

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 014 514**

51 Int. Cl.:

H05B 7/144 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.03.2023** E 23163421 (3)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2024** EP 4436315

54 Título: **Equipo de suministro eléctrico para un dispositivo metalúrgico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.04.2025

73 Titular/es:

BADISCHE STAHL-ENGINEERING GMBH
(100.00%)
Robert-Koch-Strasse 13
77694 Kehl, DE

72 Inventor/es:

RIEDINGER, DIRK

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 3 014 514 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

Equipo de suministro eléctrico para un dispositivo metalúrgico

5 La invención se refiere a un equipo de suministro eléctrico para un dispositivo metalúrgico que va a funcionar con energía eléctrica con una carga no lineal, tal como un horno de arco eléctrico con un consumo de energía mayor o igual a 180 MVA.

10 Los equipos de suministro eléctrico para dispositivos metalúrgicos que funcionan con energía eléctrica se conocen por los documentos EP 3 943 853 A1 (US 11,320,203 B2), WO 2021/130791 A1, US 11,346,605 B2, US 2022/0412651 A1, WO 2021/161355 A1, EP 4 110 015 A1, WO 2015/176899 A1, EP 1 026 921 B1 y FR 2 926 182 A1. El documento WO 2007/014535 A1 divulga un sistema de transformadores para un horno de arco eléctrico con tres electrodos que presenta al menos dos transformadores trifásicos triangulados internamente, que pueden conectarse en paralelo a los electrodos y que pueden conectarse y desconectarse dependiendo unos de otros.

15 En el curso de la descarbonización, la industria siderúrgica europea ha iniciado una transformación desde una ruta integrada de producción de acero con altos hornos y convertidores a una ruta de acero eléctrico con hornos de arco eléctrico para chatarra y hierro/esponja de hierro reducido directamente a base de H₂ (también conocido como DRI = *Direct Reduction Iron*) en forma briquetada (también conocido como HBI = *Hot Briquetted Iron*). En Alemania, por ejemplo, el porcentaje de la ruta del acero eléctrico se sitúa actualmente en torno al 30 %. Debido al objetivo de reducción de CO₂, este porcentaje debería aumentar hasta el 100 % a mediados de la década de 2030, en la medida de lo posible. Las masas de colada actuales de los convertidores se sitúan entre 150 y 250 toneladas y no pueden modificarse debido a la necesidad de conservar las cucharas e instalaciones de colada instaladas y a la productividad necesaria. Esto tiene consecuencias en el diseño de los hornos de arco eléctrico que deben sustituir a los convertidores.

20 Es objetivo de la invención mejorar el suministro eléctrico para un dispositivo metalúrgico que va a funcionar con energía eléctrica con una carga no lineal, como un horno de arco eléctrico, en particular para un horno de arco eléctrico que se va a utilizar en una instalación existente con un alto horno y/o convertidor.

30 Este objetivo se resuelve mediante un equipo de suministro eléctrico según la reivindicación 1.

Perfeccionamientos de la invención están especificados en las reivindicaciones dependientes.

35 En el equipo de suministro eléctrico según la reivindicación 1, dos transformadores de horno, pequeños en relación con la potencia total requerida, están conectados en paralelo.

40 En el caso de los transformadores, estructuralmente equivalente significa que los transformadores no difieren en sus características de funcionamiento y que su masa, dimensiones y conexiones son en gran medida las mismas. Este es el caso, por supuesto, de los transformadores de construcción idéntica (idénticos). Por lo tanto, los transformadores estructuralmente equivalentes son preferentemente de construcción idéntica (idénticos). Sin embargo, los transformadores con pequeñas diferencias que no dan lugar a propiedades de funcionamiento diferentes están cubiertos por los transformadores estructuralmente equivalentes. Incluso pequeñas diferencias en las masas, dimensiones o conexiones que no impidan la intercambiabilidad de los transformadores se detectan como estructuralmente similares.

Los dos transformadores de horno estructuralmente equivalentes están diseñados con un devanado secundario abierto y están conectados externamente en triángulo (grupo de conmutación Diii0).

50 Los dos cableados en triángulo externos están conectados en paralelo en sus puntos de esquina, es decir, conectadas de una determinada manera a través de otros conductores. Por lo tanto, los conductores sólo transportan la mitad de la corriente del electrodo en cada lado hasta la conexión de estos conductores.

55 Por lo tanto, el trazado de conductores de la conexión en paralelo en el lado de baja tensión, es decir, la disposición o el trazado de los conductores en el sistema de alto amperaje, puede dimensionarse más pequeño que en el caso en el que toda la corriente de electrodo debe conducirse a través de un conductor en toda su longitud.

60 Este diseño se lleva a cabo, por ejemplo, con una simulación de la red eléctrica utilizando un método especial para el cálculo de campo de campos electromagnéticos. Esto permite calcular con gran precisión las impedancias de todo el sistema de alto amperaje, con todos los efectos Kelvin, y diseñarlas simétricas.

Un diseño simétrico de este tipo conduce por término medio a las mismas propiedades de los tres arcos (potencia, radiación, longitud) y presenta importantes ventajas en el funcionamiento.

65 Como los dos transformadores de horno estructuralmente equivalentes están realizados con un devanado secundario abierto y están conectados externamente en triángulo (grupo de conmutación Diii0), los transformadores de horno son

estructuralmente más sencillos y, por tanto, más fiables, ligeros y pequeños.

Otra ventaja de esta conexión en paralelo de dos transformadores de horno más pequeños estructuralmente equivalentes o de construcción idéntica, en comparación con un transformador de horno con el doble de potencia, consiste en que la producción de transformadores de horno de 90 a 150 MVA es rutinaria en comparación con la producción de transformadores de horno individuales con una potencia de 180 MVA y más. Hay varios fabricantes que pueden construir tales tamaños estándar hasta 120 MVA y algunos hasta 150 MVA.

Tales transformadores con potencias comparativamente inferiores, pero aun así elevadas, superiores o iguales a 90 MVA, también son menos complicados porque, por ejemplo, sólo presentan un núcleo de hierro con bobinados y no tienen potenciadores. Todo el cableado interno es más sencillo. Esto mejora la fiabilidad en comparación con un único transformador con la potencia necesaria.

Las dimensiones y la masa de los transformadores individuales con una potencia comparativamente inferior pero aún elevada, superior o igual a 90 MVA, son considerablemente menores que las de un único transformador de horno grande. Un transformador de horno de 100 MVA tiene una masa total de unas 130 toneladas y es relativamente fácil de transportar, instalar y desmontar, normalmente con la grúa de carga de la acería correspondiente.

Los transformadores de horno que corresponden más o menos a un modelo estándar son más rentables que los transformadores fabricados especialmente y tamaño muy grande. Los costes de producción no varían linealmente con la producción o la masa.

Dado que es muy improbable que ambos transformadores de horno estructuralmente equivalentes fallen al mismo tiempo, un transformador de reserva estructuralmente equivalente es suficiente para el almacenamiento habitual de un transformador de repuesto. Esto significa, por ejemplo, que en lugar de dos gigantescos transformadores de horno de 200 MVA, es decir, uno para el funcionamiento y otro como reserva, basta con tres transformadores de horno estándar de 100 MVA, es decir, dos para el funcionamiento y uno como reserva. Los costes de tres transformadores de horno estándar más pequeños es inferior a los costes de dos transformadores de horno no estándar comparativamente muy grandes. Además, sustituir un transformador defectuoso por el transformador de repuesto también es mucho más fácil que con un solo transformador con el doble de potencia ≥ 180 MVA.

Si los dos transformadores de horno están dispuestos de manera que los conectores en el lado de baja tensión estén enfrentados, se ahorra espacio y se facilita aún más su sustitución en caso de avería.

