



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 314 935**

51 Int. Cl.:
H05B 7/02 (2006.01)
H05B 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06776359 .9**
96 Fecha de presentación : **24.07.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1915889**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.04.2008**

54 Título: **Circuito electrónico y procedimiento para la alimentación de energía eléctrica a un horno eléctrico de corriente alterna.**

30 Prioridad: **15.08.2005 DE 10 2005 038 702**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2009

73 Titular/es: **SMS Demag AG.**
Eduard-Schloemann-Strasse 4
40237 Düsseldorf, DE

72 Inventor/es: **König, Roland;**
Pasch, Thomas;
Haaks, Andreas y
Degel, Rolf

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 314 935 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

Circuito electrónico y procedimiento para la alimentación de energía eléctrica a un horno eléctrico de corriente alterna.

La invención se refiere a un circuito electrónico y a un procedimiento para la alimentación de energía al menos a un electrodo de un horno eléctrico de corriente alterna, especialmente para la fundición de metal.

La invención se puede aplicar en hornos eléctricos para la producción de metales no férreos, aleaciones de hierro, escorias de procesos, acero así como para la purificación de escorias. Los hornos eléctricos pueden estar configurados como hornos eléctricos de reducción, como hornos eléctricos de fundición de caja baja o como hornos de arco voltaico.

Se conoce a partir de la publicación alemana DE 2 034 874 un circuito electrónico de este tipo para la alimentación de un horno eléctrico de corriente alterna. El circuito electrónico publicado allí está conectado entre una red de corriente y al menos un electrodo del horno eléctrico. Comprende un circuito en serie que está constituido por un conmutador para los electrodos, un transformador para la preparación de una tensión de alimentación para el horno eléctrico a partir de la red y de un regulador de corriente alterna conectado entre el transformador y el electrodo para la regulación de la corriente a través del electrodo.

Un regulador de corriente alterna está constituido típicamente por dos tiristores conectados anti-paralelos y lleva a cabo la regulación de la corriente en forma de un control de corte de fases. En este caso, los tiristores, que realizan la parte de potencia del regulador de la corriente, están diseñados típicamente sobre toda la zona de trabajo del horno eléctrico, es decir, una zona de corriente muy grande. Especialmente en el caso de hornos de alta potencia, que son accionados con tensiones de alimentación grandes, son necesarios, en virtud de las altas tensiones de bloqueo de los tiristores, en general, series de construcción muy caras de tiristores. Los tiristores con tensiones de bloqueo grandes no pueden conmutar, sin embargo, en general, corrientes grandes; para la conexión de corrientes grandes, como pueden aparecer, en general, en determinados estados de funcionamiento, especialmente en el caso de un modo de resistencia, del horno eléctrico, deben conectarse, por lo tanto, en paralelo muchos tiristores individuales o un regulador de corriente alterna completo. Solamente de esta manera se pueden conducir entonces las altas corrientes de los electrodos que son necesarias al menos en estados de funcionamiento individuales. Para garantizar un funcionamiento fiable del horno eléctrico en todos los estados de funcionamiento, especialmente también a altas corrientes eléctricas, son necesarios, por lo tanto, tradicionalmente circuitos rectificadores de corriente caros y costosos.

Partiendo de este estado de la técnica, la invención tiene el cometido de desarrollar un circuito electrónico conocido y un procedimiento para la alimentación de corriente eléctrica a un horno eléctrico de corriente alterna de una manera sencilla en cuanto a la construcción y económica, con la intención de que sea posible sin problemas un funcionamiento del horno eléctrico en todos los estados de funcionamiento, especialmente también en altas corrientes de electrodos.

Este cometido se soluciona a través del objeto de la reivindicación 1 de la patente. De acuerdo con ello, un circuito electrónico de acuerdo con la invención para la alimentación de un horno eléctrico de corriente alterna se caracteriza por una instalación de medición de la corriente para la medición del valor absoluto de la corriente que fluye a través del electrodo, un conmutador de separación de puenteo, que está conectado en paralelo al regulador de corriente alterna, y una instalación de control para la apertura o cierre del conmutador de separación de puenteo de acuerdo con el valor absoluto de la corriente que fluye a través del electrodo.

