

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 698 649**

51 Int. Cl.:

C25C 1/12 (2006.01)

C25C 7/00 (2006.01)

C25C 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2014 PCT/FI2014/050145**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **04.09.2014 WO14131946**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2014 E 14757596 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 2961864**

54 Título: **Disposición para medir corriente eléctrica en un electrodo individual en un sistema de electrolisis**

30 Prioridad:

01.03.2013 FI 20135196

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

05.02.2019

73 Titular/es:

**OUTOTEC (FINLAND) OY (100.0%)
Rauhalanpuisto 9
02230 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**GRANT, DUNCAN;
BARKER, MICHAEL H.;
NORDLUND, LAURI;
RANTALA, ARI y
VIRTANEN, HENRI K.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 698 649 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

Disposición para medir corriente eléctrica en un electrodo individual en un sistema de electrolisis

Campo de la invención

5 La presente invención está relacionada con un método para medir corriente eléctrica que fluye en un electrodo individual en un sistema de electrolisis. Además, la invención está relacionada con una disposición de medición de corriente para medir corriente eléctrica que fluye en un electrodo individual en un sistema de electrolisis.

Antecedentes de la invención

10 En electrorrefinación (ER) y electroobtención (EW) se sumergen electrodos en un electrolito y se hace pasar una corriente eléctrica entre ellos. El ánodo se hace positivo y el cátodo se hace negativo de modo que una corriente eléctrica atraviesa el electrolito desde ánodo a cátodo.

15 En electrorrefinación (ER), el ánodo de metal es soluble. Es decir el metal entra en el electrolito bajo la influencia del potencial entre ánodo y cátodo. Por ejemplo, en la electrorrefinación de cobre, el ánodo se hace de cobre metálico impuro e iones de cobre entran al electrolito desde el ánodo. Los iones de cobre, ahora en el electrolito, son transportados a través o por el electrolito al cátodo donde se depositan. El cátodo puede ser del mismo metal que el metal que se está depositando o puede ser de un metal diferente. Por ejemplo, en la electrorrefinación de cobre en un momento fue común emplear un cátodo hecho de cobre. Sin embargo, ahora se emplea comúnmente un cátodo permanente de acero inoxidable que se recubre rápidamente con cobre y que desde entonces se comporta esencialmente como cátodo de cobre. El cobre depositado se retira o pela mecánicamente del cátodo permanente y se reutiliza el cátodo permanente. El cobre depositado en el cátodo es sumamente puro. Impurezas que estaban en el ánodo impuro se pueden disolver en el electrolito o caer como sólido ya que el ánodo se disuelve y puede contener subproductos útiles, por ejemplo, oro. Además de cobre, metales purificados por ER incluyen oro, plata, plomo, cobalto, níquel, estaño y otros metales.

25 La electroobtención (EW) difiere de la electrorrefinación en que el metal buscado se importa a las celdas y ya está contenido dentro del electrolito. En el ejemplo de cobre, típicamente se emplea ácido sulfúrico para disolver cobre desde una forma de óxido de mineral de cobre y la solución resultante, tras concentración, se importa a una celda de electroobtención para extraer el cobre. Un ánodo y un cátodo se sumergen en el electrolito y se hace pasar una corriente entre ellos, de nuevo siendo el ánodo positivo y el cátodo negativo. En electroobtención, el ánodo no es soluble pero se hace de un material inerte. Típicamente en caso de electroobtención de cobre se usa un ánodo de aleación de plomo. El cátodo puede ser del mismo metal que se está extrayendo del electrolito o puede ser de un material diferente. Por ejemplo, en caso de cobre, se pueden usar cátodos de cobre aunque comúnmente se emplean cátodos de acero inoxidable que se recubren rápidamente de cobre. Bajo la influencia de una corriente eléctrica, el metal que se va a ganar deja la solución de electrolito y se deposita en una forma muy pura sobre el cátodo. Se hace circular el electrolito y se concentra mediante este proceso que ha dejado una gran proporción de su contenido de metal. Además de cobre, metales obtenidos por electroobtención incluyen plomo, oro, plata, cinc, cromo, cobalto, manganeso, aluminio y otros metales. Para algunos metales, tales como aluminio, el electrolito es un material fundido en lugar de una solución acuosa.

40 Como ejemplo de las tensiones y la corriente implicadas, en refinación de cobre, la tensión de celda es generalmente aproximadamente 0,3 V y en electroobtención de cobre es aproximadamente 2,0 V. En ambos casos la densidad de corriente catódica es aproximadamente 300 A/m² y el área de cada lado del cátodo actualmente es de aproximadamente 1 m². Estas cifras difieren considerablemente para metales diferentes y se pueden usar densidades de corriente ampliamente variables para el mismo metal pero la invención se aplica a la electrorrefinación y electroobtención de todos los metales.

45 En ER y EW el punto de partida es un ánodo yuxtapuesto a un cátodo en un electrolito contenido en un tanque. Pero se pueden usar muchas placas de cátodo y muchas placas de ánodo, entrelazadas, con todas las placas de ánodo conectadas en paralelo y todas las placas de cátodo conectadas en paralelo contenidas dentro de un único tanque de electrolito. Eléctricamente esto todavía aparenta una única celda y en la industria por lo tanto se llama comúnmente celda. En la industria de ER y EW, "celda" se usa casi universalmente con el significado de un tanque relleno con ánodos y cátodos en paralelo. En la industria de ER y EW, "tanque" puede significar lo mismo que "celda", como anteriormente, o puede significar el envase solo, dependiendo del contexto. En alojamientos de tanques se conectan eléctricamente celdas en serie. Un alojamiento de tanque típico de ER podría requerir por lo tanto un suministro eléctrico del orden de 36.000 A a 200 V.

55 El circuito eléctrico que representa un alojamiento de tanque típico se muestra en la figura 1. Se conectan en serie tanques 3, cada uno contiene una celda (compuesta de muchos cátodos 1 en paralelo y muchos ánodos 2 en paralelo). Una fuente de tensión de CC 19 se conecta cruzando el circuito en serie para impulsar la corriente deseada a través de las celdas 3. La corriente total se mantiene en un valor deseado. Idealmente, la corriente se debe dividir igualmente entre los cátodos 1. En la práctica, hay una variación significativa en la resistencia de cada camino de corriente cátodo-ánodo y por tanto hay variaciones en los valores de las corrientes de cátodo individuales. Esto significa en la práctica

que el proceso de producción de metal funciona a menos de eficiencia óptima.

Más seriamente, a veces hay perturbación en el funcionamiento de parte de la celda cuando se desarrolla un cortocircuito entre una placa de ánodo y una placa de cátodo. Esto se debe típicamente a un nódulo o dendrita de metal que crece desde una placa de cátodo y aumenta de tamaño hasta que se conecta con la placa de ánodo adyacente. El nódulo de metal tiene que ser retirado físicamente para permitir que continúe el funcionamiento normal.

Otra perturbación en la producción normal puede ocurrir cuando un cátodo individual o ánodo individual se desconectan del circuito eléctrico. Como muestra la figura 2, la conexión eléctrica a cátodos 1 y a ánodos 2 se hace típicamente a través de resaltes o barras de suspensión 7 que sobresalen desde cada lado de los electrodos. En el lado derecho, la barra de suspensión 7 reposa en una barra colectora 4 que forma parte del circuito eléctrico. La desconexión es provocada típicamente por corrosión o quemado del punto de contacto 6 o por un obstáculo extraño que se atasca entre la barra de suspensión 7 y la barra colectora 4 o acumulación de sulfato entre la barra de suspensión 7 y la barra colectora. En el lado izquierdo, la otra barra de suspensión 7' puede reposar en una barra de soporte aislada 4' o esta barra puede ser una barra colectora secundaria, también conocida como barra compensadora, de modo que el electrodo 1 se conecta eléctricamente a través de dos caminos para reducir la efecto de un mal contacto a una de las barras de suspensión 4.

Un cortocircuito da como resultado una cantidad de corriente inusualmente grande que fluye en el cátodo 1 y el ánodo 2 que se cortocircuitan eléctricamente juntos. Los métodos empleados convencionalmente para detectar cortocircuitos están por debajo de lo ideal. Un método es detectar el recalentamiento de los electrodos como resultado del cortocircuito. Esto es menos que satisfactorio porque puede haberse producido daño al electrodo, sus barras de suspensión 7 o la barra colectora 4 debido a un retraso en el tiempo antes de detectar el corto.

Este método se volverá menos aceptable conforme se introduzcan ánodos nuevos, caros, de altas prestaciones, en procesos de electroobtención. En electroobtención, comúnmente se han usado ánodos de plomo inerte. En los últimos años se han adoptado cada vez más los ánodos de titanio recubiertos catalíticamente de óxido de metal mezclado (MMO) debido a sus superiores propiedades. Sin embargo, los ánodos de titanio recubiertos de MMO son más caros que los ánodos basados en plomo y se dañan más fácilmente por el calor generado durante el cortocircuito. Por lo tanto se ha vuelto imperativo identificar muy rápidamente problemas con el proceso, en particular cortocircuitos entre electrodos. Además es deseable identificar circunstancias que probablemente hagan aparecer un cortocircuito. Un indicador de un cortocircuito incipiente es un aumento de corriente en cátodo o ánodo por encima de su valor habitual. Por tanto la medición de corriente con una precisión y resolución adecuadas para detectar este aumento de corriente es una herramienta para identificar situaciones peligrosas y para provocar una acción de operario para corregir la situación.

Otro método para detectar cortos es tener un trabajador que patrulle los tanques usando un gausímetro para detectar el alto campo magnético producido por la corriente de cortocircuito. Debido a la mano de obra restringida la patrulla a menudo se puede organizar únicamente una vez al día o un máximo de pocas veces al día. Por lo tanto el corto puede no ser detectado durante muchas horas, tiempo durante el que se pierde producción, disminuye la eficiencia de la corriente, aumenta el riesgo de menor calidad de cátodo y los electrodos, barras de suspensión y barras colectoras se pueden dañar. Este método también ha demostrado ser muy ineficiente porque la patrulla tiene que comprobar cada celda, incluidas las celdas que no tienen problemas. Caminar innecesariamente en la parte superior de las celdas durante la patrulla también puede provocar movimiento de electrodos y así nuevos cortocircuitos. También aumenta el riesgo de accidentes. También se han usado cámaras de infrarrojos ya sea por las patrullas de trabajadores o en grúas elevadas para detectar cortocircuitos debidos al calor provocado por alta corriente. El método a menudo ha demostrado no dar el resultado deseado en el ambiente de alojamiento de tanque debido al largo tiempo de retraso en detectar un corto y también cuestiones de disponibilidad de una grúa para la tarea de monitorización.

A fin de detectar cortocircuitos y contactos malos (abiertos) existe la necesidad de detectar estos problemas en el nivel de cátodos o ánodos individuales proporcionando métodos para medir la corriente que fluye en electrodos individuales.

