

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 798 288**

51 Int. Cl.:

F03D 9/25	(2006.01)
H02J 3/16	(2006.01)
H02J 3/38	(2006.01)
F03D 7/04	(2006.01)
F03D 7/02	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2013 PCT/EP2013/064059**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.01.2014 WO14009223**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2013 E 13732984 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 2872777**

54 Título: **Procedimiento para el control de un generador eléctrico**

30 Prioridad:

13.07.2012 DE 102012212366

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

10.12.2020

73 Titular/es:

**WOBBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)
Borsigstrasse 26
26607 Aurich, DE**

72 Inventor/es:

**DIEDRICHS, VOLKER;
BUSKER, KAI y
BEEKMANN, ALFRED**

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 798 288 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el control de un generador eléctrico

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento para controlar un generador de energía eléctrica conectado a un punto de conexión a red en una red de suministro eléctrico. Además, la presente invención se refiere a un generador de energía eléctrica conectado con una red de suministro eléctrico.

La alimentación de energía eléctrica en una red de suministro eléctrico, como, por ejemplo, la red de interconexión europea o la red eléctrica de los Estados Unidos de América, se conoce en general. A este respecto, bajo una red de suministro eléctrico se entiende una red de tensión alterna, tal y como está establecido ampliamente a nivel general. Esto no excluye que estén presentes secciones de tensión continua en la red. Igualmente, los aspectos que son independientes de la frecuencia, en principio, también pueden hacer alusión a una red de tensión continua. Históricamente, la alimentación en una red de suministro eléctrico se realiza con una gran central eléctrica, que, a partir de energía primaria, como carbón, energía nuclear o gas, acciona un generador síncrono. Dependiendo de la cantidad de pares de polos del generador síncrono y de la velocidad de giro del generador síncrono, este alimenta a la red de suministro a una determinada frecuencia. El generador síncrono puede verse influido por la tecnología de control, por ejemplo, para ajustar la potencia. Sin embargo, un procedimiento de regulación de este tipo puede ser lento.

20 En el caso de situaciones cambiantes en la red de suministro a alimentar, la reacción física del generador síncrono a menudo produce, al menos a corto plazo, una variación en el estado de la red. Por ejemplo, la velocidad de giro del generador síncrono aumenta cuando la red de suministro no puede absorber completamente la potencia puesta a disposición y/o que puede poner a disposición el generador síncrono. El exceso de potencia acelera el generador síncrono, lo que se refleja en un aumento de la frecuencia de alimentación. A consecuencia de esto puede aumentar la frecuencia en la red de suministro.

30 Cuando se alimenta en una red de suministro, también se debe tener en cuenta la estabilidad de red. La pérdida de la estabilidad de red, es decir, la pérdida de la estabilidad de red de suministro, puede provocar la desconexión del generador de alimentación. Una pérdida de estabilidad de este tipo, también conocida en el lenguaje técnico del sector como «loss of stability» y se abrevia como «LOS», describe procedimientos de naturaleza física, que no permiten que siga funcionando y que deben ser interrumpidos mediante desconexiones.

35 En el caso de las centrales eléctricas, entonces cae su potencia y, por lo tanto, puede contribuir a una escalada de la denominada potencia deficitaria. En el peor de los casos, esta pérdida de estabilidad conduce a una caída total de un sistema de energía como resultado de fallos en cascada y la acumulación del déficit. Tales pérdidas totales son extremadamente raras, pero se producen, por ejemplo, el 24 de septiembre de 2004 en Italia.

40 Bajo la pérdida de la estabilidad de red, la denominada «Loss of stability», se debe entender un fenómeno en el que inicialmente se pierde la estabilidad angular, lo que en última instancia puede conducir a la pérdida de la estabilidad de tensión.

45 Como criterios de estabilidad, en particular, se establecen las sobrecorrientes a alcanzar, que se deben poder proporcionar en caso de que se produzca una pérdida de estabilidad. Esto implica un diseño correspondiente de los sistemas. Por lo tanto, una nueva central eléctrica, en particular una nueva central eléctrica que se vaya a construir, se adapta así a la red de suministro, tal como se representa en el punto de conexión a red al que se tiene que conectar la central eléctrica.

50 Un criterio importante al conectar grandes centrales eléctricas a una red de suministro eléctrico es la relación de corriente de cortocircuito, también conocida en el lenguaje técnico del sector como «Short circuit ratio» y se abrevia con «Scr». Esta relación de corriente de cortocircuito es la relación entre la potencia de cortocircuito y la potencia de conexión. En este caso, bajo la potencia de cortocircuito se entiende la potencia que la red de suministro en cuestión puede proporcionar en el punto de conexión a red considerado en el que se va a conectar la central eléctrica, cuando ahí se produce un cortocircuito. La potencia de conexión es la potencia de conexión de la central eléctrica a conectar, en particular, la potencia nominal del generador a conectar.

60 Para garantizar un funcionamiento seguro, es decir, descartar en la medida de lo posible una pérdida de estabilidad (una «loss of stability»), las centrales eléctricas generalmente están diseñadas para el punto de conexión a red correspondiente, de tal forma que la relación de corriente de cortocircuito sea superior a 10, generalmente incluso superior a 15. Así pues, la red de suministro puede proporcionar una potencia de cortocircuito comparativamente alta en el punto de conexión a red. Esto significa que la red presenta una impedancia de red baja y se califica como una red robusta.

En el caso de una red débil, es decir, si hay una alta impedancia de red, solo se puede alimentar con una pequeña potencia de conexión y/o solo se puede conectar una central eléctrica con una pequeña potencia de conexión. Esto generalmente conduce a que no se pueda conectar una nueva central eléctrica en un punto de conexión a red de este tipo, o a que la red deba modificarse, en particular, previendo líneas adicionales más potentes. Esto también se designa comúnmente como refuerzo de red.

Para alimentar con energía eléctrica a través de unidades generadoras descentralizadas, como ocurre en particular con las instalaciones de energía eólica, el problema de la pérdida de estabilidad de red, es decir, la denominada «loss of stability», en el fondo es desconocido. Aunque a finales de los años 90 ya se hicieron las primeras propuestas para permitir que las instalaciones de energía eólica también contribuyeran al soporte eléctrico de la red, en estas no se tiene en cuenta la causa de una pérdida de estabilidad, en particular, que se origine una pérdida de estabilidad debida a la alimentación en la red de suministro.

Así, por ejemplo, la solicitud de patente alemana US 6.891.281 describe un procedimiento en el cual las instalaciones de energía eólica, dependiendo de la frecuencia de red, pueden cambiar su potencia de alimentación, en particular, disminuyendo su potencia. El documento US 7.462.946 sugiere que, en el caso de un fallo en la red, o sea, en particular en el caso de un cortocircuito, una instalación de energía eólica limite la corriente que alimenta, en lugar de desconectarse de la red, para que de este modo también consiga dar soporte a la red. En el documento US 6.965.174 se describe un procedimiento para dar soporte a la red mediante una instalación de energía eólica, que ajusta un ángulo de fase de la corriente alimentada en función de la tensión de red y, con ello, se alimenta la red con potencia reactiva dependiente de la tensión para conseguir así dar soporte a la red. El documento US 6.984.898 también se refiere a un procedimiento para dar soporte a la red por medio de una instalación de energía eólica, en el que la instalación de energía eólica, dependiendo de la tensión de red, reduce si es necesario la potencia a alimentar a la red para, en particular, evitar así la desconexión de la red y para conseguir así dar soporte también a la red a través de una instalación de energía eólica.

El hecho de que tales unidades generadoras descentralizadas, como las instalaciones de energía eólica, puedan ser la causa real de la pérdida de estabilidad en la red (la «loss of stability») no se ha tenido en cuenta. V. Diedrichs y *col.* presentaron y expusieron el artículo «Loss of (Angle) Stability of Wind Plants» (Pérdida de estabilidad (angular) en plantas eólicas) en el «10th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks for Offshore Wind Farms, Aarhus (Denmark), 25 - 26 October 2011» (10.º seminario internacional de integración a gran escala de energía eólica en sistemas de potencia y en redes de transmisión para parques eólicos en alta mar, Aarhus (Dinamarca), 25 y 26 de octubre de 2011). En este se abordó fundamentalmente el problema de que la pérdida de estabilidad en la red (la «loss of stability») también puede ocurrir, en principio, en instalaciones de energía eólica conectadas a la red de suministro para la alimentación. A este respecto, este artículo representa esencialmente una concienciación sobre el problema. Se hace referencia expresa a este artículo, siendo aplicables también sus contenidos a la presente solicitud, en particular, sus explicaciones técnicas.

En principio no son transferibles los hallazgos, las experiencias u otros conocimientos acerca de la conexión y el funcionamiento de grandes centrales eléctricas en la red de suministro eléctrico a partir de instalaciones de energía eólica, incluidos los grandes parques eólicos con múltiples instalaciones de energía eólica, que están conectados a la red de suministro para la alimentación. En la actualidad, el experto en la materia responsable de conectar una central eléctrica a una red de suministro y que quiere operar en ella es otra persona distinta al experto en la materia que quiere conectar una instalación de energía eólica a la red de suministro y operar en ella. Las instalaciones de energía eólica (y gran parte de lo siguiente también aplica a otras unidades generadoras descentralizadas) dependen del viento y, por lo tanto, tienen que considerar una fuente de energía fluctuante; por lo general, no alimentan a la red con un generador síncrono acoplado directamente a la red de suministro, sino que utilizan un inversor basado en tensión; presentan una magnitud diferente a la de las grandes centrales eléctricas, siendo su potencia nominal generalmente aproximadamente 3 órdenes de magnitud inferior a la de una central eléctrica grande; por lo general, están sujetas a otras regulaciones políticas que a menudo les garantizan una recepción de la potencia por parte de los operadores de las redes de suministro eléctrico; suelen estar colocadas de forma descentralizada; por lo general, alimentan a una red de media tensión, mientras que las grandes centrales eléctricas generalmente alimentan a una red de alta tensión.

Además, es problemática una situación en la que una pérdida de estabilidad a evitar se produce finalmente pese a todo el cuidado y precaución. Si se produce una pérdida de estabilidad de este tipo, el generador de energía eléctrica se debe desconectar para el punto de conexión a red en cuestión. Una desconexión de este tipo se desencadena según criterios predeterminados y el respectivo generador afectado supervisa estos criterios y se desconecta cuando ha reconocido que están presentes dichos criterios. Pero, por consiguiente, se modifica inmediatamente la potencia alimentada a la red y con ello la potencia presente en la red. La pérdida de esta potencia de este generador puede conducir a que otros puntos de conexión a red cercanos presenten los criterios para la desconexión y correspondientemente se desconecten otros generadores, lo que de nuevo puede conllevar la desconexión de todavía

otros generadores, hasta un apagón completo de toda la red de suministro.

El documento WO 2011/050807 A2 describe un procedimiento para controlar una instalación de energía eólica con al menos un generador para la generación de potencia eléctrica que se alimenta en la red eléctrica, donde la cantidad de potencia alimentada se basa en una respuesta de señal en una señal de tensión de la red eléctrica.

El documento WO 2011/110193 A1 describe un procedimiento para controlar la alimentación de potencia eléctrica de una instalación de energía eólica en una red de corriente alterna para notificar sobretensiones o flujos de potencia irregulares tras la superación de un fallo en la red.

10

El documento CA2760888 da a conocer un procedimiento para llevar la alimentación de potencia activa de nuevo al valor original después de un fallo de red por medio de una función de rampa en un intervalo de tiempo definido.

El documento WO2012/089699 A2 da a conocer, para poder satisfacer la alimentación de potencia en la red de suministro mediante un parque eólico directamente tras la subsanación de un fallo de red, en el caso de una perturbación de red poner a 0 los valores de consigna de la potencia reactiva y simultáneamente poner a 0 también los valores de consigna para la potencia activa mediante las unidades de control de las instalaciones de energía eólica. Tras la subsanación del fallo de red, el dispositivo de regulación del parque puede modificar de nuevo los valores de consigna para la potencia reactiva partiendo de estos valores 0, hasta que alcancen un valor que, por un lado, satisfaga los requisitos de la alimentación de potencia en la red de suministro y garantice simultáneamente la alimentación de la potencia generable en conjunto por las instalaciones de energía eólica.

15

20

La Oficina Alemana de Patentes y Marcas ha investigado en la solicitud de prioridad para la presente solicitud el siguiente estado de la técnica: DE 10 2009 027 981 B4, DE 10 2008 062 356 A1, WO 2011 /050807 A2 y DE 10 2008 045 938 A1.

25

La presente invención, por lo tanto, tiene el objeto de abordar al menos uno de los problemas anteriormente mencionados. En particular se debe proponer una solución que, en el caso de una pérdida de estabilidad descrita en la red de suministro o al menos una amenaza de pérdida de estabilidad, mantenga tan bajos como sea posible los daños inminentes. Al menos, se recomienda una solución alternativa.

30

Según la invención se propone por tanto un procedimiento para controlar un generador de energía eléctrica conectado a un punto de conexión de red en una red de suministro eléctrico según la reivindicación 1. Por tanto, se alimenta potencia eléctrica en la red de suministro eléctrico, donde el generador se hace funcionar en un primer punto de trabajo. Un punto de trabajo de este punto puede estar determinado, por ejemplo, por la potencia activa alimentada y eventualmente la potencia reactiva alimentada. Un ejemplo para un punto de trabajo sería la alimentación de potencia activa por valor de la potencia nominal del generador y alimentación de potencia reactiva por valor del 10 % de la potencia activa alimentada, por mencionar solo un ejemplo.

