

440325

22



P.- 61.151

Dossier No.

599/75

AI 440325 770316 HOIF 27/300

Int. Cl.:

HOIF

MEMORIA DESCRIPTIVA

PARA SOLICITAR

PATENTE DE INVENCION

a nombre de BORIS ANATOLIEVICH YABLOCHNIKOV,

de nacionalidad soviética,

residente en Ulitsa Chaplygina 39, kv. 4, Novosibirsk,

U.R.S.S.

por: "PERFECCIONAMIENTOS INTRODUCIDOS EN UNA INDUCTANCIA  
PARA TRABAJAR ARTICULOS METALICOS TUBULARES MEDIAN  
TE IMPULSOS MAGNETICOS".

**POOR  
QUALITY**

15.9.75.

- 1 -



El presente invento se refiere a medios para trabajar artículos de metal por presión de un campo magnético de impulsos y, más particularmente, a inductancias para trabajar con impulsos magnéticos artículos metálicos tubulares, por presión de un campo magnético de impulsos.

Actualmente, el trabajo, mediante impulsos magnéticos, de artículos metálicos tubulares implica el empleo de tres tipos básicos de inductancias: inductancias helicoidales de una sola capa, inductancias de una sola espira e inductancias que comprenden un arrollamiento de múltiples espiras y un concentrador de flujo magnético. Estos tipos de inductancia se han desarrollado y perfeccionado tanto experimentalmente como en el curso del trabajo real por impulsos magnéticos de artículos metálicos tubulares.

La inductancia en hélice de una sola capa es el tipo más común de inductancia para producir campos magnéticos de impulsos con una intensidad superior a 100 kilorstedts. Su bobina está hecha a partir de un cilindro metálico macizo, fresado helicoidalmente. Esta inductancia tiene una resistencia mecánica relativamente elevada, y su bobina soporta eficazmente tanto presiones radiales como presiones axiales.

Las desventajas básicas de la inductancia helicoidal de una sola capa son una baja tensión permisible en su bobina (menor de 10 kV), debido al peligro de que se pro-



22 88

duzca la rotura de un aislamiento entre espiras y debido a los elevados costes de producción.

5 La inductancia de espira única se emplea ampliamente para producir potentes campos magnéticos. Es ventajosa por cuanto que es de fabricación sencilla y posee una elevada resistencia mecánica.

10 La desventaja principal de la inductancia de espira única reside en la debilidad del campo magnético en el área de la ranura de la espira, lo que da como resultado una deformación no uniforme de los artículos tubulares en el transcurso del trabajo con impulsos magnéticos de dichos artículos.

15 La inductancia que comprende un arrollamiento de múltiples espiras y un concentrador de flujo magnético con una ranura radial y una abertura axial para recibir un artículo metálico tubular que se esté trabajando, posee una elevada resistencia mecánica y puede ajustarse fácilmente para trabajar artículos de distintas dimensiones. El ajuste se realiza cambiando inserciones en el concentrador.

20 La desventaja básica de éste último tipo de inductancia reside en las indeseables pérdidas de energía debidas a resistencias efectivas y de los campos de dispersión producidos por el arrollamiento de múltiples espiras y por el concentrador de flujo magnético.

25 La desventaja común de los tipos antes mencionados de inductancias reside en que es difícil asegurar una



frecuencia de corriente suficientemente elevada en la inductancia al trabajar artículos tubulares de gran diámetro. El problema se tratará con mayor detalle en lo que sigue.

5 También se conoce una inductancia para producir un campo magnético de impulsos (véase Reib. Sei. Instr. 1956 (195), 27), que comprende una bobina constituida por conductores planos. Cada conductor es un disco anular formado por troquelado a partir de chapa metálica. En la bobina, los  
10 discos se colocan en serie, para cuyo propósito cada disco tiene una parte de sector desplazada en el curso de la operación de troquelado con respecto al resto del disco en una magnitud igual al espesor del disco. Cuando los discos se montan para formar una bobina, se aíslan uno de otro mediante espaciadores que tienen la forma de discos anulares sin  
15 una parte de sector igual a la parte de sector del disco anular eléctricamente conductor desplazada por la operación de troquelado. Este tipo de inductancia posee una elevada resistencia mecánica y es de fabricación sencilla.

