

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 934 005**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/24** (2006.01)

**H02J 13/00** (2006.01)

**G01R 23/167** (2006.01)

**G01R 23/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.08.2018 E 18190469 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.10.2022 EP 3451482**

54 Título: **Sistemas y métodos para detectar y evaluar oscilaciones en una red eléctrica**

30 Prioridad:

**28.08.2017 US 201715687847**

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

**15.02.2023**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH  
(100.0%)  
Brown Boveri Strasse 7  
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**ADAMIAK, MARK GERARD;  
VOLOH, ILIA y  
ZHANG, ZHIYING**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 934 005 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

Sistemas y métodos para detectar y evaluar oscilaciones en una red eléctrica

### Sector técnico de la invención

5 Esta invención se refiere, en general, a la detección de oscilaciones y, más particularmente, a sistemas y métodos para detectar y evaluar oscilaciones en una red eléctrica.

### Antecedentes de la invención

10 Una red eléctrica generalmente incluye varios componentes, como líneas de transmisión, torres, generadores de energía eléctrica, transformadores y disyuntores, que se instalan en una gran área geográfica. En el extremo del cliente de la red eléctrica, una amplia variedad de elementos, como elementos de iluminación (por ejemplo, bombillas y artefactos de iluminación), elementos de calefacción/refrigeración (por ejemplo, calefactores y acondicionadores de aire) y equipos industriales (por ejemplo, motores eléctricos y maquinaria eléctrica) funcionan como una carga diversa y distribuida que extrae energía a través de la red eléctrica. Los diversos componentes que constituyen la red eléctrica y los diversos componentes que constituyen la carga en la red eléctrica están sujetos a diversas fuerzas eléctricas, mecánicas, electromecánicas y ambientales que pueden conducir a estados oscilatorios indeseables.

15 Por ejemplo, se puede crear un tipo de oscilación en una línea de transmisión de energía debido a la oscilación de un rotor en un generador de energía eléctrica. Se puede crear otro tipo de oscilación en una línea de transmisión de energía debido a transitorios de conmutación u otras anomalías eléctricas generadas, por ejemplo, por una fuente de alimentación de conmutación que tiene un modo de operación de conmutación. Se puede crear otro tipo más de oscilación en una línea de transmisión de energía debido a la naturaleza de la impedancia (inductancia distribuida y capacitancia distribuida) presentada por la línea de transmisión de energía a un generador de energía eléctrica, por ejemplo.

20 Algunas de estas oscilaciones indeseables se amortiguan automáticamente y no tienen un impacto significativo en las operaciones. Sin embargo, algunos otros tipos de oscilaciones, como las causadas por líneas de transmisión de energía muy largas, dispositivos que contienen electrónica de potencia y generadores síncronos que interactúan entre sí, pueden provocar inestabilidades operativas y daños en varios componentes de la red eléctrica. Tales oscilaciones indeseables pueden tener efectos adversos sobre la red eléctrica y los componentes acoplados a la red eléctrica.

25 La patente WO 2005/088802 A1 da a conocer un dispositivo para la prevención de fallos graves en redes de suministro eléctrico mediante análisis espectral de la tensión de la red.

### Breve descripción de la invención

30 Las realizaciones de la invención están dirigidas, en general, a sistemas para detectar y evaluar oscilaciones en una red eléctrica. La invención se define en la reivindicación.

### Breve descripción de los dibujos

Habiéndose descrito así la invención en términos generales, a continuación se hará referencia a los dibujos adjuntos, que no están necesariamente dibujados a escala, y en los que:

35 la figura 1 ilustra un sistema de monitorización de oscilaciones acoplado a una red eléctrica, de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención.

la figura 2 ilustra algunos elementos a modo de ejemplo que pueden incluirse en el sistema de monitorización de oscilaciones mostrado en la figura 1.

la figura 3 ilustra algunos elementos de ejemplo que se pueden utilizar para la extracción de envolvente en una parte del detector de señal del sistema de monitorización de oscilaciones mostrado en la figura 1.

40 La invención se describirá de manera más completa a continuación haciendo referencia a los dibujos, en los que se muestran realizaciones a modo de ejemplo de la invención. Sin embargo, esta invención puede realizarse de muchas formas diferentes y no debe interpretarse que se limita a las realizaciones a modo de ejemplo expuestas en este documento; por el contrario, estas realizaciones se dan a conocer para que esta invención satisfaga los requisitos legales aplicables. Los números similares se refieren a elementos similares en todo el documento. Debe entenderse que ciertas palabras y términos se usan en este documento únicamente por conveniencia y dichas palabras y términos deben interpretarse como una referencia a varios objetos y acciones que generalmente se entienden en varias formas y equivalencias por los expertos en la materia. Además, la palabra "ejemplo" como se usa en este documento pretende ser de naturaleza no excluyente y no limitativa. Más particularmente, la palabra "a modo de ejemplo", tal como se usa en el presente documento, indica uno entre varios ejemplos, y debe entenderse que no se está dando un énfasis o preferencia indebidos al ejemplo particular que se describe.