En la técnica anterior, el documento US 7.445.696 describe un dispositivo y un método de monitorización de corriente de celda electrolítica, que detectan no únicamente cortocircuitos, sino también circuitos abiertos. El aparato comprende sensores de campo magnético, p. ej. sensores de efecto Hall, que miden la intensidad de campo magnético generado alrededor de un conductor adaptado para llevar corriente eléctrica hacia o desde una celda electrolítica. Los sensores de corriente de campo magnético para cada cátodo se pueden disponer en un dispositivo de cabina en carril que funciona por encima de las celdas para detectar los cortos y los contactos abiertos. La detección de corriente en todos los cátodos en la celda se puede hacer simultáneamente. El sensor de campo magnético se lleva a una distancia por encima de cada barra de suspensión de electrodo ayudado por un sensor capacitivo de proximidad.

Técnica anterior adicional se describe en un artículo "Measurement of Cathodic Currents in Equipotential Inter-Cell Bars for Copper Electrowinning and Electrorefining Plants". Conferencia de Aplicaciones Industriales, 2007. 42º Reunión anual IAS. Registro de Conferencia del 2007 IEEE; 23-27 de sept. de 2007; Wiechmann, E.P., Morales, A.S.; Aqueveque, P.E.; Burgos, R.P. págs. 2074 - 2079, propone una técnica de medición para las corrientes catódicas en barras entre-celdas de tipo hueso de perro usando sensores de efecto Hall lineales de relación métrica y concentradores de flujo ferromagnéticos. El artículo describe que se pueden medir corrientes de cátodo combinando

los sensores de flujo magnético y concentradores de flujo.

El documento WO 2012/020243 A1 describe un aparato para uso en electrorrefinación y electroobtención según el preámbulo de la reivindicación 1.

5 Las disposiciones de la técnica anterior para medir las corrientes de barra de cátodo o ánodo empleaban sensores de efecto Hall en proximidad a las barras de suspensión de electrodo o interconectores entre ánodos y cátodos para detectar el campo magnético generado por estas corrientes, obteniendo de ese modo una señal proporcional a las corrientes. Sin embargo, otros conductores que llevan corriente están usualmente en las cercanías de los sensores de efecto Hall y el campo magnético que producen provoca imprecisión en la medición de corriente. El uso de pedazos de material magnético conectados al sensor de efecto Hall para concentrar flujo a través del sensor (se describe en el artículo mencionado anteriormente "Measurement of Cathodic Currents...." de Wiechmann et al.), también puede canalizar flujo no deseado a través del sensor.

15 En síntesis, el problema con los métodos y disposiciones de la técnica anterior es que no proporcionan resultados de medición suficientemente preciso de la corriente eléctrica en el punto de corriente máxima. La corriente máxima ocurre en el punto de contacto donde la barra de suspensión de electrodo contacta en la barra colectora de eléctrico. Además, los métodos conocidos, que miden la corriente desde la barra de suspensión de electrodo desde una distancia por encima o por debajo de la barra de suspensión, son muy susceptibles a diferencias en la posición de la barra de suspensión en la dirección de la barra colectora en relación a la posición del sensor de campo magnético. También han demostrado ser vulnerables a errores significativos de medición debido a campos magnéticos generados por cátodos adyacentes. Por lo tanto, la precisión de medición obtenida por métodos de la técnica anterior es mala e insuficiente.

Objetivo de la invención

El objetivo de la invención es eliminar las desventajas mencionadas anteriormente.

25 En particular, un objetivo de la presente invención es proporcionar un método y una disposición que puedan medir con precisión la corriente que pasa a través del punto de contacto de la barra de suspensión de electrodo y la barra colectora de eléctrico.

Además, el objetivo de la invención es proporcionar un método y una disposición para medir la corriente que entra o deja los electrodos (cátodos y/o ánodos) que permitirá a los operarios detectar con prontitud la presencia de cortocircuitos o circuitos abiertos.

30 Además, el objetivo de la invención es proporcionar un método y una disposición, que permitan detectar, debido a medición de corriente suficientemente precisa, el crecimiento de los nódulos de metal o dendritas que llevan a un cortocircuito, antes de ocurrir el cortocircuito, permitiendo tomar acciones para impedir que ocurra un corto.

Además, el objetivo de la invención es proporcionar un método y una disposición, que permitan, debido a medición de corriente suficientemente precisa, identificar contactos de alta resistencia (entre los contactos de barra de suspensión y sus respectivas barras colectoras) y se pueda tomar con prontitud una acción correctiva.

35 Además, el objetivo de la invención es proporcionar un método y una disposición que permitan usar, debido a medición de corriente suficientemente precisa, la medición para control de proceso, ya sea a través de ajuste en tiempo real del flujo de corriente o mediante mejoras en operación de planta como resultado de análisis de los datos.

40 Además, el objetivo de la invención es proporcionar un método y una disposición, que, debido a medición de corriente suficientemente precisa, permita análisis de proceso, y si se requiere, control de proceso dinámico, así como la detección de cortocircuitos incipientes y cortocircuitos reales y la detección de circuitos abiertos.

La Tabla 1 siguiente muestra la precisión estimada de medición de corriente requerida para los diversos objetivos mencionados anteriormente. Esta invención trata de hacer mediciones de corriente con la precisión más alta, permitiendo de ese modo análisis de proceso, y si se requiere, control de proceso dinámico, así como la detección de cortocircuitos incipientes y cortocircuitos reales y la detección de circuitos abiertos.

45

Tabla 1

Objetivo	Precisión requerida
Análisis y control de proceso	Entre 1 % y 5 %
Detección del deterioro de contactos de barra de suspensión	10 % o mejor
Detección de cortocircuitos incipientes	25 % o mejor
Detección de cortocircuitos o circuitos abiertos	50 % o mejor

Compendio de la invención

5 Según un primer aspecto, la presente invención proporciona un método para medir corriente eléctrica que fluye en un electrodo individual en un sistema de electrolisis que comprende una pluralidad de electrodos entrelazados, cátodos y ánodos, dispuestos en una celda de electrolisis y sumergidos en electrolito, dicho sistema de electrolisis tiene una barra colectora dispuesta sobre una pared separadora de celda entre cada una de las dos celdas adyacentes para conducir corriente eléctrica a los electrodos por medio de un punto de contacto entre la barra colectora y una barra de suspensión del electrodo, y en dicho método la corriente eléctrica de cada electrodo se mide midiendo el campo magnético inducido por dicha corriente. "El punto de contacto" es el emplazamiento donde la barra de suspensión hace contacto con el elemento respectivo de barra colectora. Según la invención el campo magnético se detecta con un circuito magnético que se dispone para circundar el punto de contacto en un plano horizontal en el nivel del punto de contacto, dicho circuito magnético comprende un núcleo de material magnético formado como anillo que rodea el punto de contacto, y el anillo se coloca en rebajes formados en la barra colectora o el anillo se dobla o pliega en dos o tres dimensiones sobre el perfil de barra colectora.

10 Según un segundo aspecto, la presente invención proporciona una disposición de medición de corriente para medir corriente eléctrica que fluye en un electrodo individual en un sistema de electrolisis que comprende una pluralidad de electrodos entrelazados, cátodos y ánodos, dispuestos en una celda de electrolisis y sumergidos en un electrolito, dicho sistema de electrolisis tiene una barra colectora dispuesta sobre una pared separadora de celda entre cada una de las dos celdas adyacentes para conducir corriente eléctrica a los electrodos por medio de un punto de contacto entre la barra colectora y una barra de suspensión del electrodo, y la disposición de detección de corriente comprende unos medios de detección de campo magnético para medir el campo magnético inducido por dicha corriente. Según la invención los medios de detección de campo magnético comprenden un circuito magnético dispuesto para circundar el punto de contacto sustancialmente en el plano horizontal que está al nivel del punto de contacto, dicho circuito magnético comprende un núcleo de material magnético formado como anillo que rodea el punto de contacto, y el anillo se coloca en rebajes formados en la barra colectora o se dobla o pliega en dos o tres dimensiones sobre la barra colectora.

15 La ventaja de la invención es que para la detección de cortocircuitos, cortocircuitos incipientes, circuitos abiertos y circuitos abiertos incipientes se pueden obtener resultados de medición muy precisos de la corriente que pasa por medio de los puntos de contacto. Esto permite a los operarios tomar una acción correctiva con prontitud antes de que ocurra daño. La invención se puede instalar durante la construcción de plantas nuevas de ER y EW, o instalar posteriormente en una planta existente de ER o EW. Una ventaja adicional de la invención es identificar para los operarios la ubicación exacta de un fallo o fallo incipiente eliminando de ese modo la necesidad de patrullas de operarios, lo que es un desperdicio de mano de obra y que daña potencialmente las celdas.

20 En una realización del método, el circuito magnético es un sensor de corriente en bucle abierto.

En una realización del método, el circuito magnético es un sensor de corriente de bucle cerrado.

En una realización de la disposición, el circuito magnético es un sensor de corriente en bucle abierto.

En una realización de la disposición, el circuito magnético es un sensor de corriente de bucle cerrado.

Breve descripción de los dibujos

- La figura 1 es una representación esquemática del circuito eléctrico de un alojamiento de tanque,
- la figura 2 es una sección transversal de una celda de electrolisis con un electrodo sumergido en electrolito,
- la figura 3 es una ilustración esquemática de un sensor de corriente en bucle abierto,
- 5 la figura 4 es una ilustración esquemática de un sensor de corriente de bucle cerrado,
- la figura 5 muestra una vista superior de un sensor de corriente rígido de único plano (bucle abierto o bucle cerrado) encajado alrededor de un punto de contacto de barra colectora - barra de suspensión con rebajes cortados en la barra colectora para acomodar el sensor,
- la figura 6 muestra una sección transversal VI-VI de la figura 5,
- 10 la figura 7 muestra cómo un sensor de corriente de bucle abierto o de bucle cerrado que comprende un núcleo doblado en una tercera dimensión para permitirle encajar alrededor de un punto de contacto sin cortar la barra colectora o la barra de suspensión de electrodo,
- la figura 8 muestra cómo un sensor de corriente de bucle abierto o de bucle cerrado que comprende un núcleo doblado y retorcido para permitirle encajar alrededor de un punto de contacto sin cortar la barra colectora o la barra de suspensión de electrodo,
- 15 la figura 9 es una ilustración esquemática de un sensor de efecto Hall,
- la figura 10 muestra cuatro sensores de efecto Hall desplegados alrededor de un punto de contacto de barra colectora a barra de suspensión con separación de 90 grados,
- la figura 11 muestra dos sensores de efecto Hall desplegados alrededor de un punto de contacto de barra colectora a barra de suspensión con separación de 180 grados,
- 20 la figura 12 muestra cuatro sensores de efecto Hall desplegados alrededor de un punto de contacto con separación de 120 grados, 60 grados, 120 grados y 60 grados,
- la figura 13 muestra cómo se pueden montar sensores de efecto Hall de una manera óptima por conveniencia de ensamblaje,
- 25 la figura 14 muestra cómo se pueden montar los sensores de efecto Hall en un ángulo vertical con el ideal para facilitar el montaje,
- la figura 15 muestra una sección transversal de un sistema doble contacto de barra colectora con barras de suspensión de cátodo y ánodo que tienen sus puntos de contacto a los conductores, y una unidad de bastidor que tiene sensores de campo magnético para detectar la corriente que pasa a través de los puntos de contacto,
- 30 la figura 16 muestra en vista en planta el sistema de doble contacto de barra colectora de la figura 16 en donde la unidad de bastidor cubre cuatro cátodos y ánodos con cuatro sensores Hall desplegados alrededor de cada punto de contacto de barra colectora - barra de suspensión,
- la figura 17 muestra en vista axonométrica una realización de las unidades de bastidor que se diseñan para poder caer sobre un set de barras de suspensión de cátodo y ánodo mientras el sistema ER o EW está en funcionamiento y que permite elevación sin trabas de ánodos y cátodos, y
- 35 la figura 18 es un diagrama de bloques de una realización no según la invención.