20 Es desventajosa, sin embargo, por cuanto que los discos anulares solamente pueden colocarse en serie. Al trabajar artículos de gran diámetro, esto aumenta sustancialmente el valor de la inductancia. De aquí que, con el fin de asegurar una frecuencia de oscilación natural suficientemente alta del circuito de descarga empleado para trabajar  
25 artículos metálicos con un campo magnético de impulsos, cuyo

22



5

10

15

20

25

Circuito de descarga, normalmente, comprende, aparte de una inductancia, un interruptor y un banco de condensadores, es necesario reducir de manera sustancial la capacidad de dicho banco de condensadores. Esto, a su vez, exige el empleo de bancos de condensadores de alta tensión para permitir el necesario almacenamiento de energía. Una tensión de trabajo incrementada del banco de condensadores, sin embargo, da lugar al peligro de que se produzca la rotura de un aislamiento en unidades individuales del dispositivo y en la bobina de la inductancia. El diseño de inductancia conocido hace extremadamente difícil enfriar la parte central de la bobina por transferencia de calor a los conductores de corriente de la inductancia, debido a la conducción térmica de los conductores que constituyen la bobina. Por tanto, deben proporcionarse medios de refrigeración especiales para la bobina con el fin de evitar el sobrecalentamiento de la misma en el caso de una frecuencia de repetición elevada de impulsos de corriente. Además, en casos de densidades de corriente elevadas, correspondientes a intensidades de campo magnético superiores a 100 kiloorsteds, en las zonas de contacto entre los discos anulares aparecen arcos eléctricos que puedan dañar el aislamiento y dejar fuera de funcionamiento a la bobina de la inductancia.

Un objeto del presente invento es eliminar las desventajas antes mencionadas del diseño de inductancia conocido.



El invento, esencialmente, está dirigido a proporcionar una inductancia con un valor de inductancia sustancialmente reducido, en comparación con los diseños de inductancia usuales, con iguales dimensiones geométricas de las bobinas y con iguales espesores de los conductores planos y de los aisladores que constituyen las bobinas.

Los anteriores objetos del presente invento se consiguen proporcionando una inductancia para el trabajo de artículos metálicos tubulares, con impulsos magnéticos, cuya bobina está constituida por conductores planos aislados entre sí, en cuya inductancia cada uno de dichos conductores está constituido, de acuerdo con el invento, como por lo menos una parte de sector de un disco anular, curvado helicoidalmente con un paso tal que se asegure un desplazamiento de los extremos del conductor, uno con respecto a otro, igual al largo de la bobina, montándose dichos conductores de manera que se constituya una hélice múltiple, estando dispuestos sus extremos, en un lado, en un plano normal al eje geométrico de la bobina y espaciados circunferencialmente uno con respecto a otro en ángulos iguales.

Es evidente que dichos conductores planos deben tener órganos conductores en el lado de sus bordes circunferenciales interior o exterior y en proximidad inmediata a los extremos de dichos conductores planos, cuyos órganos conductores deben constituir un todo con dichos conductores planos.

Es aconsejable que los órganos conductores estén dis-



1975

puestos en la proximidad inmediata de los extremos de dichos conductores planos, en el lado de sus bordes circunferenciales exterior o interior.

5 La inductancia propuesta es tan fácil de fabricar como su prototipo, pero las particulares características precedentes de la inductancia propuesta reducen su valor a una magnitud igual a la inductancia de limitación de una parte de un conductor tubular hueco. El valor máximo de la inductancia propuesta corresponde al de una inductancia de espira

10 única cuya espira tenga dimensiones geométricas iguales a las de la bobina de la inductancia propuesta. Esto se debe al hecho de que solamente es posible troquelar un conductor plano de una chapa metálica en forma de una espira única. La creación de inductancias cuyo valor pueda variarse dentro de

15 los límites antes citados, abre nuevas posibilidades para el trabajo de artículos de gran diámetro con impulsos magnéticos. El empleo de las inductancias del presente invento hace posible mantener la elevada frecuencia requerida del campo magnético de impulsos al trabajar artículos de pared delgada cuyo diámetro puede ser prácticamente ilimitado. La tensión de trabajo del banco de condensadores se mantiene a un valor bajo

20 (5 a 10 kV). El diámetro límite de un artículo a trabajar está determinado, de hecho, por la dimensión y por el coste del banco de condensadores.

