte de datos agrupados, o una etiqueta que corresponde a una media temporal de las etiquetas temporales de la cohorte de datos agrupados.

50 Una ventana espectral puede aplicarse en el bloque seleccionado sometido a la transformada con el fin de limitar un error introducido por una superposición espectral de los componentes. El o los componentes pueden nacer de una transformada de Fourier, de un análisis en ondículas, de un análisis de cicloestacionalidad o de cualquier otro procedimiento que conduce a atribuir un valor de fase a un componente de señal. En los tres casos especificados, será cuestión respectivamente de frecuencia, de escala y de periodicidad como característica propia de un componente.

55 En el caso de una localización radar pasiva, un bloque puede seleccionarse según una llave (patrón) reconocible en la señal por las diferentes PCU. Por ejemplo, la llave puede corresponder a una transitoria RF distinta procedente de una estación AM, FM, TV u otras y que presentan una buena relación señal-ruido. Cada reflexión crea una reproducción de la llave. En la PCU, la posición temporal de una llave o de su reproducción se establece entonces en dos niveles, aproximadamente según su envoltura y finamente según su fase. Una comparación de las llaves capturadas por diferentes PCU permite asociar las llaves que nacen de una misma emisión con el fin de deducir de ella los plazos y efectos Doppler relativos. Los bloques pueden extraerse en más de una banda de señal RF con el fin de explotar la coincidencia estadística de las localizaciones obtenidas para acrecentar la robustez y la precisión.

60 El método permite aumentar una precisión de la sincronización temporal de la fase reduciendo una dispersión temporal de la señal de sincronización, con las etapas siguientes:

65

- (a) transmitir de una PCU a la PPU y conservar en la PPU, para cada bloque, los valores de cuenta usados en el tratamiento del bloque, incluyendo el valor OPPS;
- (b) aplicar un filtro digital en los valores sucesivos OPPS acumulados por la PPU y generar de este modo nuevos valores OPPS;
- 5 (c) volver a generar los valores de cuenta del contador de la PCU a partir de los nuevos valores OPPS filtrados;
- (d) usar los nuevos valores OPPS para atribuir valores temporales a los valores de cuenta que se han retenido;
- (e) usar los anteriores valores de cuenta para recobrar los valores de origen de fase y de característica temporal de los componentes observados en los bloques que tienen la misma etiqueta temporal;
- 10 (f) volver a calcular, a partir de los nuevos valores OPPS y de cuenta calculados en (b) y (d) y de los anteriores valores recobrados en (e), los valores de fase y de característica temporal de los componentes observados en los bloques que tienen la misma etiqueta temporal; y
- (g) volver a calcular la etiqueta temporal de los bloques agrupados en función de los valores OPPS filtrados o convertir los valores de fase en función de la anterior etiqueta temporal común.

15 Las etapas (b), (c), (d) y (e) pueden sustituirse por una corrección del valor de fase y de característica temporal a partir de los valores procedentes de una aplicación de un filtro digital, p. ej. FIR ("Finite Impulse Response") o IIR ("Infinite Impulse Response"), en los valores OPPS sucesivos acumulados por la PPU.

20 La etapa (f) puede sustituirse reduciendo una deriva temporal de la señal del reloj de referencia con las etapas siguientes:

- (a) generar, por interpolación de los valores OPPS, una función de transferencia temporal que convierte los nuevos valores de cuenta que nacen de los valores OPPS filtrados en valores de cuenta que corresponderían a los emitidos por un contador alimentado por un reloj de frecuencia constante que muestra un valor OPPS constante
- 25 llamado a continuación OPPSP;
- (b) aplicar la función de transferencia a los nuevos valores de cuenta con el fin de corregirlos;
- (c) usar el nuevo valor OPPSP para atribuir un valor temporal a los valores de cuenta que se han retenido; y
- (d) volver a calcular, a partir del valor OPPSP y de los valores temporales de cuenta corregidos, valores de fase y de característica temporal de los componentes observados en los bloques que tienen la misma etiqueta temporal.
- 30

En caso de que hubiera una pérdida temporal de la señal de sincronización, la PPU puede volver a tomar el cálculo de una PCU considerando las cuentas OPPS válidas antes y después de la pérdida de sincronización. Una interpolación lineal de las cuentas que faltan puede realizarse antes de proceder al recálculo de las etiquetas temporales, de los valores de fase y de característica temporal de los componentes observados en los bloques procedentes de la PCU afectada por la pérdida de la señal de sincronización.

35

La interpolación puede aplicarse en una serie constituida por una suma sucesiva de una serie de valores OPPS.

40 Los valores de cuenta regenerados pueden no contener una vuelta a cero para una cierta duración para dar una cuenta de una progresión continua.

Un componente observado puede ser una cicloestacionalidad caracterizada por una amplitud, una periodicidad y una fase, tratándose la periodicidad tal como el contrario de la frecuencia.

45 La PPU puede configurarse para identificar mediciones susceptibles de estar sesgadas debido por ejemplo a un fenómeno climático como la lluvia o un fenómeno que tiene un efecto similar sobre las mediciones, con el fin por ejemplo de rechazarlas o de no usarlas en cálculos que sirven para establecer diagnósticos basados en la sincronización temporal de mediciones de fase conforme a la invención, como por ejemplo para una supervisión de travesías de transformador (esto es, de condiciones de defectos posibles). En caso parecido, la PPU puede realizar las etapas siguientes:

50

- (a) hacer estimaciones sucesivas de diferencias temporales de diferencias de ángulos de fase a partir de los valores de fase de los componentes de los bloques agrupados;
- (b) calcular desviaciones típicas en las estimaciones sucesivas; e
- 55 (c) invalidar una medición según si la desviación típica correspondiente supera un umbral de rechazo predeterminado.

La PPU puede configurarse entonces para detener los cálculos que sirven para establecer un diagnóstico hasta que las mediciones sean de nuevo válidas, lo que significa que el fenómeno perturbador que causa transitorias significativas en las mediciones diferenciales está acabado. Las estimaciones sucesivas pueden hacerse sobre diferencias temporales de tangentes de diferencias de ángulos de fase si se desea.

60

Breve descripción de los dibujos

65 Una descripción detallada de las realizaciones preferidas de la invención se dará a continuación con referencia a las Figuras siguientes:

La Figura 1 es un diagrama esquemático que muestra un ejemplo de arquitectura de un sistema según la invención.

La Figura 2 es un diagrama esquemático que muestra una unidad de medición de fase (PCU) según la invención.

La Figura 3 es un diagrama esquemático que muestra una configuración compartida entre diferentes unidades de medición de fase (PCU) según la invención.

La Figura 4 es un diagrama esquemático que muestra un tratamiento realizado por una unidad de medición de fase (PCU) según la invención.

La Figura 5 es un diagrama esquemático que muestra una unidad de tratamiento de medición de fase (PCU) de señales captadas en una travesía de transformador según la invención.

La Figura 6 es un diagrama esquemático que muestra un sistema según la invención para una supervisión de travesías de transformadores.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

En el marco de la presente divulgación, el término “característica temporal” designa una frecuencia, una escala, una periodicidad o un parámetro similar de un componente de interés de una señal.

Con referencia a la Figura 1, se muestra un ejemplo de arquitectura de un sistema según la invención en el que varias unidades de medición de fase 1 (a continuación también llamada PCU para “phase computing unit”) están empalmadas a una unidad de tratamiento de fase 2 (a continuación también llamada PPU para “phase processing unit”) a través de una red de comunicación local 3 que puede empalmarse a su vez a una red más extensa 4. Otras PCU (no ilustradas) pueden añadirse mediante la red más extensa 4. En una configuración posible del sistema según la invención, el papel de cada PCU 1 es de estimar valores de amplitud, de fase y de frecuencia de uno o de varios componentes espectrales de una señal medida asociando a estos datos una etiqueta temporal, mientras que el papel de la PPU 2 es de tratar los datos procedentes de las PCU 1 para agruparlos bajo unas mismas etiquetas temporales con el fin de acabar la sincronización temporal de fase de las señales de medición y de transmitir los datos tratados de este modo por ejemplo para su uso por un equipo que requiere datos o almacenamiento de este tipo en una base de datos.

