

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 962 939**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/28** (2006.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

**H02J 15/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.06.2021 PCT/EP2021/064727**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2021 WO21254774**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.06.2021 E 21731420 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2023 EP 4140006**

54 Título: **Procedimiento para el control de circuito cerrado en función de la demanda de una planta electroquímica**

30 Prioridad:

**15.06.2020 DE 102020115711**

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

**21.03.2024**

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP NUCERA AG & CO. KGAA  
(100.0%)  
Vosskuhle 38, Harpen  
44141 Dortmund, DE**

72 Inventor/es:

**TSIKLIOS, CHRISTOS;  
BÜRKIN, CORNELIA;  
POLCYN, GREGOR DAMIAN;  
LÜKE, LUKAS;  
TOROS, PETER y  
FEDERICO, FULVIO**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 962 939 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

Procedimiento para el control de circuito cerrado en función de la demanda de una planta electroquímica

5 La invención se refiere a un procedimiento para el control en función de la demanda de una planta electroquímica, que comprende módulos de planta y una unidad de control, en la que cada módulo es controlado individualmente por la unidad de control y alimentado con una corriente eléctrica de funcionamiento específica del módulo para generar un flujo de producto respectivo por medio de los módulos, en la que los flujos de producto de los módulos individuales, que están conectados en paralelo con respecto a sus flujos de producto, se combinan para formar un flujo de producto total de la planta.

10 La demanda energética de las plantas químicas representa una proporción significativa de la demanda energética de la industria en su conjunto, por lo que existe un gran interés en reducir la demanda energética de las plantas químicas tanto por razones económicas como medioambientales.

15 Como ejemplo de instalaciones especialmente intensivas en energía, se hace referencia a las instalaciones de electrólisis, por ejemplo las instalaciones de electrólisis de agua o de electrólisis de cloro-álcali. El núcleo de estos sistemas son celdas conectadas en serie, que forman módulos, también llamados pilas. Este tipo de estructura también está presente en la tecnología de pilas de combustible o baterías. En las plantas químicas típicamente a gran escala, un gran número de estos módulos funcionan en paralelo para generar un flujo total de producto deseado, por ejemplo un material o una corriente eléctrica, es decir, para controlar la planta electroquímica según la demanda. Si la totalidad de la electricidad producida por la central debe cubrirse únicamente con energías renovables, es necesario que la central sea suficientemente flexible. Un alto grado de flexibilidad de la planta puede garantizar que la potencia altamente variable proporcionada por las energías renovables pueda convertirse de la forma más completa y rápida posible en un flujos de producto total. Como efecto secundario positivo, estos sistemas flexibles también pueden amortiguar eficazmente los picos de potencia causados por el fuerte viento o la enorme radiación solar de forma sensata para mantener la estabilidad de la red. A este respecto, se exige tanto que estos sistemas sean especialmente eficientes desde el punto de vista energético como que puedan reaccionar con la mayor flexibilidad posible.

25 A partir del documento EP 2 350 352 B1 se conoce un sistema de distribución de energía eléctrica para la producción electrolítica de hidrógeno a partir de energía eólica, en el que también se divulga un procedimiento para controlar la distribución de energía eléctrica desde un parque eólico a una pluralidad de módulos de electrólisis para la producción de hidrógeno. El sistema de control está diseñado para mantener el grado de utilización de los módulos lo más cerca posible del nivel de energía eléctrica suministrada por el parque eólico -lo que resulta especialmente problemático en caso de fuertes fluctuaciones de la fuerza del viento-, es decir, para utilizar la mayor parte posible de la energía regenerativa para la producción de hidrógeno. Para ello, la corriente de funcionamiento del módulo se selecciona en función de la corriente continua disponible generada por el parque eólico, con el fin de poder invertir la mayor parte posible de la energía eólica en la producción de hidrógeno.

35 La desventaja de este tipo de plantas es que funcionan muy lejos de su punto de funcionamiento óptimo de eficiencia energética, por lo que estas plantas preconocidas tienen un mayor consumo total de energía, lo que no es ni económica ni ecológicamente sensato. En particular, los sistemas conocidos del estado de la técnica o el control de dichos sistemas ignoran los fenómenos de edad individuales y los modos de funcionamiento de los módulos individuales, lo que tiene un efecto considerable en la eficiencia del sistema global y, por tanto, en su consumo total de energía.

40 El documento US 2019/0127867 A1 y el documento US 2018/0291516 A1 describen cada uno un sistema electrolítico que comprende un generador de potencia que emite una primera potencia de CC, una pluralidad de convertidores que convierten cada uno la primera potencia de CC en una segunda potencia de CC de acuerdo con un ciclo de trabajo objetivo y emiten información de tensión e información de corriente de la segunda potencia de CC, una pluralidad de electrolizadores, un circuito de control y un circuito de selección. Cada uno de los electrolizadores recibe una segunda corriente continua que es suministrada por el respectivo convertidor asignado. El circuito de control emite información de control basada en un valor de tensión y un valor de corriente de la primera potencia de CC, que hace que la primera potencia de CC se aproxime a una potencia máxima. El circuito de selección emite el ciclo de trabajo objetivo y una señal de selección sobre si seleccionar cada uno de la pluralidad de electrolizadores y cada uno de la pluralidad de convertidores basándose en la información de control y la información de tensión y corriente.

50 A este respecto, la invención se basa en el objetivo de proponer un procedimiento para el control en función de la demanda de una planta electroquímica, que se caracteriza por un consumo total de energía lo más bajo posible, un funcionamiento lo más económico y ecológico posible, así como una gran flexibilidad para cubrir una demanda total de energía del producto fuertemente fluctuante.

