



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 367 561**

51 Int. Cl.:
H05B 6/02 (2006.01)
E21B 43/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09718382 .6**
96 Fecha de presentación : **25.02.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2250858**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.11.2010**

54 Título: **Sistema para el calentamiento por inducción de yacimientos de arena petrolífera y de petróleo pesado, mediante conductores portadores de corriente.**

30 Prioridad: **06.03.2008 DE 10 2008 012 855**
15.12.2008 DE 10 2008 062 326

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.11.2011

73 Titular/es: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, ES

72 Inventor/es: **Diehl, Dirk**

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 367 561 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

Sistema para el calentamiento por inducción de yacimientos de arena petrolífera y de petróleo pesado, mediante conductores portadores de corriente

5 La presente invención hace referencia a un sistema para el calentamiento por inducción de yacimientos de arena petrolífera y de petróleo pesado, mediante conductores portadores de corriente.

10 Para la extracción de petróleos pesados o betunes de yacimientos de esquistos bituminosos o de arenas petrolíferas mediante sistemas de conductos que se deben introducir mediante perforaciones, se debe incrementar considerablemente su fluidez. Esto se puede lograr mediante el incremento de la temperatura del yacimiento, que a continuación se indica como depósito. En el caso que se utilice exclusivamente un calentamiento por inducción o de manera complementaria como asistencia para el método SAGD conocido, se presenta el problema de una caída de tensión inductiva a lo largo de la extensa longitud del inductor de, por ejemplo 1000 m, desde tensiones muy elevadas hasta alcanzar unos 100 kV, que pueden predominar tanto en el aislamiento que protege del depósito o bien, el suelo, como en el generador en relación con la potencia reactiva.

15 Para la asistencia del calentamiento del depósito mediante una inyección de vapor, de acuerdo con el método conocido SAGD (drenaje por gravedad asistido con vapor) o como sustitución completa de dicha inyección de vapor, se pueden utilizar diferentes configuraciones de inductores y electrodos de acción electromagnética, que se describen en detalle en las solicitudes de la solicitante no reveladas previamente AZ 10 2007 036 832, AZ 10 2007 008 292 y AZ 10 2007 040 606.

20 En el estado del arte general del calentamiento por inducción, se puede evitar la conformación de tensiones inductivas elevadas mediante una conexión en serie compuesta de secciones de inductor y capacitores integrados, que se debe ajustar a la frecuencia de trabajo como un circuito resonante en serie. En la solicitud no revelada de la solicitante AZ 10 2007 040 605, se describen detalladamente un sistema de conductores coaxial con capacitores concentrados, así como el principio de los capacitores distribuidos, en base a la solicitud de patente alemana revelada DE 10 2004 009 896 A1. El primer sistema de conductores presenta diferentes características como una flexibilidad reducida, costes de fabricación elevados y cerámicas costosas para alta tensión. El último sistema de conductores no está orientado para la finalidad mencionada en la introducción conforme a la determinación.

25 En comparación, el objeto de la presente invención consiste en crear un sistema de conductores que se pueda emplear como un sistema de inducción con la finalidad de calentar la arena petrolífera.

30 El objeto se resuelve, conforme a la presente invención, mediante la totalidad de las características de la reivindicación 1. Los perfeccionamientos se indican en las reivindicaciones relacionadas.

35 Conforme a la presente invención, se recomienda acoplar de manera capacitiva dos o más grupos de conductores en secciones que se repiten periódicamente de una longitud definida ("longitud de resonancia"). Además, cada conductor se encuentra aislado individualmente y se compone de un único hilo o de una pluralidad de hilos aislados individualmente. En particular, se conforma una estructura de conductores denominada multifilamento, que se ha recomendado previamente en la electrotécnica para otros fines. Eventualmente, se puede realizar también una estructura de conductores multibanda y/o multicapas con la misma finalidad.

40 En la aplicación práctica, se requieren convencionalmente dos grupos de conductores para 1000 - 5000 filamentos en cada caso, para el calentamiento por inducción con el fin conforme a lo determinado, que consiste en el calentamiento de la arena petrolífera con frecuencias de excitación de, por ejemplo, 10 - 50 kHz, en el caso que se deban obtener longitudes de resonancia efectivas en el margen de 20 - 100 m. Sin embargo, también pueden existir más de dos grupos de conductores.

45 En los sistemas conforme a la presente invención, la frecuencia de resonancia es inversamente proporcional al espacio entre las interrupciones de los grupos de conductores. La conformación de un conductor multifilamento compensado capacitivamente, se puede realizar mediante hilos de Litz específicos de alta frecuencia. La conformación de un conductor multifilamento compensado capacitivamente, se puede realizar también alternativamente mediante hilos sólidos.

50 En la presente invención, un conductor multifilamento compensado de manera ventajosa se compone de conductores individuales transpuestos y/o entrelazados de manera tal que cada conductor individual dentro de la longitud de resonancia se presente en cada radio del sistema con la misma frecuencia. De manera similar a los conductores convencionales de la clase Milliken, se puede conformar un conductor multifilamento compensado compuesto de una pluralidad de grupos de conductores que se encuentran dispuestos alrededor de un centro en común.

5 Cada subgrupo de conductores compensado se compone de manera ventajosa de hilos de Litz de alta frecuencia o hilos sólidos cableados. Además, las secciones transversales de los subgrupos de conductores pueden diferir de la forma circular o hexagonal y, por ejemplo, pueden presentar una forma compuesta por secciones. La zona central libre de conductores dentro de la sección transversal de un conductor multifilamento compensado del tipo Milliken, se puede emplear en el refuerzo mecánico para el incremento de la resistencia a la tracción. Además, se pueden emplear cables de fibras artificiales introducidos de manera permanente o que se pueden retirar, o cables de acero que se puede retirar.

10 La zona central libre de conductores dentro de la sección transversal de un conductor multifilamento compensado del tipo Milliken, se puede emplear para la refrigeración mediante un fluido circulante, particularmente agua o aceite. Además, allí se pueden montar de manera ventajosa sensores de temperatura que se pueden utilizar para el monitoreo y control de la alimentación con corriente y/o de la refrigeración del fluido.

15 Para la instalación del inductor que se compone de conductores multifilamento compensados capacitivamente dispuestos en el depósito, se recomienda introducir el inductor preferentemente en un tubo de material plástico previamente introducido, con un diámetro interior mayor. Además, se puede introducir, por ejemplo, un aceite como lubricante.

Durante el funcionamiento, es decir, en la alimentación con corriente del sistema de conductores conforme a la presente invención, el espacio entre el inductor y el tubo de material plástico se carga con un fluido, en particular agua que presenta una conductividad eléctrica reducida o, por ejemplo, aceite para transformadores que también se puede utilizar previamente como lubricante.

20 En tanto que se pretende una refrigeración activa del inductor mediante un refrigerante circulante, conforme a la presente invención se recomienda bombear el refrigerante en el espacio intermedio y en la zona central libre de conductores, en sentidos opuestos.

Los perfeccionamientos detallados anteriormente y las formas de realización de la presente invención presentan en particular las siguientes ventajas:

25 - Los grupos de conductores que se disponen entrelazados y cercanos entre sí, se encuentran acoplados de manera que presentan una elevada capacitancia. De esta manera, se conforma un circuito resonante en serie, en el que en la frecuencia de resonancia se compensan directamente los desplazamientos de fase de corriente y tensión mediante las inductancias de la línea a través de los capacitores entre los grupos de conductores.

30 - La frecuencia de resonancia del conductor se ajusta al espacio entre las interrupciones. Además, dicha longitud determina la caída de tensión inductiva y establece los requerimientos en relación con la rigidez dieléctrica del aislamiento o bien, del dieléctrico.

- El empleo de hilos de Litz de alta frecuencia reduce o bien, evita las pérdidas óhmicas adicionales debido al efecto pelicular.