Con referencia a la Figura 2, una PCU 1 puede dotarse de una unidad de digitalización que consta de un sensor 5 u otro dispositivo de medición, integrado o fijado en el exterior en un equipo (no ilustrado), para producir una señal de medición con respecto a una característica de supervisión del equipo. Antes de una conversión digital de la señal analógica por un convertidor 8, la señal puede pasar por un circuito de protección 6 y un circuito de acondicionamiento 7 (p. ej. amplificador, filtro, integrador, derivador...). Un filtro antialiasing (“anti-aliasing filter”) puede incluirse en el circuito de acondicionamiento 7 o el convertidor 8. Una o varias unidades de digitalización pueden unirse a una unidad de tratamiento 11 por un bus común 10. Preferentemente, cada unidad de digitalización tiene un aislamiento galvánico 9 frente al bus 10 que la une al resto del sistema. En el caso de un sensor con salida digital, no se requiere el convertidor 8. La unidad de tratamiento 11 recibe una señal de sincronización así como una señal de un reloj de referencia 13. La señal de sincronización procede preferentemente de un receptor GPS 12, pero puede proceder también de una onda portadora generada localmente y transmitida por radio, conducción eléctrica o cualquier otro medio de transmisión apropiado si se desea. La señal de sincronización puede tomar la forma de un impulso por segundo, u otra forma que proporciona un hito temporal que permita una sincronización temporal en una unidad temporal preestablecida. La unidad de tratamiento 11 dispone de un contador 14 que recibe la señal del reloj de referencia 13 y que incrementa su cuenta en respuesta a un hito temporal tal como un golpe de reloj en la señal del reloj 13. El reloj 13 tiene especificaciones de estabilidad elegidas en función de la aplicación contemplada y del entorno del material (p. ej. temperatura y estabilidad de la alimentación). Preferentemente el contador 14 se vuelve a cero en una transición de la señal de sincronización del receptor GPS 12. La señal de medición puede digitalizarse en continuo o por bloques temporales. En el caso de una digitalización continua, la señal de medición se recorta en bloques temporales sucesivos que pueden o no superponerse temporalmente. En una configuración posible de una PCU 1, la unidad de tratamiento 11 estima la amplitud, la frecuencia (u otra característica temporal) y la fase de uno o varios componentes espectrales de un bloque de señal digitalizada y atribuye una etiqueta temporal al bloque. Estas operaciones pueden efectuarse por un procesador 27 o un circuito similar con memoria en la unidad de tratamiento 11. Los datos resultantes del tratamiento se transmiten a la PPU 2 (ilustrada en la Figura 1) a través de una interfaz de comunicación 15.

Con referencia a la Figura 3, varias PCU 1 pueden compartir un mismo receptor GPS 12, un mismo reloj de referencia 13 y una misma interfaz de comunicación 15.

Con referencia a la Figura 4, se muestra un tratamiento que una PCU 1 (tal como se ilustra en la Figura 1) puede realizar. Por motivos prácticos, la señal muestreada 16, la ventana espectral 17 y el valor de contado 21 se presentan tales como valores continuos mientras que en la realidad son sucesiones de valores discretos. La señal muestreada 16

puede corresponder a la señal digitalizada o a un diezmado de la señal digitalizada. Con el fin de limitar el error introducido por la superposición espectral de los componentes ("spectral leakage", cf. F. J. Harris, "On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform", Proceeding of IEEE, Vol. 66, no. 1, pp. 51-83, 1978), preferentemente una ventana espectral 17 se aplica en el bloque de señal sometido a una transformada 18. La ventana espectral 17 tendrá preferentemente una forma semejante a una gaussiana e indicará una tasa elevada de rechazo de los lóbulos secundarios. La transformada 18 convierte la señal temporal en una información espectral en la que la energía de una tonalidad se encuentra agrupada a una frecuencia con una amplitud o una fase. Preferentemente, esta transformada corresponderá a una transformada rápida de Fourier ("FFT"). La información espectral se somete a un estimador de componente 19. Este estimador 19 encuentra la amplitud, la fase y la frecuencia en orden de línea espectral de una o varias tonalidades. La PCU 1 puede interrumpir en este punto el tratamiento y transmitir a la PPU 2 (tal como se ilustra en la Figura 1) los valores de amplitud, de frecuencia y de fase así como la etiqueta temporal 20 del receptor GPS 12 y tres valores del contador 14 unido al reloj de referencia 13 (tal como se ilustra en la Figura 2). Preferentemente, los tres valores de cuenta 21 del contador 14 consisten respectivamente en una cuenta_0 22 que corresponde a la primera muestra del bloque temporal seleccionado, una cuenta_N-1 24 que corresponde a la última muestra de este mismo bloque y un valor OPPS 23 del contador 14 durante una vuelta a cero de este durante la última transición de la señal de sincronización (p. ej. un impulso por segundo) procedente del receptor GPS 12. La etiqueta temporal puede apuntar al principio, el medio o el final del bloque seleccionado, u otro punto específico del bloque si se desea. Cabe resaltar que otro cambio como una transición de la dirección de contado puede realizarse en vez de una vuelta a cero del contador 14. O incluso, puede que el contador 14 no sufra ningún cambio en la medida en que se retiene el valor de cuenta OPPS del contador 14 que marca un hito temporal proporcionado por la señal de sincronización. En caso parecido, la cadencia de los hitos temporales proporcionados por la señal de sincronización será preferentemente más elevada que un ciclo de contado del contador 14 con el fin de simplificar el tratamiento de los hitos temporales. Solo el valor de cuenta OPPS 23 y otro valor de cuenta pueden transmitirse si se desea.

El tratamiento de a continuación puede ejecutarse en una PCU 1 (tal como se ilustra en las Figuras 1 y 2) o la PPU 2 (tal como se ilustra en la Figura 1). Para la estimación de frecuencia, el ajuste de la fase a una referencia temporal dada, así como la generación de etiquetas temporales, el estimador 19 explota la información 20 que se le transmite por el receptor GPS 12 así como tres valores de cuenta 21 del contador 14 unida al reloj de referencia 13. La información 20 del receptor GPS 12 corresponde a la etiqueta temporal hora/minuto/segundo (y posiblemente día/mes/año) en curso. El valor OPPS 23 permite caracterizar la frecuencia del reloj de referencia 13 y dar de este modo un valor temporal en cada cuenta 21. Por ejemplo, para un reloj de referencia de 100 MHz, la cuenta 21 da un valor OPPS 23 que puede variar tradicionalmente en unas cuantas unidades alrededor de 100 millones de muestras. A una k^a cuenta corresponderá entonces la etiqueta temporal

$$t_k = \left\{ \text{Horas} : \text{Minutos} : \text{Segundos} + \frac{k}{\text{OPPS}} \right\} \quad (1)$$

El caso particular expuesto en la Figura 4 en la que el contador 14 se vuelve a cero entre la primera y la última muestra del bloque seleccionado debe considerarse cuando proceda. En este caso, el valor "segundo" se incrementa para el cálculo de las etiquetas temporales posteriores a la vuelta a cero del contador 14, y se tratan los casos posibles de desbordamiento de los valores segundos, minutos y horas (y días, meses, años cuando proceda). En el caso en el que hay una pérdida temporal de la señal de sincronización, puede ser el último valor OPPS el que se retiene por la PCU para su cálculo en la ecuación (1) y el valor k puede superar significativamente el valor OPPS para contar varios segundos. El valor k incluirá los "wrap around" del contador 14 en caso necesario.

Si el reloj de referencia 13 se elige por su estabilidad, en cambio, los demás relojes en los diferentes convertidores 8 pueden derivar sustancialmente. A los valores de cuenta, cuenta_N-1 24 y cuenta_0 22, corresponden las etiquetas temporales $t_{\text{cuenta_N-1}}$ y $t_{\text{cuenta_0}}$ según la transformación dada en (1). Las etiquetas temporales $t_{\text{cuenta_N-1}}$ y $t_{\text{cuenta_0}}$ permiten caracterizar la frecuencia media de cada convertidor 8. De este modo, la ecuación

$$f = \frac{i}{t_{\text{cuenta_N-1}} - t_{\text{cuenta_0}}} \cdot \frac{N-1}{N} \quad (2)$$

en la que N es el número de muestras del bloque, permite la conversión en Hertz de la frecuencia expresada en número de línea espectral i de una tonalidad. Cabe destacar que en el caso en el que el estimador 19 ha realizado una interpolación, i no es un número entero.

Un valor de fase solo tiene sentido si este valor está referenciada a una posición temporal. Por ejemplo, el algoritmo clásico de transformada de Fourier referencia la fase con respecto a la primera muestra temporal del bloque. Ya sea en la PCU 1 o la PPU 2, se requiere a veces convertir el valor de fase de una tonalidad para otra referencia temporal. Sea

$$\theta_2 = \theta_1 + 2\pi f \cdot (t_2 - t_1) \text{ en radianes} \quad (3)$$

5 la corrección de fase aplicada cuando se pasa de la referencia temporal t_1 a la referencia t_2 , t_1 y t_2 siendo etiquetas temporales expresadas en segundos.