Los rasgos característicos mencionados son muy fáciles de realizar y, por lo tanto, con coste favorable. En su configuración reivindicada, posibilitan de una manera más ventajosa un puenteo del regulador de corriente alterna en caso a amenaza de sobrecarga, es decir, durante estados de funcionamiento del horno eléctrico, que requieren una corriente especialmente grande de los electrodos. De una manera más ventajosa, estos estados de funcionamiento, como por ejemplo un modo de resistencia con electrodos sumergidos y sin porción de arco voltaico, no requieren una regulación especial de la corriente de los electrodos a través del regulador de corriente alterna; su función es entonces prescindible y, como se reivindica, entonces es puenteada. En otros estados de funcionamiento del horno eléctrico, por ejemplo durante un modo de resistencia, con una porción de arco eléctrico, se abre el conmutador de separación de puenteo de acuerdo con la invención, con la consecuencia de que se conduce entonces la corriente de los electrodos a través del regulador de corriente alterna y se puede regular a través de éste. Típicamente el valor absoluto de la corriente a través del electrodo durante su funcionamiento con arco voltaico es menor que durante un modo de resistencia sin arco voltaico.

En virtud de la limitación de la corriente a través del regulador de corriente alterna, realizada a través del conmutador de separación de puenteo de acuerdo con la invención, se puede dimensionar este regulador de una manera más ventajosa esencialmente más pequeño y se puede fabricar más sencillo y económico, sin que con ello se implique una limitación para el funcionamiento del horno eléctrico.

La previsión de conmutadores de separación adicionales delante y detrás del regulador de corriente alterna, pero todavía entre las conexiones del conmutador de separación de puenteo, ofrece la ventaja de que cuando el conmutador de separación de puenteo está cerrado, es decir, cuando se puentea el regulador de corriente alterna, éste se extrae, por ejemplo, para fines de mantenimiento, fuera del circuito electrónico, sin que se interrumpa la corriente de los electrodos y, por lo tanto, el funcionamiento del horno eléctrico.

ES 2 314 935 T3

A través de la previsión de acuerdo con la invención del conmutador de separación de puenteo se adapta el circuito electrónico de una manera muy sencilla y de coste favorable a diferentes estados de funcionamiento del horno eléctrico, como resultan en virtud de requerimientos metalúrgicos.

- 5 El cometido mencionado anteriormente se soluciona, además, por medio de un procedimiento reivindicado para la alimentación de energía eléctrica a un horno eléctrico de corriente alterna o bien a su electrodo. Las ventajas de este procedimiento corresponden a las ventajas mencionadas anteriormente con relación al circuito electrónico reivindicado.
- 10 Las configuraciones ventajosas tanto del circuito electrónico como también del procedimiento son objeto de las reivindicaciones dependientes.

Se adjunta la descripción de 4 figuras en total, en las que:

- 15 La figura 1 muestra un circuito electrónico de acuerdo con la invención.
- La figura 2 muestra un diagrama típico de la potencia - corriente - tensión, diagrama U-I-P, para un horno eléctrico de reducción.
- 20 La figura 3 muestra una sección transversal a través del electrodo y la fundición en un horno eléctrico así como un diagrama de sustitución eléctrico correspondiente para esta sección de la corriente de los electrodos; y
- La figura 4 muestra el diagrama de acuerdo con la figura 2 con zonas funcionales diferentes representadas adicionalmente del horno eléctrico y el valor umbral de la corriente registrado.

25

A continuación se explica la invención en forma de ejemplos de realización detallados con referencia a las figuras mencionadas.

- 30 Típicamente, para la fundición de acero se emplean hornos eléctricos con tres o seis electrodos. En el caso de hornos con seis electrodos, se conectan los electrodos 11 por parejas en cada caso para la introducción de energía en el contenedor del horno 12. En el caso de hornos eléctricos con 3 electrodos 11 se conectan los electrodos habitualmente en circuito ciego estrecho, para reducir la reactancia de la línea de alta corriente. De una manera alternativa al circuito ciego estrecho, es posible, sin embargo, también un circuito de estrella de los electrodos.

