

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 385 861**

51 Int. Cl.:
G01V 3/08

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09250557 .7**

96 Fecha de presentación: **27.02.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2098888**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.09.2009**

54 Título: **Detector para el cálculo de la distorsión de un campo electromagnético producido por un conductor enterrado que transporta corriente**

30 Prioridad:
03.03.2008 GB 0803990

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.08.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.08.2012

73 Titular/es:
**RADIODETECTION LIMITED
WESTERN DRIVE
BRISTOL BS14 0AF, GB**

72 Inventor/es:
**Royle, John Mark y
Pearson, Richard David**

74 Agente/Representante:
BALLESTER CAÑIZARES, Rosalía

ES 2 385 861 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).

Detector para el cálculo de la distorsión de un campo electromagnético producido por un conductor enterrado que transporta corriente

Descripción

Campo de la invención

5 **[0001]** La presente invención hace referencia a un detector para calcular la distorsión de un campo electromagnético producida por un conductor enterrado que transporta corriente.

Antecedentes de la invención

10 **[0002]** Antes de comenzar una excavación o cualquier otro trabajo en un lugar en el que se han enterrado cables eléctricos, cables de fibra óptica u otros conductos o tuberías de suministro, es importante determinar la ubicación de tales cables o tuberías enterrados para asegurarse de que no se dañan durante la obra. Una vez que se localiza un conducto de servicios enterrado, se puede calcular su profundidad para determinar una profundidad de excavación segura.

15 **[0003]** Los conductores que transportan corriente emiten radiación electromagnética que puede detectarse mediante una antena eléctrica. Si los cables de fibra óptica o conductos o tuberías de servicios no metálicos están equipados con una pequeña línea de traceado eléctrico, se puede inducir en la misma una corriente alterna que a su vez emite radiación electromagnética. Es conocido el uso de detectores de campo
20 electromagnético emitido por los conductores que transportan corriente alterna.

[0004] Una clase de tales detectores funciona en uno de los dos modos, a saber, modo "activo" y modo "pasivo". Cada modo tiene sus propias bandas de frecuencia de detección.

25 **[0005]** El modo pasivo comprende el modo "potencia" y el modo "radio". En el modo potencia, el detector detecta el campo magnético producido por un conductor que transporta un suministro eléctrico de corriente alterna a 50/60 Hz, o el campo magnético re-irradiado por un conductor como resultado de un cable cercano que transporta electricidad de corriente alterna, junto con armónicos más elevados de hasta aproximadamente 5 KHz. En el modo radio, el detector detecta energía de radio
30 frecuencia muy baja (VLF) que es re-irradiada por los conductores enterrados. La fuente de las señales de radio frecuencia de frecuencia muy baja es una pluralidad de transmisores de onda larga de muy baja frecuencia, tanto comerciales como militares.

35 **[0006]** En el modo activo, un transmisor de señal produce un campo magnético alterno de frecuencia y modulación conocidas, que induce una corriente en un conductor enterrado cercano. El transmisor de señal puede conectarse directamente al conductor o, en los casos en los que no sea posible el acceso a la conexión directa, se puede situar un transmisor de señal cerca del conductor enterrado e inducir una señal

en el conductor. El conductor enterrado re-irradia la señal producida por el transmisor de señal.

[0007] Esta invención proporciona otros avances sobre los sistemas existentes para calcular la profundidad de los conductores enterrados que transportan corriente, proporcionando una funcionalidad y beneficios adicionales al usuario.

[0008] El documento US-A-3617586 describe un método y aparato para localizar un conductor enterrado que transporte corriente.

[0009] El documento US-A-2004/227517 describe un método para identificar una señal electromagnética pasiva emitida por un conducto de servicios bajo tierra, utilizando una antena portátil en superficie dispuesta en una ubicación en la que se espere la señal electromagnética pasiva.

[0010] El documento US-A-6815953 describe un receptor que localiza líneas bajo tierra que puede determinar si el campo magnético que detecta es representativo de un línea a ubicar o si las distorsiones en el campo magnético indican una condición anómala y que, por ello, la medición de la localización de la línea notificada es dudosa.

Resumen de la invención

[0011] Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un detector según la reivindicación 1 para calcular la distorsión de un campo electromagnético producido por un conductor enterrado que transporta corriente.

[0012] Se pueden comparar los campos magnéticos en la primera y la segunda antena y los campos magnéticos en la primera y la tercera antena utilizando la siguiente relación:

$$R = \frac{B_B - B_M}{B_B - B_T}$$

donde;

B_B es el campo electromagnético en la primera antena

B_M es el campo electromagnético en la segunda antena; y

B_T es el campo electromagnético en la tercera antena; y

el primer medio para calcular la profundidad puede configurarse para calcular la profundidad d de dicho conductor bajo la primera antena utilizando la relación:

$$d = \frac{2s(1-R)}{2R-1}$$

y el segundo medio para calcular la profundidad puede configurarse para calcular la profundidad d de dicho conductor bajo la primera antena utilizando la relación:

$$d = \frac{2s}{\frac{B_B}{B_T} - 1}$$

[0013] El detector puede comprender también un medio para alertar al operador cuando la distorsión del campo electromagnético producido por dicho conductor enterrado que transporta corriente $\geq 10\%$.

5 **[0014]** Cada antena puede producir una señal de intensidad de campo analógica representativa del campo electromagnético en la antena. El detector puede comprender también un medio para amplificar las señales de intensidad de campo.

[0015] El detector puede comprender también: un medio para convertir las señales de intensidad de campo analógicas en señales digitales; y un medio para procesar las
10 señales digitales para aislar señales de bandas de frecuencia predeterminadas.

[0016] Los medios para convertir las señales de intensidad de campo analógicas en señales digitales puede ser un CODEC stereo delta-sigma.

[0017] Cada par de primera y segunda antena y primera y tercera antena pueden calibrarse a una precisión de al menos $1/600.000$.

15 **[0018]** Según un segundo aspecto de la invención se proporciona un método según la reivindicación 9 para calcular la distorsión de un campo electromagnético producido por un conductor enterrado que transporta una corriente.

