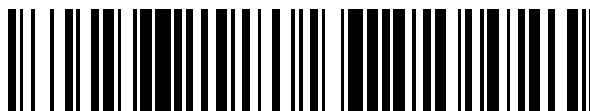


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 715**

51 Int. Cl.:

**H01F 38/16** (2006.01)

**H01F 30/04** (2006.01)

**H01F 27/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.02.2010 E 10707367 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2013 EP 2409309**

54 Título: **Transformador de alto voltaje**

30 Prioridad:

**23.02.2009 NO 20090825**

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

**20.01.2014**

73 Titular/es:

**ZAPTEC IP AS (100.0%)  
Professor Olav Hanssensvei 7A  
4021 Stavanger, NO**

72 Inventor/es:

**WETTELAND, ØYVIND**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

ES 2 438 715 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

Transformador de alto voltaje.

5 La presente invención se refiere a un transformador de alto voltaje. Más particularmente, trata sobre un transformador de alto voltaje para una conexión en cascada, donde el transformador de alto voltaje comprende un devanado primario, un devanado de alto voltaje y un núcleo de transformador, y en donde el devanado primario y el devanado de alto voltaje rodean por lo menos una parte del núcleo del transformador.

10 En la descripción se usa la expresión "buenas cualidades de alta frecuencia". Con la misma se pretende significar que un denominado "transformador de impulsos" presenta una inductancia de acoplamiento relativamente baja entre los devanados primario y secundario, un denominado "efecto pelicular" y un denominado "efecto de proximidad" relativamente bajos en los devanados a frecuencias relativamente altas, una capacidad parásita relativamente baja internamente en los devanados y una capacidad relativamente baja entre devanados y entre devanados y el núcleo del transformador. Esto concierne particularmente al devanado de alto voltaje. Dichos parámetros físicos son bien conocidos para una persona con amplios conocimientos en la materia y por lo tanto no se explican adicionalmente.

15 Para un transformador de impulsos que se haga funcionar cerca de la saturación, lo cual es típico de los inversores, se usa la expresión práctica:

20

$$U = 4B_s * f * n * A_e$$

25 donde  $B_s$  = densidad de flujo magnético (saturación),  $U$  = el valor superior del voltaje sobre el devanado,  $f$  = frecuencia de trabajo,  $n$  = número de espiras y  $A_e$  = sección transversal efectiva del núcleo del transformador.

30

A partir de la expresión se deduce que se puede lograr un alto voltaje de salida a una frecuencia elevada, con una alta intensidad del campo de saturación, una gran sección transversal del hierro y muchas espiras.

35 En caso de que haya poco espacio disponible, normalmente resulta más sencillo incrementar la frecuencia. Para evitar pérdidas demasiado grandes por corrientes de Foucault se deben usar entonces materiales de núcleo que presenten una baja conductividad eléctrica, tales como ferrita, polvo de hierro o los denominados "núcleos enrollados con cinta".

40 Un método para alimentar el transformador a una frecuencia relativamente alta comprende una técnica denominada SMPS - (Fuente de Alimentación en Modo Conmutado). De acuerdo con esta técnica, la potencia de entrada se convierte en un voltaje de entrada de alta frecuencia de impulsos preferentemente cuadrados, para el transformador de alto voltaje.

45 Como se ha mencionado, un transformador de alto voltaje de la técnica anterior tiene, debido a su modo de funcionamiento, un número relativamente alto de espiras en el devanado secundario. Esto provoca un aumento de la capacidad secundaria en la medida en la que los devanados con muchas capas de hilo de devanado relativamente delgado presentan una distancia media mutua entre ellos, menor que en un transformador en donde el hilo del devanado sea de diámetro mayor.

50 Las muchas espiras del devanado secundario requieren relativamente mucho espacio, y por lo tanto conducen a que el núcleo del transformador y el devanado primario sean relativamente grandes. Adicionalmente, se requieren grandes distancias de aislamiento entre el devanado de alto voltaje, el devanado primario y el núcleo del transformador. Por lo tanto, el hecho de que el transformador sea relativamente grande deriva en un aumento de las pérdidas en los devanados del transformador y también en que los transformadores de alto voltaje de este tipo presenten un factor de acoplamiento relativamente bajo. Un factor de acoplamiento bajo se puede modelizar como una inductancia de acoplamiento relativamente grande. El motivo es que una distancia relativamente grande entre los devanados primario y secundario conduce a un acoplamiento magnético deficiente entre ellos.

55 Esta inductancia de acoplamiento parásita no intencionada y, por lo general, inevitable, influirá, de la misma manera que la capacidad secundaria y en combinación con dicha capacidad secundaria, en la corriente del transformador. Al limitarse la corriente de alta frecuencia por la inductancia de acoplamiento, y también que la mayor parte de esta corriente se usa para impulsar una capacidad parásita interna en el devanado secundario, surge una clara limitación en la salida de potencia del devanado secundario a altas frecuencias. Por lo tanto, los transformadores de alta frecuencia de este tipo presentan un ancho de banda relativamente estrecho, es decir, la frecuencia impulsora más alta a la que puede funcionar el transformador de alta frecuencia.

60

65 La técnica conocida de SMPS de bajo voltaje puede producir voltajes de hasta del orden de 1 kV. Con voltajes superiores, es necesario adaptar el transformador por medio de técnicas conocidas de por sí, como multiplicación de voltaje, transformadores de alta frecuencia acoplados en cascada, técnicas de devanados por capas o la denominada "conmutación resonante" para compensar el ancho de banda relativamente estrecho en un

transformador de alta frecuencia.

Es común de todas estas técnicas que las mismas superan únicamente en cierto grado los inconvenientes, al mismo tiempo que complican y por lo tanto elevan el precio del convertidor completo de alta frecuencia.