35

La figura 1 muestra el circuito electrónico de acuerdo con la invención para la alimentación de energía eléctrica a un horno eléctrico. La figura 1 muestra una representación bifásica; podrían estar previstos circuitos correspondientes para otras fases.

- 40 La alimentación de energía para los electrodos se realiza habitualmente a partir de una red de tensión media 1. Entre la red de tensión media y el electrodo 11, el circuito electrónico comprende un transformador de horno 6, que está dirigido con su lado primario hacia la red de tensión media 11, mencionada a continuación también como red de corriente, y está dirigido con su lado secundario hacia el electrodo 11. Entre la red de corriente 1 y el lado primario del transformador del horno 6, el circuito electrónico comprende un primer circuito en serie, que comprende una
- 45 instalación de medición de la tensión 2, un conmutador de la potencia del horno 3 para la conexión o desconexión del horno eléctrico, una instalación de medición de la corriente 4, opcionalmente un conmutador de estrella /o triangular para la conmutación selectiva del arrollamiento primario del transformador del horno en un circuito de estrella o circuito triangular así como una protección contra la sobretensión 13. El conmutador de estrella o triangular posibilita un desplazamiento de la zona de la tensión de medición del transformador del horno 6, por ejemplo, en la medida del
- 50 factor 1,73 hacia arriba o hacia abajo.

Entre el lado secundario del transformador del horno 6 y el electrodo 11, el circuito electrónico presenta esencialmente un segundo circuito en serie, que está constituido por un primer conmutador de separación 10a, un divisor de la corriente alterna 8 y un segundo conmutador de separación 10b. Los conmutadores de separación 10a y 10b

55 posibilitan, cuando el conmutador de separación de alta corriente 9 está conectado, una separación eléctrica o bien un desmontaje del regulador de corriente alterna 8; por ejemplo, para fines de mantenimiento, sin que debe interrumpirse para ello el funcionamiento del horno, especialmente el modo de resistencia con electrodos sumergidos y sin porción de arco voltaico. El regulador de la corriente alterna 8 posibilita una regulación de la corriente de los electrodos en forma de un control de corte de fases.

60

- De acuerdo con la invención, el circuito electrónico se completa por medio de un conmutador de separación de puenteo 9 conectado en paralelo al regulador de corriente alterna 8 y opcionalmente también paralelo al primero y al segundo conmutador de separación 10a y 10b, que es activado por una instalación de control 14. Esta instalación de control controla el conmutador de separación de puenteo 9 de una manera adecuada a través del valor absoluto, medido
- 65 por la instalación de medición de la corriente 4, de la corriente de fluye a través del electrodo 11. La instalación de control 14 puede estar realizada en forma de un control programado con memoria, de un sistema de guía de procesos o de otro sistema asistido por ordenador.

ES 2 314 935 T3

Después de la estructura del circuito electrónico, se describe a continuación en detalle el modo de funcionamiento del horno eléctrico en colaboración con el circuito electrónico de acuerdo con la invención.

La figura 2 muestra un diagrama típico de la potencia - corriente - tensión, diagrama U-I-P, para un horno eléctrico de reducción con 6 electrodos. En este diagrama se representan líneas de potencia efectiva 100 en función de la corriente secundaria, registrada sobre el eje de ordenadas, y de las tensiones secundarias, registradas sobre el eje de abscisa. El conjunto de líneas características 200 caracteriza la resistencia del horno. La impedancia de cortocircuito del horno eléctrico está simbolizada en este caso por medio de la curva característica 300. Estas curvas características en el diagrama solamente son válidas para un ángulo constante de encendido del tiristor. En el caso de un ángulo de encendido mayor o menor, se desplazan las curvas características sobre la abscisa.