Descripción detallada de la invención

- En una realización de la invención, como también se muestra en las figuras 5 a 8, el campo magnético es detectado en el nivel del punto de contacto 6 entre una barra de suspensión 7 de un electrodo 1 y/o 2 y la barra colectora 4 con un circuito magnético 8; 8¹, 8² que se dispone para circundar el punto de contacto 6 sustancialmente en un plano horizontal sustancialmente en el nivel del punto de contacto. El circuito magnético se puede usar como sensor de corriente en bucle abierto o como sensor de corriente de bucle cerrado. Esto permite hacer mediciones precisas en corrientes de electrodo.
- 40
- La figura 3 muestra el principio muy conocido de un circuito magnético en bucle abierto para medición de corriente. En este sensor el conductor que lleva corriente 20 atraviesa un circuito magnético 8. La corriente I en el conductor 20 crea un flujo magnético en el circuito magnético 8 que es proporcional a la corriente en el conductor 20. La densidad de flujo magnético en un espacio libre 21 en el circuito magnético 8 se mide mediante un sensor de efecto Hall de campo magnético 10. El sensor 10 tiene como salida una señal 22 que es proporcional a la densidad de flujo magnético
- 45

en el espacio libre 21 y por tanto a la corriente en el conductor 20.

La figura 4 muestra el principio muy conocido de un circuito magnético en bucle cerrado para medición de corriente. En este sensor el conductor que lleva corriente 20 atraviesa un circuito magnético 8. La corriente en el conductor 20 tiende a crear un flujo magnético en el circuito magnético 8. Esto tiende a alterar la densidad de flujo magnético en un espacio libre 21. La salida del sensor de efecto Hall 10 en el espacio libre 21 tiene como salida una señal como resultado de este cambio en densidad de flujo en el espacio libre 21. Esta señal es amplificada por el amplificador 23 que suministra corriente a la bobina 24 en el sentido de que su contribución Amperio-vuelta a la magnetización del circuito magnético 8 se opone la contribución Amperio-vuelta de la corriente en el conductor 20 a la magnetización del núcleo magnético 8. Se establece un equilibrio entre estas Amperio-vueltas que compiten de modo que el flujo en el núcleo 8 permanece cerca de cero. La corriente en la bobina 24 atraviesa un reóstato 25 para generar una señal de tensión de salida 26 que es proporcional a la corriente en bobina 24 y también proporcional a la corriente en el conductor 20.

Las figuras 5 y 6 muestran una barra de suspensión típica de cátodo o ánodo 7 que reposa sobre una barra colectora 4 de la que obtiene corriente o a la que entrega corriente. En algunos casos, el flujo de corriente en los puntos de contacto será unidireccional y en algunos otros casos será bidireccional (por ejemplo en sistemas de doble contacto de barra colectora, véase también las figuras 15 y 16). Como la parte inferior de la barra de suspensión 7 es a menudo curvada y la parte superior de la barra colectora 4 es a menudo curvada, fluye corriente a través de un punto de contacto 6 entre las dos. Si bien la barra de suspensión 7 es de fondo plano el punto de contacto 6 es probable que sea alargado. Un circuito magnético 8, que en esta realización es un núcleo rectangular de material magnético formado como primer anillo 8¹, circunda el punto de contacto 6. Como el circuito magnético 8¹ es rígido y esencialmente bidimensional (es decir, plano), se han cortado rebajes 9 en la barra colectora 4 para acomodar el anillo de circuito magnético 8¹ para permitir detectar el campo magnético en el nivel del punto de contacto 6. La disposición del circuito magnético de las figuras 5 y 6 es adecuada para ser instalada durante la construcción de una planta nueva ER y EW.

La figura 7 muestra la disposición descrita en la figura 6 pero con un circuito magnético 8 cuyo núcleo de material magnético formado como segundo anillo 8² que se dobla, se pliega o se forma tridimensionalmente para curvarse sobre la barra colectora 4. De ese modo es posible evitar cortar rebajes en la barra colectora 4. La figura 8 muestra cómo se puede retorcer el segundo núcleo de anillo del circuito magnético 8² así como doblarse para obtener una forma más conveniente cuando el circuito magnético se extiende más allá de la barra de suspensión 7. Las realizaciones de las figuras 7 y 8 son importantes cuando el objetivo es instalación posterior en una planta existente de ER o EW. En una planta de electrorrefinación existente el circuito magnético de la figura 7 o 8 se puede instalar cuando se recogen los cátodos o se cambian los ánodos o durante limpieza de celdas. En una planta existente de electroobtención los circuitos magnéticos se pueden instalar cuando se recogen cátodos. Además, la facilidad para doblar el circuito magnético 8² en tres dimensiones permite la oportunidad de localizar la extremidad 27, que contiene el sensor de flujo magnético 10, en una posición en la que es improbable que recoja flujo magnético creado por corrientes eléctricas distintas a la corriente que pasa a través del punto de contacto 6 que se mide.

Con respecto a sensores de bucle abierto y bucle cerrado, cuando se selecciona la posición del espacio libre de sensor, se puede apreciar que hay que promover que el flujo magnético generado por corriente distinta a la medida pase a través de partes del sensor magnético que no incluyen el espacio libre que contiene el sensor de efecto Hall (u otro). También el espacio libre en el circuito magnético que contiene el sensor de efecto Hall (u otro) se debe ubicar en una parte del circuito magnético que no sea propensa a llevar el flujo magnético generado por corrientes distintas a la que se va a medir. Además, es deseable ubicar el sensor de efecto Hall (u otro) tan lejos como sea posible de fuentes de calor.

Además, con respecto a sensores de bucle abierto y bucle cerrado, cuando se selecciona el tipo de sensor a poner en el espacio libre del circuito magnético, se debe apreciar que también hay otras opciones para el sensor en el espacio libre de circuito magnético distintas a sensores de efecto Hall - por ejemplo sensores tipo flujo-compuerta. Los sensores de efecto Hall se pueden combinar en un circuito integrado con una variedad de otras instalaciones, tales como compensación de temperatura, memoria de factor de calibración, salida digital, salida sin relación métrica, etc. Tales instalaciones suponen un coste y cuando el diseñador elige usar los sensores de efecto Hall más sofisticados decidirá si los beneficios merecen el coste extra.

También con respecto a sensores de bucle abierto y bucle cerrado, cuando se selecciona el material para el núcleo, se debe apreciar que las mediciones de corriente a hacer en electrolisis no requieren un ancho de banda alto - la medición es esencialmente la de corriente continua únicamente. Por tanto se puede sacrificar ancho de banda en beneficio de otras características del sensor. Para el núcleo es deseable material magnético de baja remanencia. El material de baja remanencia es generalmente más caro que el acero al silicio convencional (tal como se usa para laminaciones de transformador). También es posible usar núcleos de ferrita pero se fabrican en formas específicas (por ejemplo núcleos en E y toroides) y sería caro requerir a un fabricante de núcleo de ferrita que preparara herramienta para núcleos que tienen una forma tridimensional específica. La remanencia en el material magnético se puede mitigar mediante el proceso muy conocido de desmagnetización que algunos circuitos integrados de gestión de sensor de corriente ofrecen como instalación integrada.

La alta precisión resulta de medir la corriente en cada electrodo en una ubicación donde se concentra en un punto. El

bajo coste del circuito magnético por elección de un material magnético que optimiza las prestaciones en CC en lugar de CA. Usar la flexibilidad del material magnético elegido permite doblar el material magnético en tres dimensiones para permitir instalar el sensor de corriente alrededor del punto de contacto sin cortar la barra colectora o la barra de suspensión de electrodo.

- 5 Una realización de la invención está relacionada con el uso de sensores de efecto Hall para medir corrientes en una multiplicidad de electrodos adyacentes dentro de un proceso de electrolisis.

La figura 9 muestra un sensor de efecto Hall 10 típico. Es sensible a flujo magnético que pasa a través de él en el eje x pero no en el eje y o z. Este se puede usar para discriminar entre flujo producido por corriente que fluye en diferentes planos.

- 10 Con referencia a la figura 10, una distribución de sensores de campo magnético 10 se dispone alrededor del punto de contacto 6 sustancialmente en el plano horizontal en el nivel del punto de contacto.

La figura 10 muestra una distribución de transductores de efecto Hall 1 (vista superior) desplegados alrededor de un conductor que lleva corriente que puede ser el punto de contacto 6 (etiquetado A) entre una barra de suspensión de electrodo y una barra colectora (no se muestra). Los sensores de efecto Hall 10 se montan con su canto (eje z, véase la figura 9) apuntando hacia la línea central del punto de contacto 6. Los cuatro sensores de efecto Hall 10 son equidistantes del punto de contacto 6. Líneas de flujo magnético 28 creadas por la corriente que pasa por medio del punto de contacto 6 pasan a través del eje x sensible de los sensores de efecto Hall 10. Las señales de salida de los sensores de efecto Hall se añaden juntas (se suman) ya sea a través de medios analógicos o al ser convertidas a señales digitales de datos y añadidas juntas en un microprocesador. La suma de estas señales es una medida de la corriente que fluye en el punto de contacto 6 que es relativamente insensible al desplazamiento del punto de contacto 6 dentro de la distribución de sensores Hall 10. Adicionalmente, si otro conductor 29 (etiquetado B) está en las inmediaciones de la distribución de los sensores de efecto Hall 10, y genera flujo magnético en el mismo plano que el generado por el conductor A, la suma de salidas de sensor 10 se verá afectada muy poco por el flujo magnético 30 del conductor B. Como muestra la figura 10, pasan líneas de flujo 30 a través de parejas de sensores 10 en direcciones opuestas y por lo tanto la señal que generan en una pareja de sensores se suma a cero y la señal generada en la suma de los cuatro sensores 10 también se suma a cero.

En interés de la economía, el número de sensores 10 se puede reducir a dos como se muestra en la figura 11. Sin embargo, la magnitud de la señal final será la mitad. También, la señal total (la suma de la dos señales) no será tan insensible al desplazamiento del punto de contacto 6 en todas direcciones. También, como se muestra, los sensores 10 serán menos insensibles al flujo generado por el conductor B pero si la posición del conductor B se rota 90 grados alrededor del conductor A, la señal de distribución será sensible al flujo del conductor B.

De manera similar, si el ángulo entre sensores en la distribución se cambia a 120°, 60°, 120° y 60° como se muestra en la figura 12, habrá pérdida similar de la capacidad de la distribución para rechazar desplazamiento del conductor A con respecto a la distribución y de la capacidad de la distribución para rechazar el efecto del flujo del conductor B cuando B está en ciertas posiciones con respecto al conductor A. Sin embargo, cuando no se busca la mayor precisión de medición de la corriente y por razones constructivas es conveniente usar un despliegue como se muestra en la figura 12, la pérdida de precisión y el rechazo de señal no deseada puede ser aceptable.

