



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 338 182**

51 Int. Cl.:
H05B 6/04 (2006.01)
H05B 6/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07788840 .2**
96 Fecha de presentación : **06.06.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2027754**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **25.02.2009**

54 Título: **Dispositivo de calentamiento por inducción a alta frecuencia, y horno de inducción equipado con dicho dispositivo.**

30 Prioridad: **09.06.2006 FR 06 05134**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.05.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.05.2010

73 Titular/es: **Fives Celes**
89 bis, rue Principale, BP 5
68610 Lautenbach, FR

72 Inventor/es: **Roehr, Philippe y**
Novikoff, Ivan

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

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

Dispositivo de calentamiento por inducción a alta frecuencia, y horno de inducción equipado con dicho dispositivo.

La invención se refiere a un dispositivo de calentamiento por inducción del tipo de los que comprenden:

- una alimentación eléctrica de alta frecuencia,
- un inductor adecuado para rodear, al menos parcialmente, un elemento inducido a calentar, teniendo el inductor una inductancia de valor determinado para una potencia de calentamiento deseada,
- y un montaje capacitivo de unión entre la alimentación y el inductor previsto para aumentar la tensión en los bornes del inductor con relación a la tensión proporcionada por la alimentación.

Por la expresión “alta frecuencia” utilizada para la corriente alterna se designa una frecuencia igual o superior a 10 kilohertzios (kHz).

Una aplicación del calentamiento por inducción se refiere a las bandas metálicas. El calentamiento por inducción de bandas metálicas es cada vez más utilizado por la industria siderúrgica para aplicaciones diversas tales como:

- mejora de la productividad de horno convencional;
 - secado de productos de revestimiento diversos (pintura, galvanización, etc...);
 - tratamiento térmico (recocido, sobreenvejecimiento...),
- y otros también.

La progresión de los rendimientos de los semi-conductores permite ahora fabricar convertidores de frecuencia de potencia unitaria de varios megavatios y de frecuencia de salida de varias centenas de kilohertzios.

El principio de una instalación clásica, según el estado de la técnica, se ilustra en las Figuras 1 a 3 de los dibujos adjuntos en el caso de un circuito oscilante paralelo y de un inductor de flujo longitudinal. Una alimentación eléctrica 1 de corriente alterna de alta frecuencia está constituida por un convertidor de frecuencia. Uno o varios condensadores de compensación 2 están conectados a los bornes del convertidor. El inductor 3 rodea una banda metálica 4 a calentar; la longitud de la banda 4 es perpendicular al plano de la Fig. 1. Corrientes inductoras de intensidad I rodean la banda 4 con el fin de crear corrientes inducidas cuya circulación está esquemáticamente representada por una curva 5 representada con líneas de trazo interrumpido. El convertidor de frecuencia 1 proporciona la potencia activa necesaria para el calentamiento de la banda metálica 4. El condensador, o la batería de condensadores, 2 proporciona la potencia reactiva necesaria para la magnetización del espacio en el cual se desarrolla el campo magnético creado por el inductor 3. Según la Fig. 3 dos condensadores de unión 2' en serie, combinados con el condensador 2, están previstos para aumentar la tensión en los bornes del inductor. El circuito formado por el inductor 3 y los condensadores 2, 2' es un circuito oscilante, y la tensión eléctrica U (expresada en voltios) que se desarrolla en los bornes del inductor 3 (prescindiendo de la resistencia óhmica) se escribe: $U=L\omega I$, fórmula en la cual:

L es igual a la inductancia del inductor 3 (expresada en henrios),

ω es el impulso de la corriente alterna de la corriente de alimentación (en radianes por segundo)

I es la intensidad de la corriente en el inductor 3 (en amperios).

$\omega = 2\pi F$, siendo F igual a la frecuencia de la corriente alterna.

La potencia P_t transferida por inducción a la banda 4 es proporcional:

- al cuadrado del campo magnético, así mismo proporcional al número de amperios vuelta $n.I$, donde n es el número de espiras del inductor 3 o circuito primario,
- a la raíz cuadrada del impulso ω de la corriente.

Para transmitir una potencia elevada, es preciso, todo lo demás igual por otro lado, que la corriente I sea importante, del orden de algunos millares de amperios a varias decenas de millares de amperios.

La inductancia L debido al tamaño geométrico del inductor 3, a menudo conectada con la del inducido 4 que rodea, no puede bajar por debajo de un valor mínimo del orden de algunas décimas de microhenrios para inductores de calentamiento de banda, incluso construyendo inductores denominados “mono-espiras”, es decir de una sola espira.