Las curvas características 4a y 4b muestran la corriente máxima admisible a través del electrodo en función de la tensión secundaria en el caso de un circuito de estrella en el lado primario de los arrollamientos del transformador 4a y en el caso de un circuito triangular en el lado primario de los transformadores de los arrollamientos del transformador 4b. La curva característica 500 ilustra la corriente máxima de medición del rectificador de corriente alterna 8 de acuerdo con la invención, es decir, el valor umbral de la corriente.

Típicamente, en el caso de un horno eléctrico, se distinguen según el proceso, las sustancias de empleo y los productos esencialmente los siguientes estados metalúrgicos:

- a) modo de resistencia con electrodos sumergidos y sin porción de arco voltaico;
- b) modo de resistencia solamente con porción de arco voltaico; y
- c) modo con porción alta de arco voltaico.

Estos tres estados de funcionamiento se explican en detalle a continuación.

Modo de resistencia con electrodos sumergidos y sin porción de arco voltaico

La energía necesaria para el proceso es generada a través del calentamiento por resistencia de la escoria. Los electrodos 11 están sumergidos claramente en la escoria, la profundidad de inmersión depende, entre otras cosas, del diámetro de los electrodos; no obstante, en general, está por encima de aproximadamente 200 mm. En este tipo de funcionamiento, se conduce corriente eléctrica a través de la escoria, con lo que la energía eléctrica es transformada en calor de Joule en virtud de la resistencia eléctrica de la escoria, que impulsa una reacción endotérmica metalúrgica, por ejemplo reducción y fundición. El modo de resistencia con electrodos sumergidos y sin porción de arco voltaico se caracteriza por altas corrientes eléctricas y tensiones secundarias relativamente bajas, que se encuentran claramente por debajo de 1000 V.

En este tipo de funcionamiento, en virtud de los electrodos sumergidos, no existe ningún requerimiento especial de regulación. El horno eléctrico puede ser, por lo tanto, entonces también convencional, es decir, que puede funcionar sin regulación de la corriente. Por lo tanto, se recomienda conectar durante esta operación el conmutador de separación de puenteo 9 y de esta manera puentear el regulador de corriente alterna 8. De este modo se protegen los semiconductores de potencia, típicamente tiristores, en el regulador de corriente alterna 8 frente a corrientes demasiado grandes.

Modo de resistencia con porción sólo reducida de arco voltaico

La porción principal de la energía necesaria para este modo de funcionamiento del horno eléctrico se consigue a través de un calentamiento por resistencia de la escoria. En este caso, se conduce la corriente eléctrica a través de la escoria, con lo que se transforma la energía eléctrica a través de la resistencia de la escoria en calor de Joule. El calor de joule impulsa en este caso una reacción endotérmica metalúrgica, por ejemplo reducción y fundición. Se puede realizar una entrada de energía adicional pequeña a través de un arco voltaico que se produce en la zona inferior de los electrodos y debajo de éstos. Esto se consigue cuando los electrodos están sumergidos solamente en una medida mínima o en una posición de los electrodos inmediatamente por encima del baño de escoria. Para este modo de funcionamiento son necesarias habitualmente intensidades de corriente relativamente grandes y tensiones comparativamente pequeñas; ver la figura 4, zona b). No obstante, las tensiones en este tipo de funcionamiento son claramente más altas que con los electrodos sumergidos. En concreto, las tensiones secundarias se encuentran en una zona en torno a 1000 V en hornos de aproximadamente 30 - 50 MW de potencia.

Modo de resistencia con porción alta de arco voltaico

En este tipo de funcionamiento, se realiza una porción mayor de la entrada de energía a través de arcos voltaicos. Los arcos voltaicos transmiten su calor de radiación directamente sobre la capa de lecho de fusión y la capa de escoria del horno. En este caso se distingue, en principio, entre un modo de funcionamiento con arco voltaico abierto y un modo de funcionamiento con arco voltaico cubierto.

