



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①① Número de publicación: **2 287 054**

⑤① Int. Cl.:
G05B 17/02 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧⑥ Número de solicitud europea: **01111465 .9**

⑧⑥ Fecha de presentación : **10.05.2001**

⑧⑦ Número de publicación de la solicitud: **1256857**

⑧⑦ Fecha de publicación de la solicitud: **13.11.2002**

⑤④ Título: **Procedimiento para la generación de un modelo de validación de datos de una instalación a partir de un modelo de simulación de esta instalación.**

④⑤ Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.12.2007

④⑤ Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.12.2007

⑦③ Titular/es: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

⑦② Inventor/es: **Altpeter, Reinhold y
Löbel, Gustav**

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

ES 2 287 054 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 la generación de un modelo de validación de datos de una instalación a partir de un modelo de simulación de esta instalación.

La presente invención se relaciona con un procedimiento para la generación de un modelo de validación de datos de una instalación a partir de un modelo de simulación de esta instalación, conteniendo, tanto el modelo de validación de datos como también el modelo de simulación ecuaciones, que describan las relaciones entre los grados de libertad del modelo de simulación y los valores medidos del modelo de validación de datos medidos durante la operación de la instalación, así como las condiciones de contorno y siendo el número de grados de libertad del modelo de simulación mayor que el número de valores medidos del modelo de validación de datos y estando los valores medidos incluidos como grados de libertad en el modelo de simulación.

Durante la planificación de una instalación, por ejemplo, de una central eléctrica, se proporciona un modelo de simulación para el diseño básico. Este modelo de simulación contiene ecuaciones, que representan, por ejemplo, balances de flujos másicos y de energía en base a la conservación de la masa y de la energía.

En una primera etapa de este modelo no se introduce aún ninguna condición de contorno constructiva, como por ejemplo, superficies de los intercambiadores de calor, diámetros o longitudes. En su lugar se dan las variaciones deseadas de los respectivos grados de libertad, por ejemplo, una variación de temperatura en un intercambiador de calor o una caída de presión. Estas variaciones se prevén para pequeños módulos de la instalación, de forma que se obtenga una matriz delgada con un gran número de puntos de apoyo. Para cada uno de estos puntos de apoyo se calculan en la simulación variables relevantes como la presión, temperatura, entalpía o flujo másico. Estas variables influyen en el modelo de simulación como grados de libertad, para cada punto de apoyo. Resulta, por consiguiente, un gran número de grados de libertad. En etapas ulteriores, las variaciones deseadas se sustituyen por geometrías, que correspondan en un punto del diseño a las variaciones.

La instalación se diagnostica y se controla tras su conclusión. Para este propósito se miden algunos de los grados de libertad del modelo de simulación. El número de puntos de medida se mantiene lo menor posible por motivos de costes. Sólo debería ilustrarse también un comportamiento global integral de la instalación o módulos comparativamente grandes. Por otra parte, no se miden todas las variables realmente medibles. La matriz de puntos de medida es mayor que la matriz del modelo de simulación y considera menos grados de libertad. Por consiguiente, el número de grados de libertad medidos es menor que el número de grados de libertad del modelo de simulación.

Los grados de libertad medidos se designan como valores medidos. Por “valor medido” se entiende en este contexto, no sólo el resultado directo de medición de un sensor, como la temperatura o la presión, sino también una variable relacionada con los resultados de las mediciones, como la entalpía.

Estos valores medidos tienen que satisfacer determinadas ecuaciones físicas, como por ejemplo, de nuevo, conservación de la masa y de la energía. Debido a los errores de medida, los valores medidos no cumplen, sin embargo, en general estas ecuaciones. En el contexto de una validación de datos se calculan, por consiguiente, las correcciones a los valores medidos. Las correcciones se realizan de tal manera, que las ecuaciones físicas se cumplan exactamente. La validación de datos se efectúa en base a un modelo de validación de datos, que ilustra las ecuaciones físicas. La problemática de los errores de medida y de la validación de datos se representa en la directriz VDI 2048, página 1 “Incertidumbres de Medida en las Mediciones de Control en Instalaciones Técnicas de Energía y Potencia - Fundamentos”.