5 Se conoce la reducción del número de capas en un transformador para poder lograr propiedades mejoradas del mismo. La patente US n° 7.274.281 trata sobre un transformador para una lámpara de descarga, tal como un tubo fluorescente, en donde el transformador está provisto de dos devanados primarios conectados en serie que pueden estar constituidos por una capa de devanado.

10 La patente US n° 1.680.910 describe un transformador para conexión en cascada. No obstante, este no es adecuado para SMPS puesto que presenta una alta capacidad en los devanados y un bajo factor de acoplamiento.

15 La patente US n° 4.518.941 muestra un transformador que es adecuado para SMPS pero en el que la relación nominal del transformador es de uno a uno. El transformador según este documento no resulta adecuado como transformador de alto voltaje.

20 La patente US n° 3.678.429 muestra un transformador de alto voltaje para acoplamiento en cascada, en donde, además de un devanado primario y un devanado secundario, hay dispuesto un devanado para el acoplamiento en cascada. Debido al diseño del devanado de alto voltaje, el transformador según la patente US n° 3.678.429 no es adecuado para SMPS.

25 La patente US n° 3.579.078 se refiere a un transformador de una sola etapa acoplado a un denominado "Cuadruplicador de Voltaje". No obstante, el transformador no soluciona el problema técnico relevante en la medida en la que no se logra un voltaje suficientemente alto en una sola etapa.

30 A partir del documento WO 2007045275 se conoce el uso de dos devanados secundarios para acoplamiento en cascada con un denominado "convertidor *flyback*" para lograr un voltaje de salida estable en cada etapa de la cascada.

35 La patente US n° 4.023.091 da a conocer un transformador de alto voltaje para acoplamiento en cascada, en donde el transformador de alto voltaje comprende un devanado primario, un devanado de alto voltaje, y un núcleo de transformador, y en donde los devanados primario y de alto voltaje rodean concéntricamente por lo menos una parte del núcleo del transformador, y donde el transformador de alto voltaje está provisto de un devanado secundario separado con respecto al devanado de alto voltaje, ya que el devanado de alto voltaje comprende una única capa o más capas individuales conectadas en paralelo.

40 La técnica anterior no presenta transformadores que tengan propiedades adecuadas de alto voltaje y que al mismo tiempo sean adecuados para acoplamiento en cascada.

El objetivo de la invención es remediar o reducir por lo menos uno de los inconvenientes de la técnica anterior.

45 El objetivo se logra según la invención por medio de las características que se exponen en la descripción de más abajo y en las reivindicaciones sucesivas. Se proporciona un transformador de alto voltaje para acoplamiento en cascada en donde el transformador de alto voltaje comprende un devanado primario, un devanado de alto voltaje y un núcleo del transformador, y donde los devanados primario y de alto voltaje rodean concéntricamente por lo menos una parte del núcleo del transformador, y donde el transformador de alto voltaje está provisto de un devanado secundario en la medida en la que el devanado de alto voltaje comprende una única capa o más capas individuales conectadas en paralelo, y en donde un devanado secundario de un primer transformador está conectado en serie con un devanado primario de un segundo transformador, en donde el devanado de alto voltaje de un primer transformador está conectado en serie con un devanado de alto voltaje del segundo transformador.

50 En el transformador de alto voltaje según la invención, el voltaje sobre el devanado primario y el secundario es de baja tensión con respecto al devanado de alto voltaje. El devanado secundario está dispuesto para acarrear una potencia mayor que el devanado de alto voltaje.

55 El devanado de alto voltaje es también un devanado secundario, aunque la expresión devanado de alto voltaje se usa para diferenciar mejor este devanado con respecto al devanado secundario de voltaje relativamente bajo.

60 Enrollando el devanado de alto voltaje en una capa individual tubular, la capacidad parásita interna en el devanado de alto voltaje se reduce a un mínimo práctico. Para reducir la resistencia en el devanado de alto voltaje, varias capas se pueden enrollar una por fuera de la otra en donde las capas posteriormente se conectan en paralelo, por ejemplo en las porciones de conductor del devanado de alto voltaje. Puede resultar conveniente disponer una laminación de aislamiento, por ejemplo, película de poliamida, entre las capas. En un devanado de alto voltaje multi-capas de este tipo, se seguirá logrando la obtención de la capacidad interna pequeña con respecto a devanados conocidos de alto voltaje que se enrollan una y otra vez en más capas conectadas en serie.

Entre los devanados primario y secundario puede haber una abertura anular para que, entre ellos, corra fluido refrigerante. Dicha abertura entre los devanados y el núcleo del transformador garantiza al mismo tiempo la distancia de aislamiento necesaria y da como resultado una capacidad relativamente baja entre devanados y entre devanados y el núcleo del transformador.

Al conseguir que el devanado de alto voltaje esté enrollado tubularmente y axialmente por fuera del devanado primario y también normalmente concéntrico con el mismo, se logra un factor de acoplamiento relativamente alto entre los devanados. La inductancia de fugas entre los devanados es por lo tanto prácticamente insignificante.

La frecuencia de resonancia en serie  $f_s$  de un transformador viene dada por:

$$L_{s\_prim} := L_m(1 - k_p^2)$$

$$C_{p\_prim} := C_s \cdot \left( \frac{N_{sek}}{N_{prim}} \right)^2$$

$$f_s := \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{s\_prim} C_{p\_prim}}}$$

donde  $L_m$  es la inductancia de magnetización primaria,  $k_p$  es el factor de acoplamiento,  $N_{sek}$  y  $N_{prim}$  el número de espiras respectivamente en el devanado secundario y primario.  $C_s$  es la capacidad parásita total en el devanado secundario. La frecuencia de resonancia en serie es una medida directa de la bondad de las propiedades de alta frecuencia del transformador.