50

## Descripción detallada

En términos de una descripción general, ciertas realizaciones descritas en esta memoria descriptiva pertenecen a ejemplos de sistemas que pueden usarse para detectar y evaluar oscilaciones en una red eléctrica. Dichos sistemas y métodos pueden implementarse, por ejemplo, mediante un sistema de monitorización de oscilaciones con un detector de oscilaciones. Las oscilaciones incluyen un estado oscilatorio que puede ocurrir en una o más de cinco bandas de frecuencia predefinidas. Cada una de las cinco bandas de frecuencia predefinidas está categorizada, al menos en parte, por oscilaciones que se originan por fuentes únicas y diferentes. Por ejemplo, una oscilación en la primera banda de frecuencia predefinida puede estar originada por un gobernador o un estado de control automático de generación en un componente que forma parte de la red eléctrica; una oscilación en la segunda banda de frecuencia predefinida puede estar originada por una oscilación entre áreas; una oscilación en la tercera banda de frecuencia predefinida puede ser una oscilación forzada originada por una interacción operativa entre dos o más componentes acoplados a la red eléctrica; una oscilación en la cuarta banda de frecuencia predefinida puede estar originada por un estado de resonancia subsíncrono o una interacción torsional subsíncrona entre dos componentes acoplados a la red eléctrica; y una oscilación en la quinta banda de frecuencia predefinida puede estar originada por corrientes inducidas geomagnéticamente presentes en al menos un componente que forma parte de la red eléctrica. Cuando se detecta un estado oscilatorio, un detector de oscilaciones puede determinar una característica de magnitud, una característica de fase y/o una característica de amortiguamiento de al menos una frecuencia de oscilación que contribuye al estado oscilatorio.

En general, y de acuerdo con las diversas realizaciones de la invención, la primera banda de frecuencia predefinida se extiende desde aproximadamente 0,01 Hz hasta aproximadamente 0,1 Hz, la segunda banda de frecuencia predefinida se extiende desde aproximadamente 0,1 Hz hasta aproximadamente 1,0 Hz, la tercera banda de frecuencia predefinida se extiende desde aproximadamente 1,0 Hz hasta aproximadamente 10 Hz, la cuarta banda de frecuencia predefinida se extiende desde aproximadamente 10 Hz hasta aproximadamente 45 Hz (o 55 Hz dependiendo de la frecuencia nominal de funcionamiento del sistema), y la quinta banda de frecuencia predefinida incluye una corriente continua (CC) componente. La quinta banda de frecuencia predefinida incluye además corrientes inducidas electromagnéticamente que son originadas por fuentes como el sol.

La figura 1 ilustra un sistema de monitorización de oscilaciones 150 acoplado a una red eléctrica 110 de acuerdo con una realización a modo de ejemplo de la invención. La red eléctrica 110 puede, en ciertos casos, incluir una cantidad relativamente grande de componentes y sistemas que están conectados entre sí para permitir el transporte de energía eléctrica generada por plantas de energía geográficamente dispersas a usuarios finales geográficamente dispersos, como consumidores industriales, consumidores residenciales y/o consumidores comerciales. Algunos ejemplos de componentes y sistemas que pueden formar parte de la red eléctrica 110 incluyen generadores de energía 111, transformadores de energía 112, equipos de protección 113 (relés, disyuntores, fusibles, etc.) y líneas eléctricas 114. Algunos ejemplos de componentes y sistemas que pueden estar acoplados a la red eléctrica 110 pueden incluir equipos comerciales 105 utilizados por consumidores comerciales (equipos de oficina 106, control climático 107, sistemas informáticos 108, etc.), equipos industriales 115 utilizados por consumidores industriales (motor de CA 116, sistema de conmutación 117, convertidor de CA a CC 118, etc.), y equipos residenciales 120 utilizado por consumidores residenciales (iluminación 121, calefacción 122, refrigeración 123, etc.).

Los diversos componentes que forman parte de la red eléctrica 110 y/o están acoplados a la red eléctrica 110, individualmente o en cooperación entre sí pueden crear oscilaciones indeseables que pueden causar daños si no son detectados y tratados. Una fuente adicional de oscilaciones indeseables puede atribuirse a la energía electromagnética 104 radiada por el sol. La energía electromagnética 104 puede facilitar corrientes inducidas electromagnéticamente en la red eléctrica 110. La detección y el tratamiento de estas oscilaciones indeseables se pueden llevar a cabo mediante el uso de varios sensores que están acoplados a la red eléctrica 110 para proporcionar datos de sensor al sistema de monitorización de oscilaciones 150. Por ejemplo, el sensor 130 puede estar acoplado a una o más líneas eléctricas 114 para obtener datos de frecuencia de la línea eléctrica (frecuencia de la línea eléctrica así como cualesquiera frecuencias de oscilación que puedan estar presentes en las líneas eléctricas 114). El sensor 125 puede estar acoplado a uno de los generadores 111 y/o uno de los transformadores 112, por ejemplo, para obtener datos de frecuencia correspondientes a frecuencias de oscilación que pueden estar presentes en los generadores 111 y/o los transformadores 112. Los datos de frecuencia recopilados por los sensores, como por el sensor 125 y el sensor 130, están acoplados a una interfaz del sistema 135 del sistema de monitorización de oscilaciones 150.

En una implementación a modo de ejemplo, la interfaz del sistema 135 puede incluir uno o más filtros de frecuencia, como por ejemplo, uno o más filtros de paso de banda, cada uno de los cuales tiene una característica de paso de banda que evita el solapamiento de cualesquiera respectivas de las primeras cuatro bandas de frecuencia predefinidas. Se puede usar un filtro de paso bajo en lugar de un filtro de paso de banda para la quinta banda de frecuencia predefinida porque la quinta banda de frecuencia predefinida puede incluir un componente de CC.

