

MÉTODO Y DISPOSITIVO DE CONTROL PARA REGULAR UNA FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA FUENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA RED DE TENSIÓN ALTERNA

5 Descripción

Debido a que cada vez son más escasos los recursos energéticos, actualmente se intenta en gran medida incrementar la proporción de fuentes de energía eléctrica renovables en el suministro de energía total, con respecto a la proporción de fuentes de energía eléctrica convencionales. Las fuentes de energía eléctrica convencionales, como las centrales de gas, de carbón o nucleares, se caracterizan por un consumo de materiales que no se regeneran, mientras que las fuentes de energía eléctrica renovables se basan en vectores energéticos que se regeneran.

En comparación con las fuentes de energía eléctrica convencionales, las fuentes de energía eléctrica renovables, sin embargo, están sujetas con frecuencia a fluctuaciones de los vectores energéticos realmente disponibles, por ejemplo a la radiación solar real en el caso de las instalaciones fotovoltaicas o a la intensidad real del viento en el caso de las centrales eólicas, debido a lo cual la potencia con la cual puede alimentarse una red de suministro eléctrico habitual igualmente puede variar en gran medida. Puesto que habitualmente a una red de suministro eléctrico típica está conectada una pluralidad de fuentes de energía eléctrica y de consumidores, se requiere una cierta coordinación de los distintos alimentadores. En el caso de una red de tensión alterna, en particular la tensión de la red y la frecuencia de la red, sólo deben presentar rangos de variación reducidos. Generalmente, esos parámetros de alimentación se regulan de manera que las fluctuaciones individuales de las diferentes fuentes de energía eléctrica se compensen al menos parcialmente a través de efectos de retroalimentación. Por ejemplo, un suministro excesivo de potencia eléctrica, en el caso de una fuente de energía eléctrica convencional, genera un aumento en su frecuencia operativa, es decir supone un incremento de la frecuencia de la tensión alterna suministrada por esa fuente de energía eléctrica a la red de tensión alterna. Lo mencionado implica que, debido al desplazamiento positivo de fases de la tensión alterna suministrada, circule más potencia hacia la red de tensión alterna, por lo cual aumenta la carga individual de esa fuente de energía eléctrica, dejándose de regular el incremento de la frecuencia de funcionamiento.

Actualmente, en la mayoría de los casos, las fuentes de energía eléctrica renovables y convencionales se coordinan gracias a que las fuentes de energía eléctrica renovables son conectadas a la red de tensión alterna como fuentes de corriente y las fuentes de energía eléctrica convencionales son conectadas a dicha red como fuentes de tensión. De este modo, una fuente de energía eléctrica renovable puede variar su corriente suministrada en correspondencia con la potencia realmente disponible, adecuándose automáticamente a la tensión realmente presente en la red de tensión alterna. A diferencia de ello, las fuentes de energía eléctrica convencionales operadas como fuentes de tensión se encargan de la conformación principal de la red, es decir, de predeterminedar parámetros de funcionamiento de la red de tensión alterna, como por ejemplo de la tensión de la red y del suministro de potencia requerido para ello.

En el caso de la forma de coordinación antes descrita, las fuentes de energía eléctrica renovables, sin embargo, sólo son operadas en el punto de trabajo de potencia máxima (del inglés "Maximum Power Point" o MPP) en tanto la frecuencia de su red permanezca por debajo de un valor umbral predeterminedo. Por encima de dicho valor, generalmente la potencia disponible de las fuentes de energía eléctrica renovables no se utiliza completamente, con el perjuicio que supone el consiguiente incremento de consumo de recursos de las otras fuentes de energía eléctrica convencionales.

El objeto de la presente invención consiste en proporcionar un método, un dispositivo de control, así como un producto de programa informático para regular la frecuencia de funcionamiento de una fuente de energía eléctrica en una red de tensión alterna, los cuales permitan una mejor coordinación de diferentes fuentes de energía eléctrica.

Dicho objeto se alcanzará a través de un método con las características de la reivindicación 1, a través de un dispositivo de control con las características de la reivindicación 11, así como a través de un producto de programa informático con las características de la reivindicación 12.