De la descripción de ejemplos de realización mediante las figuras se describen otras características y funcionalidades. De las figuras muestran:

figura 1 un equipo de suministro eléctrico para un dispositivo metalúrgico que va a funcionar con energía eléctrica con una carga no lineal, a saber, un horno de arco eléctrico, según una primera forma de realización con una barra colectora de horno de media tensión y un consumo de potencia de 200 MVA;

figura 2 un equipo de suministro eléctrico para un dispositivo metalúrgico que va a funcionar con energía eléctrica con una carga no lineal, a saber, un horno de arco eléctrico, según una segunda forma de realización con dos barras colectoras de horno de media tensión y un consumo de potencia de 280 MVA;

figura 3 una representación esquemática de las conexiones eléctricas de una parte de un equipo de suministro eléctrico para un horno de arco eléctrico con dos transformadores de horno estructuralmente equivalentes conectados en paralelo y un horno de arco eléctrico en una forma de realización;

figura 4 un esquema equivalente eléctrico (ESB) del lado secundario con transformadores de hornos conectados en paralelo;

figura 5 una disposición eléctricamente simétrica de conductores de alto amperaje refrigerados por agua en el sistema de alto amperaje del lado secundario de una conexión en paralelo del lado de baja tensión de los conectores de baja tensión del lado de salida de dos transformadores de horno de arco eléctrico estructuralmente equivalentes con cableados en triángulo externos simetrizados; y

figura 6 es una representación esquemática de las conexiones eléctricas de una parte de un equipo de suministro eléctrico eléctrica, que corresponde a la representación de la figura 3 con símbolos de referencia de la figura 5.

La figura 1 muestra un equipo de suministro eléctrico para un dispositivo metalúrgico con una carga no lineal que va a funcionar con energía eléctrica, tal como un horno de arco eléctrico según una primera forma de realización en una vista de línea única simplificada. En la vista de una línea, las tres fases de la tensión debido a la torsión están representadas por una sola línea en lugar de tres. En toda la solicitud y en todas las formas de realización de la invención, las tensiones de entrada y salida de los transformadores son siempre las tres fases, desfasadas 120° , de

ES 3 014 514 T3

una tensión trifásica, a menos que se describa expresamente lo contrario o que sea necesariamente diferente de la tensión de salida para una salida de una sola fase.

5 El equipo de suministro eléctrico presenta una barra colectora de suministro de alta tensión 500, que está conectado al suministro de energía eléctrica general, como una línea de 400 kV 520 o dos líneas de 220 kV 520a, 520b. El suministro de energía eléctrica general proporciona (en cada caso) una tensión trifásica en la línea 520 de 400 kV y en las dos líneas 520a y 520b de 220 kV. El equipo de suministro eléctrico presenta al menos dos transformadores de suministro estructuralmente equivalentes 160, 260, que presentan en cada caso un conector de alta tensión del lado de entrada 160h, 260h para las tres fases y un conector de media tensión del lado de salida 160m, 260m para las tres
10 fases. Las entradas del conector de alta tensión del lado de entrada 160h, 260h están conectadas con la barra colectora de suministro de alta tensión 500.

15 El equipo de suministro eléctrico presenta una barra colectora de horno de media tensión 140. Las salidas del conector de media tensión del lado de salida 160m, 260m de los transformadores de suministro 160, 260 se conectan a la barra colectora de horno de media tensión 140.

El equipo de suministro eléctrico presenta dos transformadores de horno de arco trifásicos 100, 200 estructuralmente equivalentes, en este caso idénticos.

20 La figura 3 muestra esquemáticamente las conexiones eléctricas de una parte del equipo de suministro eléctrico para un horno de arco eléctrico con dos transformadores de horno conectados en paralelo en el lado de salida y un horno de arco eléctrico en una forma de realización. Cada uno de los dos transformadores de horno de arco trifásicos 100, 200 presenta en cada caso un conector de media tensión trifásica en el lado de entrada 1U-100, 1V-100, 1W-100 o 1U-200, 1V-200, 1W-200, como se muestra en la figura 3. Cada uno de los dos transformadores de horno de arco trifásico 100, 200 presenta en cada caso una conexión en triángulo D en el lado de entrada. La barra colectora de
25 horno de media tensión del horno 140 está conectada a los conectores/entradas de media tensión trifásicas del lado de entrada 1U-100, 1V-100, 1W-100 y 1U-200, 1V-200, 1W-200 de los transformadores de horno de arco 100, 200.

30 Tal barra colectora de horno de media tensión es una celda de mando para media tensión, como básicamente también existe en el estado de la técnica, pero en este caso para dos transformadores de horno.

35 Cada uno de los dos transformadores trifásicos de horno de arco 100, 200 presenta en cada caso una conexión trifásica de baja tensión 2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100 o 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200 en el lado de salida y un cableado externo (iii) en el lado de salida. Esto significa que los dos extremos de devanado, es decir, inicio de devanado U1, V1, W1 y final de devanado U2, V2, W2, de los tres devanados U, V, W del lado secundario/lado de salida (lado de baja tensión) de los transformadores de horno de arco trifásico 100, 200 se conducen fuera del transformador hacia el exterior, se señala con iii. Este tipo de conexión o salida también se denomina bobinado abierto.

40 Los conectores de baja tensión del lado de salida 2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100, 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200 de los transformadores de horno de arco 100, 200 están conectados (cableados) en triángulo en una conexión en paralelo 400 en el lado de baja tensión externamente, es decir, fuera de los transformadores, de modo que los flujos de corriente sean simétricos. Para ello, las impedancias de todo el sistema de alto amperaje, es decir, las conexiones en el lado de baja tensión por las que circulan grandes
45 (altos) amperajes, se calculan con todos los efectos de desplazamiento de corriente y se diseñan simétricos.

50 Estos cableados en triángulo externos se realizan mediante conductores de alto amperaje refrigerados por agua que se conectan a tres electrodos 11, 12, 13 del dispositivo metalúrgico (10), como se describe con más detalle a continuación.

55 En detalle, como se muestra en la figura 3, un (primer) inicio de devanado 2U1-100 de un primer devanado del lado secundario 2U del primer transformador de horno de arco 100 de los dos transformadores de horno de arco 100, 200 está conectado a un (tercer) final de devanado 2W2-100 de un tercer devanado del lado secundario 2W del primer transformador de horno de arco 100, un (primer) final del devanado 2U2-100 del primer devanado del lado secundario 2U del primer transformador de horno de arco 100 está conectado con un (segundo) inicio de devanado 2V1-100 de un segundo devanado del lado secundario 2V del primer transformador de horno de arco 100, y un (segundo) final de devanado 2V2-100 del segundo devanado del lado secundario 2V del primer transformador de horno de arco 100 está conectado a un (tercer) inicio de devanado 2W1-100 del tercer devanado del lado secundario 2W del primer transformador de horno de arco 100.

60 Del mismo modo, en el segundo transformador de horno de arco 200 de los dos transformadores de horno de arco 100, 200, como también se muestra en la figura 3, un (primer) inicio de devanado 2U1-200 de un primer devanado del lado secundario 2U del segundo transformador de horno de arco 200 está conectado a un (tercer) final de devanado 2w2-200 de un tercer devanado del lado secundario 2W del segundo transformador de horno de arco 200, un (primer) final de devanado 2U2-200 del primer devanado del lado secundario 2U del segundo transformador de horno de arco 200 con un (segundo) inicio de devanado 2V1-200 de un segundo devanado del lado secundario 2V del segundo
65 transformador de horno de arco 200.

ES 3 014 514 T3

transformador de horno de arco 200, y un (segundo) final de devanado 2V2-200 del segundo devanado del lado secundario 2V del segundo transformador de horno de arco 200 está conectado con un (tercer) inicio de devanado 2W1-200 del tercer devanado del lado secundario 2W del segundo transformador de horno de arco 200.