Este objetivo se resuelve mediante el procedimiento genérico mencionado, que se caracteriza por el hecho de que la unidad de control lleva a cabo las siguientes etapas cuando se da una condición de inicio:

55 - registrar una demanda total actual del flujo de producto

- registrar la eficiencia de corriente de los módulos de la planta electroquímica, que depende de la relación entre la corriente de funcionamiento respectiva y la flujo de producto,

- determinar los módulos listos para su uso,

5 - determinar las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo para los módulos listos para su uso a fin de cubrir la demanda total actual del flujo de producto (B) a partir de un intervalo de corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo admisibles en función de la eficiencia de los módulos y de la demanda total actual del flujo de producto,

- ajustar las corrientes de funcionamiento de los módulos listos para su uso a las determinadas corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo,

10 Los módulos tratados en el contexto de la presente invención se distinguen por el hecho de que pueden caracterizarse en función de su eficacia. Tales módulos pueden ser, por ejemplo, módulos de electrólisis, cuya curva característica corriente-tensión representa toda una gama de diferentes puntos de funcionamiento del módulo. Además, el procedimiento de envejecimiento de los módulos también se refleja en la característica corriente-tensión, ya que los  
15 módulos más antiguos y, por tanto, menos eficientes energéticamente, necesitan una tensión más alta para suministrar la misma corriente o flujo de producto.

Una característica esencial del procedimiento según la invención es que la planta química a controlar según la demanda comprende, además de los módulos individuales, una unidad de control que está diseñada para controlar los módulos individualmente. Este control consiste, en particular, en que la unidad de control suministra a cada uno de  
20 los módulos una corriente eléctrica de funcionamiento específica para cada módulo. La planta está configurada de tal manera que los flujos de productos de los módulos individuales de la planta se combinan en un flujo de productos total.

Los característico del procedimiento según la invención es que cuando está presente una condición de inicio, la unidad de control lleva a cabo las siguientes etapas:

25 Se registra el requisito actual de flujo total de producto. Esto es necesario en la medida en que la demanda total de electricidad del producto debe ser cubierta por la planta química.

Además, se registra la eficiencia de cada módulo. Esta es una etapa esencial en el procedimiento según la invención para poder controlar la planta química de la forma más eficiente energéticamente posible. La eficiencia específica del módulo depende de la relación entre la corriente de funcionamiento específica del módulo y la respectiva flujo de  
30 producto generada por el módulo. La eficiencia de los módulos no es constante, sino que depende, por ejemplo, del envejecimiento del módulo o también de la temperatura de funcionamiento.

Además, el procedimiento según la invención registra cuáles de los módulos del sistema están disponibles. En concreto, sólo pueden tenerse en cuenta los módulos que están listos para su uso: Los módulos defectuosos o en mal estado no pueden contribuir a la cobertura de la demanda total de electricidad del producto y, por tanto, pasan desapercibidos, de modo que las contribuciones fallidas de tales módulos -si es posible- deben ser compensadas por  
35 los módulos operativos. A los módulos que no están listos para su uso se les asigna la corriente de funcionamiento objetivo específica del módulo, esencialmente cero, de modo que dichos módulos se desconectan de este modo. De acuerdo con la invención, se puede proporcionar que mediante la determinación de los módulos, no sólo se pueden determinar los módulos como tales, sino una capacidad total de flujo de producto. Esa información es valiosa para regular el sistema, por ejemplo para amortiguar un exceso de suministro de energía, especialmente de la generada regenerativamente. En el marco de un desarrollo posterior preferente, se puede prever que los módulos individuales  
40 funcionen con una sobrecarga, por ejemplo del 110%, durante un determinado periodo de tiempo para poder realizar una contribución especialmente elevada a la estabilidad de la red.

En otra etapa del procedimiento según la invención, se determinan las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo para cubrir con ellas el requisito de corriente total del producto. Esta determinación es  
45 específica para cada módulo, es decir, en este procedimiento se asigna a cada módulo una corriente de funcionamiento objetivo individual. Las corrientes de funcionamiento objetivo se seleccionan de entre una gama de corrientes de funcionamiento objetivo permisibles específicas del módulo. El límite inferior de ese intervalo viene dado, por ejemplo, por la corriente de funcionamiento objetivo necesaria para que el módulo entre en funcionamiento. Un límite superior de la corriente de funcionamiento objetivo viene dado, por ejemplo, por una corriente a la que el módulo funciona al límite de su utilización máxima sin sufrir daños excesivos, es decir, más allá del envejecimiento normal.  
50

Sin embargo, la determinación de las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo no se basa únicamente en el hecho de que se respete el intervalo admisible de las corrientes de funcionamiento objetivo y se cubra el requisito de potencia total del producto. En su lugar, las corrientes de funcionamiento objetivo específicas de cada módulo se determinan en función de la eficiencia de los módulos y de la demanda actual de potencia total del  
55 producto. Mientras que la dependencia de las corrientes de funcionamiento objetivo de la demanda de potencia total del producto se debe simplemente al hecho de que existe una dependencia directa entre la aplicación de una

determinada corriente de funcionamiento objetivo a los módulos y la potencia total del producto generada -por lo que las corrientes de funcionamiento objetivo deben determinarse siempre teniendo en cuenta la demanda de potencia total del producto-, la dependencia de las corrientes de funcionamiento objetivo de los módulos de la eficiencia de los módulos representa una dependencia no trivial. Esta consideración de la eficiencia de los módulos en la determinación de las corrientes de funcionamiento objetivo permite de forma especialmente ventajosa operar el sistema en un modo de eficiencia energética.

