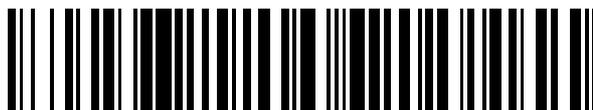


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 459 622**

51 Int. Cl.:

**G01B 7/02** (2006.01)

**G01R 31/02** (2006.01)

**H04B 3/46** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.12.2008 E 08170552 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.03.2014 EP 2194355**

54 Título: **Procedimiento y sistema para la medición de la longitud de una línea de energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**12.05.2014**

73 Titular/es:

**ABB RESEARCH LTD. (100.0%)  
AFFOLTERNSTRASSE 44  
8050 ZÜRICH, CH**

72 Inventor/es:

**DZUNG, DACFEY y  
LARSSON, MATS**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 459 622 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**

Procedimiento y sistema para la medición de la longitud de una línea de energía

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un sistema para determinar una cantidad de longitud de una línea de transmisión de energía, donde la línea de transmisión de energía conecta una primera localización con una segunda localización.

10 Las líneas de transmisión de energía expanden su longitud debido a la carga térmica. Un combado resultante de las líneas aéreas no es deseable. Por lo tanto, así la longitud o un cambio de la longitud pueden ser monitorizados. Un aumento en la longitud de las líneas de transmisión de energía pueden provocar combados. El combado de la línea de las líneas de alta tensión es crítico, ya que puede provocar fallos en la línea debidos a descargas disruptivas en objetos cercanos, tales como árboles.

15 En sistemas de monitorización de área amplia (WAM) para las redes de transmisión de energía de CA, las unidades de medición fasorial (PMU) realizan la medición de fasores de tensión y corriente. En el documento US 2007/0038396, los fasores de tensión y corriente medidos en dos extremos de una línea de transmisión de energía se utilizan para determinar una impedancia de la línea, y, específicamente, una resistencia de la línea. La resistencia es una función de la temperatura de la línea, de modo que el procedimiento proporciona una medición de la  
20 temperatura promedio de la línea, que a su vez afecta a la longitud de la línea y a su combado. El procedimiento requiere la sincronización de los PMUs.

25 Además, existen procedimientos de medición directa de combado de la línea de energía basados en varios principios, tales como cámaras ópticas, medición de la tensión mecánica o la inclinación (US 5.235.861, US 6.523.424, US 6.205.867), mediciones térmicas que utilizan fibras (US 6.776.522) o cámaras de infrarrojos. Estos procedimientos sólo realizan mediciones locales.

30 El objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un sistema simple y eficaz para la medición de una cantidad de longitud de una línea de transmisión de energía.

La invención comprende un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1.

35 En una realización típica, la primera señal con una primera frecuencia de portador puede ser una onda sinusoidal. El procedimiento anterior, donde una primera señal que se transmite desde una primera localización a una segunda localización y la primera señal se compara con una segunda señal en la segunda localización se puede aplicar de forma remota. Por lo tanto, pueden evitarse las mediciones locales de un combado, en el caso de una línea aérea de transmisión. En una realización típica de la primera y/o la segunda posiciones puede ser cualquier posición en la línea de transmisión de energía, en particular un nodo de red.

40 En una realización típica, la línea de transmisión de energía es una línea de transmisión de alta tensión.

45 En otra realización, que puede combinarse con otras realizaciones descritas en este documento, la primera señal es una señal de comunicación de línea de energía. Por lo tanto, las señales existentes de un enlace de comunicación de línea de energía pueden ser utilizadas para la medición de la longitud.

Sin embargo, en una realización típica, los datos de usuario modulados pueden compensarse o eliminarse.

50 Sin embargo, la compensación o la eliminación pueden incluir el filtrado de paso bajo de una señal de fase obtenida a partir de un demodulador en cuadratura, elevar al cuadrado la señal recibida antes de la demodulación y extrayendo o filtrando el paso de banda del componente a la frecuencia de  $2f_i$ , y/o usando un detector de datos para volver a modular y restar la contribución de fase dependiente de los datos.  $f_i$  puede ser la frecuencia portadora de la primera señal o la frecuencia de la segunda señal.

55 En una realización típica, que se puede combinar con otras realizaciones descritas en el presente documento, la segunda frecuencia es igual a la primera frecuencia portadora, donde los generadores de frecuencia para la generación de la primera frecuencia portadora en la primera localización y la segunda frecuencia en la segunda localización se sincronizan. Sin embargo, sobre una variación de diferencia de fase, puede medirse una variación de la longitud de la línea de transmisión de energía.

60 Sin embargo, los generadores de frecuencia se pueden sincronizar con un sistema de navegación por satélite, en particular, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), Galileo, IRNSS, GLONASS y similares.

65 En otra realización, que puede combinarse con otras realizaciones descritas en este documento, la cantidad de longitud es la longitud total.

En una realización, la segunda frecuencia es igual a la primera frecuencia portadora, donde se sincronizan la fase y la frecuencia de los generadores de frecuencia para generar la primera frecuencia portadora en la primera localización y la segunda frecuencia en la segunda localización. Sin embargo, una longitud total se puede medir.

5 La longitud total se puede calcular a partir de  $d = \lambda \frac{\Psi + 2\pi N}{2\pi}$ , con  $\Psi$  siendo la diferencia de fase y  $\lambda$  siendo la longitud de onda de la primera frecuencia portadora y siendo  $d$  la longitud, utilizando un valor razonable para  $N$ . En una realización típica, el valor de  $N$  puede estimarse mediante una medición de retardo directa, en particular mediante la medición de un retraso de mensajes entre la primera localización y la segunda localización, y la segunda localización y la primera localización, respectivamente.

10 En una realización adicional, que puede combinarse con otras realizaciones descritas en el presente documento, el procedimiento puede incluir proporcionar una tercera señal con una tercera frecuencia portadora; transmitir la tercera señal de la segunda localización a la primera localización; proporcionar una cuarta señal que tiene una cuarta frecuencia a la segunda localización; medir una segunda diferencia de fase entre la tercera señal y la cuarta señal en la segunda localización. En una realización típica, este procedimiento puede no requerir una sincronización externa.

15 Sin embargo, mediante el uso de la variación de diferencia de fase de la primera y segunda diferencias de fase, puede medirse la variación de la longitud de la línea de transmisión de energía.

20 En una realización típica, la tercera frecuencia portadora es sustancialmente igual a la primera frecuencia portadora.

En una realización adicional, la tercera frecuencia portadora es diferente a la primera frecuencia portadora.

25 En una adicional, que puede combinarse con otras realizaciones descritas en este documento, la primera frecuencia portadora y la cuarta frecuencia en la primera localización se generan a partir de la misma fuente de frecuencia local que tiene una primera frecuencia de base, y donde la tercera frecuencia portadora y la segunda frecuencia se generan a partir de la misma fuente de frecuencia local que tiene una segunda frecuencia de base. Típicamente, una fuente de frecuencia puede ser un generador de frecuencia, un oscilador o similares.

30 Sin embargo, la primera frecuencia portadora y/o la cuarta frecuencia pueden ser un múltiplo o una fracción de la primera frecuencia de base, respectivamente, y/o la tercera frecuencia portadora y/o la segunda frecuencia pueden ser un múltiplo o una división de la segunda frecuencia de base, respectivamente.

35 En otra realización, el procedimiento puede incluir además: proporcionar una tercera señal que tiene una tercera frecuencia portadora en una primera localización; transmitir la tercera señal de la primera localización a una segunda localización a través de la línea de transmisión de energía; proporcionar una cuarta señal que tiene una cuarta frecuencia a la segunda localización; medir la diferencia de fase entre la tercera señal y la cuarta señal en la segunda localización, donde la tercera frecuencia portadora es diferente a la primera frecuencia portadora. Esta realización puede utilizarse cuando la velocidad de propagación de una señal con la primera frecuencia portadora y la velocidad de propagación de una señal con la tercera frecuencia portadora son sustancialmente diferentes.