35 En tanto que en el caso del conductor multifilamento conforme a la presente invención, se deben lograr longitudes de resonancia reducidas, se requiere de una capacitancia por unidad de longitud elevada. De esta manera, se requiere de una división de la sección transversal del conductor completo en una pluralidad de conductores individuales, por ejemplo, de hasta varios miles de conductores individuales. Por lo tanto, de manera ventajosa el diámetro del conductor individual resulta reducido de manera tal que ya no se pueda generar un incremento de la resistencia mediante el efecto pelicular.

40 En la presente invención, el entrelazado o la transposición de los conductores individuales dentro de la longitud de resonancia, evita las pérdidas óhmicas adicionales debido al denominado efecto de proximidad. Además, se reducen los requerimientos en relación con la rigidez dieléctrica del aislamiento del dieléctrico, mediante una densidad de la corriente de desplazamiento más homogénea. La disposición de una pluralidad de subgrupos de conductores alrededor del centro en común permite el empleo de hilos cableados y al mismo tiempo una fabricación simplificada, en lugar de hilos trenzados o transpuestos, sin necesidad de renunciar a la reducción de las pérdidas óhmicas adicionales mediante el efecto de proximidad.

45 En el montaje del inductor conforme a lo determinado, en el depósito de yacimientos de arena petrolífera, se esperan cargas de tracción de alrededor de 10 t que podrían sobreexigir al conductor compensado debilitado por las interrupciones, y de esta manera podría reducir, por ejemplo, la rigidez dieléctrica del dieléctrico. Por consiguiente, se debe lograr un refuerzo mecánico.

En el caso que el inductor se diseñe con una sección transversal reducida del conductor, en particular la sección transversal de cobre, se puede requerir de una refrigeración activa del sistema conforme a la presente invención,

- para lo cual se proporcionan de manera ventajosa espacios libres abiertos o bien, espacios intermedios en el sistema. Un tubo de material plástico se utiliza para mantener abierta la perforación, para la protección del inductor durante la instalación y para la operación del sistema. De esta manera, se reduce la carga de tracción sobre el inductor durante la introducción, mediante la reducción de la fricción. Un fluido en el espacio intermedio permite el contacto térmico adecuado con el tubo de material plástico y con el depósito, que se requiere para la refrigeración pasiva del inductor. En el caso de una temperatura ambiente del depósito de, por ejemplo, 200 °C, se pueden descargar pérdidas óhmicas en el inductor de hasta alrededor de 20 W/m mediante conducción térmica, sin que la temperatura en el inductor exceda los valores críticos para el aislamiento de teflón de 250 °C.
- Con la circulación del refrigerante en sentido opuesto, en el interior y en el exterior del conductor, se logra una temperatura más constante a lo largo del inductor que puede presentar alrededor de 1000 m de longitud, para el caso en que los flujos de refrigerante sean paralelos.
- Otras particularidades y ventajas de la presente invención se deducen de la descripción de las figuras a continuación de los ejemplos de ejecución, mediante los dibujos en relación con las reivindicaciones.
- En una representación esquemática muestran:
- Figura 1 un corte en perspectiva de un depósito de arena petrolífera, con un bucle conductor eléctrico que se extiende horizontalmente en el depósito,
- Figura 2 un esquema de conexiones de un circuito de resonancia en serie, con capacitores concentrados para la compensación de las inductancias de la línea,
- Figura 3 un esquema de una línea coaxial compensada capacitivamente con capacitores distribuidos,
- Figura 4 un esquema de los grupos de filamentos acoplados capacitivamente en sentido longitudinal,
- Figura 5 un corte transversal de un conductor multifilamento,
- Figura 6 la división del campo eléctrico de un conductor de 60 filamentos en 2 grupos, en un corte transversal,
- Figura 7 representación gráfica de la capacitancia por unidad de longitud de dos grupos de conductores en relación con la cantidad de conductores,
- Figura 8 representación gráfica de la dependencia de la frecuencia de la resistencia óhmica para diferentes diámetros de hilo,
- Figura 9 un corte transversal de un conductor multifilamento cableado compensado del tipo Milliken,
- Figura 10 una alternativa de la figura 9,
- Figura 11 una representación en perspectiva de un conductor de cuatro cuadrantes,
- Figura 12 un corte transversal de un conductor multifilamento cableado compensado del tipo Milliken en un tubo conductor, y
- Figura 13 una representación gráfica de la dependencia de la frecuencia en relación con la alimentación con corriente del inductor para diferentes potencias caloríficas.
- Los mismos elementos de las figuras o bien, los que cumplen la misma función, presentan los mismos símbolos de referencia correspondientes. Las figuras se describen conjuntamente a continuación, a modo de grupos.
- En la figura 1 se representa un yacimiento de arena petrolífera denominado depósito, en donde para las consideraciones específicas siempre se selecciona una unidad 1 de forma cuboide con la longitud l , con el ancho w y la altura h . La longitud l puede ascender, por ejemplo, hasta unos 500 m, el ancho w de 60 a 100 m, y la altura h alrededor de 20 a 100 m. Se debe considerar que a partir de la superficie del suelo E puede existir un "recubrimiento del terreno" de un grosor s de hasta 500 m.
- En la figura 1 se representa un sistema para el calentamiento por inducción de la sección del depósito 1. Dicho sistema puede estar conformado por un bucle conductor 10 a 20 introducido en el suelo, de una longitud de 100 m a 1.5 km, en donde el conductor de ida 10 y el conductor de retorno 20 se conducen uno al lado del otro, es decir, a la misma profundidad, y se encuentran unidos entre sí en el extremo mediante un elemento 15 en el interior o en el

exterior del depósito. En un principio, los conductores 10 y 20 se conducen verticalmente o en un ángulo plano hacia abajo, y son alimentados con energía eléctrica por un generador de alta frecuencia 60 que puede montar en una carcasa exterior.

5 En la figura 1, los conductores 10 y 20 se extienden uno al lado del otro a la misma profundidad. Sin embargo, también se pueden conducir superpuestos entre sí. Por debajo de los bucles conductores 10/20, es decir, sobre el suelo de la unidad de depósito 1, se indica un tubo de transporte 1020 a través del cual se transporta el betún o el petróleo pesado fluidificado.

Las distancias convencionales entre los conductores de ida y de retorno 10, 20 son de 5 a 60 m en el caso de un diámetro exterior del conductor de 10 a 50 cm (0,1 a 0,5 m).

10 El par de conductores eléctrico 10, 20 de la figura 1 con las dimensiones convencionales mencionadas anteriormente, presenta una inductancia longitudinal por unidad de longitud de 1,0 a 2,7 $\mu\text{H}/\text{m}$. La capacitancia por unidad de longitud transversal, en el caso de las dimensiones mencionadas, asciende sólo de 10 a 100 pF/m de manera que los componentes capacitivos transversales de una corriente puedan resultar insignificantes. Además, se evitan efectos ondulatorios. La velocidad de propagación de una onda se determina mediante la capacitancia o
15 inductancia por unidad de longitud del sistema de conductores. La frecuencia característica del sistema está condicionada por la longitud del bucle y la velocidad de propagación de la onda a lo largo del sistema del par de conductores 10, 20. Por lo tanto, la longitud del bucle se debe seleccionar corta de manera tal que no se generen efectos ondulatorios que puedan generar perturbaciones.

20 Se muestra que la distribución simulada de la densidad de potencia perdida en un plano perpendicular en relación con los conductores, como se conforma ante una alimentación con corriente en oposición de fase del conductor superior y del inferior, se puede reducir radialmente.

Para una potencia calorífica inductiva aplicada de 1kW por metro del par de conductores, ante 50 kHz se requiere de una amplitud de corriente de alrededor de 350 A para depósitos de baja resistencia con resistencias específicas de 30 $\Omega\cdot\text{m}$, y alrededor de 950 A para depósitos de alta resistencia con resistencias específicas de 500 $\Omega\cdot\text{m}$. La
25 amplitud de corriente requerida para 1 kW/m presenta un descenso cuadrático con la frecuencia de excitación, es decir que ante 100 kHz las amplitudes de corriente descienden a $\frac{1}{4}$ del valor anteriormente mencionado.