La PCU 1 puede transmitir a continuación a la PPU 2 los valores de amplitud, de fase y de frecuencia calculadas según (2) así como una única etiqueta temporal calculada según (1) para la que la fase está referenciada según (3) si se requiere. Puede transmitir también un estado del GPS y un estado “en sincro” o “fuera de sincro” del valor OPPS usado en su cálculo. Opcionalmente, tal como se explica más adelante, se pueden realizar una reducción del ruido del receptor GPS 12 y una compensación de las derivas del reloj de referencia 13 que consiste en añadir a los resultados de análisis de cada bloque los tres valores cuenta_0 22, OPPS 23 y cuenta_N-1 24 del contador 14 y transmitir todo a la PPU 2.

15 En lo relativo a la fase de fenómenos cicloestacionales, el presente método de sincronización temporal puede aplicarse de la manera siguiente. El objetivo es posicionar angular o temporalmente, lo que es lo mismo, una cicloestacionalidad según una referencia temporal determinada. Una primera manera consiste en el uso en el método de sincronización de una transformada en ondícula con una ondícula similar a la cicloestacionalidad presente. 20 Temporalmente, el cero de fase corresponde entonces al principio de un ciclo mientras que el valor $2\pi(N-1)/N$ corresponde a la fase de la última muestra del ciclo. Una segunda manera recurre a un análisis armónico en el que la cicloestacionalidad se considera como una suma de componentes armónicos. La fase de cada componente se toma entonces en consideración y se sincroniza individualmente por el método según la invención. De cada una de estas fases se puede deducir una posición armónica y del conjunto de estas posiciones, según una ponderación a elección (amplitud del armónico, potencia, amplitud x frecuencia...), se estima el plazo de grupo que corresponde al conjunto de armónicos.

Con referencia de nuevo a la Figura 1, la unidad de tratamiento de la fase (PPU) 2 consta de una unidad de tratamiento 25 que incluye un procesador 28 o un circuito similar con memoria, que recoge los datos procedentes de las diferentes PCU 1 mediante una interfaz de comunicación 26. La unidad de tratamiento 25 agrupa (o selecciona) en un primer paso todos los datos que tienen una etiqueta temporal cercana. Este agrupamiento puede hacerse a intervalo temporal dado, hacerse en respuesta a un orden o hacerse en cada llegada de una nueva cohorte de datos por parte de las PCU 1. La selección de etiquetas temporales cercanas asegura que los bloques de medición correspondientes tratados en las diferentes PCU 1 se superponen aproximadamente de manera temporal. Esta superposición permite permanecer 35 próxima a la precisión última asequible. La precisión última asequible se define como la cota de Cramer - Rao (cf. C. Rife and R. Boorstyn, “Single-tone parameter estimation from discrete-time observation”, IEEE Transactions on Information Theory, IT-20, no. 5, pp.591-598, 1974) para la estimación de una tonalidad continua a la que se añade (1) la contribución de los errores de etiquetado temporal en la estimación de la frecuencia y de la fase de la tonalidad y (2) la contribución de las desviaciones de superposición temporal entre los bloques de las diferentes mediciones ha tenido en cuenta el hecho de que la tonalidad varía lentamente en amplitud y en frecuencia. La unidad de tratamiento 40 25 de la PPU 2 calcula nuevos valores de fase de cada medición según una referencia temporal común aplicando la ecuación (3). La referencia temporal común deberá ser lo más próxima posible a las etiquetas temporales en tratamiento si se desea minimizar los errores en el ajuste de los valores de fases. Esta referencia temporal puede ser un valor predeterminado, uno de los valores de las etiquetas de la cohorte en tratamiento, o una etiqueta que 45 corresponde a la media temporal de las etiquetas de la cohorte en tratamiento.

Con referencia igualmente a la Figura 2, refiriéndose a la opción que contempla la reducción del ruido del receptor GPS 12 y la compensación de las derivas del reloj de referencia 13 de una PCU 1, los tres valores cuenta_0 22, OPPS 23 y cuenta_N-1 24 del contador 14 transmitidos por una PCU 1 pueden usarse para recobrar los valores de origen (k , θ) - 50 posición de un valor de cuenta y fase. Hemos de precisar que el ruido del receptor GPS 12 y las derivas del reloj de referencia 13 indican distribuciones espectrales casi al contrario: el ruido correspondiente a las desviaciones temporales de la sincronización dada por el receptor GPS 12 se sitúa hacia los períodos cortos, del orden del segundo, mientras que las derivas del reloj de referencia 13 aparecen grandes para períodos más largos, del orden de varias decenas de minutos. Un filtro FIR o IRR puede aplicarse entonces en los valores sucesivos OPPS acumulados por la PPU 2 para reducir el ruido del receptor GPS 12. El resultado filtrado de los avatares del receptor GPS 12 da una buena estimación del comportamiento del reloj de referencia 13. Se trata de regenerar los valores de cuenta del contador 14 a partir de los nuevos valores OPPS filtrados. Para compensar las derivas del reloj de referencia 13, se trata de encontrar la transformación de recalibrado temporal que da un OPPS constante: la curva temporal resultante de una interpolación de la suma de los valores OPPS se ve entonces como la función de transferencia inversa de la que se busca. La función de transferencia temporal se aplica en los valores de cuenta regenerados. Las ecuaciones 60 (1), (2) y (3) se vuelven a tomar entonces con los nuevos valores filtrados y corregidos. Cabe precisar que los otros métodos de sincronización de fase, tal como el muestreo sincro, no permiten esta corrección fina. Sin embargo, la

contrapartida de esta corrección es un plazo adicional en la entrega final del resultado, correspondiendo este plazo como mínimo a la media anchura del filtro FIR aplicado a los valores OPPS más un cierto tiempo de cálculo.

Los valores de fase sincronizados, como los valores de frecuencia corregidos y los valores de amplitud pueden transmitirse al exterior a través de la interfaz de comunicación 26. En el exterior, estos datos podrán explotarse en contextos tan variados como la supervisión preventiva, el diagnóstico de equipo o el control de proceso.

Las funcionalidades de tratamiento de los datos de la PPU 2 pueden integrarse en una, varias o todas las PCU 1 en caso necesario con el fin de reducir los costes material y extender el campo de aplicación del método. Las funcionalidades materiales y las funcionalidades de tratamiento de los datos de las unidades PCU 1 y PPU 2 pueden fusionarse en una misma unidad.

A modo de ejemplo no limitativo, el sistema y el método según la invención permiten la supervisión en línea de travesías de transformadores.

Con referencia a la Figura 5, se muestra un ejemplo de instalación de un sistema según la invención en un sensor 29 de una travesía 30 de transformador. La PCU 1 tiene en el caso ilustrado 6 canales de adquisición susceptibles de unirse a otros tantos sensores si se desea, p. ej. a través del bus común 10. Unos dispositivos de protección de sobretensión 31, 6 se incluyen en el sensor 29 de travesía 30 y en la entrada de cada canal, y pueden interconectarse por un par trenzado blindado 39. Un canal está compuesto preferentemente por un circuito de acondicionamiento 7 con shunt 32, por un convertidor analógico a digital sigma-delta 8 (CAD de 24 bits) y un circuito digital de aislamiento 9. Este montaje presenta una alta inmunidad al ruido y a una subida de tensión con respecto a la tierra, y la sincronización intrínseca de los convertidores 8 de sobremuestreo cuando se pilota por un reloj común. Además, el convertidor 8 de sobremuestreo permite usar un filtro antiplegramiento más sencillo en el circuito de acondicionamiento 7, lo que ayuda a minimizar las perturbaciones en las mediciones de ángulo de fase y de amplitud a la frecuencia de la red.

El sistema puede configurarse para calcular la fase y la amplitud de todos los canales cada minuto. Los resultados pueden recopilarse en un dispositivo de almacenamiento local en la red (no ilustrado) y transferirse al exterior del sitio una vez al día en una base de datos central (no ilustrada) para análisis.

