

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 816 601**

51 Int. Cl.:

H02J 50/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.11.2015 PCT/IB2015/058555**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.05.2017 WO17077365**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.11.2015 E 15813101 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.06.2020 EP 3371873**

54 Título: **Método y dispositivo para obtener energía destinada a suministrar un aparato receptor desde un conductor atravesado por una corriente eléctrica alterna**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.04.2021

73 Titular/es:
**TIXON ENERGY S.R.L. (100.0%)
Via Spallanzani 15
20129 Milano, IT**

72 Inventor/es:
DONDOLINI, ALESSANDRO

74 Agente/Representante:
LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 816 601 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

Método y dispositivo para obtener energía destinada a suministrar un aparato receptor desde un conductor atravesado por una corriente eléctrica alterna

5

La presente invención se refiere a un método y un dispositivo para obtener una energía destinada a suministrar un aparato receptor desde un conductor atravesado por una corriente eléctrica alterna.

10

La siguiente descripción se refiere, como una realización preferida, a un método para extraer energía usada en una línea de transmisión de energía y a un dispositivo para obtener energía para un aparato receptor que está destinado a montarse sobre una estructura de soporte para una línea de transmisión de energía, en particular, por ejemplo, sobre una torre metálica de una red de distribución para electricidad de voltaje medio, alto o muy alto (MV, HV o HHV).

15

Sin embargo, debe entenderse que la invención es viable y aplicable a cualquier sistema en el que haya al menos un conductor atravesado por una corriente eléctrica alterna, sin ser limitativas las referencias a líneas de transmisión de energía.

20

En los últimos años, ha surgido la necesidad de obtener energía eléctrica para aparatos receptores de conductores atravesados por una corriente, en particular en relación con líneas de transmisión de energía.

25

De hecho, la necesidad de proporcionar redes de distribución de electricidad con un equipo de regulación y monitorización electrónico ha aumentado de manera significativa en los últimos años, debido tanto a requisitos de seguridad como a la necesidad de obtener parámetros eléctricos medidos dentro de la red (redes inteligentes). En general, el equipo de regulación mencionado anteriormente incluye un módulo de suministro de energía capaz de generar la energía eléctrica (en particular, la corriente eléctrica) requerida para alimentar el equipo de regulación.

30

Se describe un dispositivo conocido para obtener energía para suministrar un aparato receptor (a continuación en el presente documento denominado de manera más simple usando el término "módulo de suministro de energía") en la patente italiana IT 1 391 387.

35

Los documentos WO 2010/005324 y WO 99/26329 describen sistemas de transferencia de energía acoplados por inducción diseñados para funcionar en las proximidades de un campo magnético generado por un circuito primario controlado. El documento WO 2010/005324 incluye medios resistivos tales como transistores MOS usados en modo lineal para limitar la energía eléctrica a la carga, que están sujetos a disipación de energía desventajosa y, por tanto, ofrecen una baja eficiencia del sistema general. El documento WO 99/26329 incluye medios para limitar la energía para la saturación de un núcleo magnético inducido por el flujo de una corriente directa, que también están sujetos a disipación de energía y ofrecen una baja eficiencia general.

40

El objeto de la presente invención es proponer un método y un dispositivo para obtener la energía destinada a suministrar un aparato receptor de un conductor atravesado por una corriente eléctrica incontrolable, que hace posible aumentar y mejorar el control de la energía (o la corriente) generada y suministrada al aparato receptor, al tiempo que garantiza la protección de extracorrientes en el conductor sin disipación de la energía disponible, proporcionando alta eficiencia.

45

Este y otros objetos se consiguen por la presente invención usando un método según la reivindicación 1 y un dispositivo según la reivindicación 3.

50

Se contemplan realizaciones ventajosas y detalles de la presente invención en las reivindicaciones dependientes que son una parte integrada de la presente descripción.

55

Se exponen características y ventajas adicionales de la presente invención en la descripción detallada a continuación, proporcionadas meramente como un ejemplo no limitativo, con referencia particular a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una elevación delantera de una realización a modo de ejemplo de un módulo de suministro de energía según la presente invención montado sobre una torre metálica de una red de distribución;

60

- la figura 2 es una vista en perspectiva esquemática del módulo de suministro de energía en la figura 1;

- la figura 3 es un diagrama de circuito equivalente del módulo de suministro de energía;

65

- la figura 4a es un gráfico que muestra la tendencia en inducción mutua como una función de las dimensiones del núcleo;

- la figura 4b es un gráfico que muestra la tendencia en inducción propia del núcleo como una función de las dimensiones del núcleo;

5 - la figura 4c es un gráfico que muestra la tendencia en la razón entre inducción mutua e inducción propia del núcleo como una función de las dimensiones del núcleo;

- la figura 5 es un gráfico que muestra la energía generada como una función de la corriente primaria;

10 - la figura 6 es una vista delantera y lateral de una torre metálica equipada con un módulo de suministro de energía según la presente invención;

- la figura 7 es una sección transversal longitudinal de una variante del núcleo magnético;

15 - la figura 8 es una sección transversal de las placas del núcleo;

- la figura 9 es un diagrama de circuito completo de la unidad de conversión del módulo de suministro de energía; y

20 - las figuras 10 a 14 muestran detalles de partes del circuito en la figura 9.

En la siguiente descripción, todas las referencias realizadas a las líneas de transmisión de energía deberían considerarse como que son cualitativamente independientes de la forma de la torre metálica, el número de conductores (de circuito sencillo o doble) y el voltaje del electrodo.

25 El método y el dispositivo (o módulo de suministro de energía) según la presente invención se describen de manera progresiva con referencia a la estructura de una línea de transmisión de energía, pero también son aplicables a conductores individuales atravesados por una corriente eléctrica alterna.

30 En la figura 1, el signo de referencia 10 indica una realización a modo de ejemplo del módulo de suministro de energía según la presente invención. El módulo de suministro de energía 10 se monta sobre una estructura de soporte (tal como una torre metálica 12) de una línea de transmisión de energía de 380 kV de circuito sencillo, que no se ilustra en su conjunto.

35 La figura 1 muestra solo la parte de la torre metálica 12 situada en un lado del eje de simetría X-X de la misma. La torre metálica 12 lleva un cable conductor aéreo central 14 y cables conductores aéreos laterales primero y segundo 16a, 16b, de los que solo se muestra el primero en las figuras. Los cables conductores 14, 16a y 16b forman de manera ventajosa un sistema de distribución de electricidad trifásico. La torre metálica 12 también se conecta a al menos un cable de protección aéreo 18.

40 La figura 2 es una vista en perspectiva esquemática del módulo de suministro de energía en la figura 1. El módulo de suministro de energía 10 incluye un núcleo magnético 20 de longitud h y diámetro d que incluye preferiblemente un conjunto de barras ferromagnéticas que es capaz de transportar una parte del flujo de campo magnético inducido por los cables conductores 14, 16a y 16b. Por motivos de simplicidad y claridad, la figura 2 muestra solo el cable conductor central 14.

El núcleo 20 puede situarse lejos de los conductores 14, 16a y 16b, o separarse de los mismos por una distancia predeterminada, preferiblemente igual a 1 cm por kV de voltaje en los conductores 14, 16a y 16b (en el aire).

50 El módulo de suministro de energía 10 incluye un solenoide conductor 22 que tiene preferiblemente N espiras de cobre y bobinado alrededor del núcleo magnético 20. El solenoide conductor 22 se conecta a una unidad de conversión 24, descrita en detalle a continuación, que se adapta para convertir la parte del flujo de campo magnético transportada por los conductores 14, 16a, 16b, por el núcleo magnético 20 y por el solenoide 22 en energía (o corriente) eléctrica de salida destinada a alimentar un aparato receptor 26, tal como se describe en detalle a continuación.

60 En consecuencia, el núcleo magnético 20 y el solenoide conductor 22 funcionan como medios de conversión que transforman una parte del flujo de campo magnético inducida por los conductores aéreos 14, 16a, 16b en electricidad de salida para alimentar el aparato receptor 26, sin que haya ningún contacto eléctrico con los conductores 14, 16a y 16b de la línea de transmisión de energía.

65 Debe observarse que la distancia entre el núcleo 20 y dichos conductores (hasta 5 m), la forma lineal del propio núcleo (con un circuito magnético abierto) y la imposibilidad de controlar el flujo de corriente en los conductores hace que el presente sistema de captura sea absolutamente único en la captación de energía magnética de cables energizados, funcionando a distancias completamente seguras.

ES 2 816 601 T3

A continuación, se proporciona una descripción de los principios físicos en los que se basa el funcionamiento del módulo de suministro de energía 10 según la presente invención.

5 Por motivos de simplicidad y claridad, las consideraciones expuestas a continuación hacen referencia a un sistema que incluye el módulo de suministro de energía 10 y el conductor central sencillo 14.

10 El cable conductor central 14 que lleva una corriente alterna representa, por tanto, una fuente de campo magnético también denominada el circuito primario. El núcleo magnético 20 en el que se dispone el solenoide 22 capta el campo magnético generado por el circuito primario. Este solenoide 22 también se denomina el circuito o bobinado secundario.

El circuito secundario alimenta el aparato receptor 26 y el módulo de suministro de energía 10 debe dimensionarse para transferir la energía real máxima.

15 Una barra de material magnético (el núcleo magnético 20) en la que se bobina un bobinado (el solenoide 22) y que se sumerge en un campo magnético generado por un conductor monofásico rectilíneo tal como el conductor central 14 (para el que se supone de una manera conocida que las líneas de corriente se extienden hasta el infinito) situado en un plano perpendicular a la propia barra se ve afectada por dos flujos magnéticos, un flujo primario ϕ_{PS} y un flujo secundario ϕ_S .

20 El flujo primario ϕ_{PS} , generado por una corriente primaria I_P que fluye a través del conductor central 14, conecta con las N espiras del bobinado secundario 22 que da como resultado un flujo de bobinado primario ϕ_P igual a:

$$\phi_P = N * \phi_{PS} \quad (1)$$

25 El flujo secundario ϕ_{SS} , generado por el flujo de corriente a través del solenoide 22, conecta con las N espiras del bobinado secundario 22 que da como resultado un flujo de bobinado secundario ϕ_S igual a:

$$\phi_S = N * \phi_{SS} \quad (2)$$

30 El flujo de bobinado primario ϕ_P , generado por la corriente primaria I_P que fluye desde el conductor central 14 y que se conecta con el núcleo magnético 20, es igual a:

$$\phi_P = M * I_P \quad (3)$$

35 donde M es el coeficiente de inductancia mutuo entre el conductor central 14 y el bobinado secundario 22.

Este flujo de bobinado primario ϕ_P genera un voltaje en circuito abierto V_0 en las N espiras del bobinado secundario 22 igual a:

$$V_0 = \omega * \phi_P = \omega * M * I_P \quad (4)$$

40 donde ω es la frecuencia angular.

45 La figura 3 muestra un diagrama de circuito equivalente del núcleo magnético 20, de la unidad de conversión 24 y del aparato receptor 26.