Una vez que las corrientes de funcionamiento de los módulos se han ajustado a las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo determinadas para la cobertura energéticamente eficiente de la demanda total de flujo de producto, el procedimiento según la invención puede comenzar de nuevo desde el principio, por ejemplo mediante la unidad de control que monitoriza el sistema para detectar la presencia de una nueva condición de inicio.

De este modo, el procedimiento según la invención no sólo permite un funcionamiento energéticamente eficiente, sino que también contribuye en gran medida a la estabilidad de la red mediante el control en función de la demanda de la planta electroquímica para cubrir una demanda total de flujo de producto, ya que los picos de tensión o de corriente como resultado de un exceso de suministro de energía, en particular de energía generada regenerativamente, pueden amortiguarse seleccionando la corriente total del producto o la demanda total de flujo de producto generada por el procedimiento según la invención de tal manera que se disponga de un cierto nivel de energía eléctrica, en particular la energía generada regenerativamente, puede amortiguarse seleccionando la corriente total del producto generada por el procedimiento según la invención o la demanda total de flujo de producto de tal manera que se utilice para este fin una cierta cantidad de energía eléctrica, en particular la energía que debe amortiguarse.

En un desarrollo posterior de este procedimiento según la invención, para determinar las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo, los módulos respectivos se clasifican según su eficiencia de corriente y se suben o bajan de forma ordenada hasta que se cubre el requisito de corriente total actual del producto. Así, cuando la demanda total de flujo de producto aumenta o disminuye, los módulos más eficientes o menos eficientes reciben una corriente de funcionamiento objetivo mayor o menor. De este modo se garantiza que los módulos que se caracterizan por una eficiencia de corriente especialmente alta funcionen con un alto grado de utilización o corriente de funcionamiento objetivo y que los módulos ineficientes funcionen con un bajo grado de utilización o corriente de funcionamiento objetivo.

El orden o clasificación de los módulos en función de su eficiencia para el aumento o disminución ordenados de las corrientes de funcionamiento objetivo específicas de cada módulo puede requerir mucho tiempo, por lo que ya no puede garantizarse la flexibilidad con respecto a la cobertura de una demanda de potencia total del producto muy fluctuante. Este problema puede abordarse mediante un desarrollo posterior preferente según la invención minimizando el tiempo necesario para clasificar  $n$  módulos utilizando un algoritmo que escala con  $n \cdot \log(n)$ . Como algoritmo de clasificación se puede utilizar, por ejemplo, el llamado algoritmo de clasificación rápida, que se escala como se ha mencionado anteriormente y permite que el procedimiento según la invención reaccione con suficiente rapidez a un cambio en la demanda total de flujo de producto, incluso cuando se aplica a plantas con un gran número de módulos.

Según la invención, para determinar las corrientes de funcionamiento de consigna específicas del módulo ( $I_m$ ), los respectivos módulos ( $M$ ) se clasifican según un parámetro de ciclo de vida específico del módulo y se aumentan o disminuyen de forma ordenada hasta cubrir la demanda de corriente total actual del producto ( $B$ ). El parámetro del ciclo de vida se calcula a partir de la eficiencia actual de los módulos y un plazo de corrección que tiene en cuenta los costes de mantenimiento de la planta electroquímica. Al tener en cuenta los costes de mantenimiento, se mejora el funcionamiento de la planta en términos de coste total de propiedad. El plazo de corrección crea una desviación del punto de funcionamiento más eficiente del sistema en ese momento, lo que permite un envejecimiento desigual de los módulos en cuanto a su eficiencia. Los costes de mantenimiento del sistema dependen del modo de funcionamiento del mismo. Por ejemplo, los costes de mantenimiento pueden reducirse al tener que revisar el sistema sólo en intervalos de mantenimiento predefinidos y evitar tiempos de inactividad. En lo que respecta a la reducción de los costes de mantenimiento, resulta ventajoso que una parte de los módulos, por ejemplo entre el 10% y el 25% de los módulos, se revisen o sustituyan de forma continua al final de un intervalo de mantenimiento y durante el funcionamiento en curso del sistema. Para ello, es ventajoso que los módulos a sustituir tengan un mayor envejecimiento y, por tanto, una menor eficiencia que los demás módulos del sistema. Además, tras el mantenimiento o la sustitución, es ventajoso asegurarse de que no sólo los módulos de mantenimiento más reciente se utilicen en funcionamiento a carga parcial debido a su mayor eficiencia. Estos beneficios se consiguen mediante un plazo de corrección que tiene en cuenta los costes de mantenimiento de la planta.

Preferentemente, el plazo de corrección se determina en función de una cantidad total de carga que ha fluido a través del módulo respectivo durante su vida útil hasta la fecha y/o en función de la edad del módulo respectivo y/o en función de una posición del módulo en el sistema electroquímico. En las celdas electroquímicas de los módulos se producen diferentes procedimientos de envejecimiento cuya progresión hace necesario su mantenimiento o sustitución en un momento determinado. Un grupo de fenómenos de envejecimiento depende principalmente de la cantidad total de carga que ha circulado por el módulo. Se trata, por ejemplo, de la disminución de la conductividad iónica de los separadores y de la calidad de los revestimientos de los electrodos. Otros, por ejemplo los fenómenos de envejecimiento corrosivo, dependen principalmente de la edad del módulo. Teniendo en cuenta la posición del módulo

en la planta electroquímica, también se puede influir en que los módulos a mantener o sustituir estén espacialmente lo más concentrados posible, por ejemplo en un bloque o sector de la planta. De este modo, los costes de mantenimiento pueden reducirse aún más.