Claramente, las correcciones deberían ser lo más pequeñas posible. En caso de que sean mayores que la tolerancia de la medida o los errores de medida calculados, esto es un indicio de que las condiciones iniciales para el cálculo de los errores de medida se han seleccionado de manera incorrecta o de que el modelo de validación de datos no es correcto. Esto último puede deberse a que el estado de la instalación se desvía del modelo de validación de datos, por ejemplo, debido a fugas.

El modelo de validación de datos tiene que ser altamente preciso y tener en cuenta la mayor cantidad posible de ecuaciones. Cuanto mayor sea el número de las ecuaciones tanto mayor será el número de condiciones que tengan que satisfacer los valores medidos y las correcciones. El aumento de la calidad de los valores medidos es el mejor posible, cuando se encuentren todas las ecuaciones relevantes para los valores medidos y se incluyan en el modelo de validación de datos.

Hasta ahora se proporcionaba un modelo propio de validación de datos para cada caso concreto. Este modelo es construido por un experto a partir de su información de la instalación y de los valores medidos. La estructura del modelo es compleja y padece de errores.

Por ejemplo, el documento EP 1 058 169 A muestra un procedimiento para la determinación de una cantidad de sensores y de una cantidad de condiciones de contorno a emplear en una validación de datos, en la que mediante los valores medidos se determina la cantidad de sensores, así como mediante la cantidad de condiciones de contorno se determina una estimación de un estado de un sistema consistente en elementos de estado.

Es, por consiguiente, objetivo de la presente invención, proporcionar un procedimiento, que simplifique y acelere sustancialmente la construcción del modelo de validación de datos.

Conforme a la presente invención, este objetivo se resuelve en un procedimiento del tipo citado inicialmente, por el hecho de que las ecuaciones del modelo de simulación se transforman de tal manera, que se obtenga por lo menos una ecuación, en la que sólo los valores medidos del modelo de validación de datos se incluyan como grados de libertad, y que éste emplea, por lo menos, una ecuación como modelo de validación de datos.

5 Con el procedimiento conforme a la presente invención se garantiza, que todas las ecuaciones incluidas en el modelo de simulación de la instalación se tengan en cuenta durante la construcción del modelo de validación de datos. El modelo de simulación contiene más grados de libertad y ecuaciones que el modelo de validación de datos. El máximo número de ecuaciones se encuentra disponible para el modelo de validación de datos. El procedimiento
10 conforme a la invención garantiza, por tanto, que todas las ecuaciones relevantes para los valores medidos influyan en el modelo de validación de datos. El número de ecuaciones del modelo de validación de datos se maximiza y, por consiguiente, se mejora su precisión. Como el modelo de validación de datos se deriva del modelo de simulación, se reducen sustancialmente el gasto de trabajo y la pensión a errores.

15 A partir de las Reivindicaciones dependientes se infieren ordenaciones y perfeccionamientos favorables de la invención.

Favorablemente se le comunica al modelo de simulación, que sus grados de libertad son valores medidos. Con otras palabras, en el modelo de simulación se introduce información, que posibilite una diferenciación entre los valores
20 medidos y los grados de libertad restantes.

El modelo de simulación de la instalación presenta favorablemente una matriz de parámetros característicos, que se transforma para la derivación de la matriz de parámetros característicos del modelo de validación de datos. Esto es consecuencia de una linealización de las ecuaciones de ambos modelos para la resolución de las ecuaciones no-lineales
25 del modelo de simulación y de validación de datos. Por ejemplo, en G. Grosche, V. Ziegler, D. Ziegler (editor), "Manual de Matemáticas", 23ª Edición, Editorial Harri Deutsch, Thun y Frankfurt/Main, capítulo 7.1.2.4 "Procedimientos Numéricos" [1] se representan procedimientos apropiados de linealización e iteración.

Los grados de libertad y condiciones de contorno de las ecuaciones se escriben entonces como vectores y los
30 parámetros de las ecuaciones como matriz. Cada fila de la matriz junto con la condición de contorno asignada a esta fila corresponde entonces a una ecuación, y a cada grado de libertad se le asigna exactamente una columna.

Para la transformación, en un primer paso, las columnas de la matriz del modelo de simulación se disponen, de forma que todas las columnas asignadas a los valores medidos se dispongan por el lado derecho de la matriz, en un
35 segundo rango, y todas las demás columnas se dispongan por el lado izquierdo de la matriz, en un primer rango. Este paso se realiza favorablemente mediante la multiplicación de la matriz del modelo de simulación por una matriz de transformación, que lleva a cabo las necesarias permutaciones de columnas.