50 Este circuito incluye un generador de voltaje equivalente 28 de valor $\omega * M * I_P$ que representa el voltaje en circuito abierto V_0 , una inductancia 30 del valor L enlazada de una manera conocida al flujo de bobinado secundario ϕ_S , una resistencia interior 32 del valor R_i que representa las pérdidas totales del núcleo 20 y del solenoide 22, una capacidad 34 del valor C que representa la unidad de conversión 24 y una impedancia de carga 36 del valor R_c que representa el aparato receptor 26.

55 Volviendo a la descripción de los principios físicos en los que se basa el funcionamiento del módulo de suministro de energía 10, no deben tenerse en cuenta temporalmente ni las pérdidas en el material magnético del núcleo 20 ni las pérdidas causadas por el bobinado secundario 22 de una manera conocida por sí misma.

60 Esto significa que la resistencia interior 32 tiene un valor de cero y las N espiras están cerradas en un circuito que comprende solo la impedancia de carga 36 y la capacidad 34, que está en perfecta resonancia con la inductancia 30. En esta hipótesis, el voltaje en circuito abierto V_0 genera una corriente secundaria I_S en el solenoide 22 igual a:

$$I_S = \frac{V_0}{R_C} = \frac{\omega * M * I_P}{R_C} \quad (5)$$

Esta corriente genera el flujo de bobinado secundario ϕ_S que se acopla estrechamente al núcleo magnético 20.

- 5 La presencia del flujo de bobinado primario ϕ_P y el flujo de bobinado secundario ϕ_S genera respectivamente una inducción primaria B_P y una inducción secundaria B_S igual a:

$$B_P = \frac{M * I_P}{S * N} \quad (6)$$

10
$$B_S = \frac{L * I_S}{S * N} \quad (7)$$

donde S es la sección del núcleo y L es la inductancia del circuito equivalente.

- 15 La imantación total B_g del núcleo magnético 20 se proporciona por el vector resultante de las dos inducciones:

$$\vec{B}_g = \vec{B}_P + \vec{B}_S \quad (8)$$

En condiciones de resonancia perfecta, las corrientes I_P e I_S están en cuadratura de fase entre sí, al igual que los vectores B_P y B_S .

- 20 Los gráficos en las figuras 4a, 4b y 4c se usan para analizar los valores (módulo) de B_P y B_S . Estos gráficos son el resultado de cálculos realizados por el inventor teniendo en cuenta, para los fines de dichos cálculos, una barra metálica situada a 4 metros de un conductor, que tiene una permeabilidad magnética relativa μ_r de 10^5 , 500 espiras en el bobinado secundario, y con diferentes longitudes h y diámetros d de barra. Los gráficos en las figuras 4a a 4c pueden usarse para obtener los valores de M, L y $\theta = M/L$.

Por ejemplo, con una barra de longitud h igual a 4 m y de diámetro igual a 5 cm, el valor de θ es de aproximadamente 0,0002.

- 30 Si existe una corriente secundaria I_S igual a la corriente primaria I_P , la razón B_P/B_S coincide con el valor de θ , es decir, 0,0002.

Esto significa que basta con tener una corriente secundaria I_S igual a 1 A para obtener una inducción equivalente a la generada por una corriente primaria I_P de 5 000 A.

- 35 En condiciones de funcionamiento de una línea de transmisión de energía, la corriente primaria I_P normalmente permanece por debajo de 1 500 A, por lo que la imantación del núcleo magnético 20 se debe principalmente a la corriente secundaria I_S (y, por tanto, a la inducción secundaria B_S).

- 40 La energía promedio P_g generada por el conductor 14, por el núcleo 20 y por el solenoide 22 sobre la impedancia de carga R_C se proporciona a través de la siguiente fórmula:

$$P_g = \frac{\omega * I_P * B_S * N * S * M}{L} \quad (9)$$

- 45 Dado que $\theta = M/L$, puede escribirse:

$$P_g = \omega * I_P * B_S * N * S * \theta \quad (10)$$

Suponiendo que $\Delta = N * S * \theta$ da:

50
$$P_g = \omega * I_P * B_S * \Delta \quad (11)$$

El gráfico en la figura 4c muestra que θ es proporcional a la longitud del núcleo magnético 20 e independiente de S. Además, se sabe que θ es inversamente proporcional al número de espiras N.

Otros cálculos similares a los descritos anteriormente (los gráficos resultantes que no se han mostrado) llevados a cabo por el inventor demostraron que θ también es independiente de la permeabilidad magnética relativa μ_r de la barra, en el caso de permeabilidad μ_r mayor que 30 000.

5

Las expresiones expuestas anteriormente muestran que el factor Δ es proporcional a la longitud del núcleo magnético 20 y a S al tiempo que no varía en relación con N y μ_r .

10

Esto muestra que la energía generada P_g está directamente influida por el volumen del núcleo magnético 20, al tiempo que es independiente de N y de μ_r (para $\mu_r > 30\,000$).

15

Analizar la expresión (9) revela que la energía generada P_g , siendo iguales todas las otras condiciones tales como la frecuencia de red, el material del núcleo 20, el valor de la corriente primaria I_P etc., depende del volumen del núcleo 20. Esto significa que pueden hacerse núcleos con diferentes pesos como una función de la energía que va a suministrarse. Preferiblemente, el núcleo 20 debería pesar menos de 100 kg.

Aumentar la corriente primaria I_P aumenta el voltaje en circuito abierto V_0 y, en consecuencia, también la corriente secundaria I_S (y, por tanto, la inducción secundaria B_S).

20

Si no se imponen límites (funcionamiento de *variación libre*), variar la corriente primaria I_P provoca que la energía generada P_g aumente según la ley cuadrática:

$$P_g = \frac{(\omega * M * I_P)^2}{R_C} \quad (12)$$

25

Este funcionamiento de *variación libre* de la imantación termina cuando el voltaje en circuito abierto V_0 induce una corriente secundaria I_S que provoca una inducción de saturación secundaria B_{SS} sobre el núcleo magnético 20 igual al valor de saturación del material del núcleo magnético 20. Esto se produce para una corriente de saturación secundaria I_{SS} igual a:

30

$$I_{SS} = \frac{S * N * B_{SS}}{L} \quad (13)$$

Esta corriente de saturación secundaria I_{SS} se produce en una corriente de saturación primaria I_{PS} igual a:

35

$$I_{PS} = \frac{S * N * R_C * B_{SS}}{L * M * \omega} \quad (14)$$

Cuando se ha alcanzado este valor de saturación, el material del núcleo magnético 20 se satura y reducir su permeabilidad magnética ya no conecta el flujo primario Φ_P anulando el voltaje inducido V_0 , la inductancia mutua M tiende a cero y, por tanto, la energía generada P_g se reduce rápidamente a cero.

40

La figura 5 es un gráfico que muestra la energía generada P_g como una función de la corriente primaria I_P .

Una primera curva A muestra la tendencia en la región de fluctuación libre. La curva A se da por la unión de dos tubuladuras A' y A''.

45

Una solución al problema de poner a cero la energía generada P_g , según la presente invención, implica actuar sobre la impedancia de carga 36 cuando la corriente secundaria I_S se aproxima a la corriente de saturación secundaria I_{SS} para provocar que la corriente secundaria I_S se detenga en un valor de corriente impuesto I_{SS1} por debajo de la corriente de saturación secundaria I_{SS} por una cantidad predeterminada, por ejemplo, alrededor del 1%. Esta corriente impuesta I_{SS1} debería mantenerse constante en este momento cuando la corriente primaria I_P aumenta (funcionamiento de *imantación impuesta*).

50

La curva B en la figura 5 representa esta condición. La curva B se da por la unión de dos tubuladuras A' y B'.

55

El núcleo magnético 20 está entonces en un estado de imantación no saturado y el voltaje en circuito abierto V_0 puede aumentar a medida que la corriente primaria I_P aumenta, provocando que la energía generada aumente linealmente:

$$P_g = V_0 * I_{SS1} = \omega * M * I_P * I_{SS1} \quad (15)$$

La energía generada P_g aumenta linealmente hasta la inducción primaria B_P inducida por la corriente primaria I_P , añadida de manera vectorial a la segunda inducción B_S , lleva al núcleo magnético 20 a la saturación.

5 Para asegurar que el núcleo magnético 20 alcanza la saturación, la corriente primaria I_P todavía necesita alcanzar valores de varios miles de amperios, provocando de ese modo que el voltaje en circuito abierto V_0 alcance valores que pueden dañar la unidad de conversión 24.

10 Para evitar que se produzca este problema, la imantación del núcleo magnético 20 necesita volver a controlarse.

15 La unidad de conversión 24 (figura 2), tal como se describe en mayor detalle a continuación, está equipada con un sensor de voltaje que, cuando detecta que el voltaje aplicado al aparato receptor 26 (es decir, el voltaje de entrada del convertidor descrito a continuación) alcanza un valor límite (preferiblemente el valor máximo del voltaje permitido por los componentes electrónicos o por la disipación térmica del sistema) permite el flujo de una corriente secundaria I_S mayor que la corriente impuesta I_{SS1} . Esto provoca que se sature el núcleo magnético 20 y se reduzca el voltaje aplicado al aparato receptor 26 y, en consecuencia, la energía generada P_g (funcionamiento de *saturación forzada*).

20 La curva C en la figura 5 representa esta condición. La curva C se da por la unión de las tubuladuras A', B' y C'.

25 Este funcionamiento también es útil en casos donde es necesario limitar la energía que va a transferirse al aparato receptor 26 y para proteger la unidad de conversión 24 de sobrecorrientes (por ejemplo, cortocircuitos de línea).

30 La descripción anterior de los principios físicos en los que se basa el funcionamiento del módulo de suministro de energía 10 solo tiene en cuenta la energía P_g transferida al núcleo magnético 20 por el flujo de corriente a través del cable central 14.

35 En cambio, teniendo en cuenta que las corrientes fluyen en los tres cables 14, 16a y 16b, la energía transferida al núcleo 20 varía como una función de la posición relativa del núcleo 20 en relación con los cables. Para aumentar la energía transferida al núcleo 20 en comparación con el caso expuesto anteriormente, el núcleo 20 (y, por tanto, el módulo de suministro de energía 10) se sitúa en un punto de la torre metálica 12 de manera que uno de los cables 14, 16a y 16b se sitúa a la derecha del núcleo 10 y los otros dos cables se sitúan a la izquierda del núcleo 20.

40 De esta manera, el flujo magnético producido por el cable situado a la derecha del núcleo 20 se añade al vector resultante del flujo magnético producido por los cables situados a la izquierda del núcleo 20.

La figura 6 se considera a continuación a modo de ejemplo, mostrando dos vistas de la torre metálica 12 (en este caso una torre metálica de 150 kV) en la que se sitúa el módulo de suministro de energía 10.