ES 2 314 935 T3

En el modo de funcionamiento con arco voltaico abierto, el arco voltaico incide sin utilización de la radiación de calor lateral sobre el lecho de fusión Mö o bien sobre la escoria S; ver la figura 3, en la que N representa la zona del arco voltaico no cubierta. En la figura 3 se muestra también un diagrama equivalente eléctrico para la trayectoria eléctrica a través del electrodo 11, el arco voltaico L, la escoria S y el metal fundido 15. En una consideración idealizada, se puede suponer que la resistencia óhmica del electrodo 11 y del metal fundido 15 es cero. Entonces permanecen para la corriente de los electrodos una resistencia óhmica R_L en virtud del arco eléctrico L y una resistencia óhmica R_S a través de la escoria S.

En el modo de funcionamiento con arco voltaico cubierto se cubre parcialmente la zona marginal del electrodo 11 a través del lecho de fusión Mö; ver en la figura 3 el borde derecho del electrodo. Además de la energía de arco voltaico se introduce una porción aproximadamente igual o menor de la energía aplicada a través del calentamiento de resistencia en los electrodos. Para el tipo de funcionamiento descrito con porción alta de arco voltaicos son necesarias habitualmente corrientes bajas con tensiones altas; ver la figura 4, zona c).

Las tensiones se encuentran en este caso en hornos con potencias por encima de 30-50 MW habitualmente por encima de 1000 V. Existen altos requerimientos de regulación de la corriente de los electrodos en virtud del comportamiento no lineal y estocástico de los arcos voltaicos con la tendencia a la inestabilidad. En el tipo de funcionamiento c) se conduce y se regula toda la corriente necesaria de los electrodos a través del regulador de corriente alterna 8. En este caso se abre el conmutador de separación de alta corriente 9.

La transición entre el tipo de funcionamiento b) y c) es fluida. En principio, se aplica que ya a medida que se incrementa la elevación de la potencia a través de la elevación de la tensión secundaria del transformador 6, a medida que se incrementa la porción del arco voltaico L en la entrada de energía, ver la figura 3, y cuando no se alcanza el valor umbral de la corriente 300 para la corriente de los electrodos, se abre el conmutador de separación de puenteo 9 y se cierran el primero y el segundo conmutador de separación 10aa, 10b. De esta manera, se conecta adicionalmente entonces el regulador de corriente alterna y sirve para la optimización de la entrada de energía. A la inversa, el regulador de corriente alterna 8 debe extraerse de nuevo al mismo tiempo fuera del circuito eléctrico, en el caso de una reducción de la entrada de energía a través del arco voltaico, en el caso de una reducción de la tensión secundaria y en el caso de un aumento de la corriente de los electrodos, es decir, en principio, en el caso de que se exceda el valor umbral de la corriente a través de la corriente de los electrodos. En principio, el valor umbral de la corriente 300 para la apertura del conmutador de separación de puenteo 9 es idéntico al valor umbral de la corriente para el cierre del conmutador de separación de puenteo. No obstante, para los dos profesos son concebibles también diferentes valores umbrales de la corriente, por ejemplo combinados en una histéresis.

La figura 4 muestra de una manera similar a la figura 2 un ejemplo para el dimensionado del circuito electrónico de acuerdo con la invención para la introducción de energía en un horno eléctrico con 6 electrodos para un proceso FeNi con 129 MVA. Exactamente como en la figura 2, también aquí la curva característica 300 caracteriza la corriente máxima a través del regulador de corriente alterna 8 y, por lo tanto, el valor umbral de la corriente para la conmutación del conmutador de separación de puenteo 9. El regulador de corriente alterna 8 se cierra en el caso de corrientes de los electrodos por encima de este valor umbral, con lo que se descarga entonces eléctricamente el regulador de corriente alterna. Esto tiene la ventaja de que el regulador de corriente alterna 8 en general y especialmente sus semiconductores de potencia se pueden dimensionar considerablemente más pequeños, con lo que se posibilita una solución sencilla y económica.