La figura 13 muestra un ejemplo adicional de colocación de los sensores de campo magnético 10. La disposición comprende una unidad de bastidor 11 de material aislante, no magnético, para sostener los sensores de campo magnético 10 en una posición predeterminada con respecto al punto de contacto 6. La unidad de bastidor 11 comprende una hendidura 12 dispuesta para acomodar una barra de suspensión de electrodo 7 con un juego. La hendidura 12 se define entre dos paredes 13 que son paralelas y opuestas y a una distancia entre sí. Dos sensores de campo magnético 10, que están espaciados entre sí, se conectan a cada una de las paredes 13. Los sensores 10 se alinean con paredes laterales 13 de una unidad de bastidor 11 que se alinean con la barra de suspensión 7 de un electrodo que es perpendicular a la barra colectora 4. Como se puede ver en la figura 13, como los sensores 10 se alinean con las paredes 13 no se montan con su canto (eje z, véase la figura 9) apuntando hacia la línea central del punto de contacto 6 (como en la figura 10). Esta colocación de los sensores 10 no es ideal pero puede tener ventajas con respecto al montaje.

La figura 14 muestra un ejemplo adicional de colocación de los sensores de campo magnético 10. Los sensores 10 se alinean verticalmente con la pared 13 de la unidad de bastidor 11 en un pequeño ángulo con la vertical. Una no idealidad adicional se ocasiona por la posible elevación de los sensores 10 por encima del plano horizontal del punto de contacto 6 no debería ser posible montarlos exactamente a lo largo de ese plano por razones físicas.

Un punto de contacto 6 de cátodo o ánodo requerirá cuatro sensores de efecto Hall 10 para medición de mejores prestaciones de la corriente que fluye a través de él.

- 55 Las figuras 15 y 16 muestran una disposición adaptada para ser usada en conexión con un sistema de doble contacto de barra colectora, nombre comercial Outotec DoubleContact™, (también descrito en el documento US 6.342.136 B1) junto con barras de suspensión 7 de los cátodos 1 y ánodos 2 posicionados en la parte superior de la barra colectora.

El sistema de doble contacto de barra colectora comprende una barra colectora principal entre-celdas 4, colocada sobre un aislamiento inferior 31, para conducir corriente desde los ánodos 2 (en la izquierda) a los cátodos 1 (en la derecha). Además el sistema comprende una primera barra colectora compensadora 32, colocada sobre la aislamiento inferior 31, para contactos de ánodo y una segunda barra compensadora 33 para contactos de cátodo, dicha segunda barra compensadora 33 se coloca sobre un segundo aislamiento 34 que está sobre la barra colectora principal entre-celdas 4. El sistema de doble contacto de barra colectora ayuda a que la distribución corriente en la celda cruce uniformemente todos los electrodos. Este sistema también proporciona a la corriente múltiples caminos para encontrar la ruta de resistencia más baja entre ánodo y cátodo conforme la corriente va desde la barra colectora al proceso de electrometalización.

La figura 16 también ilustra la dirección de la corriente en los puntos de contacto 6. En los puntos de contacto 6 de los ánodos 2 a la barra colectora principal 4 la corriente fluye unidireccionalmente desde la barra colectora principal 4 al ánodo 2 (saliendo de la página). En los puntos de contacto 6 de los cátodos 1 a la barra colectora principal 4 la corriente fluye unidireccionalmente desde los cátodos 1 a la barra colectora principal 4 (entrando a la página). En los puntos de contacto 6 de los cátodos 1 a la primera barra compensadora 33 el flujo de corriente es bidireccional. De manera semejante, en los puntos de contacto 6 de los ánodos 2 a la segunda barra compensadora 32 el flujo de corriente es bidireccional.

Las figuras 15 y 16 muestran una unidad de bastidor 11 de material aislante, no magnético. La unidad de bastidor 11 sostiene los sensores de campo magnético 10 en una posición predeterminada con respecto al punto de contacto 6. La unidad de bastidor 11 comprende una pluralidad de sensores de campo magnético 10 dispuestos para medir campo magnético desde una pluralidad de puntos de contacto 6. La unidad de bastidor 11 comprende una pluralidad de hendiduras 12, cada una de las cuales se dispone para acomodar un extremo de una barra de suspensión de electrodo 7 con un juego para permitir la instalación del bastidor dejándolo caer a la posición sobre la barra colectora sin tener que retirar los electrodos y para permitir la elevación de los electrodos sin tener que retirar el bastidor. La unidad de bastidor 11 comprende hendiduras 12 para cuatro extremos de las barras de suspensión 7 de los cátodos 1 y para cuatro extremos de las barras de suspensión 7 de los ánodos 2. Cada hendidura 12 se define entre dos paredes 13 que son paralelas y opuestas y a una distancia entre sí. Una pareja de sensores de campo magnético 10, p. ej. sensores de efecto Hall, que están espaciados entre sí, se conectan a cada una de las paredes 13.

En las figuras 15 y 16 se monitoriza la corriente que pasa a través de los puntos de contacto 6 de ambos cátodos 1 y ánodos 2, aunque es cuestión de elección si se monitorizan cátodos o ánodos o ambos. Cuantos más puntos de contacto 6 se monitorizan, mejor será la capacidad del sistema para suprimir la imprecisión en cualquier medición particular de corriente debido a presencia de corrientes en conductores adyacentes.

La unidad de bastidor 11, como se muestra en la figura 16, permite elevar los ánodos 2 y cátodos 1 desde la celda 3 sin impedimento. Un diseño apropiado de la unidad de bastidor 11 también permite dejar caer la unidad de bastidor a su posición en un sistema de trabajo de ER o EW sin interferir con la producción. Claramente esto es una ventaja cuando el sistema de medición de corriente se instala posteriormente a una planta existente de ER o EW. Las unidades de bastidor 11 se pueden construir tan pesadas que permanezcan estacionarias sobre la barra colectora y no se elevan durante la recogida incluso si las barras de suspensión contactan con fricción con la unidad de bastidor. Adicionalmente, o como alternativa, las unidades de bastidor se pueden equipar con acoplamientos de liberación rápida para fijarlas a la pared de celda o a la barra colectora.

La figura 17 muestra una fila o cola de unidades de bastidor iguales 11, como se describe en conexión con la figura 16, colocadas en la barra colectora entre-celdas. En la figura 17 únicamente se muestran barras de suspensión 7 de cátodos 1 que reposan sobre la barra colectora y no se muestran barras de suspensión de los ánodos. Las unidades de bastidor 11 se diseñan de modo que se puedan dejar caer a su posición sin interferir con la producción. También se diseñan de modo que la subida de los cátodos y ánodos es sin trabas por la presencia de las unidades de bastidor 11. La unidad de bastidor 11 puede comprender indicadores visuales 14 que se disponen para indicar qué electrodos tienen un problema asociado con ellos que requiere atención. Cuando la unidad de bastidor 11 se dota con indicadores visuales 14 (p. ej. ledes en su superficie superior) se entenderá que estos indicadores visuales 14 pueden proporcionar información de maneras distintas a simplemente encender o apagar. Por ejemplo pueden destellar, a diversas tasas, o cambiar de color o emplear un intervalo de ledes de diversos colores. Además, un indicador visual 14 puede ser un emisor de luz infrarroja de modo que se puede transportar información a un instrumento de mano de operario o a un receptor fijo de infrarrojos. Los indicadores visuales 14 pueden ser ledes ubicados en la parte superior de cada unidad de bastidor 11 y se pueden usar como indicador visual de la posición de ánodos o cátodos que están en peligro y necesitan atención de un operario. Los datos transmitidos nuevamente a la sala de control también pueden mostrar a un operario qué ánodos o cátodos necesitan ser atendidos. Haciendo referencia también a la figura 18, la unidad de bastidor 11 también puede comprender un microprocesador 15 para pre-análisis de la pluralidad de señales derivadas de los sensores de campo magnético 10 de modo que únicamente es necesario transmitir señales derivadas de medición de corriente a una estación de procesamiento central 16. El microprocesador no necesariamente se tiene que fijar físicamente a la unidad de bastidor. El microprocesador también puede estar externo y fuera de la unidad de bastidor. El microprocesador 15 también se puede programar para contener información individual de ID y ubicación. Los indicadores visuales 14 son controlados por el microprocesador 15. Al microprocesador dentro de cada unidad de bastidor 11 se le da la capacidad de detectar el fallo de un sensor de efecto Hall 10 y reorganizar su análisis de la

señal de sensor de efecto Hall restante de modo que la unidad de bastidor 11 pueda continuar funcionando, aunque de una manera ligeramente degradada, y al mismo tiempo, cuando sea posible, proporcionar una señal de advertencia a la sala de control central de la fallo y la degradación de modo que la unidad de bastidor pueda ser sustituida durante un periodo de mantenimiento programado. La disposición comprende una unidad de procesamiento central 16 dispuesta para recibir señales de los microprocesadores 15 de las unidades de bastidor 11.

Un algoritmo opcionalmente dentro del programa de funcionamiento del microprocesador contenido dentro de la unidad de bastidor se puede disponer para crear una grabación de corriente de cada ánodo y/o cátodo frente al tiempo y análisis de dicha grabación para buscar el perfil de un cortocircuito en el proceso de desarrollarse.

La unidad de bastidor 11 también puede comprender sensores de temperatura 17 dispuestos para medir la temperatura de las barras de suspensión de electrodo 7, barras colectoras 4 o la unidad de bastidor 11. Los sensores de temperatura 17 se pueden conectar al microprocesador 15 de la unidad de bastidor y por tanto también comunicarse con la instalación de control central 16. Los sensores de temperatura 17 se ubican preferencialmente cerca de las barras de suspensión de electrodo 7. Las barras de suspensión 7 son la fuente más probable de calentamiento de la unidad de bastidor 11. Este calentamiento podría dañar los sensores de efecto Hall 10. Por tanto una advertencia temprana de temperatura ascendente permitirá a un operario tomar una acción correctiva y evitar daño a los sensores Hall y otros componentes electrónicos dentro de la unidad de bastidor. Adicionalmente las barras de suspensión calientes son una indicación de un cortocircuito entre electrodos. Barras de suspensión frías podrían ser una indicación de un circuito abierto. Por tanto los sensores de temperatura son otra fuente de información acerca de la condición de la celda de electrolisis. Los sensores de efecto Hall y los sensores de temperatura por lo tanto pueden cooperar para proporcionar a los operarios de planta una advertencia de problemas reales o inminentes. Opcionalmente, las señales de los sensores de efecto Hall y los sensores de temperatura pueden ser analizadas por el microprocesador en la unidad de bastidor para proporcionar una simple advertencia de un problema en esa ubicación a la sala o de control por medio de un indicador visual montado en la unidad de bastidor. La unidad de bastidor puede funcionar incluso si no hay sensor de corriente en funcionamiento de modo que depende enteramente de detección de temperatura. Algunas características de los sensores de efecto Hall dependen de la temperatura. Las lecturas de temperatura enviadas al microprocesador se pueden usar por lo tanto para corregir en temperatura las señales que llegan de los sensores de efecto Hall. Termistores, termopares, sensores digitales o sensores de infrarrojos puede se pueden usar todos como sensores de temperatura.