ES 2 338 182 T3

Por último, ω alcanza valores elevados para permitir calentar bandas finas 4 y evitar una caída del rendimiento del sistema.

La ecuación $U = L\omega I$ muestra directamente que la corriente I importante, necesaria para que la potencia transmitida sea elevada, solo puede ser obtenida aplicando una tensión U de varios millares de voltios. Esta tensión es lo más a menudo alcanzada por un montaje capacitivo “multiplicador de tensión o elevador capacitivo”. Según la Fig. 3 este elevador capacitivo utiliza dos condensadores 2' en serie con la inductancia.

Para asegurar buenas condiciones de oscilación del circuito formado por el inductor 3 y los condensadores 2, 2' del circuito del inductor, generalmente se esfuerza en cumplir con la condición de resonancia entre los valores de la inductancia L y la capacidad C_{eq} equivalente a las de los condensadores del circuito, según la fórmula $L C_{eq} \omega^2 = 1$.

En el ejemplo de la Figura 3, considerando el caso en que los tres condensadores 2, 2' tengan cada uno un mismo valor C de capacidad, la capacidad equivalente C_{eq} de estos tres condensadores en serie en el bucle cerrado que comprende el inductor es $C_{eq} = C/3$.

La relación: $L C_{eq} \omega^2 = 1$ se vuelve, sustituyendo C_{eq} , por $C/3$: $L C/3 \omega^2 = 1$

donde: $L \omega = 3/C\omega$.

La tensión en los bornes del inductor $L\omega I$ es por consiguiente igual a $3 L/C\omega$, mientras que la tensión en los bornes de la capacidad de compensación 2, que corresponde a la tensión de alimentación, es igual a $I/C\omega$. La tensión en los bornes del inductor se multiplica por consiguiente por tres.

La tensión muy elevada aplicada al inductor plantea numerosos problemas de realización de los equipos, que deben evitar una caída de tensión inoportuna entre el condensador, o la batería de condensadores, y el inductor. Las conexiones de empalme deben ser “compensadas”, es decir presentar una inductancia de conexión mínima. Esta disminución de la inductancia de las conexiones solo puede ser obtenida aproximando lo mejor posible los conductores de alimentación del inductor y los conductores internos de la batería de condensadores. Como se ha ilustrado esquemáticamente en la Fig. 2, la distancia e entre las conexiones de empalme debe ser mínima para limitar la inductancia parásita de la conexión.

Pero se tropieza con la presencia de una tensión muy elevada. La corta distancia e entre las conexiones hace particularmente difícil la realización de un aislamiento eléctrico fiable que permita evitar una descarga eléctrica (flash).

La misma tensión se aplica a la batería de condensadores, a menudo constituida por condensadores elementales de soporte bajo en tensión unitaria, conectados en serie-paralelo.

La invención tiene por objeto, sobre todo, proporcionar un dispositivo de calentamiento por inducción que permita transferir una potencia elevada por el inductor reduciendo las dificultades de construcción creadas por las tensiones, en particular a nivel de las conexiones del inductor y de los condensadores.

Según la invención, un dispositivo de calentamiento por inducción del tipo definido anteriormente se caracteriza porque el inductor está constituido por al menos dos partes inductivas elementales distintas unidas entre sí en serie por al menos un condensador, siendo la tensión que aparece entre los puntos de conexión de las partes inductivas elementales reducida con relación a la tensión necesaria para el funcionamiento del inductor, para una potencia de calentamiento deseada.

El dispositivo puede comprender un condensador conectado entre los bornes de la alimentación y tres partes inductivas elementales distintas, que tienen o no la misma inductancia elemental, unidas entre sí en serie por dos condensadores de unión.

Según una variante, el dispositivo puede comprender un condensador conectado entre los bornes de la alimentación y dos partes inductivas elementales distintas, conectadas entre si en serie por un condensador de unión.

De una manera más general, el dispositivo comprende un condensador conectado entre los bornes de la alimentación y N partes inductivas elementales distintas, unidas entre sí en serie por $N-1$ condensadores de unión.

Ventajosamente, el o los condensadores de unión tienen valores de capacidad iguales entre si, e iguales a la capacidad del condensador conectado a los bornes de la alimentación.

No obstante es posible obtener factores de elevación de la tensión particulares y no enteros utilizando una o más baterías de condensadores de unión de valor equivalente diferente del de la batería de condensadores conectada a los bornes de la alimentación. En este caso, los condensadores, o baterías de condensadores, de unión, tienen valores de capacidad diferentes a los del condensador, o de la batería de condensadores, conectado a los bornes de la alimentación de alta frecuencia, para obtener relaciones de elevación de la tensión no enteros.

