

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 995 965**

51 Int. Cl.:

H02J 3/26 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2022** **PCT/EP2022/069418**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2023** **WO23285439**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2022** **E 22750809 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2024** **EP 4342050**

54 Título: **Procedimiento para la regulación de magnitudes de red eléctrica en una red de alimentación**

30 Prioridad:

14.07.2021 EP 21185638

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

11.02.2025

73 Titular/es:

FRONIUS INTERNATIONAL GMBH (100.00%)
Froniusstraße 1
4643 Pettenbach, AT

72 Inventor/es:

BARTEL, DANIEL;
GRASBÖCK, RICHARD;
KREUZER, HARALD y
PIELER, ROLAND

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 995 965 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 regulación de magnitudes de red eléctrica en una red de alimentación

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la regulación de magnitudes de red eléctrica en un punto de conexión a la red en una salida de una red de alimentación que se conecta con al menos un convertidor de corriente en una entrada de la red de alimentación en un punto de conexión al convertidor de corriente, en donde al menos una magnitud de alimentación se mide en el punto de conexión al convertidor de corriente y al menos una magnitud de red se mide en el punto de conexión a la red.

10 El constante aumento de la energía descentralizada en la matriz energética de los sistemas de suministro de energía actuales da lugar a nuevos planteamientos de objetivos variados en los campos de la regulación de la red y la gestión de la alimentación. La volatilidad de las fuentes de energía renovables, en particular, suele plantear a los operadores de plantas de generación de energía descentralizadas el objetivo de hacer frente, por un lado, a los picos de generación y los correspondientes picos de suministro, y, por otro lado, a los mínimos de generación y los correspondientes valles de suministro. Además de la atenuación de los picos y/o valles de suministro, las consideraciones de rentabilidad se tienen cada vez más en cuenta a la hora de planificar estrategias de explotación y/o de alimentación de las plantas de generación de energía descentralizadas. En muchos casos, la energía solo se alimenta a la red cuando los precios de la electricidad son satisfactorios o la cantidad de energía suministrada se ajusta a la evolución de los precios de la electricidad.

25 Para profundizar en este tema, primero se definen los términos "red de alimentación" y "red de distribución". En este contexto, se entiende por red de alimentación el material electrotécnico, tal como conductores, cables o inversores de fase, proporcionado en la ubicación de una planta de generación de energía descentralizada, que conecta los dispositivos electrotécnicos necesarios para el funcionamiento de la planta de generación de energía descentralizada. Por una red de distribución, por su parte, se entiende una red eléctrica, normalmente proporcionada por un operador de red, formada por ámbitos de alta, media y baja tensión, que a menudo comprende líneas con una longitud acumulada de varios cientos de kilómetros y conecta habitualmente una pluralidad de plantas de generación de energía con una pluralidad de consumidores.

30 Un primer planteamiento de problema en este campo resulta con frecuencia del hecho de que las propiedades de magnitudes de potencia eléctrica, tal como corriente eléctrica, tensión eléctrica o potencia eléctrica, que se entregan a una red de distribución cuando se alimenta a la red, habitualmente no están totalmente a discreción del operador de una central eléctrica. De este modo, el intervalo de tensión y/o de frecuencia, entre otros, de magnitudes de potencia alimentadas están en muchos casos estrictamente regulados. Además, los operadores de red reclaman cada vez más mecanismos para limitar la alimentación debido a posibles picos de generación, por ejemplo cuando se explotan plantas fotovoltaicas (plantas PV). Además de limitar la cantidad de energía alimentada, también puede ser necesario en este sentido alimentar o retirar una cantidad de energía concreta. A este respecto, debe hacerse especial hincapié en la denominada alimentación cero, en la que no puede suministrarse energía a una red de distribución con resolución de fase.

45 Para aplicar estos requisitos en el marco de una estrategia de explotación y/o de alimentación de una planta de generación de energía descentralizada, es habitualmente necesario tener en cuenta con suficiente precisión en particular la topología de una red de alimentación local dada en el punto de conexión. Además de una planta de generación de energía descentralizada, los consumidores locales de la vivienda o edificio en el punto de conexión también suelen estar conectados a una red de alimentación local. A este respecto, dependiendo del caso de aplicación, los consumidores locales pueden ser electrodomésticos de uso cotidiano, tal como microondas, lavadoras y frigoríficos, o también aparatos con gran demanda energética, tal como máquinas herramienta o líneas de producción. A la hora de planificar una estrategia de explotación y/o de alimentación adecuada en estos casos, puede ser ventajoso tener en cuenta no sólo la topología de red, sino también a los consumidores locales, en particular cuando una parte esencial de la energía generada localmente puede ser consumida directamente por consumidores locales. Los modelos (matemáticos) de topología de red y/o de consumidores (locales) se utilizan normalmente tanto para tener en cuenta la topología de una red de alimentación local en el punto de conexión como para tener en cuenta a los consumidores locales.

55 Además de la consideración de la topología de red y de los consumidores locales, la capacidad de adaptación a variaciones en una red de alimentación a menudo desempeña un papel clave en el desarrollo de estrategias de explotación y/o de alimentación para plantas de generación de energía descentralizadas. De este modo la topología de red en el punto de conexión a veces puede cambiar fundamentalmente mediante una modificación del cableado, por ejemplo en el curso de trabajos de mantenimiento y/o de reforma. Además, a menudo resulta generalmente ventajoso poder identificar rápidamente y sin grandes esfuerzos una red de alimentación nueva y, por tanto, normalmente desconocida. Además, consumidores locales que se conectan y/o desconectan durante el servicio pueden provocar desviaciones de una situación nominal asumida al planificar una estrategia de explotación y/o de alimentación, que también puede requerir una adaptación adecuada.

65 La presente invención aborda en detalle en particular estos planteamientos de problemas, centrándose en las

redes de alimentación a las que están conectados al menos un convertidor de corriente y al menos un equipo de medición. Además, también pueden estar conectados opcionalmente uno o varios consumidores locales. El convertidor de corriente puede ser a este respecto un inversor que convierte magnitudes de potencia eléctrica generada por una planta de generación de energía, tal como una planta PV, un sistema de almacenamiento en baterías o una pila de combustible, inicialmente como magnitudes de CC para alimentarlas a la red de alimentación, que generalmente es una red de CA. En este contexto, los convertidores también son concebibles como una posible forma de realización de un convertidor de corriente, por ejemplo, para adaptar la frecuencia de una magnitud de potencia que se va a alimentar, ya presente como magnitud de corriente, precisamente a los requisitos de un operador de red. En este contexto, un consumidor local puede consumir al menos una parte de la energía proporcionada en el punto de la generación, y el al menos un equipo de medición permite habitualmente registrar medir mediante tecnología de medición las magnitudes de potencia entregados en última instancia a una red de distribución. En el marco de las presente realizaciones, otros equipos eléctricos, tal como transformadores, convertidores de corriente o inversores de fase, pueden estar previstos entre el convertidor de corriente y el equipo de medición. Una variación fundamental en la red de alimentación, como resultado del cual puede ser necesaria una adaptación de una estrategia de explotación y/o de alimentación, puede producirse a este respecto por diversos procesos; una variación en la relación de transformación del transformador o la conmutación de un inversor de fase son solo algunos ejemplos.

En el estado de la técnica es bien conocida la necesidad de adaptar las estrategias de explotación y/o de alimentación para el funcionamiento de las plantas de suministro de energía descentralizadas a una red de alimentación determinada. Dado que las estrategias de explotación y/o de alimentación de este tipo se basan habitualmente en una descripción modelizada y generalmente matemática de una red de alimentación, existen varias publicaciones en el estado de la técnica que tratan de la identificación de modelos para la descripción de redes de alimentación.

En este contexto, el documento DE 102014200412 A1 divulga un método para la identificación de un modelo en forma de una asociación de las fases en el punto de conexión de un convertidor de corriente con las fases en el punto de conexión de una red de distribución eléctrica, denominado punto de transferencia de red. El documento DE102014200412 A1 no divulga en detalle cómo tiene lugar esta identificación. Solo se describe en términos generales que para ello se puede aplicar una señal piloto en forma de una corriente de prueba en la red eléctrica.

El documento DE 102018124124 B3 divulga asimismo un método para la identificación de la asociación de las fases en el punto de conexión de un aparato con capacidad de carga desequilibrada, que puede representar un convertidor de corriente, con las fases en el punto de conexión de un aparato de detección. A este respecto, para la identificación, mediante el aparato con capacidad de carga desequilibrada aplica activamente un perfil de carga desequilibrada, que se compara con mediciones registradas por la unidad de detección. De esta comparación se deriva una asignación de fases.

El documento DE 10 2018 116444 A1 enseña además un procedimiento para controlar un parque eólico en el que se adapta continuamente un modelo de red, que se utiliza para diseñar un atenuador.

El documento EP 3 429 050 A1 enseña además un procedimiento para la regulación de una potencia activa en un parque eólico con al menos dos aerogeneradores, cuya potencia de salida es regulada por un regulador de aerogenerador en cada caso, en el que una unidad de división divide un valor teórico de la potencia activa que debe ser emitida por el parque eólico en valores teóricos de potencia activa para su simulación en modelos de los aerogeneradores contenidos en el parque eólico.

El documento DE 10 2018 129810 A1 también enseña un procedimiento para controlar unidades de alimentación de energía combinadas para formar una central eléctrica virtual, mediante el cual las magnitudes manipuladas para controlar las unidades se calculan utilizando un modelo de optimización convexo.