En el caso de una amplitud de corriente media de 500 A ante 50 kHz y una inductancia por unidad de longitud convencional de 2 $\mu\text{H}/\text{m}$, la caída de tensión inductiva asciende a alrededor de 300 V/m.

30 A continuación se describe detalladamente un diseño eléctrico y térmico de un inductor multifilamento compensado mediante una potencia reactiva. En la solicitud de patente alemana no revelada previamente AZ 10 2007 040 605, se ha descrito el principio básico de la compensación por secciones de una línea coaxial con capacitores distribuidos. A continuación, se remite a la descripción en relación con lo mencionado de la solicitud anterior:

Un ejemplo concreto del diseño de un conductor multifilamento compensado capacitivamente presenta las siguientes características: dos grupos de conductores presentan conjuntamente, por ejemplo, 1200 mm^2 de sección transversal
35 de cobre. Dicha sección transversal se distribuye en 2790 hilos sólidos individuales con un diámetro de 0,74 mm en cada caso. Cada uno de los hilos presenta un aislamiento de teflón con un grosor de pared de un poco más de 0,25 mm, y se conduce a la longitud de resonancia doble de $2 \cdot 20,9 \text{ m} = 41,8$. La disposición de los hilos en sentido longitudinal se realiza con un desplazamiento en relación con la longitud de resonancia en correspondencia con la figura 4 que se describe a continuación.

40 El sistema de conductores conforma una rejilla hexagonal en la sección transversal, y se representa en la figura 5. Además, se realiza un prensado en el plano de la sección transversal de manera que los hilos se posicionen con una distancia entre sí de 0,5 mm. El aislamiento sobrante rellena las cuñas en la rejilla hexagonal. Ambos grupos de conductores presentan una capacitancia por unidad de longitud de 115,4 nF/m, ante una disposición discontinua de los hilos en los anillos en correspondencia con la figura 5. Con la longitud de resonancia de 20,9 m se compensa
45 capacitivamente el conductor en 20 kHz. La resistencia óhmica de 20 kHz también asciende a 30 $\mu\Omega/\text{m}$. Con una amplitud de corriente alterna de 825 A (pico) se puede aplicar una potencia calorífica inductiva de 3 kW/m (rms) en un depósito con una resistencia específica de 555 Ωm , cuando el conductor de ida y el de retorno presentan una distancia de 106 m y dicha configuración continúa periódicamente. Las pérdidas óhmicas en el conductor promediadas mediante una longitud de resonancia, ascienden a 15,1 W/m (rms). De acuerdo con el modelo térmico
50 tomado como base del depósito zrs, $T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ constante en 0,5 m o 2,5 m de distancia del conductor, dichas pérdidas conducen a un calentamiento del conductor de 230 - 250 $^\circ\text{C}$, por lo que no se requiere de una refrigeración del fluido adicional. Además, el aislamiento debe resistir una tensión de 3,6 kV. Para el teflón se indica una rigidez dieléctrica de 20 - 36 kV/mm. Es decir que ante un grosor de aislamiento de 0,5 mm se exige alrededor de un tercio de la rigidez dieléctrica.

- De acuerdo con el dibujo esquemático en la figura 2, se prevé una compensación por secciones de la inductancia de la línea L mediante capacitores en serie C realizados de manera discreta o continua. Esto se representa en la figura 2 de manera simplificada. Se representa un esquema equivalente de un circuito de conductores, operado con una fuente de alimentación de corriente alterna 25, que presenta una resistencia compleja 26 en la que se proporcionan respectivamente inductancias L_i y capacitores C_i por secciones. Por consiguiente, se realiza una compensación de la línea por secciones.
- La última clase de compensación se conoce del estado del arte en los sistemas de transmisión de energía inductiva a sistemas que presentan movimientos translatorios. De esta manera, en dicho contexto se deducen ventajas particulares.
- Una característica particular en una compensación integrada en la línea, consiste en que la frecuencia del generador de la línea de alta frecuencia se debe ajustar a la frecuencia de resonancia del bucle de corriente. Esto significa que el par de conductores 10, 20 de la figura 1 se puede operar apropiadamente para el calentamiento por inducción, es decir, con amplitudes de corriente elevadas sólo ante dicha frecuencia.
- La ventaja decisiva del último modo de proceder mencionado consiste en que se evita una adición de tensiones inductivas a lo largo de la línea. En el caso que en el ejemplo mencionado anteriormente, es decir, 500 A, 2 $\mu\text{H/m}$, 50 kHz y 300 V/m, se aplique, por ejemplo, cada 10 m un capacitor C_i en los conductores de ida y de retorno de 1 μF de capacitancia, la operación de dicho sistema se puede realizar con 50 kHz de resonancia. De esta manera, se limitan a 3 kV las tensiones compuestas inductivas y correspondientemente capacitivas que surgen.
- En tanto que la distancia entre los capacitores C_i adyacentes entre sí sea reducida, los valores de capacitancia ascienden de manera inversamente proporcional a la distancia, cuando se requiere de una rigidez dieléctrica reducida de los capacitores en proporción a la distancia, con el fin de obtener la misma frecuencia de resonancia.
- En la figura 3 se muestra una forma de ejecución ventajosa de capacitores integrados en la línea, respectivamente con una capacitancia C. La capacitancia se logra mediante capacitores cilíndricos C_i entre un electrodo exterior de forma tubular 32 de una primera sección y un electro interior 34 de forma tubular de una segunda sección, entre los cuales se encuentra un dieléctrico 33. De manera correspondiente, el capacitor adyacente se conforma entre las secciones que se encuentran a continuación.
- Para el dieléctrico del capacitor C además de una rigidez dieléctrica elevada, se requiere de una estabilidad elevada de la temperatura, dado que el conductor se encuentra en el depósito 100 calentado por inducción, que puede alcanzar una temperatura de, por ejemplo, 250 °C, y las pérdidas resistivas en los conductores 10, 20 pueden conducir a un calentamiento adicional de los electrodos. Mediante una pluralidad de capacitores cerámicos se cumple con las exigencias en relación con el dieléctrico 33.
- En la práctica, por ejemplo, los grupos de silicatos de aluminio, es decir, las porcelanas, presentan una estabilidad de la temperatura de más de 100 °C y una resistencia eléctrica a las descargas disruptivas de > 20 kV/mm ante una permitividad de 6. De esta manera, los capacitores cilíndricos anteriormente mencionados se realizan con la capacitancia requerida, y presentan una longitud constructiva de, por ejemplo, 1 a 2 m.
- Cuando la longitud constructiva deba ser más reducida, se proporciona un juego de una pluralidad de electrodos coaxiales encajados entre sí, en correspondencia con el principio que se evidencia en las figuras 2 a 4. También se pueden integrar en la línea otras formas constructivas de capacitores convencionales, siempre que dichas formas presenten las resistencias de tensión y de temperatura requeridas. Para ello se utiliza la conformación radial de los sistemas de conductores, que se muestra en las representaciones de secciones transversales.
- En la figura 4 se representa el esquema básico de dos grupos de filamentos 100 y 200 acoplados capacitivamente en sentido longitudinal. Resulta evidente que cada sección de hilo de la longitud predeterminada se repite periódicamente y que en dicha primera estructura 100 se encuentra dispuesta una segunda estructura 200 con secciones de hilo individuales, en donde se establece respectivamente la misma longitud, y en donde el primer grupo de la sección de hilo y el segundo grupo de la sección de hilo se superponen en un espacio predeterminado. De esta manera, se define una longitud de resonancia R_L que resulta de importancia para el acoplamiento capacitivo de los grupos de filamentos en sentido longitudinal.
- En la figura 5, el sistema de inducción completo se encuentra envuelto previamente por un aislamiento 150. Se requiere de un aislamiento que proteja del suelo circundante, para evitar corrientes resistivas a través del suelo entre las secciones adyacentes, particularmente en la zona de los capacitores. Además, el aislamiento evita el flujo de corriente resistivo entre los conductores de ida y de retorno. Sin embargo, las exigencias en relación con la resistencia de tensión del aislamiento, en comparación con la línea sin compensar de > 100 kV, se reducen a unos 3 kV del ejemplo anterior y, por lo tanto, se deben utilizar una pluralidad de materiales aislantes. El aislamiento debe resistir de manera permanente las altas temperaturas como el dieléctrico de los capacitores, para lo cual se ofrecen

nuevamente materiales aislantes cerámicos. Además, el grosor de la capa aislante no se debe seleccionar demasiado reducido, dado que de lo contrario podrían escapar corrientes de fuga capacitivas hacia el suelo circundante. Los grosores del material aislante mayores, por ejemplo, a 2 mm, resultan suficientes para el ejemplo de ejecución anteriormente mencionado.