De acuerdo con la invención, para regular una frecuencia de funcionamiento de una primera fuente de energía eléctrica en una red de tensión alterna, se detecta un parámetro de funcionamiento en función del balance de potencia, así como un parámetro de entorno de la primera fuente de energía eléctrica. De manera preferente, la primera fuente de energía eléctrica puede ser una fuente de energía eléctrica renovable, como por ejemplo una instalación fotovoltaica o también una instalación de energía eólica, aunque sin embargo

también puede ser una central eléctrica convencional. El parámetro de funcionamiento en función de la potencia puede indicar en este caso un estado de la primera fuente de energía eléctrica, cuya modificación ofrezca un balance de potencia en un acumulador intermedio de energía de la primera fuente de energía eléctrica. En el caso de una instalación fotovoltaica, un parámetro de funcionamiento en función del balance de potencia puede relacionarse por ejemplo con la tensión en el condensador intermedio de la instalación fotovoltaica, y en el caso de una instalación de energía eólica, por ejemplo con la velocidad del rotor. El parámetro de entorno puede indicar una o varias influencias externas, por ejemplo la intensidad de radiación solar real y/o la intensidad del viento a las que se encuentra expuesta la primera fuente de energía eléctrica, las cuales influyen sobre la potencia que puede ser generada realmente a través de la primera fuente de energía eléctrica. De acuerdo con la invención, en función del parámetro de entorno detectado se determina como variable un parámetro de funcionamiento objetivo para la primera fuente de energía eléctrica. El parámetro de funcionamiento objetivo mencionado, de manera preferente, puede indicar un estado de la primera fuente de energía eléctrica, en donde se hubiera generado una potencia máxima posible bajo unas condiciones de entorno que realmente se presenten. En base al parámetro de funcionamiento en función del balance de potencia detectado y al parámetro de funcionamiento objetivo determinado, la frecuencia de funcionamiento se regula de manera tal que una desviación de la frecuencia de funcionamiento de una frecuencia predeterminada, se solape con una desviación del parámetro de funcionamiento, en función del balance de potencia detectado, con el parámetro de funcionamiento objetivo determinado.

De acuerdo con la invención se proporcionan también un dispositivo de control, así como un producto de programa informático para regular la frecuencia de funcionamiento de una fuente de energía eléctrica en la red de tensión alterna, los cuales están diseñados para ejecutar el método antes indicado.

La presente invención permite reconocer con facilidad desviaciones de un balance de potencia, determinado con una medición real, de una primera fuente de energía eléctrica, de un balance de potencia objetivo, a través de la frecuencia de funcionamiento distribuida mediante una red de tensión alterna regulada de forma correspondiente, para otras fuentes de energía eléctrica en la red de tensión alterna. Con ello, una primera fuente de energía eléctrica, en particular una fuente de energía eléctrica renovable, puede ser coordinada con fuentes de energía eléctrica convencionales en la red de tensión alterna, de manera que la fuente de energía eléctrica renovable puede ser operada, dentro de lo posible, durante un

largo tiempo en un punto de trabajo de potencia máxima. Una coordinación de esa clase permite una relación óptima en cuanto al consumo de potencia activa generada entre las fuentes de energía eléctrica renovables y convencionales en la red de tensión alterna común.

- 5 Otra ventaja de la invención puede observarse en el hecho de que para la coordinación no se requiere una comunicación adicional entre las fuentes de energía eléctrica de la red de tensión alterna común. Una adición de otras primeras fuentes de energía eléctrica para la red de tensión alterna tampoco requiere una comunicación adicional.
- 10 En las reivindicaciones dependientes se indican formas de ejecución y perfeccionamientos ventajosos de la presente invención.

De acuerdo con una forma de ejecución ventajosa de la invención, la primera fuente de energía eléctrica y, con ello, en particular una fuente de energía eléctrica renovable, puede ser operada como fuente de tensión en la red de tensión alterna.

15

Como fuente de tensión, la primera fuente de energía eléctrica puede contribuir de forma estabilizante a la conformación de la red, y puede aumentar la redundancia de la estabilización de tensión en la red de tensión alterna. Además, al ser operadas las fuentes de energía eléctrica renovables de forma paralela con respecto a fuentes de energía eléctrica convencionales, como fuentes de tensión para la conformación de la red, puede de este modo reducirse considerablemente la probabilidad de un colapso de la red. Además, las variaciones de carga en la red de tensión alterna pueden compensarse mejor, ya que las variaciones de carga generalmente sólo son interceptadas por fuentes de tensión y no por fuentes de corriente.