Aunque los hornos eléctricos, especialmente los hornos eléctricos de reducción están diseñados para los tipos de funcionamiento b) y c), sin embargo, se pueden hacer funcionar en la zona de una operación de arranque y de una operación de carga parcial con conmutador de separación de puenteo 9 cerrado, es decir, con regulador de corriente alterna 8 puenteado.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Circuito electrónico para la alimentación de energía eléctrica al menos a un electrodo (11) de un horno eléctrico de corriente alterna, especialmente para la fundición de metal, que comprende conectados en serie:

un transformador (6) para la preparación de una tensión de alimentación para el horno eléctrico desde una red de corriente (1); y

10 un regulador de corriente alterna (8) conectado entre el transformador (6) y el electrodo (11) para la regulación de la corriente a través del electrodo (11);

caracterizado por una instalación de medición de la corriente (4) para la medición del valor absoluto de la corriente que fluye a través del electrodo;

15 por un conmutador de separación de puenteo (9), que está conectado en paralelo al regulador de corriente alterna (8); y

por una instalación de control (14) para la apertura o cierre del conmutador de separación de puenteo (9) de una manera adecuada a través del valor absoluto de la corriente que fluye a través del electrodo (11).
20
2. Circuito electrónico de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque entre el transformador (6) y el regulador de corriente alterna (8) está conectado un primer conmutador de separación (10aa) y entre el regulador de corriente alterna (8) y el electrodo (11) está conectado un segundo conmutador de separación (10b).
25
3. Circuito electrónico de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado** porque el conmutador de separación de puenteo (9) está conectado de tal forma que puentea el circuito en serie formado por el primer conmutador de separación (10aa), el regulador de corriente alterna (8) y el segundo conmutador de separación (10b).
30
4. Procedimiento para la alimentación de energía eléctrica al menos a un electrodo (11) de un horno eléctrico de corriente alterna, especialmente para la fundición de metal, que comprende las siguientes etapas:

preparación de una tensión de alimentación para el horno eléctrico desde una red de corriente (1); y

35 regulación de la corriente a través del electrodo (11) con la ayuda de un regulador de corriente alterna (8);

caracterizado por la medición del valor absoluto de la corriente que fluye a través del electrodo; y por el puenteo del regulador de corriente alterna a través de una conexión de cortocircuito de conformidad con el valor absoluto de la corriente medida.
40
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque el regulador de corriente alterna (8) es puenteado cuando el valor absoluto de la corriente a través del electrodo (11) excede un valor umbral predeterminado de la corriente.
45
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** porque el electrodo es impulsado en un modo de arranque, en un modo de mantenimiento del calor o en un modo de resistencia sin porción de arco voltaico, cuando el valor absoluto de la corriente está por encima del valor umbral predeterminado de la corriente.
50
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** porque el horno eléctrico es accionado en un modo de resistencia con una porción de arco eléctrico, cuando el valor absoluto de la corriente se encuentra por debajo del valor umbral predeterminado de la corriente.
55
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 a 7, **caracterizado** porque el regulador de corriente alterna (8), cuando está puenteado, se puede desmontar durante el funcionamiento del horno eléctrico, por ejemplo para fines de mantenimiento, fuera de un circuito electrónico para la alimentación de electrodo.
60