ES 2 338 182 T3

De preferencia, el o los condensadores de unión están situados en una zona opuesta a la alimentación con relación al inducido.

Los condensadores o baterías de condensadores pueden repartirse por el perímetro del inducido con el fin de optimizar la ocupación del espacio en la proximidad del inducido.

El o cada condensador de unión puede estar constituido por una batería de condensadores.

De preferencia, la capacidad C_{eq} equivalente a las de los condensadores del circuito en el cual se encuentran los inductores elementales está relacionada con la inductancia L equivalente a las de las partes inductivas por la relación $L C_{eq} \omega^2 = 1$.

La invención se refiere igualmente a un horno de calentamiento por inducción.

Un horno de calentamiento para bandas metálicas, según la invención, se caracteriza porque comprende un dispositivo de calentamiento de inducción, de una o varias espiras, tal como se ha definido anteriormente. Ventajosamente, los condensadores, o baterías de condensadores, de conexión pueden estar dispuestos en el interior del blindaje del horno, dentro de la atmósfera del horno.

Otra aplicación del calentamiento por inducción según la invención es la fusión de vidrio o de óxido en espira directa.

La invención consiste, aparte de las disposiciones expuestas anteriormente, en un cierto número de otras disposiciones de las cuales será más explícitamente cuestión a continuación a propósito de ejemplos de realización descritos con referencia a los dibujos adjuntos, pero que no son en modo alguno limitativos.

En estos dibujos:

La Figura 1 es un esquema de un dispositivo de calentamiento por inducción según el estado de la técnica.

La Figura 2 es un esquema similar a la Figura 1, con un inductor monoespira representado en perspectiva, según el estado de la técnica.

La figura 3 es un esquema de un circuito con batería de condensadores multiplicadores de tensión, según el estado de la técnica.

La figura 4 es un esquema de un dispositivo de calentamiento según la invención.

La figura 5 es un esquema equivalente del dispositivo de la figura 4.

La figura 6 es una variante del esquema de la figura 5.

La figura 7 es un esquema en perspectiva que ilustra el desplazamiento de una banda a calentar en un inductor monoespira, equipado con un condensador de unión.

La figura 8 es un esquema de un horno de fusión de vidrio, de una sola espira, según el estado de la técnica, y por último.

La figura 9 es un esquema de un horno de fusión de vidrio monoespira según la invención.

Haciendo referencia a la figura 4 se puede apreciar un dispositivo H de calentamiento por inducción, según la invención, que comprende un convertidor de frecuencia 1 que constituye la alimentación eléctrica de alta frecuencia, igual o superior a 10 kHz. Un condensador, o una batería de condensadores, de compensación 2 está conectado entre los bornes de la alimentación 1.

El inductor, conectado a los bornes del condensador 2 y de la alimentación, está constituido por al menos dos partes inductivas elementales distintas. Según le ejemplo de realización de la figura 4, el inductor está constituido por tres partes inductivas elementales 3a, 3b, 3c conectadas entre si en serie por al menos un condensador, o batería de condensadores, 2a, 2b. La inductancia equivalente a las de las partes inductivas elementales 3a, 3b, 3c, en serie es igual al valor determinado L del inductor 3 por un montaje clásico según las figuras 1 a 3.

Según un ejemplo de la figura 4, la tensión U_1 se desarrolla entre los bornes 6a y 7c de las partes inductivas elementales respectivas 3a y 3c; la tensión U_2 entre los bornes 7a y 6b de las partes inductivas elementales 3a y 3b y la tensión U_3 entre los bornes 7b y 6c de las partes inductivas elementales 3b, 3c. El condensador 2 está unido a los bornes 6a, 7c mientras que los condensadores 2a, 2b están unidos respectivamente a los bornes 7a, 6b y a los bornes 7b, 6c.

ES 2 338 182 T3

Las tensiones U1, U2 y U3 al ser reducidas con relación a la tensión de funcionamiento del inductor 3 según las figuras 1 a 3, las necesidades en aislamiento eléctrico y las precauciones a tomar para la realización del equipamiento son igualmente reducidas y los conductores pueden aproximarse el uno al otro con una disminución del riesgo de descarga eléctrica.