45 La figura 6a muestra la torre metálica 12 desde la parte delantera (es decir, los cables conductores 38, 40 y 42 - que corresponden con los cables 14, 16a y 16b de la torre metálica de 380 kV en la figura 1 - son perpendiculares al plano de la figura).

50 La figura 6b muestra la torre metálica 12 desde el lado (es decir, los cables conductores 38, 40 y 42 - que corresponden con los cables 14, 16a y 16b de la torre metálica de 380 kV en la figura 1 - son paralelos al plano de la figura).

55 La colocación del núcleo 20 en relación con los tres cables conductores 38, 40 y 42, tal como se muestra en la figura 6, da como resultado un aumento de aproximadamente un 60% de la energía generada P_g en comparación con el caso en el que solo existe un conductor 40.

60 La figura 6b también muestra dispositivos de suspensión y sujeción 44 para soportar el módulo de suministro de energía 10. Estos dispositivos de suspensión y sujeción 44 pueden hacerse de material magnético o no magnético. Todas las consideraciones expuestas hasta ahora (y a continuación) se aplican al uso de dispositivos de suspensión y sujeción no magnética 44 que aíslan de manera magnética el módulo de suministro de energía 10 de la torre metálica 12. Las consideraciones mencionadas anteriormente también son válidas si se usan dispositivos de suspensión y sujeción magnética 44. En este caso, tanto el dispositivo de sujeción 44 como la torre metálica 12 deberían considerarse como que forman parte parcialmente del módulo de suministro de energía 10 (en particular, parte del núcleo 20).

65 En una variante de la presente invención, para aumentar la energía generada P_g , se usa un núcleo tubular 20 con una sección de pared S que disminuye de manera progresiva y simétrica (desde el centro del núcleo 20

hacia los extremos), de manera que la inducción secundaria B_s es constante a lo largo del eje longitudinal completo del núcleo.

5 Esto proporciona núcleos que suministran una energía generada P_g que es mayor para el mismo peso de núcleo o la misma energía generada P_g con núcleos más ligeros.

La figura 7 es una sección transversal longitudinal del núcleo 20 según esta variante.

10 Tal como se mencionó anteriormente, la descripción dada anteriormente de los principios físicos en los que se basa el funcionamiento del módulo de suministro de energía 10 no tiene en cuenta ni las pérdidas en el material magnético del núcleo 20 ni las provocadas por el bobinado secundario 22.

15 Teniendo en cuenta tales pérdidas (y, por tanto, con referencia a la figura 3, una resistencia interior 32 igual a R_i mayor que cero), puede observarse que la energía real suministrada a la carga P_U es igual a:

$$P_U = P_g - P_P \quad (16)$$

en la que P_g es la energía generada y P_P es la energía perdida.

20 Esta energía perdida P_P se da por la suma de pérdidas de histéresis y pérdidas por corrientes parásitas en el núcleo 20 y a través de la disipación en el metal del bobinado secundario 22.

25 El análisis del funcionamiento del módulo de suministro de energía 10 en el funcionamiento de imantación impuesta muestra que las pérdidas en el metal del bobinado secundario 22 están vinculadas a la corriente impuesta I_{ss1} y, como tal, son constantes.

De manera similar, las pérdidas en el núcleo 20, provocadas por histéresis o corrientes parásitas, son una función de la inducción secundaria B_s , que a su vez depende de la corriente impuesta I_{ss1} .

30 Dado que la corriente impuesta I_{ss1} es constante, la inducción secundaria B_s también constante y, en consecuencia, las pérdidas en el núcleo 20 también son constantes.

35 Lo anterior lleva a la conclusión de que, en el funcionamiento de imantación impuesta, siendo la energía perdida P_P constante, la eficiencia del módulo de suministro de energía 10 aumenta a medida que la corriente primaria I_P y, por tanto, la energía generada P_g aumenta.

Con el fin de minimizar la energía perdida P_P , y en particular para reducir los componentes de histéresis y corriente parásita del núcleo 20, se usan las siguientes soluciones:

40 - hacer el núcleo 20 de materiales magnéticos de lámina fina amorfos o de nanocristal con grosores preferiblemente por debajo de 30 μm , anchuras preferiblemente por debajo de 2 cm y pérdidas por kg preferiblemente por debajo de 0,1 W;

45 - diseñar el núcleo 20 con una sección hueca (véase la figura 8), obtenida mediante la colocación de láminas de material magnético a lo largo del eje vertical del núcleo y la disposición de las mismas transversalmente en relación con el componente radial del flujo (tal como para presentar el área de superficie mínima posible al flujo):

- diseñar el núcleo con una forma alargada.

50 Las figuras 4a y 4b, así como las expresiones 4 y 9, llevan a la conclusión de que, con el fin de conseguir un voltaje en circuito abierto alto V_0 y, por tanto, pérdidas bajas, es necesario tener una razón alta entre la longitud del núcleo y el diámetro del núcleo (preferiblemente mayor que 20).

55 Para conseguir una alta capacidad de almacenamiento de energía al tiempo que se mantiene simultáneamente la corriente entregable al aparato receptor 26 a niveles de varios amperios (para permitir que se usen componentes electrónicos convencionales dentro de la unidad de conversión 24), el núcleo magnético 20 necesita tener una inductancia preferiblemente igual a 2 henrios.

60 Esta alta inductancia tiene que anularse para permitir una correcta coincidencia de impedancia meramente resistiva (es decir, el aparato receptor 26 se muestra por la impedancia de carga pura 36).

65 Las variaciones geométricas y de parámetros tanto en el núcleo magnético 20 como en los dispositivos de suspensión y sujeción 44 requieren la integración, dentro de la unidad de conversión 24 y tal como se describe mejor a continuación, de un dispositivo de monitorización (el circuito de mando y control descrito a continuación) para controlar la transferencia de energía. Este control se realiza como una función de la corriente suministrada

al aparato receptor 26.

La unidad de conversión 24 se describe a continuación en mayor detalle con referencia a las figuras 9 y siguientes.

5

La figura 9 muestra un diagrama de circuito de la unidad de conversión 24 del módulo de suministro de energía 10 según la presente invención.

10

Tal como se muestra en dicha figura, además de la unidad de conversión 24, existe el núcleo magnético 20 y el aparato receptor 26.

15

La unidad de conversión 24 es un circuito que incluye un bloque de capacidad variable 46, un módulo de protección de sobrevoltaje 48, un convertidor estático 50, una capacidad de filtrado 52, un convertidor de CC/CC 54, un medidor de voltaje del acumulador 56, un acumulador 58 y un circuito de mando y control 60.

20

A continuación, se describen diferentes partes del circuito en la figura 9 con referencia a las figuras 10 y siguientes, empezando por una versión simplificada de dichas partes y añadiendo de manera progresiva los diferentes elementos requeridos para llegar a la configuración final mostrada en la figura 9. El funcionamiento de dichas partes también se describe, con el fin de definir cómo funciona la unidad de conversión 24 en su conjunto.

La figura 10 muestra una primera parte del circuito en la figura 9.

25

Tal como se comentó anteriormente, el núcleo magnético 20 tiene una parte reactiva inductora que debe anularse por una reactancia capacitiva de la unidad de conversión 24 de modo que la impedancia total del circuito solo se representa por la resistencia de pérdida de los diversos componentes. Con este fin, el bloque de capacidad variable 46 (descrito en mayor detalle a continuación) está presente y conectado al solenoide 22 por una primera tubuladura de conexión 150.

30

La presencia de la corriente primaria I_P en el conductor central 14 (no mostrado en la figura) produce, tal como se comentó anteriormente, la corriente secundaria I_S , que es un flujo de corriente alterna a través de la primera tubuladura de conexión 150.

35

Un voltaje alterno V_{ac} se asocia con la corriente secundaria I_S .

El bloque de capacidad variable 46 se conecta, mediante la primera tubuladura de conexión 150, al convertidor estático 50, que está conectado a su vez al solenoide 22 mediante una segunda tubuladura de conexión 152.

40

La energía presente en los terminales del convertidor estático 50 que se produce por el conductor 14, por el núcleo magnético 20 y por el solenoide 22 (la energía generada P_g comentada anteriormente) aumenta hasta que la corriente secundaria I_S alcanza la corriente de saturación secundaria I_{SS} y, entonces, si la corriente secundaria I_S aumenta más, esta energía P_g cae prácticamente a cero.

45

La energía generada P_g en la entrada del convertidor estático 50 se da por:

$$P_g = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} V_{ac} * I_S \quad (17)$$

y se transforma por el convertidor estático 50 (y por el convertidor 54, tal como se describe en mayor detalle a continuación), menos las pérdidas de corrección y transformación, en una energía de salida suministrada:

$$P_U = V_{dc} * I_{dc} \quad (18)$$

50

donde V_{dc} es un voltaje directo presente en los terminales del aparato receptor 26 (o, tal como se describe en mayor detalle a continuación, presente en la entrada del convertidor de CC/CC 54 y procesado tal como se ilustra a continuación) e I_{dc} es un flujo de corriente directa a través de una tercera tubuladura de conexión 154 que une el convertidor estático 50 al aparato receptor 26.

55

Dado que la corriente secundaria I_S es sinusoidal, el valor medio cuadrático de la misma coincide con el valor de la corriente directa I_{dc} , y como tal controlar esta última hace posible controlar la corriente secundaria I_S .

60

La capacidad de filtrado 52, dispuesta en paralelo con el convertidor estático 50, se usa para reducir la ondulación residual en el voltaje emitido al convertidor estático 50.

La figura 11 muestra la misma parte del circuito en la figura 10, con algunos componentes añadidos, en particular el convertidor de CC/CC 54 y el acumulador 58.

La corriente directa I_{dc} entra en el convertidor 54 antes de alcanzar el aparato receptor 26. El convertidor 54 incluye un transductor de corriente 62 diseñado para recibir la corriente directa I_{dc} y para convertirla en un voltaje de comparación V_{Idc} .

5 Como una alternativa a lo anterior, la corriente secundaria I_s se convierte directamente en el voltaje de comparación V_{Idc} por un transductor conocido o se controla por un transductor de campo magnético conocido colocado en el núcleo magnético 20 y que genera un voltaje de comparación V_{Bdc} que coincide con V_{Idc} .

10 El voltaje de comparación V_{Idc} se compara, por un amplificador de error 64, con un voltaje de referencia V_{ref} , produciendo dicho amplificador de error 64 una corriente de comparación I_{ref} que se introduce en un módulo PWM 66. Dicho módulo PWM 66 se conecta, de una manera conocida, en un bucle de realimentación con el amplificador de error 64 y es capaz de producir una corriente de salida I_{dc1} . El módulo PWM 66 mantiene, por tanto, la corriente de salida I_{dc1} constante debido al bucle de realimentación con el amplificador 64.

15 Variando el voltaje de referencia V_{ref} de una manera conocida, es posible definir el nivel de la corriente de salida I_{dc1} al que se obtendrá la energía del núcleo magnético 20.