35

Mientras que el generador se hace funcionar en este primer punto de trabajo, entonces se produce una interrupción de la alimentación, de modo que no se alimenta potencia en la red de suministro cuando está presente o se muestra una perturbación en la red de suministro eléctrico o una perturbación de la alimentación en la red de suministro eléctrico. Por consiguiente, se supervisa una perturbación semejante y cuando se reconoce se desencadena una interrupción de la alimentación. Esta interrupción no se realiza con mínimas perturbaciones cualesquiera, sino solo con perturbaciones que deben desencadenar una interrupción. Para ello pueden estar fijados criterios correspondientes, como por ejemplo una caída de tensión demasiado fuerte o un gradiente demasiado fuerte de una caída de tensión en el punto de conexión a red, por mencionar solo dos ejemplos, que también se pueden combinar.

40

45

Como etapa siguiente se inicia entonces de nuevo la alimentación, de modo que la potencia eléctrica se alimenta de nuevo en la red de suministro. Una reanudación semejante de la alimentación se debería realizar tan rápido como sea posible. A este respecto, presupone que está permitida en realidad una alimentación correspondiente. Pero en particular también pueden ocurrir casos en los que la perturbación esté suprimida o en los que el criterio de la perturbación solo se pueda derivar del modo y manera de la alimentación del generador. Por ejemplo, el punto de funcionamiento del generador se puede desplazar de forma repentina e indeseada a una zona que para este generador concreto conduce a una inestabilidad al alimentar en el punto de conexión a red correspondiente. Por consiguiente, solo por el hecho de que el generador en cuestión ya no alimenta en la red se puede remediar la pérdida de estabilidad ligada con la alimentación actual de este generador, de modo que el generador podría alimentar de nuevo a continuación directamente, al menos en teoría.

50

55

Ahora se propone que el generador durante la reanudación de la alimentación efectúe la alimentación en un segundo punto de trabajo o se suba al segundo punto de trabajo, en particular en tanto que un arranque brusco en el segundo punto de trabajo no es posible físicamente. Correspondientemente, la subida a este segundo punto de trabajo también

60

puede suceder de forma muy rápida.

Este segundo punto de trabajo está diseñado respecto al primer punto de trabajo de modo que se alimenta en la red de suministro con una mayor reserva de estabilidad. El primer punto de trabajo, en el que se ha trabajado antes de la perturbación, y que preferentemente también puede ser el punto de trabajo habitual de este generador, es igualmente estable, es decir, presenta una reserva de estabilidad suficiente habitualmente. No obstante, ahora se propone seleccionar un segundo punto de trabajo que presente una mayor reserva de estabilidad respecto al primer punto de trabajo.

10 Con una mayor reserva de estabilidad semejante puede estar ligada con frecuencia la consecuencia de que el generador alimenta con menos eficiencia, en particular alimenta menos potencia. Pero esto se acepta para permitir que el generador alimente de nuevo lo más rápido posible y, por consiguiente, anular de nuevo al menos parcialmente tan rápido como sea posible la pérdida de la potencia de alimentación de este generador al interrumpir la alimentación. Por consiguiente, así se proporciona tan rápido como sea posible de nuevo potencia, a fin de impedir en particular una cascada de desconexiones que termine en el caso más grave en un apagón.

Preferentemente, el generador es un generador descentralizado, una instalación de energía eólica o un parque eólico que comprende varias instalaciones de energía eólica.

20 Un generador descentralizado es uno tal que referido a la red en la que alimenta está dispuesto o conectado de forma descentralizada. Por consiguiente, la red no está orientada a él y, mejor dicho, referido a los centros de potencia de la red de suministro está dispuesto de forma descentralizada. Además, un generador descentralizado presenta habitualmente una potencia proporcionalmente pequeña, que habitualmente es de 10 MW o menos. Una instalación de energía eólica es típicamente un generador descentralizado.

25 Un parque eólico, que comprende varias instalaciones de energía eólica, presenta una potencia de conexión mayor que las instalaciones de energía individuales que están reunidas en él. Sin embargo, puede estar previsto como generador descentralizado, en particular cuando presenta todavía un tamaño que se sitúa al menos claramente por debajo de una gran central eléctrica. Con frecuencia, una instalación de energía eólica y/o un parque eólico se puede controlar al menos más rápidamente en su capacidad de control que una gran central eléctrica. En particular, la alimentación en la red de suministro eléctrico se puede modificar esencialmente de forma más rápida y flexible en una instalación de energía eólica moderna o un parque eólico con instalaciones de energía eólica modernas que lo que es el caso habitualmente en una gran central eléctrica, presuponiendo que haya viento suficiente.

35 Preferentemente se usa una alimentación basada en tensión. Por lo tanto, el generador está configurado básicamente como fuente de tensión controlada y por ello dispone de una flexibilidad correspondiente durante la alimentación en la red de suministro. Las instalaciones de energía eólica modernas también están configuradas con frecuencia como tales generadores basados en tensión. En cualquiera caso se puede hablar de un generador basado en tensión, cuando el generador, en particular la instalación de energía eólica, presenta un inversor basado en tensión para la alimentación.

Según una realización se propone que el generador alimente menos potencia activa y/o potencia reactiva en la red de suministro en el segundo punto de trabajo que en el primer punto de trabajo. Preferentemente, en este caso para la potencia activa del segundo punto se propone un valor reducido, en al menos el 10 %, en particular en al menos el 20 %, respecto al valor del primer punto de trabajo. Para la potencia reactiva del segundo punto de trabajo se propone una reducción respecto a la potencia reactiva del primer punto de trabajo en al menos el 10 %, en particular en al menos el 20 %. En el segundo punto de trabajo se puede alimentar menos potencia activa como también menos potencia reactiva, a fin de conseguir de este modo un punto de trabajo más estable, o alcanzar un punto de trabajo que esté más alejado de un límite de estabilidad. A este respecto, bajo más alejado se debe entender un valor diferencial entre potencia activa o reactiva más elevado. Se ha mostrado que con frecuencia la reducción de la potencia activa es conveniente y no se debe reducir la potencia reactiva o la potencia reactiva solo se debe reducir en un valor menor, referido al primer punto de trabajo. Por consiguiente, se propone que, después de la interrupción de la alimentación, la instalación de energía eólica se haga funcionar en primer lugar en particular con potencia activa reducida hasta que se hayan normalizado y/o estabilizado las relaciones en la red de suministro eléctrico.

55 Además, el procedimiento está caracterizado porque la reanudación de la alimentación se realiza de modo que la potencia reactiva alimentada se modifica, en particular eleva, más rápidamente que la potencia activa alimentada, de modo que el valor de potencia reactiva del segundo punto se alcanza antes que el valor de potencia activa del segundo punto de trabajo y/o de modo que el valor de potencia reactiva del primer punto de trabajo se alcanza antes que el valor de potencia activa del primer punto de trabajo. Se ha reconocido que se eleva la estabilidad de la alimentación y/o de la red durante la reanudación, cuando en primer lugar se alimenta más potencia reactiva que potencia activa, o incluso solo potencia reactiva. A este respecto se toma como base el valor final, que puede ser diferente entre la

potencia reactiva y la potencia activa.

Por consiguiente, se propone alcanzar un punto de trabajo lo más estable posible durante la reanudación de la alimentación mediante una proporción de potencia reactiva apropiada. Así, p. ej. mediante la alimentación de potencia reactiva, se puede elevar la tensión de red en el punto de conexión, lo que actúa de forma estabilizadora. Para ello puede ser ventajoso alimentar o tomar en primer lugar solo potencia reactiva.

10 Cuando la potencia reactiva se ajusta más rápidamente en referencia al primer punto de trabajo que la potencia activa, esto significa que entonces, por ejemplo, se ajusta un segundo punto de trabajo, eventualmente solo por un período breve de tiempo, cuando la potencia reactiva ha alcanzado el valor del primer punto de trabajo. En este caso estaría reducida la potencia activa del segundo punto de trabajo respecto a la potencia activa del primer punto de trabajo.

15 También es ventajoso un procedimiento que está caracterizado porque en primer lugar se ajusta la potencia reactiva, en particular al valor del primer o segundo punto de trabajo, para de este modo conseguir dar un soporte de red, y a continuación se ajusta la potencia activa, en particular se eleva, y/o porque la potencia reactiva y la potencia activa se ajustan respectivamente por medio de una función de rampa temporal, y las funciones de rampa están seleccionadas de modo que valor de potencia reactiva del segundo punto de trabajo se alcanza antes que el valor de potencia activa del segundo punto de trabajo y/o que el valor de potencia reactiva del primer punto de trabajo se alcanza antes que el valor de potencia activa del primer punto de trabajo.

20 Por consiguiente, se propone ajustar primeramente la potencia reactiva de forma dirigida, a fin de conseguir una estabilización. En este caso, el segundo punto de trabajo puede estar caracterizado por una elevada componente de potencia reactiva, pero una pequeña componente de potencia activa. En particular, aquí la componente de potencia activa puede ser de cero.

25 Alternativamente o en combinación, la modificación de la potencia reactiva se realiza con una función de rampa más empinada que la subida de la potencia activa. La pendiente de las funciones de rampa respectivas se refiere al valor final respectivo de la potencia reactiva o potencia activa, en particular a los valores del primer o segundo punto de trabajo.

30 El procedimiento está caracterizado porque durante la reanudación de la alimentación se eleva la potencia activa alimentada con una curva predeterminada, en particular en forma de rampa, y a este respecto la potencia reactiva alimentada se guía de forma acompañante de modo que actúa estabilizando la tensión, donde la potencia reactiva se guía en particular en base a una característica de red registrada anteriormente de la red de suministro eléctrico. Por consiguiente, la potencia activa se sube en particular a lo largo de una rampa para alimentar potencia en la red de suministro eléctrico lo antes posible, pero con tiempo suficiente para no poner en peligro la estabilidad. En este caso, a la potencia reactiva le corresponde el objeto de acompañar la subida de la potencia activa de forma estabilizadora. La potencia reactiva se puede modificar en este caso de forma esencialmente más dinámica, a fin de conseguir una estabilización.

40 La estabilización se refiere en particular a la tensión en el punto de conexión, que se debe mantener lo más constante posible y/o en un rango de tolerancia predeterminado. Preferentemente se propone para ello tomar como base las características de red registradas anteriormente de la red de suministro conectada. De este modo también se puede conocer al menos parcialmente el comportamiento de la red de suministro en el punto de conexión a red y es previsible la reacción, de la red de suministro en el punto de conexión a red, en particular la reacción de la tensión en el punto de conexión a red respecto a la subida planificada de la potencia activa. De este modo la potencia reactiva se puede guiar de forma dirigida al conocer la elevación planificada previamente de la alimentación de potencia activa. Por ejemplo, la potencia reactiva se puede controlar en base a la alimentación de potencia activa planificada y la característica de red conocida anteriormente. Se puede complementar una regulación.

50 A este respecto, la potencia reactiva también se puede guiar en particular de modo que se mantiene un límite de estabilidad durante la subida. Según el límite de estabilidad seleccionado también se excita de este modo un segundo punto de trabajo con mayor distancia de estabilidad que el primer punto de trabajo.

55 Si durante el arranque se hace funcionar en primer lugar la instalación de energía eólica con potencia reducida, puede contribuir a la alimentación de potencia en la red de suministro y de este modo dar soporte a la red, pero al mismo tiempo está en un punto de trabajo proporcionalmente estable.

60 Preferentemente, la reanudación de la alimentación se realiza dentro de un tiempo de reanudación predeterminado después de la interrupción, donde preferentemente se selecciona un tiempo de reanudación que sea menor de 10 segundos. Preferentemente, durante la reanudación dentro de un tiempo de subida predeterminado se sube al segundo punto de trabajo.

Para poder conseguir un soporte la red, por consiguiente, la instalación debería alimentar de nuevo la red tan rápido como sea posible, donde mediante la elección del segundo punto de trabajo, pese a la reanudación rápida de la alimentación, esta se puede realizar de forma estable y la instalación no llega inmediatamente a un estado de alimentación inestable, que anteriormente ya ha dado lugar a la interrupción de la alimentación. Por consiguiente, en este caso se propone una reanudación rápida y un soporte de la red con salvaguarda simultánea de la estabilidad.

Según una configuración se propone que la reserva de estabilidad sea como la más pequeña diferencia entre la potencia reactiva alimentada y la potencia reactiva de un límite de estabilidad. La potencia reactiva alimentada es un valor concreto, mientras que un límite de estabilidad es al menos una curva. Por consiguiente, se producen diferencias diferentes del valor de la potencia reactiva alimentada respecto al límite de estabilidad, es decir, la curva de un límite semejante. La más pequeña de estas diferencias constituye la reserva de estabilidad según esta propuesta. En otras palabras, la reserva de estabilidad, dicho gráficamente, es la distancia más pequeña respecto al límite de estabilidad.

Según otra realización se propone que la diferencia más pequeña entre la potencia activa alimentada y la potencia activa del límite de estabilidad sea la reserva de estabilidad.

Según otra realización se propone que una diferencia más pequeña entre la tensión en el punto de conexión a red y la tensión del límite de estabilidad es la reserva de estabilidad.