Se preconiza un método de medición relativa que usa dos travesías o más en paralelo en una misma fase eléctrica y que calcula la relación de las amplitudes y la tangente del ángulo de fase entre los componentes fundamentales de las corrientes de aislamiento de travesía. El aislamiento dieléctrico interno de travesías alta tensión consta de un apilamiento de flejes conductores y de flejes dieléctricos intercalados. Un deterioro está caracterizado por un daño de uno o varios flejes dieléctricos que genera en última instancia un corto-circuito entre flejes. El daño del dieléctrico modifica la relación de fase entre la corriente del componente fundamental a 60 Hz de la red (u otra frecuencia de operación cuando proceda) que recorre el aislamiento de la travesía y la tensión en los terminales de este aislamiento. Los flejes en corto-circuito parcial o total influyen directamente en el valor de la capacidad equivalente de la travesía que afecta a la amplitud de la corriente del componente a 60 Hz. La supervisión del aislamiento dieléctrico interno de travesías implica un seguimiento de la evolución temporal de los valores de fase y de corriente a partir del momento de la puesta en servicio del equipo, en el supuesto de que las travesías estuvieran en buen estado en esta puesta en servicio. Tradicionalmente, para una travesía que consta de una centena de flejes, se atribuye un diagnóstico de presencia de defecto a una de las travesías cuando el valor tangente del ángulo de fase tensión/corriente ($\tan\delta$) varía de 0,005 o más. Igualmente, una desviación de más de un 1 % en la evolución temporal de las amplitudes relativas entre dos travesías significa la presencia de al menos un corto-circuito en los flejes. La tangente de la diferencia de fase sincronizada entre dos travesías es sensible a cualquier cambio en el factor de potencia/disipación de una de las travesías, y la relación de las amplitudes es sensible a los cambios en la capacitancia de una de las travesías. Si se efectúan mediciones relativas usando tres elementos del equipo en paralelo, entonces se puede identificar la travesía defectuosa. La asimetría de tensión interfase no influirá en la interpretación, ya que la tensión aplicada es esencialmente la misma para todo el equipo conectado en paralelo. El método de la suma de los corrientes de tres travesías unidas a las tres fases, por ejemplo al primario de un transformador, es menos sensible. En cambio, en el caso de varios flejes en cortocircuito, este método permite confirmar o/precisar el diagnóstico. Por ejemplo, en el caso de una instalación que solo comprende dos transformadores, el método de la suma de las corrientes permite orientar el transformador que tiene la travesía en defecto si el defecto es pronunciado en una de las travesías.

Con referencia a la Figura 6, la unidad de tratamiento 11 de cada PCU 1 (tal como se ilustra en la Figura 2) está configurada para calcular un fasor de la corriente del sensor 29 (tal como se ilustra en la Figura 5) y transferir las mediciones etiquetadas temporalmente por GPS a la unidad de tratamiento de una PPU 2 que en el caso ilustrado es una unidad de diagnóstico de travesías, usando una red de comunicación 3 que puede ser ya existente en instalaciones de este tipo. Cada PCU 1 se conecta a los sensores 29 de las travesías de los transformadores 34 y se instala en su carcasa. Una antena GPS 35 se conecta al receptor de sincronización (p. ej. receptor GPS 12 tal como se ilustra en la figura 2) de cada PCU 1.

La PPU 2 puede situarse en un edificio de control de subestación. Puede recibir los fasores de las PCU1, calcular los $\Delta\tan\delta$ (diferencias temporales de las tangentes de diferencias de ángulos de fase) y relaciones de amplitud, recopilar los datos, efectuar análisis de tendencia, emitir un diagnóstico local y transmitir cuando proceda alarmas a un centro de

mantenimiento 36 p. ej. conectado a la red 3 a través de una pasarela 37 y una red de empresa 38. La PPU 2 puede permitir también al personal de mantenimiento explorar y analizar los datos pertinentes a distancia.

5 La red local 3 en la parte de subestación conecta el edificio de control a las carcassas de los transformadores alta-tensión 34. El uso de una red ya existente permite una reducción significativa en los costes de despliegue y de manutención.

10 Con referencia de nuevo a la Figura 5, los valores de shunt 32 se eligen preferentemente para adaptar la corriente nominal del sensor 29, que es función de la capacidad (pF) y de la tensión de la travesía, al rango de entrada del convertidor 8. La PCU 1 puede constar de una FPGA ("Field-Programmable Gate Array") 33 usada para el etiquetado temporal de las muestras del convertidor 8 en la resolución del reloj de referencia 13. El contador 14 implementado en la FPGA 33 se opera por el reloj 13, p. ej. de baja deriva en temperatura acompasada a 125 MHz. Preferentemente el contador 14 se vuelve a cero por la señal a un impulso por segundo (1 PPS) del receptor GPS 12. Los intervalos entre los impulsos se usan también para calcular la frecuencia del reloj de referencia 13. Ya que el ruido de la señal proporcionada por el receptor GPS 12 no está correlacionada con el ruido del reloj de referencia 13 usado para el muestreo, unos tratamientos pueden realizarse para reducir los dos ruidos tal como se ha explicado anteriormente.

20 Además del etiquetado temporal, la FPGA 33 puede usarse también como primera etapa del tratamiento de señal, tampón e interfaz con el procesador 27. El procesador 27 es responsable del cálculo de ángulo de fase y de amplitud de las señales etiquetadas temporalmente procedentes de los convertidores 8. La PCU 1 transmite los datos de fasores resultantes a través de su puerto de fibra óptica Ethernet 15 a la PPU 2 como se ha mostrado en la Figura 6.

25 El efecto de armónicos en la tensión puede causar un error significativo en los tratamientos digitales que se basan en una detección de paso a cero. En el caso presente, el convertidor delta-sigma 8 convierte la señal p. ej. a 50k muestras por segundo. Con el fin de reducir las exigencias de potencia de tratamiento, la señal digital puede filtrarse por un FIR paso bajo y diezarse por diez. Con una tasa de muestreo a 5 kHz, una transformada de Fourier rápida (FFT) trata 83,3 muestras por ciclo. El número máximo de ciclos tratados por una FFT se fija por la estabilidad de la frecuencia de la red, y el mínimo por el tipo de ventana espectral y el rechazo deseado de componentes subsíncronos.

30 El producto de la ventana espectral, la FFT y la estimación del parámetro del componente espectral se realizan por la CPU 27. Ya que el reloj de referencia 13 es más preciso que el del convertidor 8, la frecuencia de muestreo se estima a partir del último valor de cuenta 1 PPS. La fase está referenciada en la etiqueta temporal generada a partir de los valores de cuenta y de los datos GPS. Los valores $\Delta \tan \delta$ se estiman por la PPU 2 (tal como se ilustra en la Figura 6) considerando las etiquetas temporales y las frecuencias de relojes de referencia 13 respectivas.

35 El uso de una ventana espectral de lóbulos laterales con alta tasa de rechazo permite un rechazo que supera 90 dB de componentes armónicos y subsíncronos. La precisión de estimación espectral es función de la relación señal-ruido:

$$SNR = G \cdot \sqrt{N} \cdot a_0 / \sigma_w$$

(4)

40 bajo un lóbulo espectral en el que G representa el factor de ganancia de tratamiento de la ventana espectral, N representa el número de muestras temporales tratadas por la FFT, y a_0/σ_w representa la relación señal-ruido blanco.

45 Al elegir una ventana Blackman-Harris, para N=4.096 muestras, la relación señal-ruido bajo el lóbulo espectral es $SNR(dB)=a_0/\sigma_w(dB)+32,6 dB$, expresado en dB. La desviación típica de fase para una travesía A, expresada en grados, está relacionada por

$$\sigma_{\theta,t} > \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{1}{SNR}$$

(5)

50 En el supuesto de ruido no correlacionado entre las mediciones, la desviación típica $\Delta \tan \delta$ es la suma cuadrática de las desviaciones típicas de dos estimaciones de fase. Ya que $\sigma_{\theta A} \approx \sigma_{\theta B}$, la desviación típica $\Delta \tan \delta$ es

$$\sigma_{\Delta \tan \delta} > \frac{\sqrt{2}}{SNR} \text{ o } \sigma_{\Delta \tan \delta} > -(a_0/\sigma_w \text{ (dB)} + 29.6 \text{ dB})$$

(6)

expresada en dB. Tomando en cuenta el ruido blanco analógico y el ruido equivalente del convertidor 8, la precisión típica de $\Delta \tan \delta$ supera -100 dB o 0,001 %. El plazo de dispersión correspondiente es 27 ns, en el mismo rango que el ruido GPS. Esta precisión puede alcanzarse con un sistema galvánico estándar. La precisión de medición no está perturbada por el reloj de referencia 13 o la deriva de las frecuencias de la red. La contribución a la dispersión $\Delta \tan \delta$ de la PPU 2 es la suma cuadrática:

$$\sigma_{BLU}^2 = \sigma_{\Delta \tan \delta}^2 + \sigma_{GPS}^2$$

(7)

en la que $\sigma_{GPS} = \Delta t_{GPS} \cdot 2\pi \cdot 60 \text{ Hz}$ y Δt_{GPS} es el ruido GPS. En el caso de ruido no correlacionado entre las PCU 1, el ruido GPS es la suma cuadrática del ruido procedente de dos receptores GPS 12 diferentes. Unos valores típicos medidos conducen a una contribución en ruido GPS Δt_{GPS}^2 de 50 ns o 0,0018 % en la ecuación (7).