El documento EP 3 376 026 A1 también enseña un procedimiento para la regulación de una potencia activa en un parque eólico con al menos dos aerogeneradores, la potencia de salida de cada uno de los cuales se regula en cada caso por un regulador de aerogenerador, en el que un valor teórico de la potencia activa que debe ser emitida por el parque eólico se aplica a un modelo de parque eólico que genera un valor teórico de potencia activa modelado del parque eólico.

Una primera desventaja de las publicaciones citadas es que, para identificar un modelo, siempre hay que introducir activamente señales piloto o de prueba en la red eléctrica que se desea identificar. Este requisito previo puede limitar considerablemente la aplicabilidad práctica de las estrategias de alimentación basadas en tales enfoques, ya que la alimentación activa de señales de prueba puede perturbar considerablemente el funcionamiento normal. Aparte de esto, la alimentación también provoca un esfuerzo adicional de conmutación. Una segunda desventaja de los documentos citados es el hecho de que consumidores desconocidos y, por tanto, en particular también conectados o desconectados temporalmente, y su efecto en el comportamiento de una red eléctrica que debe identificarse, no se incluyen en la identificación y, por tanto, posteriormente tampoco en las estrategias de funcionamiento y/o alimentación basadas en ellas. Otra desventaja de los enfoques conocidos por el estado de la

técnica es la falta de adaptabilidad de los conceptos presentados. A este respecto, son cuestiones decisivas cuándo y cómo se adaptará un modelo dado de una red de alimentación para garantizar una alta calidad operativa incluso en el caso de variaciones en una red de alimentación, en particular durante el funcionamiento. Estas cuestiones siguen sin respuesta en el estado de la técnica. Además, no queda claro por el estado de la técnica cómo un modelo de una red de alimentación, dado el caso también adaptado varias veces, se integrará ventajosamente en una estrategia de explotación.

Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es mejorar el comportamiento operativo de una red de alimentación a la que están conectados al menos un convertidor de corriente, al menos un equipo de medición y, opcionalmente, uno o varios consumidores.

Este objetivo se consigue de acuerdo con la invención mediante las características de las reivindicaciones independientes, en donde se recurre a dos etapas de procedimiento para la formación del valor teórico y la regulación de magnitudes de potencia que prevalecen en una red de alimentación y una adaptación de un modelo de la red de alimentación, dado el caso llevado a cabo varias veces.

En concreto, en el marco de la presente invención se parte de una red de alimentación que se conecta con al menos un convertidor de corriente en una entrada de la red de alimentación en un punto de conexión al convertidor de corriente, en donde se miden al menos una magnitud de alimentación en el punto de conexión al convertidor de corriente y al menos una magnitud de red en un punto de conexión de la red en una salida de la red de alimentación. El punto de conexión a la red representa a este respecto, por un lado, un punto de conexión para un equipo de medición para la medición de magnitudes de red como también un punto de conexión para una red de distribución. Sin embargo, preferentemente no solo se mide una, sino una magnitud de alimentación por fase en el punto de conexión al convertidor de corriente. Lo mismo se cumple para la medición de magnitudes de red en el punto de conexión a la red mediante un equipo de medición conectado para este fin. En concreto, por magnitud de alimentación y magnitud de red se entienden magnitudes de potencia eléctrica, tal como corriente eléctrica, tensión eléctrica o potencia eléctrica, que prevalecen en los distintos puntos de la red de alimentación correspondientes a su denominación. Un elemento esencial y central de la presente invención es un modelo de la red de alimentación, mediante el cual se describen a modo de modelo la red de alimentación y, con ello, la correlación o la relación entre las magnitudes de alimentación que prevalecen en el punto de conexión del convertidor de corriente y las magnitudes de red que prevalecen en el punto de conexión del equipo de medición. El modelo de la red de alimentación está implementado de acuerdo con la invención en una unidad de control de la red de alimentación.

Como modelo de la red de alimentación se recurre preferentemente a este respecto a un modelo matemático, que puede venir dado, por ejemplo, por un mapeo algebraico o un sistema de ecuaciones diferenciales. Sin embargo, también puede recurrirse a modelos no matemáticos para la implementación del procedimiento de acuerdo con la invención, tal como una tabla que describe una asignación de fases en diferentes puntos de la red de alimentación. Una ventaja especial de la descripción a modo de modelo de acuerdo con la invención se basa en que los modelos utilizados de acuerdo con la invención están diseñados de tal manera que la consideración de consumidores opcionales y, además, habitualmente desconocidos como parte del modelo es posible sin esfuerzo adicional.

De acuerdo con la invención, en una etapa de procedimiento para formar los valores teóricos mediante el modelo mencionado de la red de alimentación a partir de valores teóricos predeterminados para las magnitudes de alimentación, en lo sucesivo también denominados "valores teóricos de magnitud de alimentación", en la unidad de control se determinan valores teóricos para las magnitudes de alimentación que se van a regular por el al menos un convertidor de corriente, en lo sucesivo también denominados "valores teóricos de magnitud de alimentación". Dado que las magnitudes eléctricas que puede especificar el convertidor de corriente, tal como, por ejemplo, las corrientes eléctricas que puede aplicar al convertidor de corriente en sus conexiones, se utilizan como magnitudes de ajuste para la regulación o el ajuste de magnitudes de potencia en el marco de la presente invención, esta transformación de valores teóricos simplifica en particular la dinámica de línea entre magnitudes de ajuste y de regulación. Dado que la determinación de los valores teóricos de magnitud de alimentación se lleva a cabo preferentemente durante el funcionamiento de la red de alimentación, en el caso de una adaptación del modelo, mediante esta etapa de procedimiento que claro cómo un modelo dado el caso también adaptado durante el funcionamiento puede integrarse ventajosamente en una estrategia de funcionamiento de una red de alimentación.

En una etapa de procedimiento adicional para la regulación, las magnitudes de alimentación dadas se ajustan o se regulan a los valores teóricos de magnitud de alimentación con ayuda del convertidor de corriente, lo que, si los valores teóricos de la magnitud de alimentación se determinan correctamente a partir de los valores teóricos de magnitud de red, hace que las magnitudes de red sigan los valores teóricos de magnitud de red predeterminados para las mismas. Una determinación correcta de los valores teóricos de magnitud de alimentación se garantiza a este respecto cuando el modelo de la red de alimentación describe correctamente y con exactitud la red de alimentación real. Una descripción correcta y precisa de la red de alimentación real se refiere, en particular, a una descripción correcta y precisa de la correlación entre las magnitudes de red y las magnitudes de alimentación.

A fin de garantizar una descripción correcta y precisa de la red de alimentación mediante el modelo de la red de alimentación utilizado incluso en caso de variaciones en la red de alimentación, está previsto de acuerdo con la

- invención adaptar el modelo de la red de alimentación en el caso de una desviación entre magnitudes de red medidas y magnitudes de red que cabe esperar debido al modelo de la red de alimentación y/o en el caso de una desviación entre magnitudes de alimentación medidas y magnitudes de alimentación que cabe esperar debido al modelo de la red de alimentación, o identificar de nuevo completamente el modelo de la red de alimentación dado el caso, en donde para la adaptación o nueva identificación del modelo de la red de alimentación se recurre al menos a una parte de los datos de medición registrados de las magnitudes de alimentación y al menos a una parte de los datos de medición de las magnitudes de red. De acuerdo con la invención, esta adaptación se lleva a cabo en la unidad de control.
- En el caso de variaciones recurrentes en la red de alimentación, se lleva a cabo una adaptación o nueva identificación del modelo de la red de alimentación dado el caso también varias veces. A este respecto es decisivo que el procedimiento de acuerdo con la invención no requiera ninguna señal de prueba o piloto para la identificación. Por el contrario, el procedimiento de acuerdo con la invención reconoce en sí cuándo y si es necesaria una adaptación o nueva identificación del modelo de la red de alimentación.
- En una configuración preferida del procedimiento de acuerdo con la invención, se reconoce una desviación entre magnitudes de red medidas y magnitudes de red que cabe esperar debido al modelo de la red de alimentación y, con ello, una descripción incorrecta de la correlación entre las magnitudes de alimentación que prevalecen en el punto de conexión del convertidor de corriente y las magnitudes de red que prevalecen en el punto de conexión del equipo de medición, y se lleva a cabo una adaptación del modelo de la red de alimentación, cuando la desviación entre al menos un valor de medición de una magnitud de red y un valor estimado de la magnitud de red correspondiente calculado mediante el modelo de la red de alimentación supera un valor umbral predeterminado. Se puede proceder de manera análoga en una comparación de magnitudes de alimentación medidas con valores estimados de las magnitudes de alimentación calculados por el modelo de la red de alimentación. Del mismo modo, la desviación entre dos valores de medición en dos instantes diferentes de al menos una magnitud de red o de al menos una magnitud de alimentación puede compararse con un valor umbral predeterminado, y puede llevarse a cabo una adaptación del modelo de la red de alimentación cuando la desviación entre los valores comparados supera un valor umbral predeterminado.
- En una configuración preferida del procedimiento de acuerdo con la invención, un valor relativo de un valor de medición de al menos una magnitud de alimentación o de al menos una magnitud de red al que se recurre para la determinación de la desviación se usa como valor umbral para la detección de una descripción incorrecta de la correlación, en donde como valor relativo pueden usarse, por ejemplo, el 10 %, el 50 % o el 100 %.
- En otra configuración preferida del procedimiento de acuerdo con la invención, un valor absoluto de un valor de medición de al menos una magnitud de alimentación o al menos una magnitud de red al que se recurre para la determinación de la desviación se usa como valor umbral para la detección de una descripción incorrecta de la correlación, en donde como valor absoluto pueden usarse, en el caso de potencias, por ejemplo, 10 W o 50 W o 100 W, o en el caso de corrientes 10 A o 50 A o 100 A, o en el caso de tensiones 10 V o 50 V o 100 V.
- Además de las ventajas ya mencionadas, mediante la presente invención se consigue también que un modelo de una red de alimentación determinado de acuerdo con la invención pueda proporcionar automáticamente también información sobre consumidores disponibles opcionalmente. En particular, en los casos en que la red de alimentación eléctrica incluye al menos un consumidor eléctrico desconocido que cause al menos una magnitud de consumo eléctrico en la red de alimentación eléctrica, el al menos un consumidor eléctrico y la magnitud de consumo causada por el mismo pueden mapearse en el modelo de la red de alimentación y tenerse así en cuenta al determinar el al menos un valor teórico para la al menos una magnitud de alimentación eléctrica y al adaptar el modelo de la red de alimentación.
- Con el fin de llevar a cabo una adaptación de modelo y, con ello, una corrección del modelo en el caso de una descripción incorrecta de la red de alimentación mediante el modelo aún antes de llevar a cabo las etapas de procedimiento presentadas para la formación de los valores teóricos y para la regulación, también se puede llevar a cabo una adaptación de modelo de manera especialmente ventajosa antes de las dos etapas de procedimiento presentadas para la formación de valores teóricos y la regulación.
- Ventajosamente, todos las etapas de procedimiento y, por tanto, también la adaptación del modelo presentada se llevan a cabo durante el funcionamiento de la red de alimentación, lo que en particular evita las interrupciones operativas y los impedimentos asociados y, por tanto, representa una forma de realización particularmente ventajosa del procedimiento de acuerdo con la invención.
- La presente invención se explica con más detalle a continuación con referencia a las figuras 1 a 3, que muestran a modo de ejemplo, de manera esquemática y no limitativa configuraciones ventajosas de la invención. A este respecto, muestra
- la figura 1 una red de alimentación trifásica con convertidor de corriente, equipo de medición y consumidores opcionales