5 Preferentemente, la determinación de las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo para los módulos listos para su uso con el fin de cubrir la demanda total de energía del producto se lleva a cabo de forma iterativa calculando de antemano la eficiencia que se puede lograr para cada módulo individual con un supuesto cambio gradual en la corriente de funcionamiento específica del módulo respectivo. Los procedimientos iterativos son muy adecuados para optimizar plantas complejas en condiciones de funcionamiento cambiantes, ya que permiten una adaptación rápida y eficaz a las condiciones cambiantes partiendo de un estado de funcionamiento existente.

10 De manera especialmente preferente, la iteración se basa en un algoritmo codicioso, es decir, un algoritmo que selecciona gradualmente el estado siguiente que promete el mejor cambio en la eficiencia del sistema en el momento de la selección.

Además, preferentemente, la iteración se realiza con un tamaño de paso adaptable que se selecciona en función de una desviación existente del flujo de producto total con respecto a la demanda del flujo de producto total. Esto permite mejorar el estado final alcanzable con la iteración respecto a un óptimo teórico.

15 En un desarrollo posterior preferente, la eficiencia de los módulos se pondera con un factor de ponderación al determinar las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo, que depende de la relación entre la corriente de funcionamiento específica del módulo y la suma de las corrientes de funcionamiento específicas de todos los módulos. Esto permite que la planta química funcione aún más cerca de su eficiencia energética óptima, ya que se tiene en cuenta el efecto del cambio de eficiencia del módulo individual en la eficiencia global.

20 Sin embargo, en el funcionamiento práctico de la planta química según un desarrollo posterior del procedimiento según la invención, no sólo se presta atención a una buena eficiencia energética, sino también a poder satisfacer con suficiente rapidez las grandes fluctuaciones de la demanda total de energía del producto; en otras palabras, a poder adaptar con suficiente flexibilidad el grado de utilización de la planta a una demanda muy variable. Esto se consigue en el marco de un perfeccionamiento del procedimiento según la invención, en el sentido de que la unidad de control asigna a todos los módulos una corriente mínima de funcionamiento correspondiente a una carga base. Una corriente mínima de funcionamiento garantiza, entre otras cosas, que todos los módulos, por ejemplo los módulos de un sistema de electrólisis, se mantengan a una temperatura mínima que permita que todos los módulos tengan un determinado rendimiento mínimo. De lo contrario, los módulos de electrólisis en frío posiblemente no serían tenidos en cuenta por la unidad de control debido a su eficiencia demasiado baja, por lo que no se podría satisfacer la demanda total de potencia del producto.

25 En una realización preferente del procedimiento según la invención, la unidad de control es una unidad de control de planta. En cualquier caso, en casi todas las plantas químicas se requiere una unidad de control de planta de este tipo únicamente por motivos de seguridad, de modo que para llevar a cabo el procedimiento según la invención no se requiere ningún hardware adicional para el control. Además de las ventajas descritas anteriormente con respecto al funcionamiento energéticamente eficiente de la planta, esto hace que el uso del procedimiento según la invención sea particularmente atractivo en una variedad de análisis químicos.

30 Las etapas del procedimiento según la invención sólo se llevan a cabo cuando está presente una condición de inicio. Dicha condición de inicio puede ser que el flujo de producto generado actualmente se desvíe de la demanda total de flujo de producto en una cantidad predefinible. Dicha condición de inicio captura tanto una eficiencia variable de los módulos que conduce a un flujo de producto total variable como una demanda de flujo de producto total cambiante. También es posible utilizar la puesta en servicio o el retiro de servicio de módulos individuales como condición de inicio. Si, por ejemplo, algunos módulos dejan de funcionar por motivos de mantenimiento, dejan de estar disponibles para cubrir la demanda total de electricidad del producto. Al proporcionar una condición de inicio como la descrita anteriormente, el procedimiento según la invención evaluará un módulo fuera de servicio como no operativo, de modo que la contribución del módulo fuera de servicio sea asumida por otro módulo. Lo mismo se aplica a los módulos puestos en servicio adicionalmente, por ejemplo cuando el sistema se equipa con módulos nuevos.

35 En otra realización del procedimiento según la invención, se utiliza como condición de inicio superar o caer por debajo de la temperatura de los módulos determinada por la unidad de control en una cantidad máxima predeterminable. De este modo, el procedimiento según la invención puede evitar que los módulos individuales se sobrecalienten o que los módulos funcionen a una temperatura inferior a la temperatura de funcionamiento deseada y, por lo tanto, no presenten la mejor eficiencia posible. La expiración de un período de tiempo predefinido también se puede proporcionar como una condición de inicio particularmente simple.

40 En un desarrollo ulterior especialmente preferente del procedimiento según la invención, la planta electroquímica es una instalación de electrólisis de agua. Dado que la eficiencia energética desempeña un papel especialmente importante en una planta de electrólisis de agua y que los distintos módulos pueden presentar a veces enormes diferencias y fluctuaciones de eficiencia, el procedimiento según la invención -aplicado a una planta de electrólisis de agua- puede aportar sus ventajas de forma especialmente pronunciada.