La PPU 2 puede configurarse para identificar mediciones susceptibles de estar sesgadas debido por ejemplo a un fenómeno climático como la lluvia o un fenómeno que tiene un efecto similar sobre las mediciones, con el fin por ejemplo de rechazarlas o de no usarlas en cálculos que sirven para establecer un diagnóstico de supervisión de travesías. Tal como se ha indicado más arriba, unos grandes transitorios pueden observarse en una medición diferencial $\Delta \tan \delta$ entre una onda a 60 Hz resultante de un acoplador capacitivo en dos travesías. Algunas de estas transitorias pueden estar asociadas a una presencia de lluvia. Ahora bien, una supervisión automatizada en continuo exige una prosecución de una tendencia libre de transitorias inoportunas tales como las causadas por la lluvia. El método propuesto recurre a una estabilidad temporal local de las mediciones estimadas a partir de una desviación típica en varias estimaciones sucesivas de $\Delta \tan \delta$. Una medición puede considerarse inválida cuando la desviación típica supera un nivel de umbral preestablecido. El nivel de umbral puede fijarse manualmente o determinarse automáticamente por un sencillo cálculo estadístico cuando hay suficientes mediciones acumuladas. En una configuración posible del sistema según la invención, la PPU 2 calcula los valores $\Delta \tan \delta$ sucesivos en el intervalo de medición fijado, p. ej. de 2 segundos, realizando p. ej. 36 transformadas rápidas de Fourier (TRF) de 1.024 muestras con una superposición de un 75 % en la duración del intervalo, en los instantes según la puesta en operación del sistema. Dos TRF que se siguen son por tanto distantes en 256 muestras. Las dos TRF extremas se retiran preferentemente para solo conservar las otras 34. Dado el solapamiento de las TRF, los valores sucesivos de estimación de $\Delta \tan \delta$ no son totalmente independientes: el peso del muestreo estadístico no es de 34 sino más bien más próximo a 15. Una duración más larga o TRF más cortas pueden ser estadísticamente ventajosas. En presencia de una precipitación ligera, aparecerá un parpadeo de las mediciones de una media nula, lo que deja suponer que no hay una película de agua significativa y que la precipitación se evapora más rápidamente que el aporte de agua. Cuando la precipitación aumenta, aparecerá un componente continuo (esto es, de media nula) en el parpadeo. Este componente puede corresponder a una travesía que estaría más mojada que la otra. La distribución estadística de la desviación típica en la dispersión de las mediciones instantáneas de $\Delta \tan \delta$, calculada con una aplicación log del cálculo de decibelio antes de la binaridad estadística, presenta una superposición de dos tipos de distribución. La primera distribución es gaussiana y corresponde al ruido de medición en ausencia de perturbación. Siendo la segunda distribución la primera hacia la derecha y corresponde a las perturbaciones atribuidas a precipitaciones. El establecimiento de un umbral de detección es un compromiso entre una sensibilidad y una probabilidad de una falsa detección. El umbral puede fijarse a una distancia de dos a tres veces la desviación típica de un valor no perturbado. La verosimilitud máxima se obtiene para manipulaciones de tratamiento de señal realizadas en un espacio de representación en el que el ruido aparece gaussiano, como es el presente caso. El valor umbral será posiblemente varias veces mayor para mediciones de lado baja tensión que se encuentran perturbadas por ejemplo por onduladores. El umbral puede fijarse, al principio, en un valor elevado como valor inicial en una media móvil que ajusta poco a poco el valor umbral a la desviación típica media más tres veces la desviación típica de la desviación típica estimada a partir de los valores filtrados. Un terminal mín/máx con alerta de defecto puede llegar a limitar la excursión del valor umbral con el fin de garantizar la robustez. Los resultados de análisis de las mediciones pueden nacer de un

comparado entre el umbral y el $\max\{DT(\Delta \tan \delta), \bar{E}_n\}$ en el que DT representa una estimación de $\Delta \tan \delta$ y la media móvil \bar{E}_n es sencillamente una ponderación de la desviación típica (DT) con un factor de olvido de un 25 %. Se puede escribir $\bar{E}_n = 0,7 \cdot \bar{E}_n + 0,25 \cdot DT_n$ en el que $DT_n = DT(\tan(\delta_{n, canalx}) - \tan(\delta_{n, canaly}))$. Este medio permite responder a la vez instantáneamente a una subida súbita de la DT y extender el rechazo de los valores estimados a algunas mediciones después de una elevación brusca de la DT. Se tiene la seguridad de este modo de limpiar bien alrededor de una elevación brusca de la DT. Para una supervisión multitransformadores, la superación de los umbrales puede

combinarse en las diferentes travesías. La combinación debe aceptar el defecto de una travesía que conduciría a una superación de umbral para los cálculos que implican la misma. Por ejemplo, es posible que unas descargas parciales intermitentes en los flejes de una travesía lleguen a aumentar la dispersión de la DT instantánea. Al ser un evento de este tipo poco probable simultáneamente en dos travesías, se puede ajustar la decisión a "más de una travesía" = precipitaciones. No hay relación entre las fluctuaciones de los valores de relaciones señal con ruido y la media de $\Delta \tan \delta$ o las desviaciones típicas de $\Delta \tan \delta$. Las perturbaciones bajo el pie de los componentes 60 Hz son de escasas amplitudes y constan de una parte aleatoria y otra determinista entre dos travesías. Las fluctuaciones bajo el pie del componente 60 Hz están correlacionadas en parte de una travesía a otra para la misma fase: en la comparación de las $\tan \delta$, este ruido se elimina en buena medida por la sustracción tangente a tangente.

El método y el sistema según la invención permiten supervisar además la aparición de agrietamiento en una estructura como la de una plataforma de perforación que usa dos puntos de medición o más en paralelo instalados en la estructura y que calcula las amplitudes y fases de los modos de vibraciones que afectan la estructura. La aparición de una grieta llega a modificar el reparto de los centros y nodos de los modos estructurales de la plataforma y desplaza también sus frecuencias. La supervisión de este reparto permite detectar los síntomas diagnósticos de un agrietamiento. El método según la invención permite una instalación de bajo coste no cableada entre los diferentes puntos de medición. Tradicionalmente, los puntos de medición comprenden acelerómetros triaxiales, galgas extensométricas y sensores de desplazamiento. Preferentemente, la sincronización temporal se dará por GPS. A la salida del tratamiento hecho por el método, los valores amplitud, fase y frecuencia de los modos estructurales pueden compararse con un modelo digital al que se inserta un defecto sospechoso con el fin de observar la correspondencia entre modos respectivos y determinar la exactitud del defecto sospechoso.

En un contexto de localización sonar o radar semipasivo, las mediciones tratadas por el método según la invención pueden proceder de dos receptores pasivos o más en paralelo, al menos un emisor y un blanco, calculando entonces el tratamiento el ángulo de fase entre al menos un componente de la señal emitida por el emisor y reflejado por el blanco y calculando la frecuencia fina de los componentes emitidos y reflejados. Los receptores y emisores pueden ser radioeléctricos, ultrasónicos o sonoros. La sincronización temporal se dará por GPS, una onda radio eléctrica, luminosa o por cualquier otro medio de comunicación apto para proporcionar la señal de sincronización requerida. Además de la información aportada por los frentes transitorios de los impulsos de ondas, la información de fase añade precisión a la localización respectiva de los emisores, receptores y blancos. La información de la frecuencia fina añade precisión a la estimación de las velocidades respectivas de los emisores, receptores y blancos. El método permite una medición más precisa a menor coste y da acceso al uso de frecuencias más bajas en el que, sin el método propuesto, el uso del frente de onda tendría una precisión limitada por la longitud de onda.