5 Los conectores de baja tensión o inicios de devanado y finales de devanado 2U1-100 y 2W2-100, 2U2-100 y 2V1-100, 2V2-100 y 2W1-100 del primer transformador de horno de arco 100 conectados por parejas entre sí de manera correspondiente, están conectados en paralelo a las correspondientes conectores de baja tensión o inicios de devanado y finales de devanado 2U1-200 y 2W2-200, 2U2-200 y 2V1-200, 2V2-200 y 2W1-200 del segundo transformador de horno de arco 200 conectados por parejas entre sí, es decir el inicio de devanado 2U1-100 y el final de devanado 2W2-100 se conectan en paralelo en un nodo 2 con el inicio de devanado 2U1-200 y el final de devanado 2W2-200, el final de devanado 2U2-100 y el inicio de devanado 2V1-100 se conectan en paralelo en un nodo 1 con el fin de devanado 2U2-200 y el inicio de devanado 2V1-200, y el fin de devanado 2V2-100 y el inicio de devanado 2W1-100 están conectados en paralelo en un nodo 3 con el final de devanado 2V2-200 y el inicio del devanado 2W1-200, como se muestra en la figura 3. En esta conexión en paralelo del lado de baja tensión 400 fuera de los transformadores se sitúan las tensiones correspondientes en los nodos 1, 2 y 3.

Un horno de arco eléctrico 10, que va a funcionar con corriente trifásica, presenta tres electrodos 11, 12, 13. Estos nodos 1, 2, 3 del circuito paralelo 400 están conectados a los electrodos 11, 12, 13 del horno de arco eléctrico 10 a través de las líneas 111, 112, 113.

El circuito paralelo 400 y el horno de arco eléctrico 10 se muestran esquemáticamente en la figura 1. En la figura 1, sólo se muestra un terminal de salida de los transformadores de horno 100, 200 y un electrodo del horno de arco 10 y una línea de acuerdo con la representación en una sola línea, pero por supuesto hay tres en cada caso de acuerdo con el funcionamiento trifásico.

La figura 4 muestra un diagrama de circuito eléctrico equivalente del lado secundario de los transformadores de horno conectados en paralelo de las figuras 1 y 3. Hay dos fuentes de tensión U_{12-1} , U_{12-2} , y U_{23-1} , U_{23-2} , y U_{31-1} , U_{31-2} en cada caso para cada rama de triángulo de la conexión de transformador externa del lado secundario, en lugar de una sola fuente de tensión en cada caso como en el caso normal con un solo transformador de horno. Las casillas mostradas aparecen junto a las fuentes de tensión en la figura 4 representan las impedancias desacopladas de los conductores de alto amperaje. Las casillas señaladas con I 11, I 12 y I 13 representan las impedancias de los electrodos correspondientes 11, 12 y 13 y sus líneas de conexión 111, 112 y 113 a los nodos 1, 2 y 3. El nodo señalado con 0 representa el punto neutro eléctrico en el material de fundición que está conectado conductivamente a la tierra del recipiente de horno del horno de arco 10.

El equipo de suministro eléctrico para un dispositivo metalúrgico que va a funcionar con energía eléctrica de la figura 1 presenta los dos transformadores de suministro 160, 260 estructuralmente equivalentes, preferentemente idénticos, que tienen en cada caso una potencia de 100 MVA, que se refiere al tipo de refrigeración ONAN (*Oil Natural Air Natural*). El modo de refrigeración ONAF (*Oil Natural Air Forced*), con el que también están equipados estos transformadores (ventiladores instalados), aumenta la potencia extraíble en un valor especificado, por ejemplo, +20 % o +30 %.

Un tercer transformador de alimentación 360 estructuralmente equivalente, preferentemente idéntico, se instala preferentemente como reserva para que, si falla uno de los otros dos transformadores de suministro 160, 260, pueda ser sustituido por el tercer transformador de suministro 360 con un tiempo de inactividad mínimo.

Los transformadores de suministro 160, 260 transforman la tensión de entrada de 400 kV o 220 kV a una media tensión habitual de 33 kV a 35 kV para el funcionamiento de transformadores de horno en sus conectores de media tensión del lado de salida 160m, 260m para las tres fases. Estos están conectados a la barra colectora de horno de media tensión 140.

En un sistema de alimentación de este tipo, sólo hay que ocuparse de componentes estándar, una ventaja evidente para el mantenimiento eléctrico. Un compensador de corriente reactiva basado en semiconductores se conecta a la barra colectora de horno de media tensión 140 para compensar las corrientes reactivas y está diseñado, por ejemplo, como compensador STATCOM 150 con 220 MVA (*Static Synchronous Compensator* = STATCOM). El STATCOM 150 está conectado con la barra colectora de horno de media tensión 140 y puede, por ejemplo, opcional y ventajosamente, utilizarse también para compensar en cierta medida las corrientes reactivas de la barra colectora general (trenes de laminación, etc.) si esta está conectada a la misma barra colectora de alta tensión que los hornos de arco. El STATCOM es una tecnología probada y capaz de cumplir los requisitos de los valores límite del suministro de energía (parpadeos, armónicos, desequilibrio).

Uno o más hornos de cuchara (*Ladle Furnace* =LF) también pueden estar conectados a la barra colectora de horno de media tensión 140. Más concretamente, dado el caso, uno o más transformadores de horno de cuchara correspondientes para el horno u hornos de cuchara pueden conectarse a la barra colectora de horno de media tensión 140. En función de la potencia de los hornos de cuchara, debe ajustarse dado el caso la potencia de los transformadores de suministro 160, 260.