40 En una realización, que puede combinarse con otras realizaciones descritas en este documento, la primera frecuencia portadora y/o la tercera frecuencia portadora está/están en la intervalo de 10 kHz a 2000kHz, en particular en el intervalo de 20 kHz a 1.000 kHz, en particular en el intervalo de 40 kHz a 500 kHz.

En una realización típica, el procedimiento puede incluir además el cálculo de la longitud de la línea de transmisión de energía sobre la base de la(s) primera y/o segunda diferencia(s) de fase medida(s).

50 En una realización típica, que puede combinarse con otras realizaciones, la cantidad de longitud es el cambio relativo en longitud.

55 En una realización típica, el procedimiento incluye el cálculo de la longitud absoluta de la línea de transmisión de energía a partir del cambio relativo en la longitud de la línea de transmisión de energía y una estimación de una longitud absoluta de la línea de transmisión de energía.

60 En una realización adicional, que puede combinarse con otras realizaciones descritas en este documento, la estimación de una longitud absoluta de la línea de transmisión de energía se realiza mediante la medición de un retraso de mensajes entre la primera localización y la segunda localización, y la segunda localización y la primera localización, respectivamente.

De acuerdo con un aspecto adicional, se proporciona un procedimiento para determinar la temperatura de una línea de transmisión de energía entre una primera localización y una segunda localización, donde el procedimiento incluye: determinar la longitud de una línea de transmisión de energía de acuerdo con las otras realizaciones

descritas en el presente documento, calculando la temperatura de la línea de transmisión de energía sobre la base de la longitud de la línea de transmisión de energía entre la primera localización y la segunda localización.

La invención también comprende un sistema de acuerdo con la reivindicación 11.

5 En una realización típica, el sistema está adaptado para realizar un procedimiento de acuerdo con las realizaciones descritas en el presente documento.

10 En una realización adicional, que puede combinarse con otras realizaciones descritas en el presente documento, el sistema incluye además un segundo transmisor en la segunda localización que tiene un generador de frecuencia para la creación de una tercera frecuencia portadora de una tercera señal, donde el segundo transmisor está adaptado para enviar la tercera señal a través de la línea de transmisión de energía a la primera localización.

15 Sin embargo, en una realización típica, el segundo receptor y el segundo transmisor en la segunda localización están adaptados para utilizar una fuente de frecuencia común para la creación de la tercera frecuencia portadora para la tercera señal y para la creación de la segunda señal, donde la frecuencia común fuente tiene una segunda frecuencia de base, donde, en particular, la tercera frecuencia portadora de la tercera señal es un múltiplo o una división de la segunda frecuencia de base, y/o la segunda frecuencia es un múltiplo o una división de la segunda frecuencia de base.

20 En una realización adicional, que puede combinarse con otras realizaciones, el sistema incluye en la primera localización en un primer receptor adaptado para recibir la tercera señal desde la segunda localización, donde el sistema incluye un generador de frecuencia en la primera localización para la creación de una cuarta señal que tiene una cuarta frecuencia; donde el sistema incluye además un dispositivo de detección de fase adaptado para detectar una segunda diferencia de fase entre la cuarta frecuencia y la tercera frecuencia portadora.

25 Sin embargo, en una realización típica, el sistema incluye además un primer transmisor en la primera localización que tiene un generador de frecuencia para la creación de la primera frecuencia portadora de una primera señal, donde el primer receptor y el primer transmisor en la primera localización están adaptados para utilizar una fuente de frecuencia común para la creación de la primera frecuencia portadora para la primera señal y para la creación de la cuarta señal, donde la fuente de frecuencia común tiene una primera frecuencia de base, donde, en particular, la primera frecuencia portadora de la primera señal es un múltiplo o una división de la primera frecuencia de base, y/o la cuarta frecuencia es un múltiplo o una división de la primera frecuencia de base.

35 En otra realización, que puede combinarse con otras realizaciones descritas en el presente documento, el sistema está adaptado para calcular la longitud de la línea de transmisión de energía sobre la base de la(s) primera y/o segunda diferencia(s) de fase medida(s).

40 Las realizaciones también están dirigidas a aparatos para llevar a cabo los procedimientos descritos y que incluyen partes de aparatos para realizar las etapas del procedimiento descritas. Además, las realizaciones también se dirigen a procedimientos mediante los cuales el aparato descrito opera o mediante los que se fabrica el aparato descrito. Se puede incluir etapas de procedimiento para llevar a cabo las funciones del aparato o la fabricación de partes del aparato. Las etapas del procedimiento se pueden realizar por medio de componentes de hardware, firmware, software, un ordenador programado mediante software apropiado, mediante cualquier combinación de los mismos o de cualquier otra manera.

Se contempla que los elementos de una realización se puedan utilizar ventajosamente en otras realizaciones sin más indicación.

50 A continuación, se describe en general un procedimiento para medir una cantidad de longitud.

A partir de la ecuación de telégrafo, una amplitud compleja de una onda sinusoidal con la frecuencia  $\omega$  que se propaga en una línea de transmisión homogénea en una dirección  $d$  es

$$e^{-\gamma d} = e^{-\alpha d} \cdot e^{-j\beta d} \quad (1)$$

55 donde

$$\gamma = \sqrt{(G' + j\omega C')(R' + j\omega L')} \approx \underbrace{\left( \frac{1}{2} R' \sqrt{\frac{C'}{L'}} + \frac{1}{2} G' \sqrt{\frac{L'}{C'}} \right)}_{\alpha} + j \underbrace{\omega \sqrt{L' C'}}_{\beta}. \quad (2)$$

60

En (2),  $R'$ ,  $G'$ ,  $C'$  y  $L'$  son la resistencia, conductancia, capacitancia e inductancia por unidad de longitud de la línea de transmisión, y la aproximación es válida para una línea de baja pérdida con  $R' \ll \omega L'$  y  $G' \ll \omega C'$ . Esta realización propone utilizar las señales a transmitir desde una primera localización a una segunda localización, en una realización típica desde un primer nodo de red a un segundo nodo de red, para medir los parámetros de la línea crítica, es decir, la longitud de línea y la temperatura de la línea. En una realización típica, se utiliza la frecuencia portadora de un enlace de comunicación portador de línea de energía (PLC).

Para determinar la temperatura de la línea de transmisión de energía, se puede establecer una relación entre la longitud de la línea de alimentación y la temperatura. Resistencia de línea:  $R'$  y por lo tanto  $\alpha$  aumenta de manera aproximadamente lineal contra la temperatura, que se traduce en una disminución de la amplitud de la señal recibida, en particular, una señal de comunicación de la línea de energía (PLC), mediante  $e^{-\alpha d}$ . Debido al efecto de la piel,  $R'$  es considerablemente más grande para señales de alta frecuencia, por ejemplo, señales PLC, que para una potencia de CA de 50/60 Hz. Sin embargo, la dependencia de la temperatura es probable que sea la misma para la línea de transmisión dada. Teniendo en cuenta la amplitud de la señal transmitida, el receptor puede medir la atenuación y, por lo tanto, determinar la resistencia  $R'$ . Una temperatura de línea promedio  $T_1$  se puede determinar a partir de la resistencia óhmica  $R'$  mediante una relación entre la temperatura y la resistencia. La relación puede ser, por ejemplo, lineal  $R' = R_2 + k_1 (T_1 - T_2)$ , o cuadrática  $R' = R_2 + k_1 (T_1 - T_2) + k_2 (T_1 - T_2)^2$  donde  $R_2$  y  $T_2$  son unos valores de referencia y de temperatura conocidos y dependen de la construcción de la línea y  $k_1$  y  $k_2$  son constantes del material para el cable de la línea de energía. Así, la temperatura promedio de la línea se puede deducir a partir de esta resistencia de la línea media medida. Por ejemplo, el coeficiente de resistencia térmica del aluminio es de  $4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ , por lo que un aumento en la resistencia  $R'$  del 12% implica un aumento de temperatura de  $30^\circ\text{C}$ . En una realización adicional, la asignación de los parámetros eléctricos medidos tales como  $R'$  a la temperatura promedio de la línea, dada la dependencia del tiempo en particular de  $G'$ , se describe en el documento 2007/0038396, que se incorpora aquí por referencia. La temperatura de la línea, a su vez, determina la longitud de la línea, según lo dado por el coeficiente de expansión térmica.