Preferentemente, también se puede componer la reserva de estabilidad también de estas diferencias. Preferentemente, como límite de estabilidad se toma por base una relación entre la potencia activa a alimentar y potencia reactiva a alimentar, como por ejemplo una curva de la potencia activa en función de la potencia reactiva. Como reserva de estabilidad de un punto de trabajo, que en este sentido se describe mediante su proporción de potencia activa y potencia reactiva, se puede usar la distancia más pequeña respecto a un límite de estabilidad así definido. Matemáticamente, esto se calcula a través del procedimiento de mínimos cuadrados. La distancia más pequeña respecto al límite de estabilidad se produce para el punto en el límite de estabilidad en el que es más pequeña la raíz de la suma del cuadrado de la diferencia de potencias reactivas y del cuadrado de la diferencia de potencias activas.

Preferentemente, el límite de estabilidad puede ser una función de la tensión de red en el punto de conexión en función de la potencia reactiva alimentada o en función de la potencia activa alimentada, o dependiente de ambas, donde la función, dicho gráficamente, puede ocupar o se ocupa una superficie, en particular superficie curvada. Esta superficie curvada sería entonces la tensión de red en el punto de conexión a red en función de una potencia reactiva alimentada y la potencia activa alimentada. Por consiguiente, se produciría una superficie curvada en un espacio que se fija por la tensión de red en el punto de conexión a red, la potencia reactiva alimentada y la potencia activa alimentada, en particular en el sentido de un espacio cartesiano.

Según otra configuración se propone que la interrupción de la alimentación se realice a continuación cuando en el punto de conexión a red aparece o se muestra una pérdida de estabilidad de la red de suministro y/o de la alimentación en la red de suministro. En este sentido, así ya se produciría el caso de que se deba evitar a ser posible una pérdida de estabilidad. Desde el punto de vista de la regulación se evalúa preferentemente una señal que señala que se produce una pérdida de estabilidad semejante de la red de suministro o de la alimentación.

Una interrupción se puede desencadenar también o alternativamente debido a una sobrecorriente en la red de suministro y/o en el punto de conexión a red. Además, o alternativamente puede aparecer un error en la red de suministro, en particular un cortocircuito, que se ha detectado y por consiguiente conduce a la interrupción de la alimentación.

Complementaria o alternativamente, una caída de tensión en la red de suministro y/o en el punto de conexión a red también puede conducir a una interrupción. En particular, una caída de tensión, cuando queda por debajo de un valor predeterminado, es por consiguiente un claro indicador de un problema serio en la red. En principio, un aumento excesivo de la tensión también puede mostrar un problema en la red y hacer necesario una interrupción. Pero, en el caso de un aumento de tensión indeseado podría ser conveniente con frecuencia no permitir que el generador alimente en primer lugar de nuevo una potencia adicional en la red. Eventualmente la alimentación de potencia reactiva negativa podría contrarrestar la tensión de red.

También o alternativamente, la conmutación en la red y/o el escalonado de transformadores en la red de suministro puede conducir a una interrupción, en particular cuando tales conmutaciones o escalonamientos de transformadores, es decir, en particular la conexión de así denominados transformadores con tomas, sobrepasa una medida habitual.

La aparición de ráfagas extremas también puede conducir a una interrupción de la alimentación.

Según una realización se propone que al detectar una pérdida de estabilidad que amenaza en el punto de conexión a red y/o durante la reanudación de la alimentación se conmuta de un control normal a un control de estabilización, que controla el generador con mayor estabilidad en comparación al control normal. De este modo se debe impedir que se produzca la pérdida de estabilidad que amenaza o que una reanudación de la alimentación conduzca a un nuevo problema, en particular pérdida de estabilidad y en particular interrupción de la alimentación.

Preferentemente, en el caso de la amenaza de pérdida de estabilidad descrita o durante la reanudación de la alimentación se propone limitar la potencia activa a alimentar del generador a un valor menor que el valor máximo del generador, en particular a un valor que es menor que una potencia nominal del generador. En particular mediante una reducción semejante de la potencia activa a un valor menor que el valor máximo se produce, por un lado, una reserva de estabilidad y, por otro lado, una reserva de regulación para el generador, en particular para una instalación de energía eólica, cuando esta constituye el generador.

Según otra realización se propone que en el caso de una amenaza de pérdida de estabilidad o durante la reanudación de la alimentación, para el caso de que el generador sea un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica, se conmuta de un control normal a un control de parque central. Así, en un problema semejante ya no se les deja el control individualmente a las instalaciones de energía eólica, sino que se propone una coordinación central de las instalaciones de energía eólica, en particular con vistas a la alimentación, a fin de contrarrestar de este modo una pérdida de estabilidad.

Preferentemente se conserva la conmutación al control de estabilidad, la limitación de la potencia activa y/o el uso del control de parque central hasta que se ha detectado que ya no supone una amenaza la pérdida de estabilidad. En este caso, por consiguiente, tiene prioridad controlar la instalación de energía eólica, el parque eólico u otro generador en primer lugar con vistas a la estabilidad y, a este respecto, aceptar una reducción de la alimentación de potencia activa. En otras palabras, tiene prioridad la estabilización e incluso se acepta desaprovechar la energía obtenida con el viento en el caso del uso de una instalación de energía eólica o de un parque eólico.

Una conmutación a un control de estabilidad se corresponde con una conmutación del primer punto de trabajo al segundo punto de trabajo. Un funcionamiento en el segundo punto de trabajo se puede designar como control de estabilización.

Según una configuración preferida se propone que tras la detección de una pérdida de estabilidad que amenaza en el punto de conexión a red y/o tras la reanudación de la alimentación mediante una señal externa de un o el control de estabilidad se vuelva a poner un o el control de generador en un o el control normal y/o se anule una o la limitación de la potencia activa alimentada. Por consiguiente, se propone que la vuelta básicamente a un estado normal, que no toma por base una estabilización aumentada, se realice dependiendo de una señal externa. Por ejemplo, un dispositivo de evaluación puede generar una señal externa semejante o, por ejemplo, el operador de la red de suministro eléctrico puede proporcionar una señal semejante. Mediante la evaluación de una señal externa semejante se puede llevar a cabo la vuelta al funcionamiento normal de forma más fiable y en particular también mejor producible. De este modo se minimiza el riesgo de que la vuelta al funcionamiento normal se realice demasiado pronto, a saber, antes de que se haya superado realmente el problema de estabilidad reconocido anteriormente o que amenaza.

Según una realización se propone que esté previsto un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica, donde cada instalación de energía eólica constituye un generador. Después de la interrupción de la alimentación de una o algunas instalaciones de energía eólica, esta o estas inician de nuevo individualmente la alimentación. En particular, cada instalación de energía eólica conmuta respectivamente de un control de normal a un control de estabilización, que controla la respectiva instalación de energía eólica con estabilidad elevada en comparación al control normal. En particular, este es el caso en el que una interrupción de la alimentación no se refiere completamente al parque eólico, sino solo algunas instalaciones de energía eólica. Para ello se pueden dar diferentes motivos, como p. ej. que una o varias instalaciones de energía eólica hayan interrumpido la alimentación debido a una ráfaga extrema. Las inexactitudes de medición también pueden conducir a que algunas instalaciones de energía eólica partan de un caso que hace necesaria una interrupción, mientras que otras todavía no se deben interrumpir. Una disposición alejada también puede conducir a condiciones previas ligeramente diferentes entre las instalaciones de energía eólica en el parque, que son suficientes para que las instalaciones también reaccionan diferentemente. Además, pueden estar presentes diferentes tipos de instalaciones, que tomar por base diferentes criterios para la interrupción de la alimentación.

En cualquier caso, para ello se propone que las instalaciones de energía eólica, que han interrumpido su alimentación, se conecten de nuevo tan rápido como sea posible y a saber en un estado estable para contrarrestar un efecto de cascada. Así se debe impedir que las instalaciones de energía, que todavía no han detectado el criterio para una interrupción, no deban interrumpir la alimentación finalmente por la interrupción de otras instalaciones de energía eólica. Por lo tanto, se propone que las instalaciones de energía eólica, que han interrumpido la alimentación, permitan

una nueva alimentación tan rápido como sea posible, pero en un punto de trabajo lo más estable posible.

Preferentemente, para una o varias instalaciones de energía eólica, que han interrumpido la alimentación, se produce una reanudación de la alimentación antes de que se haya subsanado la perturbación subyacente, al menos antes de que la perturbación subyacente se haya subsanado completamente. En principio, al interrumpir la alimentación debido a una perturbación se puede alimentar de nuevo cuando esta perturbación ya no está presente. No obstante, debido a la alimentación propuesta con un punto de trabajo modificado es posible eventualmente, pese a la perturbación todavía presente, iniciar de nuevo la alimentación. Esto se refiere en particular al caso en el que la interrupción se realizó tan rápido que ya no se pudo conmutar en un punto de trabajo más estable a fin de evitar la interrupción.

El cálculo del flujo de carga que se describe a continuación se utiliza para el análisis de estados operativos estacionarios de redes de suministro de energía. A este respecto, la base la constituye una figura de la red en cuestión a través de sus impedancias Z y/o admitancias Y (conductancias complejas), que muestra la fig. 9.

En el análisis de redes clásico, la red estaría determinada por la «ley de Ohm» con el consiguiente sistema lineal de ecuaciones en notación matricial que describe una relación para n nodos.

$$\begin{bmatrix} \underline{Y}_{11} & \cdots & \underline{Y}_{12} & \underline{Y}_{1i} & \cdots & \underline{Y}_{1n} \\ \underline{Y}_{21} & \cdots & \underline{Y}_{22} & \underline{Y}_{2i} & \cdots & \underline{Y}_{2n} \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \underline{Y}_{n1} & \cdots & \underline{Y}_{n2} & \underline{Y}_{ni} & \cdots & \underline{Y}_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \underline{U}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \underline{I}_n \end{bmatrix}$$

o abreviado: $\underline{Y} \cdot \underline{U} = \underline{I}$ (sistema de ecuaciones lineales).

En este caso se buscan las tensiones en cada uno de los n nodos de red (→estabilidad de la tensión).

Como las corrientes en las redes son desconocidas, pero las alimentaciones o consumos (planificados) sí son conocidos, las corrientes se expresan en términos de potencias.

$$\underline{I}_{ii} = \frac{\underline{S}_i^*}{\underline{U}_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{\underline{U}_i^*}$$

A través de la representación de las ecuaciones de red mediante potencias se crea ahora un sistema no lineal de ecuaciones.

$$\underline{S}_i^* = P_i - jQ_i = \underline{Y}_{i1} \underline{U}_1 \underline{U}_i^* + \underline{Y}_{i2} \underline{U}_2 \underline{U}_i^* \cdots = \underline{U}_i^* \sum_{k=1}^n \underline{Y}_{ik} \underline{U}_k$$

Este sistema no lineal de ecuaciones se resuelve numéricamente (generalmente mediante el método de Newton).

Como parte de la resolución numérica del sistema de ecuaciones, este debe ser linealizado. La linealización se lleva a cabo mediante las derivadas parciales de los elementos de la matriz respecto de las incógnitas, es decir, en este caso la amplitud ($U_2 \dots U_n$) y el ángulo ($\delta_2 \dots \delta_n$) de las tensiones del nodo.

La matriz con las derivadas parciales se denomina matriz de Jacobi. Para resolver el sistema de ecuaciones esta matriz debe ser invertible, es decir, regular.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta Q_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_2}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_2}{\partial U_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_2}{\partial U_n}\right)^{(0)} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \left(\frac{\partial P_n}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_n}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial P_n}{\partial U_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial P_n}{\partial U_n}\right)^{(0)} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial U_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_2}{\partial U_n}\right)^{(0)} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \left(\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial U_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial Q_n}{\partial U_n}\right)^{(0)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta U_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta U_n^{(0)} \end{bmatrix}$$

Matriz de Jacobi

A continuación, la invención se explica más en detalle a modo de ejemplo mediante ejemplos de realización en relación con las figuras adjuntas.

La fig. 1 muestra una vista en perspectiva de una instalación de energía eólica.

La fig. 2 muestra esquemáticamente una instalación de energía eólica conectada a una red basada en un sistema de control de tensión, también conocido como «Voltage Control System» o se designa VCS de forma abreviada.

La fig. 3 muestra esquemáticamente una disposición de un circuito de una alimentación controlada en tensión de una instalación de energía eólica en una red de tensión alterna.

La fig. 4 muestra esquemáticamente dos instalaciones de energía eólica conectadas a una red a través de un punto de conexión a red común.

La fig. 5 ilustra magnitudes de influencia que pueden influir en la sensibilidad de una instalación de energía eólica conectada a una red.

La fig. 6 muestra un diagrama como una evaluación del comportamiento de una red en el punto de conexión a red como curvas de tensión en función de la potencia reactiva alimentada y la potencia activa alimentada.

La fig. 7 muestra una sensibilidad como modificación de tensión condicionadas por modificaciones de la potencia activa en función de la potencia reactiva alimentada y normalizada.

La fig. 8 muestra una sensibilidad como modificación de tensión condicionada por la modificación en la potencia reactiva en función de la potencia reactiva y la potencia activa normalizadas.

La fig. 9 muestra un esquema de red generalizado.

La fig. 10 muestra un diagrama que ilustra una pérdida de estabilidad con una reanudación de una alimentación en un punto de trabajo modificado.