ES 3 014 514 T3

- El equipo de suministro eléctrico presenta dos transformadores de horno de arco trifásicos 100, 200, estructuralmente equivalentes y preferentemente idénticos, que tienen en cada caso una potencia de 100 MVA. Los transformadores de horno de arco 100, 200 están refrigerados por OFWF (*Oil Forced Water Forced*, forzado por aceite, forzado por agua). Un tercer transformador de horno de arco trifásico 300 estructuralmente equivalente, preferentemente idéntico, se instala preferentemente como reserva.
- Cada uno de los transformadores de horno de arco 100, 200 se alimenta por separado y tiene un disyuntor de salida en la barra colectora de horno de media tensión 140 común y un interruptor de horno 110, 210.
- Lo ideal es utilizar un interruptor de horno para evitar la fuerte corriente de irrupción del transformador, que de otro modo siempre se produce. Esto prolonga la vida útil de los transformadores y reduce la carga de todo el sistema de alimentación.
- En la forma de realización mostrada, los dos transformadores de horno de arco trifásico 100, 200 están conectados en cada caso a la barra colectora de horno de media tensión 140 a través de un interruptor de horno tal como un interruptor VCB (VCB = *Vacuum Circuit Breaker*, disyuntor de vacío) 110, 210.
- Los transformadores de horno de arco trifásicos habituales presentan conmutadores graduados que pueden utilizarse para ajustar las tensiones secundarias del transformador en el sistema de alto amperaje bajo carga. Debe garantizarse la sincronización de los conmutadores graduados de ambos transformadores de horno de arco. Esto no es un problema en términos de tecnología de control.
- Los dos transformadores de horno están dispuestos preferentemente de modo que los conectores del lado de baja tensión estén enfrentados entre sí entre los transformadores de horno, como se muestra en la figura 3. Los transformadores de horno están colocados a este respecto en un lateral del horno de arco 10. Esto no sólo ahorra espacio, sino que también facilita su sustitución. La figura 3 muestra barras colectoras 100s para el un transformador de horno 100, mediante las cuales el correspondiente transformador de horno 100 puede desplazarse a su posición. En la figura 3, se muestran barras colectoras 200s para el otro transformador de horno 200, mediante las cuales el otro transformador de horno 200 correspondiente se puede desplazar a su posición, que es opuesta a la posición del un transformador de horno 100 como se describe en el lado lateral del horno 10. En la figura 3, los sistemas de refrigeración están etiquetados con 100k y 200k. En los transformadores de horno 100, 200 mostrados en la figura 3, los sistemas de refrigeración 100k y 200k están dispuestos en un lado lateral de los transformadores de horno 100, 200, pero, por supuesto, también es posible utilizar transformadores de horno 100, 200 en los que los sistemas de refrigeración estén presentes en ambos lados o en otro lugar.
- Teóricamente, los transformadores de horno también podrían colocarse uno al lado del otro de forma convencional. En este caso, se requiere una anchura estructural esencialmente mayor.
- La masa de un transformador de horno de 100 MVA es de aproximadamente 130 toneladas. Por lo tanto, un transformador de horno de este tipo 100, 200 es relativamente fácil de transportar, instalar y retirar, por ejemplo, con una grúa móvil normal y normalmente incluso con la grúa de carga de la acería existente.
- Dado que el tamaño de cuchara de las acerías integradas oscila entre 180 y 250 toneladas, por ejemplo, 220 toneladas de acero líquido, también es necesario cortar 220 toneladas de acero líquido de un solo horno de arco eléctrico (EAF) 10 para la sustitución prevista de los convertidores. En este caso, se requieren potencias eléctricas muy grandes para fundir la chatarra y el DRI (HBI) de modo que se pueda alcanzar los TTT (*tap to tap time* = tiempo entre dos tomas) requeridos, en particular porque los convertidores habitualmente son más rápidos que los EAF. En el funcionamiento de un EAF con una masa de colada de 180 a 250 toneladas, se necesitan potencias eléctricas de 180 MVA y más. Un transformador de horno de 180 MVA, por ejemplo, estaría dimensionado para un amperaje máximo de 115 kA, lo que requeriría electrodos de 750 mm de diámetro.
- Un transformador de horno individual de 180 MVA ya tendría una masa de al menos 200 toneladas y un amperaje máximo de unos 115 kA. Las secciones transversales de conductor necesarias en el transformador para amperajes de 100 kA y más son problemáticas debido al efecto Kelvin y al enfriamiento.
- La conexión en paralelo descrita de dos transformadores de horno idénticos con conexión en triángulo externa y paralela Diii reduce a la mitad el amperaje en los conductores paralelos correspondientes hasta los nodos 1, 2, 3.
- Es posible una configuración eléctricamente simétrica del sistema de transformador de horno paralelo. El objetivo es que cada devanado de transformador transporte la misma corriente en derivación delta para que los devanados de transformador se carguen simétricamente con las mismas corrientes de electrodos. El sistema de alto amperaje del horno de arco debe tenerse en cuenta para un diseño final de la geometría de los cables. Este diseño se lleva a cabo, por ejemplo, con una simulación de la red eléctrica utilizando un método especial para el cálculo de campo de campos electromagnéticos. Esto permite calcular con gran precisión las impedancias de todo el sistema de alto amperaje, con todos los efectos Kelvin, y diseñarlas simétricas. Un ejemplo de este procedimiento es el método de redes finitas (*Finite*

Network Method/ FNM) (véase, por ejemplo, Abbas Farschtschi, "*Neuartiges Berechnungssystem löst elektromagnetische Probleme an Elektrolichtbogenöfen*", stahl und eisen 131 (2011) n.º 6/7, páginas 93 a 104, o Abbas Farschtschi, "*An advanced computation system to solve electromagnetic problems in arc furnaces*" www.steeltimesint.com, Steel Times International, septiembre de 2011). Eléctricamente simétrico significa en este caso $\leq 3\%$. La simetría eléctrica en porcentaje se calcula a partir de las reactancias en estrella equivalentes de la disposición de conductores del sistema de alto amperaje X_1, X_2, X_3 a $U_x = (X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}) / X_{\text{media}}$, donde X designa la reactancia en mOhmios. El valor U_x está relacionado con la configuración estándar del sistema de alto amperaje, que presenta idénticas longitudes de electrodo por debajo de los soportes.

10 La figura 5 muestra una disposición eléctricamente simétrica de conductores de alto amperaje refrigerados por agua en el sistema de alto amperaje del lado secundario para una conexión en paralelo del lado de baja tensión de los conectores de baja tensión del lado de salida de dos transformadores de horno de arco con cableados en triángulo externos simétricos, como se muestra en la figura 3, que se ha diseñado mediante una simulación de las corrientes en los conductores. Los mismos elementos que en la figura 3 están etiquetados con los mismos símbolos de referencia
 15 y no se repite su descripción. Los conductores de alto amperaje refrigerados por agua suelen ser tubos de cobre diseñados para una densidad de corriente media de 6 A/mm². Los espesores de pared y los diámetros de los tubos de cobre se seleccionan en consecuencia. Por ejemplo, pueden seleccionarse tubos con espesores de pared de 10 a 15 mm, como 12,5 mm, y diámetros de 140 mm a 250 mm, como 140 mm o 160 mm o 180 mm o 200 mm o 220 mm o 240 mm, en función del amperaje. Los tubos se colocan preferentemente paralelos horizontalmente en al menos dos
 20 planos horizontales paralelos y verticalmente en al menos dos planos verticales paralelos, tanto por la suspensión del cable como para mantener las distancias correspondientes entre los tubos con las mismas longitudes en la medida de lo posible. En la figura 5 hay cuatro planos horizontales paralelos y cinco planos verticales paralelos. Sin embargo, el número de estos planos no es decisivo y puede elegirse en función del diseño.

25 En detalle, como se muestra en la figura 5, el (primer) inicio de devanado 2U1-100 del primer devanado del lado secundario 2U del primer transformador de horno de arco 100 de los dos transformadores de horno de arco 100, 200 está conectado al (tercer) final de devanado 2W2-100 del tercer devanado del lado secundario 2W del primer transformador de horno de arco 100 a través de un tubo de cobre 21-100 y un tubo de cobre 22-100 conectado a este, el (primer) final de devanado 2U2-100 del primer devanado del lado secundario 2U del primer transformador de horno
 30 de arco 100 está conectado con el (segundo) inicio de devanado 2V1-100 del segundo devanado del lado secundario 2V del primer transformador de horno de arco 100 a través de un tubo de cobre 11-100 y un tubo de cobre 12-100 conectado a este, y el (segundo) final de devanado 2V2-100 del segundo devanado del lado secundario 2V del primer transformador de horno de arco 100 está conectado a través de un tubo de cobre 31-100 y un tubo de cobre 32-100 conectado a este con el (tercer) inicio de devanado 2W1-100 del tercer devanado del lado secundario 2W del primer transformador de horno de arco 100.
 35

Del mismo modo, en el segundo transformador de horno de arco 200 de los dos transformadores de horno de arco 100, 200, como también se muestra en la figura 3, el (primer) inicio de devanado 2U1-200 del primer devanado del lado secundario 2U del segundo transformador de horno de arco 200 está conectado al (tercer) final de devanado 2W2-200 del tercer devanado del lado secundario 2W del segundo transformador de horno de arco 200 a través de un tubo de cobre 21-200 y un tubo de cobre 22-200 conectado a este, el (primer) final de devanado 2U2-200 del primer devanado del lado secundario 2U del segundo transformador de horno de arco 200 está conectado al (segundo) inicio de devanado 2V1-200 del segundo devanado de lado secundario 2V del segundo transformador de horno de arco 200 a través de un tubo de cobre 11-200 y un tubo de cobre 12-200 conectado a este, y el (segundo) final de devanado 2V2-200 del segundo devanado de lado secundario 2V del segundo transformador de arco 200 está conectado a través de un tubo de cobre 31-200 y un tubo de cobre 32-200 conectado al (tercer) inicio del devanado 2W1-200 del tercer devanado secundario 2W del segundo transformador de arco 200.
 40
 45