la figura 2 un diagrama de flujo del procedimiento de acuerdo con la invención
la figura 3 una curva de corriente con inversión de fase.

La figura 1 muestra a este respecto en primer lugar una red de alimentación 4, un convertidor de corriente 1 y un equipo de medición 3. Los consumidores 5 y 6 representados en la figura 1 han de considerarse opcionales y no son un requisito obligatorio para la aplicación del procedimiento de acuerdo con la invención. El convertidor de corriente 1 se da preferentemente por un inversor, pero como se ha mencionado al principio, en el presente contexto también es posible un inversor. La figura 1 muestra además un punto de conexión a la red 2, a través del cual la red de alimentación 4 puede conectarse a una red de distribución 10 y que equivale eléctricamente al punto de conexión del equipo de medición 3, un punto de conexión al convertidor de corriente 8 para conectar un convertidor de corriente 1 a la red de alimentación 4, y una unidad de control 7. Como se ha mencionado al principio, en la red de alimentación 4 puede haber diversos equipos eléctricos, indicados por el recuadro punteado dentro de la red de alimentación 4, tal como un transformador o un inversor de fase, que pueden ser desconocidos en particular al inicio del funcionamiento de la red de alimentación 4 y/o pueden cambiar durante el funcionamiento. Para una mejor diferenciación entre la red de alimentación 4 y la red de distribución 10, las fases de la red de alimentación 4 se denominan en la figura 1 L_1 , L_2 , L_3 , las de la red de distribución 10, a la que está conectada la red de alimentación 4, se denominan L_1 , L_2 , L_3 . La representación de la red de alimentación 4 a modo de ejemplo de la figura 1 con ayuda de tres fases se basa en la implementación habitual de los sistemas de corriente trifásica como sistemas trifásicos. Aunque el uso del procedimiento de acuerdo con la invención en sistemas de corriente alterna trifásicos representa una aplicación preferida, el procedimiento de acuerdo con la invención no está de ninguna manera limitado a esto. El procedimiento de acuerdo con la invención puede utilizarse en sistemas de corriente alterna monofásicos, así como en redes multifásicas con capacidad de carga desequilibrada.

Además, la figura 1 muestra una magnitud de alimentación E_x , por fase en el punto de conexión al convertidor de corriente 8, en el punto de conexión a la red 2 por fase una magnitud de red N_x y entre la red de alimentación 4 y el equipo de medición 3 en las derivaciones a los consumidores opcionales 6 por fase una magnitud de consumo V_x . La magnitud de ejecución x representa en este sentido el índice de las fases L_1 , L_2 , L_3 . En las explicaciones siguientes, las magnitudes vectoriales $\mathbf{E}$, $\mathbf{N}$ y $\mathbf{V}$ se utilizan en varios lugares para analizar colectivamente varias magnitudes de alimentación, red y consumo, que se señalan en negrita con los escalares E_x , N_x y V_x para diferenciarlas. Si, por ejemplo, las corrientes de fase i_{E_x} que prevalecen en el punto de conexión al convertidor de corriente 8 se consideran magnitudes de alimentación, se aplica en este sentido lo siguiente

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_{E1} \\ i_{E2} \\ i_{E3} \end{pmatrix}.$$

En el curso de las realizaciones siguientes, a menudo resulta ventajoso asignar las magnitudes mencionadas $\mathbf{E}$, $\mathbf{N}$ y $\mathbf{V}$ a instantes discretos, para lo cual se utiliza a continuación el índice de tiempo discreto k . Como es habitual en tecnología digital, el índice de tiempo k puede describir preferentemente puntos espaciados equidistantemente en el tiempo t_k , que, como es bien sabido, pueden resultar a partir de un tiempo inicial t_0 y un tiempo de exploración discreto T_a mediante la regla $t_k = t_0 + k \cdot T_a$. En este sentido, el vector

$$\mathbf{E}_k = \begin{pmatrix} E_{1,k} \\ E_{2,k} \\ E_{3,k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_{E1,k} \\ i_{E2,k} \\ i_{E3,k} \end{pmatrix}$$

resumiría las corrientes de fase $i_{E1,k}$, $i_{E2,k}$ y $i_{E3,k}$ que prevalecen en un instante t_k en el punto de conexión al convertidor de corriente 8. A este respecto, debe tenerse en cuenta que la siguiente consideración de tiempo discreto sólo debe considerarse como un ejemplo y que también podrían utilizarse magnitudes de tiempo continuo para describir el procedimiento de acuerdo con la invención. Los valores teóricos para las magnitudes de red $N_{x,k}$ y las magnitudes de alimentación $E_{x,k}$ que son esenciales para el procedimiento de acuerdo con la invención se anotan a continuación utilizando $N_{x,k}^*$ o $E_{x,k}^*$, se utiliza en consecuencia la notación vectorial $\mathbf{E}_k^*$ o $\mathbf{N}_k^*$. Los valores teóricos de la magnitud de red $N_{x,k}^*$ suelen especificarse externamente, lo que se muestra en la figura 1 por la ruta de señal que entra en la unidad de control 7 desde arriba, que transfiere un vector de valores teóricos de magnitud de red $\mathbf{N}_k^*$ a la unidad de control 7, por ejemplo para cumplir las directrices de alimentación. Como también se muestra en la figura 1, la unidad de control 7 lee los valores de medición de las magnitudes de red $N_{x,k}$ y las magnitudes de alimentación $E_{x,k}$ a través de un sistema de bus 9. Dado que preferentemente se leen una pluralidad de magnitudes de red $N_{x,k}$ medidas y magnitudes de alimentación $E_{x,k}$, las señales leídas por la unidad de control 7 se anotan en forma vectorial en negrita. En la forma de realización representada en la figura 1, la unidad de control también emite un vector de valores teóricos de magnitud de alimentación $\mathbf{E}_k^*$.

Debe mencionarse en este contexto que al menos una magnitud de red $N_{x,k}$ y al menos una magnitud de alimentación $E_{x,k}$ son necesarias como magnitudes de medición para poner en práctica el procedimiento de acuerdo con la invención. Sin embargo, el uso de solo una magnitud de red $N_{x,k}$ y solo una magnitud de alimentación $E_{x,k}$ representa una realización mínima. De una manera ventajosa, se miden por consiguiente una magnitud de

alimentación $E_{x,k}$ por fase de la red de alimentación 4 en el punto de conexión al convertidor de corriente 8 y una magnitud de red $N_{x,k}$ por fase de la red de alimentación 4 en el punto de conexión a la red 2. Con respecto a la notación vectorial, sin embargo, cabe señalar que las magnitudes vectoriales $\mathbf{E}_k$, $\mathbf{N}_k$ y $\mathbf{V}_k$ también pueden contener un solo elemento y, por tanto, también se da el caso que sólo se utilice una magnitud de alimentación $E_{x,k}$, una magnitud de red $N_{x,k}$ y una magnitud de consumo $V_{x,k}$.