20

25

De acuerdo con una forma de ejecución preferente de la invención, la frecuencia de funcionamiento distribuida a través de la red de tensión alterna puede ser detectada para regular una segunda fuente de energía eléctrica que alimenta la red de tensión alterna. En particular, la segunda fuente de energía eléctrica puede ser una fuente de energía eléctrica convencional, como por ejemplo una central de gas, de carbón o nuclear, pero también puede ser una fuente de energía eléctrica renovable. En función de la frecuencia de funcionamiento detectada, la potencia de la segunda fuente de energía eléctrica puede ser modificada, en el caso de que la frecuencia de funcionamiento detectada difiera de la frecuencia predeterminada. La potencia que debe modificarse puede ser por ejemplo la potencia

30

35

mecánica que debe suministrarse a un generador de la segunda fuente de energía eléctrica o una potencia que debe alimentar a una segunda fuente de energía eléctrica en la red de tensión alterna.

- 5 La regulación de la potencia de la segunda fuente de energía eléctrica en función de la frecuencia de funcionamiento detectada permite una relación optimizada según criterios predeterminables de la potencia activa generada entre la primera y la segunda fuente de energía eléctrica.
- 10 De acuerdo con una forma de ejecución preferente de la invención, en el caso de una desviación de la frecuencia de funcionamiento detectada respecto a una frecuencia predeterminada, la potencia puede regularse mediante el acoplamiento de la frecuencia de funcionamiento, distribuida a través de la red de tensión alterna, con un balance de potencia de la segunda fuente de energía eléctrica, de esta manera la frecuencia de funcionamiento
- 15 distribuida a través de la red de tensión alterna se aproxima a la frecuencia predeterminada.

- Habitualmente, en particular las fuentes de energía eléctrica convencionales, están conectadas a una red de tensión alterna común, de manera que las diferencias de fases de la tensión alterna suministrada se realimentan de la propia potencia suministrada y, con ello, se
- 20 realimentan de la carga individual de la respectiva fuente de energía eléctrica. En función de la carga individual, se modifica entonces la frecuencia de funcionamiento de esa fuente de energía eléctrica, de manera que el desplazamiento de fases se deja de regular y, con ello, la mencionada fuente de energía eléctrica se regula mediante otra modificación de la frecuencia de funcionamiento. De este modo, a través de la regulación de la potencia antes descrita
- 25 puede estabilizarse la frecuencia de funcionamiento distribuida a través de la red de tensión alterna en una aproximación hacia una frecuencia predeterminada.

- De acuerdo con una forma de ejecución ventajosa, para la segunda fuente de energía eléctrica puede determinarse una frecuencia objetivo variable y la potencia puede ser regulada
- 30 mediante un controlador proporcional en función de la frecuencia de funcionamiento detectada y de la frecuencia objetivo determinada. Un controlador proporcional de esa clase permite una regulación, que reaccione de forma rápida, de la potencia de la segunda fuente de energía eléctrica.

Preferentemente, la frecuencia objetivo puede ser regulada mediante un controlador integrado en función de una desviación de la frecuencia de funcionamiento detectada respecto a una frecuencia predeterminada.

- 5 A través de esa relación entre la regulación de la potencia con un controlador proporcional de potencia mediante una frecuencia objetivo y una regulación integrada de la frecuencia objetivo puede lograrse, en un caso estacionario, que se regule la frecuencia predeterminada en la red de tensión alterna.
- 10 En el caso de diferentes segundas fuentes de energía eléctrica que alimenten la red de tensión alterna, la regulación de la potencia puede tener lugar de forma individual para cada una de las segundas fuentes de energía eléctrica, mientras que la regulación de la frecuencia objetivo puede tener lugar en común para todas las diferentes segundas fuentes de energía eléctrica. La frecuencia objetivo regulada en común puede transmitirse al controlador
- 15 proporcional para las diferentes segundas fuentes de energía eléctrica.