Según la técnica anterior es común rellenar la denominada ventana de devanado de un transformador con devanados para reducir la resistencia y las pérdidas del conductor. Un devanado de alto voltaje con su volumen relativamente grande ocupa habitualmente una parte considerable de esta ventana de devanado. Por lo tanto, disponer un devanado de alto voltaje en solamente una capa es violar los principios conocidos para el diseño de transformadores.

Incluso si, de acuerdo con la invención, se usa solamente una capa en el devanado de alto voltaje, es necesario usar un número relativamente grande de espiras en el devanado de alto voltaje con respecto al devanado primario para poder lograr un aumento adecuado del voltaje. Por el propio hecho de que el devanado de alto voltaje debería tener la misma longitud total que el devanado primario, y que las mismas quedan limitadas por la ventana de devanado, es necesario por lo tanto usar un conductor relativamente delgado en el devanado de alto voltaje. Esto implica una resistencia relativamente elevada en el conductor del devanado de alto voltaje y que el devanado de alto voltaje adopte la forma de un tubo delgado. La relación se compensa por el hecho de que se puede hacer que el transformador sea relativamente pequeño, con lo cual se reduce la longitud de cada espira. De este modo también se reduce la resistencia.

Si este tipo de transformador de alto voltaje se usa en un acoplamiento en cascada, se reduce la exigencia de potencia en cada devanado de alto voltaje tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$P_{sek\_M} = P_{prim\_M} \left( 1 - \frac{1}{N} \right)$$

Donde M es el número de la etapa relevante y N es el número de etapas.

El hecho de que el devanado de alto voltaje se enrolle con un hilo de devanado relativamente delgado limita la potencia que el mismo puede suministrar. Este inconveniente se compensa en gran medida por el hecho de que un transformador según la invención presenta una eficiencia considerablemente mejorada en comparación con transformadores de la técnica anterior, y por el hecho de que el hilo de devanado delgado crea espacio para una rendija de refrigeración entre los devanados y entre los devanados y el núcleo del transformador, posibilitando una buena refrigeración y aislamiento eléctrico entre los componentes.

Si el transformador según la invención se usa en un acoplamiento en cascada tal como se ha descrito anteriormente, el rendimiento de potencia en el devanado de alto voltaje se reduce considerablemente con respecto a la técnica anterior, con lo cual se remedia adicionalmente el inconveniente de la alta resistencia en el devanado de alto voltaje. Esto hace que el transformador de alto voltaje según la invención resulte adecuado para su alimentación a partir de una SMPS.

El devanado de alto voltaje puede estar entre el devanado primario y el devanado secundario en el transformador de alto voltaje.

5 Conectando el devanado secundario de un primer transformador en serie con el devanado primario de un segundo transformador y conectando el devanado de alto voltaje del primer transformador en serie con el devanado de alto voltaje del segundo transformador con rectificación intermedia, el voltaje sobre los devanados de alto voltaje se suma mientras que una parte de la potencia entre el primer transformador y un segundo transformador se transfiere por medio del devanado secundario del primer transformador y no a través del devanado de alto voltaje del primer transformador.

10 De este modo, el aparato de alto voltaje puede comprender dos o más transformadores acoplados en cascada. Así, la salida de potencia sobre el lado del alto voltaje se divide sobre los devanados de alto voltaje en más etapas, donde la mayoría de las etapas se debe rectificar antes de la conexión en serie para evitar que el devanado de alto voltaje en una etapa deba impulsar una capacidad parásita en devanados de la siguiente etapa.

15 El hecho de que más devanados de alto voltaje compartan de esta manera la potencia de salida total provoca que cada devanado de alto voltaje se pueda dimensionar para una fracción de la potencia de salida, en la medida en la que el número de etapas decide el factor de fraccionamiento.

20 Al aumentar intencionadamente de forma adicional el voltaje de salida, o al disponer de la posibilidad de reducir el número de espiras para crear espacio para un hilo de devanado más grueso, el devanado de alto voltaje del primer transformador puede cooperar con un multiplicador de voltaje de un tipo conocido de por sí. El segundo transformador y otros transformadores en el acoplamiento en cascada también pueden cooperar con cada uno de sus propios multiplicadores de voltaje.

25 Un devanado de alto voltaje con solamente una capa contribuye a un incremento de la distancia de aislamiento entre las capas por cuanto el devanado de alto voltaje ocupa poco espacio. El diseño tubular fino de los devanados contribuye a una buena refrigeración tanto de los devanados como del núcleo del transformador, y hace que el transformador tenga la posibilidad de gestionar una potencia relativamente alta con respecto a su tamaño físico. Mediante la buena refrigeración de las partes internas según la manera mencionada, y también al evitar el calentamiento interno en devanados de una sola capa, el transformador también resulta adecuado para su uso bajo temperaturas ambiente relativamente altas.

30 Más transformadores interconectados en un acoplamiento en cascada según la invención resultan adecuados tanto para una corriente continua de alto voltaje como para una salida combinada de corriente continua y alterna, ya que una etapa se puede diseñar sin rectificación. Puesto que el voltaje de excitación primario se logra por medio de devanados de bajo voltaje a través de todas las etapas, es posible usar este voltaje alterno para excitar uno o más transformadores adicionales en una cascada de alto voltaje que presente diferentes relaciones nominales del transformador entre los devanados con el fin de generar voltajes diferentes que puedan ser necesarios en un sistema. Un voltaje secundario en la última etapa puede excitar, por ejemplo, un transformador adicional que genere voltaje de filamento para un tubo de rayos X. En este caso, el mismo es un voltaje alterno independiente de bajo valor o un voltaje alterno rectificado superpuesto sobre el alto voltaje.