En la situación representada en la figura 1, el convertidor de corriente 1 está conectado con un sistema de generación de energía 11, por ejemplo con una planta PV o un sistema de pila de combustible, que suministra inicialmente al convertidor de corriente 1 magnitudes eléctricas de CC. Dado que tanto las redes de alimentación 4 como las redes de distribución 10 suelen ser redes de CA, puede ser necesario convertir dichas magnitudes de CC en magnitudes de CA antes de alimentarlas a la red. Otra forma de realización importante de un sistema de generación de energía 11 son los denominados sistemas de alimentación ininterrumpida, con ayuda de los cuales también se puede alimentar inicialmente una red eléctrica local desde una unidad de almacenamiento eléctrico estacionaria (batería, pila de combustible de hidrógeno, etc.) con magnitudes directas en caso de fallos de una red de distribución 10. En muchos casos de aplicación, pueden conectarse a la red de alimentación 4 además otros convertidores de corriente además del primer convertidor de corriente 1. Esto no limita la aplicabilidad del procedimiento de acuerdo con la invención, pero en este caso una magnitud de alimentación $E_{x,k}$ representa dado el caso una suma de varias magnitud de alimentación de varios convertidores de corriente 1 individuales, lo que se puede representar con el número n_E de convertidores de corriente 1 como

$$E_{x,k} = \sum_{j=1}^{n_E} E_{x,k,j}$$

En el contexto de la presente solicitud, también se cumple para un convertidor de corriente 1 que puede estar configurado de manera variable con respecto al número de fases que alimenta. Así, el procedimiento de acuerdo con la invención también puede utilizarse en situaciones en las que están previstos o también se combinan convertidores monofásicos, bifásicos, trifásicos o incluso multifásicos.

Los consumidores 5, 6 opcionales y habitualmente desconocidos, representados en la figura 1 pueden comprender los más diversos aparatos y/o dispositivos eléctricos, dependiendo del caso de aplicación concreto. En el caso de una planta PV que suministra energía eléctrica a un hogar y que también puede alimentar una red de distribución 10 a través de una red de alimentación 4, los consumidores 5 y 6 pueden representar aparatos eléctricos cotidianos tal como microondas, lavadoras o también frigoríficos. Si una red de alimentación 4 como la representada en la figura 1 es parte de un complejo industrial, en lugar de los aparatos cotidianos mencionados o además de ellos, son concebibles también dispositivos con elevada demanda energética, tal como máquinas herramienta o líneas de producción completas. El procedimiento de acuerdo con la invención puede utilizarse en este contexto independientemente de la forma concreto de los consumidores desconocidos 5, 6. Los consumidores opcionales 5, 6 también podrían ser generadores que no toman energía eléctrica de la red de alimentación 4, sino que suministran energía eléctrica en sí a la red de alimentación 4.

En una realización ventajosa, el procedimiento de acuerdo con la invención se basa en la suposición con respecto a la posición de los consumidores opcionales 5, 6 de que todos los consumidores 5, 6 están conectados o bien a la salida de la red de alimentación 4, tal como el consumidor 6, o bien a la entrada de la red de alimentación 4, tal como el consumidor 5. Para la aplicación de la presente invención, es irrelevante si los consumidores 5, 6 están instalados a la entrada o a la salida de la red de alimentación 4. Si todos los consumidores están instalados a la entrada de la red de alimentación 4, se habla de consumidores 5, 6 en el "sistema de convertidor de corriente"; si están instalados a la salida de la red de alimentación 4, se denominan consumidores 5, 6 en el "sistema de contador". Esta etapa tiene como consecuencia que también las magnitudes de consumo $V_{x,k}$ se calculan como relativas a un lado, lo que simplifica enormemente la implementación del procedimiento. Para el fin del procedimiento de acuerdo con la invención de regular correctamente magnitudes de red $N_{x,k}$ suministradas a una red de distribución 10, es a este respecto irrelevante si las magnitudes de consumo $V_{x,k}$ tenidas en cuenta están representadas en un sistema de convertidor de corriente o de contador correspondiente. Además, dado que en muchos casos se desconoce el número de consumidores 5, 6 conectados opcionalmente, a menudo resulta ventajoso representar todos los consumidores 5, 6 supuestos solo en un lado de la red de alimentación 4 con solo un consumidor 6 acumulativo. De este modo, el efecto de un número potencialmente elevado de consumidores sobre una red de alimentación 4 puede indicarse mediante magnitudes de consumo concentrado $V_{x,k}$, para las cuales puede plantearse de manera análoga la consideración de varios convertidores de corriente 1

$$V_{x,k} = \sum_{j=1}^{n_V} V_{x,k,j}$$

en donde n_V representa el número de consumidores.

La realización y topología concretas de la red de alimentación 4 mostrada en la figura 1 también pueden depender en gran medida de la aplicación concreta. Para el procedimiento de acuerdo con la invención, los transformadores, convertidores e inversores de fase, en particular, son equipos eléctricos típicos que pueden estar previstos en la red de alimentación 4. Según la presente invención, el convertidor de corriente 1 en el punto de conexión al convertidor de corriente 8 regulará las magnitudes de alimentación $E_{x,k}$ predominantes de modo que en el punto de conexión a la red 2, las magnitudes de red $N_{x,k}$ predominantes en ese punto superen valores teóricos de magnitudes de red $N_{x,k}^*$ predefinidos determinados, las variaciones en la red de alimentación 4, por ejemplo en forma de una variación de una relación de transformación de transformador o una variación en la asignación de fases entre el punto de conexión al convertidor de corriente 8 y el punto de conexión a la red 2, se tienen en cuenta de acuerdo con la invención adaptando un modelo preferentemente matemático de la red de alimentación 4.

Para un modelo de este tipo de una red de alimentación 4 puede bastar ya en muchos casos con un mapeo algebraico, que puede describirse con una matriz A_n , por ejemplo en forma de un sistema lineal de ecuaciones en forma de

$$A_n \cdot E_k + V_k = N_k$$

y describe correlación entre el vector de magnitudes de alimentación E_k y el vector de magnitudes de red N_k . Los consumidores opcionales V_k se suponen en este sentido en un sistema de contador. Si se muestra que hay consumidores 5, 6, esto puede tenerse en cuenta simplemente asignando $V_k = 0$ con un vector cero 0 de una dimensión conveniente.

El índice de modelo n en la matriz A_n , que en lo sucesivo también se denominará matriz de modelo, indica que un modelo de una red de alimentación 4 y, por tanto, en el presente caso, la matriz de modelo A_n puede cambiar. Sin embargo, dado que de acuerdo con la invención una adaptación y, por tanto, una variación de un modelo en forma de matriz de modelo A_n no tiene lugar en cada instante k , el índice de tiempo k y el índice de modelo n son generalmente diferentes. La conversión de un vector de valores teóricos de magnitud de red N_k^* a un vector de valores teóricos de magnitud de alimentación E_k^* previsto en el marco de la presente invención puede tener lugar utilizando este modelo mediante el mapeo

$$E_k^* = A_n^{-1}(N_k^* - V_k).$$

El vector de las magnitudes de alimentación E_k puede ajustarse o regularse a continuación a este vector de valores teóricos de magnitud de alimentación E_k^* preferentemente con ayuda del convertidor de corriente 1, para lo cual, a su vez, pueden utilizarse lo más diversos métodos de la tecnología de regulación y/o de control. En el caso de un transformador situado en la red de alimentación 4, la matriz de modelo A_n puede adoptar la forma

$$A_n = \begin{pmatrix} z & 0 & 0 \\ 0 & z & 0 \\ 0 & 0 & z \end{pmatrix},$$

que puede utilizarse, por ejemplo, para convertir las corrientes de fase del lado del convertidor de corriente 1 al lado del equipo de medición 3 mediante la relación de transformación de transformador z situada en la diagonal principal de la matriz. Un inversor también podría mapearse de este modo. En el caso de un inversor de fase situado en una red de alimentación 4 trifásica, se puede realizar un mapeo algebraico utilizando la matriz

$$A_n = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

con la que puede efectuarse en el caso concreto un intercambio de las fases L_1 y L_2 .

Si se reconoce una descripción incorrecta de la correlación entre el vector de magnitud de alimentación E_k y el vector de magnitud de red N_k para un modelo de la red de alimentación 4 en la forma representada anteriormente, se adapta el modelo de la red de alimentación 4. En el caso de la presente matriz de modelo A_n , esto puede significar asignar nuevos valores a los elementos de la matriz de modelo A_n . Para esta etapa puede recurrirse a varios métodos. De una manera ventajosa, el modelo de la red de alimentación 4 en cuestión puede anotarse inicialmente en las denominadas coordenadas homogéneas como

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \mathbf{A}_n & \mathbf{V}_k \\ \mathbf{0}_E & 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{H}_k} \underbrace{\begin{pmatrix} \mathbf{E}_k \\ 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{X}_k} = \underbrace{\begin{pmatrix} \mathbf{N}_k \\ 1 \end{pmatrix}}_{\mathbf{Y}_k}$$