- 5 Las representaciones en corte de un sistema correspondiente con 36 filamentos, que nuevamente se compone de dos grupos de filamentos, se representan en las figuras 5, 9, 10 y 12. Además, particularmente la figura 5 muestra la conformación y la combinación de la disposición entrelazada de 36 filamentos. Además, en particular los conductores de filamentos del primer grupo se indican con los símbolos 101 a 118, y los conductores de filamentos del segundo grupo, de 201 a 218. En la estructura de acuerdo con una disposición hexagonal, permanece libre una zona media 150 en el centro del conductor.

15 De esta manera, se logran en conjunto los aislamientos predeterminados en correspondencia con la estructura de intensidad. En la figura 6 se representa en un corte transversal un sistema de conductores de 60 filamentos divididos en dos grupos, que presenta en primer lugar la conformación de una estructura hexagonal. Además, los conductores 401 a 430 (sombreado a la izquierda) pertenecen al primer grupo de los conductores de filamentos, y los conductores 501 a 530 (sombreado a la derecha) pertenecen al segundo grupo del conductor de filamentos. Los grupos de conductores se encuentran encapsulados por un medio aislante. Mediante la estructura específica de los grupos conductores, se obtienen respectivamente conductores individuales que se encuentran conectados en grupos a través de un campo eléctrico de una elevada intensidad, y se encuentran conectados respectivamente con otros conductores a través de un campo reducido, hecho que se puede confirmar mediante cálculos del modelo.

20 En la estructura hexagonal de acuerdo con las figuras 5 y 6, en la zona central 150 se encuentra un campo nulo. Dicha zona 150 se puede emplear para la introducción de medios refrigerantes o también para la introducción de refuerzos mecánicos con el fin de incrementar la resistencia a la tracción. Además, se pueden emplear, por ejemplo, cables de fibras artificiales introducidos de manera permanente o que se pueden retirar, o también cables de acero que se puede retirar. En relación con este tema, se explica en detalle más adelante.

25 En la representación gráfica de acuerdo con la figura 7, sobre la abscisa se representa la cantidad n de hilos individuales, y sobre la ordenada la capacitancia longitudinal en $\mu\text{F/m}$, respectivamente en una escala logarítmica. Se representan gráficos 71 a 74 para diferentes secciones transversales del conductor, es decir, 71 para una sección transversal de 600 mm^2 , 72 para una sección transversal de 1200 mm^2 , 73 para una sección transversal de 2400 mm^2 , y 74 para una sección transversal de 4800 mm^2 .

30 Cada gráfico 71 a 72 se extiende paralelo con la misma inclinación monótona: Como es de esperar, la capacitancia del hilo de Litz asciende exponencialmente con la cantidad de hilos, pero de manera lineal con la sección transversal.

35 De la figura 7 se puede deducir que la compensación capacitiva se puede ajustar, por una parte, en relación con la cantidad de conductores y, por otra parte, en relación con la sección transversal completa. Además, se ha tomado como base una geometría de conductores de acuerdo con las figuras 4 y 5, con un aislamiento de teflón igual en cada caso. En el caso de una superficie de sección transversal predeterminada, se puede determinar la cantidad necesaria de conductores de Litz.

40 En la representación gráfica de la figura 8, se representa la dependencia de la frecuencia de la resistencia óhmica para diferentes diámetros de hilo. Sobre la abscisa se registra la frecuencia en Hz, y sobre la ordenada se registra la resistencia por unidad de longitud R en Ω/m , en donde en primer lugar se selecciona la escala logarítmica para ambas coordenadas. Se representan gráficos 81 a 84 como parámetros para diferentes diámetros de hilo, es decir, 81 para un diámetro de 0,5 mm, 82 para un diámetro de 1 mm, 83 para un diámetro de 2 mm, y 84 para un diámetro de 5 mm.

45 Los gráficos 81 a 84 se extienden en la zona inicial paralelos a la abscisa y ascienden de manera monótona con una inclinación esencialmente igual: Como es de esperar, la resistencia asciende exponencialmente, por una parte, con la frecuencia y, por otra parte, con el diámetro del hilo. Además, en la alimentación con corriente se parte de una temperatura de $260 \text{ }^\circ\text{C}$.

50 A partir de la evolución de los gráficos 81 a 84 en la figura 9, se puede deducir particularmente la influencia del efecto pelicular en el caso de la temperatura indicada. A partir de los gráficos 81 a 84, se deduce en primer lugar que la resistencia óhmica resulta esencialmente constante hasta alcanzar diferentes frecuencias límite entre 10^3 y 10^5 Hz, en donde la resistencia es inversamente proporcional al diámetro del hilo, y que ante frecuencias ascendentes también se incrementa la resistencia.

En la figura 9 se encuentran dispuestos seis haces de conductores 91 a 96 en una geometría hexagonal alrededor de una cavidad central 97. En la figura 10, se disponen por el contrario seis haces de conductores 91□ a 96□ en

segmentos en forma de porciones de torta alrededor de una cavidad central 97□. Los espacios libres 97 ó 97□ presentan opciones para el alojamiento de dispositivos de refrigeración o dispositivos de refuerzo mecánico. Los medios correspondientes no se representan de manera detallada en las figuras 9 y 10.

5 De la figura 11 se deduce que en el caso de un sistema básico en correspondencia con la figura 10 con elementos en forma de secciones compuestos por conductores individuales, resulta ventajoso que los conductores individuales se encuentren retorcidos en el sentido longitudinal del cable completo. Por consiguiente, en la periferia del conductor se observan líneas, por ejemplo, de C a D que muestran la rotación azimutal de los conductores individuales. En el plano de sección, en el cuadrante izquierdo se observa además un recorrido del campo en correspondencia con las flechas ilustradas.

10 En la figura 12 se representa un tubo de material plástico 120, en el que se introduce un sistema con conductores de Litz. El tubo 120 puede estar compuesto, por ejemplo, de material plástico, en donde en el tubo 120 se observa un espacio intermedio 121 de forma anular en el que el aislamiento se introduce con las estructuras de conductores 122 hexagonales. Además, en primer lugar existe esencialmente una zona central 123 libre de conductores en la que se pueden introducir medios auxiliares necesarios para el empleo del conductor descrito conforme a lo determinado. En particular, una disposición de esta clase con el centro libre de conductores 123 permite el empleo hilos cableados en lugar de hilos trenzados o transpuestos, sin necesidad de renunciar a la reducción de las pérdidas óhmicas adicionales mediante el efecto de proximidad. De esta manera, se permite una fabricación comparativamente simple.

20 Para el empleo conforme a lo determinado de los sistemas de conductores descritos detalladamente mediante las figuras 4, 5, y de 9 a 12, para el calentamiento de depósitos de arena petrolífera de aproximadamente 100 m de extensión, se deben considerar las respectivas condiciones límite. En el montaje del inductor se esperan cargas de tracción particularmente considerables, que se pueden encontrar en un margen de aproximadamente 10 toneladas. De esta manera, el conductor compensado, debilitado mediante las interrupciones de acuerdo con la figura 4, se puede sobreexigir en tanto que se reduce la rigidez dieléctrica del dieléctrico. Para ello, se proporcionan refuerzos mecánicos que se pueden realizar particularmente mediante cables de acero. Además, puede resultar necesaria una refrigeración activa.