35 El transformador de la invención resultará particularmente adecuado para su uso en fuentes de alimentación de alto voltaje en miniatura. Ocupa relativamente poco espacio, aguanta temperaturas ambiente relativamente altas y se puede constituir con una forma cilíndrica prolongada, y en los casos en los que sea necesaria una corriente continua de alto voltaje o una corriente continua de alto voltaje con corriente alterna superpuesta.

40 De este modo, el transformador se puede adecuar a aplicaciones tales como pozos petrolíferos, plantas de atomización, aparatos de rayos X, precipitadores electrostáticos y generación de plasma no térmico.

45 A continuación se describe un ejemplo de una forma de realización preferida que se ilustra en los dibujos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 muestra en perspectiva un transformador de alto voltaje según la invención;

50 la figura 2 muestra una sección I-I de la figura 1;

la figura 3 muestra un diagrama de circuito para un aparato de alto voltaje acoplado en cascada, con multiplicadores de voltaje;

55 la figura 4 muestra una impresión de un nivel típico de señal de voltaje durante el funcionamiento en la primera etapa de acuerdo con el diagrama de circuito de la figura 3;

la figura 5 muestra en perspectiva un aparato de alto voltaje según el diagrama de circuito de la figura 3, para su inclusión en una cavidad cilíndrica; y

60 la figura 6 muestra un diagrama de circuito para un aparato de alto voltaje acoplado en cascada, en una forma de

realización simplificada.

5 En lo sucesivo se usan numerales de referencia indexados cuando el numeral de referencia remite a un componente específico de entre varios componentes del mismo tipo, tales como transformadores. En los dibujos se muestran más numerales de referencia indexados sin que en la descripción se mencione necesariamente cada numeral de referencia indexado.

10 En los dibujos el numeral de referencia 1 indica un aparato de alto voltaje con un transformador 2. El transformador 2 comprende dos núcleos de transformador de ferrita en forma de E, en oposición, 4, en donde, en torno a las porciones centrales 6 de los núcleos de transformador 4, y separado de ellas, está enrollado un devanado primario 8 sobre un manguito primario aislante, cilíndrico 10. La primera porción extrema de conductor 12 y la segunda porción extrema de conductor 14 del devanado primario 8 van a dar a la misma porción extrema del devanado primario 8.

15 Un devanado de alto voltaje 16 rodea el devanado primario 8 a una distancia radial. El devanado de alto voltaje 16 está enrollado en una capa sobre un manguito aislante de alto voltaje, cilíndrico 18. La primera porción extrema de conductor 20 y la segunda porción extrema de conductor 22 del devanado de alto voltaje 16 van a dar a cada una de las porciones extremas en el devanado de alto voltaje 16.

20 Un devanado secundario 24 rodea el devanado de alto voltaje 16 a una distancia radial. El devanado secundario 24 está enrollado sobre un manguito secundario aislante, cilíndrico 26. La primera porción extrema de conductor 28 y la segunda porción extrema de conductor 30 del devanado secundario 24 van a dar a la misma porción extrema en el devanado secundario 24.

25 En las figuras 1 y 2, el devanado secundario 24 está rodeado también por un devanado de blindaje estático 32 conectado al núcleo de transformador 4. Preferentemente, el devanado de blindaje estático 32 rodea la mayor parte del devanado secundario 24, aunque no lo rodea completamente, ya que, si fuera así, constituiría una espira de cortocircuito para el transformador 2. El devanado de blindaje estático 32 está dispuesto para mejorar el aislamiento de alto voltaje con respecto a componentes adyacentes y no mostrados de las figuras 1 y 2.

30 El devanado primario 8 y el devanado secundario 24 tienen aproximadamente el mismo número de espiras, mientras que el devanado de alto voltaje 16 tiene un número considerablemente mayor de espiras.

35 Los diferentes devanados están interconectados por medio trayectos eléctricos en placas de circuito, conocidos de por sí y no mostrados.

40 El transformador 2 es adecuado para su alimentación con un voltaje continuo invertido desde una fuente de alimentación de SMPS 34 conectada a la primera porción extrema de conductor 12 y a la segunda porción extrema de conductor 14 del devanado primario 8 en correspondencia con lo que se muestra en el diagrama de la figura 3. De este modo, se pueden extraer un voltaje alterno en la primera porción extrema de conductor 20 y la segunda porción extrema de conductor 22 del devanado de alto voltaje 16 y un voltaje alterno correspondiente al voltaje de alimentación en la primera porción extrema de conductor 28 y la segunda porción extrema de conductor 30 del devanado secundario 24.

45 El diagrama de circuito en la figura 3 muestra que el aparato de alto voltaje 1 de esta forma de realización, además de un primer transformador 2<sub>1</sub>, comprende también un segundo transformador 2<sub>2</sub> y un tercer transformador 2<sub>3</sub>. El segundo transformador 2<sub>2</sub> y el tercer transformador 2<sub>3</sub> presentan el mismo diseño que el primer transformador 2<sub>1</sub>.

50 La fuente de alimentación de SMPS 34 está conectada a la primera porción extrema de conductor 12<sub>1</sub> y a la segunda porción extrema de conductor 14<sub>1</sub> del devanado primario 8<sub>1</sub> del primer transformador 2<sub>1</sub>. El devanado secundario 24<sub>1</sub> del primer transformador 2<sub>1</sub> está conectado, por medio de la primera porción extrema de conductor 28<sub>1</sub>, a la primera porción extrema de conductor 12<sub>2</sub> en el devanado primario 8<sub>2</sub> del segundo transformador 2<sub>2</sub>. La segunda porción extrema de conductor 30<sub>1</sub> del devanado secundario 24<sub>1</sub> está conectada de forma correspondiente a la segunda porción extrema de conductor 14<sub>2</sub> del devanado primario 8<sub>2</sub>.