Hay un aumento en la longitud de la línea  $d$  debido a la expansión térmica. El coeficiente de expansión térmica lineal, por ejemplo del acero es de  $17,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , y por lo tanto el incremento térmico en longitud  $d$  es insignificante respecto al incremento térmico en  $R'$  en el término  $R' \cdot d$  en la ecuación (2). El aumento de longitud se puede medir directamente a través de una señal transmitida en la línea de transmisión de energía.

A continuación se describe un procedimiento para medir la longitud de la línea  $d$ . De acuerdo con el último término de la ecuación (2), la amplitud compleja de la onda sinusoidal se hace girar mediante  $e^{j\beta d} = e^{j\psi}$ , es decir, la fase  $\psi$  de la onda sinusoidal de frecuencia  $f = \omega/2\pi$  en la posición  $d$  es

$$\psi = \omega \sqrt{L'C'} d = \omega \frac{d}{c} = 2\pi \frac{d}{\lambda} \quad (3)$$

donde  $c = 1/\sqrt{L'C'}$  es la velocidad de propagación en la línea de transmisión, y  $\lambda = c/f$  es la longitud de onda de la onda sinusoidal. Por lo tanto, un cambio de las fases relativas entre los puntos extremos de una línea de transmisión indica un cambio en la longitud de la línea. De acuerdo con una realización, la fase de una frecuencia portadora, por ejemplo, la fase de la portadora de señales de comunicación por línea de energía se mide para determinar la longitud de la línea. Las señales de comunicación por línea de energía (PLC) empleadas en las líneas de transmisión de alta tensión tienen típicamente frecuencias portadoras en el intervalo de  $f = 100 \text{ kHz}$  a  $500 \text{ kHz}$ , es decir, longitudes de onda de  $\lambda = c/f \approx 400 \text{ m}$  a  $2000 \text{ m}$ . Una resolución de medición de fase de  $\Delta\psi = 1^\circ$  alcanza una resolución de longitud de  $5,5 \text{ m}$  o más. En una longitud de línea de acero de  $d = 100 \text{ km}$ , dado el coeficiente térmico de acero de  $17,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , esto corresponde a una resolución de temperatura de  $3^\circ\text{C}$ .

La medición de fase en una localización receptora dada se hace comparando la fase de la señal recibida con la fase de una señal generada localmente. En general, es difícil distinguir el efecto deseado de la longitud de la línea de los efectos de desplazamientos de fase desconocidos entre el transmisor y el receptor de las fuentes de frecuencia (osciladores).

Para que las características antes citadas de la presente invención se puedan entender en detalle, se puede realizar una descripción más particular de la invención, brevemente resumida anteriormente, con referencia a realizaciones. Debe indicarse, sin embargo, que los dibujos adjuntos ilustran sólo realizaciones típicas de esta invención y, por lo tanto, no deben considerarse limitativas de su alcance, ya que la invención puede admitir otras realizaciones igualmente eficaces. Los dibujos adjuntos se refieren a realizaciones de la invención y se describen a continuación:

La figura 1 muestra una línea de transmisión de energía esquemática;

La figura 2 muestra un dibujo esquemático de una primera realización de un sistema para la detección de la longitud de una línea de transmisión de energía;

La figura 3 muestra un dibujo esquemático de un detector de fase;

La figura 4 muestra un dibujo esquemático de una realización adicional de un sistema para detectar la longitud de una línea de transmisión de energía;

La figura 5 muestra un dibujo esquemático de un demodulador en cuadratura; y

La figura 6 muestra un procedimiento esquemático para la estimación de la longitud de una línea de transmisión de energía.

La figura 1 muestra una línea de transmisión de energía 1 con tres fases. La línea de transmisión de energía 1 es una línea de transmisión de energía aérea con tres fases. Debido al aumento de la temperatura de la línea de transmisión de energía 1, puede aumentar un combado  $s$ . Si el combado de la línea de alta tensión es demasiado grande puede producirse una descarga 10 en objetos cercanos como un árbol 20. Esto puede conducir a un fallo en la línea de transmisión de energía. El combado  $s$  aumenta cuando la longitud de la línea de transmisión de energía aumenta. A su vez, la longitud de la línea de transmisión de energía depende de la temperatura de la línea de transmisión de energía 1. Por lo tanto, es importante que un operador de la red de corriente monitorice de la longitud de una línea de transmisión de energía.

En general, a continuación  $\omega$  se utiliza para la frecuencia angular y  $f$  para la frecuencia normal, donde  $\omega = 2\pi f$ .

La figura 1 muestra una primera realización de un sistema 100 para medir la longitud de una línea de transmisión de energía 1. Un primer nodo de red 110 está conectado a un segundo nodo de red 120 con una línea de transmisión de energía 130. En el primer nodo de red 110, una primera señal con una primera frecuencia portadora  $f_1$  se genera utilizando el primer generador de frecuencia u oscilador 112 y modula los datos entrantes en un modulador 114. Los datos modulados o la primera señal se transmiten entonces a través de la línea de transmisión de energía 130 al segundo nodo de red 120. Por consiguiente, la primera señal tiene una primera frecuencia portadora. En otra realización, no se modula ningún dato, de tal manera que una onda sinusoidal simple con la frecuencia portadora  $f_1$  del primer generador de frecuencia 112 se transmite a través de la línea de transmisión de energía 130 al segundo nodo de red 120. En una realización, el generador de frecuencia 112 puede ser reemplazado por un oscilador. En otra realización que se puede combinar con otras realizaciones descritas en este documento, una frecuencia  $f_0$  generada por el generador de frecuencia u oscilador se puede multiplicar o dividir usando un multiplicador de frecuencia o un separador para la generación de la frecuencia  $f_1$  antes de que los datos a transmitir se modulen con esa frecuencia  $f_1$ . La primera señal que se transmite a través de la línea de transmisión de energía 130 llega con un retardo  $\tau$  al segundo nodo de red 120. El retraso  $d$  se puede calcular a partir de la diferencia de fase entre una segunda señal generada localmente con la frecuencia  $f_1$  y la primera señal recibida con la primera frecuencia portadora  $f_1$  en el segundo nodo de red 120. A partir de la diferencia de fase, la longitud de la línea de transmisión de energía 130 puede deducirse. El segundo nodo de red 120 incluye un segundo oscilador o un generador de frecuencia 122 para proporcionar la segunda frecuencia  $f_1$  que es igual a la primera frecuencia portadora  $f_1$  a un demodulador 124.

El demodulador 124 en el segundo nodo de red 120 puede incluir un detector de fase 126 como se muestra en la figura 3. El detector de fase puede incluir un mezclador de frecuencia o un circuito multiplicador analógico, y un filtro de paso bajo para generar una señal de tensión que representa la diferencia en fase entre la primera señal y la segunda señal.

En una realización, los generadores de frecuencia 112, 122 en el primer y segundo nodos de red 110, 120 están sincronizados. Esto se puede hacer por medio de señales de satélite, como desde un satélite GPS 300. Por lo tanto, el primer y segundo nodos de red 110, 120 pueden incluir un receptor GPS 118, 128, respectivamente. En otras realizaciones, otros procedimientos pueden ser utilizados para proporcionar una sincronización de los generadores de frecuencia 112, 122 en el primer y el segundo nodos de red.

