

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 556 972**

51 Int. Cl.:

**G01V 3/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.01.2006 E 06709578 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2015 EP 1846781**

54 Título: **Señal electromagnética multifrecuencia óptima para diagráfia en el lecho marino**

30 Prioridad:

**01.02.2005 GB 0502064**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**21.01.2016**

73 Titular/es:

**ELECTROMAGNETIC GEOSERVICES ASA  
(100.0%)  
PB 1878 Lade  
7440 Trondheim, NO**

72 Inventor/es:

**SCHAUG-PETTERSEN, TOR**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 556 972 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

Señal electromagnética multifrecuencia óptima para diagrafía en el lecho marino

5 Muchos procesos de diagrafía usan señales electromagnéticas para transmitir u obtener información. Un ejemplo de ello es el uso de ondas electromagnéticas para diagrafía en el lecho marino, una aplicación especial de sondeo electromagnético de fuente controlada desarrollada por la empresa ElectroMagnetic GeoServices de Noruega.

10 En una aplicación de este proceso, puede usarse una respuesta de campo de ondas electromagnéticas para determinar la presencia y/o la naturaleza de un yacimiento que contiene hidrocarburos o agua, como se describe en la Patente Europea nº 1256019.

15 Para diagrafía en el lecho marino, se han empleado un número de tipos de formas de señal transmisora, incluyendo ondas sinusoidales y cuadradas. La inversión de los datos diagrafiados y la producción de imágenes a partir de datos diagrafiados pueden ser considerablemente mejoradas mediante diagrafía a varias frecuencias diferentes. Sin embargo, si se usan señales sinusoidales, una diagrafía a  $x$  frecuencias llevará  $x$  veces más tiempo que una diagrafía con un único tipo de señal. Con el fin de mejorar la inversión de datos sin incrementar sustancialmente los tiempos de diagrafía, pueden usarse señales multifrecuencia que contienen frecuencias deseadas particulares.

20 La presente invención se refiere a una señal electromagnética multifrecuencia optimizada que mejora sustancialmente la inversión de datos diagrafiados, y a un método para obtener una señal optimizada así seleccionando los parámetros que controlan la generación de señal.

25 Los tipos de señales multifrecuencia adecuadas incluyen señales cuadradas, que incluyen todos los múltiplos impares de la frecuencia fundamental. Sin embargo, para ondas cuadradas la amplitud de la  $n$ -ésima frecuencia armónica es proporcional a  $n^{-1}$ , mientras que la atenuación a lo largo de un camino particular es típicamente proporcional a  $n^{1/2}$ . La relación señal/ruido en el receptor para frecuencias armónicas superiores es por lo tanto relativamente baja, resultando en una calidad más baja de resultados procedentes de la inversión de datos diagrafiados.

30 Alternativamente, puede usarse una secuencia periódica de impulsos cortos de corriente de antena para producir la señal, proporcionando armónicos en la señal transmitida hasta aproximadamente  $1/\text{anchura de impulso}$ , en que cada frecuencia armónica es de igual amplitud. Sin embargo, la entrada a la antena está habitualmente limitada en cuanto a intensidad de corriente a un valor particular,  $I_{\text{max}}$ , resultando en una potencia baja en los armónicos de una señal así.

35 Los parámetros de generación de señal requeridos para la producción de una señal electromagnética que comprende dos o tres frecuencias deseadas de amplitudes altas e iguales, de uso en el campo de la diagrafía en el lecho marino, son conocidos. Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, el grado de atenuación de la señal entre el transmisor y el receptor es dependiente de la frecuencia, lo que resulta en relaciones señal/ruido bajas en el receptor para algunas partes de la señal. Además, en los ejemplos conocidos, el valor absoluto de la intensidad de corriente en la antena transmisora toma valores sustancialmente menores que  $I_{\text{max}}$  durante una parte sustancial del tiempo, con el resultado de que tanto la potencia transmitida total como la potencia convertida al conjunto deseado de frecuencias es menor que la que se podría obtener a partir de una señal óptima.

45 Con el fin de mejorar el alcance de señal y la inversión de datos diagrafiados se propone ahora que para una señal optimizada, la potencia transmitida a ciertas frecuencias armónicas deseadas debería ser tal que los cocientes de amplitudes de las frecuencias deseadas sean sustancialmente iguales cuando el receptor está en el alcance máximo. Es también deseable maximizar la relación señal/ruido general en el receptor con el fin de mejorar la calidad de los datos diagrafiados para cualquier alcance dado. Por lo tanto, una señal optimizada en el contexto de la presente invención, que puede ser usada en el campo de la diagrafía en el lecho marino, es una para la cual los cocientes de amplitudes de las frecuencias deseadas son sustancialmente iguales en el receptor cuando el receptor está en el alcance máximo, la potencia total suministrada a la antena transmisora es maximizada, y la proporción de esa potencia que va a las frecuencias deseadas es maximizada.