El método según la invención permite supervisar también simultáneamente varios puntos de mediciones localizados en potenciales eléctricos que no permiten cablear estos puntos de mediciones y que necesitan por este motivo PCU 1 en forma de sensores autónomos. Por ejemplo, para la supervisión de cámaras de corte de disyuntores de gran potencia, la medición vibroacústica como la medición radioeléctrica aportan una información rica en síntomas diagnósticos del estado electromecánico del equipo. Ahora bien, en estos dos casos, el sensor autónomo debe yuxtaponerse a la cámara de corte para maximizar la relación de la señal de una cámara de corte en la de las otras cámaras. El sensor se sitúa por tanto en el potencial de la línea de alta tensión. Además de la cuestión de la alimentación autónoma que puede hacerse de diferentes maneras, la de la sincronización es generalmente problemática. La sincronización de fase según la invención permite resolver esta problemática. La medición de interés tiene lugar durante una conmutación del disyuntor. El sensor autónomo se configura preferentemente para descansar entre dos conmutaciones. Por motivos de economía de energía, puede ser obligatorio tomar una medición antes de la llegada de la primera señal de sincronización (estando el receptor GPS 12 sin tensión un poco antes). El método puede proceder entonces reteniendo la cuenta de dos transiciones de sincronización sucesivas en las cercanías temporales del bloque analizado. Cabe precisar que las cámaras de corte de disyuntores están unidas en serie entre sí para un mismo disyuntor. Los comportamientos tanto radioeléctrico como vibroacústico de estas cámaras están interunidos y necesitan comparar de manera sincronizada las firmas, incluyendo la fase de los componentes constituyentes de estas firmas. La implantación de una digitalización sincrónica en el tiempo tal como se emplea en las PMU no puede considerarse para los sensores autónomos porque un medio de este tipo no permitiría un descanso profundo del sensor dada la sincronización en tiempo real que implica un consumo eléctrico de varios ordenes de magnitud superior al medio propuesto sin contar los costes materiales también superiores. Un sensor autónomo basado en una PCU 1 comprende tradicionalmente en el interior o en la proximidad un sensor vibroacústico tal como un acelerómetro, una antena de medición, una antena de comunicación, una medición de temperatura, una medición de corriente, pudiendo esta última servir también como fuente de alimentación. Los tratamientos efectuados por la PPU 2 que recibe los datos de las PCU 1 pueden volver a efectuar una postsincronización posterior de la fase.

En caso de falta de una señal GPS u otra unión específicamente dedicada a la sincronización temporal fina, es posible explotar algunas señales ambiente disponibles para todas las PCU 1, tal como una emisión radioeléctrica (estación AM, FM, TV), una señal sonora u óptica. El método implica entonces la medición de una señal ambiente común como referencia para corregir los avatares de pequeñas amplitudes temporales de un primer nivel de sincronización vaga. Aquí se está hablando de un doble diferencial, es decir una diferencia entre un canal de referencia de una PCU 1 y sus otros canales y una diferencia entre los valores que emanan de dos PCU 1. En una realización posible, cada PCU 1 dedica uno de sus canales analógico a la medición y al tratamiento de la señal de sincronización. Un primer medio de

5 sincronización vaga, tal como una sencilla comunicación entre PCU 1 según la norma IEEE 1588, realiza una sujeción aproximativa de los relojes 13 de las PCU 1 y opera los contadores 14. El método requiere una creación de un cuadro de calibración de los plazos de recepción de las PCU 1 para una posición de la fuente de sincronización fina. Los valores del cuadro de calibración pueden estimarse por un sencillo cálculo de propagación de onda considerando las posiciones respectivas PCU 1 y fuente, siendo los valores de los plazos calculados relativos (a la PCU 1 más próxima a la fuente por ejemplo). Se pueden usar dos perspectivas equivalentes de corrección de fase. En un primer caso, se toma en cuenta la fase medida en el canal de referencia de sincronización para corregir la fase de los componentes de los otros canales en la PCU 1, en cuyo caso la corrección de fase que hay que aportar en un comparado de fase entre dos PCU 1 será función de un valor de retraso de fase inscrito en el cuadro de calibración para las PCU 1 comparadas.

10 En un segundo caso, se sustraen las fases de componentes medidas por dos PCU 1, en cuyo caso la corrección de fase que hay que aportar será función de la diferencia de fase de la señal de sincronización medida por cada PCU 1 y de un valor de retraso de fase inscrito en el cuadro de calibración para cada PCU 1. Todas esas correcciones de fase deben reportarse en el campo temporal según la frecuencia de la señal de sincronización y volver a transponerse en el campo de la fase considerando la frecuencia del componente medida en los canales comparados. De esta manera, se salva el coste de un GPS pero se pierde un canal de medición. Es necesario también que la cadencia de muestreo sea al menos dos veces más elevada que la de la señal de sincronización y que la imprecisión de la sincronización vaga de primer nivel sea inferior al período de la señal de sincronización.

20 Aunque se hayan ilustrado en los dibujos adjuntos y descrito más arriba unas realizaciones de la invención, resultará evidente para las personas expertas en la técnica que pueden aportarse modificaciones a estas realizaciones sin alejarse de la invención cuyo alcance de protección se define en las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Método de sincronización temporal de fase de señales procedentes de dispositivos de medición respectivos, que comprende las etapas de:

- 5 para cada dispositivo de medición:
- recibir una señal de sincronización disponible en cada dispositivo de medición;
 - producir una señal de reloj de referencia que tiene una cadencia más elevada que la señal de sincronización;
 - 10 operar un contador en respuesta a la señal de reloj de referencia para producir valores de cuenta;
 - completar la señal de sincronización con los valores de cuenta proporcionados por el contador;
 - seleccionar al menos un bloque temporal que tiene un número finito de muestras en la señal procedente del dispositivo de medición;
 - 15 establecer localizaciones temporales de al menos dos muestras de cada bloque temporal con la señal de sincronización completada;
 - estimar un valor de fase y una característica temporal de al menos un componente de la señal procedente del dispositivo de medición en cada bloque temporal;
 - atribuir a cada bloque temporal una etiqueta temporal derivada de la señal de sincronización completada; y
 - 20 producir datos representativos del al menos un componente, el valor de fase, la característica temporal, las localizaciones temporales y la etiqueta temporal para cada bloque temporal; y

para el conjunto de los dispositivos de medición:

- 25 agrupar los datos relativos a los bloques temporales que tienen etiquetas temporales cercanas según un criterio de similitud predeterminado bajo unas mismas etiquetas temporales que sirven de referencias temporales comunes; y
- calcular nuevos valores de fase del al menos un componente en los bloques temporales según las referencias temporales comunes respectivas y las localizaciones temporales correspondientes para la sincronización temporal de fase de las señales procedentes de los dispositivos de medición.

2. El método según la reivindicación 1, en el que los valores de cuenta proporcionados por el contador se basan en un elemento cíclico de la señal de reloj de referencia, operándose el contador para cambiar el valor de cuenta o una dirección de cuenta en respuesta a un hito temporal en la señal de sincronización, siendo las localizaciones temporales de las muestras relativas a los valores de cuenta correspondientes a la ocurrencia del hito temporal.

3. El método según la reivindicación 1, que comprende además la etapa de recibir una señal temporal disponible en cada dispositivo de medición, y en el que la etiqueta temporal atribuida a cada bloque temporal se basa en una unidad de medición de tiempo indicada por la señal temporal a la ocurrencia de un hito temporal en la señal de sincronización.

4. El método según la reivindicación 3, en el que la señal de sincronización y la señal temporal vienen de una misma señal.

5. El método según la reivindicación 1, en el que la característica temporal del al menos un componente de la señal se estima en función de las localizaciones temporales de las muestras del bloque temporal.

6. El método según la reivindicación 1, en el que el valor de fase estimado se ajusta en función de la localización temporal correspondiente a la etiqueta temporal del bloque temporal.

7. El método según la reivindicación 1, en el que el al menos un componente se obtiene realizando una transformada de la señal procedente del dispositivo de medición en un campo de representación en el que el al menos un componente es distinguible.

8. El método según la reivindicación 1, que comprende además las etapas de, para el conjunto de los dispositivos de medición:

- 55 acumular los valores de cuenta sucesivos de las muestras de los bloques temporales que coinciden en hitos temporales en la señal de sincronización; y
- corregir los valores de fase y las características temporales del al menos un componente observado en los bloques que tienen la misma etiqueta temporal a partir de nuevos valores de cuenta que resultan de una aplicación de un filtro digital en los valores de cuenta acumulados.

9. El método según la reivindicación 1, que comprende además las etapas de, para el conjunto de los dispositivos de medición:

- 65 hacer estimaciones sucesivas de diferencias temporales de diferencias de ángulos de fase a partir de los valores de fase de los componentes de los bloques agrupados;

calcular desviaciones típicas en las estimaciones sucesivas; e
invalidar una medición según si la desviación típica correspondiente supera un umbral de rechazo predeterminado.