25 En el sistema de acuerdo con la figura 12, el tubo de material plástico 120 exterior se utiliza particularmente para mantener abierta la perforación, así como para la protección del inductor durante la instalación y para la operación de la instalación con el sistema para el calentamiento por inducción del yacimiento de arena petrolífera. De esta manera, se reduce la carga de tracción sobre el inductor durante la introducción, mediante la reducción de la fricción.

30 Especialmente en el caso de la disposición de acuerdo con la figura 12, el fluido para la refrigeración de un espacio intermedio 120 de forma anular se puede disponer dentro del tubo de material plástico 120. En este caso, el fluido permite un contacto térmico adecuado con el tubo de material plástico 120 y, de esta manera, con el depósito, en donde en primer lugar se requiere, al menos, de una refrigeración pasiva del inductor. Por ejemplo, en el caso de una temperatura ambiente del depósito de, por ejemplo, 200 °C, se deben descargar las pérdidas óhmicas en el inductor de hasta alrededor de 20 W/m mediante conducción térmica, sin que la temperatura en el inductor exceda el valor crítico para el aislamiento de teflón de 250 °C.

35 Además, el sistema de acuerdo con la figura 12 ofrece la posibilidad de una refrigeración en sentido opuesto. Además, la cavidad central 97 se emplea para un sentido del fluido circulante, y el espacio anular 121 en el interior del tubo de material plástico 120 se emplea para el otro sentido del fluido circulante.

40 En la figura 13, respectivamente en una representación lineal, se registran sobre la abscisa la frecuencia en kHz, y sobre la ordenada la corriente de inducción en amperios. Se reproduce la dependencia de la corriente de inducción en relación con la frecuencia, en donde como parámetros se indican diferentes potencias caloríficas, es decir, para el gráfico 131 1 kW/m, para el gráfico 132 3 kW/m, para el gráfico 133 5 kW/m, y para el gráfico 134 10 kW/m.

45 Cada gráfico 131 a 134 presenta respectivamente una evolución aproximadamente hiperboloide. A partir de ello se deduce que la dependencia de la alimentación con corriente para la inducción en relación con la frecuencia, resulta más intensa con una potencia calorífica en ascenso, en tanto que se presuponen pérdidas de potencia constantes en el depósito. En este aspecto, mediante los gráficos 131 a 134 se pueden comprobar las corrientes o bien, las frecuencias necesarias para determinadas potencias caloríficas.

50 Los sistemas descritos en detalle mediante las figuras, con los conductores multifilamento compensados capacitivamente, permiten un calentamiento por inducción eficaz de las arenas petrolíferas o de otros yacimientos de petróleo pesado. Los cálculos y las comprobaciones han dado como resultado un calentamiento efectivo del depósito, con lo cual se reduce la viscosidad del betún combinado con arena o bien, del petróleo pesado y, de esta manera, se logra una fluidez suficiente de la materia prima que previamente presenta una alta viscosidad.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema para el calentamiento por inducción de yacimientos de arena petrolífera y de petróleo pesado, mediante conductores portadores de corriente que están conformados por grupos de conductores individuales, **caracterizado porque** los grupos de conductores se conforman en secciones que se repiten periódicamente de una longitud definida que definen una longitud de resonancia (R_L), y porque se acoplan capacitivamente dos o más grupos de conductores de esta clase, en donde se conforma una estructura de conducto multifilamento, multibanda y/o multicapas.
2. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** cada conductor se encuentra aislado individualmente y se compone de un único hilo.
- 10 3. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** cada conductor se compone de una pluralidad de hilos aislados que conforman un denominado "hilo de Litz de alta frecuencia".
4. Sistema de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado porque** se proporcionan dos grupos de 1000 a 5000 filamentos en cada caso, y se obtienen longitudes de resonancia (R_L) en el margen de alrededor de 20 a alrededor de 100 m.
- 15 5. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 ó 4, **caracterizado porque** un conductor multifilamento compensado capacitivamente se compone de conductores individuales transpuestos y/o entrelazados de manera tal que cada conductor individual dentro de la longitud de resonancia (R_L) se presente en cada radio del sistema con la misma frecuencia.
- 20 6. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 ó 4, **caracterizado porque** de manera similar a los conductores convencionales, un conductor multifilamento compensado se compone de una pluralidad de subgrupos de conductores que se encuentran dispuestos alrededor de un centro en común.
7. Sistema de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** cada subgrupo de conductores compensado se compone de hilos sólidos cableados o hilos de Litz de alta frecuencia.
- 25 8. Sistema de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** las secciones transversales de los subgrupos de conductores presentan una forma circular o hexagonal. (Figuras 9 a 12)
9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado porque** los subgrupos de conductores se conforman en forma de secciones.
- 30 10. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la zona central libre de conductores dentro de la sección transversal de un conductor multifilamento compensado, se emplea para el refuerzo mecánico y para el incremento de la resistencia a la tracción.
11. Sistema de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado porque** para el refuerzo se utilizan cables de fibras de material plástico o cables de fibras de vidrio, o cables de acero que se pueden introducir y/o retirar, al menos, de forma temporal.
- 35 12. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la zona central libre de conductores dentro de la sección transversal de un conductor multifilamento compensado, presenta medios para la refrigeración.
13. Sistema de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado porque** como medio para la refrigeración existe o bien, se introduce un fluido, particularmente agua o aceite.
- 40 14. Sistema de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado porque** en la zona central se disponen sensores de temperatura, particularmente sensores de fibra de vidrio o fibras de Bragg que se pueden utilizar para el monitoreo y/o el control de la alimentación con corriente y/o de la refrigeración del fluido.
15. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el inductor se encuentra introducido en un tubo de material plástico que presenta un diámetro interior mayor.
- 45 16. Sistema de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado porque** se proporciona un lubricante entre el tubo de material plástico y el inductor.

17. Sistema de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado porque** durante el funcionamiento se proporciona, entre el inductor y el tubo de material plástico, un fluido, por ejemplo agua, que presenta una conductividad eléctrica reducida y/o un fluido lubricante o un fluido aislante.

5 18. Sistema de acuerdo con la reivindicación 16, **caracterizado porque** se bombea un medio refrigerante en el espacio intermedio y/o en la zona central libre de conductores, particularmente en sentidos opuestos.

19. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** se proporciona una inductividad definida, así como una capacitancia por unidad de longitud definida del inductor, de manera que el sistema se pueda operar de manera compensada secuencialmente con una frecuencia predeterminada.