Los tubos de cobre conectados de manera correspondiente por parejas entre sí o inicios de devanado y finales de devanado 2U1-100 y 2W2-100, 2U2-100 y 2V1-100, 2V2-100 y 2W1-100 del primer transformador de horno de arco 100 están conectados en paralelo con los tubos de cobre correspondientes conectados por parejas entre sí o inicios de devanado y finales de devanado 2U1-200 y 2W2-200, 2U2-200 y 2V1-200, 2V2-200 y 2W1-200 del segundo transformador de horno de arco 200 al estar conectado un tubo de cobre 2-100 con los tubos de cobre 21-100 y 22-100 y el nodo 2 y un tubo de cobre 2-200 con los tubos de cobre 21-200 y 22-200 y el nodo 2, al estar conectado un tubo de cobre 1-100 con los tubos de cobre 11-100 y 12-100 y el nodo 1 y un tubo de cobre 1-200 con los tubos de cobre 11-200 y 12-200 y el nodo 1, al estar conectado un tubo de cobre 3-100 con los tubos de cobre 31-100 y 32-100 y el nodo 3 y un tubo de cobre 3-200 con los tubos de cobre 31-200 y 32-200 y el nodo 3, tal como se muestra en la figura 5.
 50
 55

60 La figura 6 muestra la misma representación esquemática de las conexiones eléctricas de la parte del equipo de suministro eléctrico mostrada en la figura 3, con símbolos de referencia de la figura 5, para aclarar la correspondencia de las líneas eléctricas de la figura 3 y los tubos de cobre de la figura 5.

65 La figura 2 muestra un equipo de suministro eléctrico para un dispositivo metalúrgico con una carga no lineal que va a funcionar con energía eléctrica, tal como un horno de arco eléctrico según una segunda forma de realización. Los mismos elementos que en la figura 1 están etiquetados con los mismos símbolos de referencia y no se repite su

descripción.

La segunda forma de realización está diseñada para un EAF muy grande con una masa de colada de 220 toneladas, por ejemplo, y un consumo de potencia de hasta 280 MVA. Por tanto, los electrodos presentan diámetros de 750 mm a 800 mm. No existen electrodos de mayor tamaño en el mercado. Pero si el tamaño de horno y amperajes lo requieren y se dispusiera de electrodos más grandes con un diámetro de 850 mm, por ejemplo, podrían utilizarse en caso necesario. Como puede verse en la figura 2, los dos transformadores de horno de arco 100, 200, estructuralmente equivalentes y preferentemente idénticos, tienen una potencia de 140 MVA en cada caso. Los dos transformadores de suministro 160 y 260 tienen una potencia de 150 MVA en cada caso. La barra colectora de suministro de alta tensión 500 está conectada a la red eléctrica general, por ejemplo a través de una línea de 400 kV 520 (o dos líneas de 220 kV).

A diferencia de la primera forma de realización de la figura 1, en la segunda forma de realización de la figura 2 dos barras colectoras de horno de media tensión 140a, 140b están previstos de compensadores de corriente reactiva basados en semiconductores (SVC+) separados 150a, 150b en cada caso con 140 MVA en cada caso. También pueden diseñarse, por ejemplo, como compensación STATCOM con 140 MVA en cada caso.

Uno de los dos transformadores de suministro 160, 260 está conectado en cada caso con su conector de media tensión del lado de salida 160m, 260m a una correspondiente de las barras colectoras de horno de media tensión 140a, 140b, como puede verse claramente en la figura 2, es decir, el transformador de suministro 160 con la barra colectora de horno de media tensión 140a y el transformador de suministro 260 con la barra colectora de horno de media tensión 140b.

La estructura de los dos transformadores de horno de arco 100, 200, estructuralmente equivalentes y preferentemente idénticos, y del circuito paralelo en el lado de baja tensión 400 ya se ha explicado en las figuras 1, 3, 4, 5.

El equipo de suministro eléctrico funciona habitualmente con una tensión media en el intervalo de 25 kV a 40 kV, preferentemente de 30 kV a 35 kV, más preferentemente de 33 kV a 35 kV, o los transformadores de horno están diseñados para ello.

El equipo de suministro eléctrico se hace funcionar habitualmente con una tensión baja en el intervalo de 1000 V a 2000 V, preferentemente de 1100 V a 1800 V, aún más preferentemente de 1100 V a 1600 V, como en un intervalo de 1000 V a 1400 V o en un intervalo de 1100 V a 1600 V, o los transformadores de horno están diseñados para ello. El rango de tensión para la tensión baja se refiere a este respecto a los posibles ajustes de los transformadores de horno mediante conmutadores graduados.

El equipo de suministro eléctrico se hace funcionar habitualmente con una alta tensión en el intervalo de 400 kV a 150 kV, preferentemente de 400 a 380 kV o de 180 kV a 220 kV, o los transformadores de suministro están diseñados para ello.

Con el equipo de suministro eléctrico descrito, es posible hacer funcionar EAF muy grandes con masas de colada de ≥ 180 toneladas, tales como 200 toneladas o 220 toneladas o 250 toneladas, evitando a este respecto las desventajas de los transformadores de hornos muy grandes.

En principio, pueden fabricarse transformadores de horno para hornos de arco trifásicos con potencias superiores a 180 MVA, y algunos ya se han instalado. El mayor transformador de horno construido tiene una potencia de unos 300 MVA. Sin embargo, tales unidades gigantescas tienen importantes desventajas:

1) La producción no es rutinaria y es muy complicada. Hay muy pocos fabricantes capaces de construir tales dimensiones de forma fiable. El tamaño de construcción está limitado por la capacidad de grúa de la planta de fabricación y el tamaño de los hornos de secado de piezas activas. Además, tales transformadores de horno son especialidades que requieren conocimientos particulares de ingeniería y fabricación, y el mercado de estos transformadores de horno es reducido.

2) Tales potencias tan elevadas siempre requieren un diseño de circuito intermedio (amplificador), que tiene dos núcleos de hierro con bobinados y, por tanto, es de construcción grande y muy pesada.

3) La masa total de estos transformadores es de al menos 240 toneladas. Las grandes dimensiones externas también son problemáticas. Esto complica mucho el transporte desde el fabricante hasta la acería.

4) Las secciones transversales de conductor requeridas de los devanados para más de 100 kA de corriente de electrodo requieren devanados correspondientemente grandes, lo que dificulta una refrigeración fiable.

5) Los amperajes en el plano de media tensión son tan elevados (por ejemplo, 3500 A con 200 MVA a 33 kV) que pueden ser necesarias dos celdas de mando de horno paralelas. Los cables de media tensión deben dimensionarse en consecuencia.

5 6) Aún más problemáticos son el transporte, la instalación y la retirada de estas unidades. Debido a la integración de las nuevas acerías de horno de arco que van a instalarse en acerías integradas ya existentes, el espacio disponible suele ser muy limitado. Esto hace que sea muy difícil o incluso imposible cambiar posteriormente un transformador de horno. Por ejemplo, podría ser necesaria una grúa móvil de 1000 toneladas para elevar un transformador por encima del tejado de la nave. La disponibilidad de estas grúas especiales es muy limitada y los tiempos de espera de 6 meses son bastante habituales.

10 7) Cuanto más grande y complicado es un transformador, mayor es en principio su susceptibilidad a los fallos. Más sencillo es más fiable. La experiencia demuestra que los transformadores de horno pueden fallar en cualquier momento o deben detenerse antes de que se produzca un fallo fatal para que, en principio, puedan repararse. A continuación, la reserva debe instalarse rápidamente. Por lo tanto, se requiere una reserva idéntica. Sin embargo, los gigantes de los transformadores de horno prácticamente sólo pueden repararse in situ, ya que transportarlos de vuelta a la fábrica de transformadores es demasiado costoso, en particular si el transformador procede del extranjero. La reparación o sustitución in situ de los devanados y la posterior prueba de alta tensión serían muy costosas. En el caso especial de una reserva instalada, se necesitaría una caseta de transformador muy grande, que tendría que soportar unas 480 toneladas.