La señal analógica que emite la interfaz del sistema 135 se acopla a un convertidor de analógico a digital (ADC) 140 que convierte la señal analógica en muestras de datos digitales. Las muestras de datos digitales, que indican fluctuaciones de amplitud en la electricidad transmitida a través de la red eléctrica 110, son proporcionadas al detector de oscilaciones 145 a una tasa de muestreo deseada (como 3840 muestras por segundo) para detectar y evaluar uno o más estados oscilatorios que pueden estar presente en la red eléctrica 110. En una implementación a modo de ejemplo, las muestras de datos digitales pueden ser procesadas por un procesador de datos 155 para obtener datos

digitales procesados que representan, por ejemplo, mediciones de voltaje, mediciones de corriente y/o mediciones de potencia. Los datos digitales procesados se proporcionan al detector de oscilaciones 145 para detectar y evaluar uno o más estados oscilatorios que pueden estar presentes en la red eléctrica 110.

5 En otra implementación a modo de ejemplo, el procesador de datos 155 puede estar configurado para funcionar como un filtro de frecuencia programable. El filtro de frecuencia programable puede ser, por ejemplo, un filtro de impulso finito (FIR) que proporciona una característica de paso de banda que coincide con una de las cuatro bandas de frecuencia predefinidas o una característica de paso bajo que coincide con la quinta banda de frecuencia predefinida (basada en una frecuencia de oscilación de interés). Por lo tanto, cuando el sistema de monitorización de oscilaciones 150 está configurado en un primer instante en el tiempo para detectar y evaluar una frecuencia de oscilación en la  
10 cuarta banda de frecuencia predefinida, el FIR está configurado durante el primer instante en el tiempo para propagar las frecuencias presentes en la cuarta banda de frecuencia predefinida, y es reconfigurado en un instante posterior en el tiempo para propagar las frecuencias presentes en la tercera banda de frecuencia predefinida para permitir que el sistema de monitorización de oscilaciones 150 detecte y evalúe una frecuencia de oscilación en la tercera banda de frecuencia predefinida.

15 La figura 2 ilustra algunos ejemplos de elementos que pueden incluirse en el detector de oscilaciones 145. Los ejemplos de elementos del detector de oscilaciones 145 se muestran como bloques funcionales. Estos bloques funcionales se pueden implementar en hardware, software o una combinación de hardware y software. Por ejemplo, la detección de oscilaciones 211 que forma parte de un detector de señal a modo de ejemplo 210 puede implementarse utilizando dispositivos lógicos, y cada uno de los bloques de diezmado 212, extracción de magnitud fundamental 213 y extracción  
20 de envolvente 214, que también están incluidos en el detector de señal 210, se puede implementar usando un procesador de señal digital (DSP) y/o un procesador que ejecuta instrucciones legibles ejecutables por ordenador.

El detector de señal a modo de ejemplo 210 recibe las muestras de datos digitales proporcionadas por el ADC 140 a través de la conexión 141 y ejecuta uno o más de los bloques a modo de ejemplo que incluyen detección de oscilaciones 211, diezmado 212, extracción de magnitud fundamental 213 y extracción de envolvente 214. La  
25 detección de oscilación 211 puede incluir uno o más filtros para detectar una frecuencia de oscilación que contribuye a un estado oscilatorio indeseable en la red eléctrica 110. El diezmado 212 se puede usar para convertir la tasa de muestreo de las muestras de datos digitales a una tasa de muestreo diferente, tal como de 3840 muestras por segundo a 480 muestras por segundo, por ejemplo. La extracción de magnitud fundamental 213 determina una característica de magnitud de una o más frecuencias de oscilación. En una implementación a modo de ejemplo, la característica de magnitud se define por unidad, que se calcula utilizando técnicas de Fourier.  
30

La extracción de envolvente 214 se usa particularmente cuando se trabaja sobre muestras de datos digitales que tienen componentes de frecuencia en la cuarta banda de frecuencia. A continuación se describirán más detalles relacionados con la extracción de envolvente 214 utilizando la figura 3.

35 La salida del detector de señal 210 constituye muestras de datos digitales que han sido filtradas y manipuladas de diversas maneras, como las descritas anteriormente. Las muestras de datos digitales, que pueden pertenecer a cualquiera de las cinco bandas de frecuencia predefinidas, se validan a través de la validación 215 para verificar que las muestras de datos digitales pertenecen a una banda de frecuencia específica entre las cinco bandas de frecuencia predefinidas. En una implementación a modo de ejemplo, la validación 215 puede llevarse a cabo mediante una comprobación de validación en el dominio de tiempo. La validación 215 también puede incluir otras operaciones tales como comprobación de banda muerta para determinar si hay muestras de AC positivas consecutivas que superan un umbral de banda muerta superior y/o muestras AC negativas consecutivas que superan un umbral de banda muerta inferior. Los umbrales de banda muerta pueden incluir niveles de tolerancia para adaptarse a las condiciones de régimen estacionario en las muestras de datos digitales y evitar el procesamiento adicional de las muestras de datos digitales cuando está presente un ruido de baja magnitud.  
40

45 La estimación de la frecuencia de oscilación 220 puede ejecutarse inmediatamente después de la validación 215, particularmente para detectar una oscilación de baja frecuencia entre áreas. Puede usarse un procedimiento de estimación de la frecuencia en el dominio de tiempo para estimar una frecuencia bruta de una frecuencia de oscilación, seguido de una estimación 225 de la magnitud y la fase de la oscilación. La estimación 225 de la magnitud y la fase de la oscilación puede llevarse a cabo usando una transformada de Fourier de ciclo completo de longitud de ventana adaptativa. La longitud de la ventana (por ejemplo, la cantidad de datos sobre los que se va a trabajar) en la transformada de Fourier se puede ajustar en función de la frecuencia de oscilación estimada.  
50

La estimación de la relación de amortiguamiento de la oscilación 230 puede entonces realizarse procesando las muestras de datos digitales. El procesamiento, que puede incluir utilizar un algoritmo para determinar un coeficiente de amortiguamiento, proporciona una indicación de la naturaleza de la característica de amortiguamiento (si la magnitud aumenta o disminuye con el tiempo).  
55

Será pertinente señalar que una o más de la estimación 220 de frecuencia de oscilación, la estimación 225 de la magnitud y la fase de la oscilación y/o la estimación 230 de relación de amortiguamiento de la oscilación, pueden omitirse o modificarse adecuadamente cuando las muestras de datos digitales proporcionadas por el detector de señal 210 corresponden al componente de DC o a un componente de muy baja frecuencia en la quinta banda de frecuencia

predefinida.