Por lo tanto, un reloj de un oscilador en un primer nodo de red 110 para la transmisión de la primera señal con la frecuencia portadora  $f_1$  al segundo nodo de red 120 y el reloj de un oscilador o generador de frecuencia en un segundo nodo 120 de red se sincronizan, es decir, la frecuencia para modular y demodular en el primer y segundo nodos de red se sincronizan y son típicamente igual. Por lo tanto, las fases absolutas se pueden medir (hasta una ambigüedad de  $N \cdot 2\pi$ , donde  $N$  es un número natural) y la longitud  $d$  de la línea de transmisión de energía se pueden calcular directamente usando la ecuación (3). Típicamente, la diferencia de fase absoluta de la primera señal en el primer nodo de red y en el segundo nodo de red se puede medir, si también se sincronizan o se bloquean las fases de los generadores de frecuencia en el primer nodo de red y en el segundo nodo de red. Típicamente, para estimar el valor de  $N$ , la longitud de la línea portadora de energía se puede estimar utilizando un procedimiento de medición de retardo directo. Un ejemplo de tal procedimiento de medición de retardo directo se describe a continuación.

En una realización típica, donde las fases de los generadores de frecuencia en el primer y segundo nodos de la red no están sincronizados, pero las frecuencias del generador de frecuencia en el primer y segundo nodos de la red están sincronizadas, típicamente sólo una variación de la longitud de la línea de transmisión de energía se puede

medir a través de una variación de la diferencia de fase.

En una realización adicional, que se describirá en las siguientes secciones respecto a la figura 4, las diferencias de frecuencia en un sistema no sincronizado se estiman de forma simultánea, y por lo tanto, la longitud deseada  $d$  de la línea de transmisión de energía. Esto puede ser implementado, en una realización típica, usando un sistema de comunicación de línea de energía (PLC). Típicamente, los sistemas PLC usan transmisiones dúplex de frecuencia continua. Una transmisión dúplex es una transmisión bidireccional, es decir, se producen al mismo tiempo una primera transmisión desde el primer nodo de red a la segunda red y una segunda transmisión desde el segundo nodo de red al primer nodo de red. La figura 4 muestra un primer nodo de red 110 y un segundo nodo de red 120.

El primer nodo de red 110 transmite al segundo nodo de red 120 una primera señal de frecuencia  $\omega_1 = 2\pi f_1$ , como se muestra en la parte superior de la figura 4. Por consiguiente, la frecuencia  $\omega_1$  es una frecuencia portadora de la primera señal. Omitiendo cualquier modulación de datos PLC, por el momento, la señal transmitida es una onda sinusoidal,

$$x_1(t) = \cos(\varphi_1(t)) = \text{Re}(e^{j\varphi_1(t)}) \quad (4)$$

donde  $\varphi_1(t) = \omega_1 t + \varphi_1^0$ .

Para el procedimiento descrito no es necesario enviar datos desde el primer nodo de red 110 al segundo nodo de red 120. La medición de la longitud de la línea de transmisión de energía puede, en una realización, usar señales sin transporte de datos. Eso significa que la primera señal  $x_1(t)$  se envía desde el primer nodo de red 120 de red y se recibe por el segundo nodo de red 120 después de un retardo de propagación de  $\tau$ . El retardo de propagación  $\tau$  conduce a un cambio de fase de  $-\omega_1 \tau = -\omega_1 d/c_1$ , donde  $c_1$  es la velocidad conocida de propagación para la frecuencia  $\omega_1$ , y  $d$  es la distancia (longitud de la línea de transmisión de energía) a determinar. Típicamente, la velocidad de propagación  $c$  es aproximadamente  $2 \cdot 10^8$  m/s, y sólo débilmente dependiente de frecuencia de la señal a transmitir desde el primer nodo de red 110 al segundo nodo de red 120, en particular sin pérdida o líneas de baja pérdida. El demodulador en el segundo nodo de red 120 "mezcla hacia abajo" (por ejemplo, multiplica y filtra) o demodula la primera señal recibida con una segunda señal generada localmente que tiene una segunda frecuencia  $\omega_1' = 2\pi f_1'$ , para desplazar la primera señal de alta frecuencia a la banda de base, como se describirá más detalle a continuación. Típicamente, el oscilador o generador de frecuencia 122 en el segundo nodo de red 120 genera la misma frecuencia  $\omega_1'$  que el oscilador o generador de frecuencia 112 en el primer nodo de red 110 que genera la frecuencia  $\omega_1$ . En la práctica, sin embargo,  $\omega_1' = \omega_1 + y \cdot \omega_1$ , donde  $y$  es un pequeño error de frecuencia relativa, típicamente  $y \approx 10^{-6}$  (1 ppm).

En notación compleja, la primera señal demodulada con la segunda señal corresponde a

$$\text{Re}[z_1(t) \cdot \exp(-j(\omega_1' t + \psi_1^0))] \quad (5)$$

donde  $z_1(t) = x_1(t - \tau)$ . En la ecuación (5) los efectos de ruido y de distorsión no se tienen en cuenta. Se puede ver que  $(\omega_1' t + \psi_1^0)$  se resta de la fase recibida debido a la demodulación o la mezcla frecuencia de la primera señal recibida con la segunda señal.  $\psi_1^0$  cuenta para la fase relativa desconocida entre los osciladores transmisor y receptor. La fase después del demodulador es, por lo tanto

$$\psi_1(t) = \varphi_1(t) - \omega_1 \frac{d}{c_1} - (\omega_1' t + \psi_1^0) = (\omega_1 - \omega_1') t - \left( \omega_1 \frac{d}{c_1} - \varphi_1^0 + \psi_1^0 \right) \quad (6)$$

Además del parámetro deseado  $d$ , es decir, la longitud de la línea de transmisión de energía, la fase recibida  $\psi_1(t)$  contiene los parámetros de perturbación desconocidos  $(\omega_1' - \omega_1)$  y  $(-\varphi_1^0 + \psi_1^0)$ , debido a los desplazamientos de frecuencia y de fase del generador de frecuencia en el primer nodo de red y el generador de frecuencia en el segundo nodo de red. Como hay muchas causas desconocidas que contribuyen al desplazamiento de fase  $(\varphi_1^0 + \psi_1^0)$ , no es posible en la práctica recuperar la longitud absoluta de la línea de transmisión de energía  $d$  de la fase medida en (6). Sin embargo, es posible medir el cambio relativo en la longitud  $d$  de la línea de energía de transmisión de  $\psi_1(t)$ , si el desplazamiento de frecuencia  $(\omega_1' - \omega_1)$  puede compensarse. A continuación se describe un procedimiento para estimar  $d$  o un cambio relativo en  $d$ , teniendo en cuenta cualquier desplazamiento de frecuencia.

En una realización típica, una segunda medición de una diferencia de fase se puede realizar en la dirección inversa y/o en una frecuencia diferente. Por ejemplo, una segunda medición de una diferencia de fase se realiza en la misma línea de transmisión de energía utilizando una tercera señal que se envía desde el segundo nodo de red 120

al primer nodo de red 110. Esto se muestra en la parte inferior de la figura 4.

Una señal PLC continua u otra tercera señal se transmite desde el segundo nodo de red 120 con la tercera frecuencia portadora  $\omega_2'$ . La fase de la fase de transmisión es, por lo tanto

$$\varphi_2(t) = \omega_2' t + \varphi_2^0$$

Usando la misma derivación que anteriormente, la fase o la diferencia de fase de la tercera señal demodulada en el primer nodo de red 110 es

$$\psi_2(t) = \varphi_2(t) - \omega_2' \frac{d}{c_2} - (\omega_2 t + \psi_2^0) = (\omega_2' - \omega_2) t - \left( \omega_2' \frac{d}{c_2} - \varphi_2^0 + \psi_2^0 \right) \quad (7)$$

En el primer nodo de red 110 y en el segundo nodo de red 120, las frecuencias para modular la tercera señal (la frecuencia portadora  $\omega_2$  de la tercera señal) o demodular la primera señal (es decir, la frecuencia de la segunda señal  $\omega_1'$ ), o las frecuencias de modulación de la primera señal (la frecuencia portadora  $\omega_1$  de la primera señal) y demodular la tercera señal (es decir, la frecuencia de la cuarta señal  $\omega_2$ ) se pueden derivar a partir de la misma fuente de frecuencia, o desde generadores sincronizados o de la misma frecuencia. Por lo tanto, es posible relacionar  $(\omega_1 - \omega_1')$  con  $(\omega_2' - \omega_2)$  usando los errores de frecuencia. En ambos nodos, las frecuencias  $f_i = \omega_i/2\pi$  y  $f_i'$  se derivan a partir de osciladores locales que generan frecuencias de referencia o de base  $f_0$  y  $f_0'$ , en el primer nodo de red 110 y en el segundo nodo de red 120, respectivamente.