En un segundo paso, las columnas del primer rango se transforman en una forma lo más diagonal posible. Esta forma se genera, por ejemplo, mediante una eliminación de Gauss, descrita en [1], capítulo 7.1.2.1. Un objetivo es
40 obtener la mayor cantidad posible de filas, que en el primer rango presenten sólo parámetros con el valor cero. Estas filas representan ecuaciones, que sólo contienen los valores medidos, pero no los demás grados de libertad del modelo de simulación. En el segundo rango, algunos parámetros pueden adoptar asimismo el valor cero.

En un tercer paso se determinan las filas de la matriz, que, en el primer rango, sólo presentan parámetros con el valor
45 cero, y las ecuaciones correspondientes a estas filas se utilizan como modelo de validación de datos. Favorablemente, sólo los parámetros del segundo rango de las filas determinadas y las condiciones de contorno asociadas, así como los valores medidos, se emplean como modelo de validación de datos. Los grados de libertad asignados al primer rango se suprimen, ya que los parámetros de las filas en cuestión tienen el valor cero. No es necesario, por tanto, un arrastre de estos grados de libertad y parámetros.

50 El procedimiento se explica con un ejemplo, para su aclaración.

Tras la linealización, el modelo de simulación S se puede representar como sistema de ecuaciones lineales como
55 sigue:

$$A \circ x = b,$$

60 donde

A: matriz característica del modelo de simulación, por ejemplo, matriz de Jacobi de las derivadas conformes al método de Newton-Kantorowitsch, compárese con [1],

65 x: vector de los grados de libertad del modelo de simulación, y

b: vector de las condiciones de contorno.

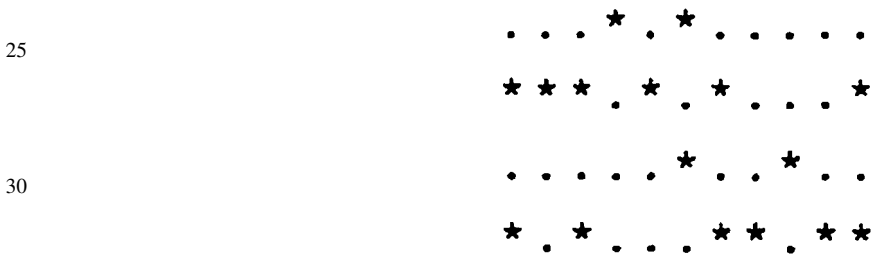
ES 2 287 054 T3

Por escrito resulta la siguiente representación:

$$\begin{matrix} 5 \\ 10 \\ 15 \end{matrix}
 \begin{bmatrix}
 a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,n} \\
 a_{2,1} & a_{2,2} & & a_{2,n} \\
 \vdots & & \ddots & \vdots \\
 a_{m,1} & & \cdots & a_{m,n}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 x_1 \\
 x_2 \\
 \vdots \\
 x_n
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 b_1 \\
 b_2 \\
 \vdots \\
 b_n
 \end{bmatrix}$$

El número n de columnas es habitualmente mayor que el número m de filas. La matriz A es, por tanto, más ancha que alta. Para el procedimiento conforme a la invención, el valor exacto de los parámetros a_{ij} de la matriz A no es importante. Estos parámetros se calculan conforme a la invención, aunque sólo se tienen en cuenta aquellos distintos de cero. Para simplificar, en la siguiente representación sólo se indica, por tanto, qué parámetros son distintos de cero.

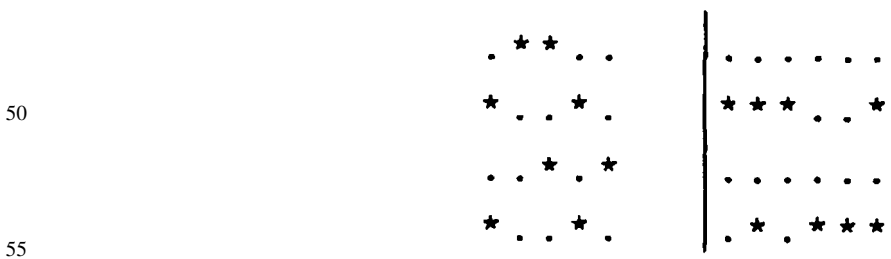
Se origina el siguiente dibujo ejemplar para la matriz A:



Esta matriz representa un modelo de simulación con cuatro ecuaciones acordes a las cuatro filas y once grados de libertad conformes a las once columnas. El símbolo "*" designa un valor distinto de cero, el símbolo "." un valor de cero.