5 10. Sistema de sincronización temporal de fase de señales procedentes de dispositivos de medición respectivos, que comprende:

para cada dispositivo de medición, una unidad de medición de fase que comprende:

10 un receptor para recibir una señal de sincronización disponible en cada unidad de medición de fase;
un reloj para producir una señal de reloj de referencia que tiene una cadencia más elevada que la señal de sincronización; y
una unidad de tratamiento; y

15 para el conjunto de los dispositivos de medición, una unidad de tratamiento de fase que comprende una unidad de tratamiento;

20 estando la unidad de tratamiento de cada unidad de medición de fase configurada para recibir la señal procedente del dispositivo de medición correspondiente, recibir la señal de sincronización, recibir la señal de reloj de referencia, proporcionar un contador que opera en respuesta a la señal de reloj de referencia para producir valores de cuenta, completar la señal de sincronización con los valores de cuenta proporcionados por el contador, seleccionar al menos un bloque temporal que tiene un número finito de muestras en la señal procedente del dispositivo de medición, establecer localizaciones temporales de al menos dos muestras de cada bloque temporal con la señal de sincronización completada, estimar un valor de fase y una característica temporal de al menos un componente de la señal procedente del dispositivo de medición en cada bloque temporal, y producir datos representativos del al menos un componente, el valor de fase, la característica temporal, y las localizaciones temporales;

25 estando la unidad de tratamiento de una de cada unidad de medición de fase y de la unidad de tratamiento de fase configurada para atribuir a cada bloque temporal una etiqueta temporal derivada de la señal de sincronización completada, formando la etiqueta temporal parte de los datos relativos a cada bloque temporal; y estando la unidad de tratamiento de la unidad de tratamiento de fase configurada para agrupar los datos relativos a los bloques temporales que tienen etiquetas temporales cercanas según un criterio de similitud predeterminado bajo unas mismas etiquetas temporales que sirven de referencias temporales comunes, y calcular nuevos valores de fase del al menos un componente en los bloques temporales según las referencias temporales comunes respectivas y las localizaciones temporales correspondientes para la sincronización temporal de fase de las señales procedentes de las unidades de medición.

30 11. El sistema según la reivindicación 10, en el que los valores de cuenta proporcionados por el contador se basan en un elemento cíclico de la señal de reloj de referencia, operándose el contador para cambiar el valor de cuenta o una dirección de cuenta en respuesta a un hito temporal en la señal de sincronización, siendo las localizaciones temporales de las muestras relativas a los valores de cuenta correspondientes a la ocurrencia del hito temporal.

35 12. El sistema según la reivindicación 10, en el que la unidad de tratamiento de cada unidad de medición de fase está configurada para recibir una señal temporal disponible en cada dispositivo de medición, y la etiqueta temporal atribuida a cada bloque temporal se basa en una unidad de medición de tiempo indicada por la señal temporal a la ocurrencia de un hito temporal en la señal de sincronización.

40 13. El sistema según la reivindicación 12, en el que la señal de sincronización y la señal temporal vienen de una misma señal.

45 14. El sistema según la reivindicación 10, en el que la característica temporal del al menos un componente de la señal se estima en función de las localizaciones temporales de las muestras del bloque temporal.

50 15. El sistema según la reivindicación 10, en el que el valor de fase estimado se ajusta en función de la localización temporal correspondiente a la etiqueta temporal del bloque temporal.

55 16. El sistema según la reivindicación 10, en el que la unidad de tratamiento de cada unidad de medición de fase está configurada para obtener el al menos un componente realizando una transformada de la señal procedente del dispositivo de medición en un campo de representación en el que el al menos un componente es distinguible.

60 17. El sistema según la reivindicación 10, en el que un grupo de unidades de medición de fase se comparten al menos uno de un mismo receptor y un mismo reloj a través de un bus común entre el al menos uno de un mismo receptor y de un mismo reloj y las unidades de tratamiento del grupo de unidades de medición de fase.

65 18. El sistema según la reivindicación 10, en el que cada unidad de medición de fase y la unidad de tratamiento de fase comprenden interfaces de comunicación respectivas que se conectan a una red.

19. El sistema según la reivindicación 10, en el que el receptor es un receptor GPS.

20. El sistema según la reivindicación 10, que comprende además, para cada unidad de medición de fase, al menos uno de:

- 5 un filtro para filtrar las señales procedentes de los dispositivos de medición;
un amplificador para amplificar las señales procedentes de los dispositivos de medición;
un integrador o un derivador para integrar o derivar las señales procedentes de los dispositivos de medición;
un diezrador para diezmar las señales procedentes de los dispositivos de medición;
10 para cada dispositivo de medición que proporciona una señal analógica, un convertidor analógico a digital para digitalizar la señal analógica procedente del dispositivo de medición en una señal digital; y
un aislamiento galvánico para aislar la unidad de medición de fase del dispositivo de medición correspondiente.

21. El sistema según la reivindicación 10, en el que cada referencia temporal común se define por un valor predeterminado asociado a los bloques agrupados, una de las etiquetas temporales de los bloques agrupados, o una etiqueta que corresponde a una media temporal de las etiquetas temporales de los bloques agrupados.

22. El sistema según la reivindicación 10, en el que la unidad de tratamiento de la unidad de tratamiento de fase está configurada para:

- 20 hacer estimaciones sucesivas de diferencias temporales de diferencias de ángulos de fase a partir de los valores de fase de los componentes de los bloques agrupados;
calcular desviaciones típicas en las estimaciones sucesivas; e
invalidar una medición según si la desviación típica correspondiente supera un umbral de rechazo
25 predeterminado.