$$f_1 = k_1 f_0, \quad f_1' = k_1 f_0' \quad (8)$$

$$f_2 = k_2 f_0, \quad f_2' = k_2 f_0'$$

Se pueden implementar multiplicadores o divisores de frecuencia  $k_1$  y  $k_2$ , en una realización típica, en el primer nodo de red 110 y en el segundo nodo de red 120. Por lo tanto, son constantes conocidas, y las mismas en ambos nodos. Todos los errores de frecuencia son, pues, proporcionales a la diferencia  $f_0' - f_0$ ,

$$f_0' - f_0 = f_0(1 + y) - f_0 = y f_0 \quad (9)$$

donde  $y$  indica el desplazamiento de frecuencia relativo  $f_0'$  respecto a  $f_0$ . Por lo tanto

$$(\omega_1 - \omega_1') = -y\omega_1 \text{ y } (\omega_2' - \omega_2) = y\omega_2.$$

Insertando esto en la ecuación (6) y en la ecuación (7) se obtiene

$$\psi_1(t) = -y\omega_1 t - \omega_1 \frac{d(t)}{c_1} + (\varphi_1^0 - \psi_1^0) \quad (10)$$

$$\psi_2(t) = +y\omega_2 t - \omega_2' \frac{d(t)}{c_2} + (\varphi_2^0 - \psi_2^0) \quad (11)$$

$\psi_1(t)$  y  $\psi_2(t)$  son las diferencias de fase entre la primera y la segunda señales recibidas en el segundo nodo de red 110 ( $\psi_1(t)$ ), y entre la tercera señal recibida y la cuarta señal en el primer nodo de red 120 ( $\psi_2(t)$ ). Estas dos medidas permiten eliminar el desplazamiento de frecuencia desconocido  $y$ : solucionando las ecuaciones (10) y (11) para  $d(t)$ , mientras se toma la ventaja del hecho de que la frecuencia de desplazamiento es pequeña ( $|y| \ll 1$ ), de manera que  $\omega_2' \approx \omega_2$ , se obtiene

$$d(t) = -\frac{\frac{\psi_1(t)}{\omega_1} + \frac{\psi_2(t)}{\omega_2}}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}} + \frac{\frac{(\varphi_1^0 - \psi_1^0)}{\omega_1} + \frac{(\varphi_2^0 - \psi_2^0)}{\omega_2}}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}} \quad (12)$$

También se puede obtener en una realización, donde se sincronizan los generadores de frecuencia en el primer nodo de red 110 y en el segundo nodo de red 120, por ejemplo, mediante señales del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El segundo término en el lado derecho de la ecuación (12) es constante en el tiempo y debido a las fases absolutas. Sólo se puede medir con relojes exactamente sincronizados. Sin embargo, en la práctica es suficiente medir sólo un cambio relativo en la longitud  $d(t)$ , como se da en el primer término en la ecuación (12), es decir

$$\hat{d}(t) = -\frac{\frac{\psi_1(t)}{\omega_1} + \frac{\psi_2(t)}{\omega_2}}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}} \quad (13)$$

En el caso especial ilustrativo de  $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ , eso significa que la misma frecuencia portadora se utiliza para la primera y la tercera señales,

$$\hat{d} = -\frac{c}{\omega} \frac{\psi_1 + \psi_2}{2}, \quad (14)$$

es decir,  $d$  se obtiene a partir de la media de las dos mediciones, como una generalización de la ecuación (3).

En una realización típica, el procedimiento anterior puede implementarse usando un demodulador de cuadratura, por ejemplo, usando, una modulación de amplitud en cuadratura (QAM). La QAM es un esquema de modulación que transmite datos cambiando la amplitud de las ondas portadoras. Estas dos ondas, usualmente sinusoides, están fuera de fase entre sí en  $90^\circ$  y, por lo tanto, se llaman portadores de cuadratura. Las dos ondas tienen generalmente la misma frecuencia. La medición de la primera y segunda fases  $\psi_i(t)$ ,  $i = 1, 2$  en el primer y segundo nodos de red, respectivamente, dadas las señales recibidas  $z_i(t)$ , pueden ser implementadas mediante un demodulador en cuadratura. Un ejemplo de un demodulador en cuadratura se muestra en la figura 5. La señal recibida  $z_i(t)$ , por ejemplo la primera señal recibida en el segundo nodo de red 120, o la tercera señal recibida en el primer nodo de red 110, se multiplica (o demodula) mediante señales de cuadratura  $\cos(\omega_i t + \psi_i^0)$  y  $-\sin(\omega_i t + \psi_i^0)$  y se filtran con paso bajo. Las señales resultantes son

$$u_i^I(t) = \frac{1}{2} \cos(\psi_i(t)) \quad (15)$$

$$u_i^Q(t) = \frac{1}{2} \sin(\psi_i(t)), \quad (16)$$

de las cuales la fase  $\psi_i(t)$  se encuentra como el ángulo del número complejo  $u_i(t)$ ,  $u_i(t) = u_i^I(t) + ju_i^Q(t) = 1/2 e^{j\psi_i(t)}$ .

Formalmente,

$$\psi_i(t) = \arctan\left(\frac{u_i^Q(t)}{u_i^I(t)}\right) \quad (17)$$

Las mediciones de la diferencia de fase  $\psi_1(t)$  y  $\psi_2(t)$  realizadas en diferentes nodos se combinan para producir una estimación de  $d(t)$ , véase por ejemplo la ecuación (14). Esto implica que los valores de medición se envían, a una

velocidad adecuada, a una unidad de cálculo. Esta unidad puede estar situada en el primer nodo de red 110 o en el segundo nodo de red 120, en cuyo caso los valores se pueden transmitir utilizando el propio enlace de comunicación PLC. Alternativamente, los valores pueden ser enviados por dispositivos separados en alguna tercera unidad para su procesamiento.

5 La descripción anterior se da en términos de portadores no modulados. En la práctica, la señal PLC se modula por los datos de usuario para ser transmitidos. Para mediciones de fase precisas, esta modulación de datos puede compensarse o eliminarse.

10 En una realización, la señal de fase obtenida a partir del demodulador en cuadratura es filtrada en paso bajo, para suavizar la variación de fase inducida por los datos.

En otra realización, la señal  $z_i(t)$  se eleva al cuadrado antes de la demodulación y de la extracción (filtrado de paso de banda) del componente a la frecuencia  $2\omega_i$ . La demodulación en cuadratura de las señales resultantes produce  $2\psi_i(t)$  con la mayoría de contribuciones dependientes de los datos retiradas.

15 En una realización adicional, una retroalimentación de decisiones puede utilizarse, es decir, utilizando el detector de datos para volver a modular y restar la contribución de fase dependiente de los datos.

20 Estos esquemas pueden introducir errores de medición que dependen de la estadística de los datos.

A continuación se proporciona un ejemplo numérico para una medición de una longitud de una línea de transmisión de energía.