Para la validación de datos y el modelo de validación de datos, sólo se miden algunos de los grados de libertad durante la operación de la instalación. A cada uno de estos valores medidos se le asigna una columna de la matriz A del modelo de simulación. En un primer paso, las columnas asignadas a los valores medidos de la matriz A se desplazan a la derecha. Los vectores x, b de los grados de libertad y de las condiciones de contorno se adaptan consiguientemente.

En este ejemplo se miden seis grados de libertad, o sea, los grados de libertad asignados a las columnas 2, 3, 5, 8, 10 y 11. Tras la conversión se origina, por consiguiente, el siguiente dibujo de la matriz A:



Los grados de libertad medidos o los valores medidos se asignan a las seis últimas columnas. Esto se sugiere esquemáticamente mediante la línea perpendicular y la colocación. La matriz A se divide en dos rangos, de los cuales el primero, izquierdo, se asocia a los grados de libertad no medidos y el segundo, derecho, se asocia a los valores medidos.

Esta matriz A se somete ahora a una eliminación de Gauss. Un objetivo es producir tantos ceros en el área izquierda de los grados de libertad no medidos. Aquí pueden efectuarse también permutaciones de filas en toda la matriz, así como permutaciones de las columnas. En las permutaciones de las columnas, las columnas asignadas a los valores medidos tienen que permanecer, sin embargo, siempre en el rango derecho, pudiéndose permutar, por consiguiente, sólo entre ellas. En la práctica se ha demostrado, por consiguiente, la eficacia de realizar permutaciones de las columnas sólo en el primer rango.

ES 2 287 054 T3

Figura 6 la matriz característica del modelo de validación de datos; y

Figura 7 una representación del modelo de validación de datos en forma de sistema de ecuaciones lineales.

5 La Figura 1 muestra una instalación 10 con dos intercambiadores de calor 11, 12 y dos líneas 13, 14. La línea 13 es atravesada en la dirección de la flecha 15 por un medio a calentar. El suministro de calor al intercambiador de calor 11, 12 se lleva a cabo mediante la línea 14, atravesada en la dirección de la flecha 16 por un medio caliente.

10 Un modelo de simulación de esta instalación 10 comprende aún, además de las diferentes variaciones preestablecidas como la variación de temperatura en los intercambiadores de calor 11, 12 y la caída de presión en las líneas 13, 14, algunos grados de libertad. Se tienen en cuenta los flujos máscicos m a través de las líneas 13, 14, así como la entalpía h aguas arriba del primer intercambiador de calor 11 y aguas abajo del segundo intercambiador de calor 12. Los flujos máscicos m se establecen como constantes. El modelo de simulación considera ulteriormente la entalpía de los medios entre los intercambiadores de calor. Estas entalpías se indican esquemáticamente como x_1, x_2 .

15 En la práctica, el comportamiento de los medios entre los intercambiadores de calor 11, 12 no se mide. Sólo se lleva a cabo, por consiguiente, una medición en dirección hacia arriba del primer intercambiador de calor 11 y en dirección hacia abajo del segundo intercambiador de calor 12. Se determinan seis valores medidos, dos flujos máscicos y cuatro entalpías, caracterizadas esquemáticamente como y_1, \dots, y_6 . La entalpía h no se mide aquí directamente, sino que se calcula a partir de los resultados de las mediciones.

20 El modelo de simulación S de la instalación 10 con su matriz característica A , un vector de grados de libertad x y un vector de condiciones de contorno b se representa esquemáticamente en la Figura 2. El vector x de los grados de libertad incluye tanto los valores medidos y_1, \dots, y_6 como también las entalpías x_1, x_2 entre los intercambiadores de calor 11, 12, así como otros grados de libertad.