20 Por lo tanto, se dan las ventajas significativas de una conexión en paralelo de dos transformadores de horno más pequeños estructuralmente equivalentes y preferentemente idénticos. La producción de transformadores de horno de, por ejemplo, 100... 120 MVA son rutinarios en comparación. Hay más fabricantes que pueden construir estos tamaños estándar. Evidentemente, estos transformadores son menos complicados, ya que sólo tienen un núcleo de hierro con devanados (sin amplificadores). Todo el cableado interno es más sencillo. Esto mejora la fiabilidad. Las dimensiones y la masa son esencialmente menores. Un transformador de horno de 100 MVA tiene una masa total de unas 130 toneladas y es relativamente fácil de transportar, instalar y desmontar. Los transformadores de horno que corresponden a una norma son más rentables. Como los transformadores de horno están realizados con un devanado secundario abierto y se conectan externamente en triángulo (grupo de conmutación Diii0), son estructuralmente más sencillos, fiables, ligeros y pequeños. Las dos conexiones en triángulo externas se conectan en paralelo en sus puntos de esquina. Hasta que se conectan estos conductores, cada lado transporta sólo la mitad de corriente de electrodo.

25 La disposición o el guiado de los conductores en el sistema de alto amperaje puede diseñarse con una simulación de modo que todo el sistema de alto amperaje sea eléctricamente simétrico. En promedio, esto conduce a las mismas propiedades de los tres arcos (potencia, radiación, longitud) y tiene importantes ventajas operativas. Es muy poco probable que ambos transformadores de horno fallen al mismo tiempo. Por lo tanto, basta con una reserva estructuralmente equivalente, preferentemente idéntica.

35 El consumo de potencia máximo del dispositivo metalúrgico es preferentemente inferior o igual a 320 MVA, más preferentemente inferior o igual a 280 MVA, incluso más preferentemente inferior o igual a 240 MVA.

40 Las disposiciones para el suministro de alta tensión-media tensión descritas en relación con las figuras 1 y 2 también pueden sustituirse por otras disposiciones, ya que la configuración específica de las disposiciones para el suministro de media tensión-alta tensión no es importante para la configuración en el lado de baja tensión descrito y reivindicado de los transformadores del horno y su cableado.

45 Se subraya explícitamente que todas las características divulgadas en la descripción y/o las reivindicaciones deben considerarse separadas e independientes entre sí con el fin de la divulgación original, así como con el fin de limitar la invención reivindicada independientemente de las combinaciones de características en las formas de realización y/o las reivindicaciones. Se declara explícitamente que todas las indicaciones de intervalos o indicaciones de grupos de unidades revelan cada posible valor intermedio o subgrupo de unidades a efectos de la divulgación original, así como con el fin de limitar la invención reivindicada, en particular también como límite de una indicación de intervalos.

REIVINDICACIONES

1. Equipo de suministro eléctrico para un dispositivo metalúrgico con carga no lineal que va a funcionar con energía eléctrica, que presenta un consumo de potencia máximo superior o igual a 180 MVA, tal como un horno de arco eléctrico con un consumo de potencia superior o igual a 180 MVA, con
- al menos dos transformadores de horno trifásicos (100, 200) estructuralmente equivalentes con una potencia de salida superior o igual a 90 MVA, que presentan en cada caso un conector de media tensión trifásico en el lado de entrada (1U-100, 1V-100, 1W-100; 1U-200, 1V-200, 1W-200) y un cableado en triángulo (D) en el lado de entrada y un conector de baja tensión trifásico en el lado de salida (2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100; 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200) y un cableado externo (iii) en el lado de salida, al menos una barra colectora de horno de media tensión (140; 140a, 140b) que está conectada a los conectores de media tensión del lado de entrada (1U-100, 1V-100, 1W-100; 1U-200, 1V-200, 1W-200) de los transformadores de horno (100, 200), y una conexión en paralelo en el lado de baja tensión (400) de los conectores de baja tensión en el lado de salida (2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100; 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200) de los transformadores de horno (100, 200) con cableados en triángulo externos simetrizados mediante conductores de alto amperaje refrigerados por agua, que pueden conectarse a los electrodos (11, 12, 13) del dispositivo metalúrgico (10).
2. Equipo de suministro eléctrico según la reivindicación 1, que presenta además
- una barra colectora de suministro de alta tensión (500), y
- al menos dos transformadores de suministro estructuralmente equivalentes (160, 260) con una potencia de salida superior o igual a 90 MVA que presentan en cada caso un conector de alta tensión del lado de entrada (160h, 260h) y un conector de media tensión del lado de salida (160m, 260m), cuyas entradas de alta tensión están conectadas a la barra colectora de suministro de alta tensión (500), en la que los conectores de media tensión del lado de salida (160m, 260m) de los transformadores de suministro (160, 260) están conectados a la barra colectora de horno de media tensión (140; 140a, 140b).
3. Equipo de suministro eléctrico según la reivindicación 1, que presenta al menos dos barras colectoras de horno de media tensión (140a, 140b), de las cuales una está conectada respectivamente a un conector de media tensión del lado de entrada (1U-100, 1V-100, 1W-100; 1U-200, 1V-200, 1W-200) de un transformador de horno (100, 200) correspondiente en cada caso.
4. Equipo de suministro eléctrico según la reivindicación 3, que presenta además
- una barra colectora de suministro de alta tensión (500), y
- al menos dos transformadores de suministro estructuralmente equivalentes (160, 260) con una potencia de salida superior o igual a 90 MVA que presentan en cada caso un conector de alta tensión del lado de entrada (160h, 260h) y un conector de media tensión del lado de salida (160m, 260m), cuyas entradas de alta tensión están conectadas a la barra colectora de suministro de alta tensión (500), en la que un conector de media tensión del lado de salida (160m, 260m) respectivamente de un transformador de suministro (160, 260) correspondiente está conectado respectivamente a una barra colectora de horno de media tensión (140a, 140b) correspondiente respectivamente.
5. Equipo de suministro eléctrico según una de las reivindicaciones 1 a 4, que presenta además al menos un compensador de corriente reactiva (150; 150a, 150b) por barra colectora de horno de media tensión (140; 140a, 140b), de los cuales uno en cada caso está conectado a una barra colectora de horno de media tensión (140; 140a, 140b) correspondiente respectivamente,
- en el que el compensador o los compensadores de corriente reactiva están configurados preferentemente como compensadores de corriente reactiva basados en semiconductores.
6. Equipo de suministro eléctrico según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que
- la conexión en paralelo del lado de baja tensión (300) de los conectores de baja tensión del lado de salida (2U1-100, 2U2-100, 2V1-100, 2V2-100, 2W1-100, 2W2-100; 2U1-200, 2U2-200, 2V1-200, 2V2-200, 2W1-200, 2W2-200) de los transformadores de horno (100, 200) presenta conductores de alto amperaje refrigerados por agua para el cableado en triángulo externo simetrizado eléctricamente, que están realizados como tubos de cobre refrigerados por agua (11-100, 12-100, 1-100, 11-200, 12-200, 1-200, 21-100, 22-100, 2-100, 21-200, 22-200, 2-200, 31-100, 32-100, 3-100, 31-200, 32-200, 3-200), que están conectados en un bucle de longitud predeterminada respectivamente para cada una de las tres fases, de modo que las longitudes predeterminadas de los conductores de alto amperaje dentro de los tres bucles garantizan la simetrización eléctrica.
7. Equipo de suministro eléctrico según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que
- los al menos dos transformadores de horno trifásicos (100, 200) están dispuestos uno frente al otro en un lado lateral del dispositivo metalúrgico, como el horno de arco eléctrico, de modo que los conectores de baja tensión trifásicos del lado de salida están enfrentados y la conexión en paralelo del lado de baja tensión (400) de los conectores de baja

ES 3 014 514 T3

tensión del lado de salida está dispuesta entre los transformadores de horno (100, 200).