FIG 1

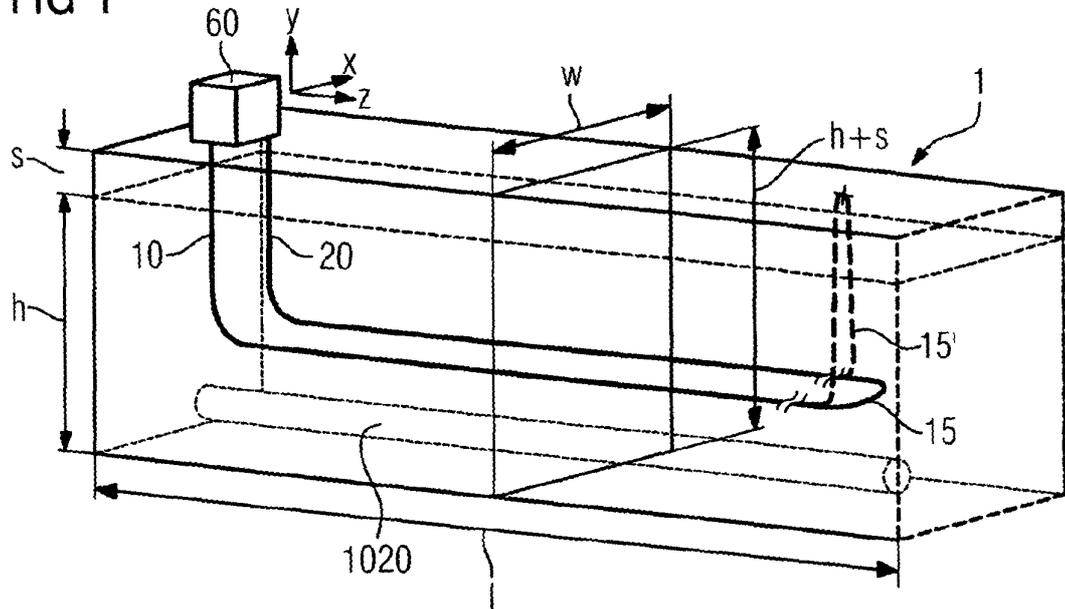


FIG 2

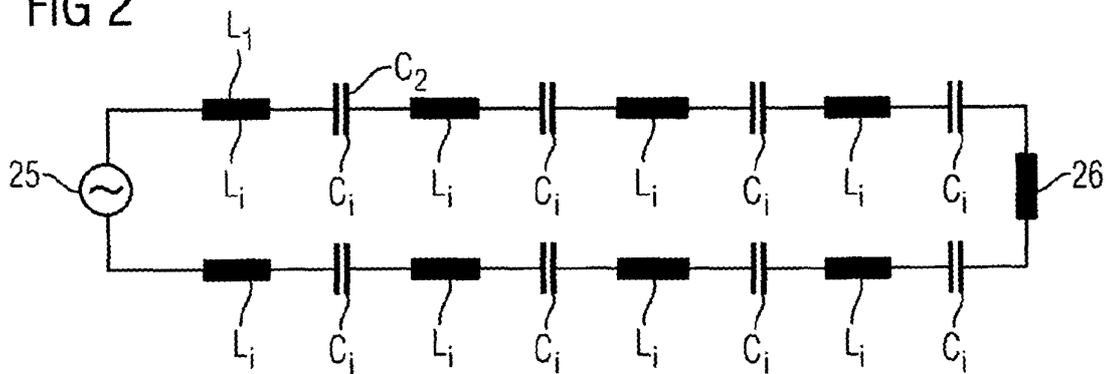


FIG 3

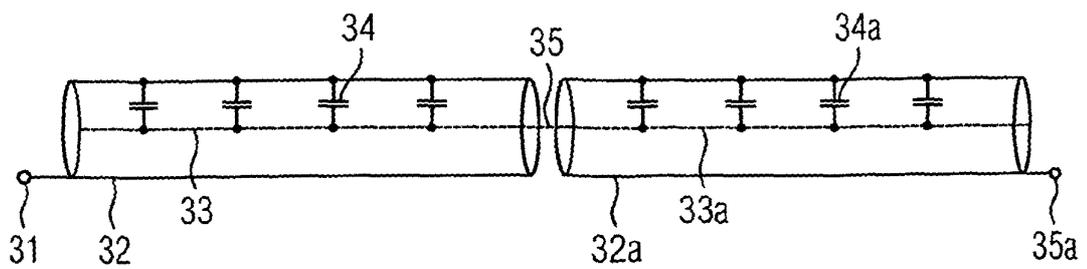


FIG 4

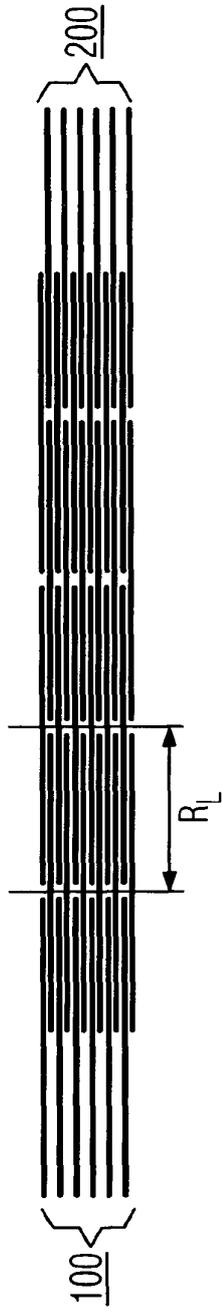
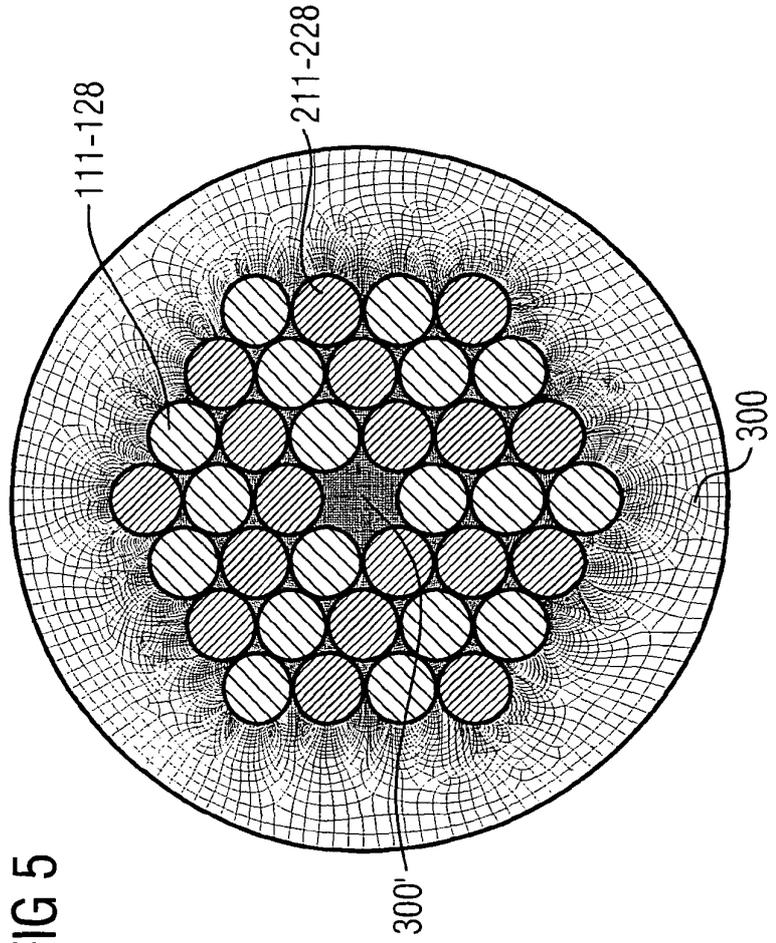