Según el ejemplo de realización de la figura 4, el inductor formado por el conjunto de las partes inductivas elementales 3a, 3b, 3c, puede ser instalado en el interior de un blindaje 8 de un horno de calentamiento que se encuentra por ejemplo bajo atmósfera protectora, particularmente H₂ + N₂, a mantener separada de la presencia de aire o de oxígeno para evitar los riesgos de explosión. El blindaje 8 es estanco, y está realizado por ejemplo en chapa de acero. Los condensadores 2a, 2b pueden estar alojados en el interior del blindaje 8 pues el calentamiento por inducción no produce temperaturas demasiado importantes en el volumen interior del blindaje 8. En estas condiciones, un solo travesaño estanco 9 hay que realizar, a través de la pared del blindaje, para el paso de conexiones de extremo 10a, 10c de los inductores 3a, 3c con el fin de hacer los bornes de conexión 6a, 7c accesibles desde el exterior del blindaje 8. La realización de un travesaño estanco al ser relativamente costosa, es particularmente interesante poder evitar dicho travesaño estanco a nivel de los bornes 7a, 6b y/o 7b, 6c.

La figura 5 es un esquema eléctrico equivalente a la instalación de la figura 4. Las mismas referencias numéricas han sido retomadas en el esquema de la figura 5 reflejando que el inductor, de inductancia L, está dividido en varias partes, tres en el ejemplo considerado, conectadas por condensadores 2a, 2b, 2.

La figura 6 es un esquema de otro ejemplo de realización para un circuito oscilante en serie en el cual el inductor está dividido en dos partes 3a, 3b conectadas por un condensador 2a. Los otros bornes de extremo de las partes inductivas elementales 3a, 3b están conectadas respectivamente a una placa de un condensador 2 o 2b, así mismo conectado por su otra placa a un borne de alimentación. Este montaje puede estar previsto con o sin transformador 11.

Este concepto puede ser fácilmente generalizado con un número de puntos de conexión diferente de los ilustrados por los ejemplos de las figuras 4 a 6, y/o con inductores de dos espiras o más de dos espiras.

La figura 7 es un esquema simplificado en perspectiva que ilustra el caso de un inductor monoespira 3 para banda metálica 4 que pasa verticalmente según la representación de la figura 7.

La figura 8 ilustra otro ejemplo de aplicación del calentamiento por inducción en el caso de un horno de fusión de vidrio o de óxidos, en espira directa. En un horno de fusión de vidrio por inducción se encuentra de nuevo una alimentación eléctrica de alta frecuencia constituida por un convertidor de frecuencia 21, con un condensador, o una batería de condensadores, 22 de compensación conectado entre los bornes del convertidor. Un inductor 23, por ejemplo monoespira, conectado con los bornes del condensador 22 rodea una masa de vidrio G en fusión, que es conductora de la electricidad.

Es conocido que el punto débil de los hornos de inducción de fusión de vidrio o de óxidos refractarios (amianto, silicato...) se sitúa en una zona A de cierre de la espira y de conexión a la alimentación. Esta zona A está sujeta a un cebado eléctrico entre los conductores debido a la gran diferencia de potencial entre los bornes de alimentación 26a, 26b del inductor.

Las corrientes inducidas en la masa G de vidrio están esquemáticamente representadas mediante un trazado con líneas de trazo interrumpido 25.

Según la invención, como se ha ilustrado en la Figura 9, el inductor está dividido en dos partes inductivas elementales 23a, 23b, representadas aquí de forma simétrica y la inductancia equivalente de los dos inductores 23a, 23b es igual a la del inductor 23 de la Figura 8.

Los extremos de los inductores elementales 23a, 23b opuestos a la alimentación están unidos a un condensador 22a conectado con los bornes respectivos 27a, 27b de los inductores elementales.

Con este montaje, las tensiones entre los puntos 26a, 26b por un lado y entre los puntos 27a, 27b por otro lado, partes inductivas elementales, son iguales a la mitad de la tensión que se aplicaba entre los puntos 26a, 26b según el montaje del estado de la técnica de la Figura 8, todo lo demás igual por otro lado.

Así, la tensión entre los puntos 26a, 26b, según la Figura 9 se divide entre dos, mientras que la potencia de calentamiento transferida se mantiene.

Según la Figura 8, el inductor 23 que tiene una inductancia L, y el condensador 2 que tiene una capacidad C, el impulso de la corriente al ser ω , la relación $LC\omega^2 = 1$ es satisfactoria para la resonancia. La tensión en los bornes del inductor es igual a $L\omega I$ o sea igual a $I/C\omega$, con I=intensidad de la corriente en el circuito.