25 Supongamos que  $d$  aumenta desde dichos 100 km a 100,05 km en un solo minuto debido a un aumento de la carga térmica de 30°C. Por lo tanto,  $d = 50\text{m}/60\text{ seg} = 0,83\text{ m/s}$ . Con  $f_1 = 100\text{ kHz}$  y  $f_2 = 200\text{ kHz}$ , y un error de frecuencia relativo de  $y = 10^{-6}$  (1 ppm se puede lograr mediante osciladores de cuarzo de temperatura controlada de bajo coste), se deduce de la ecuación (10) y de la ecuación (11) con  $d(t) = d_0 + \dot{d}t$  que las frecuencias medidas en  $\psi_1(t)$  y  $\psi_2(t)$  son

30

$$\frac{\dot{\psi}_1}{2\pi} = -yf_1 - f_1 \frac{\dot{d}}{c} = -104,2\text{ mHz}, \quad f_1 \frac{\dot{d}}{c} = 0,42\text{ mHz}$$

$$\frac{\dot{\psi}_2}{2\pi} = +yf_2 - f_2 \frac{\dot{d}}{c} = +191,7\text{ mHz}, \quad f_2 \frac{\dot{d}}{c} = 0,83\text{ mHz}$$

35 (con  $c = 2,108\text{ m/s}$ ). Se ve que la contribución debida a la desviación de la frecuencia del oscilador puede ser considerablemente mayor que la frecuencia debida al cambio de longitud de la línea de energía. La medición precisa de las fases, por lo tanto, es crucial para obtener estimaciones exactas de longitud a partir de la ecuación (13).

40 En una realización adicional, en lugar de utilizar mediciones bidireccionales como se describió anteriormente, es también posible el uso de dos enlaces de codireccionales desde el primer nodo de red 110 al segundo nodo de red 120, utilizando diferentes frecuencias  $f_1 \neq f_2$ . En este caso, el signo de los desplazamientos de frecuencia medidos en las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  son iguales, y una derivación similar a la anterior produce

$$\hat{d} = -\frac{\frac{\psi_1}{\omega_1} - \frac{\psi_2}{\omega_2}}{\frac{1}{c_1} - \frac{1}{c_2}}, \quad (18)$$

45

Sin embargo, este procedimiento falla si las velocidades de propagación  $c_1$  y  $c_2$  para las dos frecuencias son iguales, como es el caso de las líneas sin pérdidas. Por lo tanto, este procedimiento puede ser sensible a errores de medición.

50 En una realización adicional, que puede combinarse con otras realizaciones, la longitud de la línea de transmisión de energía puede medirse de manera directa por separado, para proporcionar una longitud aproximada de la línea de transmisión de energía. Como se ha explicado, la estimación de  $d(t)$  no proporciona una longitud absoluta. Por ejemplo, puede utilizarse una medición de retardo directa. Después de realizar esta medición de retardo directa para la obtención de una estimación aproximada de la longitud de la línea de energía, el procedimiento de medición de fase del portador que se describe anteriormente se emplea entonces para entregar mediciones de longitud relativas

55

de mayor precisión y resolución. El procedimiento de medida de retardo se basa en “mediciones de dos vías” de retardo de mensajes entre primer nodo de red 110 y el segundo nodo de red 120.

5 En el tiempo T1 (según lo medido por el reloj en el nodo 1), el nodo 1 envía un mensaje al nodo 2. El nodo 2 mide su hora de llegada, T2 (medida por el reloj en el nodo 2). A continuación, en el momento T3 (medido por el reloj en el nodo 2), el nodo 2 a su vez envía un mensaje al nodo 1, que mide su tiempo de llegada como T4 (medido por el reloj en el nodo 1). Suponiendo que el retardo de los mensajes  $\tau$  es el mismo en ambas direcciones,

$$d = \frac{\tau}{c} = \frac{1}{c} \frac{(T4 - T1) - (T3 - T2)}{2}. \quad (19)$$

10 Esta es una variante de la medición del retardo de ida y vuelta (T4 - T1), corregida por el tiempo de procesamiento (T3 - T2) en el nodo 2. Debido a la fluctuación del tiempo de procesamiento y al contenido de baja frecuencia de la señal de datos que lleva los mensajes, tales medidas de retardo de mensajes son considerablemente menos precisas y tienen una resolución mucho más baja que el procedimiento de fase del portador que se describe más arriba. Por ejemplo, una (baja) fluctuación de medición del retardo de los mensajes de 10  $\mu$ s se traduce en un error de longitud de 2 km, al ser comparado con una resolución de las mediciones de fase correspondientes a una primera resolución de longitud de aproximadamente 5 m.

20 La figura 6 muestra una realización de un procedimiento que puede ser utilizado para realizar una medición de una cantidad de longitud de una línea de transmisión de energía entre una primera localización y una segunda localización. En una primera etapa, una primera señal que tiene una primera frecuencia portadora en un primer nodo de red. En una etapa adicional, la primera señal se transmite desde la primera localización a la segunda localización a través de la línea de transmisión de energía. En una etapa adicional, se proporciona una segunda señal que tiene una segunda frecuencia en el segundo nodo de red. En otra etapa, una primera diferencia de fase entre la primera señal y la segunda señal se mide en el segundo nodo de red. Finalmente, se calcula la cantidad de longitud de la diferencia de fase medida.

30 La descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para permitir que cualquier experto en la materia realice y utilice la invención. Aunque la invención ha sido descrita en términos de diversas realizaciones específicas, los expertos en la técnica reconocerán que la invención puede ponerse en práctica con modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones. Especialmente, características mutuamente no exclusivas de las realizaciones descritas anteriormente se pueden combinar entre sí. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les pueden ocurrir a los expertos en la técnica. Tales otros ejemplos están destinados a estar dentro del alcance de las reivindicaciones.

35

## REIVINDICACIONES

- 1 Un procedimiento para determinar una cantidad de longitud de una línea de transmisión de energía, donde la línea de transmisión de energía conecta una primera localización con una segunda localización, donde el procedimiento comprende:
- 5 proporcionar una primera señal que tiene una primera frecuencia portadora ( $f_1$ ) en la primera localización; transmitir la primera señal desde la primera localización a la segunda localización a través de la línea de transmisión de energía;
- 10 proporcionar una segunda señal que tiene una segunda frecuencia ( $f_1'$ ) en la segunda localización; medir una primera diferencia de fase entre la primera señal y la segunda señal en la segunda localización; calcular de la cantidad de longitud de la diferencia de fase medida.
2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, donde
- 15 la primera señal es una señal de comunicación de línea de energía, donde, en particular, se compensan o eliminan datos de usuario modulados.
3. El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, donde
- 20 la segunda frecuencia ( $f_1'$ ) es igual a la primera frecuencia portadora ( $f_1$ ), donde los generadores de frecuencia para la generación de la primera frecuencia portadora en la primera localización y la segunda frecuencia en la segunda localización están sincronizados.
4. El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, donde
- 25 la segunda frecuencia ( $f_1'$ ) es igual a la primera frecuencia portadora ( $f_1$ ), donde la fase y la frecuencia de los generadores de frecuencia para generar la primera frecuencia portadora en la primera localización y la segunda frecuencia en la segunda localización están sincronizadas.
5. El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende además:
- 30 proporcionar una tercera señal con una tercera frecuencia portadora ( $f_2'$ ); transmitir la tercera señal desde la segunda localización a la primera localización; proporcionar una cuarta señal que tiene una cuarta frecuencia ( $f_2$ ) en la segunda localización; medir una segunda diferencia de fase entre la tercera señal y la cuarta señal en la segunda localización.
- 35 6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, donde la primera frecuencia portadora y la cuarta frecuencia en la primera localización se generan a partir de la misma fuente de frecuencia local que tiene una primera frecuencia de base ( $f_0$ ), y donde la tercera frecuencia portadora y la segunda frecuencia son generadas a partir de la misma fuente de frecuencia local que tiene una segunda frecuencia de base ( $f_0'$ ).
- 40 7. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, donde la primera frecuencia portadora y/o la cuarta frecuencia es un múltiplo o una fracción de la primera frecuencia de base, respectivamente, y/o la tercera frecuencia portadora y/o la segunda frecuencia es un múltiplo o una división de la segunda frecuencia de base, respectivamente.
- 45 8. El procedimiento de una de las reivindicaciones 1 a 7, donde la primera frecuencia portadora y/o la tercera frecuencia portadora está/están en el intervalo de 10 kHz a 2000kHz, en particular en el intervalo de 20 kHz a 1.000 kHz, en particular, en el intervalo de 40 kHz a 500 kHz.
9. El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende
- 50 calcular la longitud de la línea de transmisión de energía sobre la base de la primera y/o segunda diferencia(s) de fase medida(s).
10. El procedimiento según las reivindicaciones 1 a 9, donde la cantidad de longitud es la longitud total o un cambio relativo en la longitud.
- 55 11. Un sistema para determinar la longitud de una línea de transmisión de energía (130) entre una primera localización (110) y una segunda localización (120), donde el sistema comprende un segundo receptor en la segunda localización que está adaptado para recibir una primera señal que tiene una primera frecuencia portadora ( $f_1$ ) desde la primera localización, donde el sistema comprende además un generador de frecuencia (122) para crear una segunda señal que tiene una segunda frecuencia ( $f_1'$ ) en la segunda localización; donde el segundo receptor comprende además un dispositivo de detección de fase (126) adaptado para detectar una primera diferencia de fase entre la segunda señal que tiene la segunda frecuencia y la primera señal que tiene la primera frecuencia portadora en la segunda localización; estando dispuesto el sistema para calcular la longitud a partir de la primera diferencia de fase.
- 60
- 65