[0019] Los campos magnéticos de la primera y la segunda antena y los campos magnéticos de la primera y la tercera antena se pueden comparar utilizando la
20 relación:

$$R = \frac{B_B - B_M}{B_B - B_T}$$

donde;

B_B es el campo electromagnético en dicha primera antena

B_M es el campo electromagnético en dicha segunda antena; y

25 B_T es el campo electromagnético en dicha tercera antena; y

la profundidad d de dicho conductor bajo dicha primera antena puede calcularse primero utilizando la relación:

$$d = \frac{2s(1-R)}{2R-1}$$

y la profundidad d de dicho conductor bajo la primera antena puede calcularse en
30 segundo lugar utilizando la relación:

$$d = \frac{2s}{\frac{B_B}{B_T} - 1}$$

[0020] El método puede comprender también alertar al operador cuando la distorsión del campo electromagnético producido por dicho conductor enterrado que transporta electricidad $\geq 10\%$.

5 **[0021]** Cada una de dichas antenas puede producir una señal de intensidad de campo representativa del campo electromagnético en dicha antena. El método puede comprender también amplificar las señales de intensidad de campo.

[0022] El método puede comprender también: convertir las señales de intensidad de campo analógicas en señales digitales; y procesar las señales digitales para aislar las señales de bandas de frecuencia predeterminadas.

10 **[0023]** Según un tercer aspecto de la invención, se proporciona un medio de soporte que soporte un código legible por ordenador para controlar un microprocesador para llevar a cabo el método arriba descrito.

Breve descripción de los dibujos

[0024]

15 La Figura 1 es un diagrama de bloques de un detector según un modo de realización de la invención;

La Figura 2 es una representación esquemática de dos antenas horizontales de un detector conocido;

20 La Figura 3 es una representación esquemática de tres de las antenas del detector de la Figura 1;

La Figura 4 es un diagrama de bloques de parte del detector de la Figura 1 que procesa las señales detectadas por las antenas de la Figura 3;

La Figura 5 es una representación esquemática de dos de las antenas del detector de la Figura 1;

25 La Figura 6 es una representación esquemática de otras dos de las antenas del detector de la Figura 1; y

La Figura 7 es un diagrama de bloques de parte del bloque procesador de la señal digital del detector de la Figura 1.

Descripción de los modos de realización preferidos

30 **[0025]** La Figura 1 es un diagrama de bloques de un detector portátil 1 según un modo de realización de la invención. El detector 1 comprende cinco antenas 3 para detectar una señal electromagnética emitida por un conductor que transporta corriente. Cada antena 3 convierte el campo electromagnético en la antena en una señal de intensidad de campo 5 que es emitida desde la antena 3.

35 **[0026]** Cada emisión de la antena se pasa por una fase de pre-amplificación y cambio 7. Si la intensidad de la señal de intensidad de campo 5 es baja, entonces la emisión desde la antena 3 es amplificada y filtrada con un filtro de equalización. Si la señal de

intensidad de campo 5 emitida desde la antena 3 es adecuada, entonces la señal es transmitida directamente a la siguiente fase del detector 1. Además de las emisiones desde las antenas 3, se pueden aplicar otras entradas directamente al detector 1 por ejemplo desde accesorios como pinzas, estetoscopios, sondas subacuáticas y un armazón en A para la localización de fallos.

[0027] La salida de la fase de pre-amplificación y cambio 7 se transmite al mezclador superheterodino 9. El circuito del mezclador está diseñado para recuperar toda la información de magnitud y de fase del soporte.

[0028] La salida de los mezcladores 9 se transmite a un CODEC 11. El CODEC 11 es un convertidor analógico-digital (CAD) stereo sigma-delta de 24 bits. Este es un dispositivo relativamente barato y tiene una precisión absoluta pobre de $\pm 1\%$ pero una precisión radiométrica excelente. Sin embargo, la forma en la que se usa el CODEC 11 en la presente invención lo convierte en un CAD ideal como se describe a continuación. El CODEC 11 muestrea las señales de intensidad de campo de hasta 96 KHz. La salida del CODEC 11 se transmite al bloque procesador digital de señales 13 que está compuesto por un procesador digital de señales (DSP, en inglés) y una matriz de puertas programable de campo (FPGA).

[0029] El detector 1 también incluye una unidad de alimentación 15 que comprende una fuente de energía como baterías y circuitería de gestión de energía. Se proporciona un módulo de comunicaciones 17 para permitir que el detector 1 se conecte a un ordenador personal o a un asistente digital personal (PDA) para cargar la información almacenada en el detector 1 y permitir la descarga desde el ordenador o PDA al detector 1, por ejemplo de actualizaciones de software. El detector 1 también comprende un módulo de memoria 19 y un módulo de interfaz de usuario 21. El módulo de interfaz de usuario 21 puede comprender una o más pantallas para mostrar información al operador del dispositivo, dispositivos de entrada como un teclado numérico o una pantalla táctil y dispositivos de salida audibles como un altavoz o una señal acústica. Los componentes del detector portátil 1 se almacenan en una carcasa (no mostrada).

[0030] La Figura 2 es una representación esquemática de dos antenas horizontales espaciadas verticalmente B, T de un detector conocido dentro de una carcasa alargada sostenida de forma vertical (no mostrado). En uso, el detector se mantiene verticalmente sobre el suelo 23 en el que está enterrado un conductor que transporta corriente 25 con la parte inferior de la antena B cerca de la superficie del suelo 23. Los ejes de las antenas son paralelos y la separación entre la parte inferior de la antena B y la parte superior de la antena T es $2s$. El conductor 25 está enterrado a una

profundidad d bajo la superficie del suelo 23 (y bajo la parte inferior de la antena B) y el desplazamiento horizontal entre las antenas B y T y el conductor 25 es x .

[0031] Cuando fluye corriente alterna por el conductor 25, el conductor 25 irradia un campo electromagnético. La densidad del flujo magnético o campo magnético en la parte inferior de la antena B_B y la parte superior de la antena B_T debido al campo electromagnético producido por el conductor que transporta corriente 25 vienen dados respectivamente por:

$$B_B(x, d) = \frac{\mu_0 i d}{2\pi(d^2 + x^2)} + C \quad (1)$$

y

$$B_T(x, d) = \frac{\mu_0 i (d + 2s)}{2\pi((d + 2s)^2 + x^2)} + C \quad (2)$$

donde:

μ_0 es la permeabilidad del espacio libre;

i es la corriente que fluye en el conductor 25; y

C es una variable dependiente de la frecuencia, conocida como la distorsión de campo de modo común.