25

La ventaja básica de la inductancia propuesta

228



5 reside en la transferencia efectiva de calor desde la bobina a través de los cables conductores térmicos. En comparación con una inductancia de tipo usual, de tamaño similar, la eliminación de calor desde la bobina de la inductancia, por ejemplo, de una inductancia que tenga una bobina constituida de conductores planos en forma de un disco anular completo, es  $n^2$  veces mayor (siendo  $n$  el número de conductores planos, que es el mismo para ambas inductancias). Esto hace posible prescindir, en la mayoría de los casos, de medios especiales para enfriar la bobina de la inductancia propuesta.

10 La inductancia del presente invento es también ventajosa debido a la baja tensión a través del aislamiento entre los conductores planos. Al producir campos magnéticos de impulsos de la misma amplitud y duración de impulsos, la tensión a través del aislamiento entre los conductores planos, en el caso de la inductancia propuesta es,  $n^2$  veces menor que en el caso de la inductancia usual (como en el caso previamente señalado, debe entenderse que las dimensiones geométricas de las bobinas de las inductancias, y los tamaños de los conductores planos y de los aisladores, son iguales).

20 Otros objetos y ventajas del presente invento resultarán más evidentes a partir de la siguiente descripción más detallada de realizaciones preferidas del mismo, tomadas en conjunto con los dibujos anejos, en los que:

25 la figura 1 es una vista lateral de una bobina de



una inductancia de seis hilos;

la figura 2 es una vista frontal de la bobina de la inductancia de seis hilos;

5 la figura 3 es una vista de un conductor plano, en forma de disco anular completo, doblado helicoidalmente, provisto de zonas conductoras en los extremos de dicho conductor, en su borde circunferencial exterior, cuyas zonas conductoras están constituidas como un todo con dicho conductor;

10 la figura 4 es una vista de un aislador entre conductores;

la figura 5 es una vista en sección de una inductancia montada.

15 Haciendo referencia ahora a los dibujos anejos, la inductancia propuesta para trabajar con impulsos magnéticos artículos tubulares comprende, de acuerdo con el invento, una bobina constituida por conductores planos 1 (figuras 1 y 2) hechos de metal, por ejemplo, de cobre. El conductor plano 1 está hecho en forma de un disco anular completo con una ranura radial. En los extremos de dicho disco, en el lado de su borde circunferencial exterior, existen zonas conductoras 2. Si la inductancia está destinada al trabajo de artículos metálicos tubulares con impulsos magnéticos deformando radialmente dichos artículos en la dirección de un eje geométrico del artículo, la inductancia debe instalarse dentro de un artículo a trabajar. En este caso, es aconsejable que las zonas conductoras 2 de los conductores

20

25



planos 1 estén dispuestas en el lado del borde circunferencial interior del disco. Es evidente que las zonas conductoras 2 pueden estar constituidas como un todo con los conductores planos 1 solamente en el caso de una inductancia de gran diámetro. En el caso de inductancias de pequeño diámetro, las zonas conductoras 2 pueden fabricarse por separado y conectarse luego a los conductores planos 1. En el transcurso de la fabricación de la inductancia, los conductores 2 se curvan, normalmente, en ángulo recto con respecto al plano del conductor 1 para facilitar el montaje de la inductancia y la conexión subsiguiente a sus zonas conductoras de corriente.

Como máximo, los conductores planos 1 pueden estar contruidos en forma de un disco anular completo. Debe observarse a este respecto que, en principio, los conductores planos 1, en forma de disco anular completo, pueden montarse para constituir una bobina de múltiples espiras, por ejemplo, soldando sucesivamente los discos anulares entre sí. Sin embargo, resulta difícil, desde el punto de vista de la eficacia tecnológica, fabricar una bobina de inductancia en esta forma. Además, tal bobina ha demostrado ser de calidad inferior, debido a la falta de uniformidad de las características mecánicas del metal en la zona de soldadura. Es preferible, por tanto, que las inductancias del tipo propuesto se fabriquen a partir, solamente, de conductores planos 1 en forma de disco anular completo o, al menos, en una parte de sector del disco