El controlador integrado puede tener previsto un valor umbral para la frecuencia objetivo, cuyo alcance afecta a una integración de la frecuencia objetivo, donde preferentemente termina la integración. De este modo pueden evitarse los así llamados efectos windup (de reinicio) del

20 controlador integrado.

De manera ventajosa, la frecuencia de funcionamiento puede ser regulada a través de un convertidor, mediante el cual la primera fuente de energía eléctrica está acoplada a la red de tensión alterna. Esto permite regular la frecuencia de funcionamiento de la primera fuente de

25 energía eléctrica de forma flexible y adecuada a la necesidad.

De acuerdo con una forma de ejecución ventajosa puede preverse que se incremente un parámetro de funcionamiento en función del balance de potencia, en el caso de que un balance de potencia de la primera fuente de energía eléctrica sea positivo, y/o que descienda

30 en caso de que el balance de potencia de la primera fuente de energía eléctrica sea negativo. De este modo, la frecuencia de funcionamiento puede regularse más elevada que la frecuencia predeterminada, cuando el parámetro de funcionamiento en función del balance de potencia es más elevado que el parámetro de funcionamiento objetivo determinado, y/o puede regularse más reducido que la frecuencia predeterminada, cuando el parámetro de

funcionamiento en función del balance de potencia es más reducido que el parámetro de funcionamiento objetivo determinado.

Con la característica de control precedente, una frecuencia de funcionamiento que es mayor que la frecuencia predeterminada, puede indicar en la red de tensión alterna que la primera fuente de energía eléctrica, en particular una fuente de energía eléctrica renovable, podría emitir realmente más potencia a la red de tensión alterna.

A continuación, un ejemplo de ejecución de la invención se explicará en detalle mediante el dibujo.

En una representación esquemática, las figuras muestran:

Figura 1: una red de suministro eléctrico con varias fuentes de energía eléctrica,

Figura 2: un diagrama característico para regular una frecuencia de funcionamiento de una fuente de energía eléctrica.

La figura 1 muestra una red de suministro eléctrico con una primera fuente de energía eléctrica EQ, así como con diferentes segundas fuentes de energía eléctrica KQ1 y KQ2 que suministran una tensión alterna $U_{\sim}$ a una red de tensión alterna N, por ejemplo una red de tensión alterna alta, media, y/o baja. Una pluralidad de consumidores V están conectados de forma directa o indirecta a la red de tensión alterna N.

En el presente ejemplo de ejecución, como primera fuente de energía eléctrica EQ se proporciona una fuente de energía eléctrica renovable, por ejemplo una instalación fotovoltaica o una turbina eólica. Las segundas fuentes de energía eléctrica KQ1 y KQ2, de manera preferente, son fuentes de energía eléctrica convencionales, como por ejemplo centrales de gas, de carbón o nucleares. Mediante la invención, la fuente de energía eléctrica renovable EQ debe coordinarse con las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2, de manera que la fuente de energía eléctrica renovable EQ pueda suministrar su potencia máxima que puede ser generada en un respectivo momento con la mayor frecuencia posible y/o pueda abastecer la red de tensión alterna N de forma prolongada, para reducir de este modo un consumo de recursos de las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2. Con este fin, se pretende operar la fuente de energía eléctrica renovable EQ en su punto de trabajo de potencia máxima o cerca del mismo (Maximum Power Point, MPP).

Generalmente, el punto de trabajo de potencia máxima depende de las condiciones de entorno de la fuente de energía eléctrica renovable EQ, por ejemplo de la radiación solar o la intensidad del viento reales.

- 5 En la figura 1, la fuente de energía eléctrica renovable EQ, así como las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2 pueden representar también una pluralidad de fuentes de energía eléctrica renovables, así como de fuentes de energía eléctrica convencionales.

10 La fuente de energía eléctrica renovable EQ comprende un generador GEN que genera una potencia eléctrica con tensión U_{gen} , por ejemplo fotovoltaica en el caso de una instalación fotovoltaica o de potencia mecánica suministrada, por ejemplo por un rotor eólico. La tensión U_{gen} generada por el generador GEN es suministrada a un convertidor W que, a partir de la tensión U_{gen} suministrada, genera una tensión alterna $U_{\sim}$ con frecuencia f regulable. La tensión $U_{\sim}$ es suministrada a la red de tensión alterna N desde el convertidor W. La fuente de
15 energía eléctrica renovable EQ actúa de este modo en la red de tensión alterna N como fuente de tensión. f es la frecuencia de funcionamiento de la fuente de energía eléctrica renovable EQ que se encuentra presente de forma local en el punto de alimentación de la fuente de energía eléctrica renovable EQ, y es distribuida a través de la red de tensión alterna N.