20 El convertidor 54 transforma la energía obtenida del núcleo magnético 20 en energía que va a almacenarse en el acumulador 58. El convertidor 54 usa, por tanto, como entrada una corriente constante (la corriente directa I_{dc}) y un voltaje variable (el voltaje directo V_{dc}) que dependen de la energía disponible del núcleo magnético 20 y transforma dicha energía, menos la eficiencia, en un voltaje constante impuesto sobre el acumulador 58 y una corriente variable I_{dc1} suministrada al aparato receptor 26.

25 La figura 12 muestra una parte del circuito en la figura 11, en el que se han añadido componentes al convertidor 54.

En la columna no inversora del amplificador 64 se colocan una primera resistencia de división $R1$ en serie con una segunda resistencia de división $R2$, estando dispuestas dichas resistencias $R1$ y $R2$ en paralelo con la capacidad de filtrado 52 y un primer diodo Zener 68 dispuesto en paralelo con la segunda resistencia de división $R2$. El voltaje de referencia V_{ref} se obtiene aplicando el voltaje directo V_{dc} , en los terminales de la capacidad de filtrado 52, al divisor del convertidor 54.

30 Variando la razón de división:

35

$$R = \frac{R2}{R1+R2} \quad (19)$$

es posible controlar el valor de resistencia del convertidor 54.

40 En funcionamiento lineal, la transferencia de energía máxima desde el núcleo magnético 20 hasta el aparato receptor 26 se produce cuando la resistencia del aparato receptor 26 es igual a la resistencia de pérdida de la unidad de conversión 24. La energía generada P_g transferida desde el núcleo magnético 20 hasta el aparato receptor 26 aumenta de manera cuadrática hasta que la corriente secundaria I_s está cerca de la corriente de saturación secundaria I_{ss} , que se corresponde con un voltaje de entrada al convertidor 54 (el voltaje directo V_{dc}) igual a:

45

$$V_{switch} = I_{dc} * R \quad (20)$$

50 Cuando la entrada del convertidor 54 alcanza un voltaje de V_{switch} , el diodo Zener 68 se vuelve conductor, la corriente directa I_{dc} (y, por tanto, la corriente de salida I_{dc1}) ya no puede aumentar y, por tanto, la energía generada P_g empieza a aumentar linealmente a medida que la corriente primaria I_p aumenta.

55 Cuando el voltaje directo V_{switch} es igual al voltaje de saturación de referencia V_{ref} , el convertidor 54 se satura y, en consecuencia, cuando aumenta la corriente primaria I_p , la corriente secundaria I_s (y, por tanto, también la corriente directa relacionada I_{dc} y la corriente de salida I_{dc1}) permanece bloqueada en el valor de la corriente de saturación secundaria I_{ss} .

60 En consecuencia, para asegurar el correcto funcionamiento de la unidad de conversión 24, V_{ref} se ajusta a un valor que es una cantidad predeterminada (por ejemplo, un 1%) menos que el voltaje de saturación V_{switch} de manera que la corriente de salida I_{dc1} permanece igual que un valor de umbral asociado con el valor de corriente impuesta I_{ss1} (es decir, se supone que la corriente secundaria I_s es igual a la corriente impuesta I_{ss1} , así que, dado que la corriente secundaria I_s se vincula - tal como se describe anteriormente - a la corriente de salida I_{dc1} , esta última debe mantenerse igual que un valor de umbral de modo que la corriente secundaria asociada I_s es igual que la corriente impuesta I_{ss1}).

Como alternativa, la corriente de salida I_{dc1} podría controlarse usando un transductor de campo magnético conocido situado en el núcleo magnético 20.

5 La energía suministrada P_U que alcanza el aparato receptor 26 se da, tal como se especificó anteriormente, por la diferencia entre la energía generada P_g y las pérdidas.

La figura 13 muestra la misma parte del circuito en la figura 12, en la que se han añadido más componentes al convertidor 54.

10 En particular, se ha añadido una tercera resistencia R3 a la columna no inversora del amplificador 64, y se conectan una cuarta resistencia R4 y un segundo diodo Zener 70, dispuestos en serie con la cuarta resistencia R4, entre un punto de conexión 72 situado en la columna no inversora del amplificador 64 (entre la primera resistencia R1 y el transductor de corriente 62) y el terminal no inversor del amplificador 64.

15 El segundo diodo Zener 70, la tercera resistencia R3 y la cuarta resistencia R4 forman en conjunto el sensor de voltaje mencionado en la página 16.

La energía generada P_g aumenta linealmente a medida que la corriente primaria varía, hasta un valor tolerable máximo igual a:

20

$$P_{max} = I_{sat} * V_{MAX} \quad (21)$$

25 donde V_{MAX} es el voltaje directo V_{dc} igual al voltaje de estado de conducción del segundo diodo Zener 70. En consecuencia, cuando alcanza este voltaje de estado de conducción V_{MAX} , el segundo diodo Zener 70 se vuelve conductor y, a través del divisor de resistencia formado por las resistencias tercera y cuarta R3 y R4, aumenta la corriente directa I_{dc} (y, por tanto, la corriente de salida I_{dc1}). Esto provoca un consiguiente aumento en la corriente secundaria I_s hasta que este último excede el valor de la corriente de saturación secundaria I_{ss} .

En consecuencia, se reduce la energía generada P_g y se detiene el aumento en el voltaje V_{dc} .

30 La figura 14 muestra la misma parte del circuito que la figura 13, con el añadido en la columna no inversora del amplificador 64, de un conmutador 74 diseñado para abrirse mediante el circuito de mando y control 60 (poniendo de ese modo a cero el voltaje de referencia V_{ref}) si se desea anular la energía suministrada al aparato receptor (por ejemplo, cuando el acumulador 58 alcanza el voltaje de almacenamiento máximo).

35 Como una alternativa a lo anterior, la unidad de conversión 24 emite una corriente alterna I_{ac} (en lugar de la corriente directa I_{dc}) que se convierte entonces, de una manera conocida, en corriente directa que va a suministrarse al aparato receptor 26. En este caso, la unidad de conversión no incluye el convertidor estático 50.

40 Volviendo a la figura 9, el bloque de capacidad variable 46 incluye de manera ventajosa una capacidad fija 46a, una capacidad de ajuste 46b y una capacidad de control variable 46c, estando controladas dichas capacidades de una manera conocida mediante el circuito de mando y control 60 para modificar el valor de capacidad general del bloque 46 con el fin de anular la parte reactiva del solenoide 22. La capacidad de ajuste 46b puede desconectarse por un conmutador 76, controlado por el circuito de mando y control 60, poniendo al sistema completamente fuera de resonancia con el fin de anular la contribución de energía a la unidad de conversión 24.

45 Existe también un conmutador 78 controlado por el circuito de mando y control 60 que se usa para conectar el bloque de capacidad 46 a la primera tubuladura de conexión 150 con el fin de empezar la conversión de energía. Un tercer conmutador 80 se controla mediante el módulo de protección de sobrevoltaje 48 con el fin de cortocircuitar la corriente secundaria I_s para evitar la generación de energía en el aparato receptor 26, en caso de fallo. Como alternativa, el conmutador 80 se acciona mediante el circuito de mando y control 60.

55 Naturalmente, las realizaciones y los detalles de implementación pueden variarse de manera significativa de la descripción e ilustraciones, que se proporcionan meramente a modo de ejemplo no limitativo, sin moverse de ese modo fuera del alcance de protección tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método para obtener energía destinada a suministrar un aparato receptor (26) desde un conductor (14, 16a, 16b) atravesado por una corriente eléctrica primaria (I_p), estando dicho método caracterizado porque comprende las siguientes etapas:
- 5
- colocar, en una posición remota desde dicho conductor (14, 16a, 16b), un núcleo de material magnético (20) y un solenoide conductor (22) bobinado alrededor de dicho núcleo (20) para obtener una corriente secundaria (I_s) en el solenoide (22) desde un flujo de campo magnético generado en dicho solenoide (22) por dicho conductor (14, 16a, 16b), núcleo (20) y solenoide (22),
 - 10
 - estando conectado dicho solenoide conductor (22) al aparato receptor (26) por medios de conversión (24) adaptados para convertir dicha corriente secundaria (I_s) en una energía (P_g) destinada a suministrar el aparato receptor (26) a través de un voltaje relacionado (V_{dc} , V_{ac}) y la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac});
 - 15
 - cuando la energía (P_g) suministrada al aparato receptor (26) aumenta tras el aumento incontrolable en la corriente primaria (I_p) deteniéndose la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) en un valor de umbral asociado con un valor de corriente impuesto (I_{SS1}) que es inferior, por una cantidad predeterminada, a un valor de corriente de saturación secundaria (I_{SS}) del material magnético del núcleo (20); y
 - 20
 - cuando la energía (P_g) aplicada al aparato receptor (26) aumenta tras un aumento incontrolable adicional en la corriente primaria (I_p), detectando el valor del voltaje (V_{dc} , V_{ac}) aplicado al aparato receptor (26) y cuando dicho valor alcanza un valor límite predeterminado (V_{MAX}) permitiendo una corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) mayor que dicho flujo de valor de umbral, provocando la saturación del núcleo (20) y, en consecuencia, una reducción en la energía (P_g) aplicada al aparato receptor (26),
 - 25
 - en el que se produce una energía (P_g) para suministrar el aparato receptor (26) a través de un voltaje relacionado (V_{dc} , V_{ac}) y la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) usando las siguientes etapas:
 - 30
 - transformar la corriente secundaria (I_s) en un voltaje de comparación (V_{dc}) usando un transductor de corriente (62);
 - 35
 - comparar el voltaje de comparación (V_{dc}) con un voltaje de referencia (V_{ref}) para producir una corriente de comparación (I_{ref}) usando un amplificador de error (64) conectado al transductor de corriente (62);
 - 40
 - producir la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) suministrada al aparato receptor (26) usando un módulo PWM (66) en un bucle de realimentación con el amplificador de error (64)
 - 45
 - controlar la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) por medio de una primera resistencia de división (R1) dispuesta en serie con una segunda resistencia de división (R2), estando situadas dichas resistencias de división primera y segunda (R1, R2) en la columna no inversora del amplificador (64), y un primer diodo Zener (68) dispuesto en paralelo con la segunda resistencia de división (R2), y
 - 50
 - provocar que la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) exceda un primer valor de umbral asociado con una corriente de saturación secundaria (I_{SS}) tal como para saturar el material magnético del núcleo (20) usando una tercera resistencia de división (R3) situada en la columna no inversora del amplificador (64), una cuarta resistencia de división (R4) y un segundo diodo Zener (70) dispuestos en serie con dicha cuarta resistencia (R4), estando vinculados dicha cuarta resistencia de división (R4) y segundo diodo Zener (70) entre un punto de conexión (72) colocado en la columna no inversora del amplificador (64) entre la primera resistencia de división (R1) y el transductor de corriente (62) y el terminal del amplificador no inversor (64).
 - 55
2. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de comprobar cuándo alcanza la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) el primer valor de umbral incluye la etapa de determinar cuándo alcanza el voltaje (V_{dc} , V_{ac}) aplicado al aparato receptor (26) un valor cercano a un valor predeterminado (V_{switch}).
3. Dispositivo (10) para obtener una energía destinada para suministrar un aparato receptor (26) desde un conductor (14, 16a, 16b) atravesado por una corriente eléctrica primaria (I_p),
- 60
- estando dicho dispositivo (10) caracterizado porque incluye:
- 65
- un núcleo de material magnético (20) y un solenoide conductor (22) bobinados alrededor de dicho núcleo (20) y conectados al aparato receptor (26), estando situados dicho núcleo (20) y solenoide (22) en una posición remota desde dicho conductor (14, 16a, 16b);

una unidad de conversión (24) conectada al solenoide (22) y destinada a conectarse al aparato receptor (26);