anular. En este último caso, la parte de sector puede constituir, por ejemplo, las tres cuartas partes, la mitad, una cuarta parte, etc., del disco anular completo (posibles realizaciones se ilustran en la figura 3 con línea de trazos). La dimensión límite de la parte de sector del disco anular es igual a la longitud de la bobina de la inductancia. La bobina de la inductancia montada a partir de conductores planos 1 es equivalente a un conductor cilíndrico hueco y, por tanto, no posee valor práctico. Con el fin de calcular aproximadamente el tamaño mínimo requerido de la parte de sector del disco anular, puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$\alpha R \approx 3 l \quad (1), \text{ donde}$$

$\alpha$  es el ángulo que limita la parte de sector del disco anular, en radianes; R es el radio de la circunferencia que limita la parte de sector del disco anular y está libre de zonas conductoras (la circunferencia que define la superficie de trabajo de la bobina de inductancia); y  $l$  es la longitud de la bobina de la inductancia.

El tamaño de los conductores planos 1 fabricados en forma de una parte de sector de un disco anular, evaluado con ayuda de la ecuación (1), asegura una presión del campo magnético de impulsos producido por la bobina de la inductancia montada a partir de tales conductores 1, que es aproximadamente 10 veces tan alta como la presión del campo magnético de impulsos producido por los conductores de corriente conec-



tados a la inductancia. Se supone que los conductores de corriente están contruidos como tubos cilíndricos, siendo los diámetros interior y exterior de los tubos iguales a los diámetros respectivos de la bobina de la inductancia.

5                   Con el fin de montar la bobina, los conductores planos 1 se curvan helicoidalmente con un paso que asegure un desplazamiento de los extremos del conductor 1 con respecto a otro igual a la longitud de la bobina (figura 3).

10                   Dispuestos entre dos conductores planos 1 hay aisladores 3 (figuras 1, 2, 4 y 5) que están configurados como los conductores planos 1, con excepción de las partes de las zonas conductoras respectivas 2, que están ausentes de los aisladores 3, en cada caso. Los aisladores 3 se troque-  
15                   lan de material en lámina plano, por ejemplo, un estratificado de fibra de vidrio.

20                   Los conductores planos 1, con o sin las zonas conductoras 2, y los aisladores 3, se montan para formar una hélice múltiple (figuras 1 y 2). En un lado, los extremos de los conductores planos 1 y los aisladores 3 están espaciados circunferencialmente uno con respecto a otro en ángulos iguales. Con el fin de montar la inductancia, las zonas conductoras 2 se doblan en ángulo recto con respecto al plano de la parte de sector del disco anular (figura 5).

25                   La inductancia montada se ilustra en la figura 5. Los conductores planos 1, con las zonas conductoras 2



5 y los aisladores 3, están envueltos por un aislador exterior 4. En los lados, están protegidos por arandelas aislantes 5. Junto a las arandelas 5 de cara extrema hay arandelas metálicas 6 cónicas. Dispuesta en la parte exterior del aislador exterior 4 hay una pantalla 7 de descarga electrodinámica. Un artículo metálico tubular 8 se coloca dentro de la inductancia. Las zonas conductoras 2 se doblan sobre las arandelas 6 cónicas, a las que pueden conectarse dichas zonas conductoras 2.

10 En el diseño de inductancia que se está examinando, unos conductores de corriente (no representados) para conexión a un generador de corriente pulsatoria (no ilustrado) pueden estar contruidos como tubos o barras colectoras planas con aberturas estrechadas para contacto con las zonas conductoras 2 de la inductancia.

15 Antes de ponerla en funcionamiento, la inductancia se conecta a los conductores de corriente. Dichos conductores de corriente se utilizan para la compresión axial preliminar de la inductancia (por ejemplo, con ayuda de pernos de acoplamiento). La compresión axial asegura un buen contacto entre las zonas conductoras 2 y los conductores de corriente del generador de corriente pulsatoria, lo cual mejora el funcionamiento de la bobina.