55 Se aplica lo mismo entre el segundo transformador 2<sub>2</sub> y el tercer transformador 2<sub>3</sub>. La primera porción extrema de conductor 28<sub>2</sub> del devanado secundario 24<sub>2</sub> está conectada a la primera porción extrema de conductor 12<sub>3</sub> del devanado primario 8<sub>3</sub>, y la segunda porción extrema de conductor 30<sub>2</sub> del devanado secundario 24<sub>2</sub> está conectada a la segunda porción extrema de conductor 14<sub>3</sub> del devanado primario 8<sub>3</sub>.

60 La primera porción extrema de conductor 28<sub>3</sub> y la segunda porción extrema de conductor 30<sub>3</sub> del devanado secundario 24<sub>3</sub> del tercer transformador 2<sub>3</sub> están conectadas conjuntamente a una carga denominada ficticia 36 que tiene una resistencia eléctrica relativamente grande. Las segundas porciones extremas de conductor 22<sub>1</sub>, 22<sub>2</sub>, 22<sub>3</sub> de los devanados de alto voltajes 16<sub>1</sub>, 16<sub>2</sub>, 16<sub>3</sub> están conectadas todas ellas al núcleo del transformador correspondiente 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub>, 4<sub>3</sub> constituyendo niveles de 0 locales.

65 La fuente de alimentación de SMPS 34 está conectada a masa a un punto de tierra 38.

5 Un primer condensador 40<sub>1</sub> está conectado al primer transformador 2<sub>1</sub> entre la segunda porción extrema de conductor 22<sub>1</sub> y el punto de tierra 38 del devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub>. Un primer ánodo de diodo 42<sub>1</sub> está conectado también al punto de tierra 38. El primer cátodo del diodo 42<sub>1</sub> está conectado al ánodo de un segundo diodo 44<sub>1</sub> y, por medio de un segundo condensador 46<sub>1</sub>, a la primera porción extrema de conductor 20<sub>1</sub> del devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub>.

10 El cátodo del segundo diodo 44<sub>1</sub> está conectado al ánodo de un tercer cátodo 48<sub>1</sub> y a la segunda porción extrema de conductor 22<sub>1</sub> del devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub> y por lo tanto al núcleo de transformador 4<sub>1</sub> constituyendo el punto de 0 local.

15 El cátodo del tercer diodo 48<sub>1</sub> está conectado al ánodo de un cuarto diodo 50<sub>1</sub> y a la primera porción extrema de conductor 20<sub>1</sub> del devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub> por medio de un tercer condensador 52<sub>1</sub>. El cátodo del cuarto diodo 50<sub>1</sub> está conectado a la segunda porción extrema de conductor 30<sub>1</sub> del devanado secundario 24<sub>1</sub> y a la segunda porción extrema de conductor 22<sub>1</sub> del devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub> por medio de un cuarto condensador 54<sub>1</sub>.

Los diodos 42<sub>1</sub>, 44<sub>1</sub>, 48<sub>1</sub>, 50<sub>1</sub> y los condensadores 40<sub>1</sub>, 46<sub>1</sub>, 52<sub>1</sub>, 54<sub>1</sub> constituyen de este modo un multiplicador de voltaje 56<sub>1</sub> de un diseño conocido de por sí.

20 El segundo transformador 2<sub>2</sub> está provisto correspondientemente de un segundo multiplicador de voltaje 56<sub>2</sub>, aunque en este caso el primer condensador 40<sub>2</sub> y el ánodo de primer diodo 42<sub>2</sub> están conectados a la segunda porción extrema de conector 14<sub>2</sub> del devanado primario 8<sub>2</sub>.

25 De la misma manera se encuentra el tercer transformador 2<sub>3</sub> provisto correspondientemente de un tercer multiplicador de voltaje 56<sub>3</sub>, en donde el primer condensador 40<sub>3</sub> y el ánodo del primer diodo 42<sub>3</sub> están conectados a la segunda porción extrema de conector 14<sub>3</sub> del devanado primario 8<sub>3</sub>.

30 Una carga 58 está conectada entre la segunda porción extrema de conector 30<sub>3</sub> del devanado secundario 24<sub>3</sub> del tercer transformador 2<sub>3</sub> y el punto de tierra 38.

35 El primer transformador 2<sub>1</sub> constituye, junto con el primer multiplicador de voltaje 56<sub>1</sub>, una primera etapa 60<sub>1</sub> en el aparato de alto voltaje 1. El segundo transformador 2<sub>2</sub> constituye, junto con el segundo multiplicador de voltaje 56<sub>2</sub>, una segunda etapa 60<sub>2</sub>, y el tercer transformador 2<sub>3</sub> constituye, junto con el tercer multiplicador de voltaje 56<sub>3</sub>, una tercera etapa 60<sub>3</sub>.

40 Cuando un voltaje de excitación, en este caso en forma de un voltaje continuo invertido de la fuente de alimentación de SMPS 34, se suministra al devanado primario 8<sub>1</sub> del primer transformador, una parte de la potencia se extrae en el devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub> y la parte restante en el devanado secundario 24<sub>1</sub>. El devanado secundario 24<sub>1</sub> contribuye también a estabilizar el voltaje sobre la primera etapa 60<sub>1</sub>. La relación de la salida de potencia en el devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub> con respecto al devanado secundario 24<sub>1</sub> se controla tal como se describe en la parte general de la descripción.