20 Para regular la frecuencia de funcionamiento f , la fuente de energía eléctrica renovable EQ presenta un dispositivo de control RE, así como sensores S1 y S2 para detectar parámetros locales de la fuente de energía eléctrica renovable EQ. La frecuencia de funcionamiento f regulada es transmitida por el dispositivo de control RE hacia el convertidor W. El sensor S1 detecta uno (o también varios) parámetros de entorno PAR de la fuente de energía eléctrica
25 renovable EQ y lo transmite al dispositivo de control RE. El parámetro de entorno PAR indica una o varias influencias externas, por ejemplo la radiación solar real y/o la intensidad del viento a las que se encuentra expuesta la fuente de energía eléctrica renovable EQ, las cuales influyen a una potencia que puede ser generada realmente a través de la fuente de energía eléctrica renovable EQ.

30 En sensor S2 detecta un parámetro de funcionamiento X en función del balance de potencia de la fuente de energía eléctrica renovable EQ y lo transmite al dispositivo de control RE. El parámetro de funcionamiento en función del balance de potencia indica un estado de la fuente de energía eléctrica renovable EQ, cuya modificación resulta a partir del balance de potencia
35 en un acumulador intermedio de energía (no representado) de la fuente de energía eléctrica

renovable EQ. En el caso de una instalación fotovoltaica, ese parámetro de funcionamiento en función del balance puede relacionarse por ejemplo con la tensión en el condensador intermedio de la instalación fotovoltaica, y en el caso de una instalación de energía eólica, por ejemplo con la velocidad del rotor. Se supone que un balance de potencia realmente positivo, es decir donde realmente se genere más potencia por el generador GEN que la que se emite hacia la red de tensión alterna N, conduce a un incremento del parámetro de funcionamiento X en función del balance de potencia. En particular, una potencia generada momentáneamente y/o un punto de trabajo momentáneo de potencia máxima de la fuente de energía eléctrica renovable EQ dependen del parámetro de funcionamiento X en función del balance de potencia.

En el dispositivo de control RE está almacenado el valor de una frecuencia f_{MPP} predeterminada de forma fija. La frecuencia f_{MPP} predeterminada es constante y es igual en todas las fuentes de energía eléctrica renovables en la red de tensión alterna N. Además, la frecuencia predeterminada f_{MPP} es conocida también en las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ 1 y KQ 2, y se encuentra almacenada. El dispositivo de control RE, independientemente del parámetro de entorno PAR, determina un parámetro de funcionamiento objetivo X_{MPP} variable que indica aquel estado de la fuente de energía eléctrica renovable EQ en donde se generaría una potencia posible máxima bajo unas condiciones de entorno reales dadas. Ese estado corresponde esencialmente al punto de trabajo de potencia máxima antes mencionado de la fuente de energía eléctrica renovable EQ, el cual en este sentido se considera como un optimizador de la potencia.

La frecuencia de funcionamiento f real es determinada por el dispositivo de control RE en función del parámetro de funcionamiento X real en función del balance de potencia, del parámetro de funcionamiento objetivo X_{MPP} real, así como de la frecuencia f_{MPP} predeterminada según una curva característica o una familia de curvas características. En particular, una desviación de la frecuencia de funcionamiento f de la frecuencia f_{MPP} predeterminada está en función de una desviación del parámetro de funcionamiento X a su vez en función del balance de potencia del parámetro de funcionamiento objetivo X_{MPP} . En tanto la frecuencia de funcionamiento f se distribuye mediante la red de tensión alterna N, para otras fuentes de energía eléctrica acopladas a la red de tensión alterna N, la desviación de la frecuencia de funcionamiento F de la frecuencia f_{MPP} predeterminada en la red de tensión alterna N y, con ello desviaciones del parámetro de funcionamiento X en función del balance

de potencia del parámetro de funcionamiento objetivo X_{MPP} pueden detectarse en la fuente de energía eléctrica renovable EQ.