Además, la unidad de bastidor 11 puede comprender un almacenamiento de energía eléctrica 18 que puede ser cargable por recogida de energía de la ambiente o externamente por medio de suministro de energía normal. Un sensor de efecto Hall típico consumirá aproximadamente 10 mA en funcionamiento. Si una unidad de bastidor debe abarcar cuatro cátodos y cuatro ánodos, cada uno rodeado por cuatro sensores de efecto Hall, el número total de sensores de efecto Hall empleado será 32. La corriente total consumida por los sensores de efecto Hall si todos funcionan continuamente será de 320 mA. Esto puede ser inconvenientemente grande. Cada sensor de efecto Hall o distribución de sensores de efecto Hall se puede conectar por lo tanto a su suministro de energía mediante un electrónico conmutador (por ejemplo, un MOSFET) está bajo el control del microprocesador en la unidad de bastidor. Por tanto el microprocesador únicamente activa esos sensores Hall para los que se requiere una lectura en algún momento.

Como la electrolisis varía con el tiempo solo lentamente, únicamente se tienen que tomar lecturas de la corriente (y otras mediciones) en grandes intervalos de tiempo. Además, se pueden obtener lecturas de los sensores Hall en fracciones de segundo. El microprocesador se puede disponer para que emplee la mayor parte del tiempo en modo reposo usando únicamente una diminuta cantidad de potencia con toda la demás electrónica de la unidad de bastidor apagada. Por tanto el consumo medio de potencia de la electrónica contenida dentro de la unidad de bastidor puede ser muy baja. La unidad de bastidor puede emplear casi todo el tiempo en hibernación usando únicamente unos pocos μ W de potencia. Si hay una unidad de almacenamiento de energía dentro de las unidades de bastidor (por ejemplo un condensador dimensionado adecuadamente o batería recargable) este se puede cargar lentamente desde una fuente de alimentación baja o por medio de un suministro de energía normal. Puede ser posible obtener esta carga lenta por recolección de energía. Hay varias maneras con las que se pueden lograr esto (p. ej. corriente alterna, fuente fotovoltaica, pila térmica o generador Peltier que usa el calor del tanque de electrolisis). Adicionalmente esta energía almacenada también se puede usar para transmitir los datos obtenidos inalámbricamente si se desea activar un radiotransmisor durante un tiempo muy corto (típicamente un fracción de segundo).

También puede ser que sobre la base de la unidad de bastidor, contactos de resorte presionan contra los elementos conductores de barra colectoras. La finalidad de estos contactos es doble: permiten recoger energía para la unidad de bastidor electrónica de los elementos de barras colectoras, y permiten hacer mediciones de tensión en los elementos de barra colectoras. Se pueden proporcionar más contactos que los estrictamente necesarios para el funcionamiento de modo que haya algo de redundancia que es útil si la contaminación impide que algún contacto de resorte haga una buena conexión con el elemento de barra colectoras. El microprocesador puede monitorizar el estado de cada contacto de resorte y avisar al operario si se requiere mantenimiento de la unidad de bastidor.

Las unidades de bastidor 11 también pueden ser encadenadas eléctricamente en margarita con cables de alimentación y señalización conectados desde unidad a la unidad usando enchufes y tomas. En lugar de usar un sistema de cadena en margarita de enchufes y tomas para conectar unidades de bastidor, también es posible tirar un cable, tal como un

pareja de hilos trenzados, a lo largo del lado de cada tanque y acoplar alimentación a cada unidad de bastidor de un modo sin contacto mientras se acoplan datos de nuevo adentro y afuera de ese cableado de un modo sin contacto. También es posible disponer un acoplamiento inductivo entre unidades de bastidor. La primera unidad de bastidor se puede alimentar con cable físico y la alimentación puede pasar entonces inalámbricamente por medio de los acoplamientos inductivos por una cadena en margarita de las unidades de bastidor.

Dentro de las unidades de bastidor 11 se establecen fuentes de alimentación que dan una salida precisa adecuada de tensión para permitir el uso de sensores de efecto Hall 10 de relación métrica dentro de la unidad de bastidor. El microprocesador 15 dentro de la unidad se puede programar con una rutina de arranque que permite compensación de tensiones de los sensores de efecto Hall. El microprocesador 15 se puede encender antes de instalar la unidad 11 a la planta de ER o EW para conseguir esto.

Durante el ensamblaje, se puede realizar calibración de los sensores de efecto Hall 10 para mejorar la precisión. Esto requerirá el uso de un aparato de calibración que pueda generar un set conocido de corrientes en una estructura ficticia adecuada de barra colectora y barra de suspensión. El microprocesador de ese modo puede adquirir y recordar un factor de calibración para cada sensor de efecto Hall.

Típicamente se usará un aparato de calibración para probar y calibrar los sensores Hall usados en la unidad de bastidor. Esta unidad de calibración típicamente tendría un set de barras de suspensión que reposan sobre barras colectoras en una forma que emula la estructura que se encuentra en la celda de electrolisis. Se aplican fuentes de corriente a este equipo que pueden aplicar un patrón de corrientes a través de los diversos conductores durante la calibración de una manera continua, pulsada o variable. En coordinación con este patrón de corriente (que está predeterminado o es transportado al microprocesador de la unidad de bastidor) el microprocesador toma mediciones de las lecturas de sensor de efecto Hall en momentos apropiados en el tiempo. Estas lecturas se usan para calibrar las lecturas de corriente producidas por el microprocesador.

Un procedimiento de calibración típico podría ser de la siguiente manera. Asumiendo que todos los conductores (o puntos de contacto) están rodeados por una distribución de cuatro sensores de efecto Hall, como se ha descrito anteriormente. Una primera prueba sería aplicar una corriente a un conductor o punto de contacto únicamente. Se tomarían lecturas de los cuatro sensores de efecto Hall que rodean este conductor o punto de contacto. De estas lecturas se obtendría una medida de la corriente en el conductor o punto de contacto. Adicional y simultáneamente, se obtendrían lecturas de todos los otros sensores de efecto Hall en la unidad de bastidor. Este proceso se repite entonces para todos los conductores o puntos de contacto que la unidad de bastidor aborda y las corrientes de las que es responsable de informar. Por tanto, cuando se está midiendo la corriente en un conductor o punto de contacto particular, el microprocesador puede corregir las lecturas en la distribución de sensores de efecto Hall que rodean esa distribución para los efectos de corrientes que pueden estar fluyendo en cualquiera de los otros conductores o puntos de contacto. Por tanto el proceso de calibración y aprendizaje por el que atraviesa el microprocesador durante la calibración, forma un papel esencial para lograr mediciones de alta precisión de corriente y esta metodología y algoritmo asociado es un aspecto adicional de la invención.

De cada unidad de bastidor 11 se puede transmitir información de corriente por medio del enlace de datos a una sala de control o monitor de pantalla para permitir que las mediciones de corriente sean observadas, registradas y analizadas. El enlace de datos de corriente para cada tanque se puede terminar en una unidad de bastidor ya empleada para devolver información de corriente a una sala de control de modo que los enlaces de datos ya establecidos se pueden usar para transmisión de datos desde las unidades de bastidor.

En compendio, la presente descripción proporciona varias ventajas. Alta precisión de los resultados de medición de medir la corriente en cada electrodo en una ubicación donde se concentra en un punto, es decir, en el punto de contacto. El uso de una pluralidad de sensores de campo magnético para medir cada corriente permite buena intensidad de señal al tiempo que da buena inmunidad a intrusión no deseada de señal. La inclusión de un microprocesador en bastidores de unidad y su capacidad para recordar ubicación con una ID y factores de calibración para cada sensor de efecto Hall permite emplear sensores Hall básicos de coste bajo al tiempo que se logra buena precisión para la unidad. La presencia de un microprocesador en la unidad bastidor permite análisis de las señales de sensor de efecto Hall dentro de la unidad de bastidor que permite ubicar señalización visual para operarios en la unidad de bastidor. Un diseño apropiado de las unidades de bastidor permite instalar las unidades mientras la planta de ER o EW está en funcionamiento. Las unidades de bastidor permiten que continúe el funcionamiento sin trabas, incluida subida y bajada de electrodos.

Si bien se han descrito sensores de efecto Hall y sensores de temperatura, la unidad de bastidor puede contener también otros sensores o equipo de medición además de los descritos aquí y sus instalaciones de medición no se limitan meramente a corriente y temperatura.

REIVINDICACIONES

1. Un método para medir corriente eléctrica que fluye en un electrodo individual en un sistema de electrolisis que comprende una pluralidad de electrodos entrelazados (1, 2), cátodos (1) y ánodos (2), dispuestos en una celda de electrolisis (3) y sumergidos en electrolito, dicho sistema de electrolisis tiene una barra colectora (4) dispuesta sobre una pared separadora de celda (5) entre cada una de las dos celdas adyacentes para conducir corriente eléctrica a los electrodos por medio de un punto de contacto (6) entre la barra colectora y una barra de suspensión (7) del electrodo, y en dicho método la corriente eléctrica de cada electrodo se mide midiendo el campo magnético inducido por dicha corriente, caracterizado por que el campo magnético es detectado con un circuito magnético (8; 8¹, 8²) que se dispone para circundar el punto de contacto (6) en un plano horizontal en el nivel del punto de contacto, dicho circuito magnético (8) comprende un núcleo de material magnético formado como anillo (8¹; 8²) que rodea el punto de contacto (6), y el anillo (8¹) se coloca en rebajes (9) formados en la barra colectora (4) o el anillo (8²) se dobla o pliega en dos o tres dimensiones sobre la barra colectora (4).
2. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que el circuito magnético (8) es un sensor de corriente en bucle abierto.
3. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que el circuito magnético (8) es un sensor de corriente en bucle cerrado.
4. Una disposición de medición de corriente para medir corriente eléctrica que fluye en un electrodo individual en un sistema de electrolisis que comprende una pluralidad de electrodos entrelazados (1, 2), cátodos (1) y ánodos (2), dispuestos en una celda de electrolisis (3) y sumergidos en electrolito, dicho sistema de electrolisis tiene una barra colectora (4) dispuesta sobre una pared separadora de celda (5) entre cada una de las dos celdas adyacentes para conducir corriente eléctrica a los electrodos por medio de un punto de contacto (6) entre la barra colectora y una barra de suspensión (7) del electrodo, y la disposición de detección de corriente comprende unos medios de detección de campo magnético (8; 8¹, 8²) para medir el campo magnético inducido por dicha corriente, caracterizado por que los medios de detección de campo magnético comprenden un circuito magnético (8) dispuesto para circundar el punto de contacto (6) en el plano horizontal que está en el nivel del punto de contacto, dicho circuito magnético (8) comprende un núcleo de material magnético formado como anillo (8¹; 8²) que rodea el punto de contacto (6), y el anillo (8¹) se coloca en rebajes (9) formados en la barra colectora (4) o el anillo (8²) se dobla o pliega en dos o tres dimensiones sobre la barra colectora (4)
5. La disposición según la reivindicación 4, caracterizada por que el circuito magnético (8) es un sensor de corriente en bucle abierto.
6. La disposición según la reivindicación 4, caracterizado por que el circuito magnético (8) es un sensor de corriente en bucle cerrado.