20 La inductancia propuesta funciona como sigue. Desde el generador de corriente pulsatoria, se aplica una



22

corriente pulsatoria a las zonas conductoras 2. Mientras circula por los conductores planos 1, dicha corriente produce un campo magnético de impulsos en torno a dichos conductores 1, cuyo campo induce corrientes inversas en el artículo tubular 8 que se está trabajando y en la pantalla de descarga electrodinámica 7. La presión del campo magnético de impulsos así producido se concentra entre los conductores planos 1 y el artículo 8 y deforma a éste último según el radio, hacia el eje geométrico de dicho artículo 8. La presión del campo magnético de impulsos, concentrado entre los conductores planos 1 y la pantalla 7 de descarga electrodinámica, reduce parcialmente la reacción de dichos conductores a cargas producidas en el transcurso de la deformación del artículo 8. Esto reduce la carga mecánica sobre el aislador 4.

El calor liberado en los conductores planos 1 es transferido desde ellos, a través de las zonas conductoras 2, a los conductores de corriente que pueden enfriarse fácilmente, por ejemplo, con agua. Se sabe que el régimen de transferencia de calor a través de un conductor térmico es proporcional al área del conductor (en el presente caso, el conductor 1) e inversamente proporcional a su longitud. Por tanto, la transferencia de calor a través de un conductor corto con gran área en sección transversal es más intensa que a través de un conductor largo con una pequeña área en sección

22



5

10

15

20

25

transversal. Compárese por ejemplo, la resistencia al flujo térmico de la bobina compuesta por los conductores planos 1 de la inductancia de espira única de seis hilos, antes mencionada (es decir, la inductancia cuyo conductor plano 1 está constituido como un disco anular completo), con la resistencia de una inductancia de seis espiras, de un solo hilo. Como en otra parte del texto de la descripción, se supone que las dimensiones geométricas de las bobinas de la inductancia, y los espesores de los discos anulares y de los aisladores que constituyen las bobinas, son todos iguales. Es evidente que en la inductancia conocida, el flujo térmico pasa sucesivamente por todos los conductores planos 1, lo cual quiere decir que la longitud total del conductor equivalente aumenta hasta  $6b$ , siendo  $b$  la longitud media de un conductor plano.

La sección del conductor equivalente es igual a la del conductor plano real designado con  $S$ . La inductancia conocida solamente puede ser refrigerada a través de un par de las zonas conductoras 2.

En la inductancia propuesta, los conductores planos 1 están interconectados en paralelo para el paso del flujo térmico. Esto quiere decir que la longitud total del conductor equivalente sigue siendo igual a  $b$ , mientras que su área de sección transversal es igual a  $6S$ . La inductancia propuesta es enfriada a través de doce zonas conductoras 2. Como resultado de ello, la resistencia al flujo térmico pro-



cedente de la bobina en el diseño de inductancia propuesto es 36 veces menor que en la inductancia conocida. Así, la inductancia del presente invento es enfriada de manera efectiva eliminando calor a través de los conductores planos 1. Un simple cálculo muestra que la tensión a través del aislamiento entre los conductores planos 1 de la inductancia propuesta, es mucho menor que en el caso de la inductancia usual. Supongamos que han de producirse campos magnéticos de impulsos de igual amplitud  $H$  y de frecuencia  $\omega$ , con ayuda de un circuito oscilador LC. En este caso

$$H \sim I = \frac{U_1}{\omega L_1} = \frac{U_2}{\omega L_2} \quad (2),$$

donde  $U_1$  y  $L_1$  son la tensión requerida a través de la inductancia de espira única, de seis hilos, propuesta, y el valor de ésta, respectivamente;  $U_2$  y  $L_2$  son la tensión requerida a través de la inductancia de seis espiras, de un solo hilo, usual, y el valor de ésta, respectivamente.

$$\text{Se sabe que } L_2 = n^2 \cdot L_1 \quad (3),$$

donde  $n$  es el número de conductores planos (en el presente caso  $n = 6$ ).

Sustituyendo ahora la ecuación (3) en la ecuación (2), después de la transformación, el resultado será:

$$U_1 = \frac{U_2}{n^2} \quad (4)$$

Debe tenerse en cuenta que el número de aisladores 3 con respecto a la longitud de la bobina es igual en



ambos casos. Por tanto, la tensión a través de un aislador  
3 en la bobina de la inductancia propuesta es  $n^2$  veces menor  
que en el caso de la inductancia usual. Esto es extremadamen-  
te importante en lo que respecta a la vida útil de servicio  
de la inductancia.