En este, el vector $\mathbf{0}_E$ representa un vector cero cuya longitud corresponde al número de columnas de la matriz $\mathbf{A}_n$. Las magnitudes matriciales o vectoriales $\mathbf{H}_k$, $\mathbf{X}_k$, $\mathbf{Y}_k$ sirven en este sentido para una notación más compacta del modelo en cuestión. Una adaptación o incluso una nueva identificación del modelo de la red de alimentación 4 puede implementarse en el caso dado mediante una determinación de una matriz $\mathbf{H}_k$ adecuada. En esta forma de realización, es especialmente ventajoso que cuando se identifica la matriz $\mathbf{H}_k$, además de la matriz $\mathbf{A}_n$, automáticamente también se identifican los consumidores $\mathbf{V}_k$ opcionales dados en un instante t_k . Utilizando los datos de medición de las magnitudes de alimentación $\mathbf{E}_k$ y las magnitudes de red $\mathbf{N}_k$, en el sentido del enfoque de mínimos cuadrados (enfoque LS), la matriz $\mathbf{H}_k$ se puede determinar, por ejemplo, buscándose un valor óptimo $\hat{\mathbf{H}}_k$ que minimiza la función de coste

$$J_k = \|\mathbf{Y}_k - \mathbf{H}_k \mathbf{X}_k\|_2^2 = (\mathbf{Y}_k - \mathbf{H}_k \mathbf{X}_k)^T (\mathbf{Y}_k - \mathbf{H}_k \mathbf{X}_k),$$

en donde el operador $\|\cdot\|_2^2$ corresponde a la conocida 2-norma. Preferentemente, la primera derivada de la función de coste J_k a la matriz $\mathbf{H}_k$ se pone a cero y la expresión resultante se resuelve en la matriz $\mathbf{H}_k$. Este procedimiento conduce inicialmente a

$$\frac{d}{d\mathbf{H}_k} J_k = \frac{d}{d\mathbf{H}_k} \|\mathbf{Y}_k - \mathbf{H}_k \mathbf{X}_k\|_2^2 = -2\mathbf{Y}_k \mathbf{X}_k^T + 2\mathbf{H}_k (\mathbf{X}_k \mathbf{X}_k^T) \stackrel{!}{=} 0,$$

a partir lo cual puede determinarse un valor estimado óptimo $\hat{\mathbf{H}}_k$ en el sentido de la presente 2-norma en forma de

$$\hat{\mathbf{H}}_k = \mathbf{Y}_k \mathbf{X}_k^T (\mathbf{X}_k \mathbf{X}_k^T)^{-1}$$

Como se conoce a partir de la bibliografía científica, la matriz $\hat{\mathbf{A}}_{n_k}$ contenida en la matriz $\hat{\mathbf{H}}_k$ no tiene que transferirse directamente a una nueva matriz modelo $\mathbf{A}_{n+1}$ y, por consiguiente, una matriz $\mathbf{A}_n$ dada tiene que sobreescribirse por completo con $\hat{\mathbf{A}}_{n_k}$. Más bien, una matriz modelo $\mathbf{A}_n$ también puede modificarse paso a paso, por ejemplo añadiendo sólo una parte de un resultado a la actual $\mathbf{A}_n$, lo que según el cálculo mostrado anteriormente, lo que puede implementarse, entre otros, en forma de

$$\mathbf{A}_{n+1} = (1 - \mu) \cdot \mathbf{A}_n + \mu \cdot \hat{\mathbf{A}}_{n_k}$$

con el factor de ponderación μ comprendido entre cero y uno. Estos enfoques se conocen en la bibliografía pertinente, en particular, como los denominados estimadores de mínimos cuadrados o de error cuadrático medio mínimo ("algoritmos LS", "estimadores MMSE").

Este enfoque también proporciona inmediatamente una manera de reconocer durante el funcionamiento sin esfuerzo adicional, si el modelo de la red de alimentación 4 proporciona una descripción incorrecta de la correlación entre las magnitudes de alimentación $\mathbf{E}_k$ y las magnitudes de red $\mathbf{N}_k$ y si, por lo tanto, es necesario adaptar el modelo. Entre otras cosas, el valor de la función de coste J_k en cuestión puede calcularse continuamente durante el funcionamiento, por ejemplo en los instantes discretos t_k descritos a través del índice de tiempo discreto k durante la implementación del procedimiento de acuerdo con la invención. Sin embargo, la función de coste J_k también puede calcularse sólo en algunos de los instantes que ocurren durante la realización del procedimiento de acuerdo con la invención. Si se reconoce que la función de coste J_k supera un umbral predeterminable J^* , puede llevarse a cabo una adaptación de acuerdo con el planteamiento presentado.

Otra forma de realización del planteamiento mostrado resulta de una interesante interpretación de la función de

coste $J_k = \|\mathbf{Y}_k - \mathbf{H}_k \mathbf{X}_k\|_2^2$. Si la expresión $\mathbf{A}_n \cdot \mathbf{E}_k + \mathbf{V}_k$ para el caso de que para $\mathbf{E}_k$ se utilicen las magnitudes de medición disponibles en el instante t_k para las magnitudes de alimentación $\mathbf{E}_k$ y para $\mathbf{V}_k$ los valores estimables disponibles en el instante t_k de las magnitudes de consumo existentes dado el caso, se considera como el valor estimado $\hat{\mathbf{N}}_k = \mathbf{A}_n \cdot \mathbf{E}_k + \mathbf{V}_k$ para las magnitudes de red $\mathbf{N}_k$ dadas a la salida de la red de alimentación 4, la función de coste puede considerarse también como la desviación entre los valores de medición $\mathbf{N}_k$ medidos realmente de las magnitudes de red y de valores estimados $\hat{\mathbf{N}}_k$, determinados como anteriormente, es decir

$$J_k = \left\| \begin{bmatrix} \mathbf{N}_k \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{N}}_k \\ 1 \end{bmatrix} \right\|_2^2$$

Por el contrario, en este sentido, partiendo de las magnitudes de red $\mathbf{N}_k$ medidas también valores estimados $\tilde{\mathbf{E}}_k$ para las magnitudes de alimentación $\mathbf{E}_k$ se puede determinar, preferentemente usando la inversa de la matriz de modelo $\mathbf{A}_n$ al igual que con el cálculo de los valores teóricos de magnitud de alimentación a partir de valores teóricos de magnitud de red en forma de. $\tilde{\mathbf{E}}_k = \mathbf{A}_n^{-1}(\mathbf{N}_k - \mathbf{V}_k)$. Esto significa que se puede especificar directamente

$$J_k = \left\| \begin{bmatrix} \mathbf{E}_k \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{E}}_k \\ 1 \end{bmatrix} \right\|_2^2$$

otra función de coste en forma de

J_k , que compara valores estimados de las magnitudes de alimentación $\tilde{\mathbf{E}}_k$ determinados mediante el modelo con valores de medición reales de las magnitudes de alimentación $\mathbf{E}_k$. Si, como antes, la desviación resultante entre los valores estimados y los valores de medición y, por tanto, el valor de la función de coste J_k es mayor que un umbral J^* predeterminable, se puede realizar una adaptación del modelo. Por consiguiente, una descripción incorrecta de la correlación entre las magnitudes de alimentación $\mathbf{E}_k$ y magnitudes de red $\mathbf{N}_k$ se puede reconocer, por ejemplo, considerándose la desviación de magnitudes de red $\mathbf{N}_k$ o magnitudes de alimentación $\mathbf{E}_k$ medidas con magnitudes de red $\tilde{\mathbf{N}}_k$ o magnitudes de alimentación $\tilde{\mathbf{E}}_k$ estimadas.

Además de un mapeo puramente algebraico, el modelo de la red de alimentación 4 también puede incluir elementos dinámicos, que pueden describirse, por ejemplo, mediante un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias y pueden permitir tener en cuenta cualquier dispositivo de almacenamiento de energía, como bobinas o condensadores. En tales casos, la parte dinámica de un modelo también puede tenerse en cuenta en una nueva identificación de acuerdo con la invención. En estos casos, la implementación concreta del proceso de identificación depende de la realización concreta del modelo.

Para una pluralidad de procedimientos de identificación, se sabe que se requiere una cantidad o un número suficiente de valores de medición ("persistence of excitation") de entradas y salidas conocidas del sistema que se desea identificar o, en el caso de entradas y salidas desconocidas, información estadística suficiente de estos sistemas.

Al igual que los demás componentes de red mostrados en la figura 1, el equipo de medición 3, que para su implementación son concebibles varias formas de realización, sirve a modo de ejemplo un denominado como contador inteligente ("smart meter"). Independientemente de la realización concreta del equipo de medición 3, es esencial para el procedimiento de acuerdo con la invención que los valores de medición de las magnitudes de red $N_{x,k}$ registrados por el equipo de medición 3 sean accesibles a una unidad de control 7 en la que se llevan a cabo las etapas de procedimiento de acuerdo con la invención. Lo mismo se cumple para las mediciones de las magnitudes de alimentación $E_{x,k}$ que prevalecen en el punto de conexión al convertidor de corriente 8, que en una forma de realización preferida son medidas directamente por el propio convertidor de corriente 1. Si el convertidor de corriente 1 no permite una medición directa de las magnitudes de alimentación $E_{x,k}$, también se puede prever un equipo de medición adicional adecuado en el punto de conexión al convertidor de corriente 8. También es concebible una derivación matemática de las magnitudes de alimentación $E_{x,k}$ a partir de otras magnitudes de medición conocidas.

Los valores de medición registrados se facilitan preferentemente a la unidad de control 7 mediante una conexión de comunicación de datos adecuada, por ejemplo mediante la transmisión de datos a través de un sistema de bus 9, que conecta al menos el convertidor de corriente 1, el sistema de medición 3 y la unidad de control 7. Por sistema de bus 9 se entiende un sistema de transmisión de datos entre varios abonados a través de una vía de transmisión común, pudiendo utilizarse para la implementación específica muchos estándares conocidos en el estado de la técnica. Existen varias versiones posibles, como Profibus, Profinet o EtherCAT, en particular para sistemas de bus de campo especialmente adecuados para el fin en cuestión. También es concebible una conexión de comunicación de datos inalámbrica para la transmisión de datos, por ejemplo a través de un teléfono móvil estándar.