50 De acuerdo con la presente invención, se proporciona una señal electromagnética multifrecuencia optimizada transmitida por una antena, en que la señal comprende dos o más frecuencias armónicas deseadas con cocientes de amplitudes optimizados, de modo que se reciben cocientes de amplitudes sustancialmente iguales de cada frecuencia cuando el receptor está en el alcance máximo, en que la potencia total en las frecuencias armónicas deseadas es la proporción maximizada de la potencia maximizada suministrable a la antena transmisora.

60 Opcionalmente, la presente invención puede estar caracterizada porque la intensidad de corriente en la antena toma sólo los valores  $\pm I_{\text{max}}$ , para maximizar la potencia total suministrada a la antena transmisora. Esto resulta en un alcance de señal más largo.

Opcionalmente, la presente invención puede estar caracterizada además porque las dos o más frecuencias deseadas son todas armónicas de una frecuencia, y porque la señal es periódica en el tiempo con el periodo de la fundamental, para simplificar la síntesis de señal.

5 Opcionalmente, la presente invención puede estar caracterizada además porque cuando la antena transmisora es capaz de radiar un campo rotatorio circularmente polarizado, las frecuencias armónicas deseadas son todas de armónicos impares, para asegurar que la polarización de cada frecuencia armónica deseada rote.

10 Opcionalmente, la presente invención puede estar caracterizada además porque la señal comprende tres o más frecuencias armónicas deseadas con cocientes de amplitudes optimizados.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para producir una señal electromagnética multifrecuencia optimizada, en que el método comprende obtener parámetros de generación de señal optimizada usando una longitud de desplazamiento transmisor-receptor y un comportamiento de señal modelizado para determinar el conjunto de frecuencias armónicas deseadas óptimamente adecuadas para diagrfía en una zona, y cocientes de amplitudes adecuados para las frecuencias armónicas deseadas; y usar un transmisor para producir una señal de acuerdo con los parámetros de generación de señal optimizada.

15 Los parámetros de generación de señal pueden comprender tiempos de conmutación del sentido de la corriente, periodo de señal y número de tiempos de conmutación del sentido de la corriente por periodo. Los valores de los parámetros pueden ser obtenidos mediante refinamiento iterativo de un conjunto de parámetros estándar iniciales, por comparación de la señal que sería producida por una antena que opera bajo esos parámetros con la señal optimizada ideal. La selección de los parámetros estándar iniciales depende de la naturaleza de la zona y la señal requerida y en casos particulares puede haber que probar con diferentes selecciones antes de obtener un conjunto de parámetros que cubra la solución.

20 Este método puede incorporar un proceso de dos pasos, en que el primer paso comprende seleccionar un conjunto inicial de tiempos de conmutación y otros parámetros, perturbar los tiempos de conmutación y luego ajustar los tiempos de conmutación iterativamente para obtener una señal de prueba que tenga cocientes de amplitudes sustancialmente óptimos de las frecuencias deseadas, y el segundo paso comprende incrementar la potencia de señal total para obtener una señal de prueba que tenga la máxima amplitud posible para la frecuencia más alta deseada, dentro de los límites de operación del sistema de transmisión, al tiempo que se mantienen los cocientes de amplitudes de las frecuencias deseadas mediante ajuste de los parámetros de generación de señal.

30 Opcionalmente, el método de la presente invención puede comprender además modelizar la zona a investigar mediante diagrfía en el lecho marino usando algunos o todos los parámetros conocidos de la zona y combinando la información con la longitud de desplazamiento transmisor-receptor y el comportamiento modelizado de señal para determinar un conjunto de frecuencias de señal deseadas óptimamente adecuadas para diagrfía en la zona, y cocientes de amplitudes ideales para las frecuencias armónicas deseadas.

40 La presente invención también se extiende al uso de una señal electromagnética multifrecuencia optimizada o sustancialmente optimizada con el fin de obtener datos por el método de diagrfía en el lecho marino, con el fin de determinar la presencia y/o naturaleza de un yacimiento que contiene hidrocarburos o agua.

45 La presente invención también se extiende a datos y resultados obtenidos a partir del uso de una señal electromagnética multifrecuencia optimizada para el método de diagrfía en el lecho marino.

Puede ser deseable aplicar señales con estas características, obtenidas usando el método de optimización descrito, en otros campos no relacionados con el sondeo electromagnético marino de fuente controlada.