30 El procedimiento conforme a la invención se representa en detalle mediante las variaciones de la matriz A en las Figuras 3 a 7. Primero se formula la matriz A (Figura 3) y entonces se recurre. Las columnas asignadas a los valores medidos y_1, \dots, y_6 se disponen a la derecha en un segundo rango. En un primer rango izquierdo permanecen las columnas asignadas a los otros grados de libertad del modelo de simulación. Los dos rangos están separados esquemáticamente por una línea (Figura 4). El rango izquierdo se transforma en una forma lo más diagonal posible (Figura 5). En la última fila, todos los parámetros del primer rango se convierten en cero. Los parámetros de esta fila del segundo rango representan, por consiguiente, una relación entre los valores medidos, independiente de los grados de libertad adicionales del modelo de simulación. Estos parámetros se emplean como matriz C de un modelo de validación de datos D (Figura 6). El modelo de validación de datos D se completa mediante el vector y de los valores medidos y_1, \dots, y_6 y el consiguiente vector q de las condiciones de contorno b ajustado a la diagonalización (Figura 7).

40 El procedimiento conforme a la invención posibilita una determinación automática del modelo de validación de datos D a partir del modelo de simulación S de la instalación 10. Se emplea el máximo número posible de ecuaciones, de forma que se obtenga la máxima precisión. Debido a la adquisición de las informaciones del modelo de simulación S , se reduce sustancialmente el gasto de trabajo. Se descartan completamente los errores de entrada en la generación del modelo de validación de datos D .

45 El modelo de validación de datos D puede ajustarse en todo momento a las variaciones del modelo de simulación S . Con esto se pueden comparar los valores medidos inmediatamente con el estado actual de la instalación 10. Los fallos o fugas de la instalación 10 se reconocen inmediatamente.

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la generación de un modelo de validación de datos (D) de una instalación (10) a partir de un modelo de simulación (S) de esta instalación (10), conteniendo tanto el modelo de validación de datos (D) como también el modelo de simulación (S) ecuaciones, que describen relaciones entre los grados de libertad (x) del modelo de simulación (S) y los valores medidos (y) del modelo de validación de datos (D) medidos durante la operación de la instalación (10), así como las condiciones de contorno (b; q) y siendo el número de grados de libertad (x) del modelo de simulación (S) mayor que el número de valores medidos (y) del modelo de validación de datos (D) y estando los valores medidos (y) incluidos en el modelo de simulación (S) como grados de libertad (x), **caracterizado** porque las ecuaciones del modelo de simulación (S) se transforman de tal manera, que se obtenga por lo menos una ecuación, en la que como grados de libertad sólo están aún incluidos los valores medidos (y), y porque esta, por lo menos una, ecuación se utiliza como modelo de validación de datos (D).
- 15 2. Procedimiento acorde a la Reivindicación 1, **caracterizado** porque se introduce en el modelo de simulación (S), cuáles de sus grados de libertad (x) son valores medidos (y).
- 20 3. Procedimiento acorde a la Reivindicación 2, **caracterizado** porque el modelo de simulación (S) de la instalación (10) presenta una matriz (A) de parámetros característicos ($a_{i,j}$), que se transforma para la derivación de una matriz (C) de parámetros característicos del modelo de validación de datos (D).
- 25 4. Procedimiento acorde a la Reivindicación 3, **caracterizado** porque para la transformación se disponen, en un primer paso, las columnas de la matriz (A) del modelo de simulación (S), de forma que todas las columnas asignadas a los valores medidos (y) se dispongan por el lado derecho de la matriz (A) en una segunda área y todas las demás columnas se dispongan por el lado izquierdo de la matriz (A) en una primera área.
5. Procedimiento acorde a la Reivindicación 4, **caracterizado** porque para la transformación en un segundo paso las columnas de la primera área se llevan a una forma diagonal en una máxima extensión posible.
- 30 6. Procedimiento acorde a la Reivindicación 5, **caracterizado** porque para la transformación, en un tercer paso, se determinan las filas de la matriz (A), que sólo presentan parámetros con el valor cero en la primera área y las ecuaciones correspondientes a estas filas se emplean como modelo de validación de datos (D).
- 35 7. Procedimiento acorde a la Reivindicación 6, **caracterizado** porque sólo los parámetros de la segunda área de las filas determinadas y las condiciones de contorno asociadas (q), así como los valores medidos (y), se emplean como modelo de validación de datos (D).