[0032] La distorsión de campo de modo común es la distorsión del campo electromagnético producido por el conductor enterrado que transporta corriente 25 debido a la impedancia compleja del material en el que se entierra el conductor que transporta corriente 25. Puesto que la tierra tiene una impedancia compleja distribuida, la distorsión de campo de modo común da como resultado una distorsión homogénea de la señal debido a la corriente de retorno a través de la tierra. La impedancia compleja de la tierra varía para materiales diferentes como el suelo seco, arena y arcilla húmeda. Por ejemplo, a una frecuencia de 83KHz cuando el conductor está enterrado a una profundidad de 1,7 m en arcilla húmeda, la contribución de C da una variación del 34% del valor teórico de B .

[0033] La profundidad de un conductor enterrado basada en las mediciones de densidad de flujo magnético de B_B y B_T es:

$$d = \frac{2s}{\frac{B_B(x, d)}{B_T(x, d)} - 1} \quad (3)$$

[0034] Si sustituimos las ecuaciones (1) y (2) en la ecuación (3) cuando $x=0$, es decir, cuando el detector se encuentra directamente encima del conductor que transporta corriente 25, obtenemos:

$$d = \frac{2s}{\frac{\frac{\mu_0 i}{2\pi d} + C}{\frac{\mu_0 i}{2\pi(d+2s)} + C} - 1} \quad (4)$$

[0035] Como puede verse en la ecuación (4), el cálculo de la profundidad utilizando dos antenas es dependiente de la distorsión de campo de modo común, lo que lleva a dificultades prácticas para determinar la profundidad de un conductor enterrado. Esta dificultad se mitiga en los aparatos convencionales utilizando un algoritmo de compensación que aproxima la distorsión de campo de modo común basada en mediciones desde diferentes lugares para obtener una función C para un tipo de suelo “medio”. Esta aproximación no resulta satisfactoria debido a la diferencia significativa en mediciones de hasta el 35% entre arcilla húmeda y arena seca, lo que en general nos lleva a una subestimación de la profundidad del conductor enterrado que transporta corriente.

[0036] La Figura 3 es una representación esquemática de tres antenas horizontales espaciadas verticalmente T, M, B del detector 1 de la Figura 1.-Los ejes de las antenas son paralelos. La antena intermedia M está situada a medio camino entre la parte inferior de la antena B y la parte superior de la antena T a una separación s de cada antena, de forma que la separación entre la parte inferior de la antena B y la parte superior de la antena T es $2s$. Como en la Figura 2, el conductor está enterrado a una profundidad d bajo la superficie del suelo (y bajo la parte inferior de la antena B) y el desplazamiento horizontal entre las antenas T, M, B y el conductor es x . La densidad de flujo magnético en la antena intermedia B_M viene dada por:

$$B_M(x, d) = \frac{\mu_0 i (d + s)}{2\pi((d + s)^2 + x^2)} + C \quad (5)$$

[0037] En la práctica, la profundidad de un conductor que transporta corriente se calcula cuando las antenas están verticalmente sobre el conductor, es decir, cuando el desplazamiento lateral, x , es cero. Las ecuaciones (1), (2) y (5) pasan a ser:

$$B_B = \frac{\mu_0 i}{2\pi d} + C \quad (6)$$

$$B_T = \frac{\mu_0 i}{2\pi(d+2s)} + C \quad (7)$$

$$B_M = \frac{\mu_0 i}{2\pi(d+s)} + C \quad (8)$$

[0038] Una proporción conveniente R a tener en cuenta viene dada por:

$$R = \frac{B_B - B_M}{B_B - B_T} \quad (9)$$

5

[0039] Al sustituir las ecuaciones (6), (7) y (8) en la ecuación (9) se obtiene:

$$R = \frac{\frac{\mu_0 i}{2\pi d} + C - \frac{\mu_0 i}{2\pi(d+s)} + C}{\frac{\mu_0 i}{2\pi d} + C - \frac{\mu_0 i}{2\pi(d+2s)} + C} \quad (10)$$

[0040] La proporción R es, en efecto, un término de gradiente de la derivada de segundo orden y es independiente de la distorsión de modo común C. Al simplificar la ecuación (10) se obtiene:

10

$$R = \frac{\frac{1}{d} - \frac{1}{d+s}}{\frac{1}{d} - \frac{1}{d+2s}} = \frac{\frac{1}{d+s}}{\frac{2}{d+2s}} = \frac{d+2s}{2(d+s)} \quad (11)$$

[0041] Al resolver la ecuación (11) para d obtenemos la ecuación de la profundidad de las tres antenas:

$$d = \frac{2s(1-R)}{2R-1} \quad (12)$$

15

[0042] Por lo tanto, las ecuaciones (9) y (12) proporcionan un medio para calcular la profundidad de un conductor que transporta corriente 25 mediante la comparación de las densidades de campo magnético en las tres antenas. Utilizando el término ratiométrico R, que es independiente de la impedancia compleja de la sustancia en la que se entierra el conductor que transporta corriente, las ecuaciones (9) y (12) prescinden de la necesidad de compensar el efecto de campo del modo común de la sustancia en la que se encuentra enterrado el conductor que transporta corriente 25 y estas ecuaciones proporcionan un método mejorado para calcular la profundidad de un conductor enterrado.

20

[0043] Las ecuaciones (1), (2) y (5) se aplican a un conductor infinito que transporta corriente uniforme y que da un campo radial perfecto en el vacío. Cuando este conductor es enterrado en tierra con una conductividad finita, se generan un campo magnético y una corriente secundarios inducidos en la tierra. A continuación se muestra un modelo alternativo a las ecuaciones (1), (2) y (5) para el campo producido por un conductor que transporte corriente, que muestra como las ecuaciones (1), (2) y (5) se alejan del campo radial puro teórico:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi d} e^{\left(\frac{d}{\Delta(f)}\right)} \quad (13)$$

donde:

$$\Delta(f) = \frac{503.8}{\sqrt{\delta(f)^\gamma}}$$

μ_0 es la permeabilidad del espacio libre;

i es la corriente que fluye en el conductor 25;

δ es la conductividad del suelo; y

γ es una variable que tiene en cuenta la variación de la conductividad del suelo con la frecuencia

[0044] Asumiendo que la conductividad de la tierra es homogénea, si se sustituye la ecuación (13) en la ecuación (9) para cada una de las antenas, puede demostrarse que los términos exponenciales se cancelan y se elimina el efecto de campo de modo común en el análisis ratiométrico.