Según la figura 9, cada parte inductiva elemental 23a, 23b tiene una inductancia L/2, mientras que cada condensador tiene una capacidad doble 2C de forma que la capacidad equivalente C_{eq} sea igual a $2C/2 = C$. La condición de resonancia se expresa por: $L C_{eq} \omega^2 = 1$, o sea $LC \omega^2 = 1$. Para la misma intensidad I, la tensión en los bornes de cada parte inductiva elemental es $L/2 \omega I$ (prescindiendo de la resistencia óhmica). La potencia transferida, igual a la suma

ES 2 338 182 T3

de las potencias transferidas por cada parte inductiva elemental, es la misma que para la Fig 8. Por el contrario, la tensión en los bornes del condensador 22 y entre los puntos 26a, 26b es igual a $1/2C\omega$, o sea la mitad de lo que es en la figura 8 para una misma potencia transferida en el inducido a calentar.

5 Los riegos de cebado entre conductores aislados a nivel de los puntos 26a, 26b se encuentran sustancialmente reducidos.

El ejemplo de la Figura 9 no es limitativo, y el inductor podría descomponerse en más de dos partes inductivas elementales.

10 Hay que notar que la condición de resonancia $L C\omega^2 = 1$ puede ser satisfactoria solo de forma aproximada.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de calentamiento por inducción que comprende:

- una alimentación eléctrica de alta frecuencia,
- un inductor (3, 23) adecuado para rodear, al menos parcialmente, un elemento de inducido (4, G) a calentar, teniendo este inductor una inductancia de valor determinado (L) para una potencia de calentamiento deseada,
- y un montaje capacitivo de unión entre la alimentación y el inductor previsto para aumentar la tensión en los bornes del inductor con relación a la tensión proporcionada por la alimentación,

caracterizado porque el inductor está constituido por al menos dos partes inductivas elementales distintas (3a, 3b, 3c; 23a, 23b) unidas entre sí en serie por al menos un condensador, o una batería de condensadores, (2, 2a, 2b; 22, 22a), siendo la tensión que aparece entre los puntos de conexión de las partes inductivas elementales

reducida con relación a la tensión necesaria para el funcionamiento del inductor para una potencia de calentamiento deseada.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende un condensador o batería de condensadores (2) conectado entre los bornes de la alimentación y tres partes inductivas elementales distintas (3a, 3b, 3c), unidas entre sí en serie por dos condensadores de unión o batería de condensadores (2a, 2b).

3. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende un condensador o batería de condensadores (22a) conectado entre los bornes de la alimentación y dos partes inductivas elementales distintas (23a, 23b), conectadas entre sí en serie por un condensador o batería de condensadores de unión (22b).

4. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado** porque comprende un condensador o batería de condensadores conectado entre los bornes de la alimentación y N partes inductivas elementales distintas, conectadas entre sí en serie por N-1 condensadores o batería de condensadores de unión.

5. Dispositivo según una de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizado** porque el o los condensadores de unión (2a, 2b; 22a) tienen valores de capacidad iguales entre sí, e iguales a la capacidad de un condensador (2, 22) conectado a los bornes de la alimentación.

6. Dispositivo según una de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizado** porque los condensadores, o baterías de condensadores, de unión tienen valores de capacidad diferentes a los del condensador, o de la batería de condensadores, conectado a los bornes de la alimentación de alta frecuencia, para obtener relaciones de elevación de la tensión no enteros.

7. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el o los condensadores de unión (2a, 2b; 22) están situados en una zona opuesta a la alimentación con relación al inducido (4, G).

8. Dispositivo de calentamiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque los condensadores o baterías de condensadores están repartidos por el perímetro del inducido (4, G) con el fin de optimizar la ocupación del espacio en la proximidad del inducido y limitando así las inductancias parásitas.

9. Dispositivo de calentamiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el o cada condensador de unión está constituido por una batería de condensadores.

10. Horno de calentamiento para bandas metálicas (4), **caracterizado** porque comprende un dispositivo de calentamiento por inducción, de una o varias espiras, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

11. Horno de calentamiento según la reivindicación 10, **caracterizado** porque los condensadores, o baterías de condensadores, de unión (2a, 2b) están dispuestos en el interior del blindaje (8) del horno, dentro de la atmósfera del horno.

12. Horno de fusión de vidrio (G) o de óxido en espira directa, **caracterizado** porque comprende un dispositivo de calentamiento de inducción según una de las reivindicaciones 1 a 9.