45 El voltaje alterno del devanado secundario 24<sub>1</sub> y el alto voltaje rectificado del devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub> en la primera etapa 60<sub>1</sub> se conducen a la segunda etapa 60<sub>2</sub> por medio de un conductor común, tal como se muestra en el diagrama de circuito de la figura 3. El devanado de alto voltaje 16<sub>3</sub> no conduce el alto voltaje a etapas adicionales. Tampoco el devanado secundario 24<sub>3</sub> conduce el voltaje de excitación primario a otras etapas. Sin embargo, este voltaje de salida de alto valor está conectado, por medio del devanado secundario 24<sub>3</sub> para que la carga interna y la división de voltaje en el transformador 2<sub>3</sub> sean iguales al resto de los transformadores 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>, y para poder construir el transformador 2<sub>3</sub> con componentes accesorios iguales al resto de los transformadores 2<sub>1</sub>, 2<sub>2</sub>.

50 Para obtener el voltaje más alto posible sobre cada etapa 60 con las menos espiras posibles en los devanados de alto voltaje 16<sub>1</sub>, 16<sub>2</sub>, 16<sub>3</sub>, cada etapa 60<sub>1</sub>, 60<sub>2</sub>, 60<sub>3</sub> comprende su multiplicador de voltaje respectivo 56<sub>1</sub>, 56<sub>2</sub>, 56<sub>3</sub>.

55 La conexión mostrada tiene el efecto de que en la primera etapa 60<sub>1</sub> aparece un doblamiento del voltaje máximo negativo en el ánodo del primer diodo 42<sub>1</sub> con respecto al voltaje máximo del devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub>, y un doblamiento del voltaje positivo en el cátodo del cuarto diodo 50<sub>1</sub> con respecto al voltaje máximo del devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub>. El primer condensador 40<sub>1</sub> almacena y estabiliza el doble voltaje negativo mientras que el cuarto condensador 54<sub>1</sub> almacena y estabiliza el doble voltaje positivo. El primer condensador 40<sub>1</sub> y el cuarto condensador 54<sub>1</sub> están conectados al nivel de 0 local, al cual también están conectados la segunda porción extrema de conductor 22<sub>1</sub> del devanado de alto voltaje 16<sub>1</sub> y el núcleo de transformador 4<sub>1</sub>.

60 El tercer condensador 52<sub>1</sub>, el tercer diodo 48<sub>1</sub> y el cuarto diodo 50<sub>1</sub> generan un doble voltaje máximo positivo mientras que el segundo condensador 46<sub>1</sub> junto con el primer diodo 42<sub>1</sub> y el segundo diodo 44<sub>1</sub> generan un doble voltaje máximo negativo.

65 El alto voltaje rectificado de la primera etapa 60<sub>1</sub> se alimenta adicionalmente a la segunda etapa 60<sub>2</sub> en donde se

suma al voltaje de la segunda etapa  $60_2$  y a la tercera etapa  $60_3$  desde la cual el voltaje sumado proveniente de las tres etapas  $60_1$ ,  $60_2$ ,  $60_3$  se suministra a la carga 58.

5 En la figura 4 se muestra una gráfica en la que la abscisa muestra el tiempo en  $\mu\text{s}$ , y la ordenada muestra el voltaje en Voltios. Las curvas 62 y 64 muestran el voltaje primario a 100 kHz y una amplitud de 1 kV. La curva 62 se muestra en una línea de puntos y en una línea más estrecha en comparación con la curva 64. La curva 66 muestra el voltaje alterno sobre el devanado de alto voltaje  $16_1$ . La curva 68 muestra un voltaje relativamente estable en el nivel de 0 local, es decir, sobre la segunda porción extrema de conductor  $22_1$  del devanado de alto voltaje  $16_1$ , y la curva 70 muestra un doblamiento del voltaje máximo positivo en el cátodo del cuarto diodo  $50_1$  en comparación con el nivel de 0 local.

10 El doble voltaje máximo negativo está conectado en la primera etapa  $60_1$  al punto de tierra 38 que es el 0 real de la gráfica.

15 Las curvas 62 a 70 de la figura 4 se refieren a un aparato de alto voltaje 1 en donde el voltaje sobre cada etapa 60 es 17 kV y la salida de voltaje del aparato de alto voltaje 1 es 51 kV. La carga 58 es 500 kiloohmios, y la potencia de salida es aproximadamente 5 kW.

20 En la figura 5 se muestra una construcción práctica del aparato de alto voltaje 1 para su colocación en un espacio cilíndrico no mostrado. No se muestran los trayectos de los conectores. Los devanados 8, 16 y 24 están conectados a una tarjeta de circuito de devanado 72 desde la cual los conectores no mostrados conducen, por medio de los trayectos de conectores no mostrados a través de la tarjeta de placa 74 y la tarjeta de disco 76, según se ha descrito anteriormente, al resto de los componentes del aparato de alto voltaje 1.

25 Debido a consideraciones de espacio, dos condensadores conectados en paralelo en la figura 5 constituyen cada uno de los condensadores del diagrama de circuito de la figura 3. De la misma manera, cada diodo en el diagrama de circuito de la figura 3 está constituido por dos diodos conectados en serie en la figura 5.

30 La figura 6 muestra una forma de realización simplificada del aparato de alto voltaje 1 en donde se han omitido los multiplicadores de voltaje, en la medida en la que los primeros condensadores  $40_1$ ,  $40_2$ ,  $40_3$  y los cuartos condensadores 54 pueden estar constituidos por la capacidad interna de los devanados de alto voltaje  $16_1$ ,  $16_2$ ,  $16_3$ .

35 Los aparatos de alto voltaje 1 de la figura 3 y 4 proporcionan un voltaje de salida positivo. Si todos los diodos se dan la vuelta, se emite un voltaje de salida negativo.