5 8. Equipo de suministro eléctrico según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las al menos dos barras colectoras de horno de media tensión (140, 240) están conectados en cada caso a un conector de media tensión del lado de entrada de un transformador de horno de cuchara correspondiente.

10 9. Equipo de suministro eléctrico según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que los al menos dos transformadores de horno trifásicos (100, 200) estructuralmente equivalentes tienen un diseño idéntico.

10 10. Equipo de suministro eléctrico según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que los al menos dos transformadores de horno trifásicos (100, 200) estructuralmente equivalentes son transformadores de horno de arco trifásicos (100, 200).

Fig. 1

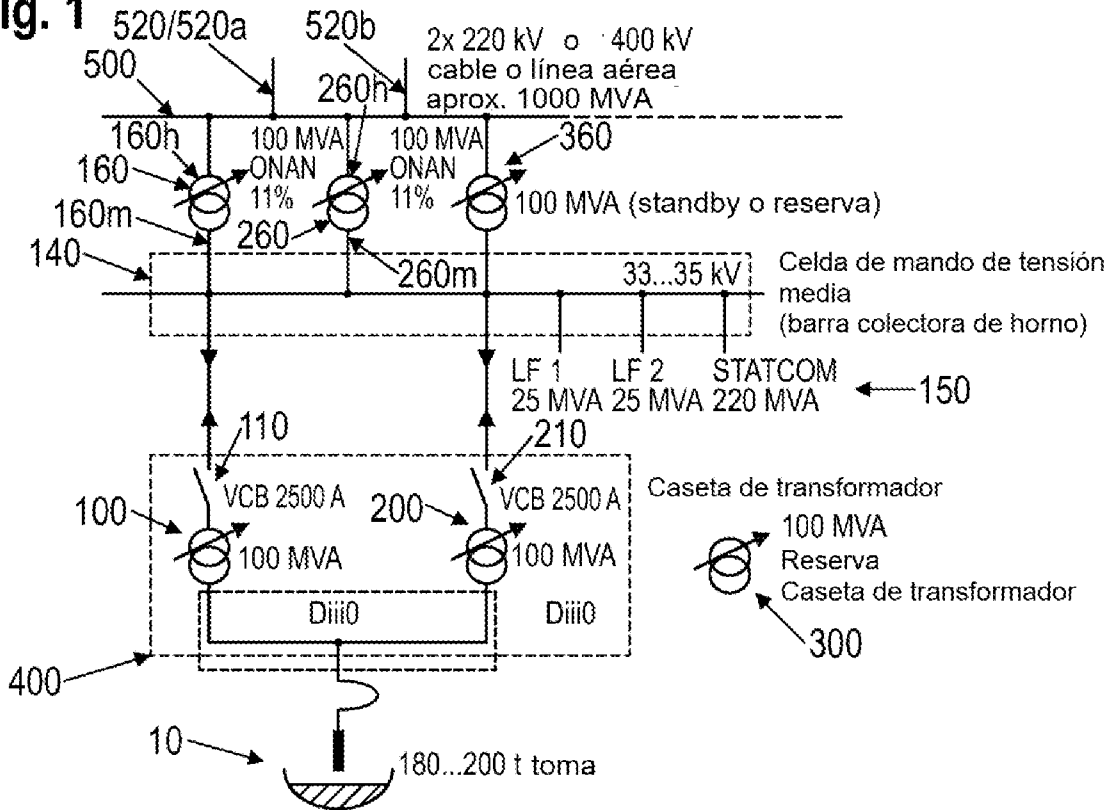


Fig. 2

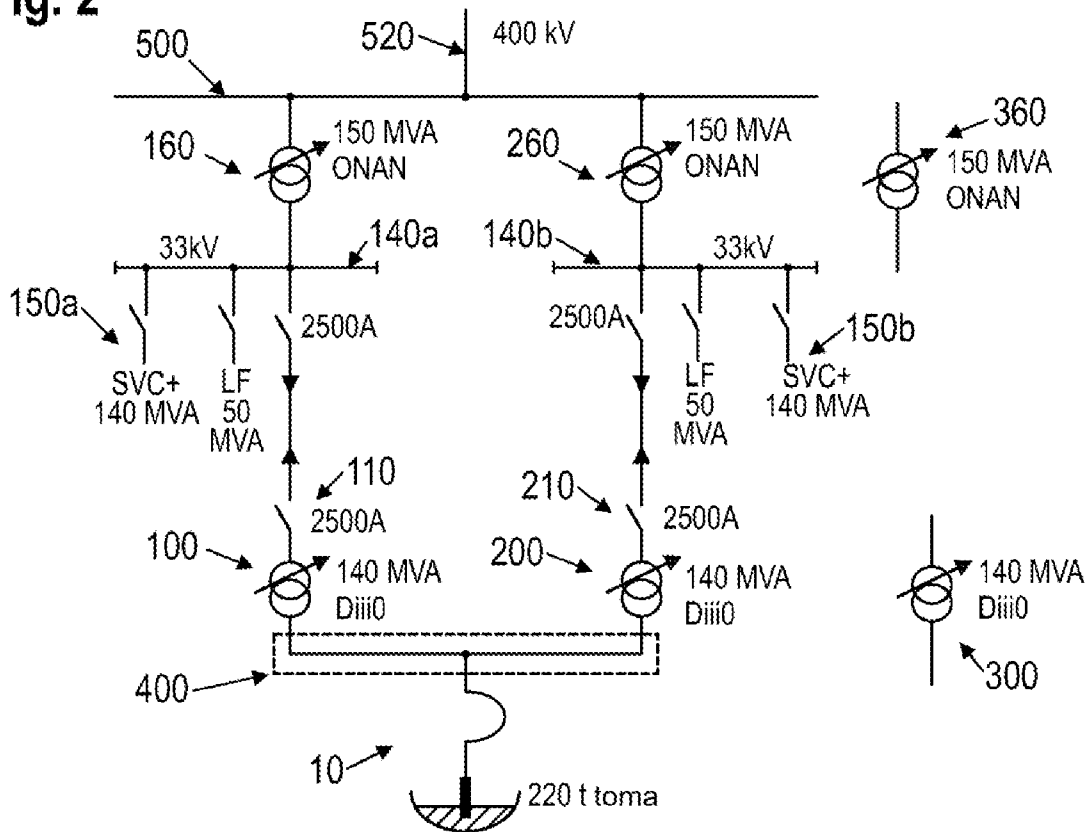


Fig. 3

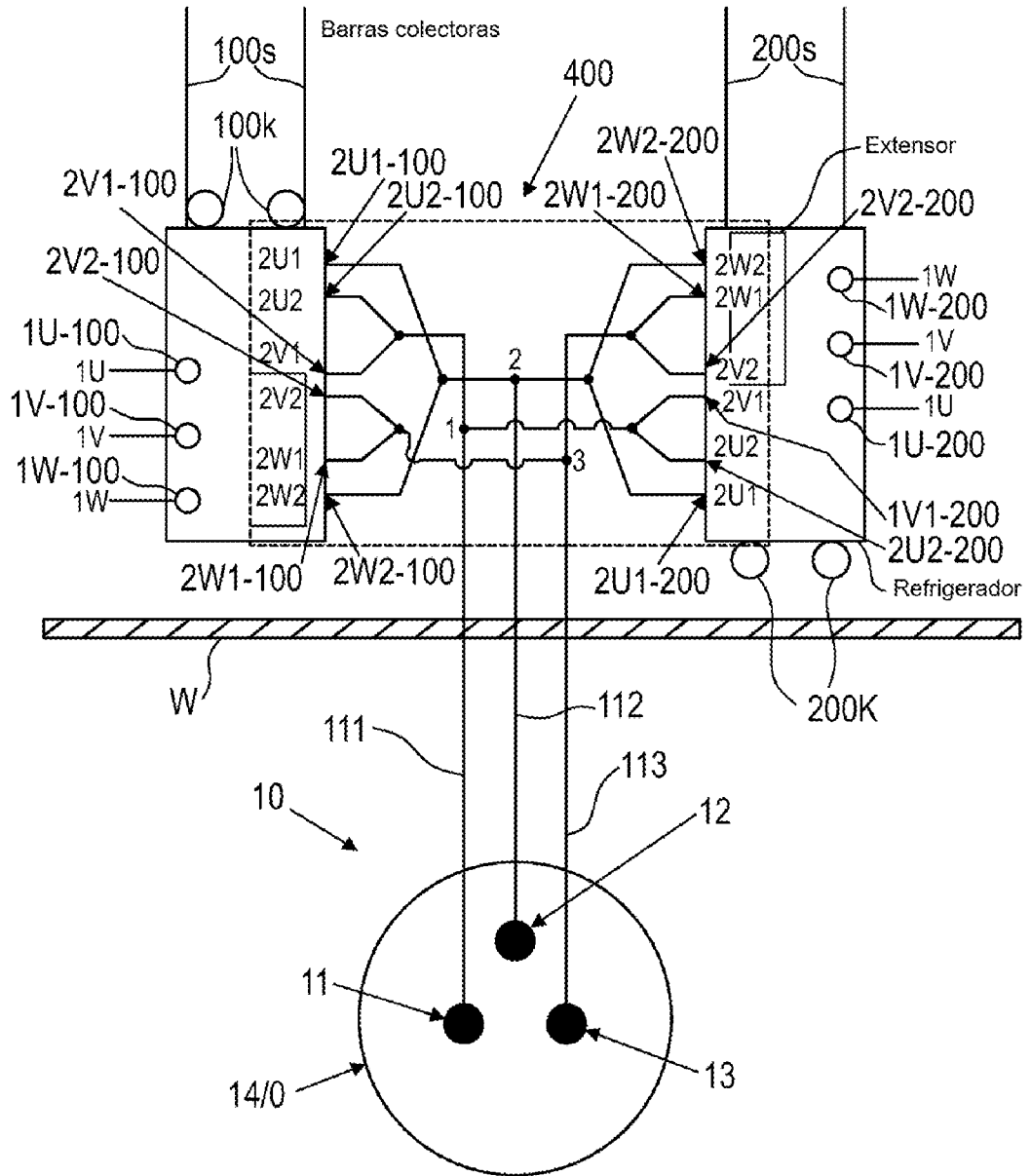


Fig. 4

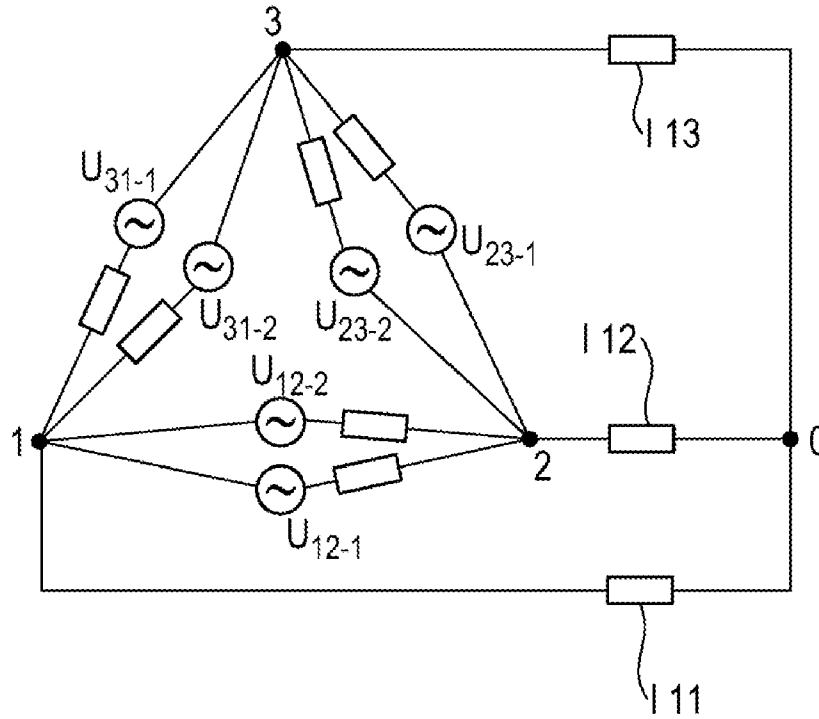


Fig. 5

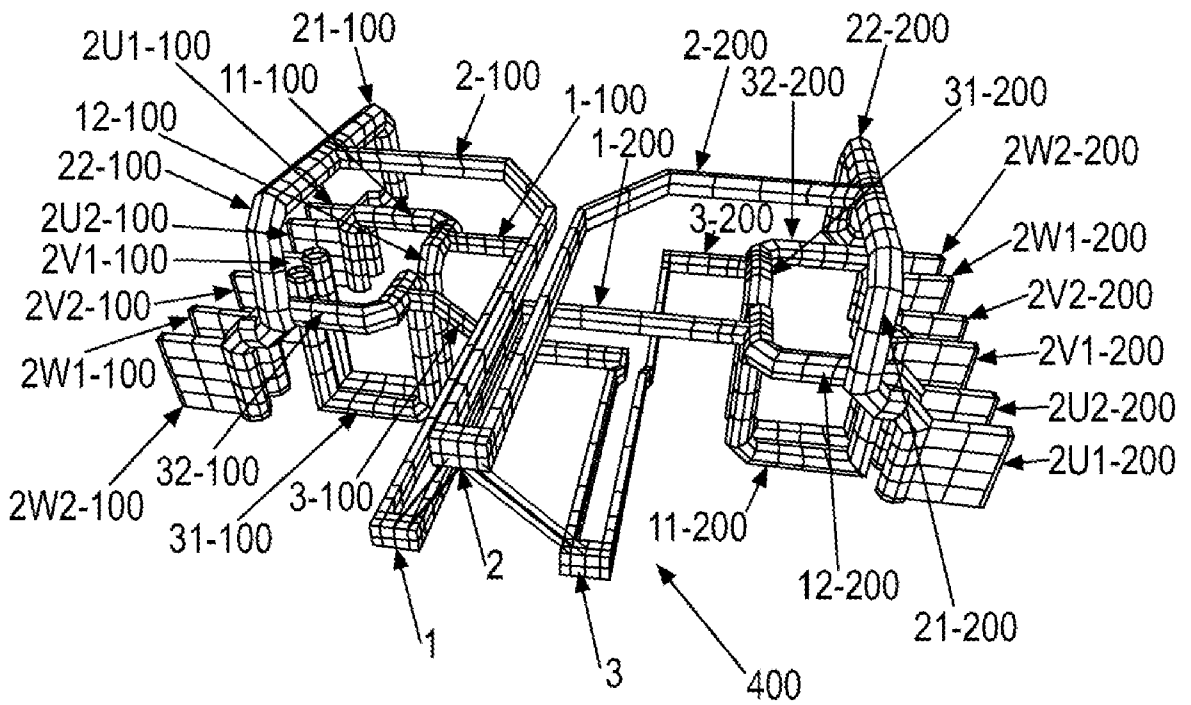


Fig. 6