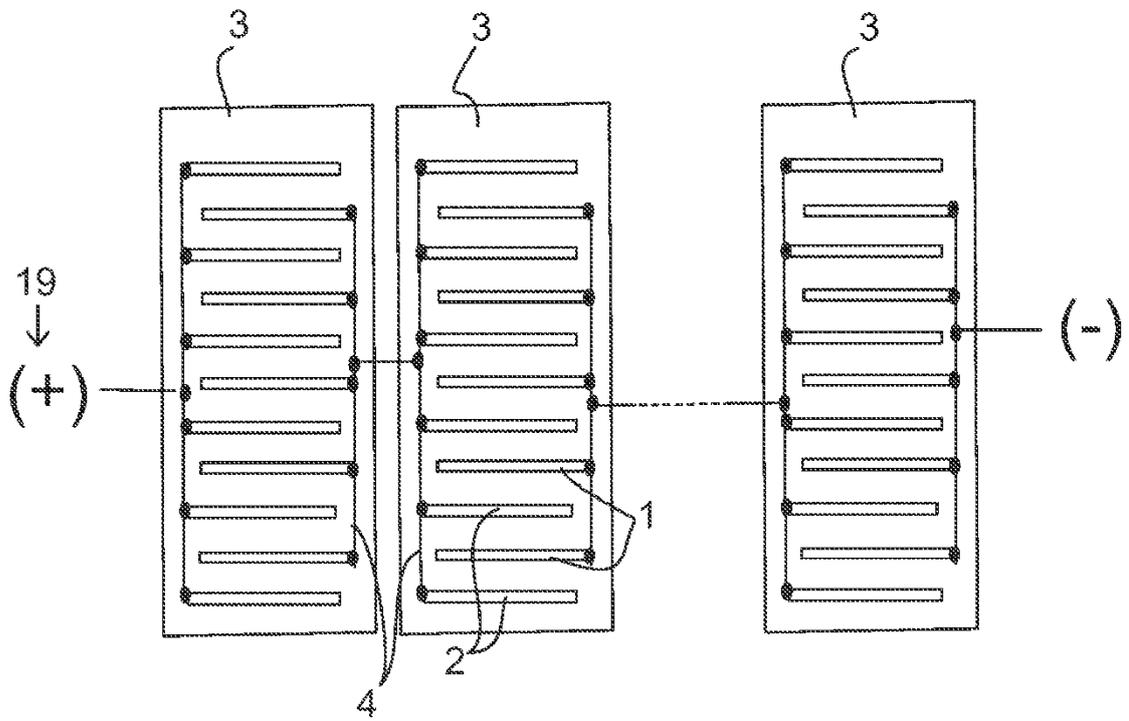


Fig. 1

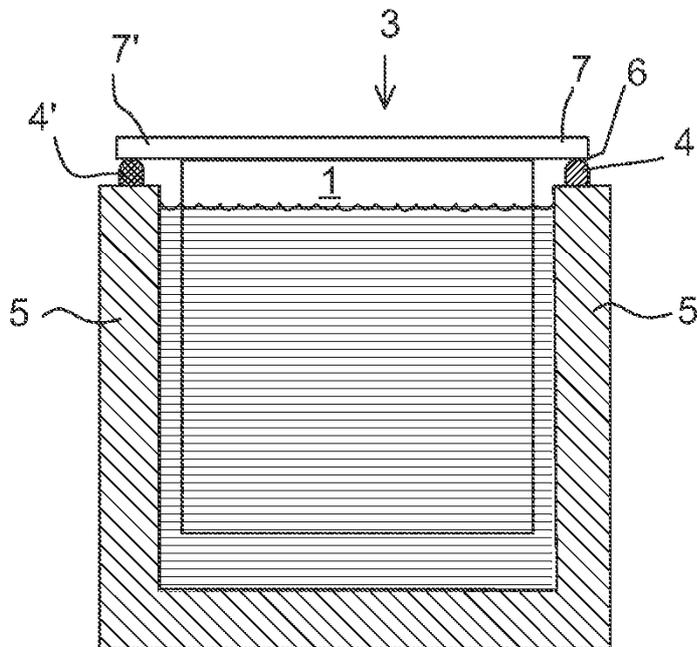


Fig. 2

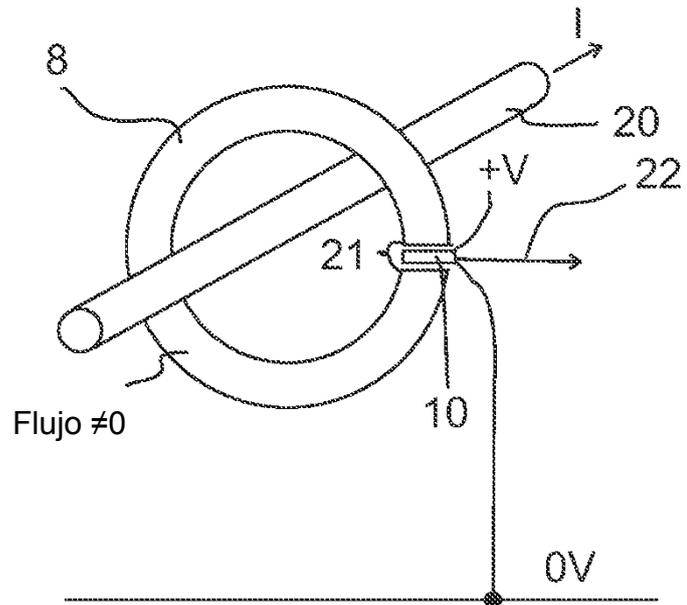


Fig. 3

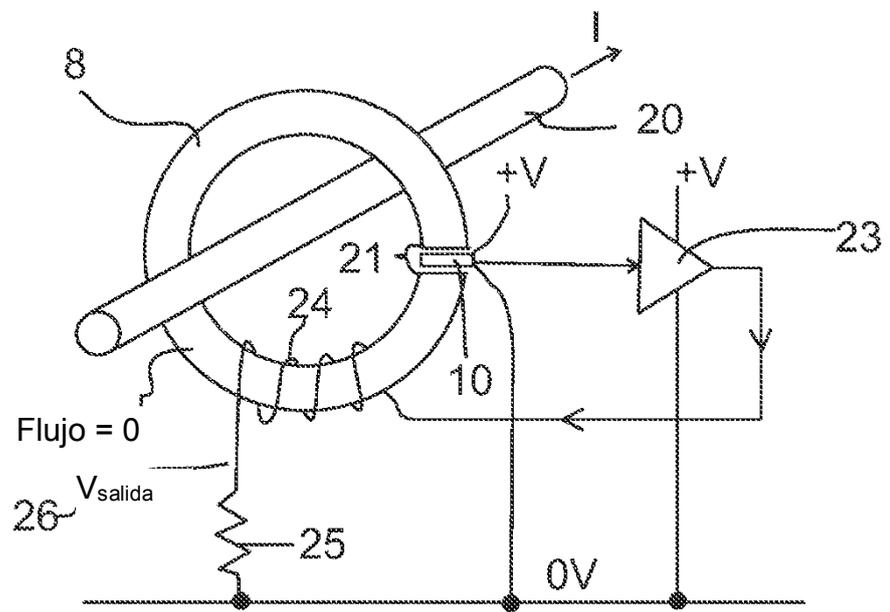


Fig. 4

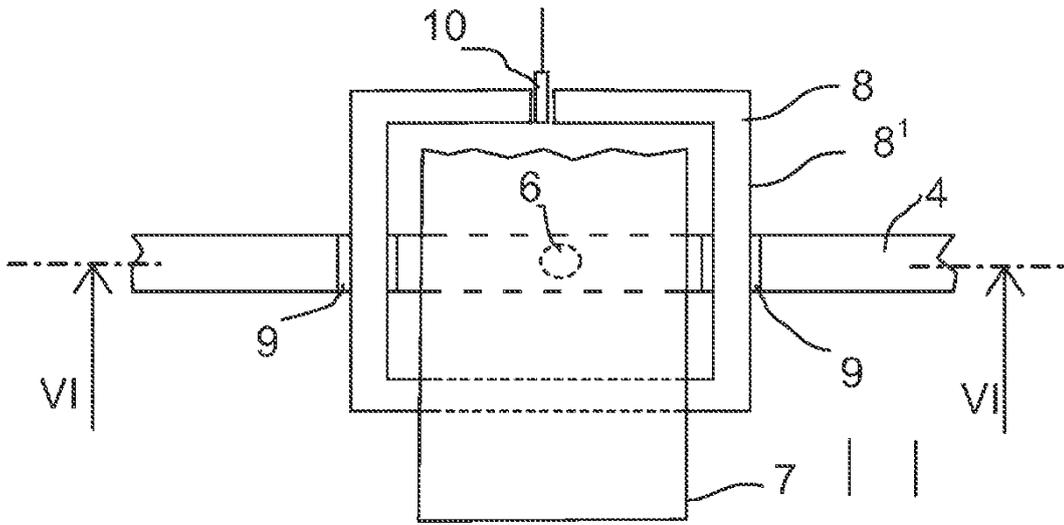


Fig. 5

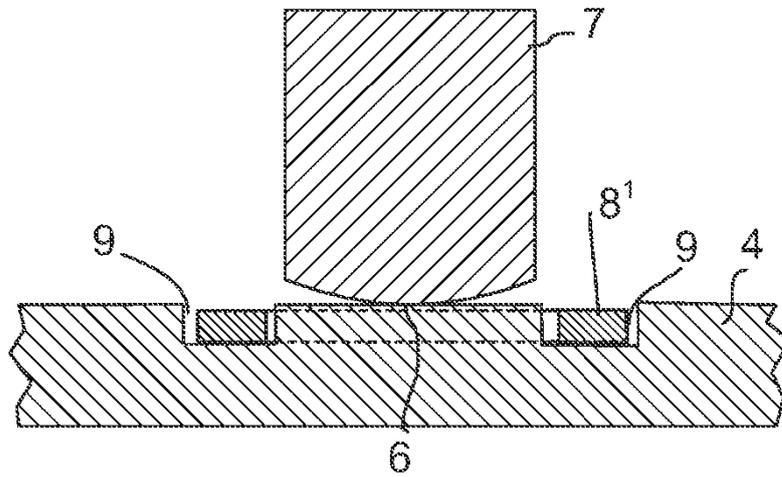


Fig. 6

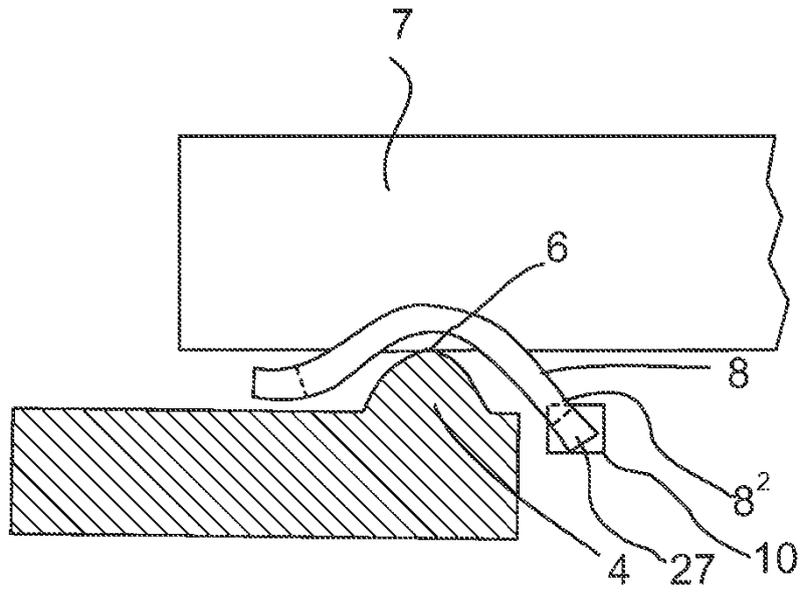


Fig. 7

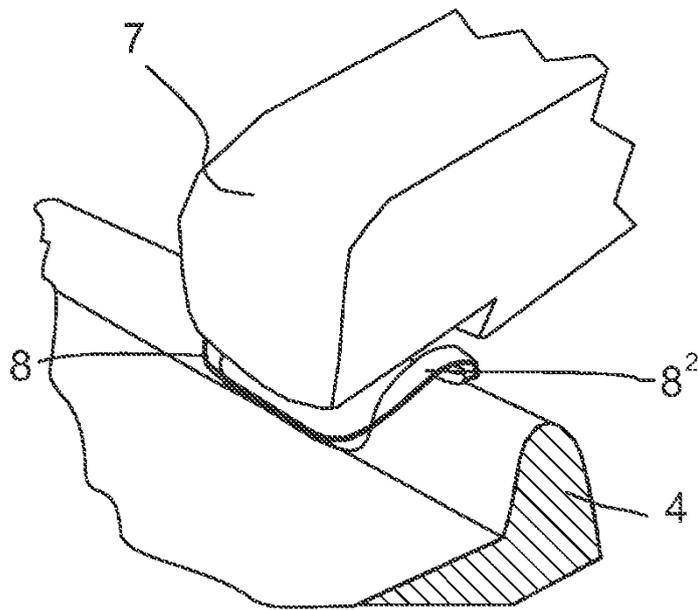


Fig. 8

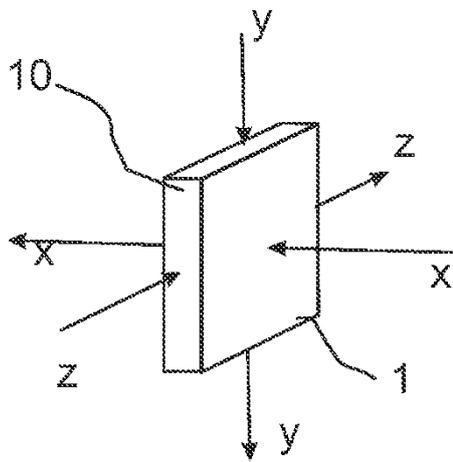
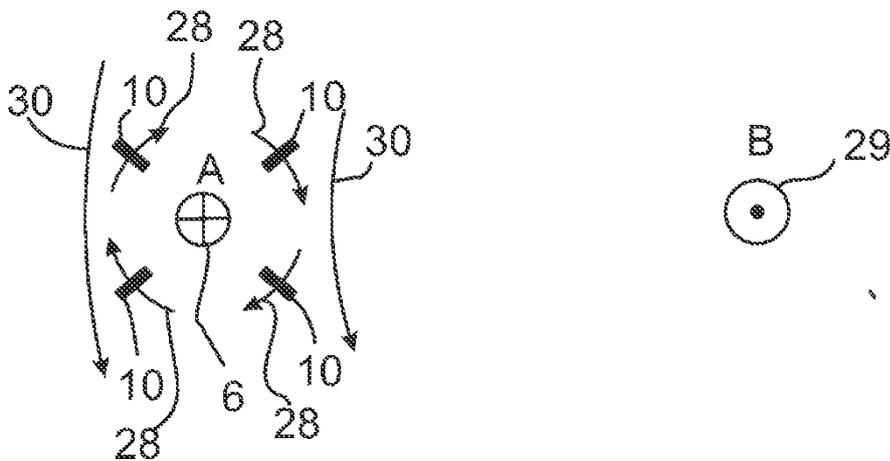


Fig. 9



- ⊕ flujo unidireccional de la corriente (entrando a la página)
- ⊙ flujo unidireccional de la corriente (saliendo de la página)