Una lógica de alarma y disparo 235 puede generar rápidamente una acción correctiva, una operación de protección y/o una alarma cuando una magnitud, una fase y/o un coeficiente de amortiguamiento excede unos umbrales preestablecidos. Por ejemplo, se puede iniciar una acción correctiva tan pronto como la estimación 220 de frecuencia de oscilación y la estimación 225 de la magnitud y la fase de la oscilación proporcionen resultados dentro de un rango de, o que abarca de aproximadamente 1,25 a aproximadamente 1,75 ciclos de oscilación al inicio de la frecuencia de oscilación, y/o cuando la estimación de la relación de amortiguamiento de la oscilación 230 proporciona resultados dentro de un rango de, o que abarca desde aproximadamente 2,5 hasta aproximadamente 3,5 ciclos de oscilación tras el inicio de la frecuencia de oscilación. Los umbrales preestablecidos pueden ser determinados por varias entidades, como un operario in situ, un técnico, un diseñador o un fabricante del sistema de monitorización de oscilaciones 150. Un ejemplo de un umbral preestablecido es una relación de amortiguamiento que se establece por una de las diversas entidades.

La acción correctiva puede incluir contrarrestar el estado oscilatorio modificando y/o deteniendo la operación de uno o más elementos que contribuyen al estado oscilatorio. Por ejemplo, la lógica de alarma y disparo 235 puede transmitir una señal de control a través de la línea 146 al equipo de protección 113 para evitar que el sistema de conmutación 117, por ejemplo, inyecte señales en la red eléctrica 110 que contribuyan a un estado oscilatorio en la red eléctrica 110. La señal de control se puede usar para hacer funcionar un disyuntor, un fusible y/o un interruptor, por ejemplo, para aislar el sistema de conmutación 117 de la red eléctrica 110. En otro ejemplo, la lógica de alarma y disparo 235 puede transmitir una señal de alarma a través de la línea 146 a una instalación de control o a un técnico para tomar medidas correctivas.

La figura 3 ilustra la invención tal como se utiliza para la extracción de envolvente 214 en el detector de señales 210 mostrado en la figura 2. La extracción de envolvente 214 está particularmente asociada con la cuarta banda de frecuencia predefinida (aproximadamente 10 Hz a aproximadamente 45/55 Hz). La frecuencia de 45 Hz es aplicable cuando la frecuencia nominal del sistema de energía eléctrica transmitida por la red eléctrica 110 es de aproximadamente 50 Hz, y la de 55 Hz es aplicable cuando la frecuencia nominal del sistema de energía eléctrica transmitida por la red eléctrica 110 es de aproximadamente 60 Hz. En esta realización a modo de ejemplo, las muestras de datos digitales son proporcionadas por el ADC 140 (mostrado en la figura 1) a través de la conexión 141 a una tasa de 64 muestras por ciclo. En otras realizaciones, se pueden usar otras tasas de muestreo.

El filtro 305 de respuesta infinita al impulso (IIR) de paso alto funciona sobre las muestras de datos digitales (64 muestras por ciclo) para entregar un primer flujo de datos digitales filtrados "y<sub>H</sub>" sobre el que luego trabaja un filtro 310 de respuesta de impulso finito (FIR) de paso bajo. La salida del filtro FIR de paso bajo 310 es un segundo flujo de datos digitales filtrados "y<sub>L</sub>" que está acoplado en un par de filtros ortogonales (filtro FIR 315 y filtro FIR 325). El filtro FIR 315 trabaja sobre un componente de cuadratura "hs" del segundo flujo de datos digitales filtrados "y<sub>L</sub>" y entrega un flujo de datos digitales filtrados "ys". El filtro FIR 325 trabaja sobre un componente real "hc" del segundo flujo de datos digitales filtrados "y<sub>L</sub>" y entrega un flujo de datos digitales filtrados "yc". Cada uno del flujo de datos digitales "ys" y el flujo de datos digitales "yc" tiene una tasa de datos a modo de ejemplo de 64 muestras por ciclo.

El diezmado 320 cambia el flujo de datos digitales "ys" a un flujo de datos digitales "xs" diezmado la tasa de datos a modo de ejemplo de 64 muestras por ciclo a una tasa de datos menor tal como 8 muestras por ciclo. De manera similar, el diezmado 330 cambia el flujo de datos digitales "yc" a un flujo de datos digitales "xc" diezmado la tasa de datos a modo de ejemplo de 64 muestras por ciclo a una tasa de datos menor tal como 8 muestras por ciclo. A continuación, se lleva a cabo la extracción de envolvente 335 sobre cada flujo de datos digitales "xs" y el flujo de datos digitales "xc".