12. El sistema de acuerdo con la reivindicación 11, donde el sistema comprende además un segundo transmisor en la segunda localización que tiene un generador de frecuencia (122,  $k_2$ ) para crear una tercera frecuencia portadora ( $f_2'$ ) de una tercera señal, donde el segundo transmisor está adaptado para enviar la tercera señal a través de la línea de transmisión de energía a la primera localización.
- 5
13. El sistema de acuerdo con la reivindicación 12, donde el segundo receptor y el segundo transmisor en la segunda localización están adaptados para utilizar una fuente de frecuencia común (122) para la creación de la tercera frecuencia portadora para la tercera señal y para la creación de la segunda señal, donde la fuente de frecuencia común (122) tiene una segunda frecuencia de base ( $f_0'$ ), donde, en particular, la tercera frecuencia portadora de la tercera señal es un múltiplo o una fracción de la segunda frecuencia de base, y/o la segunda frecuencia es un múltiplo o una fracción de la segunda frecuencia de base.
- 10
14. El sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 o 13, donde el sistema comprende en la primera localización un primer receptor adaptado para recibir la tercera señal desde la segunda localización, donde el sistema comprende un generador de frecuencia (112,  $k_2$ ) en la primera localización para la creación de una cuarta señal que tiene una cuarta frecuencia ( $f_2$ ); donde el sistema comprende además un dispositivo de detección de fase adaptado para detectar una segunda diferencia de fase entre la cuarta frecuencia y la tercera frecuencia portadora.
- 15
15. El sistema de acuerdo con la reivindicación 14, donde el sistema comprende además un primer transmisor en la primera localización que tiene un generador de frecuencia (112,  $k_1$ ) para la creación de la primera frecuencia portadora de una primera señal, donde el primer receptor y el primer transmisor en la primera localización están adaptados para utilizar una fuente de frecuencia común (112) para la creación de la primera frecuencia portadora para la primera señal y para la creación de la cuarta señal, donde la fuente de frecuencia común (112) tiene una primera frecuencia de base ( $f_0$ ), donde en particular la primera frecuencia portadora de la primera señal es un múltiplo o una fracción de la primera frecuencia de base, y/o la cuarta frecuencia es un múltiplo o una fracción de la primera frecuencia base.
- 20
- 25