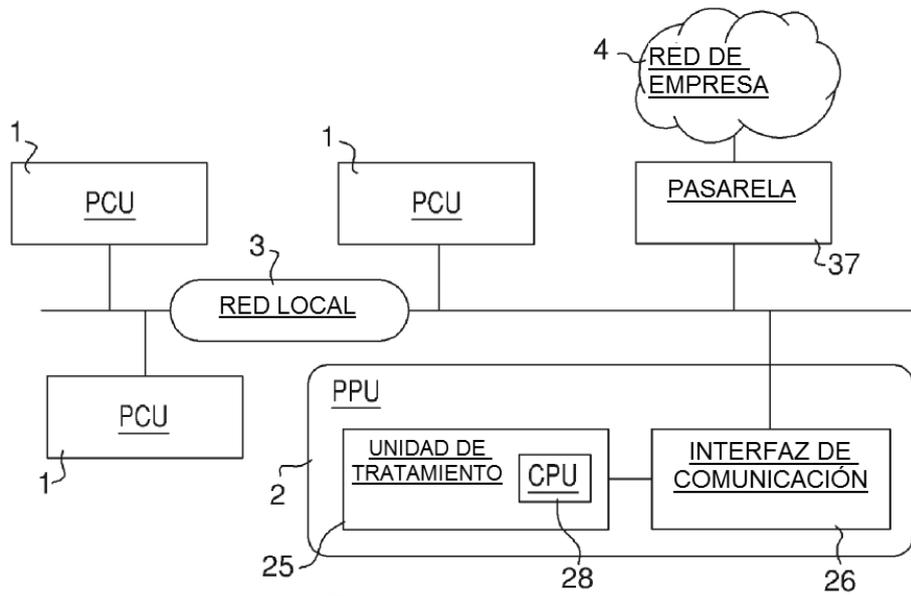


FIG. 1

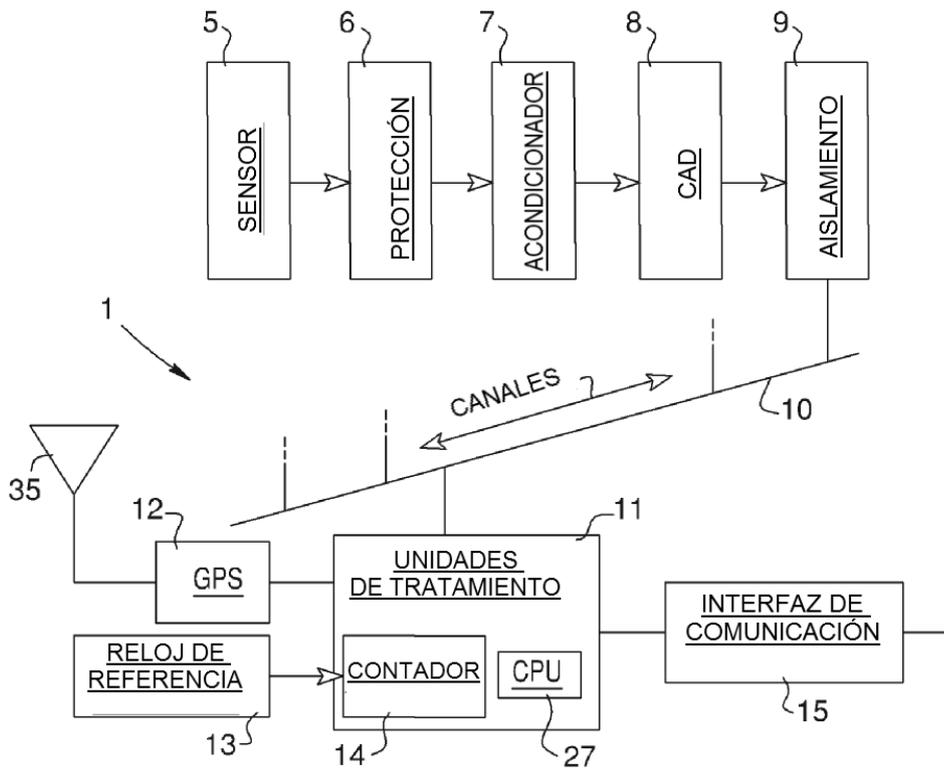


FIG. 2

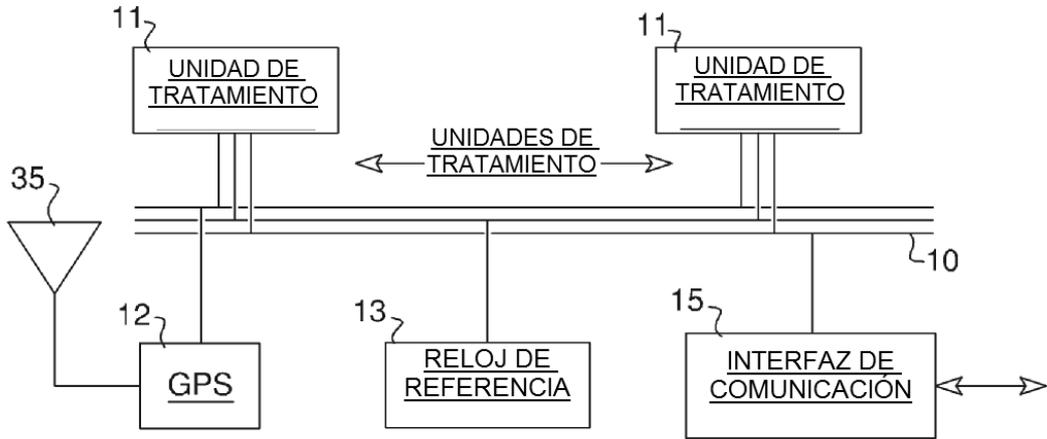


FIG. 3

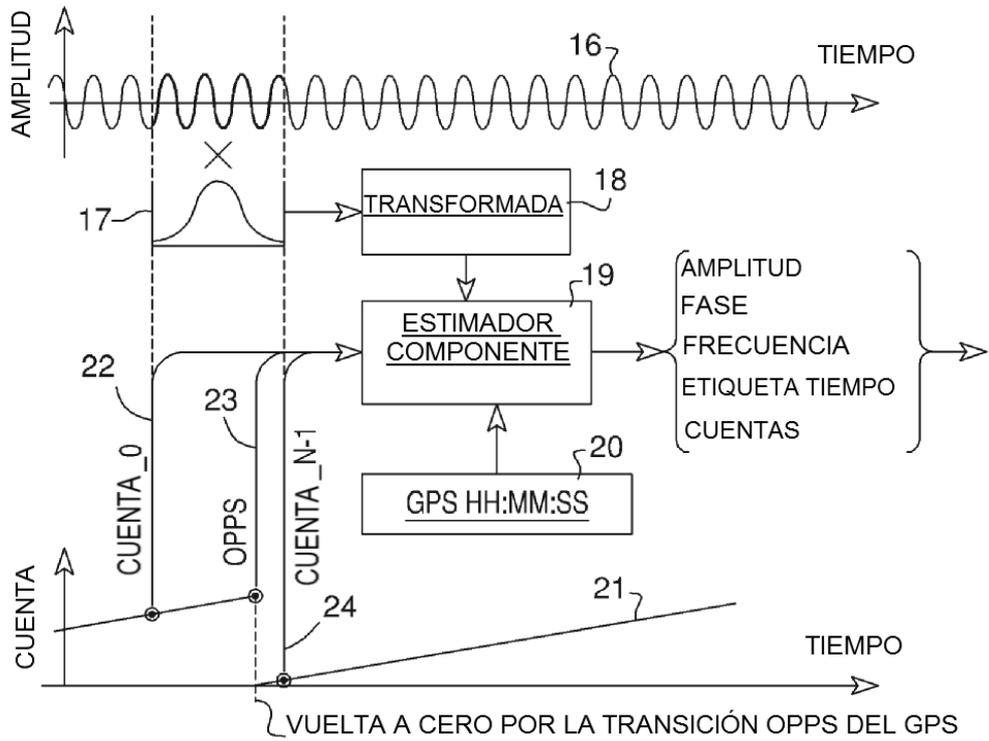


FIG. 4

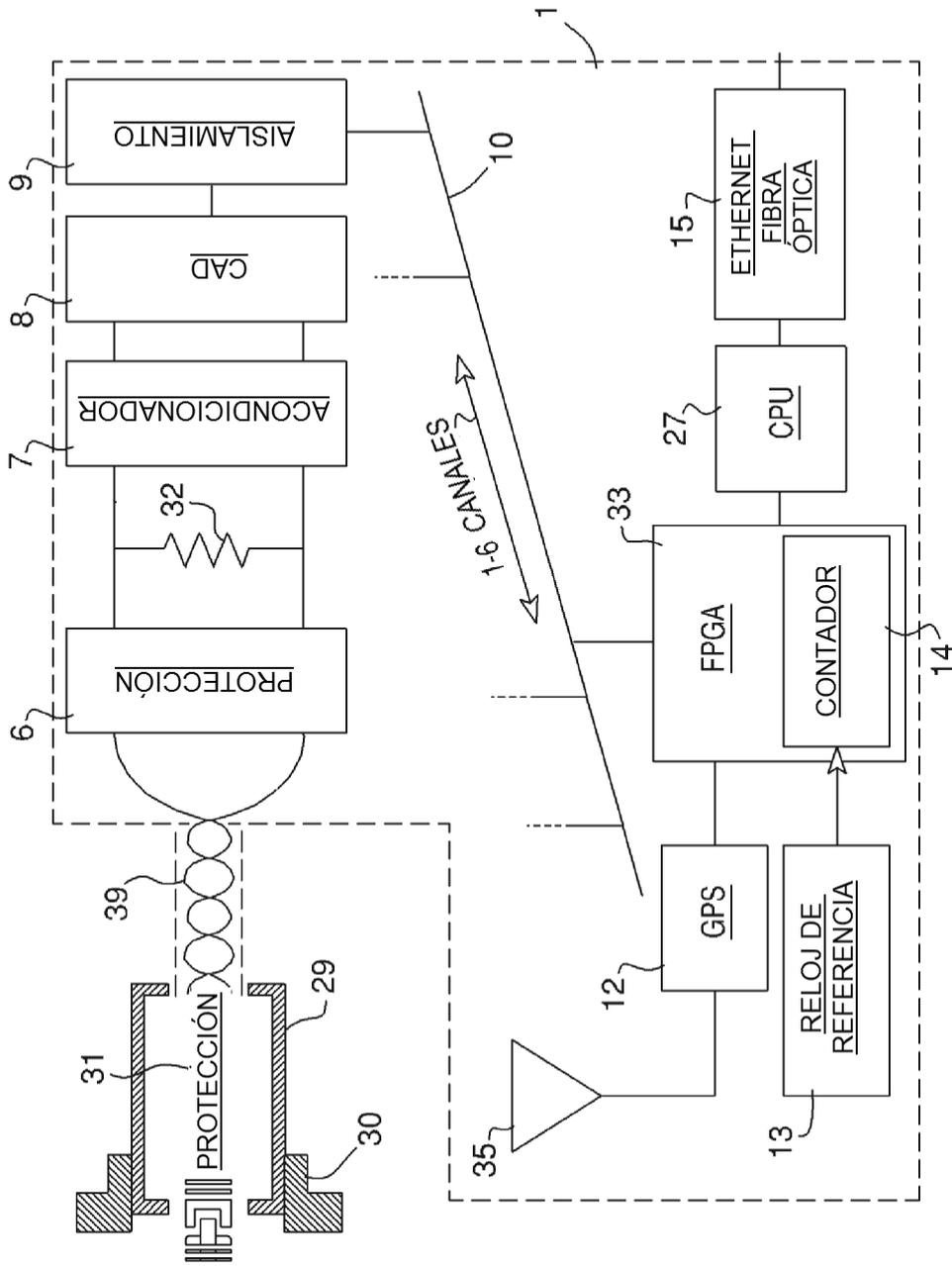


FIG. 5