40

45

50

55

60

65

FIG 1

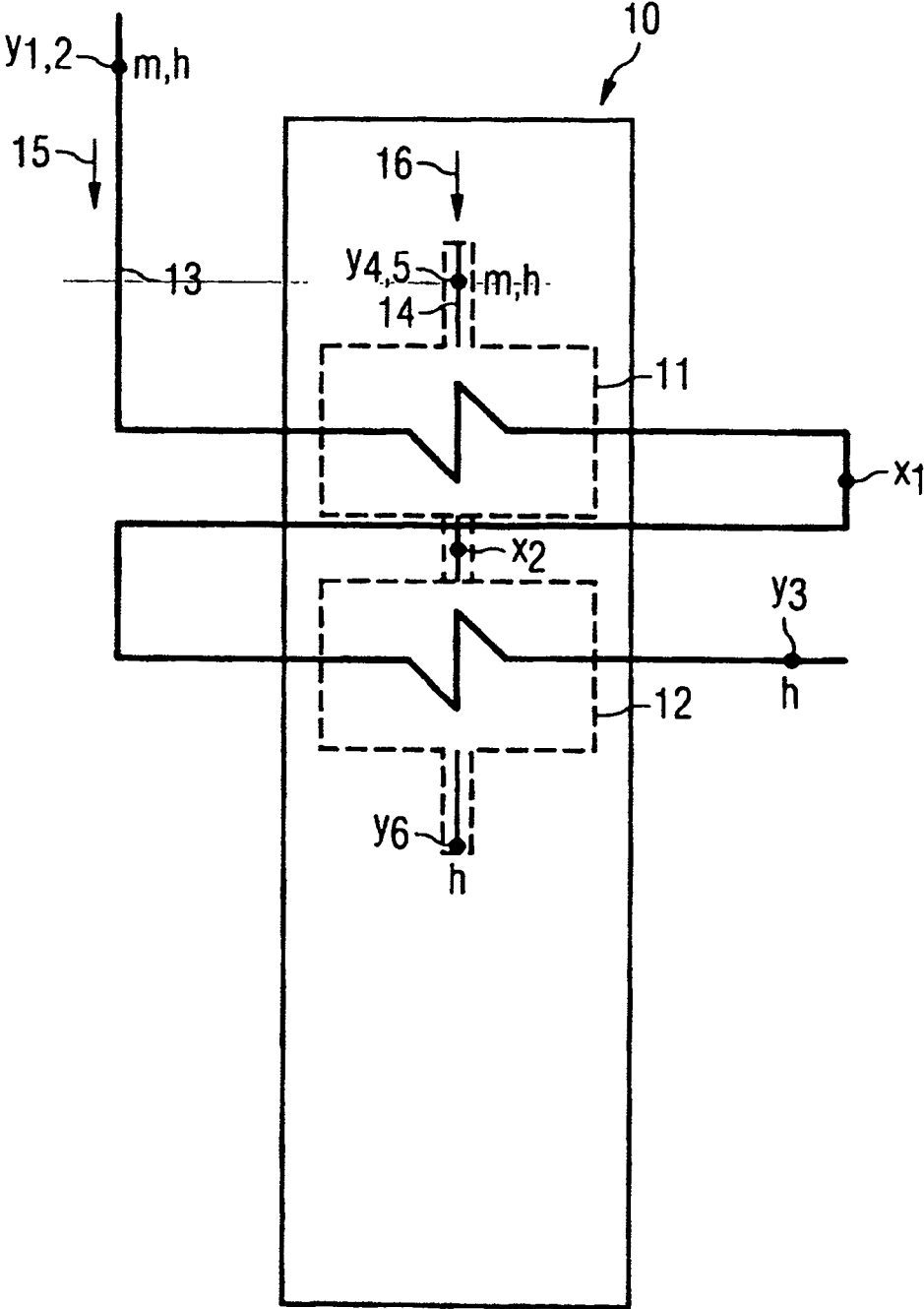


FIG 2 S: $A \circ x = b$

FIG 3
 . . . * . *
 * * * . * . * . . . *
 * . . * . .
 * . * . . . * * . * *

FIG 4

. * *
* . . * .	* * * . . *
. . * . *
* . . * .	. * . * * *

FIG 5

* . . * .	* * * . . *
. * . . *
. . * . *
.	* * * * * *

FIG 6 * * * * * *

FIG 7 D: $C \circ y = q$