5 En otra realización del procedimiento según la invención, la eficiencia de los módulos individuales puede determinarse utilizando una característica de corriente-tensión. Este puede ser el caso, por ejemplo, de los módulos de electrólisis o las baterías. Cuanto mayor sea la eficiencia de estos módulos de electrólisis o baterías, menor será la tensión de funcionamiento a una determinada corriente de funcionamiento objetivo. El envejecimiento de los módulos se manifiesta, por ejemplo, en el hecho de que la curva característica corriente-tensión se desplaza hacia tensiones más altas a lo largo de la ordenada.

10 En un desarrollo adicional preferente del procedimiento según la invención, la eficiencia de los módulos individuales se almacena en la unidad de control para documentar el envejecimiento del módulo. Esto tiene la ventaja de que el envejecimiento de los módulos se registra continuamente y la adquisición de nuevos módulos o el reacondicionamiento de los antiguos se pueden organizar de manera oportuna. Esto puede evitar eficazmente los fallos de los módulos y el funcionamiento ineficaz de los módulos muy envejecidos. Además, dicho almacenamiento permite de forma especialmente sencilla que a los módulos fríos y, por tanto, ineficientes, se les asigne la última eficiencia almacenada, de forma que se asume un valor más realista de la eficiencia de los módulos, teniendo en cuenta la dependencia de la temperatura de la reacción electroquímica, que el que se obtendría si se utilizara la eficiencia de los módulos fríos.

15 Preferentemente, las eficiencias medidas en la unidad de control se añaden como puntos de datos a un modelo específico del módulo para predecir la característica de corriente-tensión del módulo respectivo. La adición de puntos de datos actualiza el modelo en función del envejecimiento del módulo. Un modelo para predecir la característica corriente-tensión permite predecir y tener en cuenta la eficiencia del módulo respectivo en cualquier punto de funcionamiento.

20 En otra realización preferente del procedimiento según la invención, se aplica una corriente de funcionamiento de equilibrado predeterminable a determinados módulos durante un tiempo predeterminable para mejorar la eficiencia de los módulos operativos, teniéndose en cuenta esta mejora de la eficiencia al determinar las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo. Con una corriente de funcionamiento de equilibrio de este tipo, la eficiencia individual de los módulos puede determinarse con mayor precisión, lo que mejora aún más la exactitud del procedimiento.

Otras realizaciones ventajosas resultan de las reivindicaciones subordinadas, la siguiente descripción y las figuras.

La invención se describe a continuación mediante realizaciones con referencia a las figuras adjuntas. Mostrando:

Fig. 1: Ilustración de las etapas del procedimiento del procedimiento según la invención,

30 Fig. 2: Representación de las etapas del procedimiento según la invención según un desarrollo posterior preferente, en el que los módulos se clasifican según su eficiencia actual y se suben o bajan de forma ordenada, y

Fig. 3: Representación de las etapas del procedimiento según la invención de acuerdo con un perfeccionamiento alternativo preferente, en el que corriente de funcionamiento objetivo específica del módulo determinada se modifica mediante multiplicación con un factor de ponderación y

35 Fig.4: Representación esquemática del procedimiento según la invención basado en un sistema de electrólisis del agua que comprende una unidad de control y una pluralidad de módulos conectados en paralelo, módulos que están formados por celdas de electrólisis conectadas en serie.

En las distintas figuras, las mismas partes están siempre provistas de los mismos signos de referencia, por lo que normalmente sólo se nombran o mencionan una vez.

40 El procedimiento según la invención para el control en función de la demanda de una planta electroquímica es aplicable a tales plantas que comprenden módulos y una unidad de control. Cada módulo es controlado individualmente por la unidad de control y alimentado con una corriente eléctrica de funcionamiento específica para cada módulo. Al suministrar a los módulos una corriente eléctrica de funcionamiento, se genera un flujo de producto. Este flujo de producto puede contener, por ejemplo, cloro e hidróxido de sodio en el caso de la electrólisis cloro-álcali o hidrógeno en el caso de la electrólisis del agua. En el caso de que la instalación venga dada por una batería, el flujo de producto consiste simplemente en una corriente eléctrica. En cada caso, los flujos de productos generados por los módulos individuales se combinan en un flujo total.

La Fig. 1 muestra una visualización esquemática de las etapas esenciales del procedimiento llevadas a cabo por la unidad de control. Esto incluye la presencia de una condición de inicio:

50 Registro de un requisito de flujo total de producto actual (1). Los requisitos actuales de flujo total de producto pueden variar mucho. Es posible que se produzcan fluctuaciones extremadamente fuertes en la demanda total de energía del producto, especialmente en el caso de las baterías.

Una vez registrada la demanda total de energía del producto, se registra la eficiencia de los módulos de la planta electroquímica (2). El rendimiento depende de la relación entre la corriente de funcionamiento respectiva y la flujo de producto.

5 En otra etapa, se determinan los módulos (3), en particular qué módulos están disponibles. Opcionalmente, también se pueden determinar los módulos listos para usar: Los módulos que no están listos para su uso son, por ejemplo, módulos defectuosos o módulos que han sido retirados del servicio por motivos de mantenimiento. A los módulos no operativos se les puede asignar además una corriente de funcionamiento fija de esencialmente cero durante el periodo de las actividades de defecto o mantenimiento, por ejemplo.