5 estando adaptada dicha unidad de conversión (24) para transformar al menos una parte del flujo de campo magnético generado en dicho solenoide (22) por dicho conductor (14, 16a, 16b), núcleo magnético (20) y solenoide (22) en la energía (P_g) destinada para suministrar el aparato receptor (26) sin que haya ningún contacto eléctrico con dicho conductor (14, 16a, 16b);

10 incluyendo dicha unidad de conversión (24) un convertidor (54) adaptado para recibir una corriente secundaria (I_s) asociada con la energía (P_g) generada desde dicho flujo de campo magnético y para transformar la misma en una corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) suministrada al aparato receptor (26),

y porque dicha unidad de conversión se dispone para:

15 - cuando la energía (P_g) suministrada al aparato receptor (26) aumenta tras el aumento incontrolable en la corriente primaria (I_P), deteniéndose la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) en un valor de umbral asociado con un valor de corriente impuesto (I_{SS1}) que es inferior, por una cantidad predeterminada, a un valor de corriente de saturación secundaria (I_{SS}) del material magnético del núcleo (20); y

20 - cuando la energía (P_g) aplicada al aparato receptor (26) aumenta tras un aumento incontrolable adicional en la corriente primaria (I_P), detectando el valor del voltaje (V_{dc} , V_{ac}) aplicado al aparato receptor (26) y cuando dicho valor alcanza un valor límite predeterminado (V_{MAX}) permitiendo una corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) mayor que dicho flujo de valor de umbral, provocando la saturación del núcleo (20) y, en consecuencia, una reducción en la energía (P_g) aplicada al aparato receptor (26),

25 en el que la unidad de conversión (24) incluye, además, un convertidor estático (50) adaptado para recibir la corriente secundaria (I_s) y para transformar la misma en una corriente intermedia (I_{dc}),

30 y porque el convertidor (54) incluye:

- un transductor de corriente (62) dispuesto para recibir la corriente intermedia (I_{dc}) y convertirla en un voltaje de comparación (V_{dc});

35 - un amplificador de error (64) conectado al transductor de corriente (62) que se adapta para comparar dicho voltaje de comparación (V_{dc}) con un voltaje de referencia (V_{ref}) y para producir una corriente de comparación (I_{ref});

40 - un módulo PWM (66) en un bucle de realimentación con el amplificador de error (64) que se adapta para recibir la corriente de comparación (I_{ref}) y para producir la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}),

en el que el convertidor (54) incluye, además:

45 - una primera resistencia de división ($R1$) dispuesta en serie con una segunda resistencia de división ($R2$), estando situadas dichas resistencias de división primera y segunda ($R1$, $R2$) en la columna no inversora del amplificador (64);

- un primer diodo Zener (68) dispuesto en paralelo con la segunda resistencia de división ($R2$),

50 estando adaptadas dichas resistencias de división primera y segunda ($R1$, $R2$) y dicho primer diodo Zener (68) para controlar la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}),

en el que el convertidor (54) incluye, además:

55 - una tercera resistencia de división ($R3$) situada en la columna no inversora del amplificador (64);

60 - una cuarta resistencia de división ($R4$) y un segundo diodo Zener (70) dispuestos en serie con dicha cuarta resistencia ($R4$), estando vinculados dicha cuarta resistencia de división ($R4$) y segundo diodo Zener (70) entre un punto de conexión (72) colocado en la columna no inversora del amplificador (64) entre la primera resistencia de división ($R1$) y el transductor de corriente (62) y el terminal del amplificador no inversor (64);

65 estando adaptados dichas resistencias de división tercera y cuarta ($R3$, $R4$) y dicho segundo diodo Zener (70) para provocar que la corriente de salida (I_{dc1} , I_{ac}) exceda un primer valor de umbral asociado con una corriente de saturación secundaria (I_{SS}) tal como para saturar el material magnético del núcleo (20).