En adelante, se pueden proporcionar números de referencia idénticos para elementos similares pero no idénticos o también para elementos que se muestran solo de forma esquemática o simbólica y que pueden diferir en detalles que no son relevantes para la correspondiente explicación.

La fig. 1 muestra una instalación de energía eólica 100 con una torre 102 y una góndola 104. En la góndola 104 está dispuesto un rotor 106 con tres palas de rotor 108 y un buje 110. El rotor 106 se pone en movimiento de giro durante el funcionamiento debido al viento y, de este modo, acciona un generador en la góndola 104.

La fig. 2 muestra esquemáticamente una instalación de energía eólica 1 que está conectada a una red de suministro eléctrico 4 a través de un punto de conexión a red 2. En adelante, por simplicidad, se hará referencia a la red de suministro eléctrico 4 como red 4, de manera que estos términos deben considerarse como sinónimos.

La instalación de energía eólica 1 presenta un generador 6, que es accionado por el viento y, como consecuencia, genera energía eléctrica. En una realización, el generador 6 está formado como un generador síncrono polifásico 6 excitado eléctricamente con dos sistemas trifásicos interconectados en estrella, lo que se ilustra mediante los dos

símbolos de estrella en el generador 6 de la fig. 2. La corriente alterna así generada, en concreto, en el ejemplo mencionado de corriente alterna de 6 fases, se rectifica mediante un rectificador 8 y se transmite como una corriente continua a través de una línea de corriente continua 10 correspondiente, que puede comprender múltiples líneas individuales, desde la góndola 12, bajando por la torre 14 hasta un inversor 16. El inversor 16 genera una corriente alterna a partir de la corriente continua, es decir, en el ejemplo mostrado, una corriente alterna trifásica para alimentar a la red 4. Para ello, la tensión alterna generada por el inversor 16 todavía se debe transformar por medio de un transformador 18, para a continuación alimentar a la red 4 en el punto de conexión a red 2. El transformador 18 mostrado emplea un circuito estrella-triángulo, es decir, un circuito en estrella en el lado del primario y un circuito en triángulo en el lado del secundario, que se muestra aquí solo a modo de ejemplo de una realización. La alimentación en la red 4 puede incluir, además de la alimentación con potencia activa P, la alimentación con potencia reactiva Q, lo que se ilustra con la flecha 20. Para la alimentación específica, el inversor 16 está controlado por una unidad de control 22 correspondiente, donde también se puede combinar constructivamente la unidad de control 22 con el inversor 16. En general, la fig. 2 pretende ilustrar la estructura constructiva básica y la disposición específica de los elementos individuales también se puede elegir de manera diferente a la mostrada. Por ejemplo, el transformador 18 puede estar dispuesto fuera de la torre 14.

La unidad de control 22 controla el inversor 16, en particular, de modo que se controla la manera de alimentar a la red 4. Para ello se llevan a cabo otras tareas como adaptar a la situación de la red 4 la corriente con que se alimenta, en particular, la frecuencia, la fase y la amplitud de la tensión en la red 4. Además, la unidad de control 22 se ha previsto para que controle la proporción de potencia activa P y de potencia reactiva Q de la potencia con la que se está alimentado a la red 4 en ese momento. En este caso se realizan mediciones en la red 4, en particular, en el punto de conexión a red 2, y se evalúan de manera correspondiente. Entre otras cosas, se mide la tensión actual en la red 4, en particular en forma del valor efectivo actual de la tensión, y se compara con un valor predeterminado para la tensión, es decir, con el valor predeterminado V_{SET} .

Por consiguiente, el sistema mostrado y, en particular, el inversor 16 con la unidad de control 22, representan un sistema de control de tensión, también conocido en el lenguaje técnico del sector como «Voltage Control System», que se designa abreviado VCS.

Para el control del generador de la instalación de energía eólica están previstos un bloque de control de potencia 24 y un bloque de evaluación de potencia 26 en la zona de la góndola. El bloque de control de potencia 24 controla, en particular, la excitación, es decir, la corriente de excitación, del generador síncrono de excitación independiente en el ejemplo de la realización mostrada. El bloque de evaluación de potencia 26 evalúa la potencia suministrada al rectificador 8 y la compara con la potencia que el rectificador 8 entrega a través de las líneas de corriente continua 10 al inversor 16. El resultado de esta evaluación se pasa al bloque de control de potencia 24.

La fig. 2 ilustra también que, para una alimentación inteligente correspondiente, el sistema mostrado debe estar provisto de un sistema de control de tensión para hacer que la instalación de energía eólica funcione de la forma más estable posible durante la alimentación, en particular, para funcionar cerca de un límite de estabilidad.

La fig. 3 ilustra la conexión de una instalación de energía eólica 1' en una denominada «red débil 4». En este contexto se entiende que una red débil es una red con una impedancia elevada. Esto se ilustra en la fig. 3 mediante una impedancia en serie 5'. Además, está prevista dicha impedancia en serie 5' en una configuración de prueba que corresponde a la estructura de la fig. 3 y con la que se ha examinado el comportamiento de la instalación de energía eólica 1' en la red débil 4'.

La estructura de la fig. 3 se basa en un generador 6' accionado por el viento, y que está previsto como un generador síncrono. La potencia eléctrica generada por el generador 6' se rectifica en un rectificador 8' y se proporciona a un inversor 16' en el lado de entrada de un circuito intermedio de tensión continua con un condensador de un circuito intermedio 28'. La estructura mostrada equipara una línea de tensión continua 10' con el circuito intermedio de tensión continua en el lado de entrada del inversor 16' para simplificar la representación. De hecho, una línea de corriente continua en el lado de entrada puede ser eléctricamente idéntica a un circuito intermedio, o está previsto un convertidor elevador en el lado de entrada (no implementado aquí en detalle). El rectificador 8' y el inversor 16' también pueden estar separados físicamente entre sí, como ya se ha explicado en la fig. 2 para el rectificador 8 y el inversor 16.

Finalmente está previsto un control de excitación 24', que puede ser alimentado a partir de energía del circuito intermedio de tensión continua, representado mediante el condensador de un circuito intermedio 28'. Este control de excitación 24' controla la corriente de excitación del generador 6' excitado externamente y corresponde básicamente al bloque de control de potencia 24 de la fig. 2.

El inversor 16' puede alimentar potencia activa P y/o potencia reactiva Q. En este caso se especifica en la fig. 3 la tensión en la salida del inversor 16' como tensión de la instalación de energía eólica V_{WEC} . Para la alimentación se

transforma elevando la tensión por medio del transformador 18' y se alimenta a la red 4' en el punto de conexión a red 2'. En este caso, la red 4' también presenta un transformador de red 30' adicional. La red propiamente dicha que comienza después del transformador de red 30' se indica con el número de referencia 4". La tensión en el punto de conexión a red 2' se denomina tensión de red V_{Grid} .

5 Para ilustrar la red débil, la impedancia en serie 5' está representada antes del punto de conexión a red 2'. Esta impedancia en serie 5' está presente solo en esta configuración de prueba y/o estructura ilustrativa e indica la impedancia de red. Por lo tanto, el punto representado directamente junto al transformador 18' también puede considerarse como el punto de conexión a red 2". La distinción entre estos dos puntos de conexión a red 2' y 2" se produce solo por este uso de la impedancia en serie 5' y no se halla en redes reales.

15 La fig. 4 muestra una representación ilustrativa y esquemática adicional según la cual dos instalaciones de energía eólica 1 están conectadas a una red de suministro 4. Cada instalación de energía eólica 1 está construida básicamente como se explica en la fig. 2, es decir, con un generador 6, un rectificador 8 y una línea de corriente continua 10, que en realidad presenta al menos dos líneas individuales, en concreto para corriente positiva y negativa, lo cual también aplica para la línea de corriente continua 10 de la fig. 2. Así mismo, la instalación de energía eólica 1 presenta un inversor 16 y un transformador 18. Desde cada una de las dos instalaciones de energía eólica 1 transcurre una línea de conexión 32 a un y/o el punto de conexión a red del lado de la instalación de energía eólica 2'. Por lo tanto, estas dos instalaciones de energía eólica 1 mostradas a modo de ejemplo, que también pueden ser representativas de un

20 parque eólico con muchas más instalaciones de energía eólica, alimentan la potencia que generan conjuntamente a este punto de conexión a red del lado de la instalación de energía eólica 2'. La potencia alimentada P y la potencia reactiva alimentada Q, en caso de que la hubiera, se suministran al punto de conexión del lado de la red 2' y alimentan a la red de suministro eléctrico 4.

25 La conexión entre el punto de conexión a red del lado de la instalación de energía eólica 2' y el punto de conexión a red del lado de la red 2" no es despreciable y, por lo tanto, aparece una tensión del lado de la instalación de energía eólica V_{WP} en el punto de conexión a red del lado de la instalación de energía eólica 2', mientras que en el punto de conexión del lado de la red 2" aparece la tensión V_{Grid} .

30 Para llevar a cabo el control, se registra la tensión del lado de la instalación de energía eólica V_{WP} y se evalúa en un bloque de evaluación 34. La evaluación se lleva a cabo, en principio, de tal modo que los valores medidos se registran con el bloque de medición 36. Los resultados de la medición se suministran, entre otras cosas, al bloque de control de estabilidad 38, que también puede denominarse bloque SVCS, donde SVCS es una abreviatura derivada del término en inglés «Stability Voltage Control System». El bloque de control de estabilidad 38 calcula un valor predeterminado

35 para la potencia reactiva Q_{set} a proporcionar. Esta potencia reactiva que se debe establecer se transmite a ambas instalaciones de energía eólica 1 como el valor predeterminado correspondiente, y se transmite como una cantidad de manera correspondiente a todas las instalaciones de energía eólica. Este valor predeterminado puede transmitirse como un valor absoluto, en particular, si las instalaciones de energía eólica 1 presentan la misma magnitud y están expuestas al mismo viento. Sin embargo, también es posible emitir como valor predeterminado, por ejemplo, un valor

40 porcentual relacionado con las propiedades de la instalación de energía eólica correspondiente, como, por ejemplo, la potencia nominal de la instalación de energía eólica en cuestión.

Así mismo, el bloque de medición 36 transmite valores al bloque de observación 40, que determina estados adicionales a partir de los valores de medición determinados, como, por ejemplo, la potencia activa alimentada o la potencia reactiva alimentada, y pasa sus resultados al bloque del modelo del sistema 42. Dado el caso, el bloque de observación

45 40 también puede determinar o derivar información sobre una demanda de potencia.

El modelo del sistema del bloque del modelo del sistema 42 se utiliza para determinar una potencia máxima $P_{m\acute{a}x}$ y transmitirla a las instalaciones de energía eólica 1. Esta potencia activa máxima a alimentar también se puede

50 transmitir como un valor absoluto o un valor relativo. Cabe señalar que la ilustración del bloque de evaluación 34 pretende clarificar la estructura. En principio, no es necesario que el bloque de evaluación 34 esté físicamente constituido como un dispositivo independiente.

La potencia reactiva predeterminada Q_{set} y la potencia activa máxima $P_{m\acute{a}x}$ se asignan al bloque de control FACTS 44 de cada instalación de energía eólica 1. El término «FACTS» también es común en el lenguaje técnico del sector y es una abreviatura de «Flexible AC Transmission System» (sistema de transmisión flexible de corriente alterna). El bloque de control FACTS 44 aplica los valores predeterminados y controla correspondientemente el inversor 16, donde puede tener en cuenta también los valores medidos de los estados de la instalación de energía eólica.

60 En particular, pero no exclusivamente, los requisitos relevantes desde el punto de vista de la estabilidad para una alimentación estable en la red 4 se pueden realizar mediante el bloque de evaluación 34. En particular se puede predeterminar un punto de trabajo, que sea favorable con vistas a la cantidad de energía a alimentar o nivel de potencia

y estabilidad. En particular, en este caso se puede predeterminar un punto de trabajo con una reserva de estabilidad. En este sentido, el bloque de control de estabilidad 38 puede lograr un margen de estabilidad con respecto a la potencia reactiva a alimentar mediante un valor predeterminado correspondiente de la potencia reactiva Q_{set} .

- 5 La fig. 5 ilustra la sensibilidad de una red conectada a la instalación de energía eólica y las magnitudes de influencia empleadas para ello. El bloque de red 50 de la fig. 5 es representativo del comportamiento de la red, concretamente en el punto de conexión a red. El bloque de red 50 ilustra que la red puede responder a influencias a través de un cambio de tensión. Como influencias se ilustran, en este caso, las modificaciones de la potencia activa ΔP y la modificación de la potencia reactiva ΔQ . El bloque de potencia activa 52 tiene en cuenta la influencia de las
- 10 modificaciones de potencia, mientras que el bloque de potencia reactiva 54 tiene en cuenta la influencia de las modificaciones de la potencia reactiva. El bloque de potencia activa 52 muestra una derivada parcial de la tensión respecto de la potencia activa y, en consecuencia, el bloque de potencia reactiva 54 muestra una derivada parcial de la tensión respecto de la potencia reactiva. Esta es una posibilidad para tener en cuenta la correspondiente dinámica del comportamiento de la red, o sea, de la sensibilidad de red, es decir, las reacciones a las modificaciones de la
- 15 potencia activa y de la potencia reactiva a través de las derivadas parciales correspondientes, cuyo resultado se suma en el bloque sumador 56.