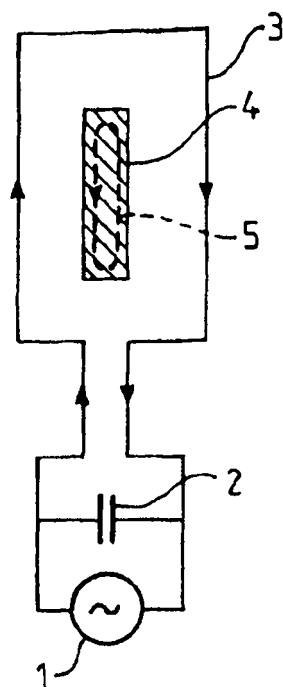


FIG.1

ESTADO DE LA TECNICA

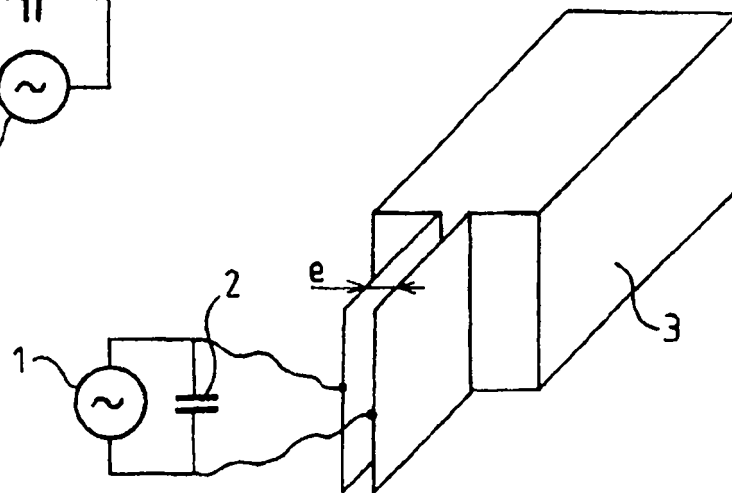


FIG.2

ESTADO DE LA TECNICA

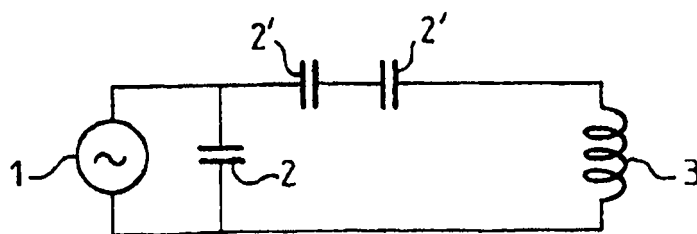