DIBUJOS

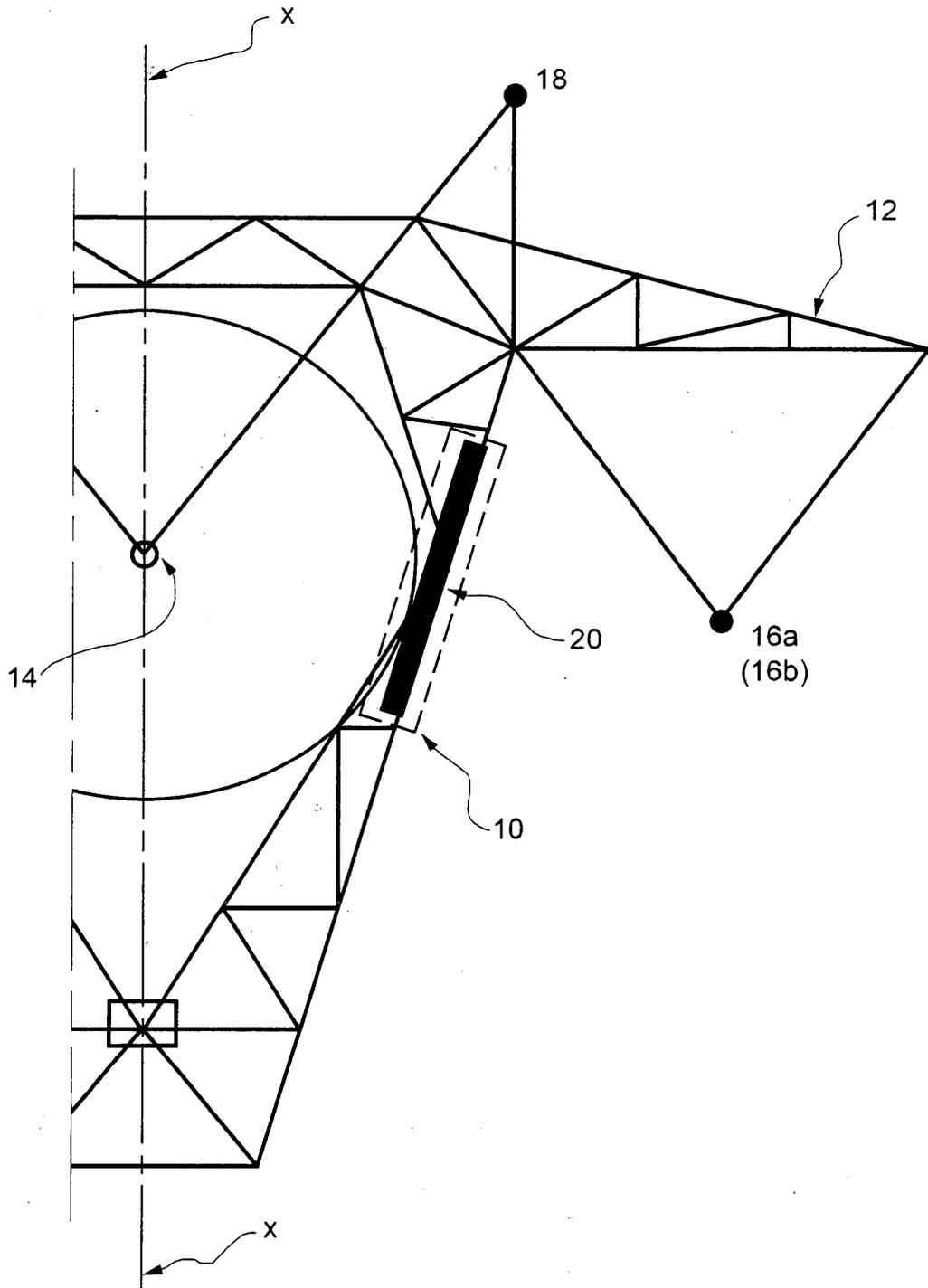


FIG.1

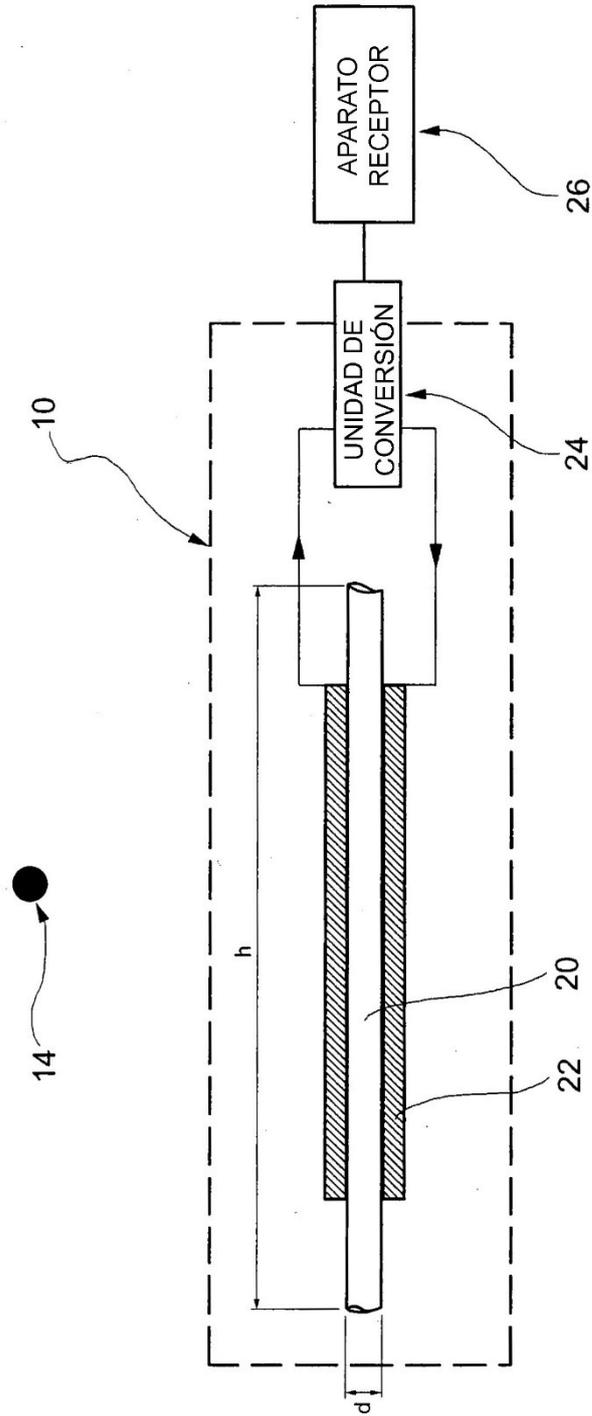


FIG.2

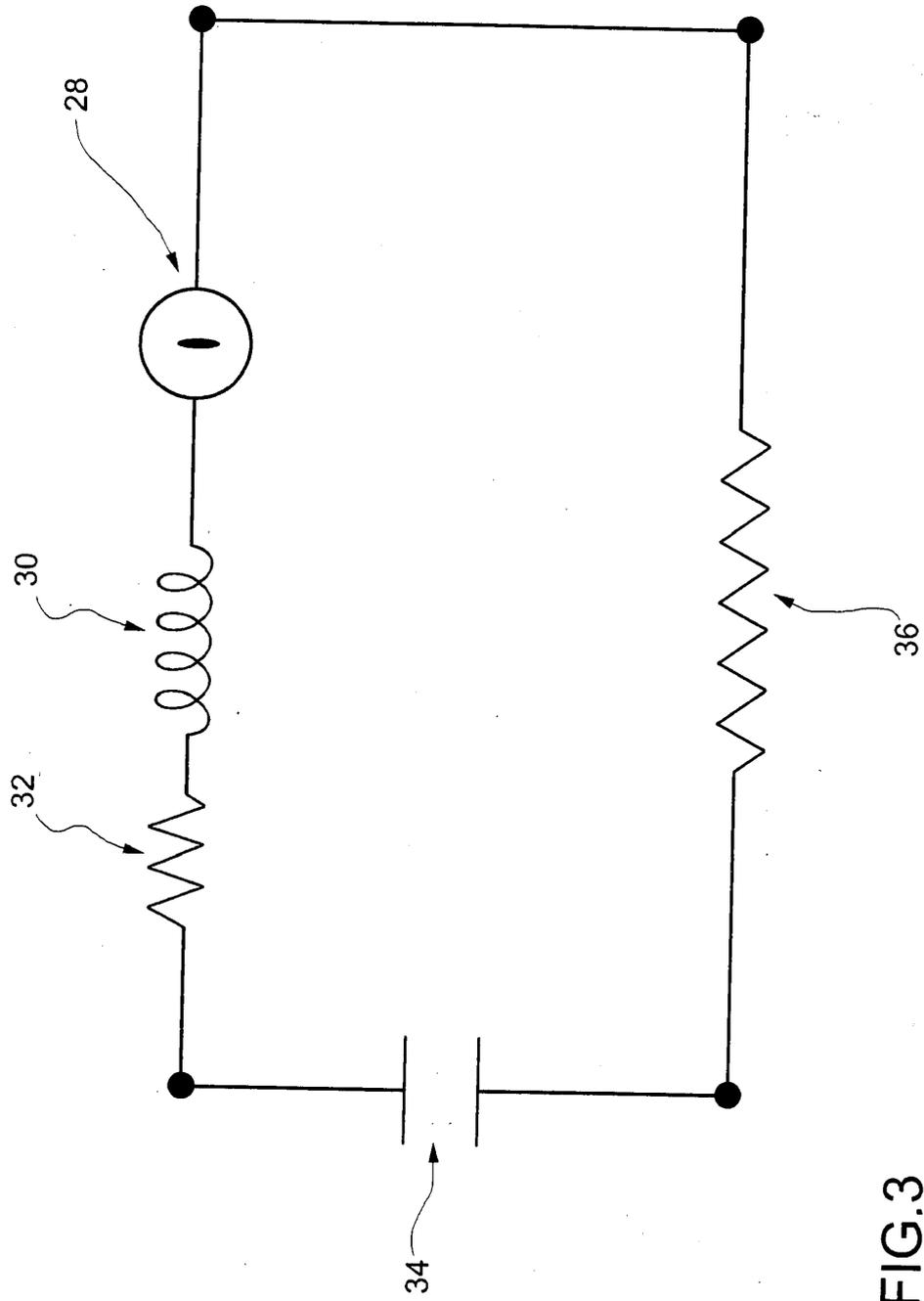


FIG.3

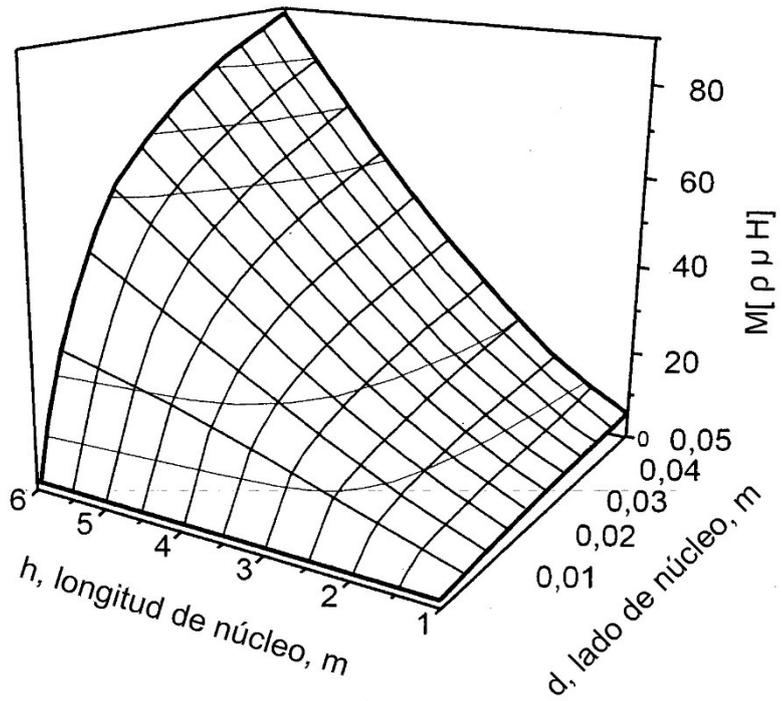


FIG.4a

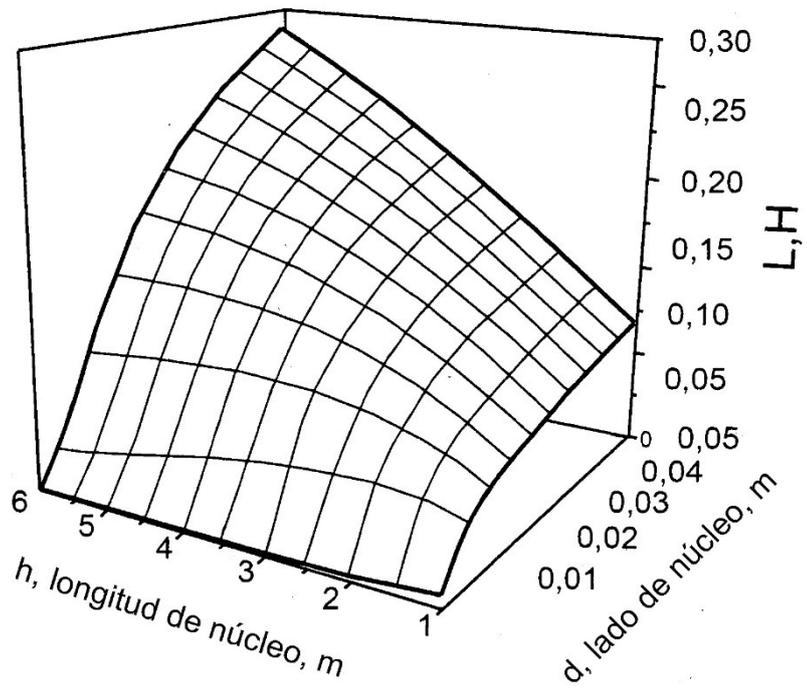