FIG 5



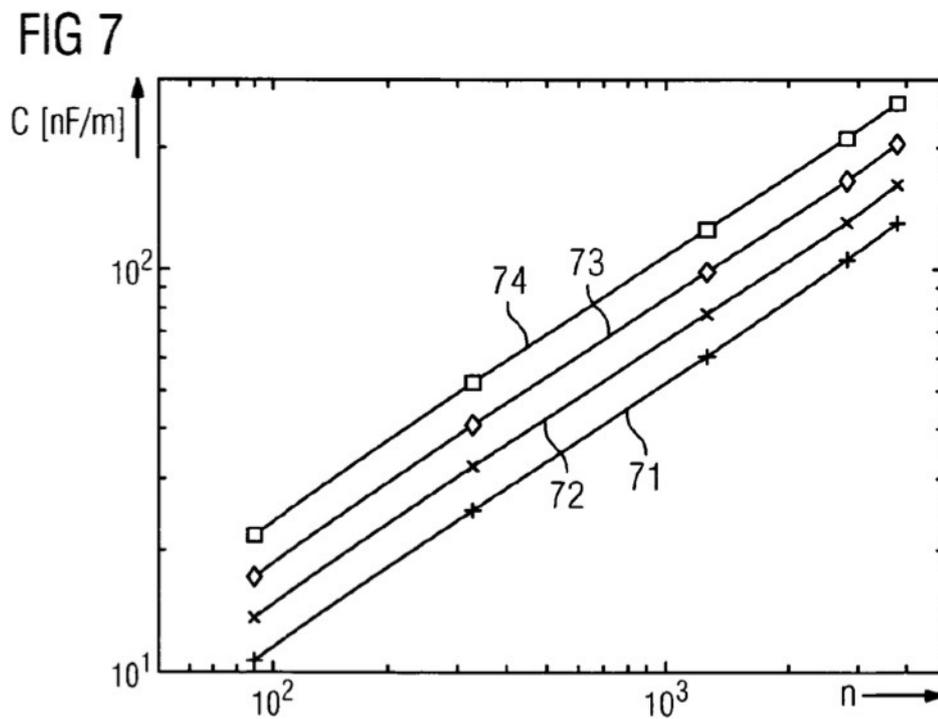
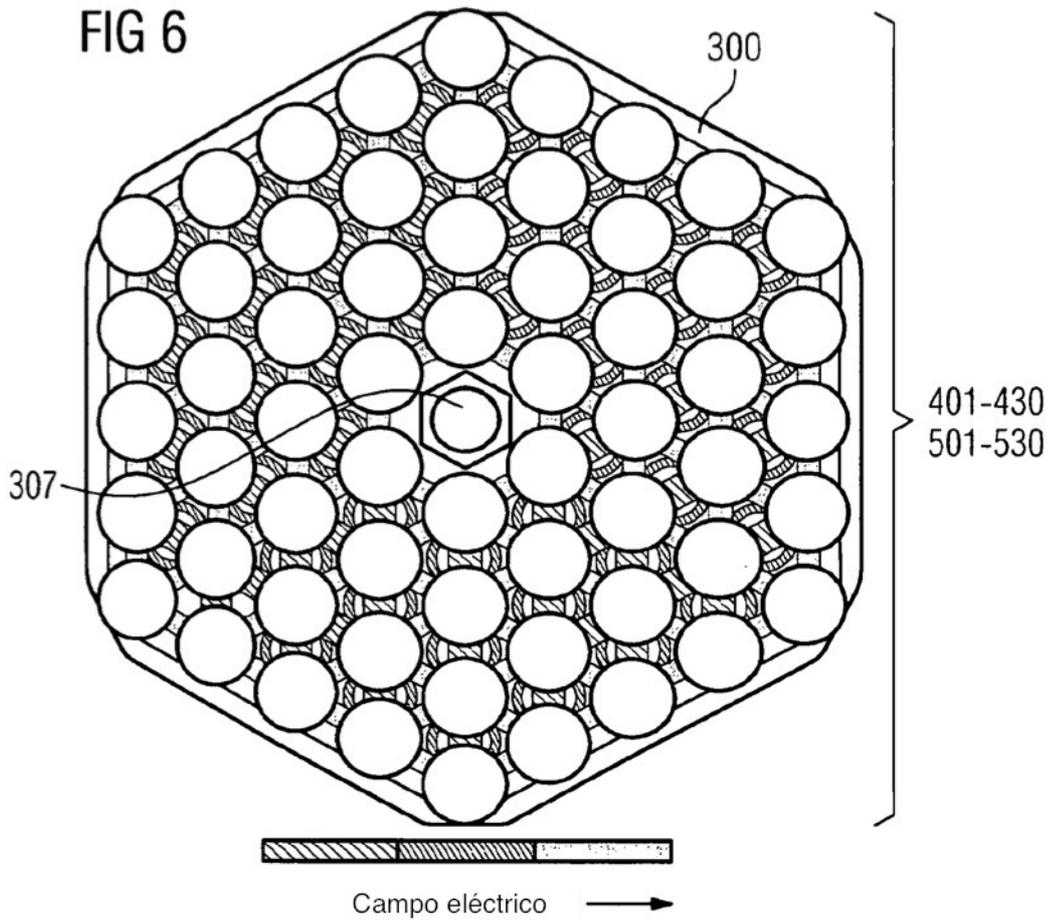