[0045] Un pre-requisito de este cálculo ratiométrico es la calibración precisa de las tres antenas horizontales T, M, B a una precisión de aproximadamente 1/600.000. La calibración de las antenas se lleva a cabo con respecto al rendimiento relativo de la antena superior y la antena intermedia T, M y el rendimiento relativo de la antena intermedia y la antena inferior M, B. Después del ensamblaje del detector, cada antena es a su vez situada dentro de un campo magnético conocido y se mide la magnitud y la fase de la salida de señal de intensidad de campo de las antenas para un intervalo de frecuencias. Se calcula un valor de calibración para la ratio de rendimiento de la antena superior y la intermedia y la antena intermedia y la inferior y se guarda en la memoria 19 del detector 1 de forma que el cálculo ratiométrico de la salida de señales de intensidad de campo desde los pares de antenas tenga una precisión sistemática de aproximadamente 1/600.000.

[0046] La Figura 4 es un diagrama de bloques de parte del detector 1 de la Figura 1 que procesa las señales detectadas por las antenas 3 de la Figura 3.

[0047] Si la señal detectada por las antenas T, M, B es débil, la salida analógica desde cada una de las tres antenas T, M, B se transmite a través de un filtro de ecualización 7 y es amplificada por un factor $G(w)$; de lo contrario las salidas de las antenas T, M, B son transmitidas directamente a la siguiente fase 9 del circuito. La fase siguiente 9 comprende dos multiplexores, combinando el primer multiplexor las señales de la antena superior T y la antena intermedia M y combinando el segundo multiplexor las señales de la antena intermedia M y la antena inferior B.

[0048] La salida de cada multiplexor se transmite entonces a un CODEC delta-sigma 11. Los CODECs delta-sigma son los CODECs ideales para digitalizar las salidas de los pares de antenas porque proporcionan una precisión ratiométrica casi perfecta (aproximadamente $1/2^{24}$ en una amplitud de banda de muestreo de 4KHz a 96KHz). Por lo tanto, el uso de la ecuación (9) comprende transmitir la salida de la antena intermedia M a dos CODECs delta-sigma 11.

[0049] En relación con la Figura 4, cuando las salidas de las antenas T, M, B no se amplifican la ecuación (9) pasa a ser:

$$R = \frac{B.C2 - M.C2}{B.C1 - T.C2} \quad (14)$$

donde:

B es la salida desde la antena inferior;

M es la salida desde la antena intermedia;

T es la salida desde la antena superior;

C1 es la función de transferencia del códec 1; y

C2 es la función de transferencia del códec 2.

[0050] Al dividir por C2, la ecuación (14) pasa a ser:

$$R = \frac{B - M}{B \cdot \frac{C1}{C2} - T} \quad (15)$$

[0051] La proporción $C1/C2$ se evalúa comparando la salida de la antena intermedia M a través de ambos CODECs 11 lo que permite que se calcule R.

[0052] Cuando las salidas de las antenas T, M, B se amplifican, la ecuación (9) pasa a ser:

$$R = \frac{B.G_B.C2 - M.G_M.C2}{B.G_B.C1 - T.G_T.C2} \quad (16)$$

donde:

G_B , G_M , y G_T son la ganancia de los amplificadores de la antena inferior, intermedia y superior amplificadas respectivamente.

[0053] Al dividir por C_2 y $B.G_B$, la ecuación (16) pasa a ser:

$$R = \frac{1 - \frac{M.G_M}{B.G_B}}{\frac{C_1}{C_2} - \frac{T.G_T}{B.G_B}}$$

[0054] Mediante la calibración precisa de $M.G_M/B.G_B$ y $T.G_T/B.G_B$ y el cálculo de la ratio C_1/C_2 comparando la salida de la antena intermedia a través de ambos CODECs
5 11, puede calcularse R .

[0055] También se proporciona un método para calcular la distorsión de campo de modo común de un campo electromagnético producido por un conductor que transporta corriente 25 debida a la impedancia compleja del material en el que está enterrado el conductor. Como se ha afirmado arriba, los distintos materiales de suelo,
10 como arena, tierra seca y mojada y arcilla seca y mojada tienen distintas impedancias complejas. Mediante la comparación de las mediciones de profundidad utilizando la ecuación de profundidad de dos antenas (3) y la ecuación de profundidad de tres antenas (12) puede calcularse la distorsión de campo de modo común.

[0056] Además de la distorsión de campo de modo común descrita arriba, una señal
15 electromagnética emitida por un conductor que transporta corriente 25 puede ser distorsionada por un acoplamiento secundario en un conductor cercano. A diferencia de la distorsión de campo de modo común que es homogénea, la distorsión de campo debida al acoplamiento de un conductor cercano lleva a un gradiente de campo no radial y que no puede compensarse de manera exacta.

[0057] Si no hay distorsión debida a un acoplamiento secundario, o ésta es muy baja, entonces el cálculo de distorsión de campo de modo común que resulta de la comparación de la ecuación de profundidad de dos antenas (3) y la ecuación de profundidad de tres antenas (12) debería dar una distorsión de campo de modo común, C , de <10% de la señal detectada.

[0058] Si la distorsión debida a un acoplamiento secundario es significativa, entonces afectará a la precisión de algunas mediciones y resulta útil para advertir al operador de una distorsión de acoplamiento secundario significativa que da como resultado la integridad reducida de las lecturas tomadas por el detector. Si la distorsión de campo de modo común se calcula como $\geq 10\%$ de la señal detectada, entonces esto indica la
25 presencia de una distorsión secundaria y el operador del detector 1 puede ser advertido mediante una alarma visual o audible.

[0059] En los detectores convencionales, los datos de la profundidad se presentan al operador mediante la presión de un botón de "calcular profundidad" en el detector una
30

vez que el detector se ha situado en la posición correcta. La posición correcta para calcular la profundidad es aquella en la que las antenas se encuentran verticalmente encima del conductor y los ejes de las antenas son perpendiculares al eje del conductor enterrado.

5 **[0060]** En la práctica, la ubicación correcta se encuentra moviendo el detector de lado a lado a través del conductor y rotando el detector sobre un eje vertical. Cuando el detector está situado correctamente se detecta una respuesta de pico por una antena horizontal que tiene su eje perpendicular al eje del conductor y se detecta una respuesta nula por una antena vertical y una antena horizontal que tienen sus ejes
10 paralelos al eje del conductor.