La extracción de envolvente 335 incluye aplicar la ecuación 1 (mostrada a continuación) a cada muestra digital en cada flujo de datos digitales "xs" y el flujo de datos digitales "xc" para obtener la señal de salida "x(n)".

$$x(n) = \sqrt{\frac{x_c(n) \cdot x_c(n) + x_s(n) \cdot x_s(n)}{2}} \quad \dots \text{Ecuación 1}$$

La salida de la extracción de envolvente 335 se filtra mediante un filtro IIR de paso alto 340 y un filtro FIR de paso bajo 345. El filtro IIR de paso alto 340 incorpora la ecuación 2 (mostrada a continuación) y el filtro FIR de paso bajo 345 incorpora la ecuación 3 (mostrada a continuación) donde "a" y "b" son conjuntos de coeficientes de filtro, "LB" y "LA" son longitudes de filtro de los conjuntos, "x" es la señal de entrada (es decir, "x(n)" en la figura 3) , y "y" es la señal de salida (es decir, "y(n)" en la figura 3).

$$y(n) = \sum_{i=0}^{LB-1} b(i) \cdot x(n-i) - \sum_{i=1}^{LA-1} a(i) \cdot y(n-i) \quad \dots \text{Ecuación 2}$$

$$y(n) = \sum_{i=0}^{LB-1} b(i) \cdot x(n-i) \quad \dots \text{Ecuación 3}$$

La señal de salida "y(n)" se propaga para validación 215 a través de la conexión 216 (mostrado en la figura 2). Como se indicó anteriormente, la extracción de envolvente 214 está particularmente asociada con la cuarta banda de frecuencia predefinida. Además, ciertas operaciones realizadas en la estimación de la magnitud y la fase de la oscilación 225 (mostrada en la figura 2) también están particularmente asociadas con la cuarta banda de frecuencia predefinida. Las ecuaciones 4 a 7 (mostradas a continuación) se pueden usar para ejecutar la estimación de la magnitud de la oscilación y la fase 225, donde "N" es el número de muestras de datos digitales en un ciclo, "FS" es la tasa de muestreo, "freq" es un valor actual de una frecuencia calculada en Hz, "DESPLAZAMIENTO" se basa en una fracción para calcular un desplazamiento en varias muestras de datos digitales, "fracción" es un desplazamiento en una fracción de un ciclo completo, u(n) es una señal de oscilación, t(n) es una marca de tiempo correspondiente a la señal de oscilación, y "n" es el índice de muestra actual.

$$N = \text{piso} \left( \frac{FS}{freq} \right) \quad \dots \text{Ecuación 4}$$

$$\text{fracción} = t(n) \cdot freq - \text{fix}(t(n) \cdot freq) \quad \dots \text{Ecuación 5}$$

$$\text{DESPLAZAMIENTO} = \text{fracción} \cdot N + 1 + \frac{\left( \frac{FS}{freq} - N \right)}{2} \quad \dots \text{Ecuación 6}$$

$$\text{Fasor}(n) = \frac{2}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} u(n+k-N+1) \cdot e^{-i2\pi \frac{k+\text{DESPLAZAMIENTO}}{N}} \quad \dots \text{Ecuación 7}$$

La estimación de la relación de amortiguamiento de la oscilación 230 (mostrada en la figura 2) se puede realizar en cualquiera de la primera banda de frecuencia predefinida, la segunda banda de frecuencia predefinida, la tercera banda de frecuencia predefinida o la cuarta banda de frecuencia predefinida. La ecuación 8 (mostrada a continuación) se puede utilizar para definir una señal de oscilación sinusoidal con modulación de magnitud donde "A" es la magnitud de la señal sinusoidal, "fl" es la frecuencia del sistema, "ω<sub>m</sub>" es la frecuencia angular de la señal de modulación (esta es la frecuencia de oscilación que se estimó en la estimación de la frecuencia de oscilación 220), "m" es la magnitud de la señal de modulación (en fracción de la magnitud A, nótese que es la magnitud de la oscilación que se obtuvo en la estimación de la magnitud y la fase de la oscilación 225), σ es la tasa de crecimiento (o caída) exponencial de la señal de modulación, u(t) es la función escalón, es decir, cuando t > t<sub>0</sub>, comienza la oscilación.

$$y(t) = \sqrt{2}A(1 + m \cdot e^{\sigma(t-t_0)}) \cdot \text{sen}(\omega_m(t-t_0)) \cdot u(t_0) \cdot \text{sen}(2\pi f_1 t) \dots \text{Ecuación 8}$$

La relación de amortiguamiento de la señal de oscilación se puede definir mediante la ecuación 9 mostrada a continuación, en la que cuando σ es un número negativo, la relación de amortiguamiento es positiva, lo que significa que la oscilación se amortigua, es decir, la magnitud de la oscilación se hará cada vez más pequeña con el tiempo; y cuando σ es un número positivo, la relación de amortiguamiento es negativa, lo que significa que la oscilación no está amortiguada, es decir, la magnitud de la oscilación será cada vez mayor con el tiempo.

$$\xi = \frac{-\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega_m^2}} \quad \dots \text{Ecuación 9}$$

La relación de amortiguamiento se puede estimar utilizando la ecuación 10 y la ecuación 11 mostradas a continuación, donde (t<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>) y (t<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>) son las coordenadas de dos puntos en una curva de crecimiento exponencial (o una curva de retardo exponencial), z es una variable intermedia y ξ es la relación de amortiguamiento calculada. La ecuación 11 se puede expresar como un porcentaje si así se desea.

$$Z = \frac{\ln\left(\frac{y_1}{y_2}\right)}{\omega_m(t_2-t_1)} \quad \dots \text{Ecuación 10}$$

$$\xi = \sqrt{\frac{z^2}{z^2+1}} \quad \dots \text{Ecuación 11}$$

Las distintas operaciones descritas anteriormente con respecto a las distintas figuras se pueden realizar en tiempo real o casi real, a diferencia de las soluciones tradicionales en las que el procesamiento de datos se lleva a cabo después de sufrir demoras asociadas con actividades como la recopilación de datos (esperando reunir suficiente cantidad de datos) y el transporte de datos (por ejemplo, utilizando varios tipos de medios de almacenamiento).