Las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2 presentan respectivamente una fuente de fuerza mecánica MKQ, por ejemplo una turbina de gas o un motor diesel que suministra una potencia mecánica P a un generador eléctrico GEN. El generador GEN, mediante la potencia mecánica P suministrada genera una tensión alterna $U_{\sim}$ que es suministrada a la red de tensión alterna N . Además, la fuente de energía eléctrica convencional KQ1 dispone de un dispositivo de control RK1 y la fuente de energía eléctrica convencional KQ2 dispone de un dispositivo de control RK2. Los dispositivos de control RK1 y RK2 detectan respectivamente la frecuencia de funcionamiento f distribuida a través de la red de tensión alterna N y, en función de ello, regulan la potencia mecánica P que debe ser generada por una fuente de fuerza MKQ respectivamente mecánica. En los dispositivos de control RK1 y RK2 está almacenada respectivamente la frecuencia f_{MPP} predeterminada, de manera que los dispositivos de control RK1 y RK2, mediante la frecuencia de funcionamiento f detectada, pueden determinar su desviación de la frecuencia f_{MPP} predeterminada. Dicha desviación, tal como ya se ha mencionado, indica en qué medida el parámetro de funcionamiento X en función del balance de potencia difiere del parámetro de funcionamiento objetivo X_{MPP} que optimiza la potencia.

Para optimizar la emisión de potencia de la fuente de energía eléctrica renovable EQ, la potencia mecánica P de la respectiva fuente de fuerza mecánica MKQ es regulada en función de la frecuencia de funcionamiento f detectada, de manera que la frecuencia de funcionamiento f se aproxima a la frecuencia predeterminada f_{MPP} y, con ello, al parámetro X en función del balance de potencia mediante el parámetro de funcionamiento objetivo X_{MPP} del acoplamiento antes mencionado de una frecuencia de funcionamiento local, en un balance de potencia local.

Para regular la potencia mecánica P que debe suministrarse a los generadores GEN, los dispositivos de control RK1 y RK2 disponen respectivamente de un controlador proporcional PR. Un controlador proporcional PR de esa clase se denomina frecuentemente también como controlador P. La potencia mecánica P se regula respectivamente como función $P(f, f_0)$ de la frecuencia de funcionamiento f detectada y de una frecuencia objetivo f_0 . La frecuencia objetivo f_0 se regula en un punto central en la red de tensión alterna N , en este caso mediante un controlador integrado IR del dispositivo de control RK1 como función $ff_0(f, f_{MPP})$ de la

frecuencia de funcionamiento f detectada y de la frecuencia f_{MPP} predeterminada. Un controlador integrado de esa clase se denomina frecuentemente también como controlador I. Los valores regulados realmente de la frecuencia objetivo f_0 son transmitidos desde el punto central, en este caso RK1, hacia las otras fuentes de energía eléctrica convencionales que se encuentran presentes en la red de tensión alterna N, en este caso KQ2, para regular la respectiva potencia mecánica P a través del controlador proporcional PR respectivamente local.

La figura 2 muestra un diagrama característico para regular la frecuencia de funcionamiento f de la fuente de energía eléctrica renovable EQ a través del dispositivo de control RE. A lo largo de la abscisa está marcado el parámetro de funcionamiento X en función del balance de potencia y a lo largo de la ordenada está marcada la frecuencia de funcionamiento f . La frecuencia predeterminada f_{MPP} se indica a través de una línea punteada. En la abscisa, a través de líneas punteadas, se indican diferentes parámetros de funcionamiento objetivos X_{MPP1} y X_{MPP2} que corresponden a diferentes condiciones de entorno PAR1 y PAR2. En el caso de condiciones de entorno que corresponden al parámetro de entorno PAR1, la fuente de energía eléctrica renovable EQ generaría su potencia máxima realmente posible para $X = X_{MPP1}$, mientras que en el caso de condiciones de entorno que corresponden al parámetro de entorno PAR2, generaría la potencia máxima en el caso de $X = X_{MPP2}$. En el caso de las condiciones de entorno caracterizadas por PAR1, la regulación de la frecuencia de funcionamiento f tiene lugar mediante una curva característica KL1, mientras que en el caso de condiciones de entorno caracterizadas por PAR2 la frecuencia de funcionamiento f es regulada mediante una curva característica KL2. Las curvas características KL1 y KL2 están orientadas de manera que en el caso de una coincidencia del parámetro de funcionamiento X en función del balance de potencia con el respectivo parámetro de funcionamiento objetivo X_{MPP1} , así como X_{MPP2} , se determina respectivamente la misma frecuencia f_{MPP} constante como frecuencia de funcionamiento f . Lo mencionado aplica también para todas las otras curvas características de la familia de curvas, así como para otros posibles valores del parámetro de entorno PAR.