[0061] Para llevar a cabo de una forma correcta y eficiente el cálculo de la profundidad, el operador debe tener habilidades y experiencia suficiente para situar de forma precisa el detector verticalmente sobre el conductor, y alineado con éste, en el punto en que se puede calcular de forma precisa la profundidad del conductor
15 enterrado. Un operador inexperto o descuidado puede obtener un cálculo de la profundidad erróneo si el botón de cálculo de la profundidad se pulsa cuando el detector no se encuentra situado correctamente en relación con el conductor enterrado.

[0062] La ubicación óptima para calcular la profundidad de un conductor enterrado
20 puede considerarse como un “punto óptimo” para el cálculo de la profundidad. La presente invención trata la dificultad de localizar el punto óptimo presentando el resultado del cálculo de la profundidad sólo cuando se cumplen ciertos criterios predeterminados.

[0063] La Figura 5 es una representación esquemática de dos antenas B, V en la parte
25 inferior del detector 1 de la Figura 1. El detector 1 está situado a un desplazamiento horizontal x del conductor enterrado 25 que se encuentra a una profundidad d bajo el nivel del suelo 23. La parte inferior de dos antenas B, V del detector se sitúan próximas la una de la otra a los pies del detector 1, estando una antena B dispuesta horizontalmente como se ha descrito arriba y la otra antena V detrás dispuesta
30 verticalmente (cuando el detector 1 se mantiene verticalmente), ortogonal a la parte inferior de la antena B. Una línea 27 que une el conductor enterrado a la parte inferior de las antenas B, V está inclinada con un ángulo θ de la vertical.

[0064] Cuando el conductor enterrado 25 emite un campo electromagnético, se induce una corriente en la parte inferior de la antena B y la antena vertical V. Puesto que
35 estas antenas son ortogonales, la corriente inducida en las antenas puede considerarse que representa los componentes horizontales y verticales respectivos

resueltos del campo electromagnético irradiado por el conductor 25. Por lo tanto, el ángulo θ puede calcularse mediante la consideración de la ecuación:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{B_V}{B_B}\right)$$

donde:

- 5 B_B es la densidad de flujo magnético en la antena de la parte inferior; y
 B_V es la densidad de flujo magnético en la antena vertical.

[0065] Cuando el detector 1 se mueve horizontalmente cerca del conductor 25, es decir, a medida que el desplazamiento horizontal x disminuye, B_V/B_B disminuye y el arcotangente, θ , también disminuye hacia cero.

- 10 **[0066]** La Figura 6 es una representación esquemática de otras dos antenas M, M90 del detector 1 de la Figura 1 vista desde arriba que muestra la primera antena horizontal intermedia M y una segunda antena horizontal intermedia M90. Las dos antenas intermedias M, M90 del detector se sitúan próximas la una a la otra en medio del detector 1, estando ambas antenas M, M90 dispuestas de forma horizontal
 15 (cuando el detector 1 se mantiene en vertical) en ángulo recto entre ellas. El detector 1 está orientado en relación con el conductor enterrado 25 de forma que las antenas intermedias M, M90 sean horizontales y el ángulo entre el eje del conductor 25 y la segunda antena horizontal intermedia M90, es decir, el ángulo entre el eje del conductor y un plano perpendicular al eje de la antena intermedia M, es Φ . Para una
 20 respuesta de pico, el eje de la primera antena intermedia M debería estar orientado verticalmente sobre el conductor enterrado 25, y ortogonal al mismo.

- [0067]** Cuando un campo electromagnético es emitido por el conductor enterrado 25, se induce corriente en la primera antena horizontal intermedia M y la segunda antena horizontal intermedia M90. Puesto que estas antenas son ortogonales, la corriente
 25 inducida en las antenas puede considerarse que representa los componentes ortogonales horizontales resueltos del campo electromagnético producido por el conductor 25. Por tanto, el ángulo Φ puede calcularse mediante la consideración de la ecuación:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{B_{M90}}{B_M}\right)$$

- 30 cuando la antena M90 está orientada “en fase” con el conductor y:

$$\phi = 180^\circ - \tan^{-1} \left(\frac{B_{M90}}{B_M} \right)$$

cuando la antena M90 está orientada “fuera de fase” con el conductor,
donde:

5 B_{M90} es la densidad de flujo magnético en la segunda antena horizontal intermedia M90 y

B_M es la densidad de flujo magnético en la primera antena horizontal intermedia M.

10 **[0068]** A medida que el detector 1 es rotado sobre el eje vertical de forma que la segunda antena intermedia M90 esté más alineada con el conductor 25, B_V/B_B disminuye y el arcotangente, θ , también disminuye hacia el cero.

[0069] Mediante el seguimiento de la corriente inducida en las dos antenas intermedias M, M90 y las dos antenas inferiores B, V, se pueden calcular los ángulos θ y ϕ . Estos cálculos de los ángulos pueden usarse para determinar si el detector 1
15 está localizado en el punto óptimo de cálculo de la profundidad en el que se pueda llevar a cabo un cálculo de la profundidad de forma precisa. Si se determina que el detector 1 está ubicado en el punto óptimo, entonces el detector 1 muestra el resultado del cálculo de la profundidad al usuario en la pantalla 21.

20 **[0070]** Los criterios predeterminados que indican que el detector 1 se encuentra en el punto óptimo se cumplen cuando los ángulos θ y Φ son de $\pm 10^\circ$, preferiblemente de $\pm 5^\circ$ y preferiblemente de $\pm 2^\circ$.

[0071] Se pueden tener en cuenta otros parámetros que para verificar la integridad del cálculo de la profundidad. Si los parámetros satisfacen los criterios predeterminados, entonces el cálculo de la profundidad se mostrará en la pantalla 21 del detector 1.
25 Pueden tomarse en consideración uno o más de los siguientes parámetros, y preferiblemente se evalúan todos los parámetros siguientes y deberán satisfacer los criterios predeterminados. Estos parámetros pueden tenerse en consideración para el cálculo de la profundidad basados en las mediciones utilizando dos o tres antenas horizontales, es decir, utilizando las ecuaciones (3) o (12).