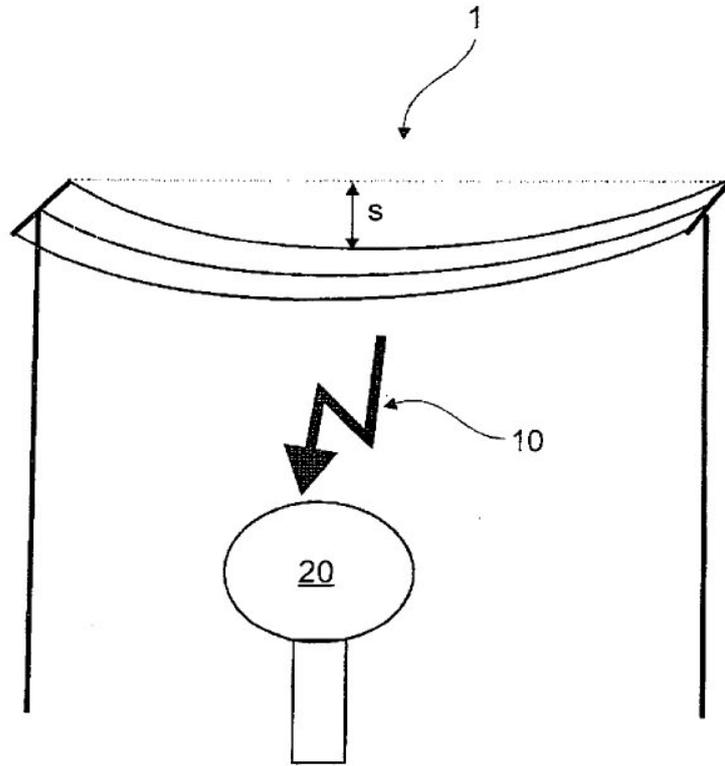


Fig. 1

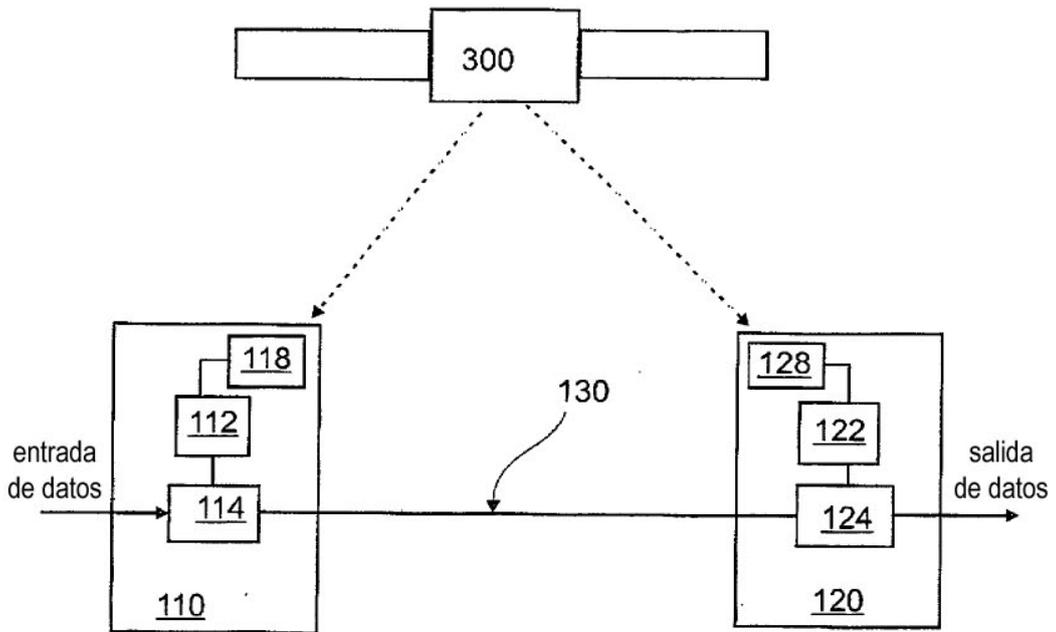


Fig. 2

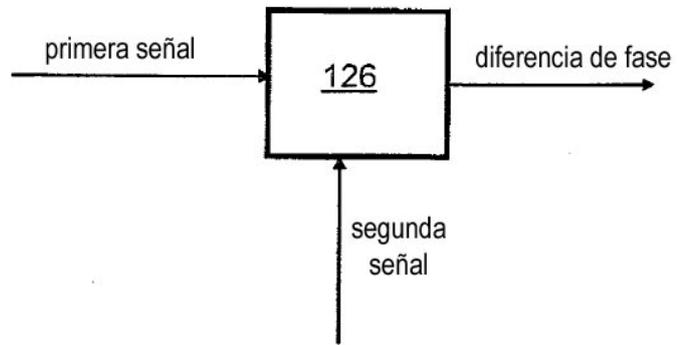


Fig. 3

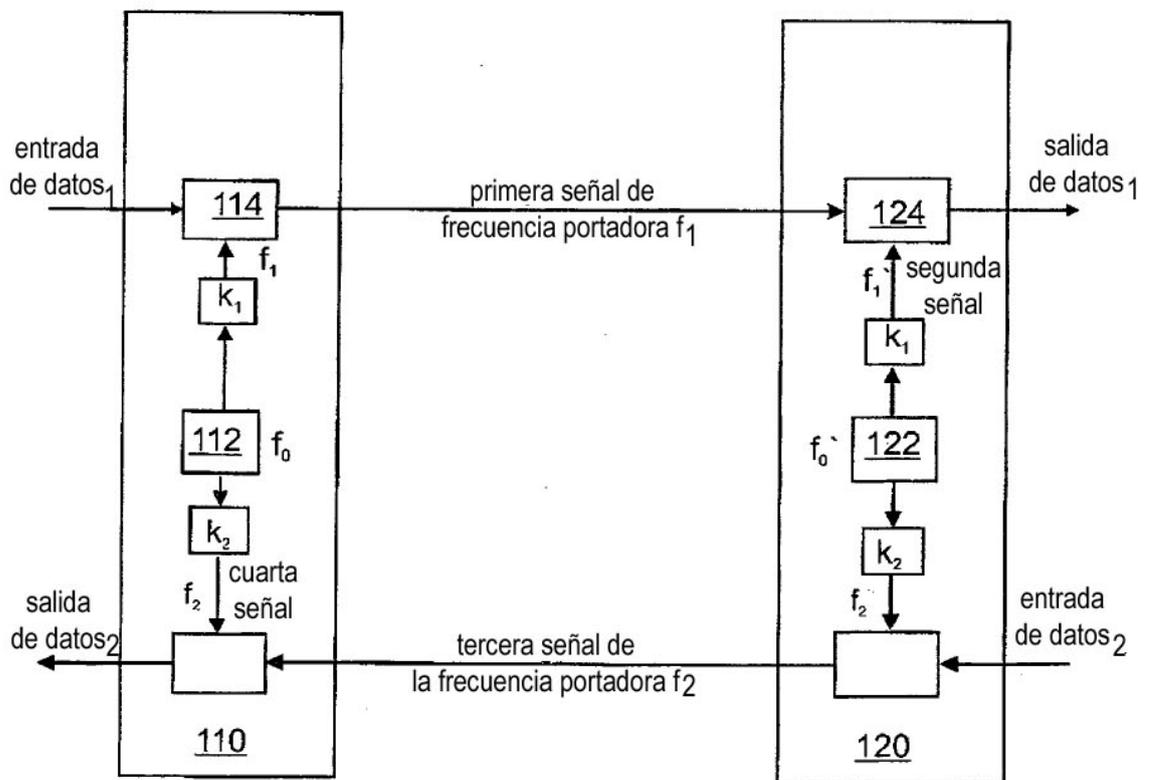


Fig. 4

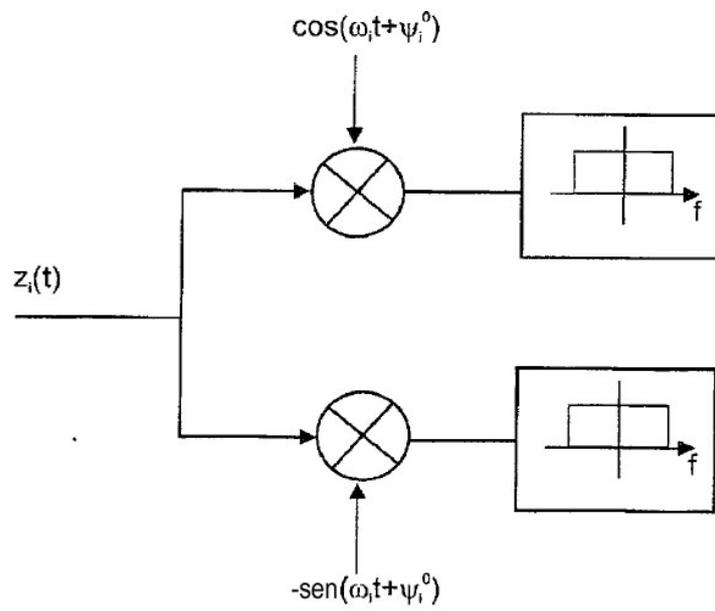


Fig. 5

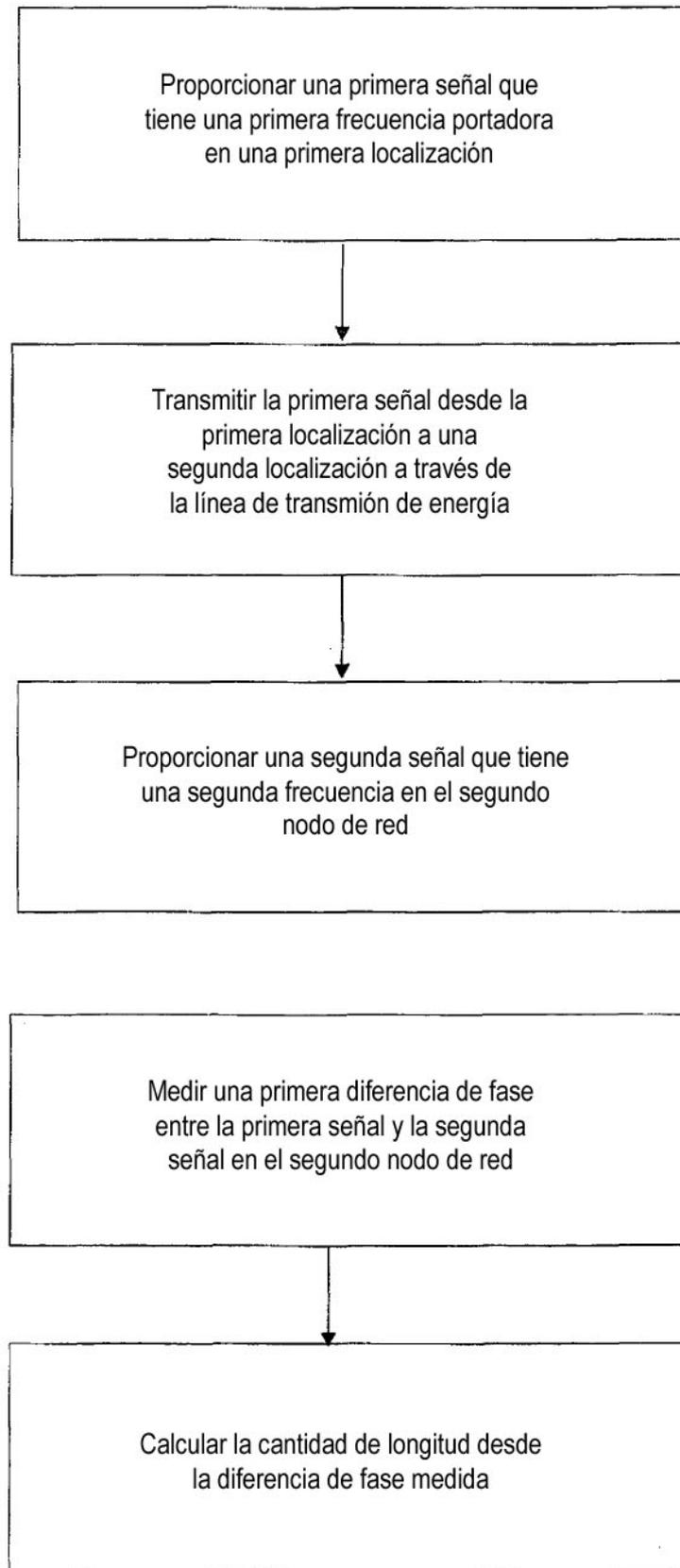


Fig. 6