50 El método para obtener parámetros de generación de señal óptimos se describe ahora, y se da un ejemplo. La función de intensidad de corriente de antena  $I(t)$  debe tener las propiedades

$$(1.1) \quad I(t+T) = I(t), \quad |I(t)| = I_{\max}, \quad I(t) \text{ real}$$

55 donde  $I_{\max}$  es el valor máximo de la intensidad de corriente. Dividimos el intervalo  $0 \leq t \leq 2\pi$  en  $2N$  partes por los puntos  $t_m, m = 1, 2, \dots, 2N-1$ , y definimos

$$(1.2) \quad I(t) = \sum_{m=1}^{2N} I_m(t), \quad I_m(t) = \begin{cases} (-1)^{m-1} \cdot I_{\max} & \text{para } t_{m-1} < t < t_m \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$t_0 = 0, \quad t_{m+2N} = t_m + T, \quad t_{m-1} \leq t_m$$

Consideraciones de simetría muestran que podemos requerir que  $t_m$  satisfaga

$$(1.3) \quad t_{2N-m} = T - t_m, \quad m = 1, 2, \dots, N$$

y seguir obteniendo un rendimiento óptimo. En este caso, la señal está completamente determinada por los primeros  $N$  valores de  $t_n$ , y tenemos

$$(1.4) \quad \begin{aligned} I(t) &= \sum_{n=0}^{\infty} i_n \sin nt, \quad i_n = \frac{2}{T} \int_0^T I(t) \cdot \sin nt \cdot dt = \\ &= I_{\max} \cdot \frac{4}{nT} \left[ \frac{1 - (-1)^N}{2} + \sum_{m=1}^{N-1} (-1)^m \cos nt_m \right], \quad n > 0, \quad i_0 = 0. \\ \frac{\partial i_n}{\partial t_m} &= (-1)^{m-1} \cdot \frac{4I_{\max}}{\pi} \cdot \sin nt_m \end{aligned}$$

Los  $i_n$  tienen todos valores reales, y tenemos  $\sum_1^{\infty} i_n^2 = 2I_{\max}^2$ . Deseamos que un conjunto seleccionado de los  $i_n$  estén en relaciones prescritas,  $i_{n_r} = i_{0n_r}$ ,  $r = 1, 2, \dots, N$ , mientras que sus valores absolutos sean tan grandes como sea posible. Los  $i_0$  no pueden ser seleccionados arbitrariamente, dado que debemos tener

$$(1.5) \quad \sum_{r=1}^N i_{n_r}^2 \leq 2I_{\max}^2$$

Hacemos por lo tanto la transformación

$$(1.6) \quad i_{0n_k} \rightarrow K \cdot i_{0n_k}, \quad r = 1, 2, \dots, N, \quad 0 < K < 2$$

donde  $K$  debe ser determinado. Cuando los  $i_0$  están dados, hay un valor máximo de  $K$  más allá del cual no hay solución. Puede mostrarse que siempre existe una solución para un valor de  $K$  suficientemente pequeño. Un valor inicial adecuado de  $K$  puede encontrarse mediante prueba y error. A continuación, se seleccionan valores iniciales de  $t_n$ . Esta selección es más o menos arbitraria, y en casos particulares, puede haber que probar con diferentes selecciones. Tras calcular los  $i_n$ , se usa la relación de gradiente en (1.4) para encontrar cómo deben ser cambiados los  $t_n$  con el fin de aproximar más los  $i_n$  a sus valores deseados. Resolvemos las ecuaciones

$$(1.7) \quad \sum_{m=1}^N \frac{\partial i_{n_r}}{\partial t_m} \cdot \Delta t_m = i_{0n_r} - i_{n_r}, \quad r = 1, 2, \dots, N$$

para obtener los  $\Delta t_m$ , y seleccionamos nuevos valores de  $t_m$ , estableciendo

$$(1.8) \quad t_m \rightarrow t_m + \alpha \cdot \Delta t_m$$

donde la constante  $\alpha < 1$  se selecciona con el fin de asegurar la convergencia. Este proceso converge rápidamente, o diverge si  $K$  y/o  $t_n$  se seleccionan mal. Habiendo encontrado una solución para el valor seleccionado de  $K$ , deseamos hacer  $K$  lo más grande posible, al tiempo que mantenemos constantes los cocientes de los armónicos. Por lo tanto, repetimos el proceso con un valor más grande de  $K$ , y continuamos hasta llegar a la divergencia. Los valores límite de  $K$  y  $t_m$  determinan una señal óptima.