30 **[0072]** La Figura 7 es un diagrama de bloques de parte del bloque de procesamiento digital de señales 13 del detector 1 de la Figura 1. Las señales de intensidad de campo 5 de las antenas 3 son muestreadas en el CODEC 11 de la Figura 1 y mezcladas con componentes de seno y coseno de la frecuencia de interés para producir componentes en fase “I” y de cuadratura “Q” de las señales de intensidad de campo detectadas en la

antena 3. Se proporcionan más detalles de esta operación en la solicitud de Radiodetection Limited publicada como GB 2400674, cuyos contenidos se incorporan aquí por referencia.

5 **[0073]** Los componentes I y Q se pasan a un filtro de decimación sinc⁵ 29. Se proporcionan más detalles del funcionamiento del filtro de decimación sinc⁵ en la solicitud de Radiodetection Limited publicada como GB 2400994, cuyo contenido queda incorporado aquí por referencia.

10 **[0074]** La salida del filtro de decimación sinc⁵ sufre un submuestreo 31 y filtrado a paso bajo por un filtro de respuesta finita al impulso o FIR (finite impulse response). Este proceso resulta en la obtención de la magnitud y fase compleja de las señales de antena definidas en un ancho de banda estrecho, típicamente 10 Hz. Se proporcionan otros detalles de la operación de tareas de DSP en las solicitudes de Radiodetection Limited publicadas como WO 03/071311, WO 03/069598 y GB 2400674, cuyos contenidos se incorporan aquí por referencia.

15 **[0075]** La magnitud de la segunda derivada de la fase de las señales detectada por las

antenas, es decir, $\left| \frac{d^2 \angle U}{dt^2} \right|$ es un parámetro que se puede considerar para verificar la integridad del cálculo de la profundidad. Este parámetro es de hecho una medida del ruido no correlacionado en el ancho de banda del filtro FIR y debería ser inferior a $0,5^\circ/s^2$, preferiblemente inferior a $0,2^\circ/s^2$ y preferiblemente inferior a $0,1^\circ/s^2$.

20 **[0076]** Otro parámetro que se puede considerar para verificar la integridad del cálculo de la profundidad es la desviación estándar del cálculo de la profundidad. Este parámetro indica que el cálculo de la profundidad es estable y no presenta fluctuaciones indebidas debidas al ruido. La desviación estándar del cálculo de la profundidad referida al ancho de banda de 10 Hz debería ser menor del 5%,
25 preferiblemente menor del 2% y preferiblemente menor del 1%.

[0077] Otro parámetro que se puede considerar para verificar la integridad del cálculo de la profundidad es que todas las señales que se introducen en el CODEC se encuentran en el rango dinámico del CODEC. Si las señales introducidas en el CODEC se encuentran fuera del rango dinámico del CODEC, entonces esto dará
30 como resultado un muestreo impreciso por parte del CODEC.

[0078] Otro parámetro que puede considerarse para verificar la integridad del cálculo de la profundidad es la primera derivada de la magnitud de las señales detectadas en las antenas, es decir, dU/dt . Este parámetro asegura que el instrumento se esté manteniendo inmóvil en el momento en que se calcula la profundidad de forma que
35 este parámetro actúa como un filtro antibalístico. La primera derivada de la magnitud

de la señal detectada debería ser inferior al 5% de la señal o señales, preferiblemente inferior al 2% de la señal o señales y preferiblemente inferior al 1% de la señal o señales.

5 **[0079]** Otro parámetro que puede considerarse para verificar la integridad del cálculo de la profundidad es la correlación de fase a través de las antenas (dos o tres) utilizadas para detectar la señal emitida por el conductor enterrado. La diferencia de fase entre las antenas debería ser inferior de 5°, preferiblemente inferior de 2° y preferiblemente inferior de 1°.

10 **[0080]** Se pueden considerar uno o más de los parámetros de arriba para determinar que el cálculo de la profundidad tiene buena integridad. Los valores de los umbrales descritos arriba son dependientes de la intensidad de la señal, el ancho de banda del cálculo de los filtros FIR y la profundidad del conductor que se está detectando.

15 **[0081]** Serán evidentes diversas modificaciones a aquellos con experiencia en la técnica y se desea que se incluyan todas estas modificaciones dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

20 **[0082]** En el presente modo de realización el detector calcula de forma continua la profundidad del conductor enterrado, pero solo muestra la profundidad calculada cuando se cumplen determinados criterios. En otros modos de realización, el detector puede mostrar un icono en la interfaz de usuario o realizar un sonido audible para informar al operador de que se cumplen los criterios predeterminados. De forma alternativa, el detector puede configurarse de forma que sólo se calcule la profundidad cuando se cumplen los criterios predeterminados.

25 **[0083]** Los aspectos de la presente invención pueden ponerse en práctica de cualquier forma conveniente, por ejemplo, utilizando un hardware dedicado, o una mezcla de hardware y software dedicados. Los aparatos de procesamiento pueden comprender cualquier aparato programado de forma adecuada como un ordenador de propósito general, un asistente digital personal (PDA), un teléfono móvil (como un teléfono WAP o un teléfono con tecnología 3G) y demás. Puesto que la presente invención puede ponerse en práctica como un software, cada aspecto de la presente invención abarca
30 así software informático ejecutable en un dispositivo programable. El software informático puede proporcionarse a un dispositivo programable utilizando cualquier medio de soporte convencional. El medio de soporte puede comprender un medio de soporte transitorio como una señal eléctrica, óptica, de microonda, acústica o de radio frecuencia que transporte un código informático. Un ejemplo de tal medio de transitorio
35 es una señal TCP/IP que transporta un código informático en una red IP, como internet. El medio de soporte puede comprender también un medio de almacenamiento para almacenar el código legible por el procesador, como un

ES 2 385 861 T3

disquete, disco duro, CD-ROM, un dispositivo de cinta magnética o dispositivo de memoria de estado sólido.