- Por lo tanto, el bloque de red 50, junto con el bloque sumador 56, tiene en cuenta la dependencia de la tensión de la red en el punto de conexión a red con respecto a dos magnitudes que son la potencia activa y de la potencia reactiva.
- 20 Aquí la dependencia se tiene en cuenta a través de las dos derivadas parciales.

- Las modificaciones en la potencia activa se producen, en particular, por modificaciones en la velocidad del viento ΔV_W , que actúan sobre el bloque de la instalación de energía eólica 58. Este bloque de la instalación de energía eólica 58 ilustra la influencia de la modificación de la velocidad del viento ΔV_W sobre la modificación de la potencia activa
- 25 ΔP . No obstante, también se debe tener en cuenta el control de la instalación de energía eólica; y precisamente con este bloque 58 se tiene en cuenta.

- Aunque la modificación de la potencia reactiva ΔQ también puede depender de la instalación de energía eólica, o al menos del control de la instalación de energía eólica, esta se rige por otras relaciones que son esencialmente
- 30 independientes de la velocidad del viento. Su modificación se ilustra a través del bloque de control 60. En este sentido, este bloque de control 60 se divide, por claridad, en el bloque de ajuste de potencia reactiva 62 y el bloque FACTS 64. El bloque de control 60 y, por lo tanto, el bloque de ajuste de potencia reactiva 62 son, en principio, dependientes de una desviación de la tensión ΔV , es decir, en el punto de conexión a red, menos una desviación de tensión predeterminada ΔV_{set} . En base a esta desviación de tensión resultante, el bloque de ajuste de potencia reactiva 62
- 35 determina la potencia reactiva a alimentar y/o, dependiendo de una modificación de la tensión, una modificación predeterminada de la potencia reactiva a alimentar. Esto se transfiere al bloque FACTS 64, que realiza una conversión correspondiente de la alimentación de la potencia reactiva y/o de la variación de la alimentación de la potencia reactiva.

- El bloque de la instalación de energía eólica 58 y el bloque de control 60 también pueden entenderse como función
- 40 de transferencia de la respectiva magnitud de entrada y/o el bloque de ajuste de potencia reactiva 62 y el bloque FACTS 64 pueden entenderse respectivamente como funciones de transferencia individuales, que están concatenadas en el bloque de control 60.

- La fig. 6 muestra, para una realización, una dependencia de la tensión en el punto de conexión a red en función de la
- 45 potencia reactiva Q alimentada y de la potencia activa P alimentada. La potencia reactiva Q se normaliza a la potencia de cortocircuito S_{SC} de la red en el punto de conexión a red examinado y se representa gráficamente en el eje de abscisas. La potencia P también se normaliza a la potencia de cortocircuito S_{SC} del mismo punto de conexión a red y se representa gráficamente en el eje de ordenadas. La tensión V_{PCC} es la tensión en el punto de conexión a red normalizado a la tensión nominal V_N . Esta tensión normalizada en el punto de conexión a red se representa
- 50 gráficamente para diferentes valores, en cada caso como un gráfico en función de la potencia reactiva Q normalizada y la potencia activa P normalizada. De manera correspondiente, el gráfico y/o la curva característica con el valor 1 es la curva característica que representa a qué valores de potencia reactiva y potencia activa se establece la tensión nominal.

- 55 Por ejemplo, la tensión nominal se establece, cuando se alimenta un 10 % de potencia reactiva Q y un 50 % de potencia activa P (porcentajes respecto a la potencia de cortocircuito S_{SC}).

- El gráfico de la fig. 6 muestra las propiedades de un punto de conexión a red de una red con una impedancia elevada, al menos con respecto a este punto de conexión a red.

- 60 Típicamente, para el punto de conexión a red ilustrado de la red de ejemplo, se realizaría una alimentación aproximadamente en el rango de funcionamiento estándar 200. Por lo tanto, se produciría una alimentación con una

potencia activa P de aproximadamente el 10 % de la potencia de cortocircuito S_{SC} , con una alimentación de potencia reactiva de aproximadamente el 5 % de la potencia de cortocircuito S_{SC} . Suponiendo idealmente que la potencia activa P alimentada corresponda con la potencia nominal y/o la potencia de conexión del generador y/o la suma de los generadores conectados al punto de conexión a red, la alimentación sería el 10 % de la potencia de cortocircuito S_{SC} equivalente, de modo que la potencia de conexión P_{Gen} sería el 10 % de la potencia de cortocircuito S_{SC} . Por lo tanto, existe una relación de corriente de cortocircuito $Scr = S_{SC}/P_{Gen}$ de aproximadamente 10. Esto corresponde aproximadamente con el punto medio de la zona de funcionamiento estándar 200 ilustrada. En la fig. 6, para que sirva de orientación, se muestran otras relaciones de corriente de cortocircuito Scr como líneas cortas; en particular, se muestran para los valores de Scr de 10; 6; 4; 2 y 1,5.

10

Según la invención se propone alimentar claramente más potencia activa P, concretamente en el rango del 60 al 70 % de la potencia de cortocircuito S_{SC} . Correspondientemente, para ello se debe prever la alimentación del 20 al 30 % de potencia reactiva Q referido a la potencia de cortocircuito S_{SC} , a fin de mantener la tensión en el rango del 100 al 110 % de la tensión nominal en el punto de conexión a red. Aquí se indica por precaución que la alimentación del 110 % de la potencia nominal en el punto de conexión a red no significa que en el consumidor se pueda medir una tensión elevada del 110 %. Por un lado, habitualmente todavía se sitúa una sección de red no despreciable entre el punto de conexión a red y el primer consumidor relevante, por otro lado, en la red también pueden estar previstos, por ejemplo, transformadores con tomas que pueden efectuar una compensación en ciertos límites. Las medidas que en consecuencia habría que implementar, y que dependen en gran medida de la red (incluidos los consumidores y los generadores) y de otras condiciones de contorno diversas, no pueden abordarse en el contexto de esta solicitud. Generalmente, las medidas necesarias son conocidas para un experto en la materia.

15

20

Este rango propuesto se muestra en la fig. 6 como un rango de funcionamiento elevado 210. En este rango de funcionamiento elevado hay aproximadamente una relación de corriente de cortocircuito Scr de 1,5. Hasta ahora nunca se había conectado a la red ningún generador digno de mención con tal relación de corriente de cortocircuito.

25

La representación de la fig. 6 es el resultado de un análisis de red de la red subyacente referido al punto de conexión a red observado. Para ello, tal y como se ha explicado al inicio, se ha efectuado un análisis de los elementos relevantes en la red y se ha determinado respectivamente mediante la resolución de la matriz de Jacobi. En este caso, la representación que se encuentra en la fig. 6, expresada de forma simplificada como las curvas características de la derecha, o sea, con una mayor potencia reactiva Q alimentada, también reflejan tensiones crecientes en el punto de conexión a red. A medida que la potencia reactiva Q disminuye, es decir, a medida que nos desplazamos a la izquierda, disminuye la tensión en el punto de conexión a red. En este caso, la potencia reactiva Q no puede disminuir arbitrariamente y para una potencia reactiva Q demasiado pequeña (ya negativa), dependiendo de la potencia activa P asociada, la matriz de Jacobi se vuelve singular, por lo que no se puede resolver matemáticamente. Una matriz de Jacobi singular significa que nos encontramos ante un estado inestable. En consecuencia, existe un límite de estabilidad 202, que se muestra en la parte ubicada más a la izquierda de la representación de la fig. 6. La región situada a la izquierda del límite de estabilidad 202, es decir, la que presenta una potencia activa P mayor y/o una potencia reactiva Q menor, es la región inestable 204. De forma puramente preventiva, para evitar confusiones, cabe aclarar que el límite de estabilidad 202 no intersecta con una sola curva característica de un valor de tensión en el punto de conexión a red, sino que más bien parece que la familia de curvas características lo podría cortar. De hecho, la familia de curvas características no puede cortar, porque más allá del límite de estabilidad 202 no hay valores y, por lo tanto, tampoco una familia de curvas características.

30

35

40

El rango de funcionamiento preferido ahora, es decir, el rango de funcionamiento aumentado 210, en principio tiene una separación menor hasta el límite de estabilidad 202 que el rango de funcionamiento estándar 200. Sin embargo, debe observarse que hasta el momento no se han realizado consideraciones ni análisis concretos con respecto a las propiedades de red tal y como se refleja en la fig. 6. En particular, no se conocía, o al menos no se conocía con la calidad indicada y la cantidad indicada en la fig. 6, la separación a un límite de estabilidad 202 de la forma en que se muestra en la fig. 6. Mejor dicho, en la instalación de grandes centrales eléctricas se ha orientado al criterio de la relación de corriente de cortocircuito y esta se selecciona tan grande como sea posible, preferentemente por encima o incluso claramente por encima de 10. Los pequeños generadores, como instalaciones de energía eólica, de nuevo se han conectado hasta ahora habitualmente en redes fuertes, que sin más pudieron resistir la conexión de otra instalación de energía eólica. Como resultado, esto hace que se produzca también una conexión, de forma intencionada o no, con una alta relación de corriente de cortocircuito S_{SC} .

50

55

La solución propuesta analiza primero exactamente la red en relación con el punto de conexión a red previsto, en particular tomando relaciones cuantitativas como se muestra en la fig. 6 (y preferentemente en las figuras 7 y 8 posteriores donde se clarifica aún más). En particular, este tipo de análisis se lleva a cabo planteando y resolviendo repetidamente la matriz de Jacobi para varios puntos. Sobre la base de dicho análisis de red se puede establecer un límite de estabilidad según el límite de estabilidad 202, así como también se puede seleccionar un rango de funcionamiento deseado según el rango de funcionamiento elevado 210 de la fig. 6.

60

Complementariamente se propone que la regulación de la instalación de energía eólica se lleve a cabo en forma de lazo de regulación cerrado, como se muestra, en particular, en la fig. 2 o también en la fig. 4. En la fig. 2, el lazo de regulación consiste esencialmente en el inversor 16, el transformador 18 y la unidad de control 22; dicho lazo tiene en cuenta los valores medidos en el punto de conexión a red 2 y controla el inversor 16, ajustando así la potencia activa P y la potencia reactiva Q alimentadas según la flecha 20. Aunque la regulación también puede tener un efecto sobre el control de la instalación de energía eólica en la zona del generador 6, en principio el lazo de regulación descrito puede funcionar con el inversor 16, el transformador 18 y la unidad de control 22 sin elementos mecánicos, pudiendo reaccionar de manera sumamente rápida. Para ello, se puede tener en cuenta el conocimiento de las propiedades de red en el punto de conexión a red, es decir, el punto de conexión a red 2 según la fig. 2, en particular en la unidad de control 22. Por consiguiente, se puede implementar una regulación rápida, que a este respecto conoce el comportamiento de la red en el punto de conexión, en particular el límite de estabilidad. De este modo es posible hacer funcionar la instalación de energía eólica o el parque eólico -eventualmente también otros generadores- en un rango de funcionamiento deseado, como el rango de funcionamiento elevado 210 de la fig. 6 y garantizar a este respecto tanto una elevada estabilidad y seguridad.

Las figuras 7 y 8 muestran la sensibilidad de la tensión en función de la potencia reactiva Q y de la potencia activa P. Para ello, ambas figuras 7 y 8 utilizan los mismos valores en los ejes de abscisas y ordenadas, es decir, la potencia reactiva normalizada en el eje de abscisas y/o la potencia activa normalizada en el eje de ordenadas.

La sensibilidad de la tensión mostrada es la variación de la tensión con la variación de la potencia activa según la fig. 7 y/o la variación de la tensión con la potencia reactiva según la fig. 8. En otras palabras, en la fig. 7 se muestra la derivada parcial de la tensión en el punto de conexión a red respecto de la potencia activa, mientras que en la fig. 8 se muestra la derivada parcial de la tensión respecto de la potencia reactiva. Por lo tanto, la fig. 7 muestra el comportamiento del bloque de potencia activa 52 de la fig. 5. La fig. 8 muestra el comportamiento del bloque de potencia reactiva 54 de la fig. 5, mostrándose en ambos casos la representación en función de los puntos de funcionamiento, los cuales se determinan respectivamente a través de la potencia reactiva Q y la potencia activa P alimentadas en ese momento. Los valores de las respectivas curvas características se refieren a un punto de conexión a red con una potencia de cortocircuito $S_{SC} = 3,73$ MVA en el que se deben conectar, por ejemplo, dos instalaciones de energía eólica con una potencia nominal de 2 MW cada una. Por lo tanto, con esta disposición de prueba se podrían llevar a cabo las pruebas para una relación de corriente de cortocircuito de un poco menos de 1. No obstante, para las pruebas realizadas se utilizó la potencia actual del parque eólico de prueba como base y se definió como potencia de conexión del parque eólico objetivo, es decir, del parque eólico (ficticio) a examinar.