FIG.4b

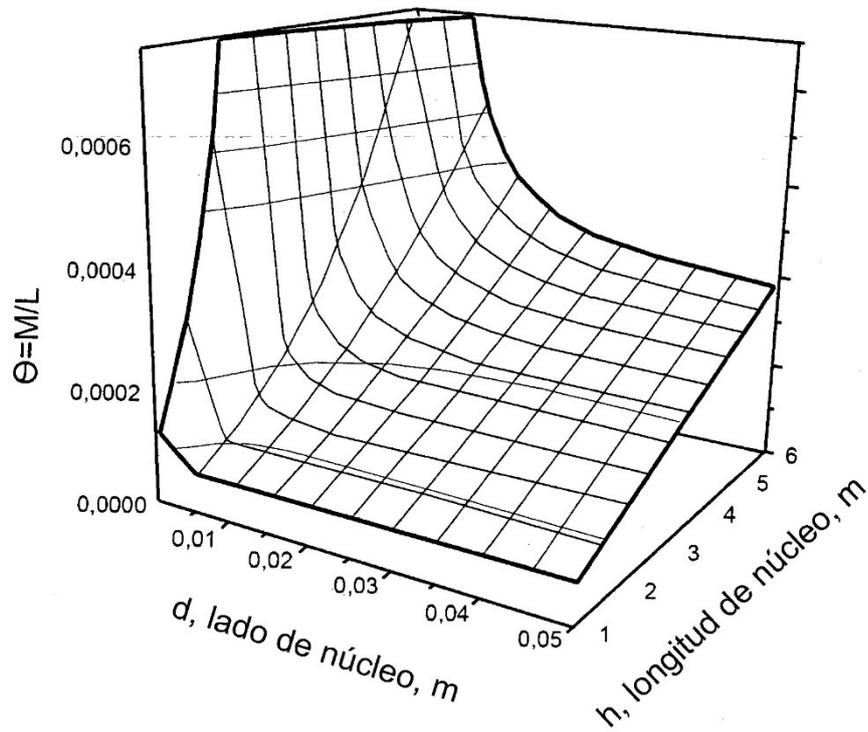


FIG.4c

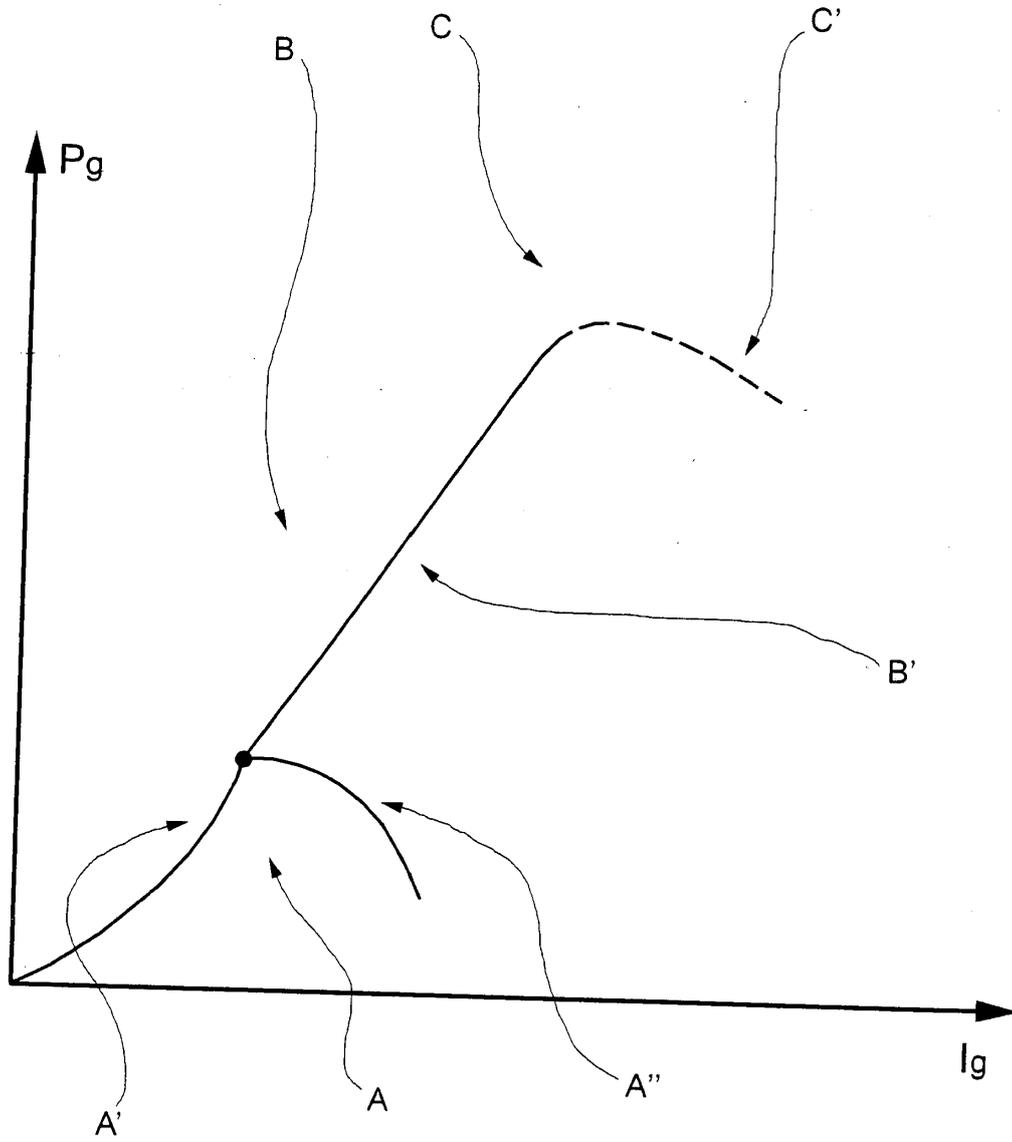


FIG.5

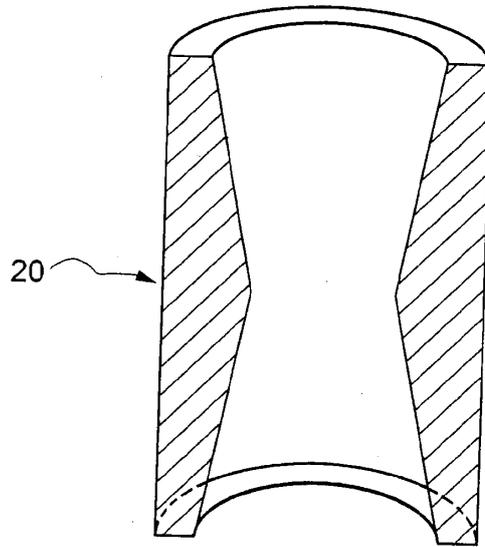


FIG. 7

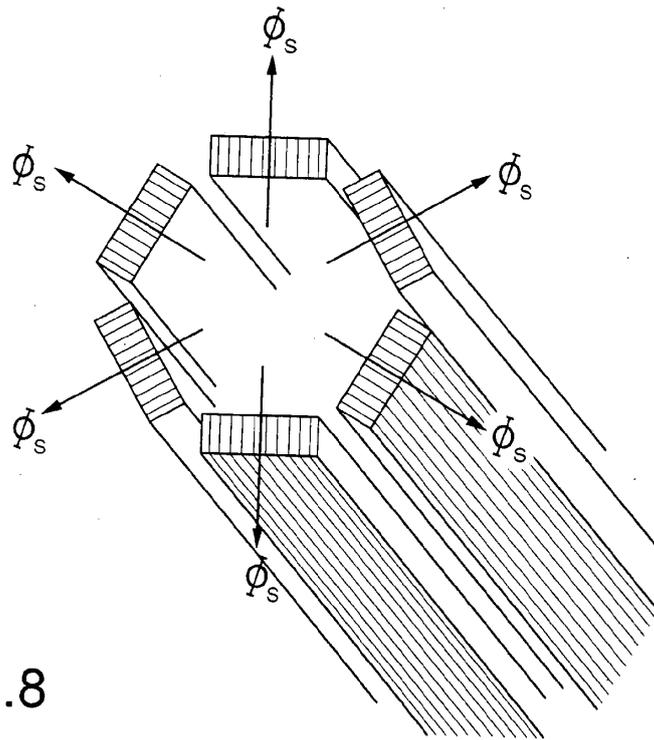


FIG. 8