Reivindicaciones

1. Un detector para calcular la distorsión de un campo electromagnético producido por un conductor enterrado que transporta corriente (25), comprendiendo el detector:

- 5 una primera antena (B);
- una segunda antena (M) que tiene su eje paralelo a un eje de la primera antena (B) y está espaciado una distancia s de la primera antena (B);
- una tercera antena (T) que tiene su eje paralelo a los ejes de la primera (B) y la segunda (M) antena y espaciado una distancia $2s$ de la primera antena (B) y una distancia s de la segunda antena (M);
- 10 un medio para comparar los campos magnéticos de la primera (B) y la segunda (M) antena para producir un primer valor comparado;
- un medio para comparar los campos magnéticos de la primera (B) y la tercera (T) antena para producir un segundo valor comparado;
- 15 un primer medio para calcular la profundidad de dicho conductor enterrado (25) sobre la base del primer y el segundo valor comparado;
- un segundo medio para calcular la profundidad de dicho conductor enterrado (25) sobre la base del campo magnético en un par de la primera (B), la segunda (M) y la tercera (T) antena; y
- 20 un medio para comparar el cálculo de la profundidad del primer medio para calcular la profundidad y el segundo medio para calcular la profundidad para calcular la distorsión del campo electromagnético producido por dicho conductor enterrado que transporta corriente (25).

2. Un detector según la reivindicación 1, en el que los campos magnéticos de la primera (B) y la segunda (M) antena y los campos magnéticos de la primera (B) y la tercera (T) antena se comparan utilizando la relación:

$$R = \frac{B_B - B_M}{B_B - B_T}$$

donde:

- 30 B_B es el campo electromagnético en la primera antena (B);
- B_M es el campo electromagnético en la segunda antena (M); y
- B_T es el campo electromagnético en la tercera antena (T); y
- el primer medio para calcular la profundidad está configurado para calcular un primer valor de profundidad d_1 de dicho conductor (25) bajo la primera antena (B) utilizando la relación:

35

$$d_1 = \frac{2s(1-R)}{2R-1}$$

y el segundo medio para calcular la profundidad está configurado para calcular un segundo valor de profundidad d_2 de dicho conductor (25) bajo la primera antena (B) utilizando la relación:

$$d_2 = \frac{2s}{\frac{B_B}{B_T} - 1}$$

5

10

15

20

25

30

3. Un detector según la reivindicación 2, que además comprende un medio para alertar al operador (21) cuando la distorsión del campo electromagnético producido por dicho conductor enterrado que transporta corriente (25) $\geq 10\%$.
4. Un detector según las reivindicaciones 1, 2 ó 3, en el que cada antena (3, B, M, T) produce una señal de intensidad de campo analógica representativa del campo electromagnético en la antena (3, B, M, T).
5. Un detector según la reivindicación 4, que además comprende un medio para amplificar (7) las señales de intensidad de campo.
6. Un detector según la reivindicación 5, que además comprende:
 - un medio para convertir (11) las señales de intensidad de campo analógicas en señales digitales; y
 - un medio para procesar (13) las señales digitales para aislar las señales de bandas de frecuencia predeterminadas.
7. Un detector según la reivindicación 6, en el que el medio para convertir las señales de intensidad de campo analógicas en señales digitales es un CODEC stereo delta-sigma (11).
8. Un detector según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que cada par de primera (B) y segunda (M) antena y primera (B) y tercera (T) antena es calibrado a una precisión de al menos 1/600.000.
9. Un método para calcular la distorsión de un campo electromagnético producido por un conductor enterrado que transporta corriente (25), comprendiendo el método:
 - comparar los campos magnéticos en una primera antena (B) y en una segunda antena (M) para producir un primer valor comparado, teniendo dicha primera antena (B) el eje paralelo a un eje de dicha segunda antena (M) y espaciado una distancia s de dicha segunda antena (M);

comparar los campos magnéticos en dicha primera antena (B) y en una tercera antena (T) para producir un segundo valor comparado, teniendo dicha tercera antena (T) el eje paralelo a dichos ejes de dicha primera (B) y dicha segunda (M) antena y separado una distancia $2s$ de dicha primera antena (B) y una distancia s de dicha segunda antena (M);

calcular un primer valor de profundidad de dicho conductor enterrado (25) sobre la base del primer y el segundo valor comparados;

calcular un segundo valor de profundidad de dicho conductor enterrado (25) sobre la base del campo magnético en un par formado por la primera (B), la segunda (M) y la tercera (T) antena; y

comparar el primer valor de profundidad y el segundo valor de profundidad para calcular la distorsión del campo electromagnético producido por dicho conductor enterrado que transporta corriente (25).

10. Un método según la reivindicación 9, en el que los campos magnéticos en dicha primera (B) y segunda (M) antena y los campos magnéticos en dicha primera (B) y tercera (T) antena se comparan utilizando la relación:

$$R = \frac{B_B - B_M}{B_B - B_T}$$

donde:

B_B es el campo electromagnético en dicha primera antena (B);

B_M es el campo electromagnético en dicha segunda antena (M); y

B_T es el campo electromagnético en dicha tercera antena (T); y

el primer valor de profundidad d_1 de dicho conductor (25) bajo dicha primera antena (B) se calcula primero utilizando la relación:

$$d_1 = \frac{2s(1-R)}{2R-1}$$

y el segundo valor de profundidad d_2 de dicho conductor (25) bajo dicha primera antena (B) se calcula en segundo lugar utilizando la relación:

$$d_2 = \frac{2s}{\frac{B_B}{B_T} - 1}$$

11. Un método según la reivindicación 10, que además comprende alertar al operador cuando la distorsión del campo electromagnético producido por dicho conductor que transporta corriente (25) $\geq 10\%$.

12. Un medio de soporte que soporta un código legible por ordenador para controlar un microprocesador (13) para llevar a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones de la 9 a la 11.