FIG.3

ESTADO DE LA TECNICA

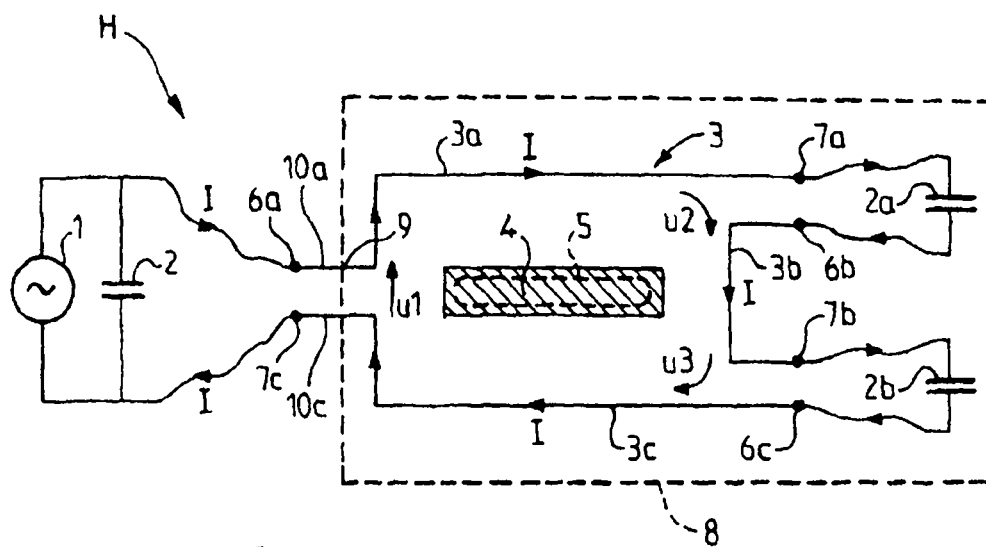


FIG. 4

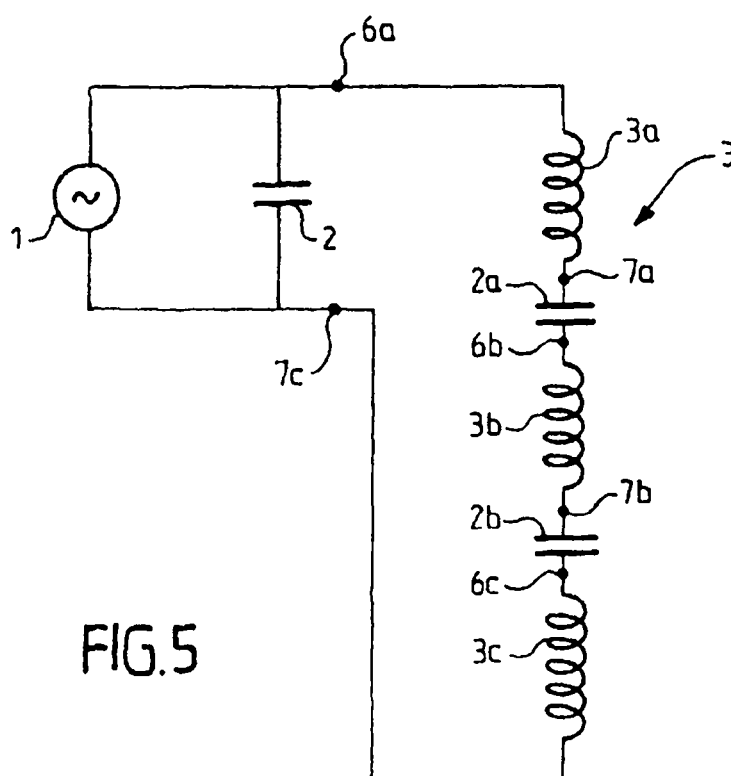


FIG. 5

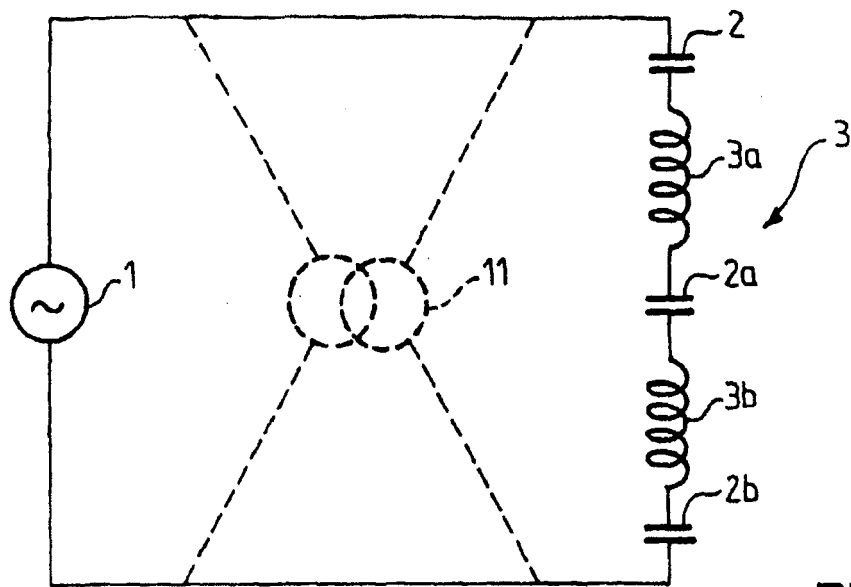