Las curvas características KL1 y KL2 aumentan de forma significativamente monótona en el área de la frecuencia f_{MPP} predeterminada, de manera que al aumentar el parámetro de funcionamiento X en función del balance de potencia, es decir en el caso de un balance de potencia positivo de la fuente de energía eléctrica EQ, aumenta igualmente la frecuencia de funcionamiento f . A modo de ejemplo, la frecuencia de funcionamiento f podría regularse

según $f = f_{MPP} + k*(X-X_{MPP})$, donde k es una función que aumenta de forma monótona o significativamente monótona, o es una constante positiva. Esto significa que $f > f_{MPP}$ en el caso de que $X > X_{MPP}$ y $f < f_{MPP}$ en el caso de que $X < X_{MPP}$.

- 5 Mediante la familia de curvas características, la fuente de energía eléctrica renovable EQ se acopla a un valor respectivamente real del parámetro de funcionamiento X_{MPP} , el cual corresponde a aquel estado de la fuente de energía eléctrica renovable EQ en donde se genera la potencia máxima posible en el momento real, a la frecuencia f_{MPP} predeterminada de forma fija. En ese caso, el valor del parámetro de funcionamiento objetivo X_{MPP} puede variar
10 en función de las condiciones de entorno reales. Por el contrario, la frecuencia f_{MPP} predeterminada, orientada al parámetro de funcionamiento objetivo X_{MPP} variable, es constante.

- Para las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2, la potencia mecánica P
15 suministrada al respectivo generador GEN es regulada de manera que en la red de tensión alterna N se regula la frecuencia predeterminada f_{MPP} al menos en el caso límite estacionario. El comportamiento de control precedente puede lograrse por ejemplo debido a que la potencia mecánica P es regulada a través del respectivo controlador proporcional PR mediante las así llamadas curvas características droop (de caída), según $P = P_0 - k_p*(f-f_0)$, donde P_0 es una
20 potencia objetivo predeterminada, k_p es una constante preferentemente positiva y f_0 es la frecuencia objetivo.

- Mientras que la potencia mecánica P es evaluada localmente en cada fuente de energía eléctrica convencional KQ1 y KQ2, la frecuencia objetivo f_0 es regulada en un punto central en
25 la red de tensión alterna, en este caso KQ1, y es distribuida hacia todas las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2. La frecuencia objetivo f_0 es regulada preferentemente a través del controlador integrado central IR, según $d/dt f_0 = -k_i*(f-f_{MPP})$, donde k_i es una constante preferentemente positiva. De este modo, la frecuencia objetivo f_0 desciende de forma continua, en tanto la frecuencia de funcionamiento f sea mayor que la frecuencia
30 predeterminada f_{MPP} y aumenta de forma continua, en tanto la frecuencia objetivo f sea menor que la frecuencia predeterminada f_{MPP} . Para la regulación de la potencia de las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2 esto significa que, en el caso de que la frecuencia de funcionamiento f sea mayor que la frecuencia predeterminada f_{MPP} , la frecuencia objetivo f_0 se reduce y, con ello, la potencia generada de forma convencional
35 disminuye, debido a lo cual la proporción de la potencia que proviene de la fuente de energía

eléctrica renovable EQ aumenta en la red de tensión alterna N. Por consiguiente, de manera conjunta, un punto de trabajo en donde es válido $X > X_{MPP}$ y, con ello, $f > f_{MPP}$, conduce a que la fuente de energía eléctrica renovable EQ, de manera preferente, pueda suministrar su potencia, excedente en comparación con las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2, a la red de tensión alterna N.