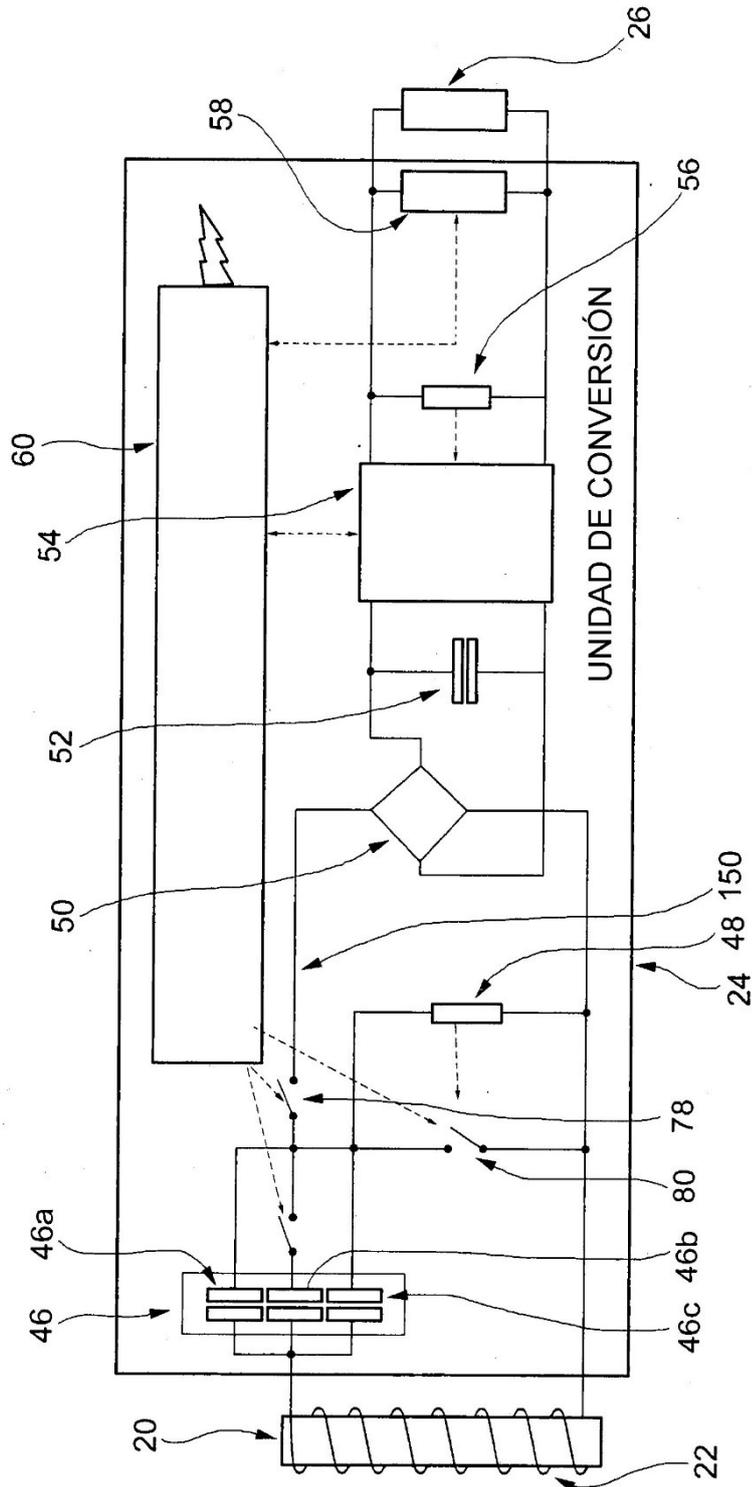


FIG.9

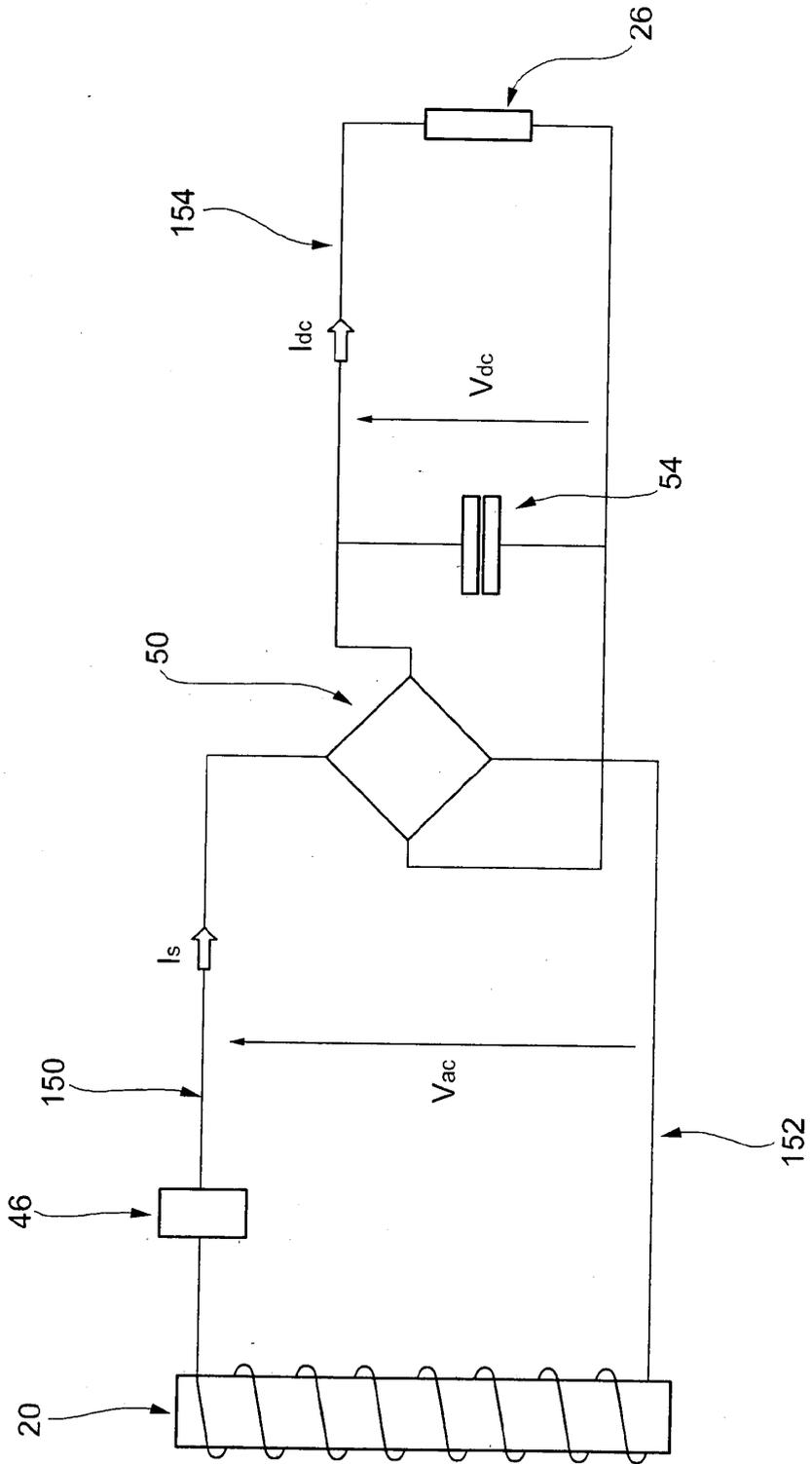


FIG.10

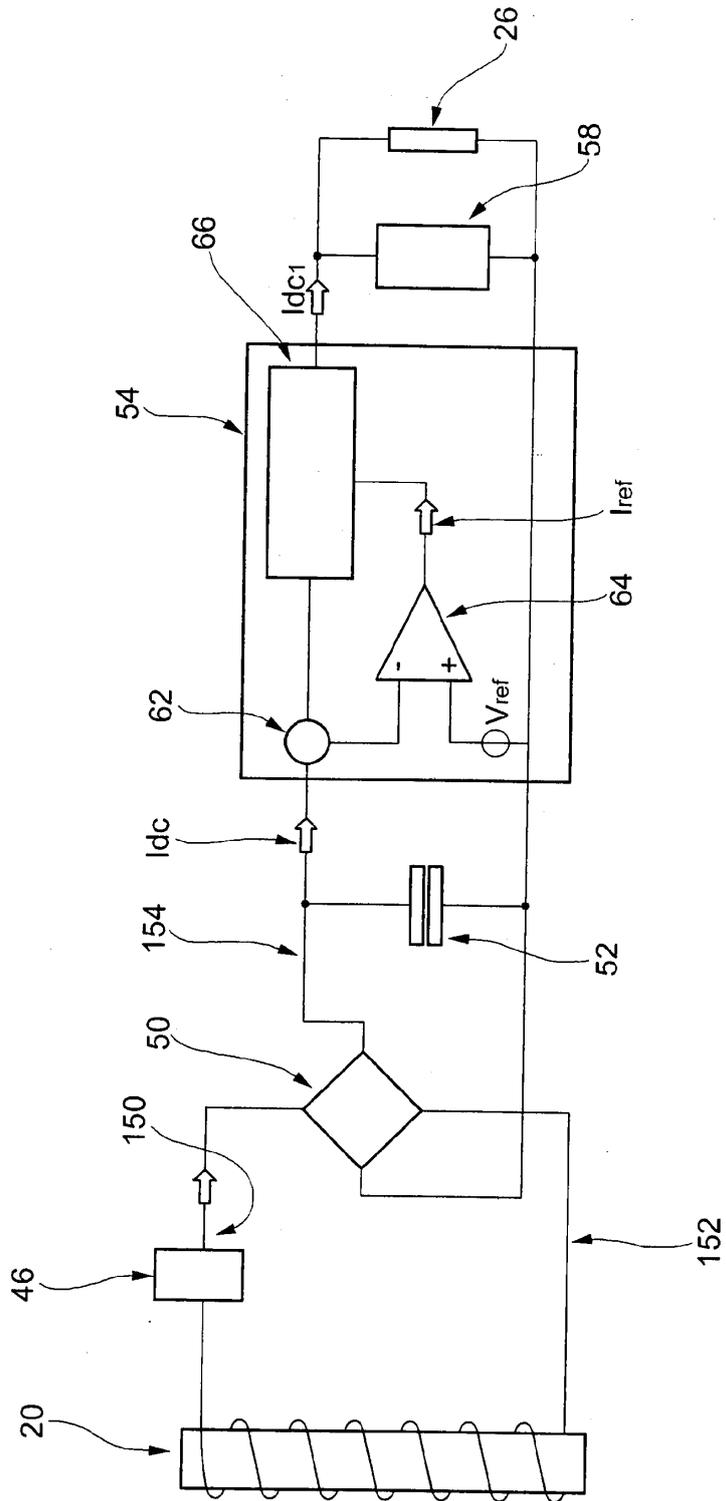


FIG.11

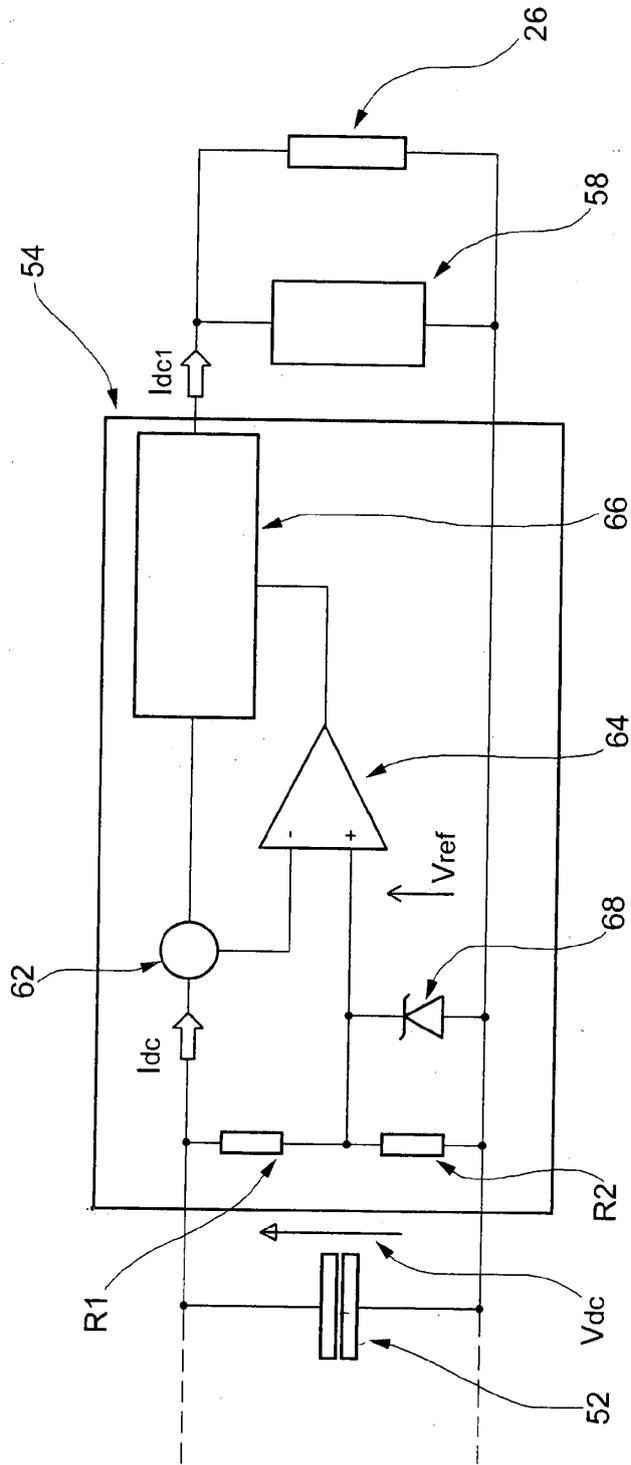


FIG.12

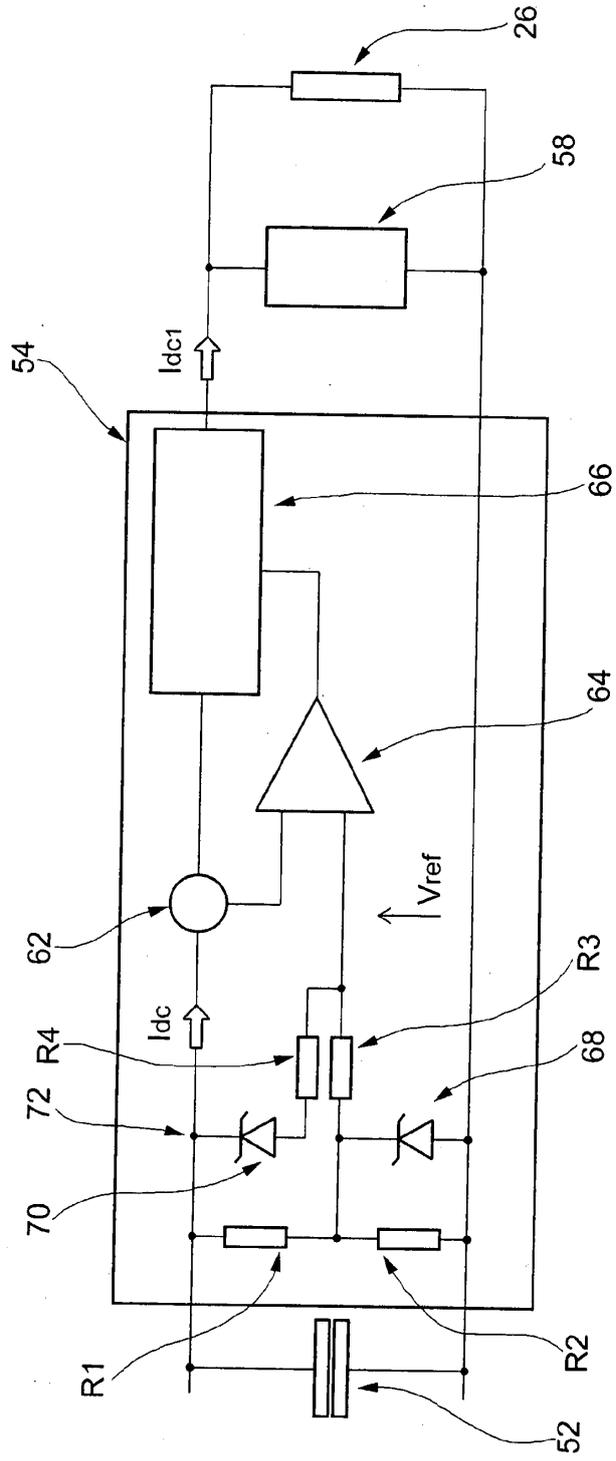


FIG.13