Además, en algunas implementaciones a modo de ejemplo, las muestras de datos digitales con las que trabaja el sistema de monitorización de oscilaciones 150 pueden tener una marca de tiempo (con una referencia de tiempo

absoluto, por ejemplo). Cuando se marca el tiempo, la estimación de la magnitud de la oscilación y la fase 225 y la estimación de la relación de amortiguamiento de oscilación 230 proporcionan información de sincrofasor de una o más frecuencias de oscilación en una banda de frecuencia predefinida, como la cuarta banda de frecuencia predefinida o la quinta banda de frecuencia predefinida. Esta información del sincrofasor se puede utilizar con fines de comparación entre dos ubicaciones geográficamente separadas que tienen la misma frecuencia de oscilación. Por lo tanto, la información del ángulo de fase del sincrofasor obtenida en una primera ubicación puede compararse con la información del ángulo de fase del sincrofasor obtenida en una segunda ubicación. La información del sincrofasor obtenida de acuerdo con algunas realizaciones de la invención puede tener ciertas tolerancias que pueden ocurrir cuando no se lleva a cabo una compensación de desplazamientos de fase y retardos causados por varios filtros. En tales casos, la información de sincrofasores puede interpretarse como información de cuasi sincrofasores y denominarse SynchroOscPhasor de acuerdo con la invención.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema que comprende:

un detector de oscilaciones configurado para:

5 recibir muestras de datos digitales indicativas de fluctuaciones de amplitud en la electricidad transmitida a través de una red eléctrica;

procesar las muestras de datos digitales para detectar un estado oscilatorio en al menos una de las cinco bandas de frecuencia predefinidas; y

10 al detectar el estado oscilatorio, determinar al menos una de una característica de magnitud, una característica de fase o una característica de amortiguamiento de al menos una frecuencia de oscilación que contribuye al estado oscilatorio;

15 en el que las cinco bandas de frecuencia predefinidas incluyen una primera banda de frecuencia que abarca desde aproximadamente 0,01 Hz hasta aproximadamente 0,1 Hz, una segunda banda de frecuencia que abarca desde aproximadamente 0,1 Hz hasta aproximadamente 1 Hz, una tercera banda de frecuencia que abarca desde aproximadamente 1,0 Hz hasta aproximadamente 10,0 Hz, una cuarta banda de frecuencia que abarca desde aproximadamente 10 Hz hasta aproximadamente 55 Hz, y una quinta banda de frecuencia que comprende un componente de CC;

en el que una frecuencia de oscilación dentro de la segunda banda de frecuencia es indicativa de una oscilación entre áreas;

20 en el que una frecuencia de oscilación dentro de la tercera banda de frecuencia es indicativa de una oscilación forzada originada por una interacción operativa entre dos o más componentes acoplados a la red eléctrica;

en el que una frecuencia de oscilación dentro de la cuarta banda de frecuencia es indicativa de al menos uno de un estado de resonancia subsíncrono o una interacción torsional subsíncrona entre dos componentes acoplados a la red eléctrica

25 en el que una frecuencia de oscilación dentro de la quinta banda de frecuencia es indicativa de corrientes inducidas geomagnéticamente presentes en al menos un componente que forma parte de la red eléctrica;

caracterizado por que

el detector de oscilación (145) comprende un detector de señal (210) que está configurado para realizar un procedimiento de extracción de envolvente sobre las muestras de datos digitales para detectar el estado oscilatorio en la cuarta banda de frecuencia de las cinco bandas de frecuencia predefinidas;

30 en el que un primer filtro de respuesta infinita al impulso de paso alto (305) está configurado para trabajar sobre las muestras de datos digitales para entregar un primer flujo de datos digitales filtrados, yH; un primer filtro de respuesta de impulso finito de paso bajo (310) está configurado para trabajar sobre yH, para entregar un segundo flujo de datos digitales filtrados, yL; un par de filtros ortogonales (315, 325) está configurado para trabajar sobre un componente real y un componente de cuadratura de yL, para entregar flujos de datos digitales, yc e ys; unos bloques de diezmo están configurados para diezmar yc e ys a una tasa menor a flujos de datos digitales xc y xs; una extracción de envolvente (335) está configurada para llevarse a cabo sobre cada uno de los flujos de datos digitales xc y xs; un segundo filtro de respuesta infinita al impulso de paso alto (340) y un segundo filtro de respuesta infinita al impulso de paso bajo (345) están configurados para filtrar la salida de la extracción de envolvente.