Correspondientemente a la realización mostrada en la figura 1, la unidad de control 7 es un componente esencial en la aplicación del procedimiento de acuerdo con la invención. La unidad de control 7 representa un hardware o puede integrarse en un hardware existente que permite la ejecución de programas para un fin resultante del procedimiento de acuerdo con la invención. Las posibles realizaciones de estas unidades incluyen hardware basado en microprocesadores, microcontroladores y circuitos integrados (ASIC, FPGA).

Sin embargo, una realización práctica del procedimiento de acuerdo con la invención también puede ser distribuida, por lo que varias unidades de control 7 están conectadas entre sí. En el ejemplo concreto de la red de alimentación 4 mostrada en la figura 1, también es concebible dividir las etapas de procedimiento de acuerdo con la invención entre un convertidor de corriente 1, una unidad de medición 3 y la unidad de control 7. En otra forma de realización posible, la unidad de control 7 también puede formar parte del convertidor de corriente 1 o del equipo de medición 3. Si, por ejemplo, las etapas de procedimiento de acuerdo con la invención se dividen entre un convertidor de

corriente 1 y una unidad de control 7 externa al convertidor de corriente 1, el vector de valores teóricos de magnitud de alimentación E_k^* que debe ajustar el convertidor de corriente 1 puede ser determinado por la unidad de control 7 y transmitido al convertidor de corriente. En una forma de realización ventajosa, sin embargo, mediante la unidad de control 7 también puede se puede transmitir un modelo adaptado dado el caso de la red de alimentación y un vector de valores teóricos de magnitud de red N_k^* al convertidor de corriente 1 y llevarse a cabo el cálculo del vector de valores teóricos magnitud de red E_k^* sólo en el convertidor de corriente 1.

En la figura 2 se muestra una posible implementación de las etapas de procedimiento de acuerdo con la invención en la unidad de control 7 en forma de diagrama de flujo. El modelo de la red de alimentación 4 se designa a este respecto con 5 y, como ya se ha explicado, puede incluir una matriz de transformación A o un modelo dinámico en forma de sistema de ecuaciones diferenciales.

En la etapa I del diagrama de flujo, el modelo de la red de alimentación 4 se inicializa con un modelo de inicialización S_0 al inicio del procedimiento, es decir, para el índice de tiempo $k = 0$. Para ello pueden utilizarse, por ejemplo, los conocimientos previos existentes sobre la red de alimentación 4, aunque esto no es necesario para aplicar con éxito el procedimiento de acuerdo con la invención. En el caso de una descripción de modelo mediante una matriz de transformación, esta puede seleccionarse al inicio del procedimiento, por ejemplo, como

$$A_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

es decir, igual a una matriz unitaria convenientemente dimensionada. En el presente contexto, "convenientemente dimensionado" debe entenderse como un dimensionamiento de la matriz A_0 , en la que el número de filas y de columnas se corresponde con el número de fases de la red de alimentación 4. En particular, de este modo es posible una multiplicación de matriz-vector de la matriz A_0 por el vector de magnitud de alimentación E_k . Una inicialización de este tipo también se denomina a continuación "inicialización con un elemento neutro". Además de un elemento neutro, el modelo de la red de alimentación 4 también puede inicializarse con un modelo ya conocido previamente, es decir, antes del inicio del procedimiento. A este respecto, cabe mencionar en particular las posibilidades de especificar una asignación de fases ya conocida mediante una matriz A_0 o una relación de transformación de transformador conocida mediante una matriz A_0 . Si se dispone de consumidores, también se puede utilizar el conocimiento previo del consumo aproximado para la inicialización. Por ejemplo, al inicio del procedimiento, cuando normalmente no hay alimentación y por tanto se cumple $E_0 = 0$, los valores de medición de las magnitudes de red N_0 se utilizan para inferir los consumidores iniciales V_0 , que en estos casos suelen corresponder a las magnitudes de consumo V_0 .

En la etapa II del diagrama de flujo se leen los valores de medición actuales en el instante t_k dado de las magnitudes de alimentación E_k y magnitudes de red N_k anotadas en forma vectorial y los valores teóricos de magnitud de red N_k^* . Los valores teóricos de magnitud de red N_k^* se leen a este respecto, por ejemplo, desde una interfaz de datos, una línea de control, una unidad de cálculo, una memoria de datos con un valor fijo almacenado, etc. Cabe señalar en este punto que los instantes específicos, en los que los valores de medición de las magnitudes de alimentación E_k en el convertidor de corriente 1 y los valores de medición de las magnitudes de red N_k se registran realmente en el equipo de medición 3, pueden diferir. Los posibles motivos de ello son las diferentes frecuencias de muestreo del convertidor de corriente 1 y el equipo de medición 3 o un funcionamiento asíncrono del convertidor de corriente 1 y el equipo de medición 3. Esto no es una limitación para la implementación del procedimiento de acuerdo con la invención.

En la etapa III del diagrama de flujo se determina el valor válido en el instante t_k de la función de coste J_k . Para ello, puede recurrirse al modo de proceder presentado anteriormente o a otros enfoques.

Si la determinación de J_k da como resultado un valor por debajo del umbral J^* especificado, en la etapa V se procede con el cálculo de acuerdo con la invención de valores teóricos de magnitud de alimentación E_k^* como una función del modelo S_n a partir de los valores teóricos de magnitud de red N_k^* leídos en la etapa II.

Sin embargo, si el valor determinado de J_k está por encima del umbral J^* , se lleva a cabo una adaptación o nueva identificación del modelo S_n en la etapa IV aún antes de la etapa V del diagrama de flujo. Esta adaptación del modelo se representa mediante la variación del índice S_n a S_{n+1} . El índice de modelo n debe diferenciarse en este punto claramente del índice de tiempo k , ya que habitualmente no se lleva a cabo una adaptación de modelo en cada instante k .

Dado que la determinación descrita de los valores teóricos de magnitud de alimentación E_k^* en la etapa V depende de la forma concreta del modelo S_n , y esta puede haber variado dado el caso en la etapa IV, la posibilidad de una variación en el modelo S_n se indica mediante la representación de los dos índices n y $n + 1$ posibles.

La etapa VI del diagrama de flujo prevé la implementación de los valores teóricos de magnitud de alimentación E_k^* previamente determinados, es decir, el ajuste o regulación de magnitudes de alimentación físicas E_k a los valores

teóricos de magnitud de alimentación E_k^* , determinados. Si esta etapa tiene lugar en un convertidor de corriente 1, como se ha explicado anteriormente mediante la figura 1, puede ser necesario transmitir los valores teóricos de magnitud de alimentación E_k^* determinados desde la unidad de control 7 al convertidor de corriente 1, lo que se indica en la figura 2 mediante la flecha de señal que sale de la unidad de control bajo el bloque VI.

A continuación, es decir, en el siguiente instante t_{k+1} , se inicia la siguiente iteración con la etapa II del diagrama de flujo.

Como se desprende de las realizaciones anteriores, un papel decisivo en la puesta en práctica del procedimiento de acuerdo con la invención lo desempeña el establecimiento de cuándo y si una descripción incorrecta de la correlación entre la al menos una magnitud de alimentación $E_{x,k}$ y la al menos una magnitud de red $N_{x,k}$ viene dada por el modelo de la red de alimentación 4 y si, por consiguiente, se llevará a cabo una adaptación del modelo de la red de alimentación 4. Además de la supervisión de la función de coste J_k presentada anteriormente, basada en la norma 2, a continuación se representa una posibilidad adicional a este respecto.

En concreto, para ello se recurre a una comparación de valores de medición de las magnitudes de red N_k y las magnitudes de alimentación E_k con valores de medición de las magnitudes de red N_{k-d} y las magnitudes de alimentación E_{k-d} desde un instante anterior t_{k-d} . Para trasladar esta consideración a una función de coste numéricamente tangible, por ejemplo, puede efectuarse el enfoque $J_k = |E_k - E_{k-d}|^2 + |N_k - N_{k-d}|^2$, con el que se puede llevar a cabo como anteriormente una comparación con un umbral J^* predeterminado. Preferentemente, en este caso se recurre a los valores de medición disponibles en el momento inmediatamente anterior $k - 1$, es decir, se selecciona $d = 1$. La idea básica detrás de este enfoque es que las variaciones bruscas / repentinas / significativas en las magnitudes de red N_k y/o las magnitudes de alimentación E_k pueden interpretarse como un índice de una variación en la red de alimentación 4. Si la red de alimentación 4 que se va a modelar ha cambiado, puede ser necesario adaptar el modelo de la red de alimentación 4 en consecuencia.

En muchos casos, resulta ventajoso en este contexto promediar los valores de una función de coste J_k antes de la comparación con un umbral J^* o someterlos a un filtrado de paso bajo, por ejemplo para reducir la influencia del ruido de medición que siempre está presente en la práctica.