FIG 8

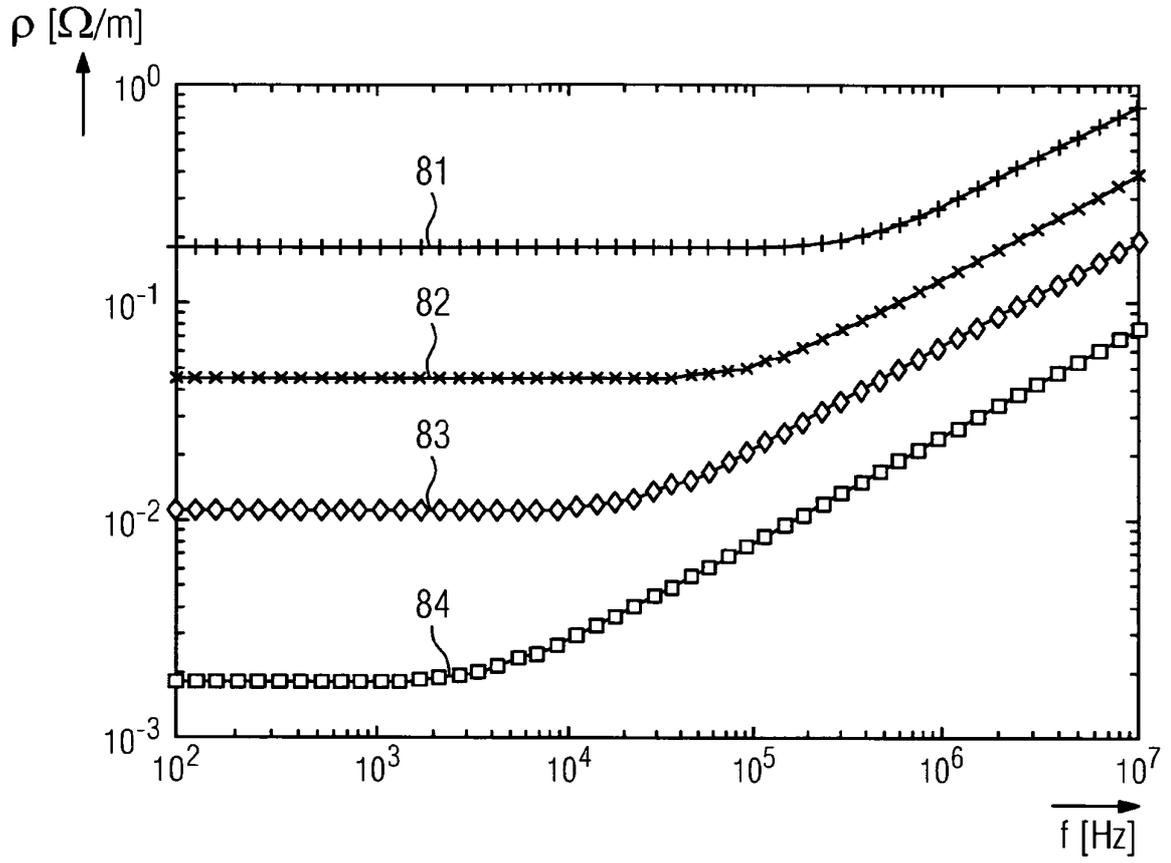


FIG 9

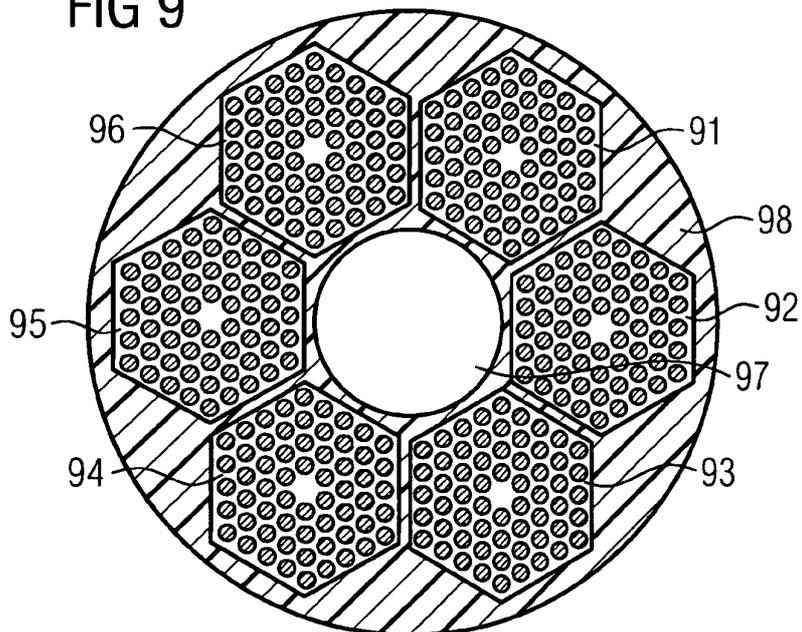


FIG 10

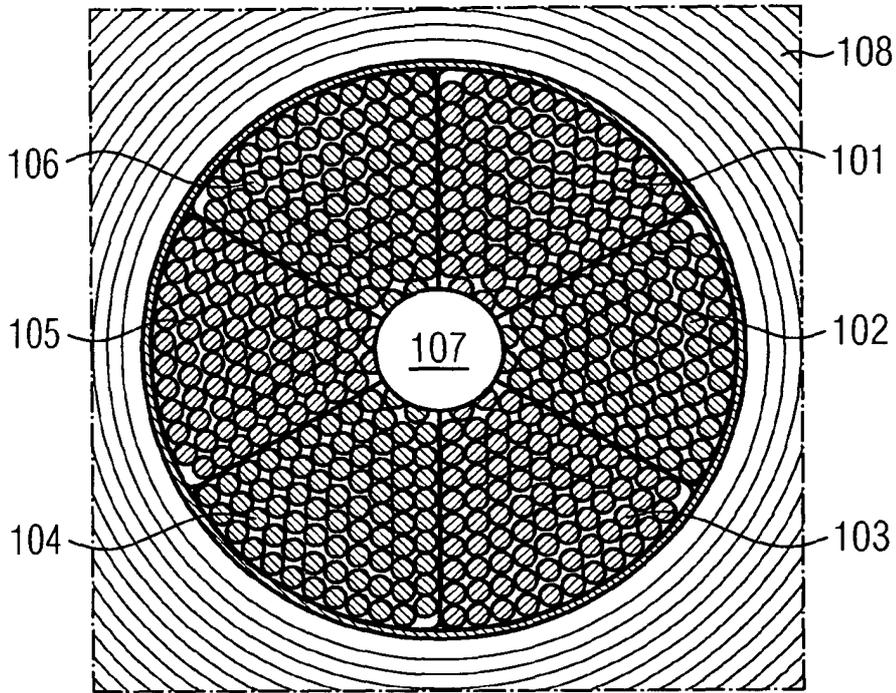


FIG 11

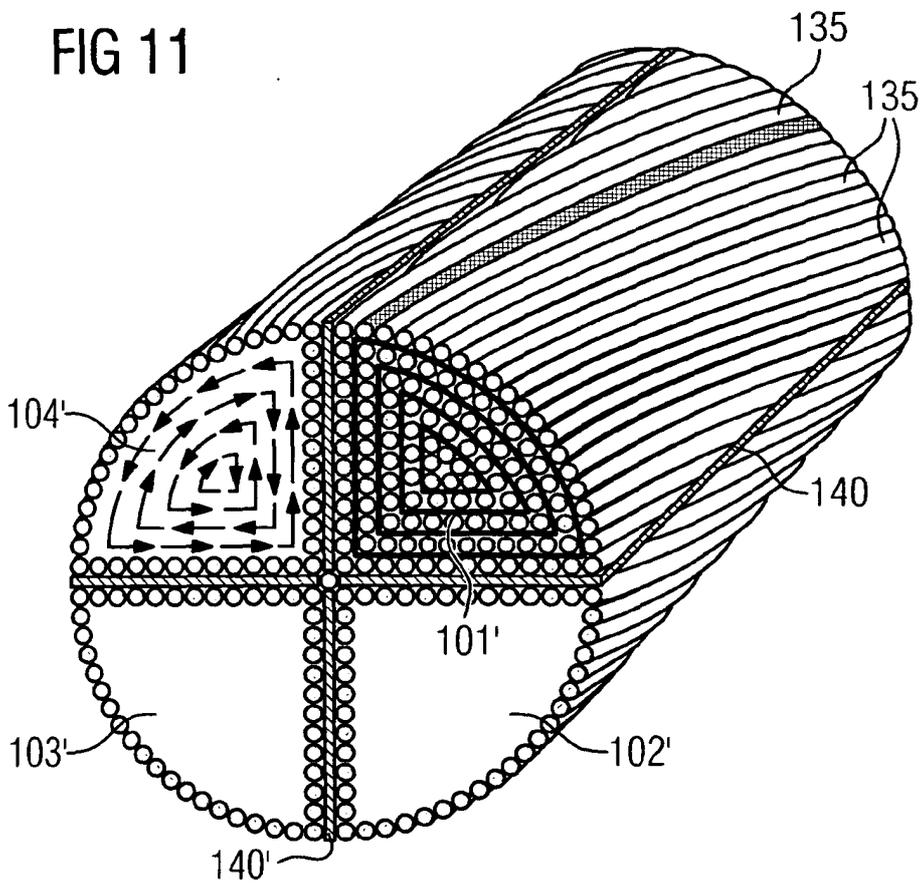


FIG 12

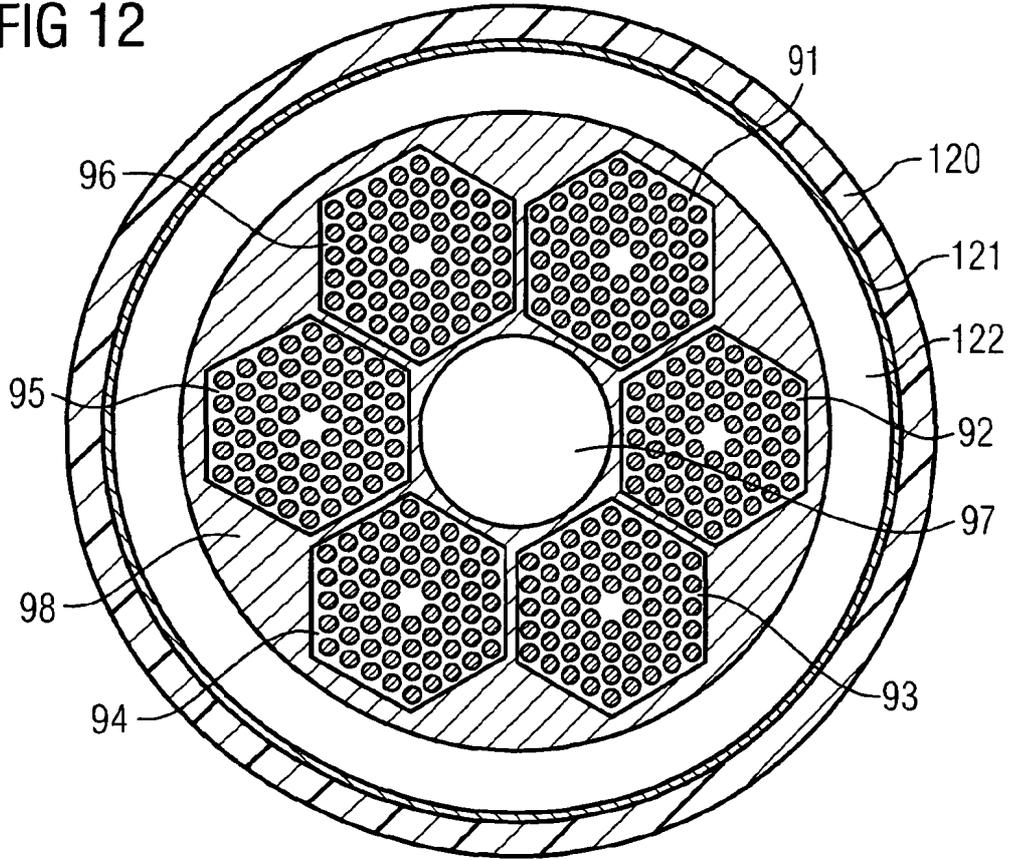


FIG 13