La inductancia del presente invento se ensayó  
durante tres años, durante cuyo período de tiempo se uti-  
lizó para la soldadura por impulsos magnéticos de artículos  
tubulares de metal pesado. Los artículos que habían de su-  
frir deformación eran tubos de cobre y de acero con un es-  
pesor de pared de 1 a 2,5 mm y con un diámetro de 30 a 130  
mm. La bobina de la inductancia estaba fabricada de cobre.  
Para trabajar artículos con un diámetro de hasta 50 mm, se  
emplearon inductancias con conductores planos fabricados en  
la forma de un disco anular completo, e inductancias en las  
que los conductores planos constituían 0,6; 0,75 y 0,5 de  
las partes de sector del disco anular. El número de conduc-  
tores variaba entre 6 y 12. La inductancia para trabajar  
artículos con un diámetro de 130 mm está fabricada totalmen-  
te por conductores que constituyan un 0,33 de la parte de  
sector del disco anular; el número de conductores planos en  
este caso fue de 18. La tensión a través de los bancos de  
condensadores nunca superó los 5 kV.

El comportamiento de las inductancias fue exce-  
lente. Soportaron, sin efecto negativo alguno, corrientes



5

10

16

20

25

de hasta  $3.10^6$  amperios. Debe indicarse que nunca se produjo un caso de rotura del aislamiento entre los conductores planos, incluso en presencia de campos magnéticos muy potentes que provocaron la deformación del cobre y la deformación de conductores planos. Esto se debe en gran parte a la ausencia de cualesquiera contactos entre los conductores planos 1 en la zona de trabajo de la bobina. La conexión en paralelo de dichos conductores se efectuó en el lugar de su contacto con los conductores de corriente exteriores. Como resultado, incluso las descargas de arco que pueden originarse entre las zonas conductoras 2 y los conductores de corriente debido a mal contacto entre ellos, no pueden dar lugar a una rotura del aislamiento 3 entre los conductores planos 1 y, por tanto, no pueden dejar fuera de funcionamiento la inductancia. Además, la inductancia propuesta es barata y de fabricación sencilla, de modo que es económicamente práctica para emplearla en la producción de campos magnéticos superpotentes, es decir, en situaciones en que la vida de servicio de la inductancia no es superior a 1000 ciclos de trabajo aproximadamente.

#### R E I V I N D I C A C I O N E S

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que



se recogen en las reivindicaciones siguientes:

5 1ª).- Perfeccionamientos introducidos en una inductancia para trabajar artículos metálicos tubulares mediante impulsos magnéticos, cuya inductancia tiene una bobina constituida por conductores planos aislados entre sí, caracterizados porque dichos conductores están fabricados como al menos una parte de sector de un disco anular, curvada helicoidalmente con un paso que asegure un desplazamiento de los extremos de un conductor, uno con respecto a otro, igual a 10 la longitud de la bobina, montándose dichos conductores para formar una hélice múltiple, estando dispuestos sus extremos en un lado en un plano perpendicular al eje geométrico de la bobina y espaciados circunferencialmente uno con respecto a otro en ángulos iguales.

15 2ª).- Perfeccionamientos según la reivindicación 1ª, caracterizados porque en la proximidad inmediata de los extremos de los conductores planos, en el lado de sus bordes circunferenciales exterior o interior, hay pares de zonas conductoras constituidas como un todo con dichos conductores. 20

25 3ª).- Perfeccionamientos según la reivindicación 1ª, caracterizados porque en la proximidad inmediata de los extremos de los conductores planos, en el lado de los bordes circunferenciales interior o exterior de los mismos, hay pares de zonas conductoras conectadas a dichos conductores.



22 SET. 1975

4ª). Perfeccionamientos introducidos en una inductancia para trabajar artículos metálicos tubulares mediante impulsos magnéticos.

5

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan, y con los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de veinte hojas escritas a máquina por una sola cara.

10

Madrid, 22 SET. 1975

P. A.  
Alberto de Eizoburu  
Por Poder