Ejemplo. Normalizando los  $t_m$ ,  $t_m \rightarrow t_m/T$ , establecemos

$$\begin{aligned} i_{01} &= 0,118 \\ i_{02} &= 0,259 \\ i_{04} &= 1,000 \\ K &= 1,000 \\ \alpha &= 0,5 \end{aligned}$$

Seleccionamos los valores iniciales

$$\begin{aligned} t_1 &= 0,886 \\ t_2 &= 1,770 \\ t_4 &= 2,656 \end{aligned}$$

Optimizando los "t"s, obtenemos los valores

$$\begin{aligned} t_1 &= 1,057 \\ t_2 &= 1,755 \\ t_4 &= 2,466 \end{aligned}$$

## ES 2 556 972 T3

La eficiencia, definida como la fracción de la potencia total que va a los armónicos deseados, es del 54%. Realizando una prueba de convergencia, encontramos que el valor máximo de  $K$  es 1,187. Para este valor, obtenemos

5

$$\begin{aligned}t_1 &= 0,949 \\t_2 &= 1,527 \\t_4 &= 2,276\end{aligned}$$

La eficiencia es del 76%, y los cocientes de los armónicos son

10

$$\begin{aligned}i_1/i_4 &= 0,1175 \\i_2/i_4 &= 0,2599\end{aligned}$$

La forma de la señal óptima está mostrada en la figura 1.

- 15 Los valores óptimos de  $t_n$  no son únicos. Una permutación cíclica de los " $t$ 's no cambia la forma de la señal, provocando sólo una traslación en el tiempo, pero no un cambio de las potencias de los armónicos individuales. Igualmente, la inversión de la secuencia de los " $t$ 's no tiene efecto sobre las potencias de los armónicos. De hecho, si  $S(t)$  es una señal óptima,  $\pm S(\pm t + \tau)$  es también una señal óptima para cualquier valor de  $\tau$ .

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un método para producir una señal electromagnética multifrecuencia optimizada para diagrfía en el lecho marino, en que el método comprende los pasos siguientes:
- obtener parámetros de generación de señal optimizada usando una longitud de desplazamiento transmisor-receptor y un comportamiento de señal modelizado, en que los parámetros de generación de señal son seleccionados entre tiempos de conmutación del sentido de la corriente, el periodo de señal y un número de tiempos
  - 10 de conmutación del sentido de la corriente por periodo, y en que los valores de los parámetros se obtienen por refinamiento iterativo de un conjunto de parámetros estándar iniciales,
  - usar los parámetros de generación de señal optimizada para determinar un conjunto de dos o más frecuencias armónicas deseadas óptimamente adecuadas para diagrfía en una zona, y cocientes de amplitudes adecuados para las frecuencias armónicas deseadas de modo que se reciban cocientes de amplitudes sustancialmente iguales
  - 15 de cada frecuencia en un receptor cuando el receptor está en un alcance máximo, en que la potencia total en las frecuencias armónicas deseadas es una proporción maximizada de la potencia maximizada suministrable a un transmisor; y
  - usar un transmisor para producir una señal de acuerdo con los parámetros de generación de señal optimizada.
- 20 2. El método según la reivindicación 1, caracterizado porque el método comprende modelizar la zona a investigar mediante diagrfía en el lecho marino usando parámetros conocidos de la zona y combinando la información con la longitud de desplazamiento transmisor-receptor y el comportamiento modelizado de señal para determinar un conjunto de frecuencias de señal deseadas óptimamente adecuadas para diagrfía en una zona, y cocientes de amplitudes adecuados para las frecuencias armónicas deseadas.
- 25 3. Un método para obtener datos por diagrfía en el lecho marino según la reivindicación 1, con el fin de determinar la presencia y/o naturaleza de un yacimiento que contiene hidrocarburos o agua, que comprende transmitir una señal electromagnética multifrecuencia optimizada transmitida por una antena.
- 30 4. Un método según la reivindicación 3, caracterizado porque la intensidad de corriente toma sólo los valores  $\pm I_{max}$ , para maximizar la potencia total suministrada a la antena transmisora.
5. Un método según la reivindicación 3 o la reivindicación 4, caracterizado porque las dos o más frecuencias deseadas son todas armónicas de una frecuencia, y porque la señal es periódica en el tiempo con el periodo de la
- 35 fundamental, para simplificar la síntesis de señal.
6. Un método según cualquier reivindicación precedente, caracterizado porque cuando la antena transmisora es capaz de radiar un campo rotatorio circularmente polarizado, las frecuencias armónicas deseadas son todas de armónicos impares, para asegurar que la polarización de cada frecuencia armónica deseada rote.
- 40 7. Un método según cualquier reivindicación precedente, caracterizado porque la señal comprende tres o más frecuencias armónicas deseadas de cocientes de amplitudes optimizados.

Fig. 1