10 La siguiente etapa del procedimiento según la invención se refiere a la determinación de las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo para que los módulos cubran la demanda de potencia total actual del producto. En este caso, las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo se determinan a partir de un intervalo de corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo admisibles, lo que puede, por ejemplo, evitar que se produzcan daños en el módulo por la selección de una corriente de funcionamiento demasiado alta. Además, las corrientes de funcionamiento objetivo específicas de cada módulo se determinan en función de la eficiencia de los  
15 módulos y de la demanda actual de potencia total del producto (4). La consideración de la eficiencia de los módulos es una etapa esencial del procedimiento según la invención, ya que permite el funcionamiento de la planta química cerca del punto de minimización del consumo total de energía.

20 Una vez determinadas las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo, las corrientes de funcionamiento de los módulos se ajustan a las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo determinadas (5).

En la Fig. 2 se muestra esquemáticamente otro desarrollo preferente del procedimiento según la invención. Este perfeccionamiento se caracteriza por el hecho de que, para determinar las corrientes de funcionamiento objetivo específicas de cada módulo, los módulos respectivos se clasifican en función de su eficiencia de corriente y se elevan o se reducen hasta cubrir la necesidad de potencia total actual del producto (3a). De este modo, el consumo de energía del sistema puede reducirse en caso de que aumente o disminuya la demanda total de energía del producto, asignando una corriente de funcionamiento mayor o menor a los módulos eficientes o ineficientes, respectivamente. Los módulos deben clasificarse en función de su eficacia para poder subirlos o bajarlos de forma ordenada. Dado que esta ordenación puede ocasionar una cantidad nada desdeñable de tiempo de cálculo o de gasto de tiempo, en un desarrollo posterior del procedimiento según la invención, se prevé que para ordenar los  $n$  módulos con respecto a su  
25 eficiencia, se utilice un algoritmo que escale con  $n \cdot \log(n)$ , requiriendo así un tiempo de cálculo manejable incluso para grandes sistemas con muchos módulos. Puede ser, por ejemplo, el algoritmo Quicksort.

Según la invención - también de acuerdo con el diagrama de procedimiento de la Fig. 2 - en la etapa (3a) para determinar las corrientes de funcionamiento ajustadas específicas del módulo, los módulos respectivos se clasifican de acuerdo con un parámetro de ciclo de vida específico del módulo y se suben o bajan de forma ordenada hasta que se cubre la necesidad de corriente total actual del producto. El parámetro del ciclo de vida se calcula a partir de la eficiencia actual de los módulos ( $M$ ) y un plazo de corrección que tiene en cuenta los costes de mantenimiento de la planta electroquímica. Preferentemente, el plazo de corrección se determina en función de una cantidad total de carga que ha fluído a través del módulo respectivo durante su vida útil hasta el momento y/o en función de la edad del módulo respectivo y/o en función de una posición del módulo en el sistema electroquímico.

40 Preferentemente, la determinación de las corrientes de funcionamiento objetivo específicas de módulo ( $I_m$ ) para los módulos listos para su uso ( $M$ ) para cubrir la demanda total de flujo de producto ( $B$ ) en los procedimientos descritos anteriormente se lleva a cabo de forma iterativa calculando por adelantado la eficiencia que se puede lograr para cada módulo individual ( $M$ ) con un supuesto cambio escalonado en la respectiva corriente de funcionamiento específica de módulo. El algoritmo Greedy es especialmente preferente para la iteración. La iteración se realiza preferentemente con un tamaño de paso adaptable, que se selecciona en función de una desviación existente del flujo total de producto con respecto al requisito de flujo total de producto ( $B$ ).

La eficiencia de los módulos ( $M$ ) se pondera preferentemente con un factor de ponderación al determinar las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo ( $I_m$ ), que depende de la relación entre la corriente de funcionamiento específica del módulo y la suma de las corrientes de funcionamiento específicas de todos los módulos ( $M$ ). Esto significa que el efecto del cambio de eficiencia del módulo individual sobre la eficiencia global ya se tiene en cuenta a la hora de determinar las corrientes de funcionamiento objetivo ( $I_m$ ) específicas del módulo.

En la Fig. 3 se ilustra un desarrollo posterior alternativo preferente del procedimiento según la invención. En este caso, la corriente de funcionamiento objetivo específica del módulo determinada se modifica multiplicándola por un factor de ponderación, que depende de la relación entre la corriente de funcionamiento específica del módulo y la suma de las corrientes de funcionamiento específicas de todos los módulos (4a). Esto acerca aún más el punto de funcionamiento del sistema a su punto óptimo de eficiencia energética.

La Fig. 4 muestra una representación esquemática del procedimiento según la invención a partir de una planta de electrólisis de agua (E), dicha planta comprende una unidad de control (C) y una pluralidad de módulos (M) conectados