Fig. 10

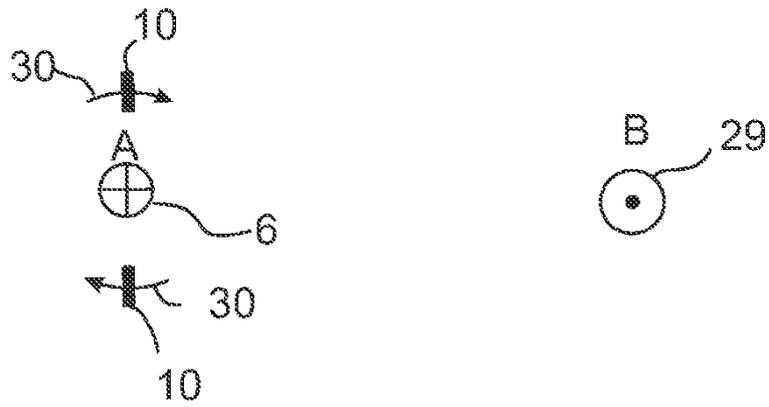


Fig. 11

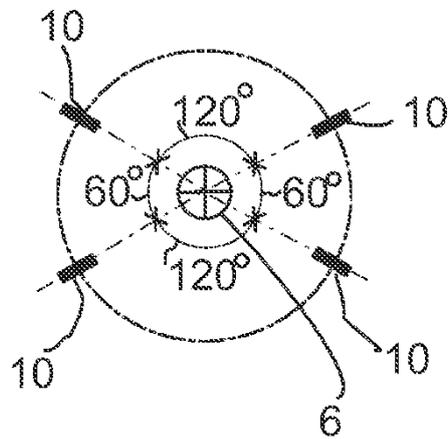


Fig. 12

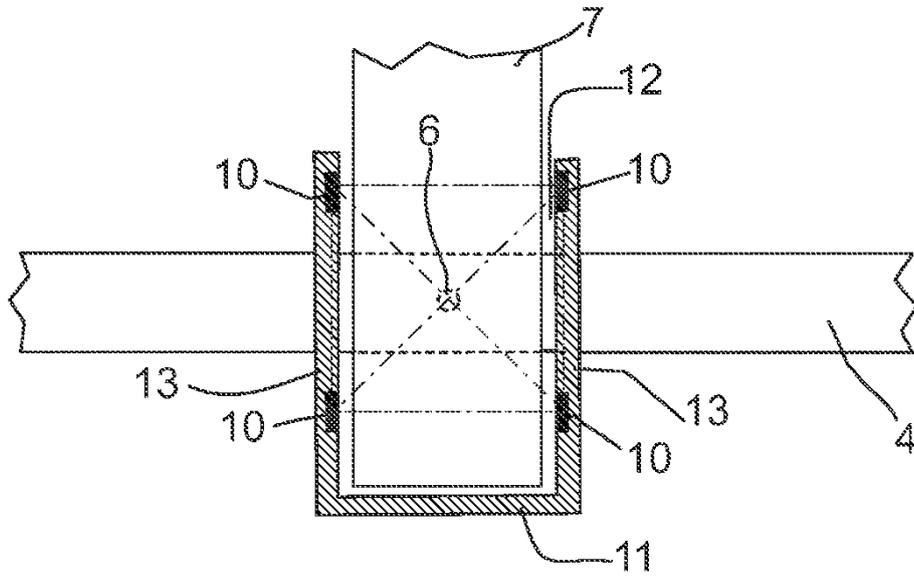


Fig. 13

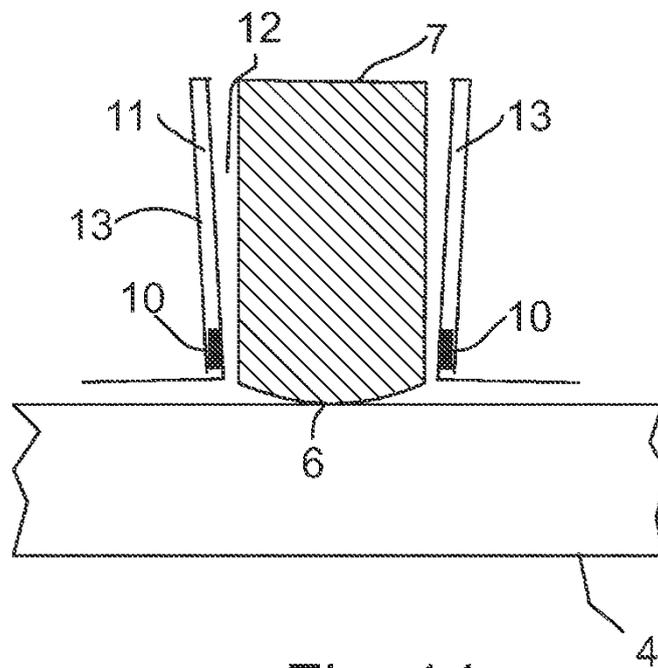


Fig. 14

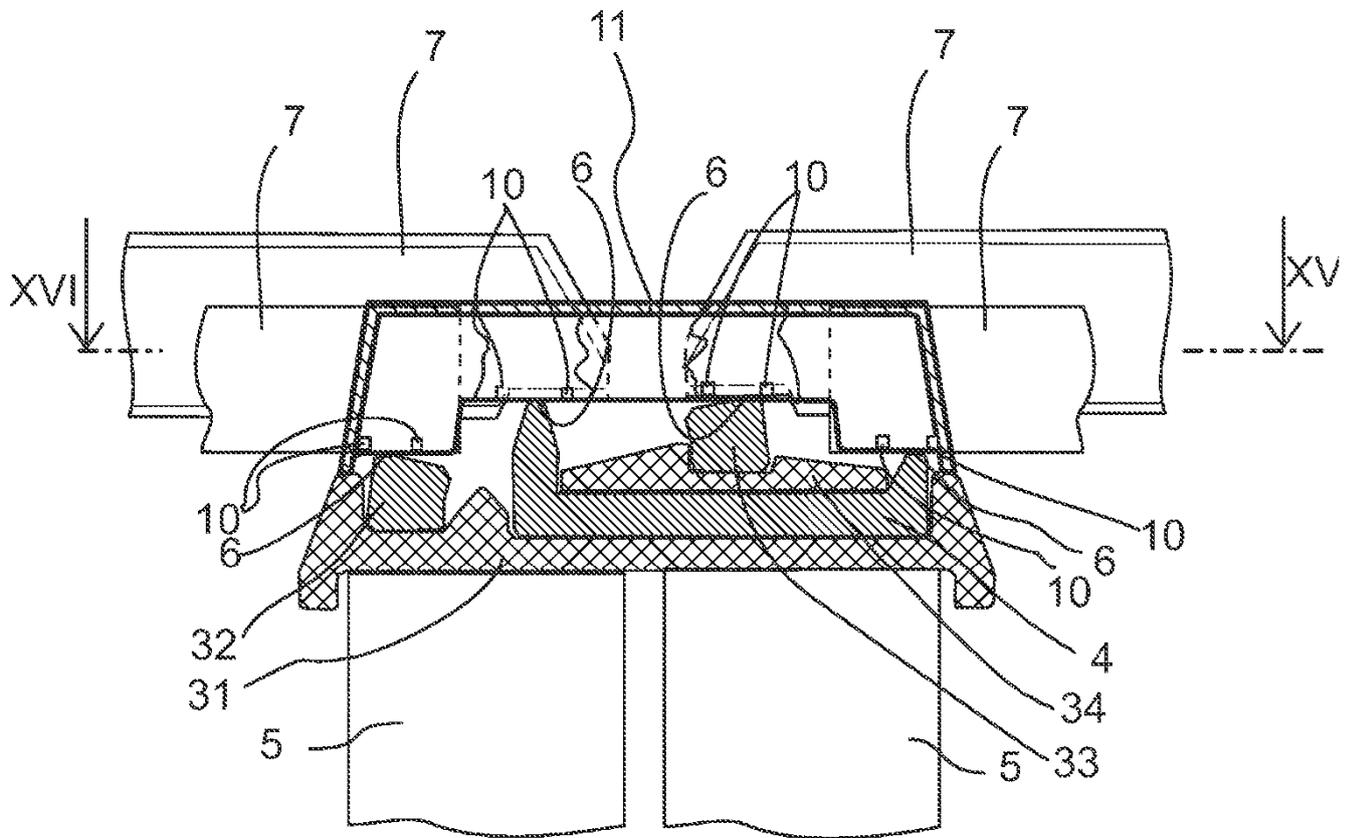