40

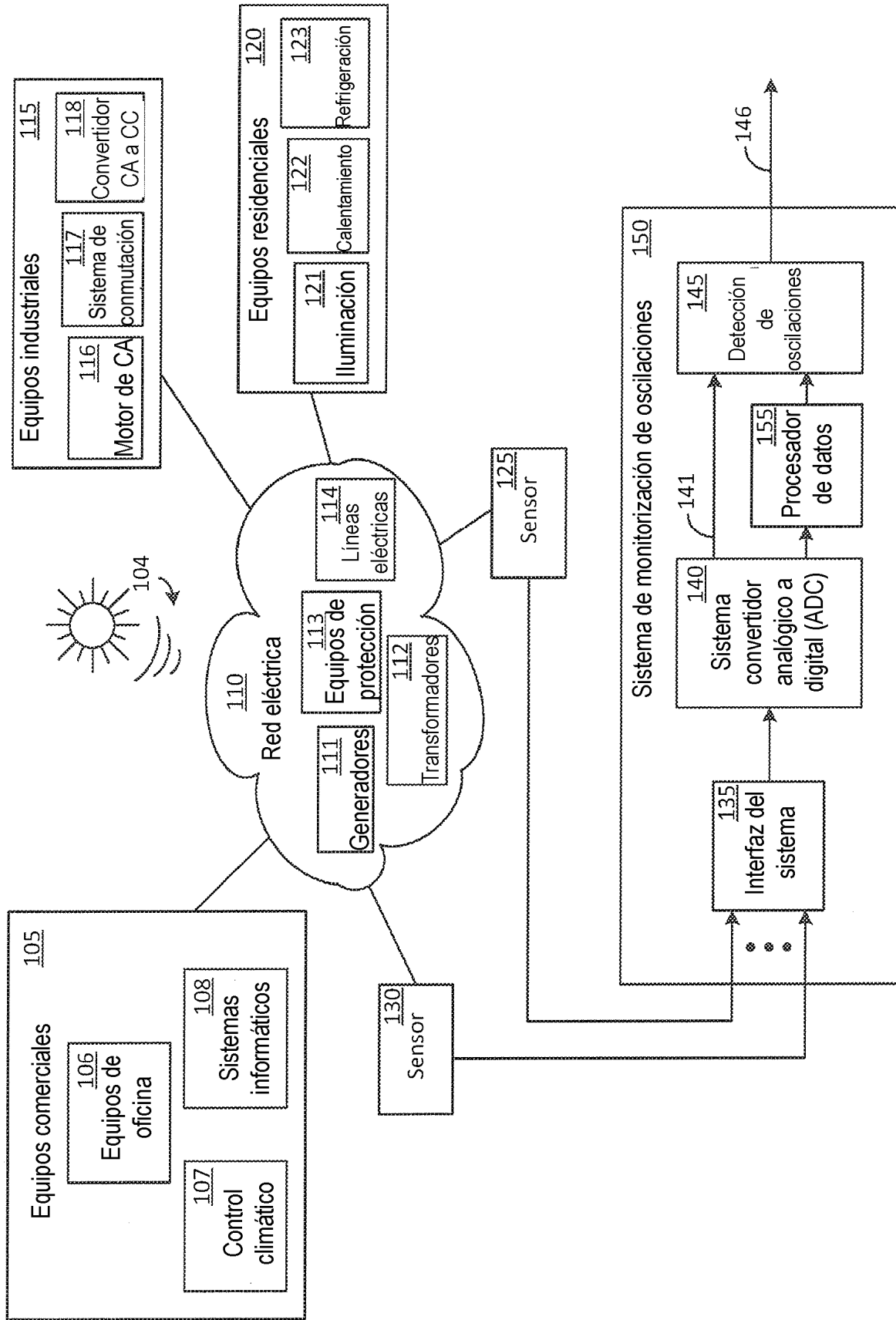


FIG. 1

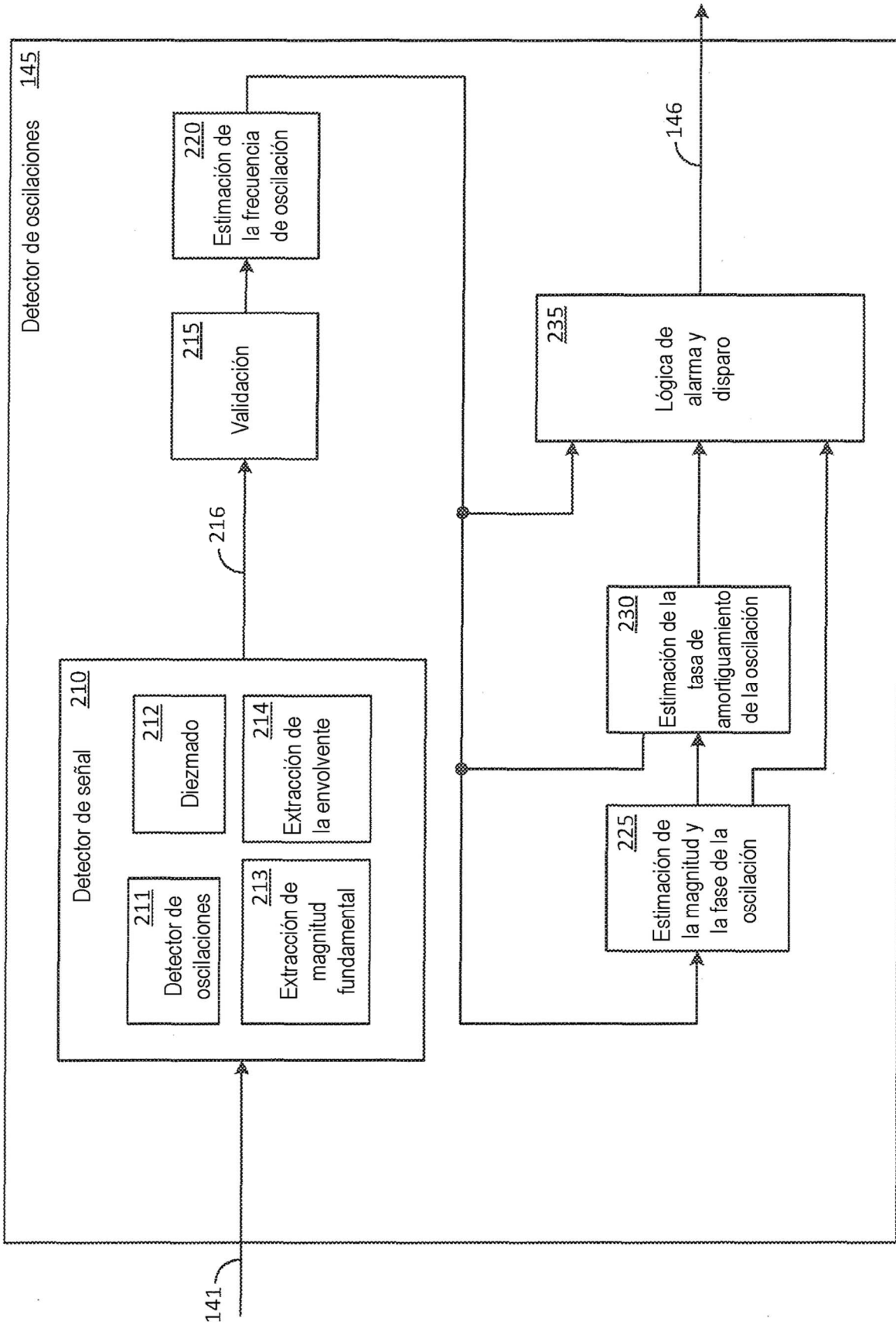