**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Transformador de alto voltaje (1) para un acoplamiento en cascada, en el que el transformador de alto voltaje (1) comprende un devanado primario (8), un devanado de alto voltaje (16) y un núcleo de transformador (4), y en el que los devanados primario y de alto voltaje (8, 16) rodean concéntricamente por lo menos una parte del núcleo de transformador (4), y en el que el transformador de alto voltaje (1) está provisto de un devanado secundario (24) separado del devanado de alto voltaje (16), comprendiendo el devanado de alto voltaje (16), que tiene un número de espiras mayor que el devanado primario (8) y el devanado secundario (24), una única capa o más capas individuales conectadas en paralelo, y en el que un devanado secundario (24<sub>1</sub>) de un primer transformador (2<sub>1</sub>) está conectado en serie con un devanado primario (8<sub>2</sub>) de un segundo transformador (2<sub>2</sub>), en el que el devanado de alto voltaje (16<sub>1</sub>) de un primer transformador (2<sub>1</sub>) está conectado en serie con un devanado de alto voltaje (16<sub>2</sub>) del segundo transformador (2<sub>2</sub>).
- 10
- 15 2. Transformador de alto voltaje en cascada (1) según la reivindicación 1, caracterizado porque el devanado de alto voltaje (16<sub>1</sub>) del primer transformador (2<sub>1</sub>) coopera con un primer multiplicador de voltaje (56<sub>1</sub>).
3. Transformador de alto voltaje (1) según la reivindicación 1, caracterizado porque entre los devanados primario y de alto voltaje (8, 16) está prevista una abertura a través de los mismos para fluido refrigerante.
- 20 4. Transformador de alto voltaje (1) según la reivindicación 1, caracterizado porque el devanado de alto voltaje (16) está posicionado entre el devanado primario (8) y el devanado secundario (24).

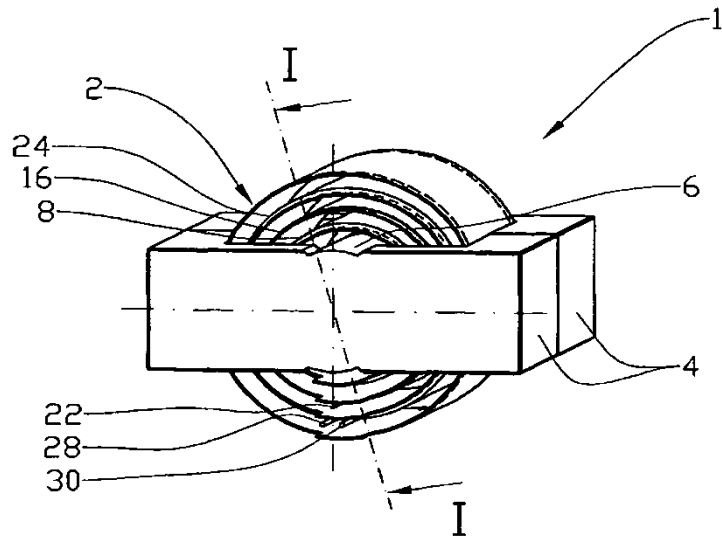
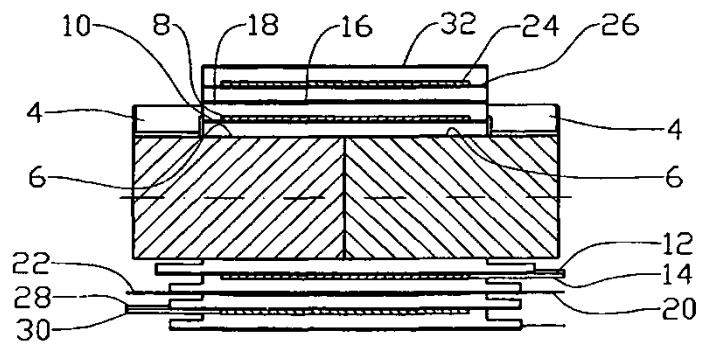