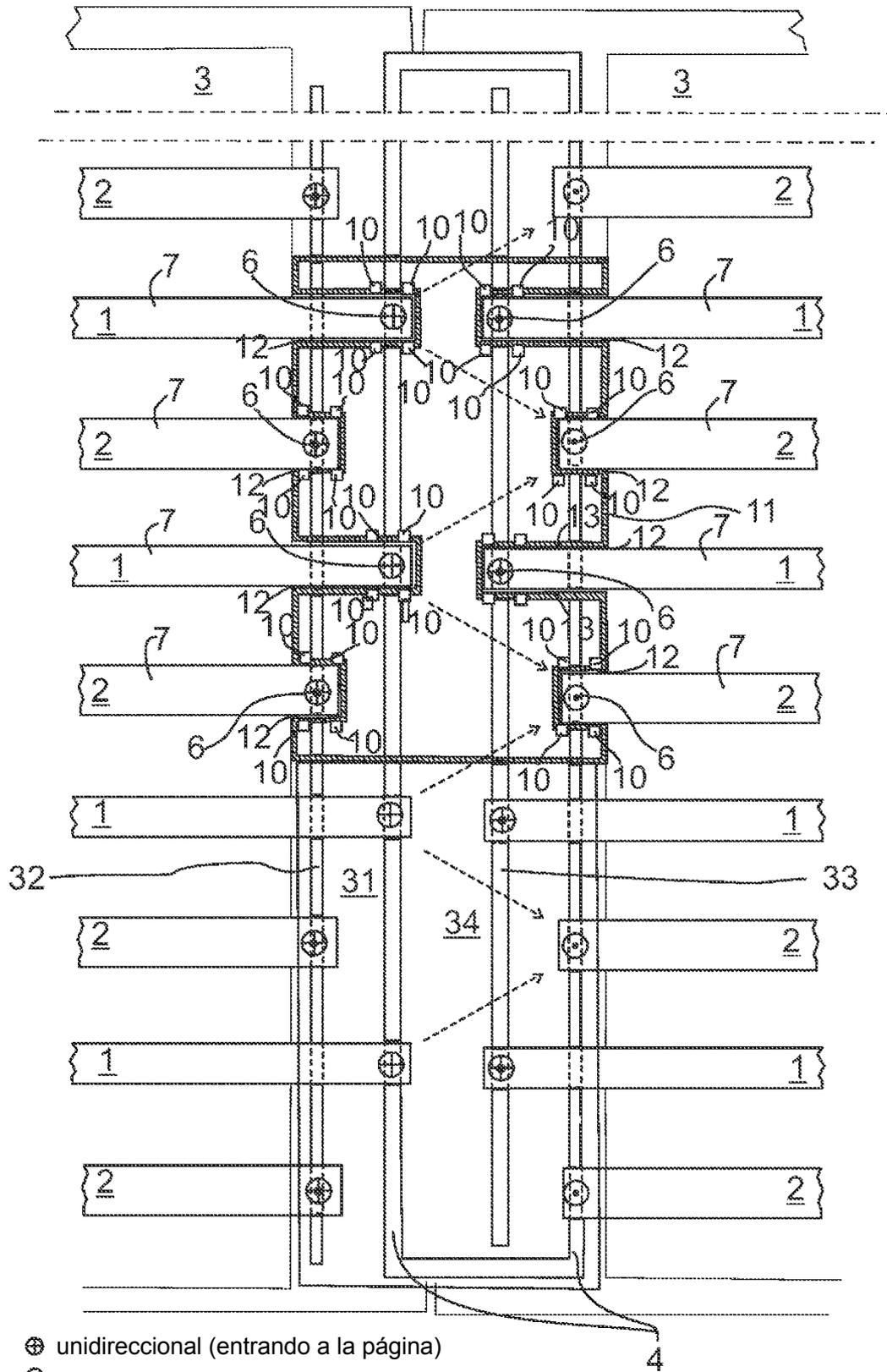


Fig. 15



- ⊕ unidireccional (entrando a la página)
- ⊖ unidireccional (saliendo de la página)
- ⊕⊖ bidireccional

Fig. 16

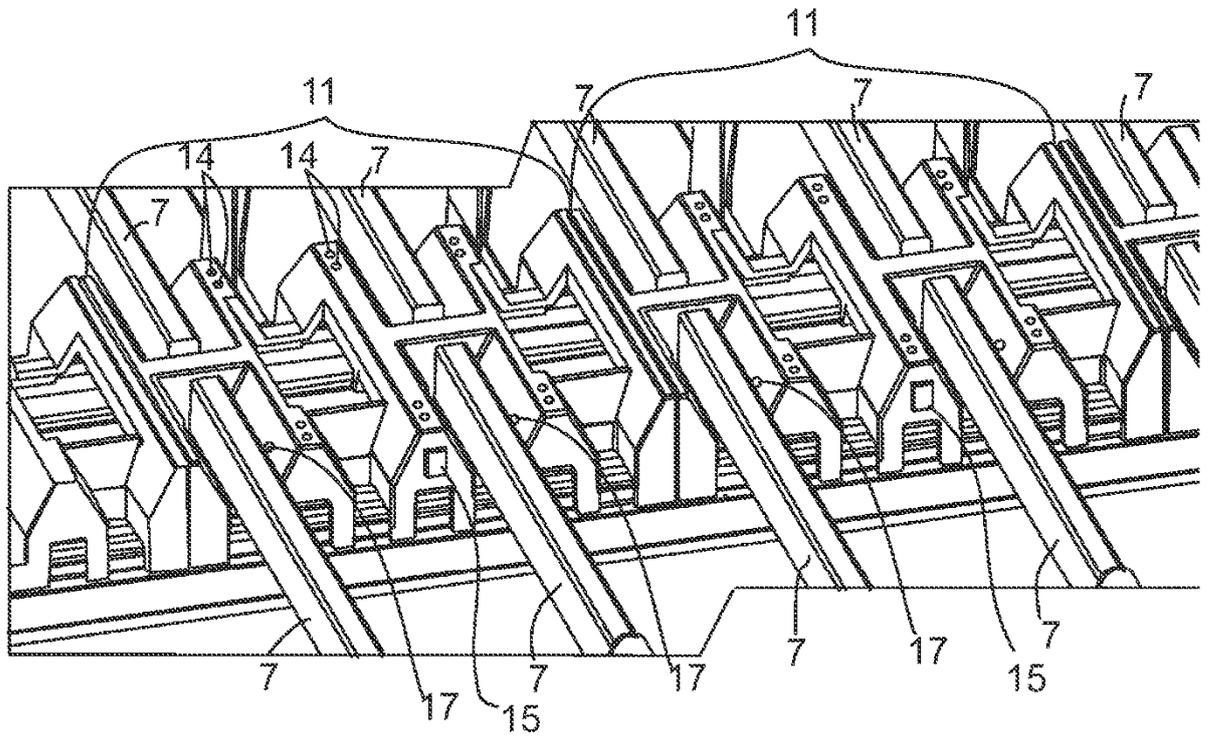


Fig. 17

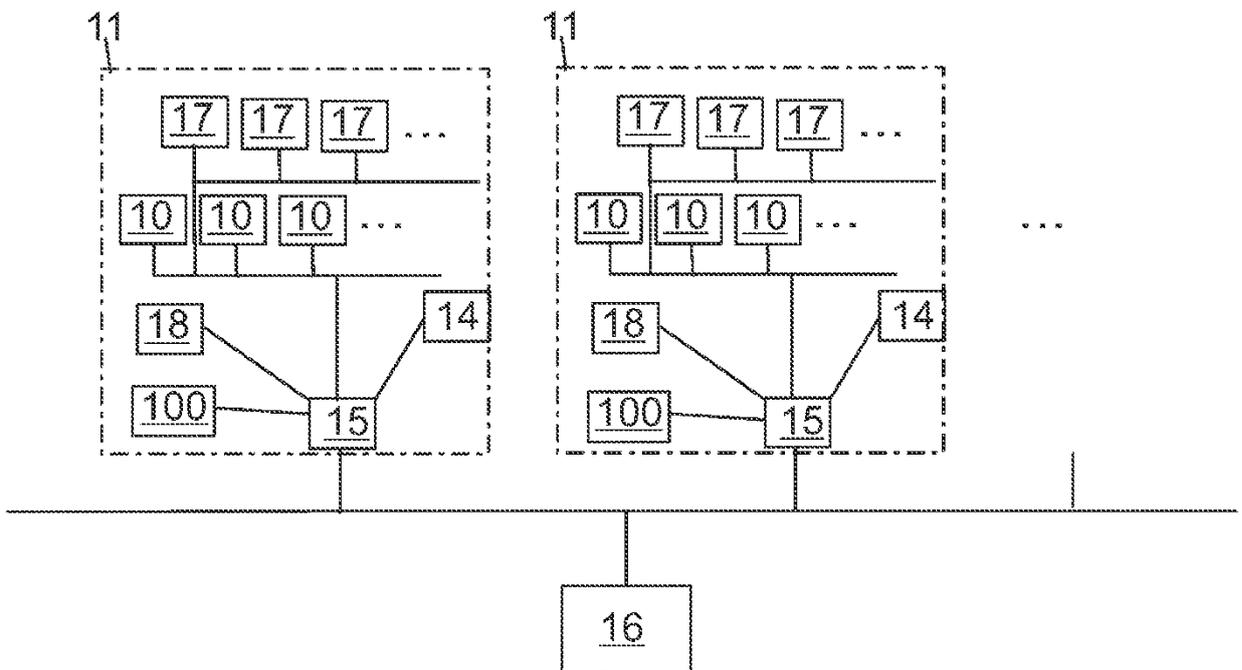


Fig. 18