En relación con la presente realización, es decir, la configuración de ejemplo, se describe en cada caso la variación de la tensión normalizada con respecto a una variación de la potencia P en MW y/o una variación de la potencia reactiva Q en MVar. En las figuras 7 y 8 se muestra, además, el rango de funcionamiento 210 deseado, es decir, el aumentado. Por consiguiente, la sensibilidad de la tensión con respecto a las variaciones de la potencia activa, según la fig. 7, está comprendida aproximadamente entre menos 0,2 y menos 0,4. La sensibilidad de la tensión en el rango de funcionamiento elevado 210 con respecto a las variaciones de la potencia reactiva, según la fig. 8, está comprendida aproximadamente entre 0,3 y 0,5. Por lo tanto, para el dimensionamiento de la instalación de energía eólica a conectar al punto específico de conexión de red, se propone tener en cuenta esta sensibilidad de la tensión con respecto a las variaciones de la potencia activa, como se muestra a modo de ejemplo en la fig. 7 y/o con respecto a las variaciones en la potencia reactiva, como se muestra a modo de ejemplo en la fig. 8, y tenerla en cuenta en el control. En particular, estos valores también deben tenerse en cuenta para el control y preferentemente también para el dimensionamiento del control. Preferentemente, se selecciona una ganancia del regulador que dependa de la sensibilidad, en particular, de la sensibilidad de la tensión.

En particular, se propone tener en cuenta estos valores en el circuito de regulación de lazo cerrado, como se muestra esquemáticamente mediante los elementos mostrados en la fig. 2: el inversor 16, el transformador 18 y unidad de control 22. En este caso se depende menos del transformador 18, aunque en ocasiones tendría que estar presente y ser necesario para poder alimentar una alta tensión correspondiente en el punto de conexión a red 2, en particular se tienen en cuenta los conocimientos sobre la sensibilidad a tensión en la unidad de control 22. Por lo tanto, conociendo estos valores, se puede diseñar e implementar un control y/o regulación a medida para el punto de conexión a red concreto. Por lo tanto, es posible disminuir los grandes valores que se usaban hasta ahora para la relación de corriente de cortocircuito de 10 e incluso mayores y proporcionar valores bajos, como, por ejemplo, un valor de 1,5 para la relación de corriente de cortocircuito, y así operar la instalación de energía eólica en el rango de funcionamiento elevado 210, que en las figuras 6 a 8 se muestra con fines ilustrativos.

Por lo tanto, la invención propone, en particular, no conectar una instalación de energía eólica ni, en última instancia, tampoco un parque eólico según el antiguo principio de funcionamiento en paralelo de la red, suponiendo que la capacidad de la red es suficiente, sino más bien evaluar específicamente el punto de conexión y considerar estos

hallazgos por adelantado y a continuación conectar ahí una instalación de energía eólica o parque eólico a medida. En este caso, preferentemente el control y/o la regulación y también el rango de funcionamiento a elegir también se implementan a medida, en particular con respecto a la potencia reactiva Q a alimentar y la potencia activa P a alimentar, y se dispone más cerca de un límite de estabilidad de lo que se ha estado haciendo hasta ahora en este campo de la técnica. En este caso se aplican específicamente las ventajas de una instalación de energía eólica, en concreto en lo que respecta a las variaciones, en particular para poder reaccionar rápida y específicamente a variaciones de estados de la red. Así, para la conexión de instalaciones de energía eólica en la red se evita en cualquier caso un sobredimensionamiento masivo de la red, en particular del punto de conexión a red concreto. No obstante, la estabilidad se puede mantener o incluso mejorar si el control y/o la regulación conoce(n) con mucha exactitud las propiedades del punto de conexión a red y/o de la red respecto al punto de conexión a red y además observan los estados de la red.

De forma puramente preventiva, para evitar confusiones, cabe aclarar que se entiende que una regulación es básicamente un circuito de regulación cerrado con realimentación, entendiéndose que un control básicamente designa un «circuito de regulación» abierto, es decir, una situación sin realimentación. No obstante, un bloque de control, que a su vez implementa un procedimiento de control, puede usarse en un lazo de regulación. Para el ejemplo de la fig. 2 esto significa que la unidad de control 22 es un control en la medida en que presenta una determinada función de control o función de transferencia, que también puede ser no lineal y/o discontinua y/o puede incluir varias magnitudes. Dicho esto, esta unidad de control se usa en el circuito de regulación que se muestra en la fig. 2 y básicamente comprende junto con la unidad de control 22, el inversor 16, el transformador 18 y finalmente una unidad de medición en el punto de conexión a red 2 con unidad de comparación 23. La unidad de control 22 controla, por lo tanto, el inversor y participa para ello en el circuito de regulación cerrado y, por consiguiente, forma parte de una regulación.

La fig. 10 muestra esquemáticamente en un diagrama superior una curva de tensión en un punto de alimentación en función del tiempo. El diagrama inferior muestra correspondientemente la curva de potencia activa P alimentada respecto al mismo tiempo. Por tanto, en el instante t_b está presente una tensión V con el valor V_0 . Esta tensión V_0 es una tensión normal y puede ser, por ejemplo, la tensión nominal en el punto correspondiente. Simultáneamente se alimenta una potencia P , que se corresponde aproximadamente con el valor deseado P_0 , lo que puede ser, por ejemplo, la potencia nominal de la instalación de energía eólica en cuestión, siempre y cuando esté presente en particular viento suficiente. La potencia alimentada P puede presentar pequeñas fluctuaciones, lo que no es importante aquí. En principio, la instalación de energía eólica subyacente -también entra en consideración un parque eólico- se hace funcionar en un punto de trabajo en el que se alimenta esta potencia activa P aproximadamente con el valor P_0 .

Si ahora aparecen problemas de estabilidad, por ejemplo, la tensión V puede comenzar a fluctuar y volverse inestable. La fig. 10 muestra para ello en el diagrama superior a modo de ejemplo una fluctuación de la tensión, hasta que la tensión V finalmente queda por debajo de un valor límite V_{min} . Pero este quedar por debajo también se puede producir sin una fluctuación anterior. En cualquier caso, la tensión V queda por debajo de este valor de tensión V_{min} en el momento t_f . La alimentación se interrumpe acto seguido y la tensión V cae al valor 0. Simultáneamente la tensión P alimentada cae a 0.

Ahora se intenta iniciar de nuevo la alimentación tan rápido como sea posible. En este sentido, en el momento t_R se inicia de nuevo la alimentación y la potencia P alimentada se eleva lo antes posible y tan rápido como sea posible. Correspondientemente la tensión V también aumenta de nuevo en el momento t_R . Idealmente la tensión V salta con la alimentación de la primera potencia activa P al valor nominal V_0 . Pero esta curva dibujada de forma idealizada también puede ocurrir de otra forma.

Para poder iniciar de nuevo la alimentación de potencia activa P lo más rápido posible, la instalación de energía eólica también permanece conectada con la red a ser posible directamente tras aparecer el fallo en el instante t_f , de modo que en el tiempo t_f a t_R no se alimenta potencia P , pero la instalación permanece conectada con la red. Un estado semejante se designa aquí como modo de potencia cero o así denominado «Zero Power Mode», ZPM.

Por consiguiente, es posible iniciar de nuevo la alimentación lo más rápido posible y elevar la potencia activa P alimentada. Pero ahora se propone elevar esta potencia activa P alimentada solo hasta una potencia P_{Limite} menor delimitada, es decir, limitada. En este sentido, la instalación de energía eólica se hace funcionar en el momento t_L en un punto de funcionamiento limitado. Este punto de trabajo delimitado se representa aquí en particular mediante la potencia activa P alimentada reducida. La instalación de energía eólica adopta por consiguiente un punto de funcionamiento estabilizado, modificado, que presenta en particular una distancia de estabilizada más elevada, también designada como reserva de estabilidad, respecto a un límite de estabilidad. La instalación de energía eólica ya puede contribuir de nuevo por consiguiente al soporte de red, lo que se realiza con el precio de una potencia activa P alimentada menor.

El punto de trabajo, que aquí se alcanza esencialmente en el momento t_L , se diferencia del punto de trabajo, en tanto

que la instalación de energía eólica se hace funcionar antes del momento t_F , mediante una potencia activa modificada. Pero los puntos de trabajo se pueden diferenciar también adicionalmente o en lugar de ello en otros parámetros, en particular en la potencia reactiva alimentada.

- 5 El tiempo del momento t_F de la pérdida de estabilidad hasta la reanudación de la alimentación en el momento t_R se designa como tiempo de reanudación T_W . Por consiguiente, es válido: $T_W = t_R - t_F$. El tiempo de la reanudación en el momento t_R hasta alcanzar el valor de potencia limitado en el momento t_L se designa como tiempo de T_H . Por consiguiente, es válido $T_H = t_L - t_R$.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar un generador (1) de energía eléctrica conectado a un punto de conexión a red (2) en una red de suministro eléctrico (4), que comprende las siguientes etapas:
- 5 - alimentación de potencia eléctrica en la red de suministro eléctrico (4), donde el generador se hace funcionar en un primer punto de trabajo,
 - interrupción de la alimentación, de modo que no se alimenta potencia en la red de suministro (4), cuando está presente o se muestra una perturbación en la red de suministro eléctrico (4) o una perturbación de la alimentación en la red de suministro eléctrico (4),
- 10 -reanudación de la alimentación, de modo que la potencia eléctrica se alimenta de nuevo en la red de suministro (4), caracterizado porque
 el generador (1) reanuda la alimentación en un segundo punto de trabajo o sube a este segundo punto de trabajo y el segundo punto de trabajo está diseñado frente al primer punto de trabajo de modo que se alimenta en la red de suministro (4) con una mayor reserva de estabilidad, y donde el generador (1) permanece conectado con la red de suministro (4) durante la interrupción de la alimentación, donde
- 15 en primer lugar, se ajusta la potencia reactiva, a saber, al valor del primer o segundo punto de trabajo, para de este modo conseguir dar un soporte de red, y a continuación se ajusta la potencia activa, a saber, se eleva, y donde la potencia reactiva y la potencia activa se ajustan o elevan respectivamente por medio de una función de rampa temporal, y las funciones de rampa están seleccionadas de modo que valor de potencia reactiva del segundo punto
- 20 de trabajo se alcanza antes que el valor de potencia activa del segundo punto de trabajo y/o que el valor de potencia reactiva del primer punto de trabajo se alcanza antes que el valor de potencia activa del primer punto de trabajo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque
- 25 el generador (1) es un generador descentralizado (1) y/o una instalación de energía eólica (1) o un parque eólico que comprende varias instalaciones de energía eólica (1) y/o porque el generador (1) para la alimentación usa una alimentación basada en tensión (VSC) y/o porque el generador (1) queda en funcionamiento durante la interrupción de la alimentación.
- 30 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque
 el generador (1) alimenta menos potencia activa y/o menos potencia reactiva en la red de suministro (4) en el segundo punto de trabajo que, en el primer punto, donde preferentemente
- 35 - la potencia activa se reduce al menos el 10 %, en particular al menos el 20 %, o
 - la potencia reactiva se reduce al menos el 10 %, en particular al menos el 20 %.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque
- 40 durante la reanudación de la alimentación se ajusta, en particular eleva, la potencia activa alimentada con una curva predeterminada, en particular en forma de rampa, y a este respecto la potencia reactiva alimentada se guía de forma acompañante de modo que actúa estabilizando la tensión, donde la potencia reactiva se guía en particular en base a una característica de red registrada anteriormente de la red de suministro eléctrico.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque
- 45 - la reanudación (T_w) de la alimentación se realiza en un tiempo de reanudación predeterminado después de la interrupción, y preferentemente se selecciona un tiempo de reanudación (T_w) menor de 10 s y/o porque
 -durante la reanudación se sube en un tiempo de subida predeterminado (T_H) en el segundo punto de trabajo.
- 50 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque
 la reserva de estabilidad es
- una diferencia más pequeña entre la potencia reactiva alimentada y la potencia reactiva de un límite de estabilidad (202),
- 55 - una diferencia más pequeña entre la potencia activa alimentada y la potencia activa del límite de estabilidad (202) o
 - una diferencia más pequeña entre la tensión en el punto de conexión a red (2) y la tensión en el límite de estabilidad (202),
 o se calcula dependiente de al menos una de estas diferencias, en particular se calcula a partir de al menos una de
- 60 estas diferencias, donde el límite de estabilidad (202) es en particular
 - una función de la tensión de red en el punto de conexión a red (2) en función de la potencia reactiva alimentada y/o en función de la potencia reactiva alimentada, y/o

- el límite de estabilidad (202) se da como superficie curvada en un espacio fijado por la tensión de red en el punto de conexión a red (2), la potencia reactiva alimentada y la potencia activa alimentada, y/o
- el límite de estabilidad es una función de la potencia activa alimentada en función de la potencia reactiva alimentada o a la inversa.

5

7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque

la interrupción de la alimentación se realiza cuando

- en el punto de conexión a red (2) aparece o se genera una pérdida de estabilidad de la red de suministro (4) y/o de la alimentación en la red de suministro (4),
 - se ha detectado una sobrecorriente en la red de suministro (4) y/o en el punto de conexión a red (2),
 - se ha detectado un fallo, en particular un cortocircuito, en la red de suministro (4),
 - se ha detectado una caída de tensión en la red de suministro (4) y/o en el punto de conexión a red (2),
 - se han efectuado conmutación de red y/o escalonamientos de transformadores en la red de suministro,
- 15 - aparecen ráfagas extremas.

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque

al detectar una pérdida de estabilidad que amenaza el punto de conexión a red (2) y/o al reanudar la alimentación,

- se conmuta de un control normal a un control de estabilización, que controla el generador en comparación al control normal con estabilidad elevada,
 - la potencia activa a alimentar del generador (1) se limita a un valor menor que un valor máximo del generador (1), en particular a un valor menor que una potencia nominal del generador (1), y/o
 - como generador (1) está previsto un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica (1) y se conmuta de un o el control normal a un control de parque central, que controla las instalaciones de energía eólica (1) en el
- 25 parque eólico de forma coordinada, a fin de contrarrestar de este modo una pérdida de estabilidad.