Fig. 1



I-I

Fig. 2

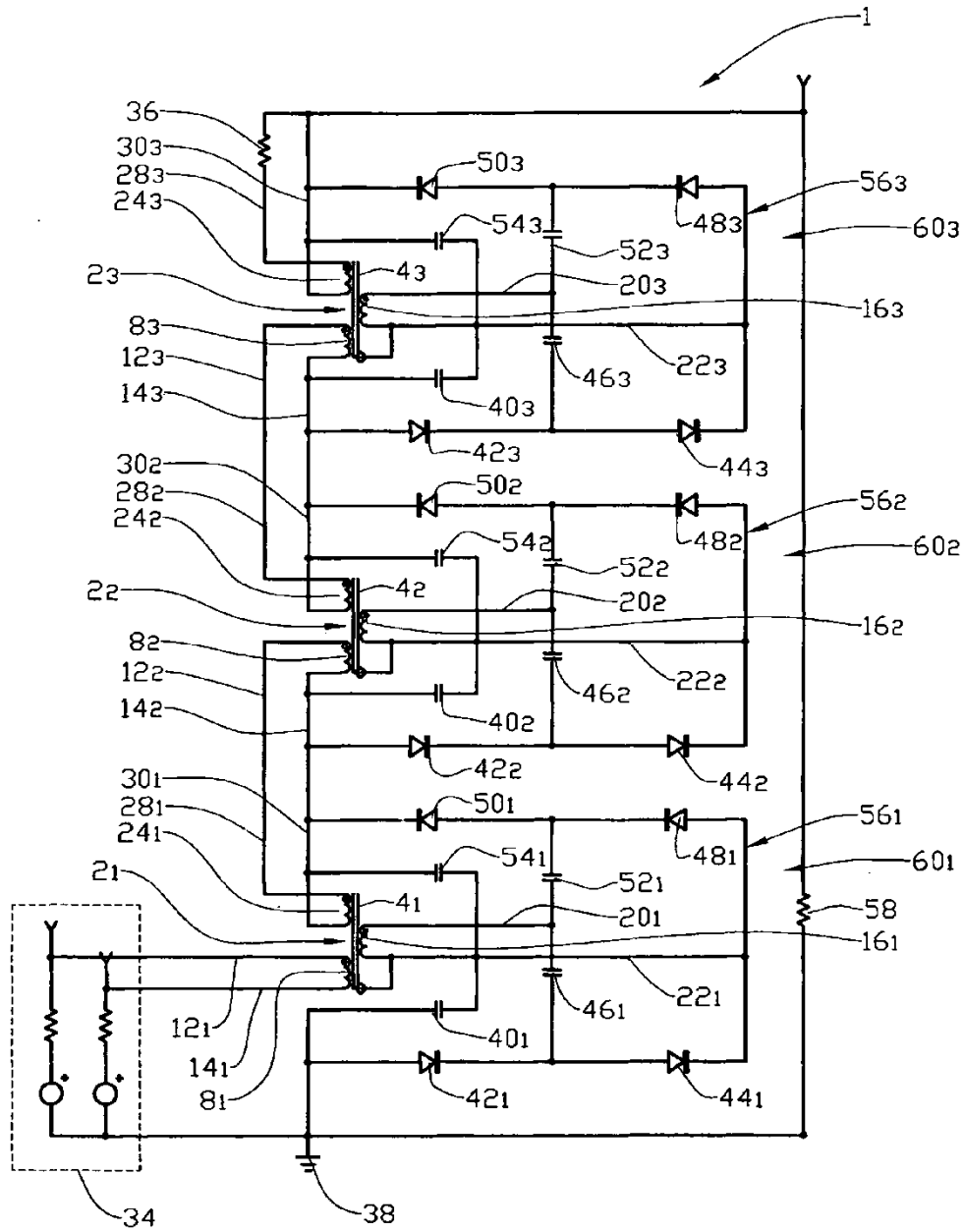


Fig. 3

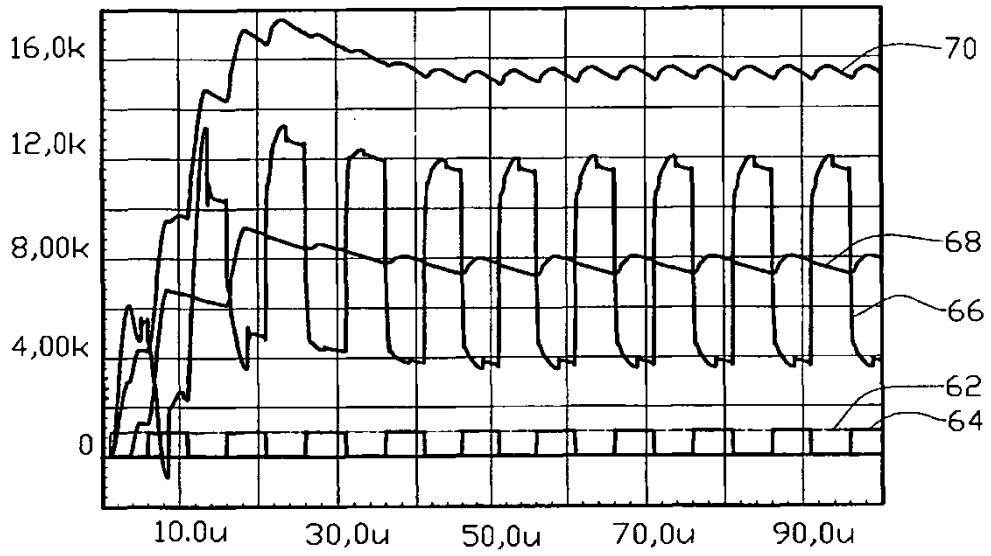


Fig. 4

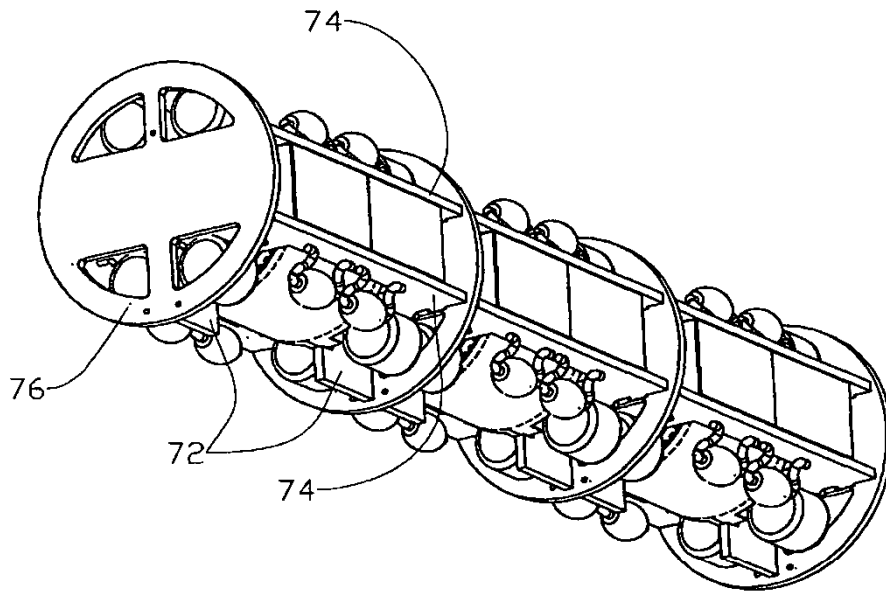


Fig. 5