Las ideas que subyacen a la consideración de variaciones bruscas / repentinas / significativas en las magnitudes de red N_k y/o las magnitudes de alimentación E_k entre dos pasos temporales se representan con más detalle en la figura 3 mediante un posible curso de tres corrientes de fase. Las corrientes $i_{1,k}$, $i_{2,k}$ y $i_{3,k}$ son a este respecto a modo de ejemplo para 4 magnitudes de red $N_{1,k}$, $N_{2,k}$ y $N_{3,k}$ posibles en las fases de una red de alimentación trifásica. El efecto de un cambio de fase PU que tiene lugar entre el índice de tiempo $k = 0$ y $k = 1$ por ejemplo sobre la función de coste $J_k = |N_k - N_{k-1}|^2$ puede leerse a este respecto directamente. Para el índice de tiempo $k = 0$, con los valores a , b y c para las magnitudes de red $N_{1,k}$, $N_{2,k}$ y $N_{3,k}$ resulta la función de coste

$$J_0 = (i_{1,0} - i_{1,-1})^2 + (i_{2,0} - i_{2,-1})^2 + (i_{3,0} - i_{3,-1})^2 \\ = (c - c)^2 + (b - b)^2 + (a - a)^2 = 0$$

En el índice de tiempo $k = 1$, sin embargo, las relaciones cambian fundamentalmente debido al cambio de fase PU, lo que da lugar a lo siguiente con respecto a la función de coste

$$J_1 = (i_{1,1} - i_{1,0})^2 + (i_{2,1} - i_{2,0})^2 + (i_{3,1} - i_{3,0})^2 \\ = (a - c)^2 + (b - b)^2 + (c - a)^2 = 2(a - c)^2$$

En una forma de realización ventajosa del procedimiento de acuerdo con la invención, el valor umbral J^* también puede adaptarse durante el funcionamiento. Por ejemplo, el valor umbral especificado puede ser el 10 %, el 50 % o incluso el 100 % de al menos un valor de medición de una magnitud de alimentación $E_{x,k}$ o el de una magnitud de red $N_{x,k}$ tenido en cuenta para determinar la función de coste. En este caso, el valor umbral es, por tanto, un valor relativo. Sin embargo, si, por ejemplo, el tamaño de la red requiere una alimentación nula, se puede usar un valor absoluto como valor umbral, por ejemplo 100 W o 0,5 A.

En otra forma de realización preferida del procedimiento de acuerdo con la invención, la función de coste J_k no puede compararse con un valor umbral J^* fijo, sino que puede considerarse su variación porcentual. Así, en una forma de realización preferida, el modelo de la red de alimentación 4 siempre puede volver a identificarse si el valor de la función de coste J_k cambia al menos un 10 %, preferentemente un 50 % y más preferentemente un 100 % en comparación con el paso de tiempo anterior.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la regulación de magnitudes de red eléctrica ($N_{x,k}$) en un punto de conexión a la red (2) en una salida de una red de alimentación (4) que está conectada con al menos un convertidor de corriente (1) en una
5 entrada de la red de alimentación (4) en un punto de conexión al convertidor de corriente (8), en donde en el punto de conexión al convertidor de corriente (8) se mide al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) y en el punto de conexión a la red (2) se mide al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$), **caracterizado por que** la correlación entre la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) y la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) se describe a modo de modelo por medio de modelo de la red de alimentación (4), en donde el modelo de la red de alimentación (4) se
10 implementa en una unidad de control (7) de la red de alimentación (4), **por que**
 - en el caso de una desviación de la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) medida con respecto a una magnitud de red ($\tilde{N}_{x,k}$) que cabe esperar debido al modelo de la red de alimentación (4) y/o una desviación de la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) medida con respecto a una magnitud de alimentación ($\tilde{E}_{x,k}$) que
15 cabe esperar debido al modelo de la red de alimentación (4) es reconocida por la unidad de control (7) una descripción incorrecta de la correlación y se lleva a cabo por la unidad de control (7) una adaptación del modelo de la red de alimentación (4) para corregir la descripción incorrecta de la correlación por el modelo de la red de alimentación (4), en donde para la adaptación del modelo de la red de alimentación (4) se recurre al menos a una parte de los datos de medición registrados de la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) y al menos a una parte de los datos de medición registrados de la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$),
 - **por que** por la unidad de control (7), por medio del modelo de la red de alimentación (4), a partir de un valor teórico de magnitud de red ($N_{x,k}^*$) predeterminado para la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$), se determina un valor teórico de magnitud de alimentación ($E_{x,k}^*$) para la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$),
20
25 - **y por que** la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) se ajusta al valor teórico de magnitud de alimentación ($E_{x,k}^*$) determinado con ayuda del al menos un convertidor de corriente (1).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** se reconoce una desviación de la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) medida con respecto a una magnitud de red ($\tilde{N}_{x,k}$) que cabe esperar debido al modelo
30 de la red de alimentación (4) y, con ello, una descripción incorrecta de la correlación y se lleva a cabo una adaptación del modelo de la red de alimentación (4) cuando la desviación entre un valor de medición de la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) y un valor estimado de la al menos una magnitud de red ($\tilde{N}_{x,k}$) calculado por medio del modelo de la red de alimentación (4) supera un valor umbral predeterminado.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** se reconoce una desviación de la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) medida con respecto a una magnitud de alimentación ($\tilde{E}_{x,k}$) que cabe esperar debido al modelo de la red de alimentación (4) y, con ello, una descripción incorrecta de la correlación y se lleva a cabo una adaptación del modelo de la red de alimentación (4) cuando la desviación entre un valor de medición de la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) y un valor estimado de la al menos una magnitud de alimentación ($\tilde{E}_{x,k}$) calculado por medio del modelo de la red de alimentación (4) supera un valor umbral predeterminado.
40
4. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** se reconoce una desviación de la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) con respecto a una magnitud de red ($\tilde{N}_{x,k}$) que cabe esperara debido al modelo de la red de alimentación (4) y/o una desviación de la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) medida con respecto
45 a una magnitud de alimentación ($\tilde{E}_{x,k}$) que cabe esperar debido al modelo de la red de alimentación (4) y, con ello, una descripción incorrecta de la correlación y se lleva a cabo una adaptación del modelo de la red de alimentación (4) cuando la desviación entre dos valores de medición de la al menos una magnitud de red (N_{x,k_1} , $N_{x,k-d}$) o la desviación entre dos valores de medición de la al menos una magnitud de alimentación (E_{x,k_1} , $E_{x,k-d}$) de dos instantes diferentes supera un valor umbral predeterminado.
50
5. Procedimiento según la reivindicación 2, 3 o 4, **caracterizado por que** como valor umbral predeterminado se usa un valor relativo de un valor de medición de la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) o de la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) al que se recurre para determinar la desviación.
6. Procedimiento según la reivindicación 2, 3 o 4, **caracterizado por que** como valor umbral predeterminado se usa un valor absoluto de un valor de medición de la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) o de la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) al que se recurre para determinar la desviación.
55
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la red de alimentación eléctrica (4) comprende al menos un consumidor eléctrico desconocido (5, 6), que causa al menos una magnitud de consumo eléctrico ($V_{x,k}$) en la red de alimentación eléctrica (4) **y por que** el al menos un consumidor eléctrico (5, 6) así como la magnitud de consumo ($V_{x,k}$) provocada por el mismo se mapean en el modelo de la red de alimentación (4) y se tienen así en cuenta en la determinación del al menos un valor teórico ($E_{x,k}^*$) para la al menos una magnitud de alimentación eléctrica ($E_{x,k}$) y en la adaptación del modelo de la red de alimentación (4).
60
65
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** tanto la determinación del

valor teórico de magnitud de alimentación ($E_{x,k}^*$) para la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) como la adaptación del modelo de la red de alimentación (4) se llevan a cabo durante el funcionamiento de la red de alimentación (4).

- 5 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) y/o la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) vienen dadas por magnitudes de potencia eléctrica, tal como corriente eléctrica, tensión eléctrica o potencia eléctrica.
- 10 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** mediante la regulación del valor teórico ($E_{x,k}^*$) para la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) determinado durante el funcionamiento, se ajusta también la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) al valor teórico ($N_{x,k}^*$) predeterminado para la misma.
- 15 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el modelo de la red de alimentación (4) se inicializa al comienzo del procedimiento con un modelo conocido previamente o con un elemento neutro.
- 20 12. Disposición para regular magnitudes de red eléctrica en un punto de conexión a la red (2) en una salida de una red de alimentación (4) que está conectada con un convertidor de corriente (1) en una entrada de la red de alimentación (4) en un punto de conexión al convertidor de corriente (8), en donde está previsto un primer equipo de medición (3) que mide al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) en el punto de conexión a la red (2), y en donde está prevista una segunda unidad de medición (3) que mide al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) en el punto de conexión al convertidor de corriente (8), **caracterizada por que** la disposición comprende una unidad de control (7) en la que está implementado un modelo de la red de alimentación (4), que describe a modo de modelo
25 la correlación entre la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) y la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) por medio de un modelo de la red de alimentación (4), **por que**
 - la unidad de control (7) está configurada para, en el caso de una desviación de la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$) medida con respecto a una magnitud de red ($\tilde{N}_{x,k}$) que cabe esperar debido al modelo de la
30 red de alimentación (4) y/o una desviación de la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) medida con respecto a una magnitud de alimentación ($\tilde{E}_{x,k}$) que cabe esperar debido al modelo de la red de alimentación (4), reconocer una descripción incorrecta de la correlación y llevar a cabo una adaptación del modelo de la red de alimentación (4) para corregir la descripción incorrecta de la correlación por el modelo de la red de alimentación (4), en donde para la adaptación del modelo de la red de alimentación (4) se recurre al menos a una parte de los datos de medición registrados de la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) y al menos a una parte de los datos de medición registrados de la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$),
35 - **por que** la unidad de control (7) está configurada para, por medio del modelo de la red de alimentación (4), a partir de un valor teórico de magnitud de red ($N_{x,k}^*$) predeterminado para la al menos una magnitud de red ($N_{x,k}$), determinar un valor teórico de magnitud de alimentación ($E_{x,k}^*$) para la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$),
40 - **y por que** el convertidor de corriente (1) está configurado para ajustar la al menos una magnitud de alimentación ($E_{x,k}$) al valor teórico de magnitud de alimentación ($E_{x,k}^*$) determinado.