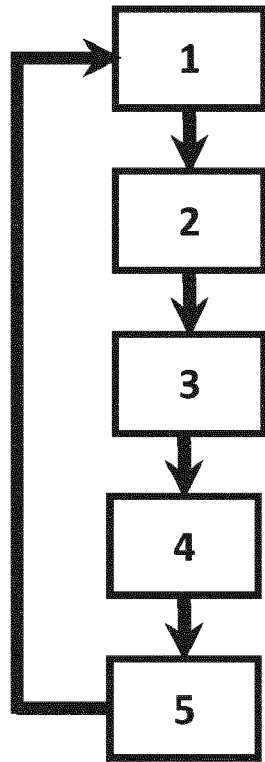
- en paralelo, cuyos módulos (M) están formados por celdas de electrólisis conectadas en serie para la producción de hidrógeno. De este modo, la unidad de control (C) registra la demanda total de potencia del producto (B) y registra la eficiencia de los módulos individuales (M), los clasifica según su eficiencia y determina la disponibilidad de uso de los módulos (M) (visualizada mediante marcas o cruces). A continuación, se determinan las corrientes de funcionamiento objetivo de los módulos ( $I_m$ ) y se multiplican por un factor de ponderación para obtener las corrientes de funcionamiento objetivo ponderadas de los módulos ( $I_{m,g}$ ) para acercar todo el sistema a su punto de funcionamiento de mayor eficiencia energética. Tras ajustar las corrientes de funcionamiento a las corrientes de funcionamiento objetivo ponderadas ( $I_{m,g}$ ), la unidad de control puede supervisar el sistema para detectar la presencia de una nueva condición de inicio.
- 5
- 10 **Lista de signos de referencia**
- 1 Registro de la demanda de potencia total actual del producto
  - 2 Registro de la eficiencia del módulo
  - 3 Determinación de los módulos
  - 3a Clasificación y variación según parámetros de eficiencia/ciclo de vida
- 15
- 4a Multiplicación de las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo por el factor de ponderación
  - 4 Determinación de las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo
  - 5 Ajuste de las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo
- B Demanda total de electricidad del producto
- C Unidad de control
- 20 E Planta de electrólisis del agua
- M Módulo
- $I_m$  Corriente de funcionamiento objetivo de un módulo
- $I_{m,g}$  Corriente de funcionamiento objetivo de un módulo después de la ponderación

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para el control de circuito cerrado en función de la demanda de una planta electroquímica, que comprende módulos (M) y una unidad de control (C), siendo controlado individualmente cada módulo (M) por la unidad de control y suministrado con una corriente eléctrica de funcionamiento específica del módulo, para que cada uno de los módulos (M) genere un flujo de producto separado, fusionándose los flujos de producto de los módulos individuales (M), que están conectados en paralelo con respecto a sus flujos de producto, para formar un flujo de producto total de la instalación, en el que la unidad de control (C) lleva a cabo las siguientes etapas cuando se satisface una condición de inicio:
  - 5 - registrar una demanda total actual del flujo de producto (B) (1)
  - 10 - registrar la eficiencia de corriente de los módulos (M) del sistema electroquímico (2), que depende de la relación entre la corriente de funcionamiento respectiva y el flujo de producto,
    - determinar los módulos listos para su uso (M) (3),
    - 15 - determinar las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo para los módulos listos para su uso (M) a fin de cubrir la demanda total actual del flujo de producto (B) a partir de un intervalo de corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo ( $I_m$ ) admisibles en función de la eficiencia de los módulos (M) y de la demanda total actual del flujo de producto (B) (4), en el que, para determinar las corrientes de funcionamiento objetivo específicas de módulo ( $I_m$ ), los respectivos módulos (M) se clasifican en función de un parámetro de ciclo de vida específico de módulo y se aumentan o disminuyen en ese orden hasta cubrir la demanda total actual de flujo de producto (B) (3a),
    - 20 - ajustar las corrientes de funcionamiento de los módulos listos para su uso (M) a las determinadas corrientes de funcionamiento objetivo ( $I_m$ ) específicas del módulo (5),

**caracterizado porque** el parámetro del ciclo de vida se calcula a partir de la eficiencia actual de los módulos y de un plazo de corrección que tiene en cuenta los costes de mantenimiento de la planta electroquímica, produciendo el plazo de corrección una desviación del punto de funcionamiento más eficiente de la planta en ese momento, lo que permite un envejecimiento desigual de los módulos con respecto a su eficiencia.
  - 25 2. El procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el plazo de corrección se determina en función de una cantidad total de carga que ha fluído a través del módulo respectivo durante el ciclo de vida anterior y/o dependiendo de la antigüedad del módulo respectivo y/o dependiendo de la posición del módulo en la planta electroquímica.
  - 30 3. El procedimiento según una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado porque** la determinación de las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo ( $I_m$ ) para los módulos listos para su uso (M) para cubrir la demanda total de flujo de producto (B) se lleva a cabo de forma iterativa con el cálculo por adelantado de la eficiencia alcanzable para cada módulo individual (M) y suponiendo una cambio gradual de la respectivo corriente de funcionamiento específica del módulo.
  - 35 4. El procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** la iteración se basa en un algoritmo codicioso.
  5. El procedimiento según las reivindicaciones 3 ó 4, **caracterizado porque** la iteración se lleva a cabo con un tamaño de paso adaptable, que se selecciona dependiendo de una desviación actual del flujo de producto total de la demanda total de flujo de producto (B).
  - 40 6. El procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la eficiencia de los módulos (M) al determinar las corrientes de funcionamiento objetivo específicas del módulo se pondera con un factor de ponderación, que depende de la relación entre la corriente de funcionamiento específica del módulo y la suma de las corrientes de funcionamiento específicas del módulo de todos los módulos (M) (4a).
  7. El procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** la unidad de control asigna a todos los módulos una corriente mínima de funcionamiento correspondiente a una carga base.
  - 45 8. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la unidad de control es una unidad de control de planta.
  9. El procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** se utiliza como condición de inicio la desviación del flujo de producto generado actualmente a partir de la demanda total de flujo de producto en una cantidad predeterminable.
  - 50 10. El procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** la puesta en servicio o el retiro de servicio de módulos individuales se utiliza como condición de inicio.