De manera opcional, la frecuencia objetivo f_0 puede ser regulada a través del controlador integrado central IR también según $d/dt f_0 = -k_i(f - f_{MPP} - \Delta f)$, donde Δf es una constante mediante la cual puede considerarse una desviación estacionaria desde el punto de trabajo de potencia máxima. De este modo, en muchos casos puede garantizarse que el convertidor W pueda proporcionar una reserva de control.

Para evitar una súper-integración o una sub-integración de la frecuencia objetivo f_0 , es decir los así llamados efectos windup, pueden preverse medidas de anti-reinicio adecuadas en el controlador integrado IR. De este modo, para la frecuencia objetivo f_0 pueden definirse límites superiores e inferiores adecuados, donde al alcanzarlos finaliza o se retarda la integración en la dirección del respectivo límite.

Si la regulación de una o de varias fuentes de energía eléctrica renovables, así como de una o de varias fuentes de energía eléctrica convencionales, tiene lugar del modo descrito, las fuentes de energía eléctrica renovables pueden ser operadas de forma considerablemente más frecuente, prolongada y/o próxima a su punto de trabajo de potencia máxima, que sin una regulación de esa clase. En el caso estacionario, las fuentes de energía eléctrica renovables son operadas en el punto de trabajo de potencia máxima, al menos en tanto las medidas de anti-reinicio no sean activadas. La coordinación de las fuentes de energía eléctrica, requerida para ello, tiene lugar esencialmente mediante la frecuencia de funcionamiento f y la predeterminación central de la frecuencia f_{MPP} . Gracias a ello se evita una comunicación adicional para coordinar las diferentes fuentes de energía eléctrica.

Tan pronto como se activan las medidas de anti-reinicio, la fuente de energía eléctrica renovable EQ generalmente ya no es operada en su punto de trabajo de potencia máxima. En el caso de que la frecuencia de funcionamiento f sea mayor que la frecuencia predeterminada f_{MPP} , la fuente de energía eléctrica renovable EQ es limitada. En ese caso, sin embargo, la frecuencia objetivo f_0 ya se encuentra en el límite de integración inferior, de manera que las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2 son operadas con su potencia

respectivamente mínima. En un caso ideal, las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2 son entonces desconectadas. Por el contrario, en el caso de que la frecuencia de funcionamiento f sea menor que la frecuencia f_{MPP} predeterminada, la tensión $U_{\sim}$ esencialmente se reduce en la red de tensión alterna N, ya que en ese caso la potencia proporcionada de forma conjunta por la fuente de energía eléctrica renovable EQ y las fuentes de energía eléctrica convencionales KQ1 y KQ2 ya no es suficiente para proporcionar la potencia necesaria en la red de tensión alterna N.

A través de la frecuencia de funcionamiento f distribuida a través de la red de tensión alterna N, de la fuente de energía eléctrica renovable EQ, para las otras fuentes de energía eléctrica, en este caso KQ1 y KQ2, puede detectarse en la red de tensión alterna N y también para cualquier otro dispositivo de la red de tensión alterna N, así como para los consumidores V, si se encuentra presente un exceso o un déficit con respecto a una potencia generada de forma renovable. Generalmente, un exceso se presenta cuando la frecuencia de funcionamiento f es mayor que la frecuencia predeterminada f_{MPP} . En esa situación las fuentes de energía eléctrica renovables están limitadas. Un aumento de la carga podría ser interceptado a través de las fuentes de energía eléctrica renovables, de manera que no se produciría un consumo aumentado de los recursos de las fuentes de energía eléctrica convencionales. Si la frecuencia de funcionamiento f es más reducida o igual que la frecuencia predeterminada f_{MPP} , una carga aumentada conduce a una utilización aumentada de las fuentes de energía eléctrica convencionales. De este modo, el consumo de potencia de las cargas regulables puede adaptarse a la disponibilidad de la energía renovable, sin que para ello se requiera una comunicación adicional, junto con una eventual transmisión de la frecuencia objetivo f_0 .

La presente invención no sólo puede aplicarse en fuentes de energía eléctrica renovables, sino que, de manera ventajosa, puede aplicarse en cualquier fuente de energía eléctrica, para comunicar su balance de potencia mediante la frecuencia de funcionamiento f a otras fuentes de energía eléctrica conectadas a la red de tensión alterna o a cualquier otro dispositivo.