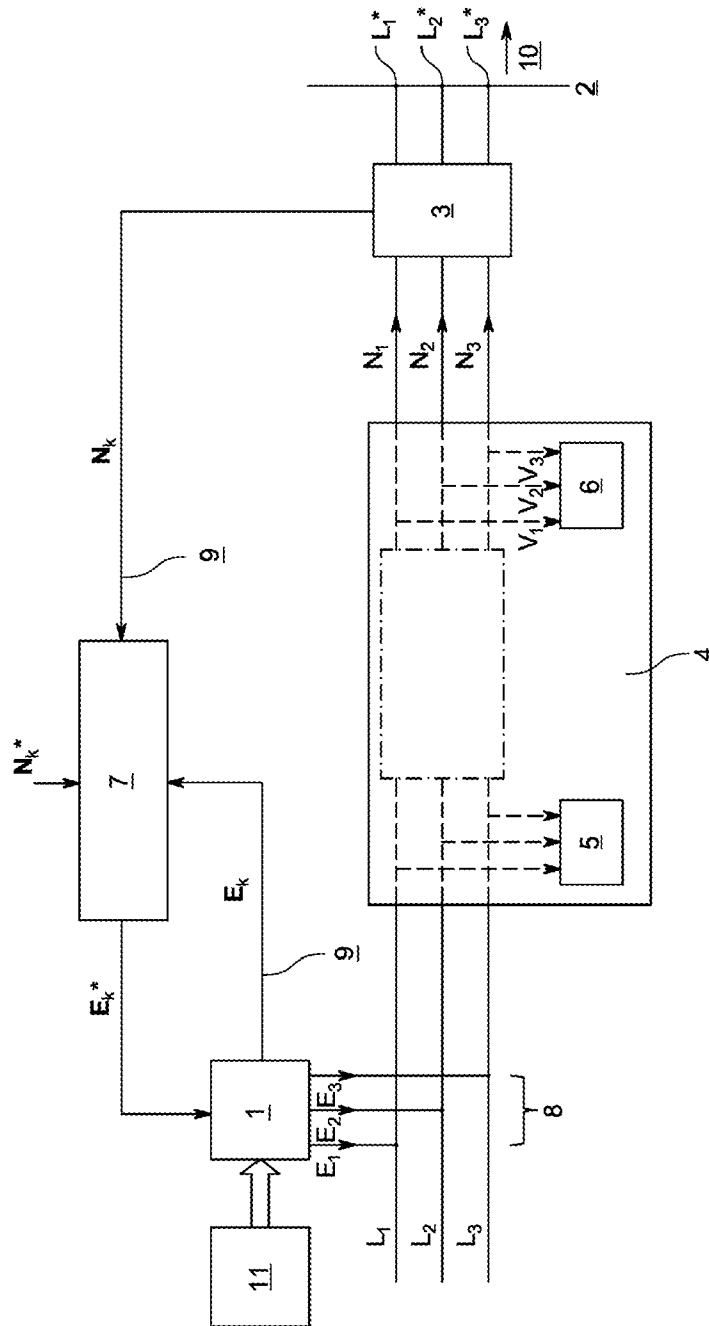


FIG. 1

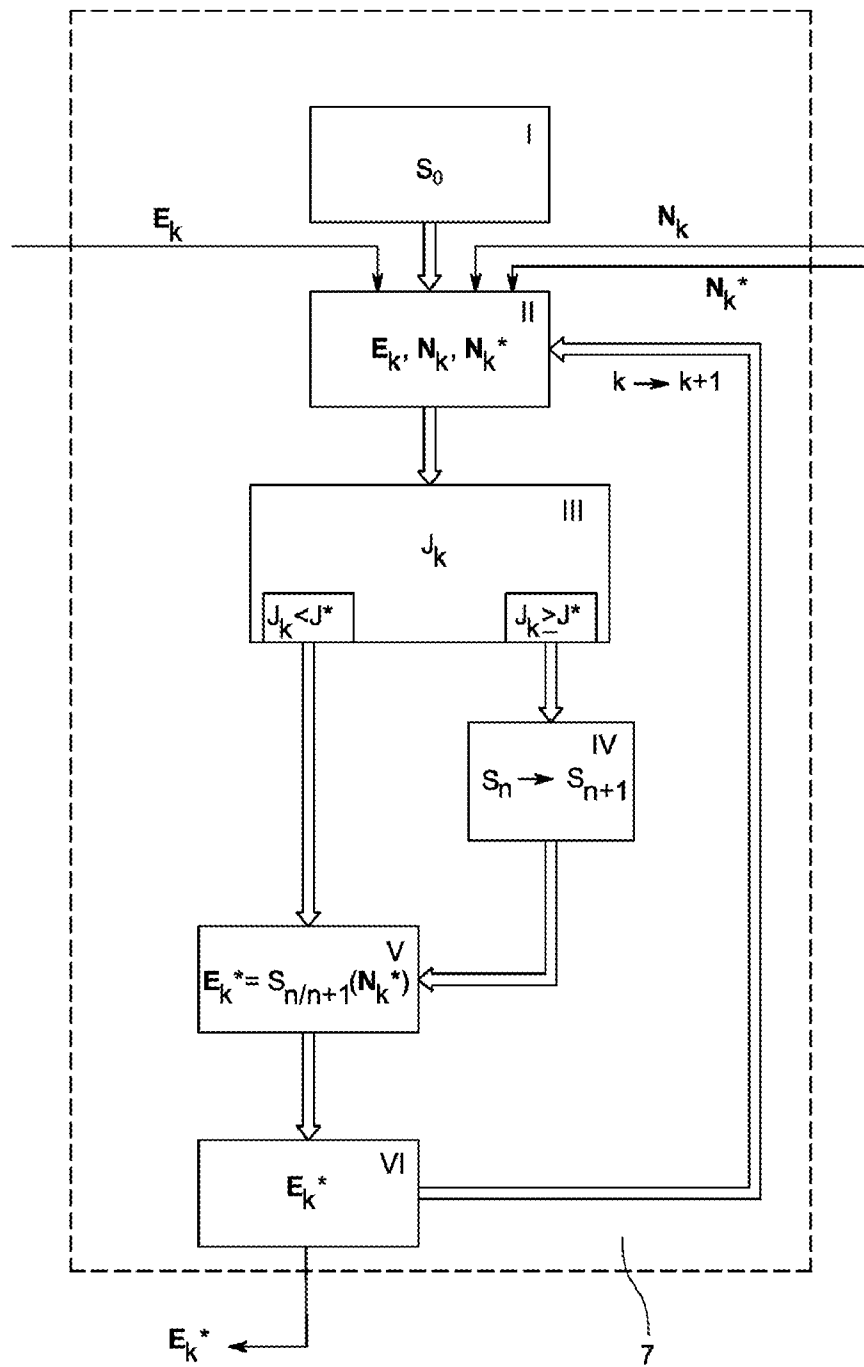


FIG. 2

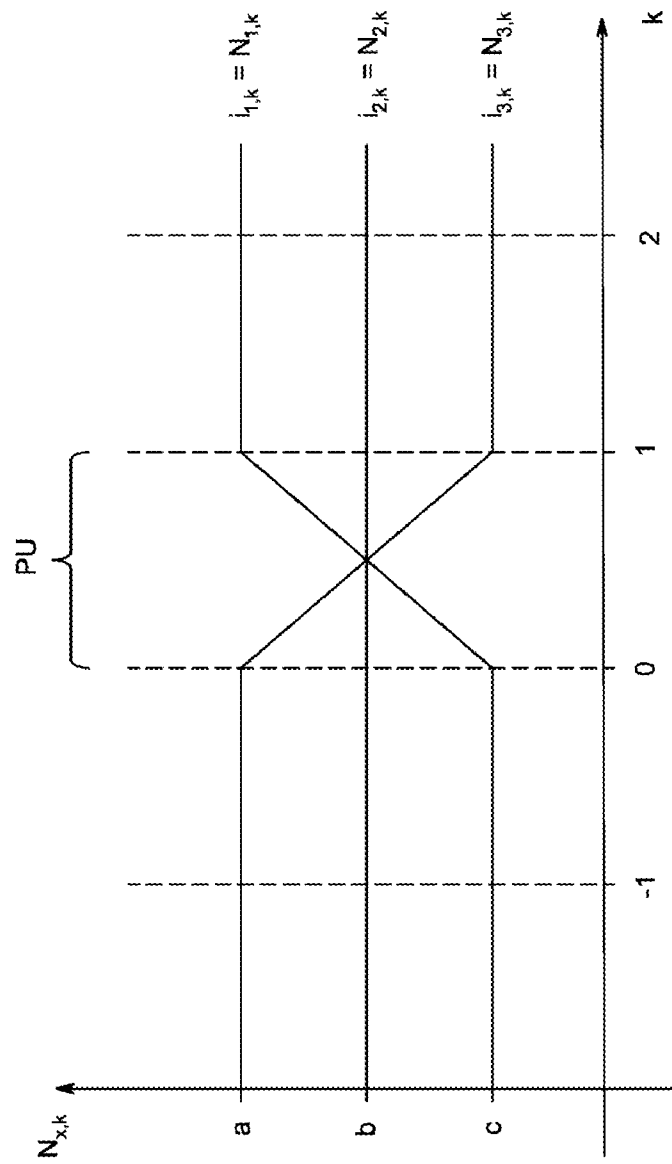


FIG. 3