11. El procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** se utiliza el como condición de inicio el exceso o defecto de la temperatura de los módulos, determinada por la unidad de control, en una cantidad máxima predeterminable.
- 5 12. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado porque** la planta electroquímica es una planta de electrólisis de agua.
13. El procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado porque** la eficiencia de los módulos individuales se determina utilizando una característica corriente-voltaje.
14. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado porque** la eficiencia de los módulos individuales se almacena en la unidad de control para la documentación del envejecimiento del módulo.



**Fig. 1**

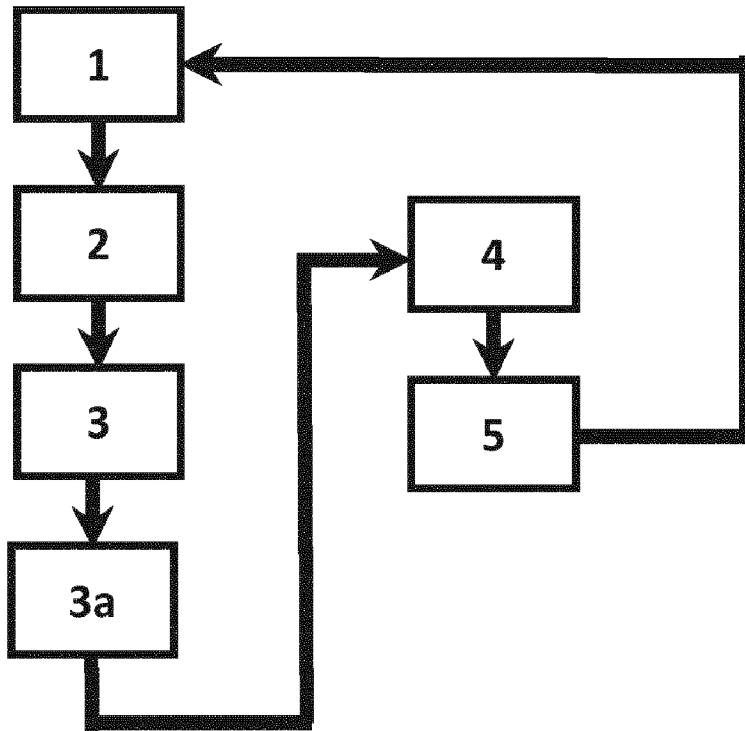
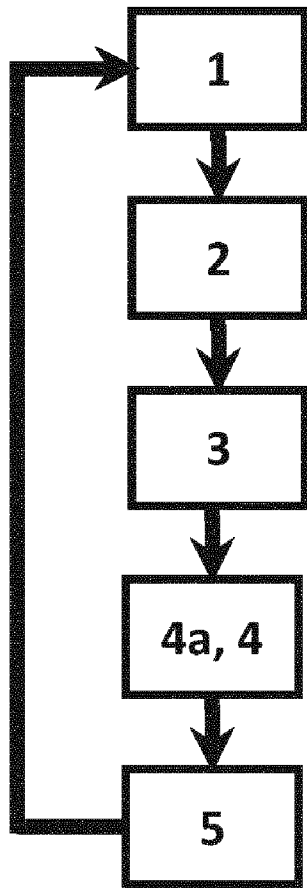


Fig. 2



**Fig. 3**

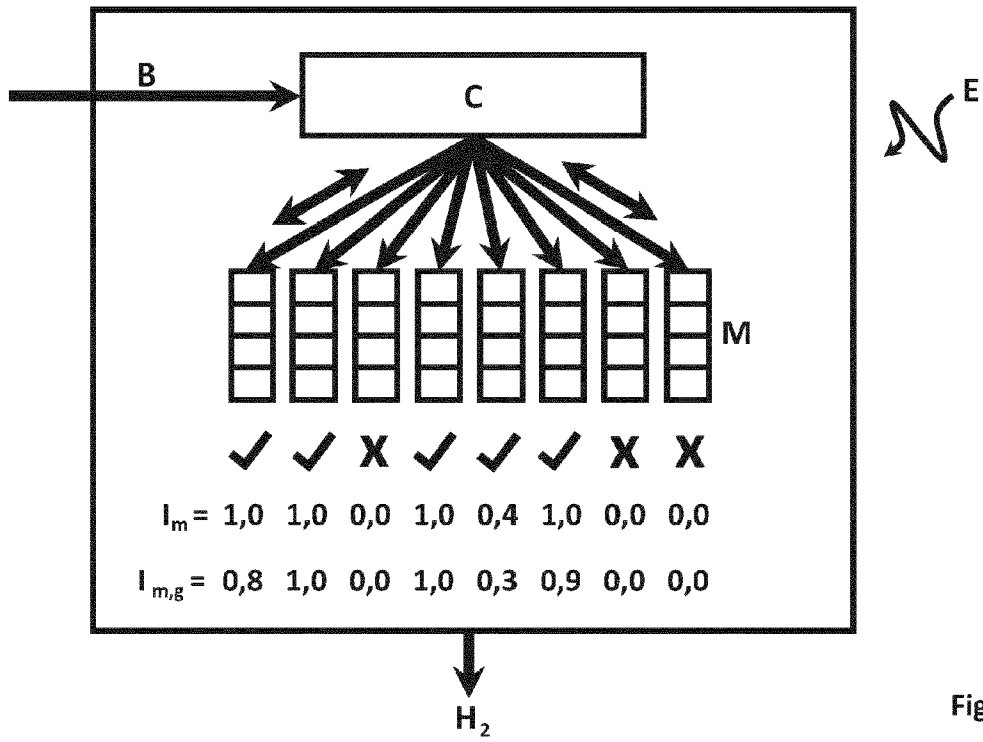


Fig. 4