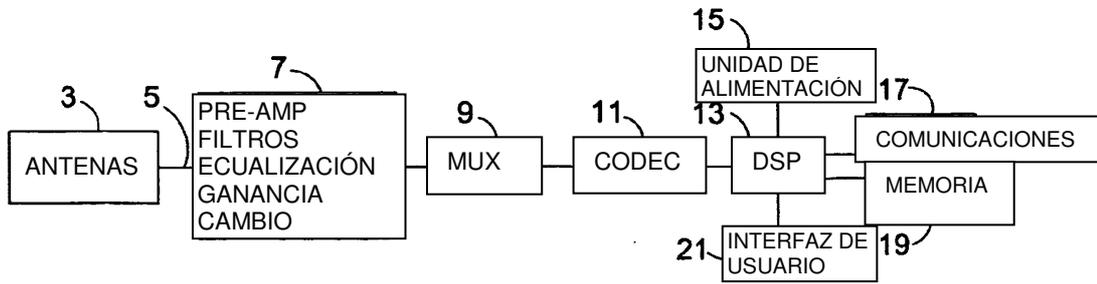


Fig.1

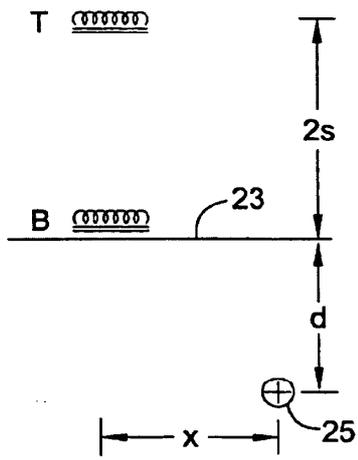


Fig.2

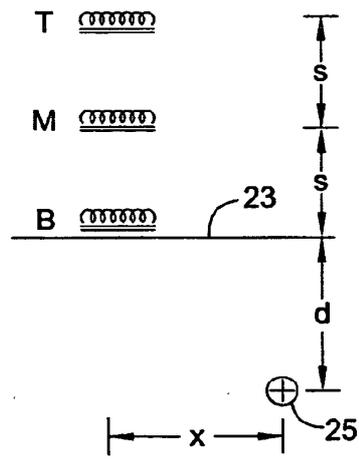


Fig.3

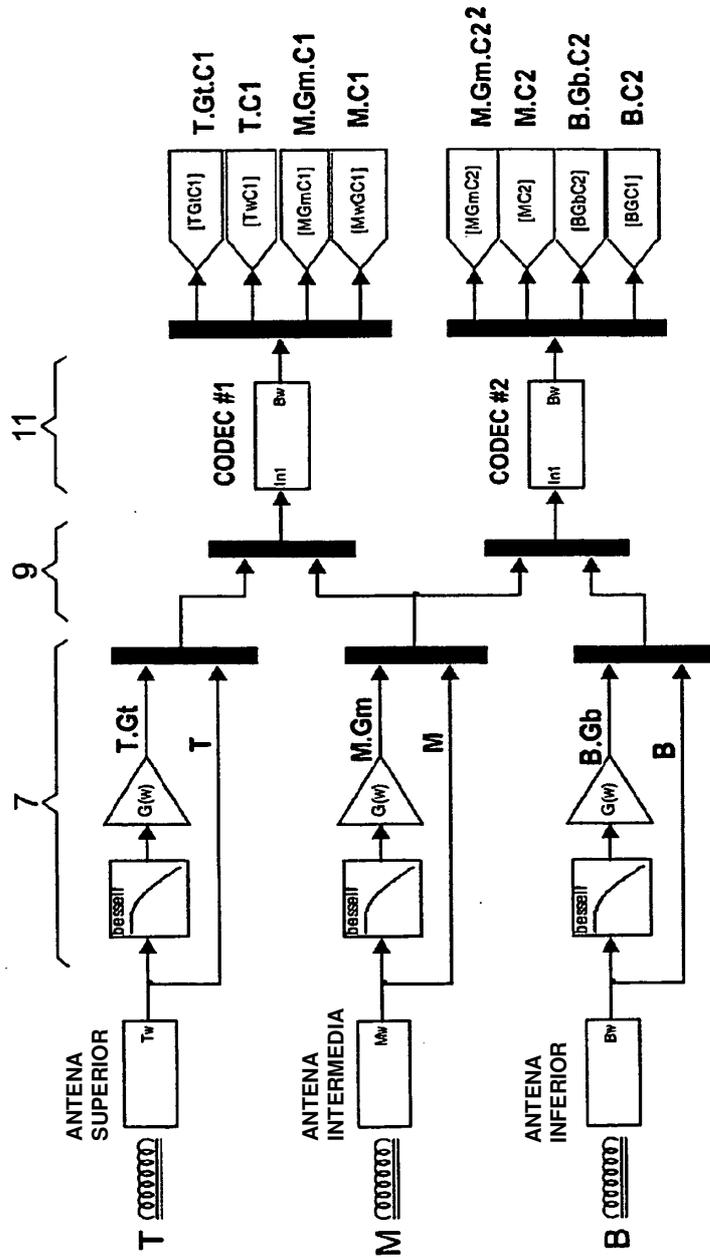


Fig.4

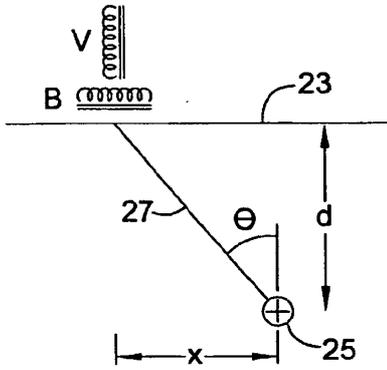


Fig. 5

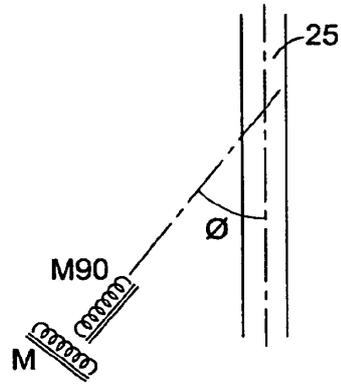


Fig. 6

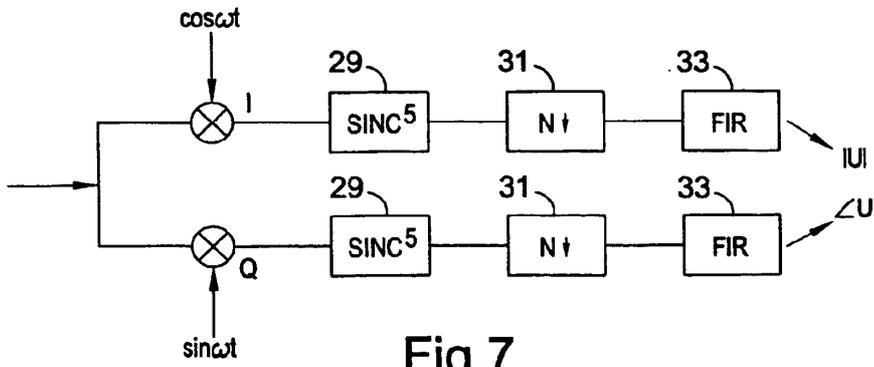


Fig. 7