9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque

- se conserva la conmutación al control de estabilidad, la limitación de la potencia activa y/o el uso del control de parque central hasta que se ha detectado que ya no supone una amenaza la pérdida de estabilidad.

10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque

- tras la detección de una pérdida de estabilidad que amenaza en el punto de conexión a red (2) y/o tras la reanudación de la alimentación mediante una señal externa de un o el control de estabilidad se vuelve a poner un o el control de generador en un o el control normal y/o se anula una o la limitación de la potencia activa alimentada.

11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque

- está previsto un parque eólico con varias instalaciones de energía eólica (1), cada instalación de energía eólica (1) forma un generador (1) y tras la interrupción de la alimentación de una o algunas instalaciones de energía eólica (1), estas reanudan individualmente la alimentación y en particular respectivamente conmutan de un control normal a un control de estabilización, que controla la respectiva instalación de energía eólica
- 45 en comparación al control normal con estabilidad elevada.

12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque

la reanudación se realiza cuando la perturbación todavía está presente total o parcialmente.

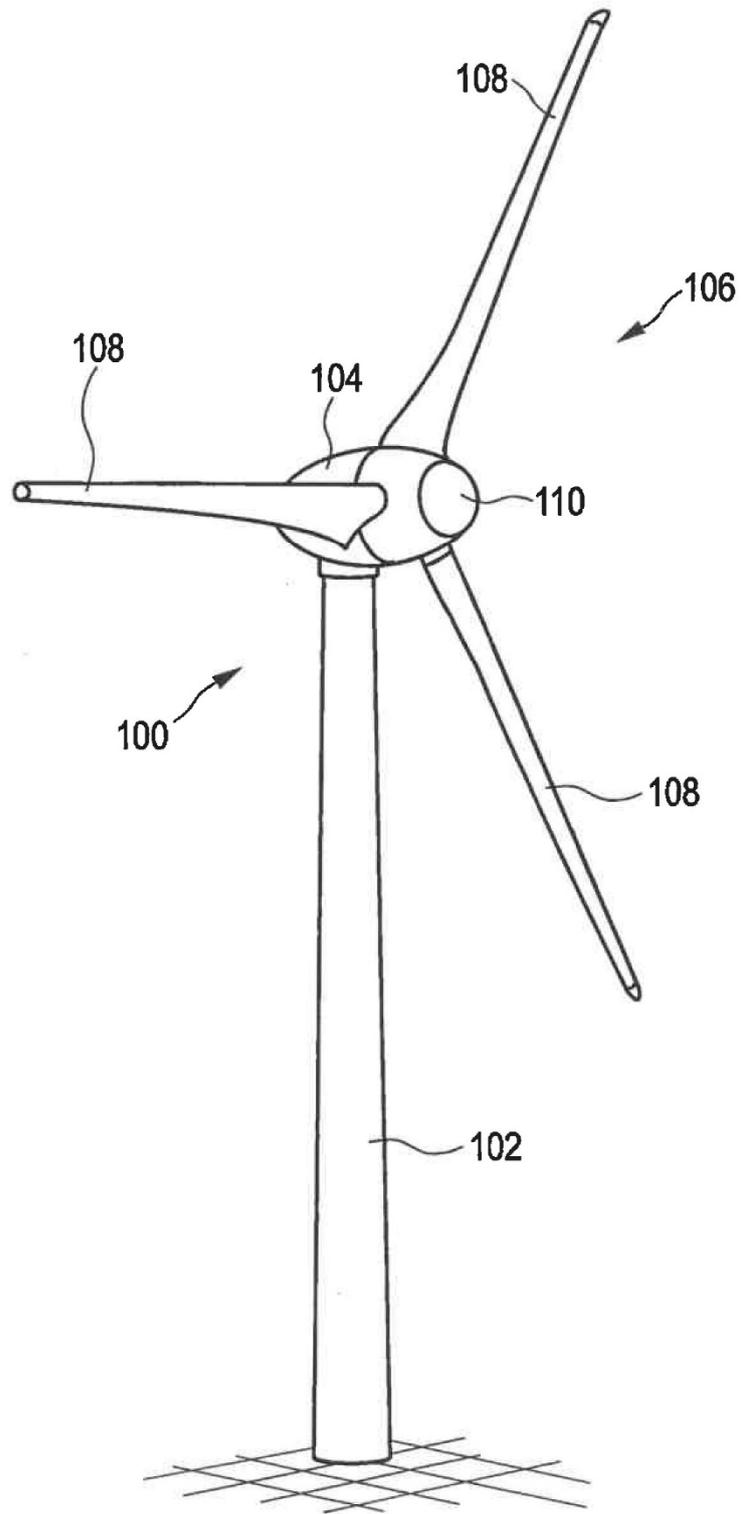


Fig. 1

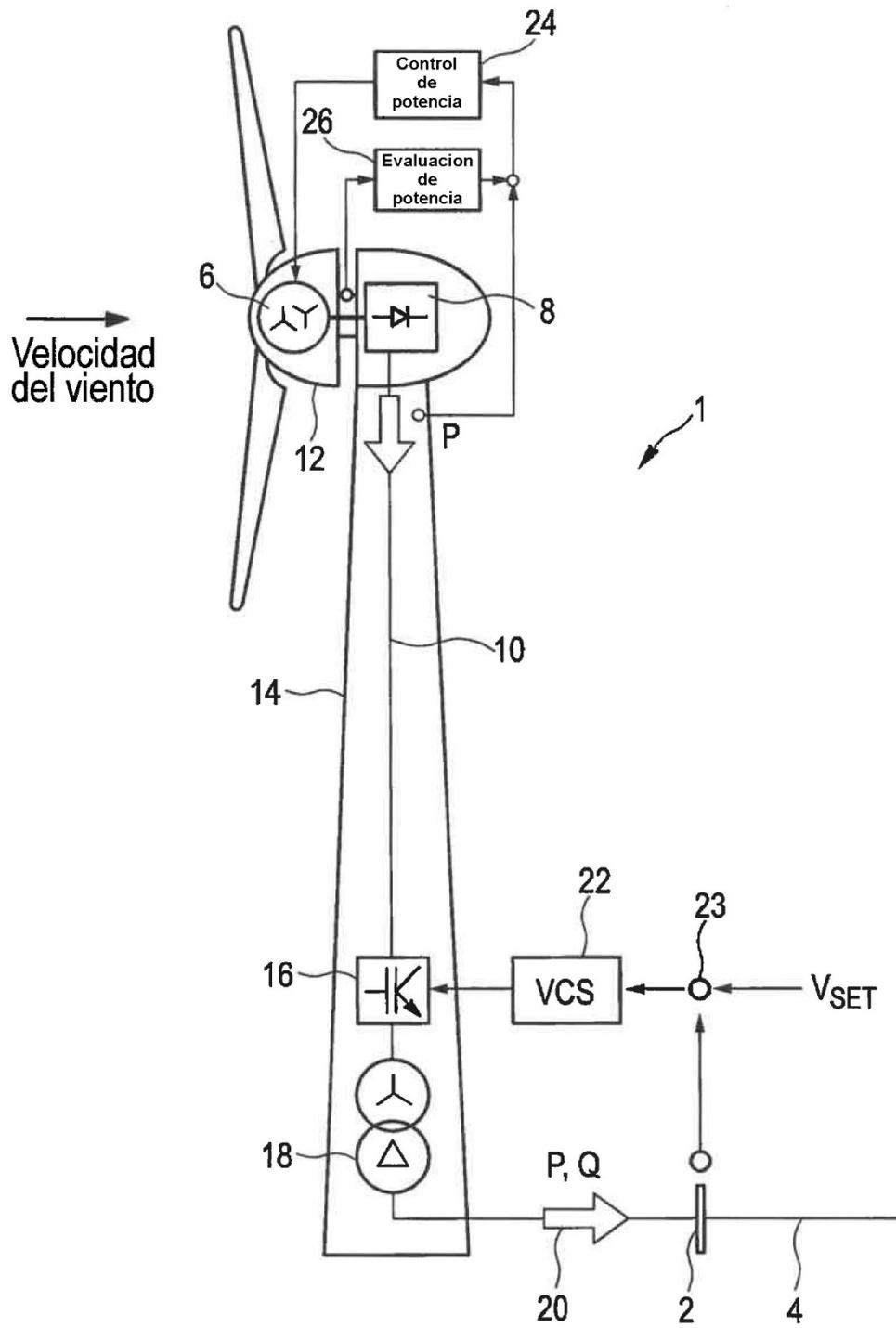


Fig. 2

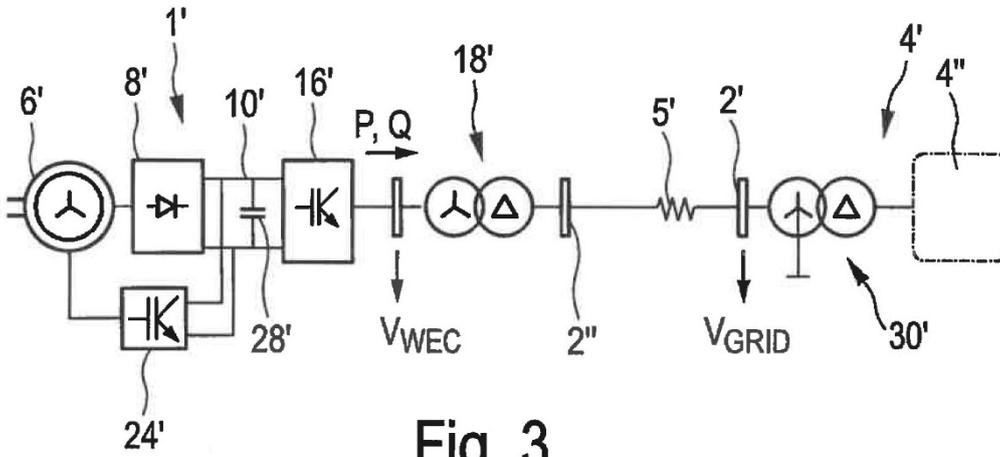


Fig. 3

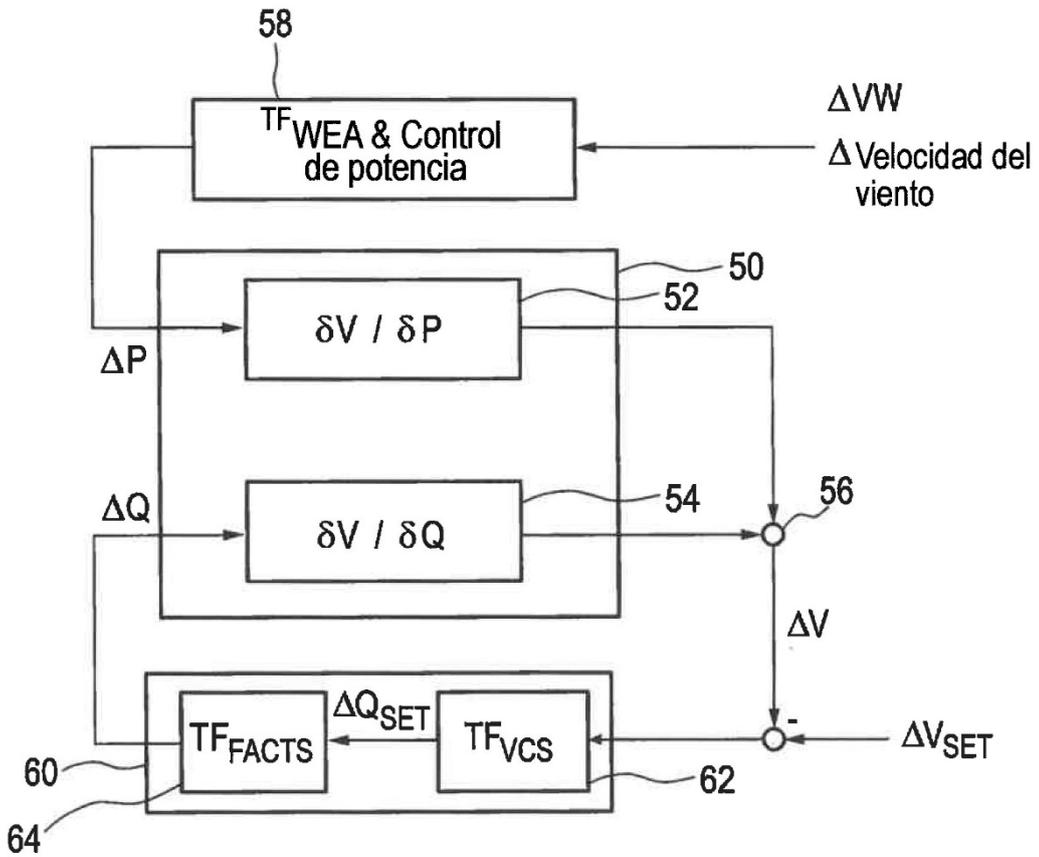


Fig. 5

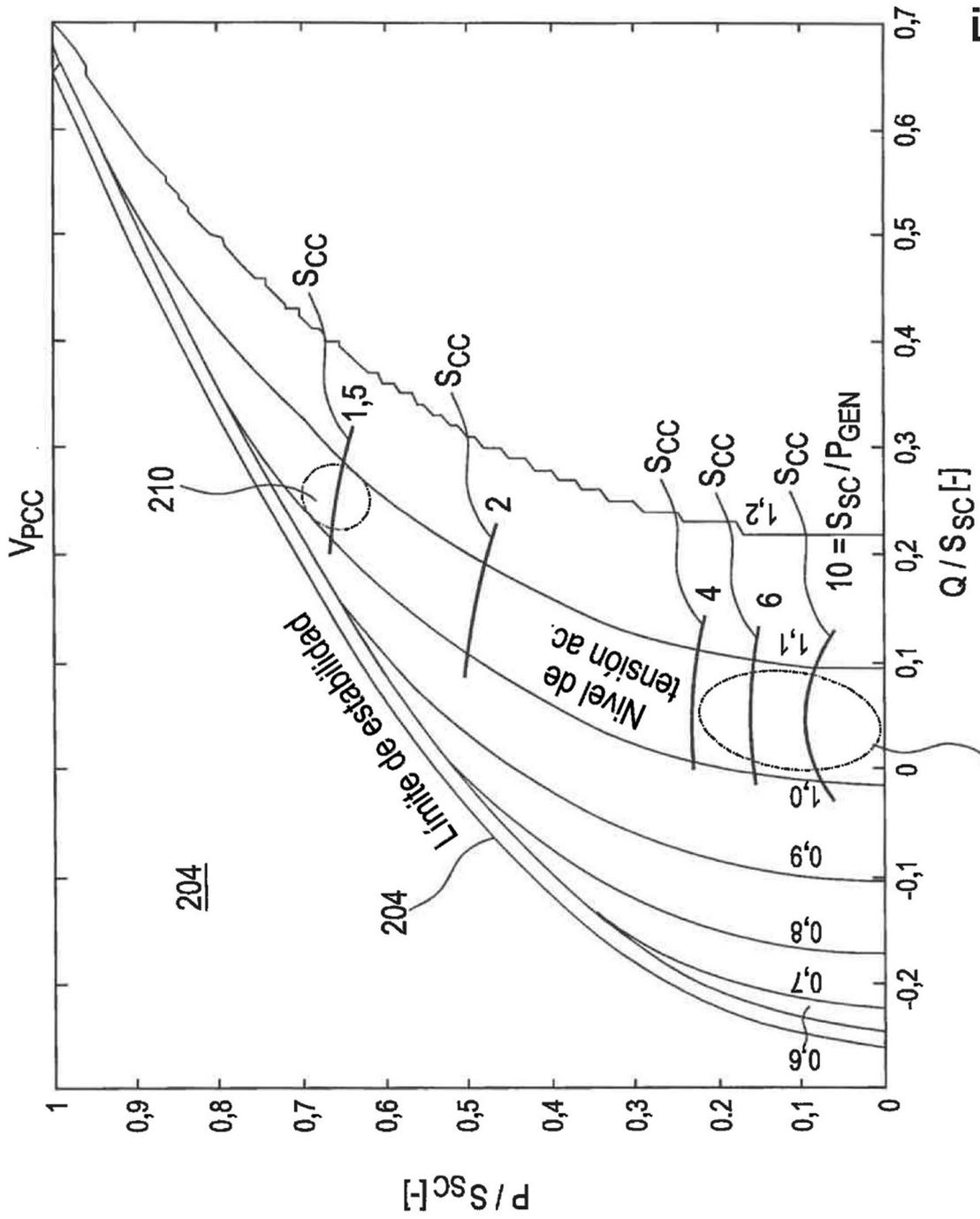


Fig. 6

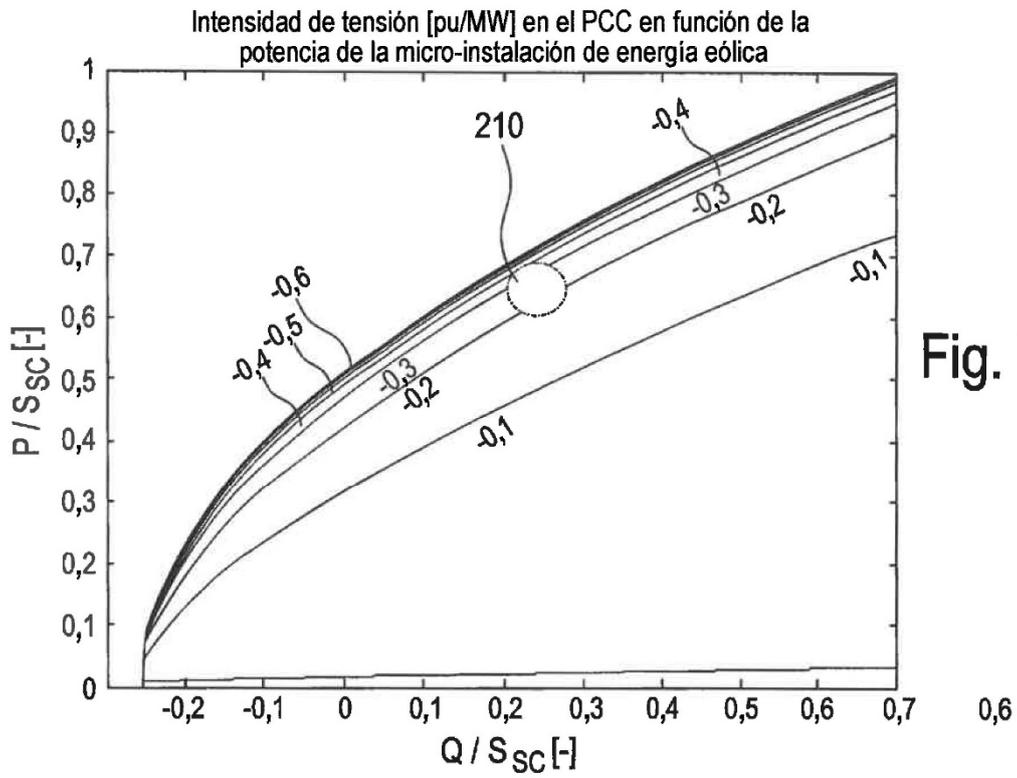


Fig. 7

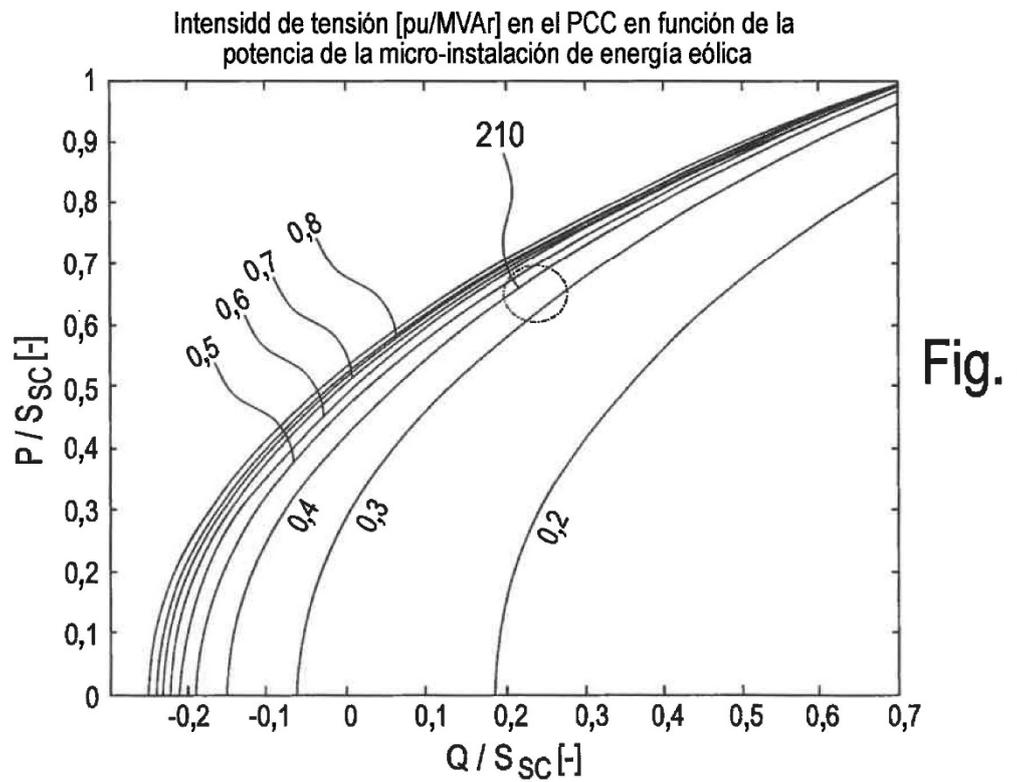


Fig. 8

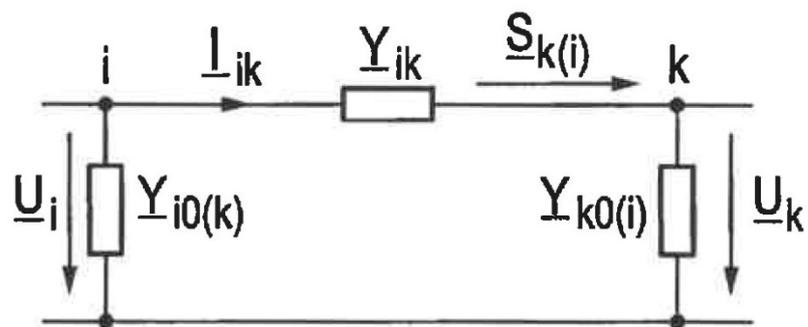


Fig. 9

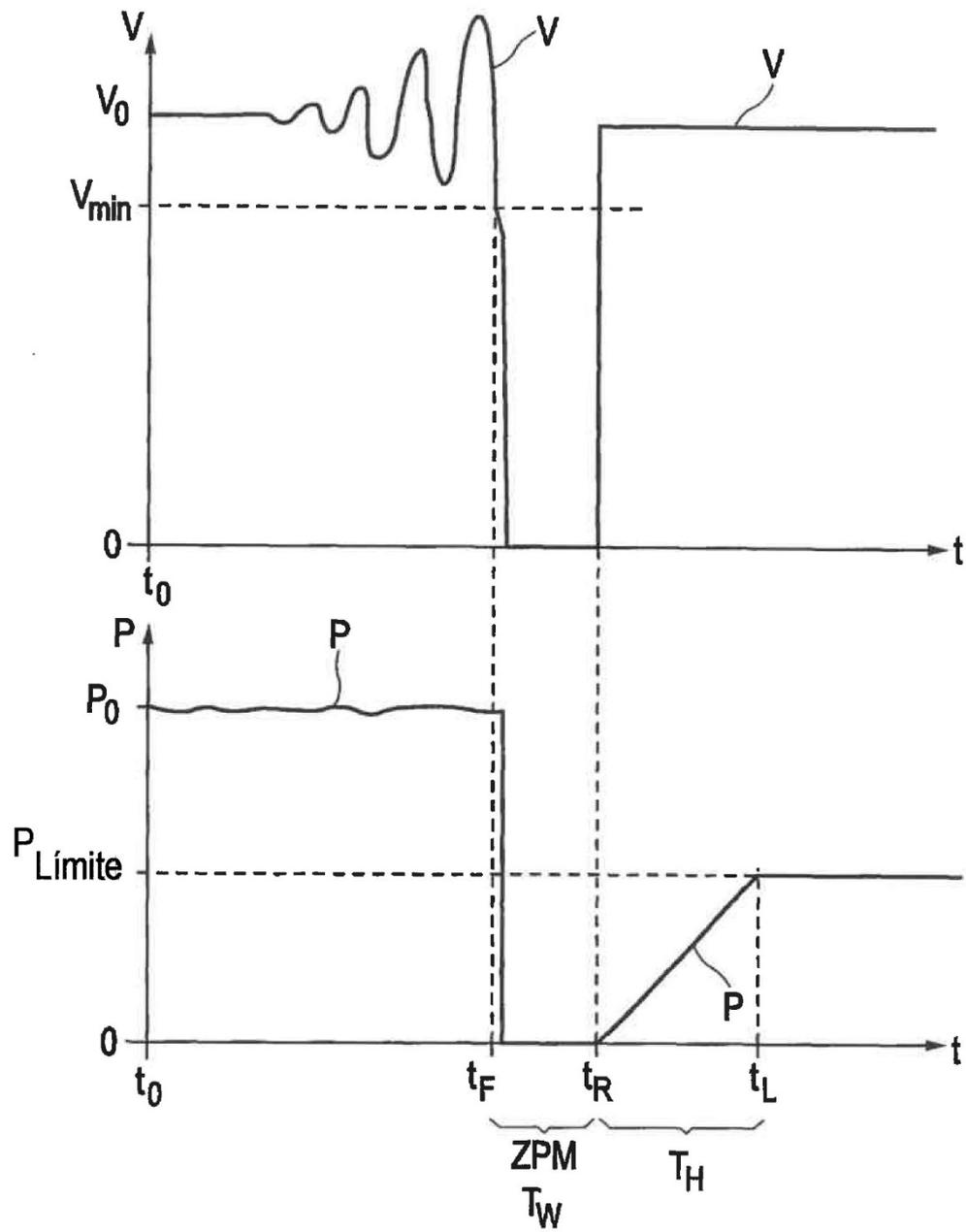


Fig. 10