65

Fig. 1

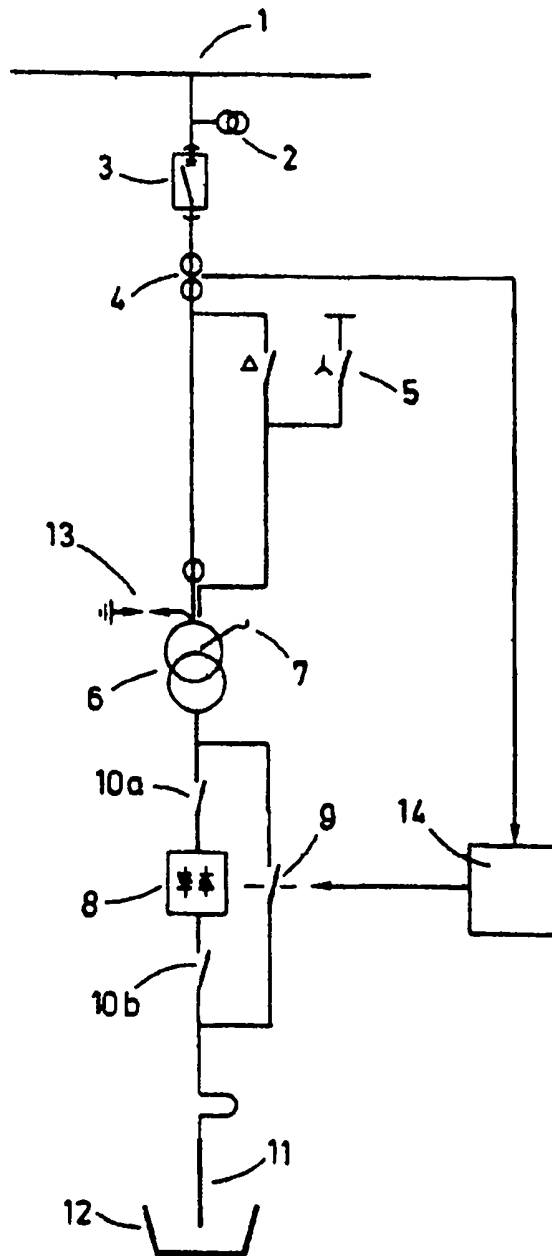


Fig. 2

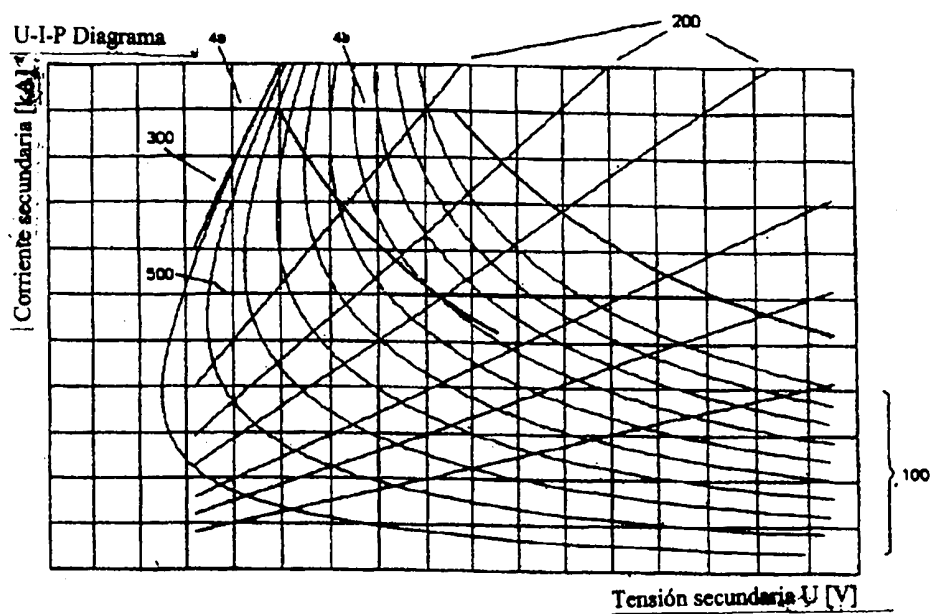


Fig. 3

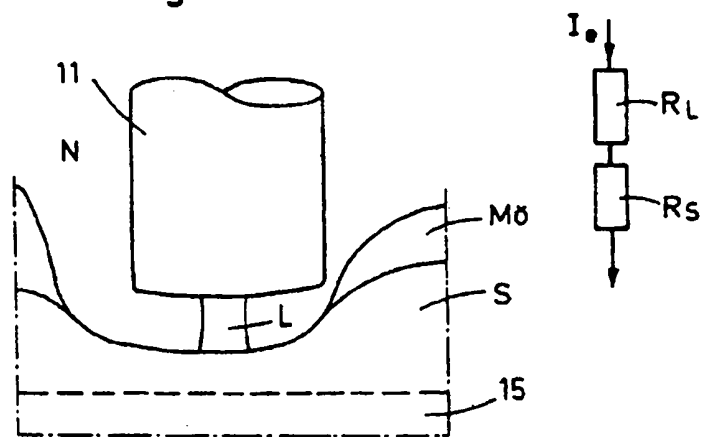


Fig. 4