FIG.6

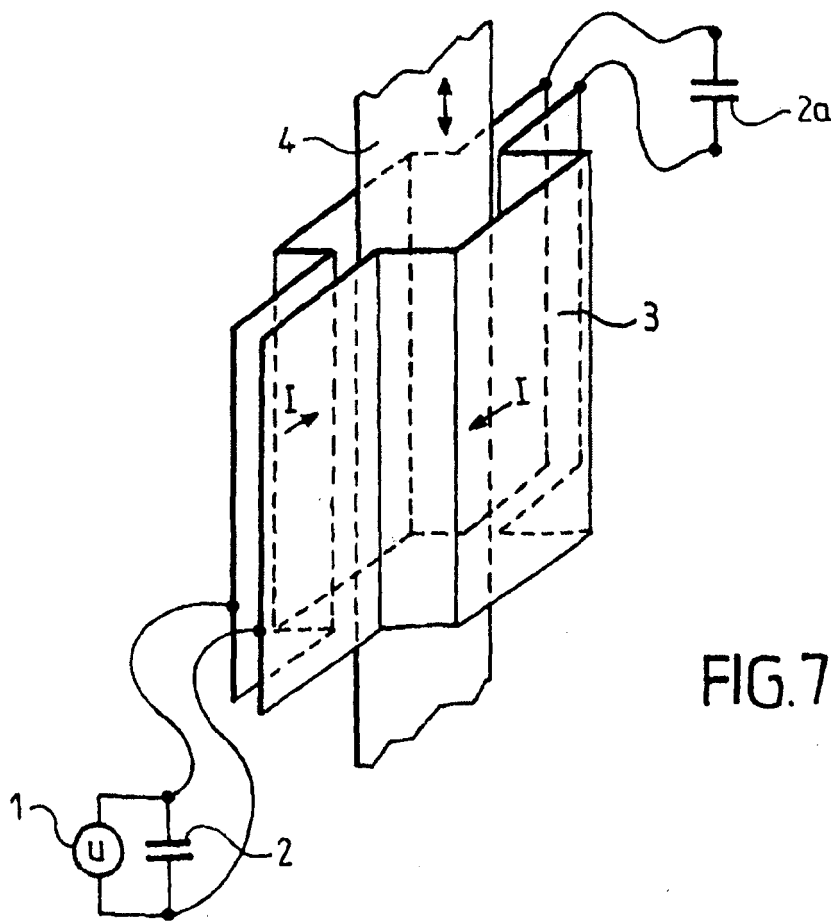


FIG.7

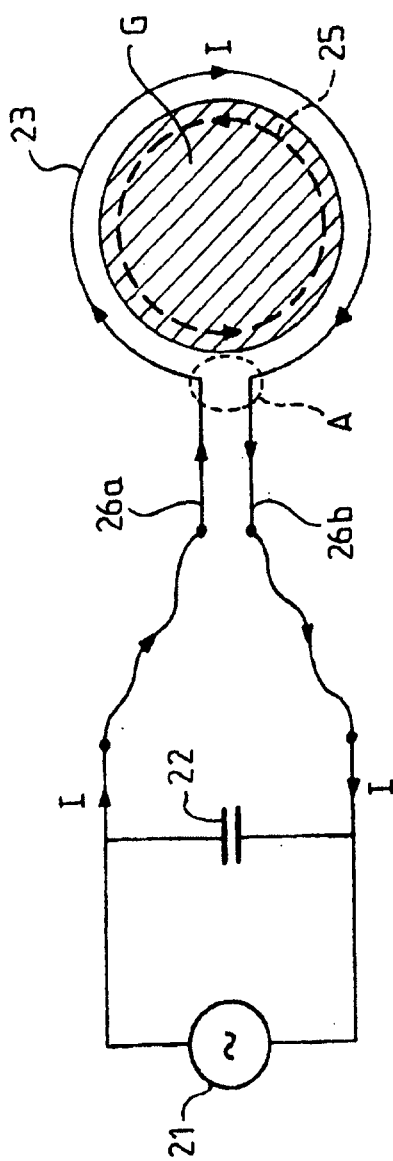


FIG. 8 ESTADO DE LA TECNICA

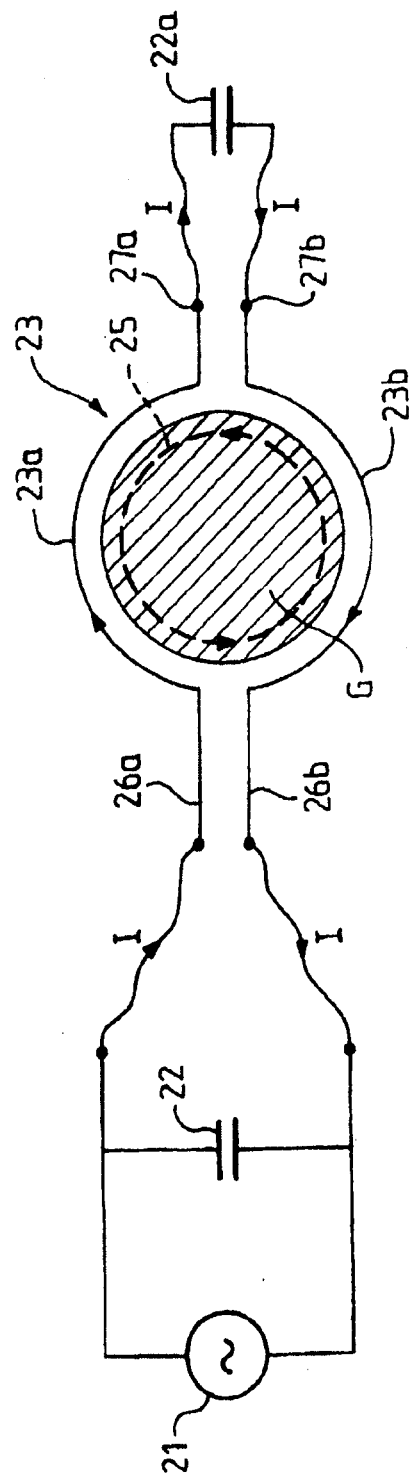


FIG. 9