FIG. 2

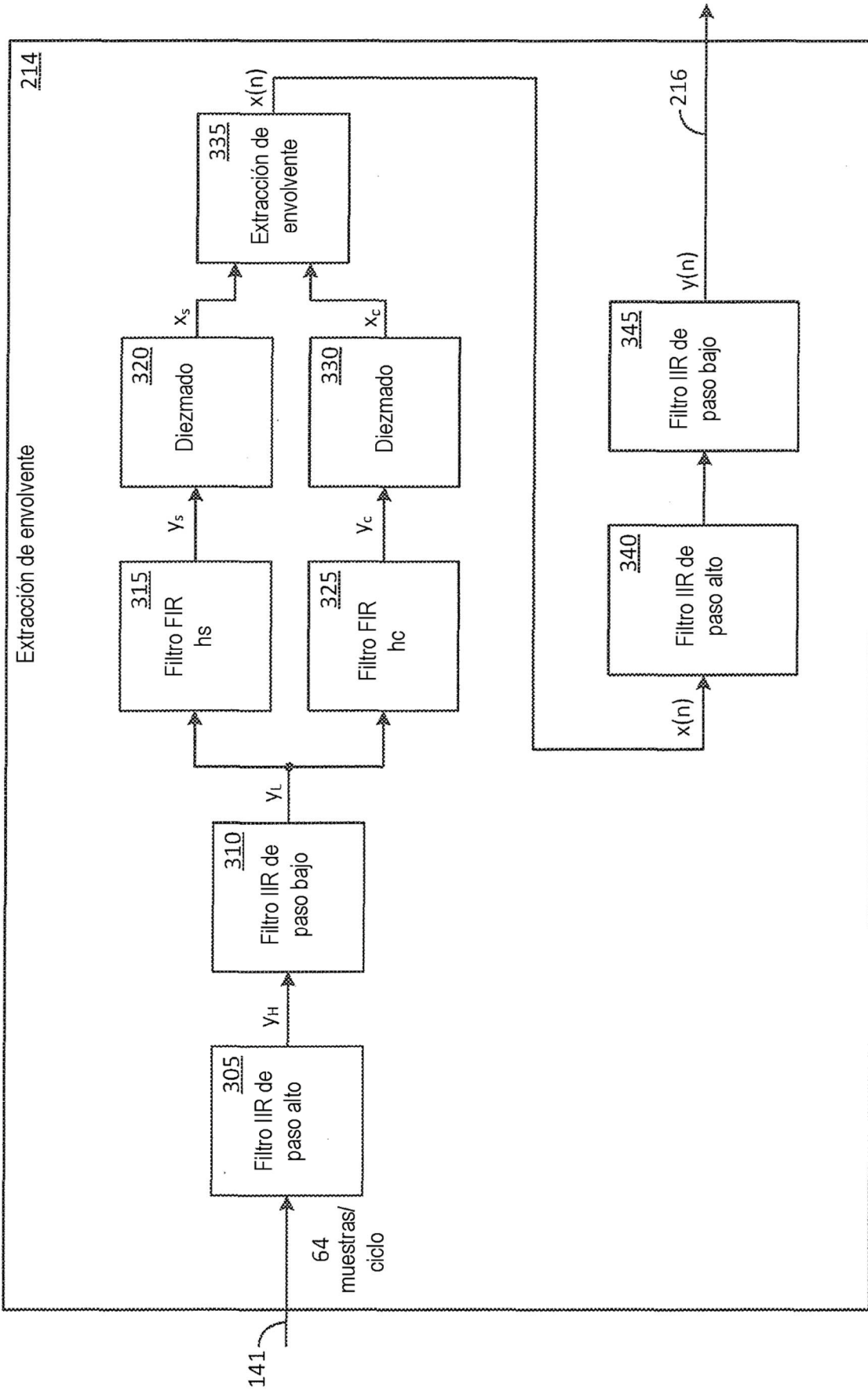


FIG. 3